

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS
DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA EN CUMPLIMIENTO
AL REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO 29.01.01:15 EN ESCUELA DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

CESAR ROLANDO HIDALGO FUENTES

JOSÉ FERNANDO ÁNGEL PÉREZ

NOÉ VLADIMIR ARGUETA FERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

TÍTULO:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA EN CUMPLIMIENTO AL REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO 29.01.01:15 EN ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

PRESENTADO POR:

Br. CESAR ROLANDO HIDALGO FUENTES

Br. JOSÉ FERNANDO ÁNGEL PÉREZ

Br. NOÉ VLADIMIR ARGUETA FERNÁNDEZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

ING. JOSE MIGUEL HERNÁNDEZ

SAN SALVADOR, SEPTIEMBRE 2023.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, sábado 19 de agosto de 2023, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 9:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
Director Interino



Firma 

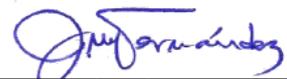
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario



Firma

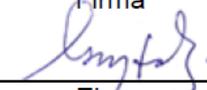
Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ
(Docente Asesor)



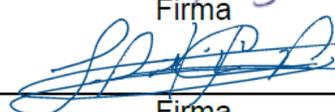
Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ



Firma

- MSC. LUIS ROBERTO CHÉVEZ PAZ



Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA EN CUMPLIMIENTO AL REGLAMENTO TÉCNICO SALVADOREÑO 29.01.01:15

A cargo de los Bachilleres:

- ÁNGEL PÉREZ JOSÉ FERNANDO
- ARGUETA FERNANDEZ NOÉ VLADIMIR
- HIDALGO FUENTES CÉSAR ROLANDO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.2
(nueve punto dos)

Agradecimientos

Primeramente, darle la honra y la gloria a Dios por este importante logro obtenido en mi vida ya que siempre nos encontramos con momentos de altibajos, pero con su misericordia y mi perseverancia se logró una meta que parecía imposible de lograr y hoy ya es un sueño hecho realidad.

Doy gracias a mi madre, una mujer con gran fe en sus hijos y un estricto carácter que a pesar de las adversidades de la vida ha podido mantener firme la familia, buscando siempre la superación de mis hermanas y mía, nunca desamparándonos y dando hasta lo imposible por sacarnos adelante, siempre encontrando el positivo de la vida sin importar que tan mal este la situación.

Mi padre, un hombre que trabaja arduamente y que, aunque es alguien de pocas palabras sus consejos y apoyo siempre han estado presentes a lo largo de mi vida.

A mis hermanas la importancia de su amor en mi vida, este logro es en conjunto con ellas, por sus palabras de aliento, el apoyo incondicional en estar presente, el creer en mí y siempre buscar mi felicidad.

Agradecerles a todos mis compañeros a lo largo de mi formación los cuales muchos de ellos se han convertido en mis amigos, cómplices y hermanos. Un agradecimiento especial a mi grupo de tesis, las horas compartidas en conjunto y por las historias vividas llenas aventuras al finalizar este proceso, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Le agradezco muy profundamente a nuestro asesor Ing. Miguel Hernández por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos.

César Hidalgo.

Agradecimientos

Primeramente, dar gracias a Dios por brindarme la inteligencia, sabiduría y resiliencia en todo el proceso que con lleva los estudios universitarios hasta su culminación, en los momentos de dificultad y flaqueza siempre estuviste, sin Dios nada se puede.

Gracias a toda mi familia por ser siempre el apoyo cuando necesitaba motivación estuvieron para mi especialmente mi padre Demetrio Ángel que siempre fue incondicional, sus palabras siempre me dieron el impulso necesario para volver a intentarlo y hacer mejor las cosas en fin por todos sus consejos y enseñanzas desde que era un niño hasta la universidad, dándome a demostrar que el estudio brinda oportunidades, también a mi hermano que siempre me demostró que con esfuerzo y dedicación todo se puede, siendo un alumno becado me enseñó que se puede tener vida social y obtener buenas notas, té admiro mucho Vladimir Angel; también a mi pedacito de gente que fue parte de mi motivación para nunca rendirme Valentina Ángel a mis hermanas Nuvia, Kenia y a mi madre Alicia de Angel que también estuvieron en mi proceso de formación profesional, por su consejos, enseñanzas y los valores fundados en mi persona, los quiero.

También agradecer a mis compañeros con los que conviví la mayor parte de mi vida universitaria nuestro grupo los “los Ridis” con los cuales tuvimos victorias, derrotas y aventuras que quedaran guardadas siempre en mi corazón y mente, recuerdos que nunca olvidare que bueno que coincidimos, agradecerles y desearles lo mejor en su vida profesional y personal de igual forma a mis compañeros de tesis, gracias por todo.

Una mención especial al Ing. Miguel Hernández por todos los conocimientos brindados en el transcurso de la carrera y por su guía en la realización de tesis, a niña reinita que estuvo siempre atenta y con la mejor disposición para ayudarnos en los procesos en donde necesitaba orientación o un consejo, muchas gracias.

Finaliza una etapa maravillosa, la vida universitaria. mi gratitud a toda la escuela de ingeniería eléctrica y a la asociación de la misma gracias por todo lo brindado, fue una labor titánica, pero se logró gracias a Dios; como dicen: “El éxito es la suma de pequeños esfuerzos que se repiten cada día”

GRACIAS A TODOS, INFINITAS GRACIAS.

José Fernando Ángel.

Agradecimientos

Agradecer a Dios por brindarme la salud y entendimiento necesario para llegar a este punto de mi vida donde me permite culminar mi carrera universitaria.

De igual manera agradecer a mi madre: Ismelda y a mi padre: Carlos, por el incommensurable apoyo que ambos me han brindado antes y durante mis estudios universitarios, de educación media y básica; por las enseñanzas de vida, de esas que difícilmente se adquieren en un centro de estudios, que me han inculcado desde mi infancia y que, ya siendo una persona mayor, trato de tenerlas presente en mi día a día.

Agradecer a todos y cada uno de los docentes que me han acompañado en mi vida estudiantil, en especial a los docentes que tuve dentro de mi carrera universitaria tanto en la facultad de ingeniería y arquitectura como en la facultad multidisciplinaria oriental, también al personal administrativo de las facultades antes mencionadas por el apoyo brindado para los diferentes trámites que se realizan.

A mis amigos que me han acompañado en este camino y motivado a luchar por mis metas. A todos los compañeros con los que alguna vez compartimos horas de estudio, o libros en formato físico o digital, folletos, diapositivas, protoboards, resistencias, potenciómetros y demás implementos para el cumplimiento oportuno de nuestras tareas, laboratorios o parciales y que hemos sido apoyo unos de los otros para la realización de esta meta, en especial, durante este último tramo, agradecer a mis compañeros de tesis por el buen trabajo que en conjunto realizamos para la realización y defensa de este trabajo de graduación, de igual manera, a nuestro docente asesor por su guía y las observaciones brindadas las cuales fueron necesarias para la conclusión de nuestra carrera universitaria.

A todos, muchas gracias.

“La suerte es amiga de la acción.”

Noé Vladimir Argueta.

Índice

Índice	9
Índice de figuras	12
Definiciones, siglas, abreviaturas y acrónimos.....	15
Definiciones	15
Siglas, abreviaturas y acrónimos.....	17
Introducción	18
Objetivos.....	19
General.....	19
Específicos.....	19
Alcances	20
Justificación	20
Capítulo 1: Conceptos básicos de motores de inducción trifásicos.	21
1.1: Motor Eléctrico	21
1.2: Aspectos constructivos	22
1.3: Principio de funcionamiento.....	24
1.4: Conexiones eléctricas en el bobinado de estator.....	25
1.5: Características del par en función de la velocidad	26
1.6: Métodos de arranque del motor eléctrico	27
1.7: Balance de potencias	32
1.8: Circuito equivalente del motor trifásico de inducción	34
1.9: Ensayos del motor de inducción asíncrono trifásico	37
Capítulo 2: Clasificación de motores eléctricos según su tipo de construcción y de acuerdo a normativas internacionales.	42
2.1: Comparativa del motor de jaula simple y el de jaula doble	42
2.1.1: Diagrama fasorial del motor de inducción	44
2.2: Análisis del rotor tipo jaula de ardilla	45
2.2.1: Comportamiento de la jaula de ardilla	46
2.2.2: Máquina de doble jaula.....	48
2.2.3: Clasificación constructiva de los motores de acuerdo con las normas NEMA: 50	
2.2.4: Tipos de envolventes o carcasas de motores eléctricos acuerdo a normativa NEMA.....	52

2.3:	Especificaciones técnicas de motores de inducción trifásicos jaula de ardilla comerciales (NEMA)	52
2.4:	Decodificación de la placa de identificación de su motor según IEC	61
Capítulo 3:	Normativas de eficiencia.	66
3.1:	Normativas internacionales sobre desempeño y eficiencia.....	66
3.1.1:	IEC 60034	66
3.2:	Pruebas de laboratorio	69
Capítulo 4:	Reglamento Técnico Salvadoreño	77
4.1:	Reseña de la creación del Reglamento Técnico Salvadoreño y beneficios de su implementación	77
4.2:	Proceso de evaluación de la conformidad del RTS 29.01.01:15.....	81
4.2.1:	Muestreo	82
4.2.2:	Designación del laboratorio	83
4.2.3:	Criterios de aceptación:.....	84
4.2.4:	Método de prueba:.....	85
4.2.5:	Marcado:.....	86
4.2.6:	Obtención del certificado por un organismo de certificación del producto: 87	
4.2.7:	Ampliación del certificado de evaluación de la conformidad:.....	89
4.3:	Método de prueba a motores eléctricos de inducción trifásicos, tipo jaula de ardilla, para evaluación de conformidad del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15.	90
4.3.1:	Condiciones para la realización de la prueba	90
4.3.2:	Condiciones de los instrumentos de medición y equipo de prueba:.....	91
4.3.3:	Equipo para la realización de la prueba	92
4.3.4:	Procedimiento de la prueba	92
4.3.5:	Formato para usarse para la toma de datos	108
Capítulo 5:	Diseño e implementación de laboratorio.....	110
5.1:	Aspectos de diseño y de ambiente controlado a considerar en el diseño del laboratorio de pruebas	110
5.1.1:	Variables ambientales para controlar	110
5.2:	Sistema Eléctrico.....	115
5.2.1:	Perturbaciones en el sistema eléctrico	116

5.2.2: Red de puesta a tierra	119
5.3: Ubicación de instalaciones.....	123
5.4: Descripción de la instalación	125
5.5: Equipo a utilizar en el laboratorio	126
5.5.1: Especificaciones de equipos a utilizar según el RTS 29.01.01:15, para la prueba de evaluación de conformidad	126
5.5.2: Equipo adicional que se utilizará en el laboratorio	140
5.6: Aspectos de seguridad y salud ocupacional	145
5.6.1: Matriz de Riesgos Laborales	145
5.6.2: Bloqueo y etiquetado	151
5.6.3: Señalizaciones de riesgos y ubicación en el laboratorio	152
5.6.4: Procedimiento en caso de accidentes en el laboratorio	153
5.6.5: Normas de seguridad industrial para los laboratorios de motores eléctricos	155
5.6.6: Protección personal.....	156
5.7: Acreditación del laboratorio	159
5.7.1: Etapas generales de proceso de acreditación del laboratorio.....	160
5.7.2: Requisitos para la acreditación	163
Conclusiones.....	169
Recomendaciones.....	170
Bibliografía.....	171

Índice de figuras

Figura 1.1: Motor eléctrico.....	21
Figura 1.2: Estator del motor de inducción trifásico.....	23
Figura 1.3: Rotor de jaula de ardilla.....	23
Figura 1.4: Placa de características de un motor de inducción.....	24
Figura 1.5: Partes del motor eléctrico.....	24
Figura 1.6: Conexiones eléctricas del estator del motor trifásico.....	25
Figura 1.7: Curva velocidad en función de la velocidad.....	26
Figura 1.8: Arranque directo. a): Esquema de conexiones, b): Disposición en caja de bornes ..	28
Figura 1.9: Arranque por autotransformador.....	29
Figura 1.10: Circuito equivalente en el arranque de motor por autotransformador.....	30
Figura 1.11: Esquema de un circuito que utiliza un conmutador manual especial.....	32
Figura 1.12: Método de arranque con resistencias en serie.....	32
Figura 1.13: Modelo transformador de un motor de inducción con el estator y el rotor conectados por un transformador ideal de relación de vueltas a_{eff}	34
Figura 1.14: Circuito modelo del rotor.....	35
Figura 1.15: Circuito modelo del rotor con todos los efectos de la frecuencia (deslizamiento) concentrados en la resistencia RR	36
Figura 1.16: Circuito equivalente por fase del motor de inducción.....	37
Figura 1.17: Reparto de las pérdidas en vacío en función de la tensión.....	39
Figura 1.18: Circuito equivalente en vacío.....	40
Figura 1.19: Circuito equivalente de un motor en cortocircuito.....	41
Figura 2.1: Tipos de ranuras en los motores asíncronos trifásicos.....	42
Figura 2.2: Formas de la ranura y barras del roto. (a), (b) y (c) Rotores con doble jaula. (d) Barra de amortiguamiento del rotor.....	43
Figura 2.3: a) Barras de rotor oblicuas y anillos terminales, b) Barras de rotor oblicuas en un flujo armónico. c) Diagrama de fasores para el factor de oblicuidad.....	43
Figura 2.4: Circuito equivalente del motor de inducción.....	44
Figura 2.5: Circuito equivalente aproximado.....	44
Figura 2.6: Diagrama de fasores de un motor de inducción.....	45
Figura 2.7: Análisis del rotor tipo jaula de ardilla.....	45
Figura 2.8: Corrientes en la jaula de ardilla del rotor.....	46
Figura 2.9: (a) Vista de un motor de inducción de jaula de ardilla.....	47
Figura 2.10: Funcionamiento motor doble jaula de ardilla.....	48
Figura 2.11: Partes del motor de doble jaula de ardilla.....	49
Figura 2.12: Placa de motor estándar NEMA.....	53
Figura 2.13: Placa de motor Baldor.....	54
Figura 2.14: Tipos de montaje NEMA.....	54
Figura 2.15: Tabla de referencia de frame para norma NEMA.....	55
Figura 2.16: Motor con carcasa ODP.....	58
Figura 2.17: Motor con carcasa tipo TEFC.....	58
Figura 2.18: Motor con carcasa tipo TENV.....	58
Figura 2.19: Motor con carcasa tipo TEAO.....	59
Figura 2.20: Motor con carcasa tipo TEWD.....	59
Figura 2.21: Motor con envoltorio tipo TEBC.....	60

Figura 2.22: Motor con envolvente tipo XPFC	60
Figura 2.23: Placa de motor según norma NEMA	61
Figura 2.24: Curvas comparativas de eficiencia energética entre motores IEC.....	62
Figura 2.25: Comparativa de potencia útil y consumo de corriente entre IE2, IE3, IE4	63
Figura 4.1: Equipos donde se implementan los reglamentos técnicos de eficiencia energética	77
Figura 4.2: Cronología de la creación del RTS 29.01.01:15 hasta su implementación	78
Figura 4.3: Gráfica de consumo de energía eléctrica en el país por rubro y por equipos	80
Figura 4.4: Grafico de consumo eléctrico de motores en un escenario de línea base y en otro con la implementación del RTS 29.01.01:15.....	81
Figura 4.5: Diagrama del proceso de obtención del certificado por un organismo de certificación del producto OCP	89
Figura 4.6: Diagrama de proceso de la prueba de funcionamiento.....	96
Figura 4.7: Diagrama de proceso de la prueba de carga mínima posible en el dinamómetro ...	97
Figura 4.8: Diagrama de proceso de la prueba de operación en vacío	99
Figura 5.1: Pararrayos	117
Figura 5.2: Respuesta subamortiguada.....	117
Figura 5.3: Interrupciones de tensión	118
Figura 5.4: Huecos de tensión (“Sag”).....	118
Figura 5.5: Sobretensión momentánea.....	118
Figura 5.6: Fluctuaciones de frecuencia.....	119
Figura 5.7: Electrodo de puesta a tierra	120
Figura 5.8: Anillo enterrado de puesta a tierra	123
Figura 5.9: Ubicaciones de las opciones para desarrollar la propuesta de laboratorio de pruebas para evaluación de conformidad RTS 29.01.01:15.	124
Figura 5.10: Edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.....	125
Figura 5.11: Termopar (RTD) de sonda doble	126
Figura 5.12: Sondas de termopar	128
Figura 5.13: Óhmetro de 4 terminales	129
Figura 5.14: Fuente de potencia programable AC de alta potencia Preen	130
Figura 5.15: Multímetro Fluke.....	131
Figura 5.16: Funciones del multímetro Fluke.....	132
Figura 5.17: Vatímetro Fluke.....	134
Figura 5.18: Dinamómetro recomendado.....	136
Figura 5.19: Accesorios recomendados con el dinamómetro.....	137
Figura 5.20: Dinamómetro para pruebas de motor vertical	137
Figura 5.21: Aparato para medir el par torsional.....	138
Figura 5.22: Tacómetro	139
Figura 5.23: Cronómetro para pruebas.....	140
Figura 5.24: Sensor de vibraciones	141
Figura 5.25: Pantalla de medición del sensor	142
Figura 5.26: Cámara Fluke PTI 120	143
Figura 5.27: Pantalla de LabWare	145
Figura 5.28: Señalización de riesgos en el laboratorio.....	152
Figura 5.29: Ubicación de señalizaciones en el laboratorio	153

Figura 5.30: Protección auditiva.....	157
Figura 5.31: Protección para los pies	157
Figura 5.32: Protección para la cabeza	158
Figura 5.33: Protección para las manos	158
Figura 5.34: Protección para la vista	158
Figura 5.35: Etapas para la certificación del laboratorio ante OSA	162

Definiciones, siglas, abreviaturas y acrónimos

Definiciones

Dinamómetro: Aparato para aplicar carga mecánica a un motor en forma continua y controlada y que puede incluir dispositivos para medir el par torsional y la frecuencia de rotación, desarrollados por dicho motor.

Eficiencia: La razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada del motor.

Eficiencia mínima asociada: Cada eficiencia nominal tiene una eficiencia mínima asociada especificada en la columna B de la Tabla 4.3.

Eficiencia nominal: Valor de la eficiencia marcada en la placa de datos del motor, seleccionado de la columna A de la Tabla 4.2 por el fabricante. Este valor no debe ser mayor que la eficiencia promedio de una población grande de motores del mismo diseño.

Equilibrio térmico a carga plena: Estado que se alcanza cuando el incremento de temperatura del motor eléctrico, trabajando a carga plena, no varía más de 1°C en un lapso de 30 min.

Factor de Corrección del Dinamómetro (FCD): Par torsional necesario para vencer la oposición que presenta el dinamómetro al movimiento mecánico, en su condición de carga mínima. Su determinación es importante cuando el dinamómetro está situado entre el motor a probar y el transductor usado para medir el par.

Motor eléctrico: Máquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica.

Motor trifásico: Motor que utiliza para su operación energía eléctrica de corriente alterna trifásica.

Motor tipo jaula de ardilla: Motor de inducción, en el cual los conductores del rotor son barras colocadas en las ranuras del núcleo secundario, que se conectan en circuito corto por medio de anillos en sus extremos semejando una jaula de ardilla.

Motor abierto: Motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través del embobinado del motor.

Motor cerrado: Motor cuya armazón impide el intercambio libre de aire entre el interior y el exterior de éste, sin llegar a ser hermético. Dentro de esta clasificación se incluyen los motores a prueba de explosión.

Motor de eficiencia normalizada: Eficiencia nominal igual o mayor que la indicada en la Tabla 4.2, según su tipo de encerramiento y número de polos.

Motor de inducción: Motor eléctrico en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

Pérdidas en el núcleo: Alternaciones del campo magnético en el material activo del estator y rotor por efectos de histéresis y corrientes parásitas.

Pérdidas indeterminadas: Porción de las pérdidas que no se incluyen en la suma de las pérdidas por efecto Joule en el estator y en el rotor, las pérdidas en el núcleo, y las pérdidas por fricción y ventilación.

Pérdidas por efecto Joule: Circulación de corriente eléctrica por los conductores del estator y rotor y se manifiestan en forma de calor.

Pérdidas mecánicas por fricción y ventilación: Oposición que presentan los dispositivos tales como ventiladores y rodamientos al movimiento mecánico.

Pérdidas totales: Diferencia de la potencia de entrada y la potencia de salida del motor.

Potencia de entrada: Potencia eléctrica que el motor toma de la línea.

Potencia de salida: Potencia mecánica disponible en el eje del motor.

Potencia nominal: Potencia mecánica de salida indicada en la placa de datos del motor.

Régimen continuo: Régimen nominal con el cual debe cumplir un motor en funcionamiento continuo.

Régimen nominal: Condición de operación a la tensión y frecuencia eléctricas nominales, medidas en las terminales, en la que el motor desarrolla los parámetros indicados en su placa de datos.

Resistencia entre terminales del motor: Resistencia medida entre dos terminales en la caja de conexiones del motor.

Torsiómetro: Aparato acoplado entre los ejes del motor y del dinamómetro, que transmite y mide el par torsional. Algunos tipos, miden además la frecuencia de rotación y permiten determinar la potencia mecánica desarrollada por el motor.

Siglas, abreviaturas y acrónimos

CNE: Consejo Nacional de Energía

HP: Caballos de Fuerza (por sus siglas en inglés: Horse Power)

NEC: Código Eléctrico nacional (por sus siglas en inglés: National Electric Code)

OCP: Organismo Certificador de Producto

OSA: Organismo Salvadoreño de Acreditación

RTS: Reglamento Técnico Salvadoreño

SGC: Sistema de Gestión de la Calidad

Introducción

Los motores eléctricos son una de las invenciones que mayor rango de aplicaciones tiene para las actividades de la humanidad dentro de diferentes actividades, en especial las económicas relacionadas con la industria, lo que hace importante tener conocimiento de cómo hacer más eficiente su operación con el propósito de reducir costos.

En este documento se inicia con una explicación de los conceptos básicos de los motores eléctricos: su forma de construcción, principios de operación, balance de potencias y su circuito equivalente, posteriormente, el proceso de ensayo para la determinación de los parámetros eléctricos del motor de inducción.

Luego se analizarán los estándares internacionales de pruebas de eficiencia energética en motores eléctricos y se realizara una breve comparativa con el reglamento técnico.

Se hará una breve reseña del proceso de implementación del reglamento técnico salvadoreño y las ventajas que trae su implementación para posteriormente hacer énfasis en la prueba de evaluación de conformidad de dicho reglamento

Finalmente se presenta la propuesta de diseño del laboratorio de pruebas de motores tomando en cuenta las normativas que rigen las condiciones en que deben desarrollarse las pruebas y el proceso de acreditación del mismo ante las autoridades locales.

Objetivos

General

Hacer una propuesta para la creación de un laboratorio de motores eléctricos de inducción trifásicos de tipo jaula de ardilla en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, para el cumplimiento de la prueba de la evaluación de conformidad del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 eficiencia energética. motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 kW a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.

Específicos

- Conocer de forma general, todos los pasos que forman parte de la evaluación de conformidad del reglamento salvadoreño 29.01.01:15.
- Determinar el impacto que tiene la implementación del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 en la situación actual de eficiencia energética de motores eléctricos en El Salvador.
- Identificar los requisitos a cumplir y pasos del proceso de acreditación de un laboratorio de pruebas de laboratorio de eficiencia de motores de inducción, que, en este caso hará parte de la evaluación de conformidad 29.01.01:15.

Alcances

Este documento mostrará una guía teórica a seguir para hacer el diseño de un laboratorio de pruebas de eficiencia de motores eléctricos, contemplando desde su ubicación hasta las adecuaciones de la infraestructura, posterior al diseño, se presentará un modelo de implementación y ejecución de las operaciones de dicho laboratorio, todo lo anterior basado en los requerimientos y procesos establecidos en el reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 y a otras estándares internacionales que establecen parámetros de ambiente controlado en laboratorios de prueba, con los insumos mencionados previamente, se espera que al ser diseñado e implementado de forma correcta, el laboratorio pueda obtener su certificación, la cual es indispensable para la legalidad su operación.

Justificación

Los motores eléctricos son el componente fundamental de muchos procesos industriales, los cuales representan el rubro que más energía eléctrica consume en muchos países, incluyendo El Salvador, es importante resaltar lo anterior, ya que, en una actualidad mundial donde crecen las preocupaciones por el deterioro del medioambiente y el incremento de los costos de producción, el proceso que conlleva la generación de energía eléctrica, entre otros, se vuelve una de las principales causas de ese deterioro medioambiental por lo que entre las formas de mitigarlo es el incremento de formas de generación a partir de fuentes renovables, la iniciativa de ahorro por parte de cada usuario final de la red eléctrica y también la creación de equipos más eficientes, con énfasis en los motores eléctricos, que consuman menos electricidad sin sacrificar su correcta operatividad.

Como respuesta a lo establecido en el párrafo anterior, en las economías más desarrolladas como las de Estados Unidos y Europa se han establecido estándares de eficiencia con el objetivo de medir el nivel de eficiencia de los motores eléctricos y con ello evitar la comercialización y uso de equipos que no cumplan los parámetros establecidos con el objetivo primordial de reducir el consumo eléctrico, sin embargo, El Salvador se había quedado a la zaga en la vigilancia de la eficiencia de los motores que se importaban, comercializaban y operaban en el país dando como resultado el ingreso y comercialización de motores de baja eficiencia que a la postre consumían más energía eléctrica, lo anterior provocó la creación de la normativa local para la medición de la eficiencia en motores eléctricos que forme parte de un amplia política de eficiencia energética en el país.

Por lo que se justifica el desarrollo de este documento relacionado a la implementación de un laboratorio para la prueba de eficiencia expresado en la normativa local de eficiencia de motores eléctricos conocida como “Reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15” tanto para la divulgación de la normativa como para la implementación del laboratorio dentro de las instalaciones de la escuela de ingeniería eléctrica de la

Universidad de El Salvador como una forma de contribución a la comunidad universitaria y a la mejora continua de la eficiencia energética en el país ya que se cuenta con una guía para el diseño de un laboratorio de eficiencias de motores que, una vez implementado, llegará a reforzar e incentivar la mejora de los laboratorios ya existentes y acreditados en el país.



Figura 0.1: Motor eléctrico

Capítulo 1: Conceptos básicos de motores de inducción trifásicos.

1.1: Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que al ser accionada convierte, a través de medios electromagnéticos, la energía eléctrica en energía mecánica, esta última necesaria para el impulso de otras máquinas que facilitan el desarrollo de diferentes actividades.

De forma general, los motores eléctricos se pueden dividir en diferentes categorías definidas principalmente por:

- Tipo de corriente de alimentación: Dependiendo si se alimentan con corriente directa DC o con corriente alterna AC.
- Velocidad de giro del eje en el rotor con respecto a la velocidad de campo magnético: Si la velocidad de giro del eje en el rotor del motor es igual a la velocidad de campo magnético se denominan “motores síncronos”, y si la velocidad de giro del eje en el rotor del motor es distinta a la velocidad de campo magnético se denominan “motores asíncronos”.
- El número de fases por las que se alimenta el motor: Pueden denominarse monofásicos, bifásicos o trifásicos.
- Según el tipo de rotor: Según la construcción del rotor pueden dividirse en motores de rotor bobinado y de rotor tipo jaula de ardilla)

Dentro de la clasificación mencionada previamente, los motores asíncronos tienen un uso más extendido dado a que requiere un menor costo económico de mantenimiento preventivo, facilidad de uso y su bajo costo de manufactura. Para actividades

industriales el motor asíncrono de mayor uso es el trifásico con rotor de jaula de ardilla debido a su construcción simple y robusta, versatilidad y confiabilidad de funcionamiento, hoy en día, se puede decir que más del 80 por ciento de los motores eléctricos industriales son de este tipo, en este proyecto se hablará exclusivamente sobre el motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla.

1.2: Aspectos constructivos

Al igual que cualquier otro dispositivo de conversión electromecánica de la energía de tipo rotativo, está formada por un estator y un rotor. En el estator se coloca normalmente el inductor, alimentado por una red trifásica. El rotor es el inducido, y las corrientes que circulan por él aparecen como consecuencia de la interacción con el flujo magnético del estator.

Estator: El estator está formado por un apilamiento de chapas de acero al silicio que disponen de unas ranuras en su periferia interior en las que se sitúa un devanado trifásico distribuido, alimentado por una corriente del mismo tipo, de tal forma que se obtiene un flujo giratorio de amplitud constante distribuido sinusoidalmente por el entrehierro. El estator está rodeado por la carcasa, disponiéndose en ésta las correspondientes patas de fijación y los anillos o cáncamos de elevación y transporte. El bobinado del estator está formado por tres bobinados individuales que se superponen y están desfasados con un ángulo de 120° eléctricos. Cuando se conecta a la alimentación, la corriente de entrada primero magnetiza el estator. Esta corriente de magnetización genera un campo rotatorio que gira con la velocidad de sincronismo o velocidad síncrona n_s . Definida por la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

- n_s : Velocidad síncrona (rpm)
- f : Frecuencia de alimentación (Hz)
- p : Número de polos

A partir de la ecuación anterior se deduce que entre menor sea el número de polos del estator, mayor será su velocidad síncrona, con una corriente de 60Hz, la mayor velocidad síncrona disponible es de 3600 rpm con un motor de 2 polos que es la menor cantidad de polos disponible para que un motor pueda operar.

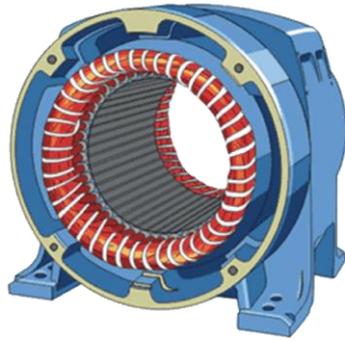


Figura 1.1: Estator del motor de inducción trifásico

Rotor: El motor tipo jaula de ardilla está constituido por un conjunto de chapas apiladas, formando un cilindro, que tienen unas ranuras en la circunferencia exterior, donde se coloca el devanado. En el tipo en forma de jaula de ardilla se tienen una serie de conductores de cobre o aluminio puestos en cortocircuito por dos anillos laterales (el nombre de jaula proviene del aspecto que tomaría este devanado si se omitiera el apilamiento de hierro); en la actualidad, en las máquinas pequeñas, se aplica un método de fundición de aluminio, con el que se producen al mismo tiempo las barras del rotor y los anillos laterales, resultando un conjunto como el que se muestra en la siguiente ilustración.

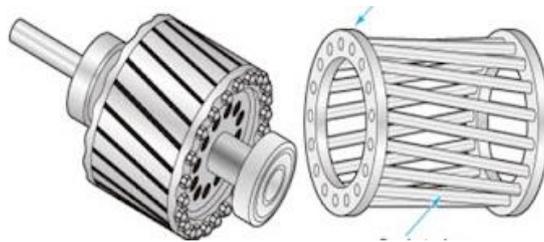


Figura 1.2: Rotor de jaula de ardilla

La máquina asíncrona, además de disponer de un estator y un rotor, está dotada de otros elementos mecánicos necesarios para su funcionamiento: tapas o cubos, rodamientos, carcasa, etc. En los motores de mediana y gran potencia existe un ventilador en el eje, cuya misión es producir una refrigeración forzada de la máquina. A veces la carcasa tiene forma ondulada para mejorar la evacuación del calor que se produce como consecuencia de las pérdidas que aparecen en el motor.

Carcasa: La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación.

Un detalle importante a considerar en los motores asíncronos trifásicos es la disposición de los terminales del devanado del estator en la llamada caja de bornes de la máquina. A esta caja o placa se llevan los extremos de los bobinados.

Placa de características: La placa de características de un motor especifica una serie de datos, tanto eléctricos como mecánicos y de fabricación, relevantes para la máquina en cuestión, estando su formato normalizado.

Los datos aportados por las placas características permiten conocer el consumo eléctrico de la máquina para el cálculo de las líneas de alimentación y la selección de sus dispositivos de maniobra y protección. Además, aportan otros datos eléctricos y mecánicos importantes, como las tensiones y frecuencias de alimentación, velocidades rotóricas en función de las frecuencias, rendimiento, factor de potencia, grado de protección de la carcasa, etc. Otros datos indican las dimensiones de la máquina y su forma constructiva.

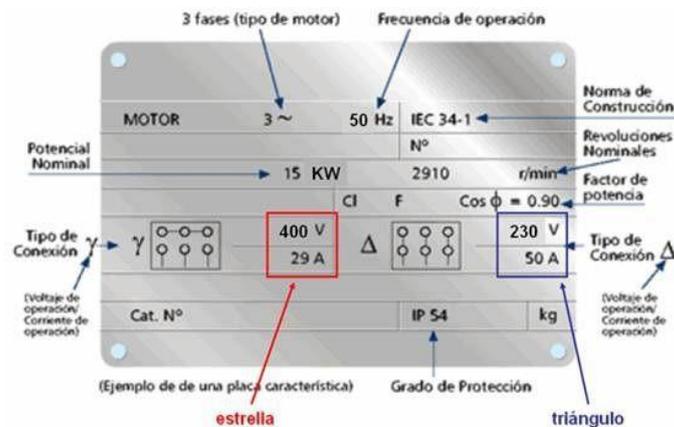


Figura 1.3: Placa de características de un motor de inducción

En la siguiente imagen en vista de corte se identifican otras partes que componen la construcción del motor eléctrico

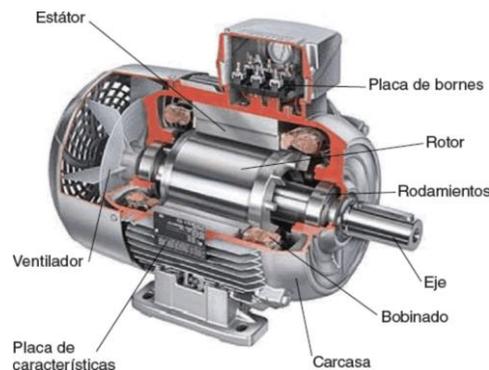


Figura 1.4: Partes del motor eléctrico

1.3: Principio de funcionamiento

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el devanado de campo sobre las corrientes que son inducidas por dicho flujo en el devanado del rotor. El flujo giratorio generado por el devanado de

campo corta los conductores del rotor, por ello se generan fuerzas electromotrices inducidas. Debido a que el bobinado del rotor forma un circuito cerrado, por ellos circula una corriente. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastra al rotor haciéndolo girar.

Como se señaló anteriormente, la velocidad de rotación del eje en los motores eléctricos asíncronos de inducción siempre es menor a la velocidad del flujo de campo giratorio, como condición necesaria para que la fuerza electromotriz se produzca debe existir un movimiento relativo entre el flujo de campo y el devanado en el rotor. La diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

1.4: Conexiones eléctricas en el bobinado de estator

Los bobinados trifásicos se pueden conectar en dos sistemas: estrella o delta

Estrella: Todos los finales de la bobina conectados en un punto común, energizando el sistema por los otros extremos libres.

Delta: Conectando el final de cada bobina al principio de la bobina siguiente, energizando el sistema por los puntos de unión.

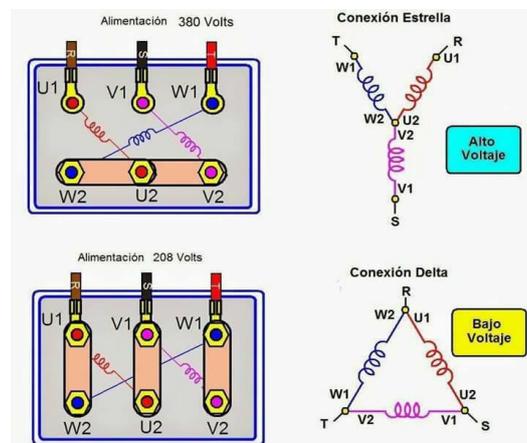


Figura 1.5: Conexiones eléctricas del estator del motor trifásico

En la conexión estrella, la corriente de línea es igual a la corriente que circula por cada fase, mientras que el voltaje de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que el voltaje de fase. Obteniendo las siguientes relaciones:

$$V_{fase} = \frac{V_{linea}}{\sqrt{3}} ; I_{fase} = I_{linea} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

En la conexión delta, el voltaje de línea es igual al voltaje en cada fase, pero la corriente en cada línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.

$$I_{fase} = \frac{I_{linea}}{\sqrt{3}} ; V_{fase} = V_{linea}$$

1.5: Características del par en función de la velocidad

En la figura 1.7 se muestra, mediante los siguientes parámetros, las características de par en función de la velocidad propias de los motores de inducción con rotor de jaula de ardilla. El par acelerador abarca toda la característica de par, desde el reposo hasta la velocidad máxima.

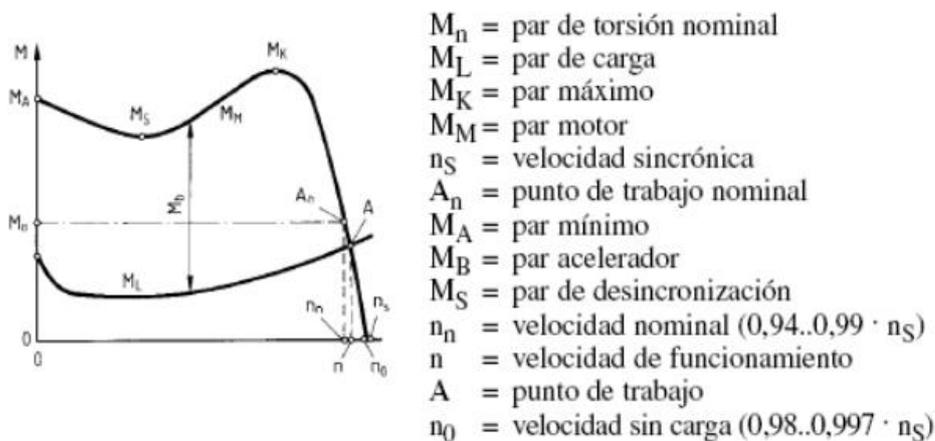


Figura 1.6: Curva velocidad en función de la velocidad

Donde:

M_A : Par inicial de arranque en la posición de parada; también llamado par mínimo. Los valores proporcionados por los fabricantes de motores deberían estar comprendidos entre -15% y +25% respecto del par nominal.

M_n : Par de torsión de régimen durante el funcionamiento de régimen con una potencia de régimen P_n y una velocidad de régimen n_n . Sin carga, el par es muy bajo y cubre la fricción interna. Cuando el motor se carga, su velocidad disminuye ligeramente por el valor del deslizamiento s y el par aumenta. Un motor estándar en funcionamiento continuo debe poder proporcionar el par nominal sin exceder el límite de temperatura. El par nominal puede excederse hasta cierto punto a lo largo de todo el régimen de funcionamiento, siempre que el límite de temperatura no se sobrepase.

M_k : Par máximo. Éste es el par máximo que un motor puede proporcionar. Si la potencia aumenta por encima de la carga nominal P_n , el deslizamiento s continúa incrementándose, la velocidad n disminuye y el motor proporciona un par mayor. Esto puede aumentarse hasta el valor máximo M_k (par máximo), momento en el que el motor se hace inestable, es decir, su velocidad disminuye de repente con este valor de deslizamiento (deslizamiento de interrupción) y la velocidad del motor tiende a 0. Según

las normas, el par máximo debe ser $M_k \geq 1.6 M_n$ y es necesario poder sobrecargar el motor al menos durante 15 segundos con este valor y la tensión y frecuencia nominal.

M_s : Par de desincronización; es el par mínimo producido durante la aceleración. En cualquier caso, debe ser mayor que el par de carga M_L a esa determinada velocidad, ya que, de lo contrario, el motor no puede acelerarse. Los valores mínimos del par de desincronización se indican en las normas correspondientes al funcionamiento a tensión nominal.

M_L : Par de carga, es par antagonista que representa a la carga durante la aceleración.

M_m : Par motor, también denominado par acelerador.

M_b : Par acelerador, consiste en la diferencia entre el par motor M_m y el par de carga M_L .

n_s : Velocidad sincrónica, consiste en la velocidad de giro del campo magnético que se origina en el devanado de estator del motor.

n_n : Velocidad nominal, es la velocidad de rotación máxima a la que el eje del motor puede llegar sin sufrir desgaste.

n : Velocidad de funcionamiento, es la velocidad de rotación real a la que gira el eje del motor con carga acoplada en su eje, dicha velocidad puede ser medida a través de instrumentos de laboratorio entre los que se encuentra el tacómetro.

A : Punto de trabajo: Es la magnitud del par de carga mientras el motor gira a la velocidad de rotación real.

1.6: Métodos de arranque del motor eléctrico

El arranque es el proceso de puesta en marcha de toda máquina eléctrica. En un motor asíncrono para que el arranque pueda realizarse, el valor del par inicial de arranque debe ser mayor al par de la carga; de esta forma se obtiene un momento de aceleración que obliga a girar el rotor a una velocidad cada vez más elevada, obteniendo el régimen permanente cuando se los pares motor y resistente son iguales.

El proceso de arranque conlleva un consumo elevado de corriente, lo que está justificado desde el punto de vista de circuito equivalente, ya que la resistencia de carga es nula en el instante inicial, debido a que el deslizamiento es la unidad, por lo que el motor ofrece una baja impedancia, estando prácticamente en cortocircuito.

A continuación, se detallan los métodos de arranque de un motor eléctrico:

- **Arranque directo:** Se aplica solamente en los motores de pequeña potencia. Este método es aplicable a máquinas de una potencia inferior a 5 kW, cuando se trata de instalaciones conectadas a la red urbana.

En el inciso “a)” de la ilustración 1.8 se representa el esquema de conexiones donde se ha supuesto que el estator está conectado en estrella, en el inciso “b)” se muestra la disposición de de la caja de bornes del motor.

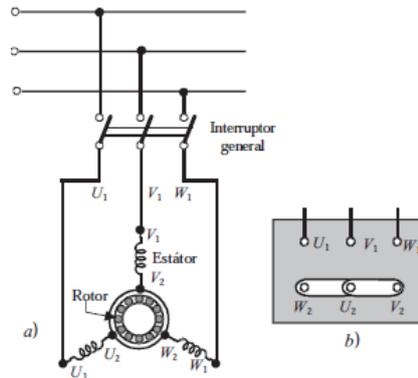


Figura 1.7: Arranque directo. a): Esquema de conexiones, b): Disposición en caja de bornes

Para reducir la intensidad de la corriente en el momento de la puesta en marcha de un motor se emplean métodos especiales de arranque, entre los que podemos encontrar los siguientes:

- **Arranque por autotransformador:** Este método consiste en intercalar un autotransformador entre la red eléctrica y el motor, haciendo que la tensión aplicada en el arranque sea solo una fracción de la asignada. El proceso puede realizarse en dos o tres escalones y con tensiones no inferiores al 40, 60 y 75 por ciento de la tensión de línea.

En la Figura 1.9 se muestra un arranque por autotransformador con la tensión de la red, aplicando al motor solamente una fracción de esta tensión de la red (etapa de arranque). Cuando la maquina ha alcanzado una velocidad cercana a la asignada, el conmutador pasa a la posición 2, que eleva la tensión que alimenta al motor y este sigue aumentando de velocidad. Finalmente se pasa el conmutador a la posición 3, de tal forma que la tensión de la red queda aplicada directamente al estator del motor.

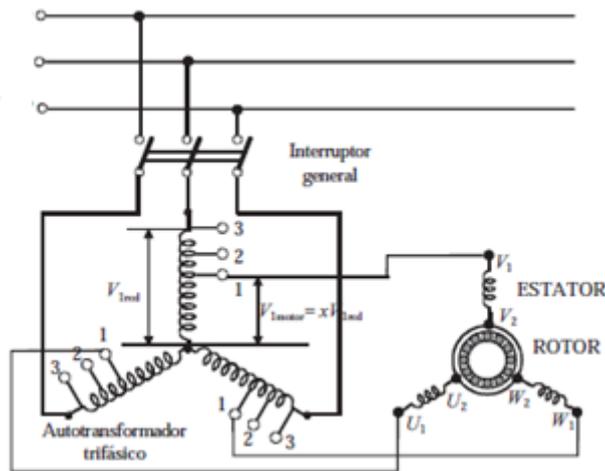


Figura 1.8: Arranque por autotransformador

Para observar la reducción de la corriente de arranque con este procedimiento, en la Figura 1.10, inciso a) se muestra el circuito equivalente del motor en esas condiciones. La corriente de arranque con la tensión asignada aplicada V_{1red} tendrá una magnitud:

$$I_{1cc} = \frac{V_{1red}}{Z_{cc}} ; Z_{cc} = \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

y la corriente de arranque en el motor, con una tensión $V_{1motor} = xV_{1red}$, donde x equivale al factor de multiplicación que modifica el valor de la tensión de la red a medida cambia la posición del transformador, será:

$$I_{a\ motor} = \frac{xV_{1red}}{Z_{cc}} = x \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

que corresponde a una corriente en la red, primario del autotransformador (ver Figura 1.10 inciso b))

$$I_a = x \times I_{a\ motor} = x^2 \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Por ejemplo, si la tensión aplicada es el 70% de la asignada la corriente en la red es del 49% de la que se obtendría con arranque directo.

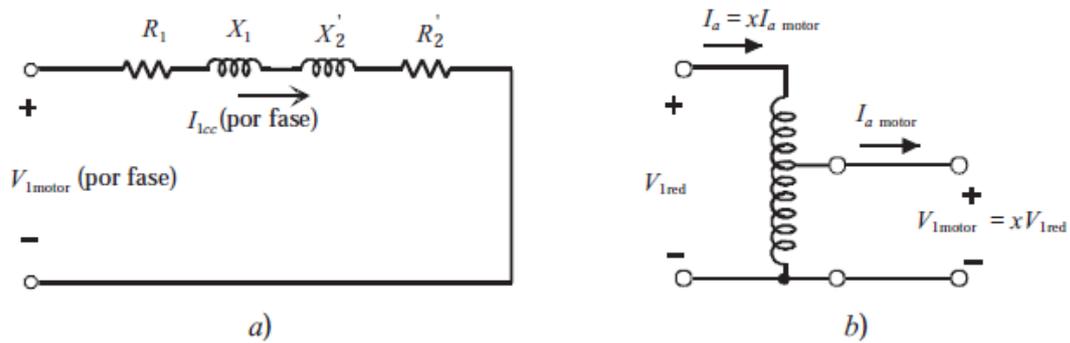


Figura 1.9: Circuito equivalente en el arranque de motor por autotransformador

- Arranque estrella-triángulo:** Este método de arranque es aplicable solamente a los motores que estén preparados para funcionar en triángulo con la tensión de la red. Debido a que, en el momento del arranque, el motor trifásico puede llegar a consumir hasta 7 veces la intensidad de corriente nominal, dicha condición produce un aumento en la temperatura de los bobinados y por lo tanto, desgaste del motor. Para evitarlo, una de las soluciones que se plantea es arrancar el motor con una tensión menor a la nominal, lo que provoca de igual manera que la intensidad de la corriente se reduzca a si se hiciera a La máquina se conecta en estrella en el momento del arranque y se pasa a triángulo en el instante en que el par motor en estrella es igual al par resistente, de lo contrario el motor conectado en estrella no tendría fuerza suficiente para vencer el par resistente y seguir acelerando el motor. La operación se realiza en la actualidad con automatismo de contactores, con un circuito de fuerza y otro de mando o control; se requieren tres contactores: uno, denominado principal, para la alimentación de los principios de bobina de los devanados del motor; otro contactor se encarga de realizar la conexión del devanado en estrella, y el tercero ejecuta la conexión triángulo; además se necesita un relé de tiempo para ajustar el momento en que se pasa de la conexión estrella a la conexión triángulo. Para facilitar la comprensión de este sistema de arranque estrella-triángulo, en la Figura 1.11 se muestra el esquema de un circuito que utiliza un conmutador manual especial (hoy día está en desuso, pero tiene una gran ventaja didáctica por la simplicidad de su esquema). La posición 1 del conmutador de la ilustración 11 se emplea para el arranque y conecta los devanados en estrella; el estator recibe la alimentación por U1, V1 y W1 y el conmutador puentea los terminales U2, V2 y W2. Una vez que la máquina alcanza una velocidad estable el conmutador se pasa a la posición 2, conectando los terminales U1 con W2, V1 con U2 y W1 con V2, y la máquina queda en triángulo.

Al aplicar este método de arranque al motor, en el momento de la puesta en marcha, es decir, cuando está en la etapa inicial (motor conectado en estrella), se obtiene una

tensión por fase de una magnitud $1/\sqrt{3}$ de la asignada. Visto de forma analítica, este método equivale a un caso particular del arranque por autotransformador cuando $x = 1/\sqrt{3}$, donde x es el factor de multiplicación de arranque por autotransformador. Si se tiene en cuenta, de acuerdo con la ecuación de la corriente del arranque por autotransformador

$$I_a = x \times I_{a \text{ motor}} = x^2 \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

Donde x , como se estableció anteriormente, es la fracción de la tensión respecto a la asignada. De igual manera, al momento del arranque usando el método estrella delta, la fracción de la tensión nominal pasaba a ser de $1/\sqrt{3}$, en la etapa inicial, (motor conectado en estrella) por lo tanto $x = 1/\sqrt{3}$ Sustituyendo en la ecuación de la corriente del arranque por autotransformador:

$$I_a = x^2 \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.8}$$

$$I_a = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

$$I_a = \left(\frac{1}{3}\right) \times I_{cc} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

De la relación anterior, se deduce que la corriente de arranque estando el motor conectado en estrella es la tercera parte de la corriente de arranque que absorbería el motor si se conectara directamente en triángulo. Debido a que el par es proporcional a la intensidad de la corriente, se observa que el par de arranque se reduce también a la tercera parte.

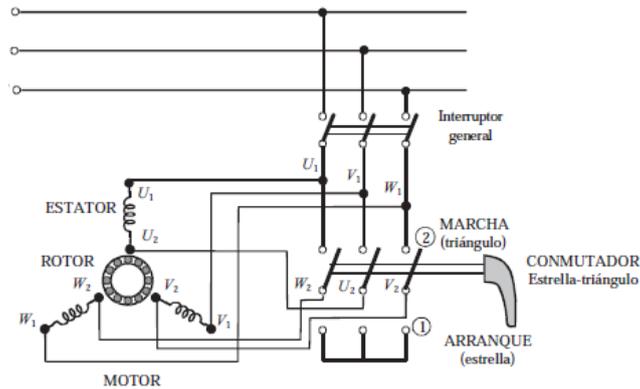


Figura 1.10: Esquema de un circuito que utiliza un conmutador manual especial

- Arranque con resistencias en serie con el bobinado del estator:** Este método es de un uso menos frecuente en la industria, el cual consiste en conectar en serie un reóstato variable con el bobinado estatórico. La puesta en marcha se hace con el reóstato al máximo de resistencia y se va disminuyendo hasta que el motor queda conectado a la tensión de red. En la Figura 1.12 se presenta el diagrama de conexión de este método de arranque

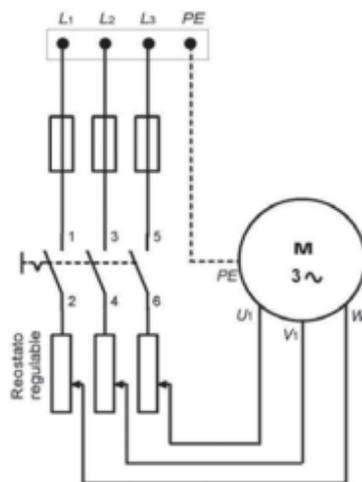


Figura 1.11: Método de arranque con resistencias en serie

1.7: Balance de potencias

Como anteriormente se ha establecido, el motor asíncrono trifásico es una máquina que convierte la energía eléctrica que absorbe su estator en energía mecánica en su rotor a través del entrehierro, dicho proceso como todos los procesos de transferencia de energía presenta resistencia al paso de la corriente eléctrica por medio de impedancias y resistencia al paso de flujo magnético por medio de la reluctancia, esas y otras razones de origen mecánico provocan pérdida de potencia que hace que la magnitud de la potencia mecánica que sale en el eje no sea exactamente igual a la potencia eléctrica que ingresa por el estator. A continuación, se analizará una a una, las diferentes

pérdidas que resultarán en el balance de potencia durante el funcionamiento de un motor.

La primera forma de potencia a tratar, que se denominará P_1 , es aquella que el motor absorbe de la red de electricidad, V_1 es la tensión aplicada por fase, I_1 la corriente por fase y φ_1 el ángulo de desfase entre ambas magnitudes dicha potencia se determina por la siguiente ecuación:

$$P_1 = 3 \times V_1 \times I_1 \times \cos \varphi_1$$

*Ecuación
1.11*

Esta potencia P_1 es la que llega al estator, y una parte de esa potencia se transforma en calor por el efecto Joule en los devanados, el cual es un fenómeno irreversible que consiste en que si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los constantes choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo, a esa potencia transformada en calor se le denominará P_{cu1} , donde R_1 es la resistencia óhmica del devanado del estator. La magnitud de esta potencia se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{cu1} = 3 \times R_1 \times I_1^2$$

*Ecuación
1.12*

La otra parte de la potencia P_1 que se pierde lo hace en el hierro que forma el núcleo magnético P_{Fe1} , la disipación total de potencia en el estator, que se denominará P_{p1} , es determinada por la suma de las pérdidas P_{cu1} y de P_{Fe1} , expresada matemáticamente de la siguiente forma:

$$P_{p1} = P_{cu1} + P_{Fe1}$$

*Ecuación
1.13*

Debido a que las frecuencias en el rotor son muy reducidas, se considera entonces que el hierro del núcleo ferromagnético del estator es el único origen de las pérdidas ferromagnéticas. De acuerdo con el circuito equivalente del motor de la ilustración se podrá escribir:

$$P_{Fe} = P_{Fe1} = 3 \times E_1 \times I_{Fe} \approx 3 \times V_1 \times I_{Fe}$$

Ecuación
1.14

1.8: Circuito equivalente del motor trifásico de inducción

Al producirse la inducción de corrientes desde el estator hacia el rotor ocurre una acción de transformación, razón por la cual existen similitudes entre el circuito equivalente del transformador y el del motor de inducción.

En la Figura 1.13 se muestra un circuito equivalente transformador, por fase, de un motor de inducción. La resistencia del estator es R_1 y la reactancia de dispersión es jX_1 . E_1 es el voltaje primario del estator, acoplado al secundario E_R mediante un transformador ideal con relación de vueltas a_{eff} . El voltaje E_R producido en el rotor ocasiona un flujo de corriente en el rotor. R_C es el componente de pérdidas en el núcleo y jX_M se refiere a la reactancia de magnetización, R_R y jX_R son las impedancias del rotor. De igual forma, I_1 constituye la corriente de línea, I_M la corriente de magnetización. I_R es el flujo de corriente en el rotor e I_2 es la corriente rotórica.

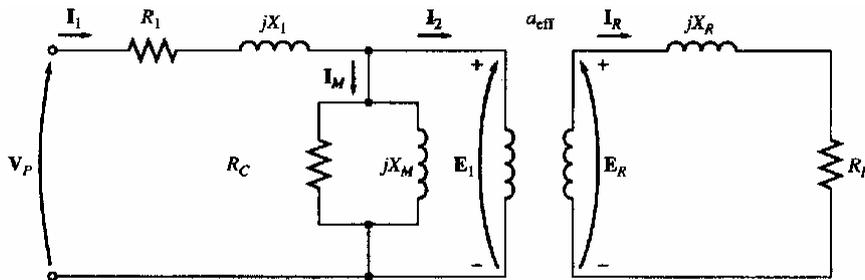


Figura 1.12: Modelo transformador de un motor de inducción con el estator y el rotor conectados por un transformador ideal de relación de vueltas a_{eff}

El voltaje y la frecuencia resultante en el rotor será proporcional al movimiento relativo entre los campos magnéticos del rotor y el estator. El mayor movimiento relativo sucede cuando el rotor se encuentra estacionario, Esta condición es denominada como rotor bloqueado, en esta condición se inducen el máximo voltaje y la máxima frecuencia del rotor. El mínimo voltaje (0 V) y la mínima frecuencia (0 Hz) resultante ocurrirá cuando el rotor se mueve con la misma velocidad que el campo magnético del estator, caso en el que el deslizamiento s será igual a 0

El voltaje y la frecuencia del rotor son directamente proporcionales al deslizamiento del rotor, por lo que el voltaje y la frecuencia inducidos para cualquier deslizamiento son:

$$E_R = s \times E_{R0}$$

Ecuación
1.15

Donde:

E_R : Voltaje inducido

s : Deslizamiento

E_{R0} : Voltaje a rotor bloqueado

$$f_R = s \times f_e$$

Ecuación
1.16

Donde:

f_R : Frecuencia en el rotor

s : Deslizamiento

f_e : Frecuencia en la línea

A diferencia de la resistencia R_R la reactancia del rotor X_R ; por lo que depende de la inductancia L_R , de la frecuencia f_R y de la corriente del rotor:

$$X_R = \omega_r \times L_R = 2 \times \pi \times f_R \times L_R$$

Ecuación
1.17

Sustituyendo en la ecuación 1.16:

$$X_R = 2 \times \pi \times s \times f_e \times L_R = s \times (2 \times \pi \times f_e \times L_R) = s \times X_{R0}$$

Ecuación
1.18

Donde X_{R0} es la reactancia de rotor bloqueado

A partir de lo anterior se obtiene el circuito presentado en la Figura 1.14.

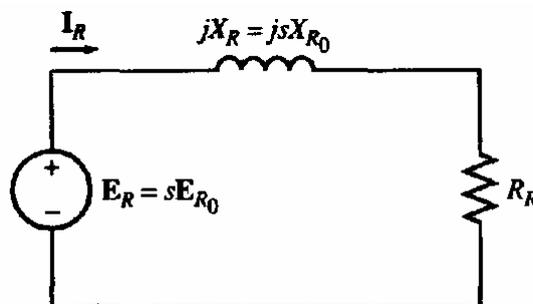


Figura 1.13: Circuito modelo del rotor

El flujo de corriente del rotor I_R se calculara de la siguiente forma:

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R} \quad \text{Ecuación 1.19}$$

Sustituyendo:

$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jsX_{R0}} \quad \text{Ecuación 1.20}$$

$$I_R = \frac{E_{R0}}{R_R/s + jX_{R0}} \quad \text{Ecuación 1.21}$$

De esta última ecuación, es posible calcular la impedancia equivalente del rotor; desde el punto de vista de que se encuentra alimentada por la fuente de voltaje E_{R0} :

$$Z_{R, eq} = R_R/s + jX_{R0} \quad \text{Ecuación 1.22}$$

Para obtener el circuito equivalente del rotor en el que el voltaje E_{R0} es constante y la impedancia del rotor contiene todos los efectos de la variación del deslizamiento Figura 1.15

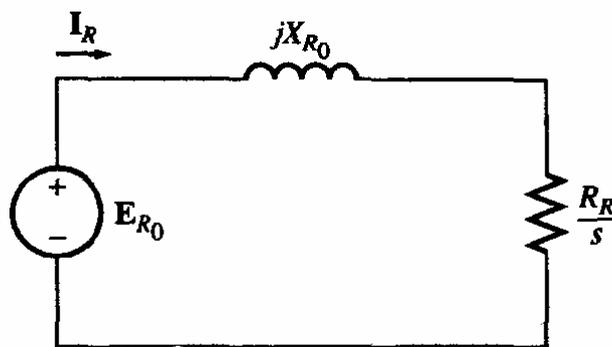


Figura 1.14: Circuito modelo del rotor con todos los efectos de la frecuencia (deslizamiento) concentrados en la resistencia R_R

Circuito equivalente final

Para obtener el circuito equivalente por fase, es necesario referir en el estator, el modelo del rotor. Si la relación de vueltas de un motor de inducción es a_{eff} , el voltaje transformado es:

$$E_1 = E'_R = a_{eff} \times E_{R0}$$

y la corriente e impedancia rotóricas son:

$$I_2 = \frac{I_R}{a_{eff}}$$

Ecuación
1.23

$$Z_2 = a_{eff}^2 \times \left(\frac{R_R}{s} + jXR_0 \right)$$

Ecuación
1.24

Y si se definen:

$$R_2 = a_{eff}^2 \times R_R$$

Ecuación
1.25

$$X_2 = a_{eff}^2 \times XR_0$$

Ecuación
1.26

Finalmente se obtiene el circuito equivalente por fase de la Figura 1.16

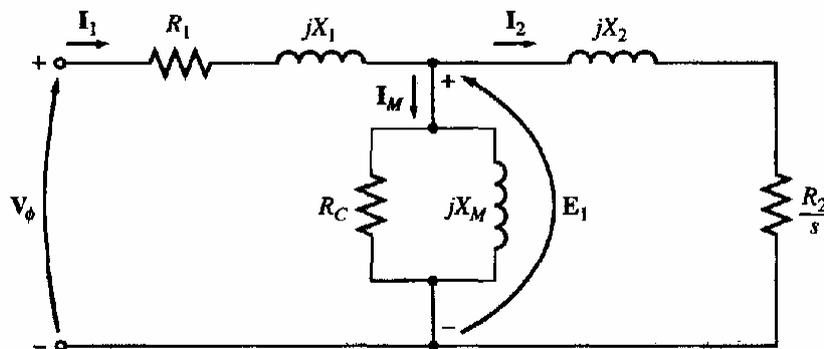


Figura 1.15: Circuito equivalente por fase del motor de inducción

1.9: Ensayos del motor de inducción asíncrono trifásico

Los ensayos del motor asíncrono permiten determinar los parámetros del circuito equivalente de la máquina. De forma similar al transformador, existen dos tipos de pruebas, denominadas: a) *ensayo de vacío* y b) *ensayo de cortocircuito*.

Ensayo de vacío: Este ensayo se realiza al hacer que el motor opere sin carga mecánica alguna en el eje, es decir, la máquina trabaja a rotor libre. Se debe aplicar la tensión

asignada al primario V_{1n} , midiendo la potencia absorbida P_0 y la corriente de vacío I_0 . Existe una gran diferencia entre este ensayo en el motor asíncrono y el correspondiente del transformador. Obsérvese que si la máquina pudiera funcionar en esta prueba a la velocidad de sincronismo, el deslizamiento sería igual a cero, lo que indicaría, en el circuito equivalente exacto que la resistencia de carga R_c se hace infinita y, en consecuencia, I_2 , sería nula, y resultaría un esquema similar al del el transformador despreciando las pérdidas en el cobre del primario

V_{1n} = el voltaje nominal de línea a línea, para el ensayo de vacío.

I_0 = la corriente de línea al vacío.

P_0 = la potencia de entrada al vacío.

R_1 = la resistencia del estator por fase basada en una conexión Y (estrella).

Sin embargo, es imposible que el motor gire a la velocidad de sincronismo, ya que I_2 , sería nula y no se produciría el par electromagnético en el eje. Lo que realmente sucede en esta situación, es que el motor en vacío gira a una velocidad muy cercana a la del campo giratorio, y que según se observa la Figura 1.14, es que hay un valor muy elevado de resistencia de carga, pero no infinito; al no haber par de carga en el eje, la potencia disipada en esta resistencia representa la pérdida de rozamiento y ventilación del motor. Y ya que debido a una elevada impedancia de R_c , I_2 es de pequeño valor, se podrán despreciar las pérdidas en el cobre del devanado del rotor. Denominando P_{cu1} las pérdidas en el cobre del estator en este ensayo, P_{FE} a las pérdidas en el hierro y P_m a las pérdidas mecánicas se cumplirá:

$$P_0 = P_{Fe} + P_m + P_{cu1}$$

*Ecuación
1.27*

Para determinar cada una de las pérdidas anteriores es preciso completar el ensayo de vacío con medidas adicionales; las pérdidas en el cobre P_{cu1} pueden calcularse si se mide previamente la resistencia R_1 de cada una de las fases del estator (esta operación se realiza introduciendo Corriente continua en una fase del primario, midiendo tensión y corriente, la ley de Ohm da el valor de R_1 . En la práctica, para tener en cuenta el efecto pelicular o skin en los conductores, se suele aumentar el valor anterior entre un 10 y un 20 por 100). Para determinar P_{Fe} y P_m es preciso alimentar el motor por una tensión variable, comenzando con el valor nominal o asignado V_{1n} o algo superior y reduciendo hasta un valor que puede tomarse entre el 30 y el 50 por 100 de V_{1n} ; en cada escalón de tensión se deben medir los valores de P_0 , I_0 y V_1 , y a partir de ellos se deducen las pérdidas $P_{Fe} + P_m$ en cada etapa, de acuerdo con la ecuación 1.28:

$$P_{Fe} + P_m = P_0 - P_{cu1} = P_0 - 3 \times R_1 \times I_0^2$$

Al representar $P_{Fe} + P_m$ en función de V_1 se obtiene una curva de tipo parabólico, como se indica en la figura 1.22a. Extrapolando esta curva, hasta que corte el eje de ordenadas, se obtiene para $V_1 = 0$, el valor de las pérdidas mecánicas P_m , ya que entonces las pérdidas en el hierro son nulas al no existir flujo. El valor de las pérdidas en el hierro a la tensión asignada vendrá dado por la ordenada existente entre la curva $P_m + P_{Fe}$ y la horizontal P_m a esa tensión, como muestra la figura anterior. Para reducir errores en la extrapolación de la curva parabólica de la Figura 1.22a, es más práctico representar $P_m + P_{Fe}$ en función del cuadrado de la tensión V_1 , tal como se muestra en la Figura 1.17b. En este caso la curva se transforma en una línea recta, cuya ordenada en el origen representa la pérdida mecánica del motor P_m .

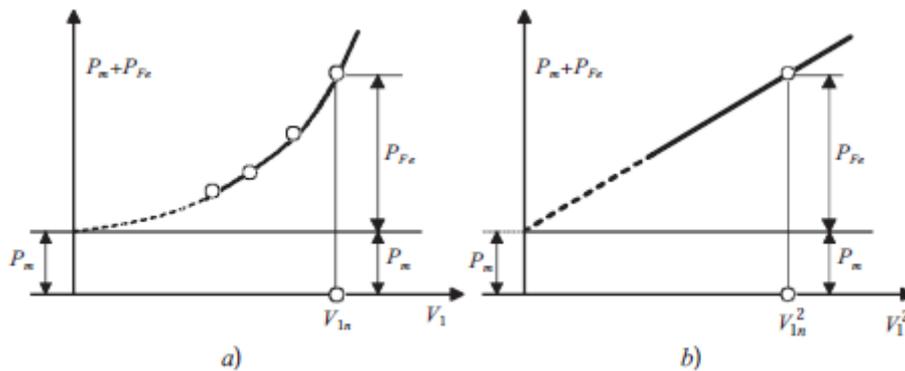


Figura 1.16: Reparto de las pérdidas en vacío en función de la tensión

Conocidas las pérdidas P_{Fe} (separada de P_m) se podrá calcular la rama paralela del circuito equivalente, como muestra la figura 1.23, que absorberá la potencia P_{Fe} , de acuerdo con las siguientes expresiones aproximadas:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{Fe}}{3 \cdot V_{1n} \cdot I_0}; I_{Fe} = I_0 \times \cos \varphi_0; I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0$$

De donde se deduce:

$$R_{Fe} = \frac{V_{1n}}{I_{Fe}}; X_\mu = \frac{V_{1n}}{I_\mu}$$

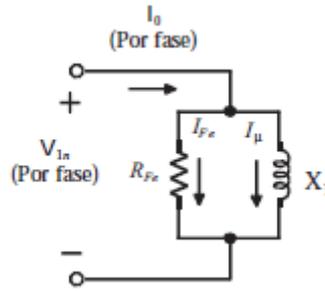


Figura 1.17: Circuito equivalente en vacío

Ensayo de cortocircuito o rotor bloqueado: Este ensayo se realiza bloqueando el rotor impidiéndole que gire, es decir, $n = 0$, por lo que se tendrá: $s = 1$, $R_c = 0$, lo que indica que el motor se comporta como un transformador con el secundario en cortocircuito. Al estator se le aplica una tensión creciente, partiendo de cero, hasta que la corriente absorbida sea la asignada, $I_{1cc} = I_{1n}$ (por fase), midiendo a la vez la tensión aplicada V_{1cc} (fase) y la potencia absorbida P_{cc} (total). La corriente de vacío I_0 es entonces despreciable frente a I_{1n} debido a la pequeña tensión necesaria, resultando el circuito equivalente de la Figura 1.18, que se obtiene al despreciar la rama paralelo del esquema de la Figura 1.16 y hacer $R_c = 0$, debido a que en estas condiciones el deslizamiento es la unidad. De las medidas efectuadas puede obtenerse el factor de potencia en cortocircuito:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 \times V_{1cc} \times I_{1n}} \quad \text{Ecuación 1.31}$$

Y a partir de acá se obtienen los valores:

$$R_{cc} = R_1 + R'_2 = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} \times \cos \varphi_{cc} \quad \text{Ecuación 1.32}$$

$$X_{cc} = X_1 + X'_2 = \frac{V_{1cc}}{I_{1n}} \times \sin \varphi_{cc} \quad \text{Ecuación 1.33}$$

En consecuencia, el ensayo de cortocircuito permite obtener los parámetros de la rama serie del motor. Dado que R_1 se ha determinado con un ensayo en cortocircuito, la primera Ecuación 1.6 permitirá calcular R'_2 , valor que es necesario conocer, ya que está incluido en R'_2 . Si se desea utilizar en el estudio del motor el circuito equivalente exacto,

habrá que repartir la cantidad X_{cc} entre X_1 y X'_2 . A falta de información se elegirá $X_1 = X'_2$.

Debe destacarse que, en el ensayo de cortocircuito, al estar bloqueado el rotor, la frecuencia en éste coincide con la de la red, (es decir $f_1 = 60$ Hz); sin embargo, cuando el motor funciona a plena carga, el deslizamiento es muy pequeño, por lo que la frecuencia del rotor es muy reducida, del orden de 2 a 3 Hz. Teniendo en cuenta que en este ensayo se determinan a la vez los parámetros del estator y los del rotor, la frecuencia a emplear en esta prueba es un compromiso entre las frecuencias que tendrá el estator y las que tendrá el rotor en funcionamiento. Es por ello que la Norma 112 del IEEE, recomienda que este ensayo se realice con una frecuencia del 25 por 100 de la asignada al motor, es decir de unos 12 a 15 Hz. En esta situación, el valor de la reactancia obtenida aplicando la Ecuación 1.33 y medida a la frecuencia del ensayo, debe corregirse para ser utilizada en el circuito equivalente del motor, lo que se consigue en la práctica multiplicando la reactancia del motor obtenida a frecuencia reducida, por el cociente entre la frecuencia nominal y la frecuencia utilizada en el ensayo.

En cuanto a los valores que suelen tener los parámetros del motor obtenidos en estos ensayos, se puede decir que para máquinas con potencias superiores a 10kW, las magnitudes de las impedancias (expresadas en valores por unidad), suelen oscilar entre los rangos siguientes:

$R_1 = 0.01$ a 0.03 ; $X_1 = 0.08$ a 0.12 ; $R'_2 = 0.01$ a 0.03 ; $X'_2 = 0.08$ a 0.10 ; $R_{Fe} = 7$ a 12 ; $X_\mu = 2.5$ a 4

Si se considera la rama de vacío de estos motores, al tener R_{Fe} un valor muy elevado frente a X_μ , no suele incluirse esta resistencia en el circuito equivalente, por lo que la corriente de vacío es simplemente el cociente $I_0 = V_{1n}/X_\mu = 0.25$ a 0.4 p.u, es decir del 25 al 40 por 100 de la corriente nominal (que es muy superior a la corriente de vacío que tienen los transformadores que no suele superar el 10 por 100, lo que se debe a la existencia del entrehierro en los motores asíncronos). Por otra parte, la impedancia de la rama serie, que es en definitiva la impedancia de cortocircuito de la máquina, varía entre 0.16 y 0.22 p.u, por lo que la corriente de cortocircuito (corriente de arranque) a la tensión nominal es $I_a = V_{1n}/Z_{cc} = 4.5$ a 6.2 p.u, es decir de 4.5 a 6.2 veces la corriente nominal asignada a estas máquinas.

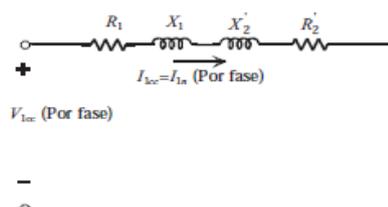


Figura 1.18: Circuito equivalente de un motor en cortocircuito

Capítulo 2: Clasificación de motores eléctricos según su tipo de construcción y de acuerdo con normativas internacionales.

2.1: Comparativa del motor de jaula simple y el de jaula doble

Según la ubicación y tipo de las ranuras rotóricas, podemos afirmar que:

- Las barras superiores (Jaula de arranque) están sumergidas en un fuerte flujo producido por el estator, así mismo están más próximas al entrehierro, producirán reactancias pequeñas.
- Las barras inferiores (Jaula de trabajo) están sumergidas en un flujo menos intenso ya que se hallan más alejados al entrehierro, produciendo reactancias más grandes.
- La barra superior es de una aleación de cobre de alta resistencia y la inferior puede ser de cobre o aluminio de baja resistencia.

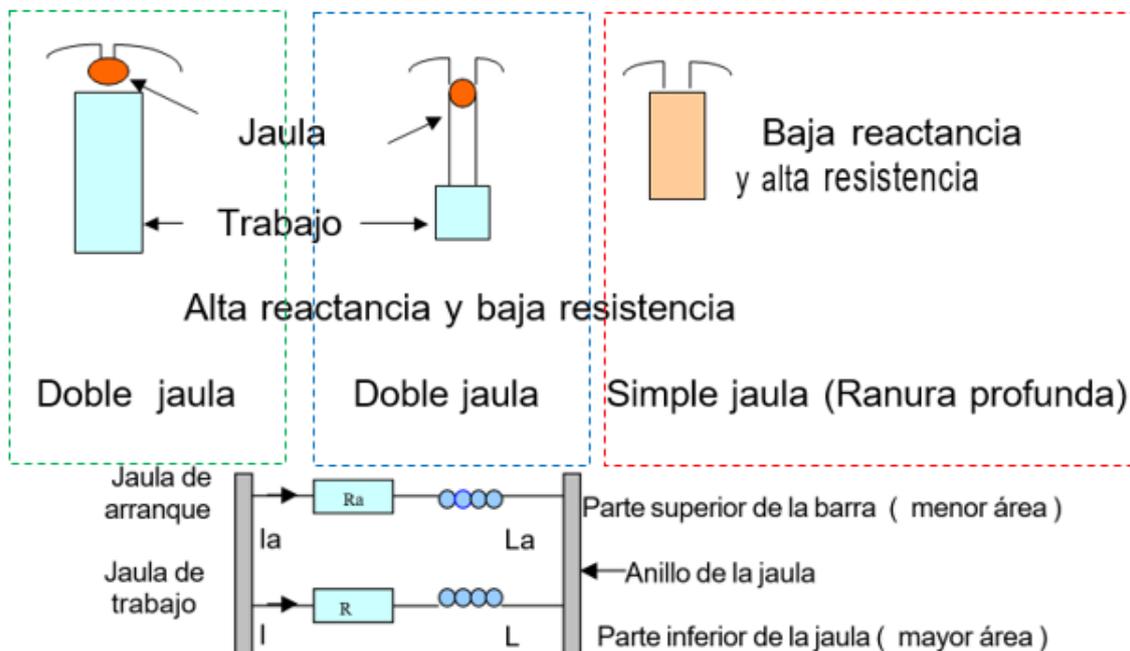


Figura 2.1: Tipos de ranuras en los motores asíncronos trifásicos

las desventajas de la oblicuidad son un voltaje inducido del rotor reducido, una resistencia del rotor incrementada y una reactancia de dispersión del rotor incrementada. Pero estas desventajas se vienen abajo con el mejor funcionamiento en el arranque y una operación más silenciosa.

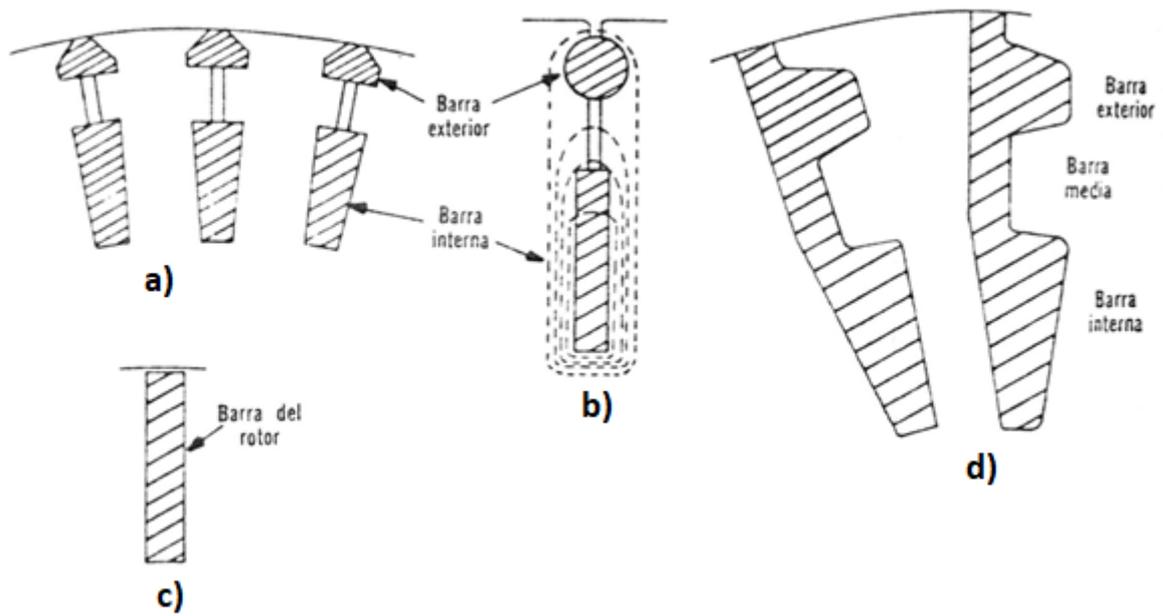


Figura 2.2: Formas de la ranura y barras del rotor. (a), (b) y (c) Rotores con doble jaula. (d) Barra de amortiguamiento del rotor.

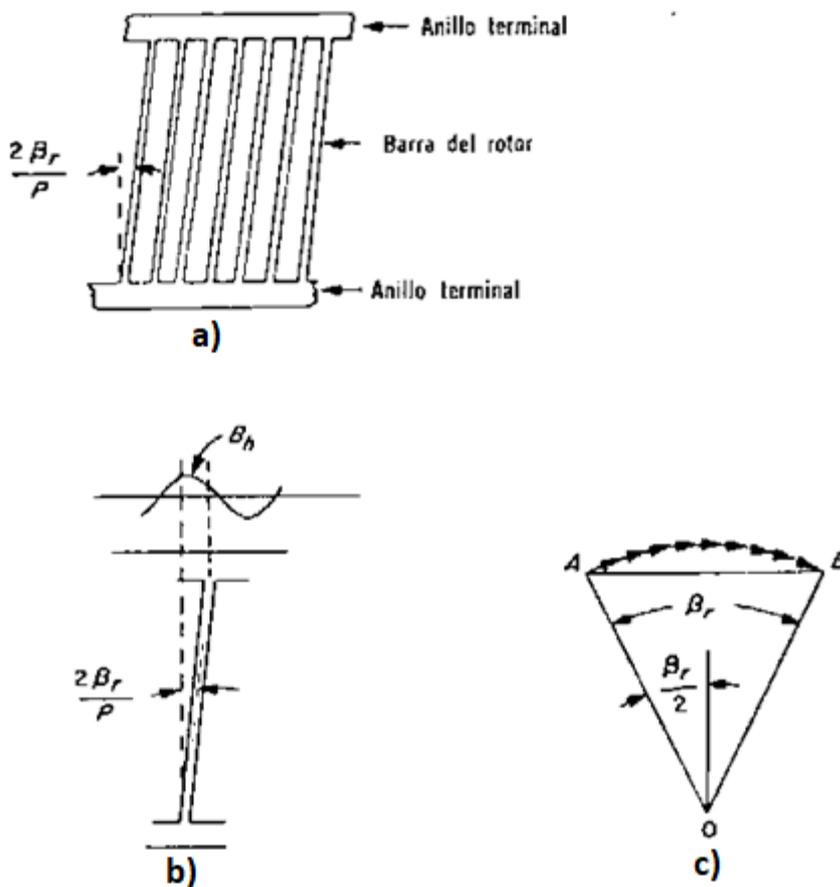


Figura 2.3: a) Barras de rotor oblicuas y anillos terminales, b) Barras de rotor oblicuas en un flujo armónico. c) Diagrama de fasores para el factor de oblicuidad.

2.1.1: Diagrama fasorial del motor de inducción

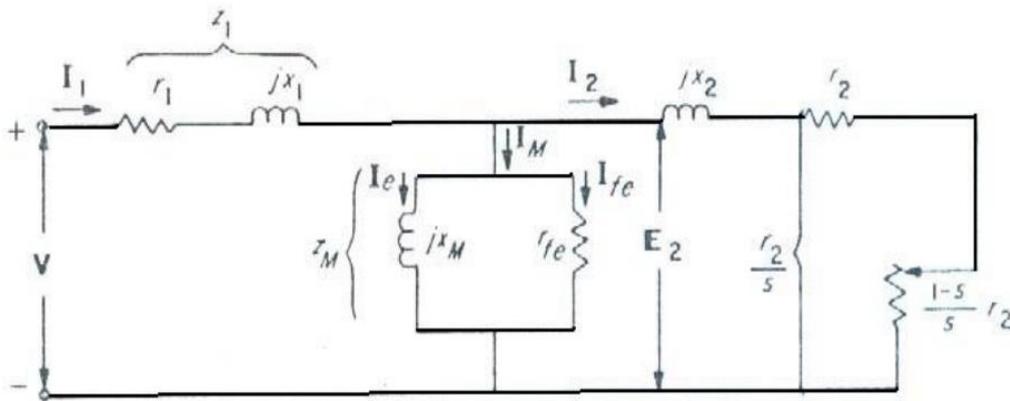


Figura 2.4: Circuito equivalente del motor de inducción

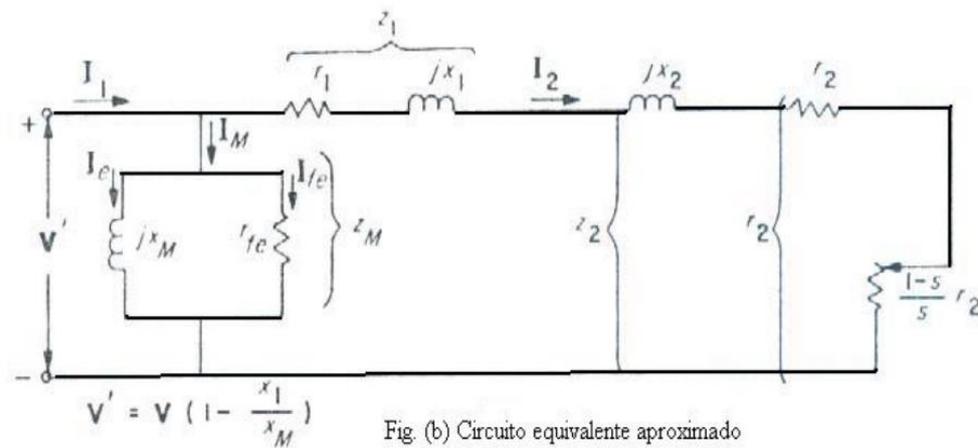


Fig. (b) Circuito equivalente aproximado

Figura 2.5: Circuito equivalente aproximado

Los circuitos equivalentes en Figura 2.4 y Figura 2.5, representan una fase y se aplican a los motores de inducción polifásica con rotores de jaula de ardilla, así como a los motores de inducción polifásica de rotores devanados, ya que todas las cantidades están referidas al embobinado del estator.

El diagrama de favorecer la comprensión del motor de inducción polifásico, debido a características similares a la del transformador. La Figura 2.6, muestra el diagrama de fasores basado en el circuito equivalente en la Figura 2.5.

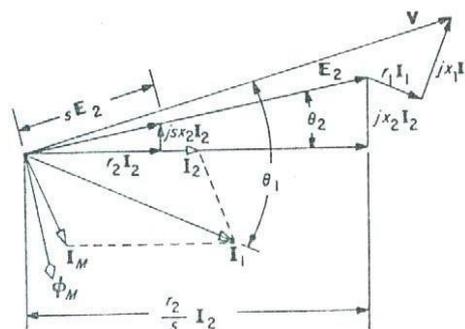


Figura 2.6: Diagrama de fasores de un motor de inducción

El diagrama de fasores facilita la comprensión del motor de inducción trifásico, debido a características similares a la del transformador. La Figura 2.6, muestra el diagrama de fasores basado en el circuito equivalente en la Figura 2.5.

2.2: Análisis del rotor tipo jaula de ardilla

Circunstancias que justifican la utilización de una jaula de arranque:

- Se necesita alto torque en el momento del arranque, para romper la inercia. Condición: Jaula con alta resistencia y baja reactancia. (Jaula de arranque).
- El efecto skin (efecto piel) hace que la corriente alterna siempre tome las superficies del conductor
- La frecuencia rotórica varía desde la frecuencia nominal hasta la frecuencia de trabajo (ver Figura. 2.7).
- Si en el momento del arranque las frecuencias son elevadas, por ejemplo, F_1 (cercano a 60 Hz) entonces en presencia de estas frecuencias sucede que: Predomina $L_a < L$

$$L_a < L \text{ y } R_a > R ; \quad R_a + 2\pi F_1 L_a < R + 2\pi F_1 L ; \quad Z_a < Z$$

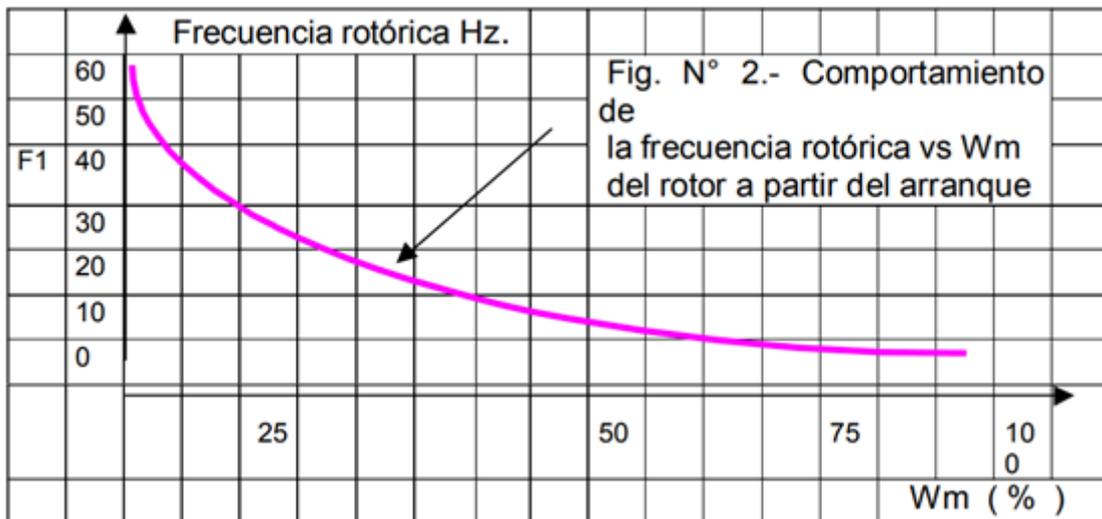


Figura 2.7: Análisis del rotor tipo jaula de ardilla

2.2.1: Comportamiento de la jaula de ardilla

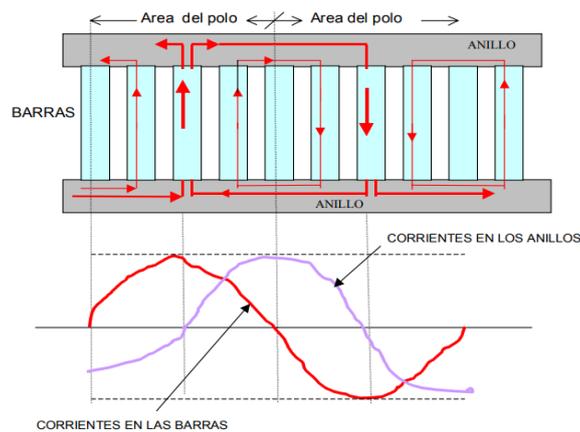


Figura 2.8: Corrientes en la jaula de ardilla del rotor

Las características del motor de jaula de ardilla son bastantes semejantes a las del motor de rotor devanado con sus anillos deslizantes en cortocircuito. Sin embargo, para una construcción dada de un estator de rotor de jaula de ardilla generalmente tiene una resistencia menor que la del rotor devanado en cortocircuito, principalmente debido a la longitud mayor de las conexiones terminales y la resistencia de los anillos deslizantes, las escobillas del rotor muestran una vista desarrollada de las barras de rotor y la caja del rotor para 2 polos de un motor de inducción de jaula de ardilla como una representación que se aplica a los motores multipolares así como a los motores de 2 polos. Los anillos terminales de rotor se omiten en la figura por razones de sencillez. hoy la onda de la densidad del flujo del entre hierro, de la cual solamente se indican la fundamental coma se produce por la resultante de las FEM del rotor y del estator y muestra moviéndose de la izquierda a la derecha en relación al rotor, induciendo FEM en la figura 2.9 b. Las longitudes de las flechas indican los valores instantáneos relativos de las FEM inducidas, siendo la mayor en la barra del rotor que está localizada en un instante en una región donde la densidad del flujo es un máximo dado que la FEM inducida en un conductor recto de longitud l que se muestra a una velocidad u relativa en un campo que tiene una densidad de flujo B uniforme a lo largo de la longitud del conductor.

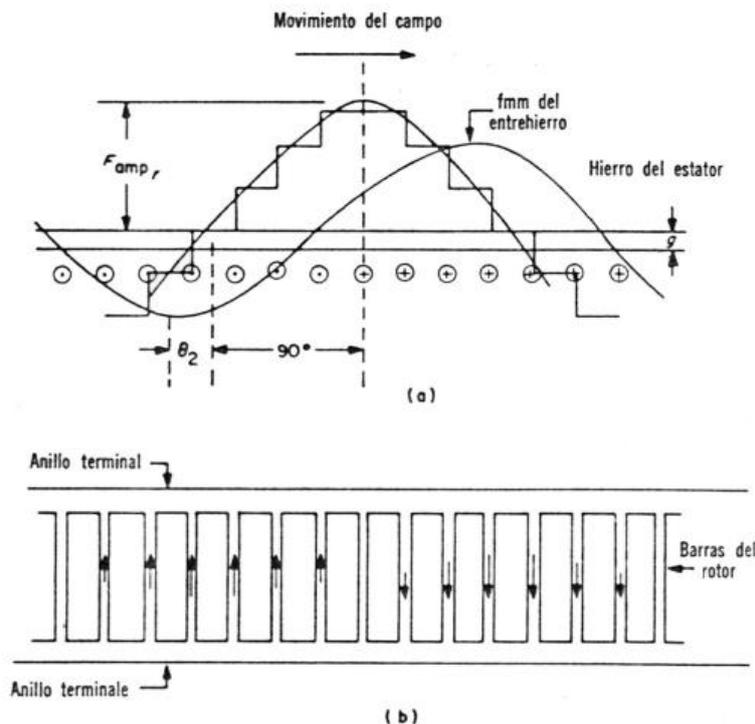


Figura 2.9: (a) Vista de un motor de inducción de jaula de ardilla.

(b) Vista de la jaula de rotor mostrando las direcciones de las corrientes de las barras del rotor con la jaula considerada entre el observador y el estator.

Motor "doble jaula de ardilla"

Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas). Cuando se desarrolló por primera vez el rotor de doble jaula de ardilla se creó tal variedad y adaptabilidad en el diseño de rotores para motores de inducción que ha llevado a diversas características de curva deslizamiento - par. Al dar la proporción correcta al devanado de doble jaula de ardilla, los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño del rotor de vaciado o normal único. Estas variaciones tienen por consecuencia pares de arranque mayores o menores que el diseño normal y también menores corrientes de arranque.

El rotor en estos motores está constituido por dos jaulas, una externa, de menor sección y material de alta resistividad y otra interna de sección mayor y material de baja resistividad. Ambas jaulas están separadas entre sí en cada ranura por medio de una delgada rendija que aumenta el flujo de dispersión en la jaula inferior. De este modo se consigue una jaula exterior de alta resistencia y baja reactancia y una jaula interior de baja resistencia y alta reactancia.

En el arranque la reactancia predomina sobre la resistencia pues F (líneas de fuerza) es grande la corriente fluye en su mayor parte por la jaula exterior (menor reactancia).

A cierta velocidad, las resistencias predominan sobre la reactancia pues F (líneas de fuerza) es muy pequeña la corriente fluye en su mayor parte por la jaula interior (menor resistencia).

Con todo esto se consigue que en el arranque la resistencia sea alta lo que implica alto par de arranque y baja intensidad y a la velocidad nominal como en las resistencias vas a hacer tiene buen rendimiento

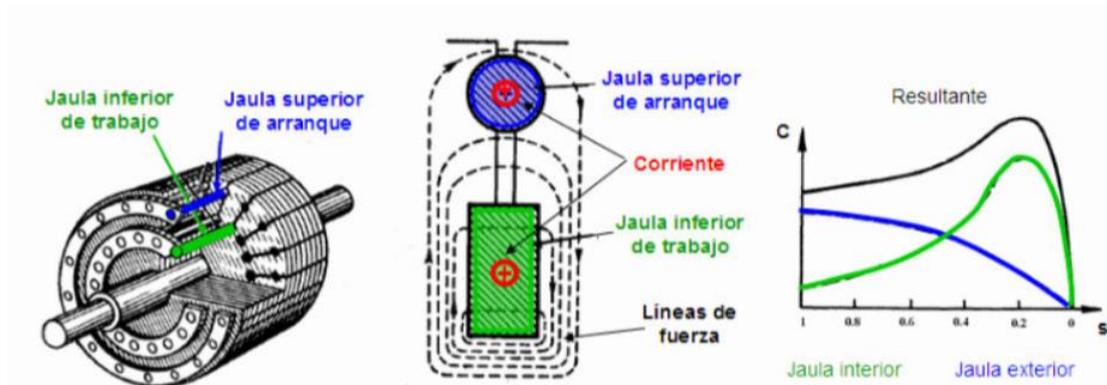


Figura 2.10: Funcionamiento motor doble jaula de ardilla

2.2.2: Máquina de doble jaula

En este tipo de máquina cada ranura de rotor aloja dos barras, una externa de pequeña sección y una interna de sección mucho mayor, realizando así dos jaulas coaxiales. También en este caso todas las barras están conectadas entre ellas en correspondencia de cada cabeza a través de anillos soldados que las ponen permanentemente en cortocircuito. La característica esencial que distingue a una máquina de inducción de los demás motores eléctricos es que las corrientes secundarias son creadas únicamente por inducción. Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra.

Características de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces a plena carga nominal kW)	Corriente de Arranque (HP)	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase Del motor
------------	---	----------------------------	-----------------------------	---------------------------

A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8, 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Tabla 1.1: Características de los motores comerciales de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

Ventajas de los motores Doble Jaula de ardilla frente a otros motores de inducción

- Estos motores pueden arrancar a plena carga porque aumentan su par de arranque y disminuye su corriente de arranque.
- Pueden ser arrancados con tensión reducida en vacío (Sin carga)
- No requieren de elementos extra para su arranque
- Facilidad en su mantenimiento
- De aplicación casi universal a cualquier trabajo

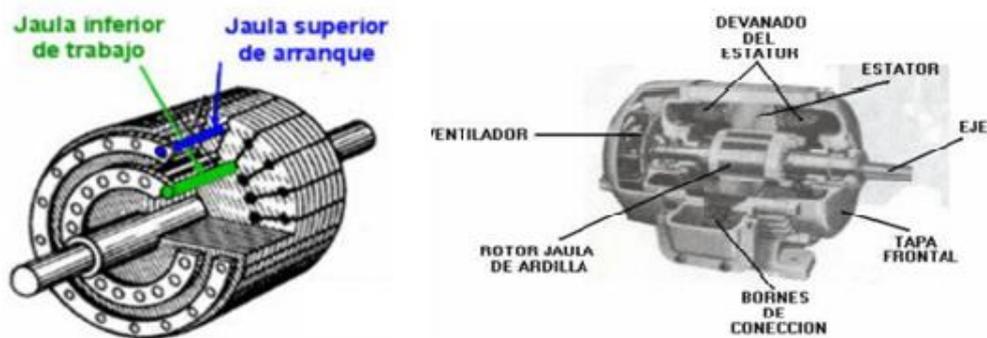


Figura 2.11: Partes del motor de doble jaula de ardilla

Aplicaciones comunes en la industria:

Los motores de la línea monofásica pueden ser clasificados como “Motores de Uso General”; sin embargo pueden ser empleados, sin ningún problema, en aplicaciones específicas como:

- Aplicaciones en ambientes polvosos
- Bombas centrífugas. Compresores.
- Ventiladores
- Bombas de combustible
- A prueba de explosión

- Lavadoras y electrodomésticos en general

Existen varios tipos de estos elementos, pero los que son más usados en la industria; es decir, los rotores para motores asíncronos de corriente alterna son 4.

Rotor de jaula de ardilla simple: Este tipo de rotor es el usado para motores pequeños, en cuyo arranque la intensidad nominal supera 6 ó 8 veces a la intensidad nominal del motor. Soporta mal los picos de cargas. Está siendo sustituido por los rotores de jaula de ardilla doble en motores de potencia media. Su par de arranque no supera el 140 % del normal.

Rotor con ranura profunda: Es una variante del rotor de jaula de ardilla simple, pero se le denomina rotor de ranura profunda. Sus características vienen a ser iguales a la del rotor de jaula simple. Es usado para motores de baja potencia que necesitan realizar continuos arranques y paradas.

Rotor de jaula de ardilla doble: La ranura es doble, por este motivo tiene el nombre de jaula de ardilla doble. Las dos ranuras están separadas físicamente,

Este tipo de rotor tiene una intensidad de arranque de 3 ó 5 veces la intensidad nominal, y su par de arranque puede ser de 230 % la normal. Estas características hacen que este tipo de rotor sea muy interesante frente al rotor de jaula de ardilla simple. Es el más empleado en la actualidad, soporta bien las sobrecargas sin necesidad de disminuir la velocidad, lo cual le otorga mejor estabilidad.

Rotor de anillos rozantes: Se denominan rotores de anillos rozantes porque cada extremo del bobinado está conectado con un anillo situado en el eje del rotor. Las fases del bobinado salen por medio de unas escobillas que rozan en los anillos. Conectando unas resistencias externas a las escobillas se consigue aumentar la resistencia rotórica, de esta forma, se logra variar el par de arranque, que puede ser, dependiendo de dichas resistencias externas, del 150 % y el 250 % del par normal. La intensidad nominal no supera las 2 veces la intensidad nominal del motor.

2.2.3: Clasificación constructiva de los motores de acuerdo con las normas NEMA:

- 1) SCIM clase A. Normal o standard.

Fabricado para utilizar a velocidad constante, tiene secciones de grandes ranuras y barras en el rotor con ranuras muy profundas.

- Periodo de arranque: Densidad de corriente elevada cerca de la superficie de rotor.
- Periodo de marcha: Densidad de corriente se distribuye uniformemente.

Gracias a las variaciones en los periodos, se obtiene una resistencia elevada y una reactancia reducida en el arranque, obteniendo un par entre 1.5 a 1.75 veces el par en

el arranque, lo cual es bastante elevado y con la poca resistencia se origina una aceleración bastante rápida hasta la velocidad nominal. A pesar de ello este tipo de motor tiene la mejor regulación de velocidad, pero su corriente de arranque varía entre 5 a 7 veces la nominal haciéndolo menos apropiado para arranque directo.

También está la posibilidad de tener arranques con conexión directa a la red, usando tamaños inferiores a 5 hp, pues la aceleración no produce efectos de corrientes extremadamente elevadas.

2) SCIM clase B.

Es un motor de aplicación general, donde su rotor está embebido más profundamente en ranuras y esta profundidad aumenta la reactancia de arranque y de marcha del rotor. El aumento de reactancia reduce el par de arranque un poco, y también reduce la corriente de arranque. Las corrientes de arranque oscilan de 4.5 a 5 veces la corriente nominal para motores menores de 5 hp, para mayores aún se utiliza el arranque a tensión reducida. Es por lo que este tipo de motores son más utilizados cuando son mayores a 5 hp.

3) SCIM clase C.

Es un motor con un rotor de doble jaula. El cual desarrolla un mayor par de arranque, de 2 a 2.5 veces el par nominal de las anteriores clases, y una corriente de arranque de 3.5 a 5 veces inferior a la corriente nominal. Gracias a su alto par de arranque acelera rápidamente, pero con cargas fuertes de gran inercia, la disipación térmica del motor es limitada pues la mayoría de la corriente se concentra en el devanado superior. En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiende a sobrecalentarse, por ello para grandes cargas súbitas es más apropiado, pero con poca inercia. Entre las clases anteriormente mencionadas es el peor en cuestión de regulación de velocidad.

4) SCIM clase D.

Es conocido por ser un motor de par elevado y gran resistencia. Las barras del rotor son construidas con una aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cerca de la superficie o están embebidas en ranuras de pequeño diámetro. La relación entre la resistencia y la reactancia del rotor en el arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores. El par de arranque es 3 veces el par nominal, con una corriente de arranque de 3 a 8 veces la nominal. Este motor es utilizado para servicio de arranque pesado, sin embargo, no para arranques frecuentes pues la disipación de calor es deficiente, así como la reducida sección transversal. Es por ello que es utilizado para sierras, así como prensas de punzonado que requieren un par superior al de carga súbita. Su regulación de velocidad es la peor de todas.

5) SCIM clase F.

Es conocido como motor de par reducido de rotor de doble jaula. Es un motor de corriente de arranque reducida ya que requiere la menor corriente de arranque de todas las clases. Presente una resistencia rotórica muy elevada en el devanado de arranque, así como en el de marcha que tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, así como las corrientes de las mismas. Produce pares de arranque de alrededor de 1.25 veces el par nominal y corrientes de arranque reducidas de dos a cuatro veces la corriente nominal. Estos se fabrican en tamaños superiores a 25 hp para conexión directa a la red. Estos tienen una regulación de velocidad peor que la clase B, pequeña capacidad de sobrecarga, y ordinariamente, bajo rendimiento de funcionamiento.

2.2.4: Tipos de envoltentes o carcasas de motores eléctricos acuerdo a normativa NEMA

NEMA 0: Carcasa abierta envolvente que tiene agujeros de ventilación que permiten el flujo de aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los devanados de la máquina.

NEMA 1: Carcasa para propósito general. Envolvente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes giratorias.

NEMA 2: Carcasa a prueba de salpicaduras. Envolvente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no mayor de 100° con la vertical no puedan entrar en forma directa o por choque de flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

NEMA 2B: Carcasa a prueba de goteo envolvente abierta en que las aberturas de ventilación se construyen de tal modo que si caen partículas sólidas o gotas de líquido a cualquier ángulo no mayor de 15° con la vertical no pueda entrar ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.

NEMA 3: Carcasa totalmente cerrada envolvente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficiente mente cerrada para poderla considerar hermética al aire.

NEMA 3R: Carcasa protegida al temporal. Envolvente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire, y el acceso de estas en las partes eléctricas.

2.3: Especificaciones técnicas de motores de inducción trifásicos jaula de ardilla comerciales (NEMA)

En el siglo XX en Norteamérica el año 1926, se creó un estándar para la industria de los motores denominado NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) el cual tenía como objetivo brindar una estandarización de equipos eléctricos lo cual permite al consumidor adquirir un equipo más fiable y compatible, hasta el día de ahora NEMA sigue publicando estándares en defensa de la industria.

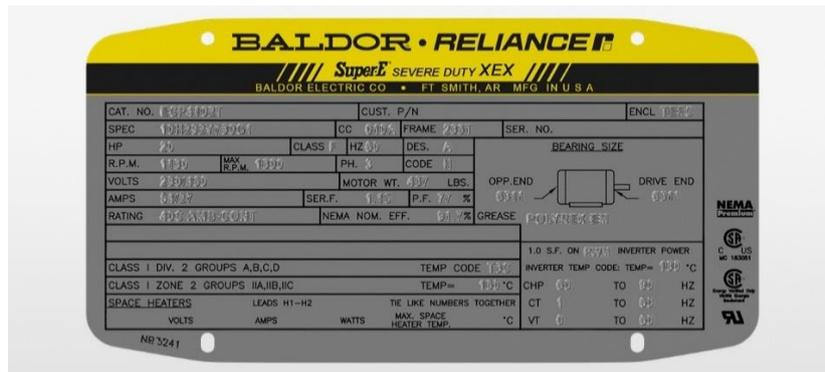


Figura 2.12: Placa de motor estándar NEMA

Los diferentes fabricantes deben cumplir las normas y parámetros que exige NEMA, ya que se debe asegurar que estén identificados en el caso de realizar intercambios, la manera más segura de lograr esto es mediante la información de placa la cual está conformada por diferentes características.

La placa de motor facilita reconocer de primera mano información del mismo como el diseño mecánico, dimensiones, eficiencia, alimentación. NEMA exige a los fabricantes que incluyan información específica, pero es opcional agregar más información como tiempos sugeridos entre mantenimientos o tipo de instalación, la placa está hecha de aluminio o de acero en algunas ocasiones, esta viene grabada para que la información perdure mientras tenga vida útil el motor.

La Figura 2.13 consiste en la placa de datos estándar NEMA de un motor trifásico marca Baldor

La información requerida para el estándar NEMA incluye ciertos aspectos como:

1-Fabricante: En este campo además de poner el nombre del fabricante, se puede colocar el modelo, dado que no existe diseño definido

2-Clases y grupos de ubicaciones peligrosas: este campo hace referencia a los entornos y sustancias químicas peligrosas tales como gases, combustibles o inflamables que puedan provocar un incendio o explosión, su clasificación viene dada por clase y por grupo

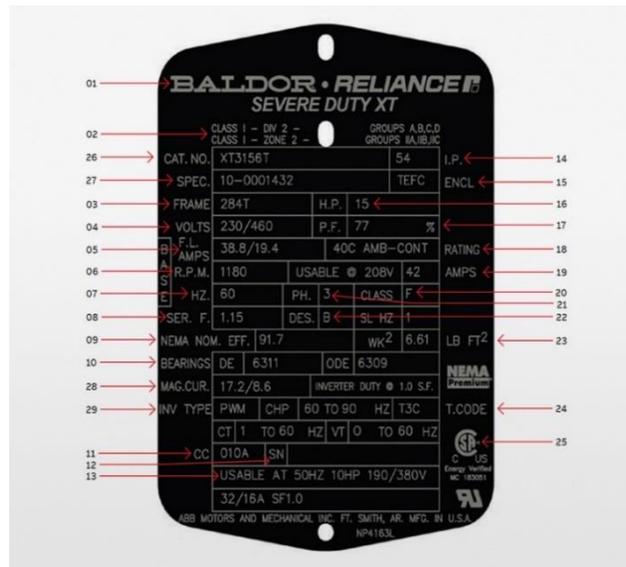


Figura 2.13: Placa de motor Baldor

3-Frame: para este caso NEMA toma en cuenta las interfaces de montaje y no solo hace referencia al diámetro del motor, Es un código alfanumérico que indica las dimensiones de la carcasa/bastidor y de montaje del motor. En este caso el frame size está dado en pulgadas para la norma NEMA y en milímetros para norma IEC, el frame IEC indica directamente la dimensión en milímetros (mm) medida desde la base del motor hasta el centro del eje. Esta dimensión se denomina "H". Un motor de frame 160L tendrá 160mm de altura del eje. Los sufijos S, M y L indican la longitud de los agujeros de anclaje (dimensión "B"): pequeño, mediano y largo, respectivamente.

En el frame NEMA, la altura del eje se denomina "dimensión D". Se obtiene dividiendo los dos primeros dígitos del frame entre cuatro (4). Un motor de frame NEMA 284T, tendrá una altura del eje de: $28/4 = 7$ pulgadas. El tercer y cuarto dígito indica la longitud entre los agujeros de anclaje del motor o dimensión "2F". El sufijo "T" indica que es un motor de la última revisión de NEMA.

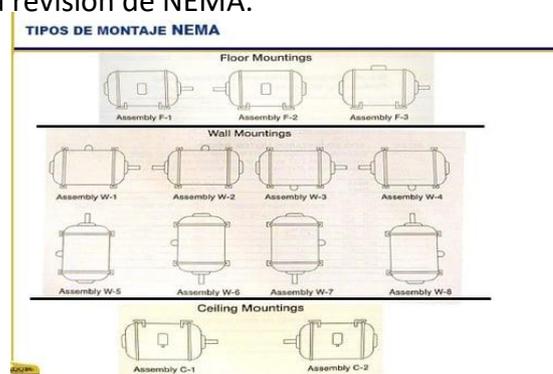


Figura 2.14: Tipos de montaje NEMA

En el frame NEMA, la altura del eje se denomina "Dimensión D". Se obtiene dividiendo los dos primeros dígitos del frame entre cuatro (4). Un motor de frame NEMA 284T, tendrá una altura del eje de: $28/4 = 7$ pulgadas. El tercer y cuarto dígito indica la longitud entre los agujeros de anclaje del motor o dimensión "2F". El sufijo "T" indica que es un motor de la última revisión de NEMA.

NEMA Frame	D	E	2F	H	N	O	P	U	V	AA	AB	AH	AJ	AK	BA	BB	BD	XO	TAP
42	2-5/8	1-3/4	1-11/16	9/32 Slot	1-1/2	5	4-11/16	3/8	1-1/8	3/8	4-1/32	1-5/16	3-3/4	3	2-1/16	1/8	4-5/8	1-9/16	1/4-20
48	3	2-1/8	2-3/4	11/32 Slot	1-7/8	5-7/8	5-11/16	1/2	1-1/2	1/2	4-3/8	1-11/16	3-3/4	3	2-1/2	1/8	5-5/8	2-1/4	1/4-20
56 56H	3-1/2	2-7/16	3 5	11/32 Slot	2-7/16 2-1/8	6-7/8	6-5/8	5/8	1-7/8	1/2	5	2-1/16	5-7/8	4-1/2	2-3/4	1/8	6-1/2	2-1/4	3/8-16
143T 145T	3-1/2	2-3/4	4 5	11/32	2-1/2	6-7/8	6-5/8	7/8	2-1/4	3/4	5-1/4	2-1/8	5-7/8	4-1/2	2-1/4	1/8	6-1/2	2-1/4	3/8-16
182			4-1/2		2-11/16			7/8	2-1/4			2-1/8	5-7/8	4-1/2		1/8	6-1/2		3/8-16
184			5-1/2		2-11/16			7/8	2-1/4			2-1/8	5-7/8	4-1/2		1/8	6-1/2		3/8-16
182T	4-1/2	3-3/4	4-1/2	13/32	3-9/16	8-11/16	7-7/8	1-1/8	2-3/4	3/4	5-7/8	2-5/8	7-1/4	8-1/2	2-3/4	1/4	9	2-3/8	1/2-13
184T			5-1/2		3-9/16			1-1/8	2-3/4			2-5/8	7-1/4	8-1/2		1/4	9		1/2-13
213			5-1/2		3-1/2			1-1/8	3			2-3/4							
215	5-1/4	4-1/4	7	13/32	3-1/2	10-1/4	9-9/16	1-1/8	3	1	7-3/8	3-1/8	7-1/4	8-1/2	3-1/2	1/4	9	2-3/4	1/2-13
213T			5-1/2		3-7/8			1-3/8	3-3/8			3-1/8							
215T			7		3-7/8			1-3/8	3-3/8			3-1/8							
254U			8-1/4		4-1/16			1-3/8	3-3/4			3-1/2							
256U	6-1/4	5	10	17/32	4-1/16	12-7/8	12-15/16	1-3/8	3-3/4	1	9-5/8	3-1/2	7-1/4	8-1/2	4-1/4	1/4	10		1/2-13
254T			8-1/4		4-5/16			1-5/8	4			3-3/4							
256T			10		4-5/16			1-5/8	4			3-3/4							
284U			9-1/2		5-1/8			1-5/8	4-7/8			4-5/8							
286U			11		5-1/8			1-5/8	4-7/8			4-5/8							
284T	7	5-1/2	9-1/2	17/32	4-7/8	14-5/8	14-5/8	1-7/8	4-5/8	1-1/2	13-1/8	4-3/8	9	10-1/2	4-3/4	1/4	11-1/4		1/2-13
286T			11		4-7/8			1-7/8	4-5/8			4-3/8							
284TS			9-1/2		3-3/8			1-5/8	3-1/4			3							
286TS			11		3-3/8			1-5/8	3-1/4			3							
324U			10-1/2		5-7/8			1-7/8	5-5/8			5-3/8							
326U			12		5-7/8			1-7/8	5-5/8			5-3/8							
324T	8	6-1/4	10-1/2	21/32	5-1/2	16-1/2	16-1/2	2-1/8	5-1/4	2	14-1/8	5	11	12-1/2	5-1/4	1/4	13-3/8		5/8-11
326T			12		5-1/2			2-1/8	5-1/4			5							
324TS			10-1/2		3-15/16			1-7/8	3-3/4			3-1/2							
326TS			12		3-15/16			1-7/8	3-3/4			3-1/2							
354U			11-1/4		6-3/4			2-1/8	6-3/8			18	6-1/8						
356U			12-1/4		6-3/4			2-1/8	6-3/8			18	6-1/8						
364T	9	7	11-1/4	21/32	6-1/4	18-1/2	19-1/2	2-3/8	5-7/8	3	18-1/16	5-5/8	11	12-1/2	5-7/8	1/4	13-3/8		5/8-11
364TS			12-1/4		6-1/4			2-3/8	5-7/8			5-5/8							
364TS			11-1/4		4			1-7/8	3-3/4			18-1/16	3-1/2						
365TS			12-1/4		4			1-7/8	3-3/4			18-1/16	3-1/2						
404U			12-1/4		7-3/16			2-3/8	7-1/8			19-1/4	6-7/8						
405U			13-3/4		7-3/16			2-3/8	7-1/8			19-1/4	6-7/8						
404T	10	8	12-1/4	13/16	7-5/16	21-5/16	22-1/2	2-7/8	7-1/4	3	19-5/16	7	11	12-1/2	6-5/8	1/4	13-7/8		5/8-11
405T			13-3/4		7-5/16			2-7/8	7-1/4			19-5/16	7						
404TS			12-1/4		4-1/2			2-1/8	4-1/4			19-5/16	4						
405TS			13-3/4		4-1/2			2-1/8	4-1/4			19-5/16	4						
444U			14-1/2		8-5/8	24.24	27.57	2-7/8	8-5/8	3	22.68	8-3/8							
445U			16-1/2		8-5/8	24.24	27.57	2-7/8	8-5/8	3	22.68	8-3/8							
444T			14-1/2		8-9/16	24.24	27.57	3-3/8	8-3/8	4	22.68	8-1/4							
445T			16-1/2		8-9/16	24.24	27.57	3-3/8	8-3/8	4	22.68	8-1/4							
447T			20		8-9/16	24.24	27.57	2-7/8	8-3/8	4	23.86	8-1/4							
449T		9	25	13/16	8-9/16	24.24	27.57	3-3/8	8-1/2	4	23.86	8-1/4	14	16	7-1/2	1/4	16-3/4		5/8-11
444TS			14-1/2		4-13/16	24.24	27.57	2-3/8	4-5/8	4	22.68	4-1/2							
445TS			16-1/2		4-13/16	24.24	27.57	2-3/8	4-5/8	4	22.68	4-1/2							
447TS			20		4-13/16	24.24	27.57	2-3/8	4-5/8	4	23.86	4-1/2							
449TS			25		4-13/16	24.24	27.57	2-3/8	4-3/4	4	23.86	4-1/2							

Figura 2.15: Tabla de referencia de frame para norma NEMA

4-Voltaje Nominal: este valor nos indica el voltaje ideal al cual debe ser alimentado dado que en ese punto lograra una excelente eficiencia, aunque hay una tolerancia a la cual puede alimentarse que es de más o menos el 10% si este valor pasa o disminuye se verá reflejado en el comportamiento del motor.

5-Corriente nominal: son los amperios que el motor estará consumiendo a plena carga, cuando el voltaje y la corriente están en su valor nominal

6-Velocidad nominal RPM: Esta velocidad es a la que funciona con el voltaje y frecuencia de placa, es importante recalcar que el rango de velocidad síncrona se encuentra entre los 96%-98% en los motores de inducción

7-Frecuencia: Este valor viene dado en Hz y es el número de ciclos por segundos a la que opera el motor con valores nominales de voltaje y corriente, existen dos frecuencias a la que puede operar un motor ya sea 50 Hz como en ciertos países europeos o también como en El Salvador que se utilizan una frecuencia de 60 Hz.

8-Factor de servicio (SF): El factor de servicio es el valor al cuál el motor puede trabajar en sobrecarga de una manera continua, siempre y cuando el voltaje y la corriente que están en placa sean las mismas, este factor es un límite el cual no debe sobre pasarse dado que operar a una potencia nominal mayor al que establece el SF se provocaría una vida útil más corta para el motor

9-Eficiencia (NEMA NOM.EFF): La eficiencia es la razón entre la potencia de entrada con respecto a la potencia de salida multiplicada por 100%. Las pérdidas por calentamiento representan una disminución en la eficiencia en su mayoría son bajas, aunque se intenta que sean lo más pequeñas posibles, ya que se desea obtener que la mayoría de energía eléctrica se convierta en energía mecánica para aprovecharla al máximo.

10-Cojinetes (DE Y ODE): Estos cojinetes están ubicados en lados opuestos dado que el cojinete DE se encuentra del lado del eje impulsor y el ODE está al lado opuesto a la transmisión. El número hace referencia al tamaño de rodamiento.

11-Número de cumplimiento certificado (CC): Este número se les otorga a aquellos motores que cumplen con las especificaciones más exigentes en rendimiento denominada NEMA PREMIUN, que se traduce a una eficiencia de motor y bajo consumo.

12-Número de serie: Este es asignado y lleva información como, año, mes, día, ubicación, motor.

13-Datos adicionales: En este caso se pone puede colocar que ciertos motores trabajan a 50 Hz. (por lo general en países europeos).

14-Clasificación de protección internacional: Esta clasificación menciona los grados de protección a objetos sólidos que posee el motor por ejemplo partes del cuerpo, polvo o agua.

En la Tabla 2.1, se observa el primer dígito de clasificación de protección que muestra la protección contra objetos sólidos. En la Tabla 2.2, se muestra el segundo dígito de clasificación la protección adentro del gabinete (en el caso de que haya entrado líquido).

Primer número de IP contra objetos extraños solidos	
0	sin protección especial
1	protección contra objetos solidos arribas de 50 mm, por ejemplo, la mano de una persona
2	protección contra objetos solidos arribas de 12 mm, por ejemplo: dedos de personas

3	protección contra objetos solidos arriba de 2.5 mm (alambre y herramientas)
4	protección contra objetos arriba de 1 mm (herramientas, alambres y alambres pequeños)
5	protección contra el ingreso limitado de polvo
6	protección total contra el polvo

Tabla 2.1: Primer digito IP protección contra sólidos NEMA

Segundo número de IP contra líquidos	
0	sin protección
1	protección contra líquidos que caen verticalmente, por ejemplo: condensación
2	protección contra chorros directos arriba de los 15° desde la vertical
3	protección contra chorros directos arriba de los 60° respecto a la vertical
4	protección contra chorros directos desde cualquier dirección-ingreso permitido limitado
5	protección contra chorros de agua a baja presión desde cualquier dirección-ingreso limitado
6	protección contra inundaciones temporales de agua por ejemplo para usos de cubiertas en barcos - ingreso permitido limitado
7	protección contra efectos de inmersión entre 15 cm y un 1 metro
8	protección contra largos periodos de inmersión bajo presión

Tabla 2.2: Segundo digito IP protección contra agua NEMA

15-tipo de envoltente: la carcasa es clave ya que protegerá las partes internas del motor como devanados y cojinetes existen diferentes tipos de carcasas según la norma NEMA, dentro de las más comunes tenemos:

- ODP: A prueba de goteo abierto



Figura 2.16: Motor con carcasa ODP

Este tipo de motor se utiliza normalmente en lugares secos o interiores, el aire circula a través de los devanados, y la envolvente protege de gotas que quieran entrar al motor a un ángulo de 15° sexagesimales respecto a la vertical

- TEFC: Enfriado por ventilador totalmente cerrado



Figura 2.17: Motor con carcasa tipo TEFC

Esta carcasa no permite el intercambio de aire entre el exterior y el marco, no se logra la hermeticidad al 100%, en el eje del motor está el ventilador que contribuye al enfriamiento en conjunto con el bastidor estriado, la aplicación de este tipo de carcasa es práctica y de los más usados como, por ejemplo: compresores, ventiladores y bombas.

- TENV: Totalmente Cerrado no ventilado



Figura 2.18: Motor con carcasa tipo TENV

No tiene ventilador de refrigeración y se basa en la convención de refrigeración. No hay aberturas de ventilación, bien cerradas para evitar el libre intercambio de aire, pero no hermético.

Son adecuados para usos expuestos a suciedad o humedad, pero no muy húmedos o peligrosos (explosivos).

- TEAO: Aire Totalmente Cerrado



Figura 2.19: Motor con carcasa tipo TEAO

Ventiladores a prueba de polvo y motores de ventilación diseñados para ventiladores montados en el eje o ventiladores accionados por correa. El motor debe montarse dentro del flujo de aire del ventilador.

- TEWD: Lavado totalmente cerrado



Figura 2.20: Motor con carcasa tipo TEWD

Este tipo de motores posee una envolvente que soporta agua a alta presión, ambientes húmedos, disponible en cajas TEAO, TEFC y ENV totalmente cerradas, hostiles y ambientales severas. La aplicación es para procesos farmacéuticos, procesamiento de alimentos, diseñado para ambientes húmedos y están expuesto a lugares químicos, pero no peligrosos.

- TEBC: Enfriado por soplador totalmente cerrado

Se utilizan en aplicaciones que requieran un par nominal completo a velocidad cero utilizando controles de bucle cerrado o abierto, dentro de las aplicaciones más típicas se tiene extrusoras, bobinadoras, líneas de proceso, grúas y montacargas.

En la Figura 2.21 se muestra la estructura de un motor enfriado por soplador totalmente cerrado.



Figura 2.21: Motor con envolvente tipo TEBC

- XPFC: Refrigerado por ventilador a prueba de explosiones

Este tipo de motores puede ser colocado en cualquier lugar soporta ambientes húmedos y químicos y químicos peligrosos donde pueda ocurrir algún tipo de explosión, tales como atmósferas que contienen gases o polvos peligrosos. Para un funcionamiento seguro, la temperatura máxima de funcionamiento del motor debe ser inferior a la temperatura de ignición de los gases o vapores circundantes.



Figura 2.22: Motor con envolvente tipo XPFC

16-Potencia nominal: la potencia es el par que entrega el motor a la carga cuando está en su velocidad nominal y se calcula de la siguiente manera.

NEMA define clasificaciones para motores de inducción medianos polifásicos desde ½ hasta 500 hp. Si el requerimiento real de caballos de fuerza de una carga se encuentra entre dos clasificaciones de caballos de fuerza estándar, se debe seleccionar el motor de mayor tamaño.

17-Factor de Potencia: Este valor hace referencia al porcentaje de la relación de potencia activa (W) y potencia aparente (VA).

18-Valor nominal de temperatura ambiente y tiempo (RATING): El valor nominal del motor es la temperatura ambiente el entorno que rodea al motor y el tiempo que puede funcionar a esa temperatura. La temperatura ambiente máxima a la que puede funcionar un motor a veces se indica en la placa de identificación

NEMA considera que 40 °C es la temperatura ambiente máxima predeterminada y continua como la clasificación de tiempo predeterminada a la carga nominal. Los motores diseñados para otras clasificaciones de temperatura y tiempo deben estar de acuerdo entre el fabricante y el usuario.

19-Amperios a voltios indicados: Hay ciertos valores que dependen de la alimentación en este si no se llegase el motor tiene un rango de operación donde puede funcionar, si el campo viene en blanco debe utilizarse al valor nominal requerido.

20-Clase de aislamiento (CLASE): Las clases de aislamiento son expresiones de la tolerancia térmica del devanado del motor, o la capacidad del devanado para sobrevivir a una temperatura de funcionamiento determinada durante una vida determinada. Las clases se designan en orden de capacidades térmicas con las letras A, B, F y H. Cuanto mayor sea la letra del código designado, mayor será la capacidad térmica. Por ejemplo, en base a una temperatura ambiente de 40 °C, el aislamiento de clase B es adecuado para un aumento de resistencia de 80 °C, la clase F es adecuada para un aumento de resistencia de 105 °C y la clase H es adecuada para un aumento de resistencia de 125 °C. El uso de aislamiento clase F o clase H puede aumentar el factor de servicio o la capacidad para soportar condiciones de temperatura ambiente alta. Los sistemas de clase A y B ahora rara vez, si es que alguna vez, se usan en motores industriales.

2.4: Decodificación de la placa de identificación de su motor según IEC

Las normas IEC (comité internacional de electrotécnica) son estándares establecidos que ayudan a poseer información confiable de las características técnicas y fabricante de los motores ya que es vital importancia para la aplicación que deseamos utilizarlo. Esta información se encuentra en la placa de información que trae el motor, la cual se ve de la siguiente manera.

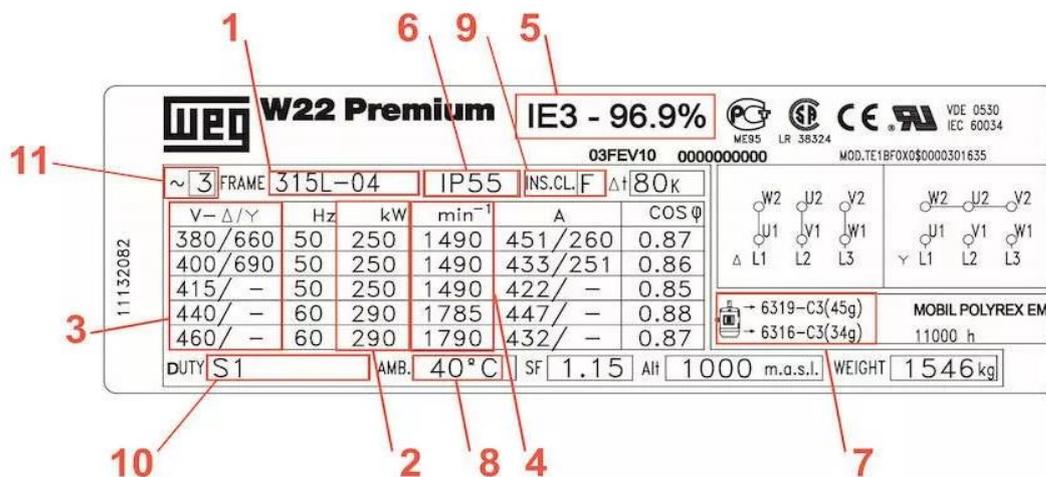


Figura 2.23: Placa de motor según norma NEMA

1-Tamaño de marco: Este valor indica algunas dimensiones, pero en especial la altura que se encuentra del eje hasta la base del motor y va seguido con una letra que define el tamaño que existe entre los pernos delanteros y traseros que sirven como base para la sujeción del mismo, existen 3 tipos de letras S que equivale a un pie pequeño, la letra M que equivale a un pie mediano, y L para un pie grandes con esto se define las dimensiones que hay entre los orificios traseros y delanteros.

2-Potencia: Son los kilovatios o HP (caballos de fuerza) a la que opera el motor.

3-Voltaje: Cuando se muestran más de dos voltajes se da un valor alto para la conexión en estrella y un valor de voltaje bajo para la conexión en delta y se presenta un diagrama que va en la placa.

4-Velocidad/rpm: Es la velocidad máxima que ofrece el motor sin carga, las rpm se pueden ver afectadas por el número de polos por ejemplo un motor que este diseñado con 4 polos tendría una velocidad de 1490 rpm. A medida que las rpm se reducen a la mitad el número de polos se duplicaran.

5-Eficiencia: para este valor se encuentran ciertas clasificaciones en la norma IEC, las cuales son las siguientes:

- IE1 es la eficiencia estándar (estos motores más adelante fueron clasificados como motores IEO por su bajo rendimiento y se fueron reemplazando en el mercado poco a poco)
- IE2 alta eficiencia
- IE3 eficiencia Premium
- IE4 eficiencia altamente Premium

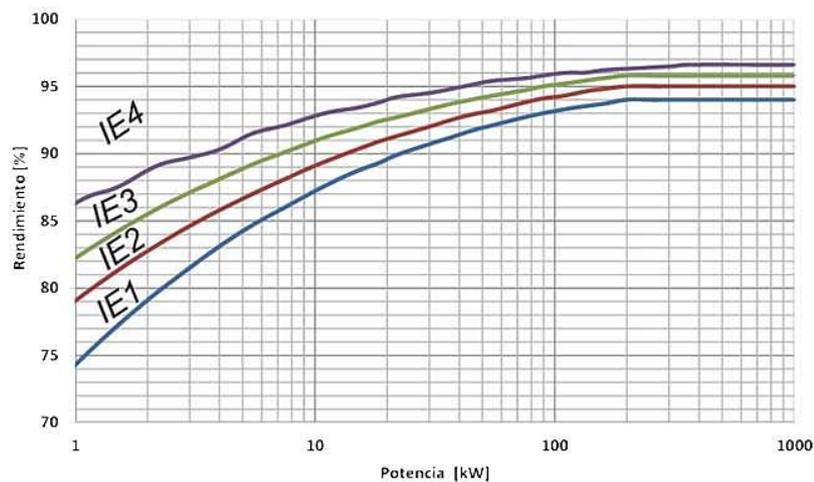


Figura 2.24: Curvas comparativas de eficiencia energética entre motores IEC

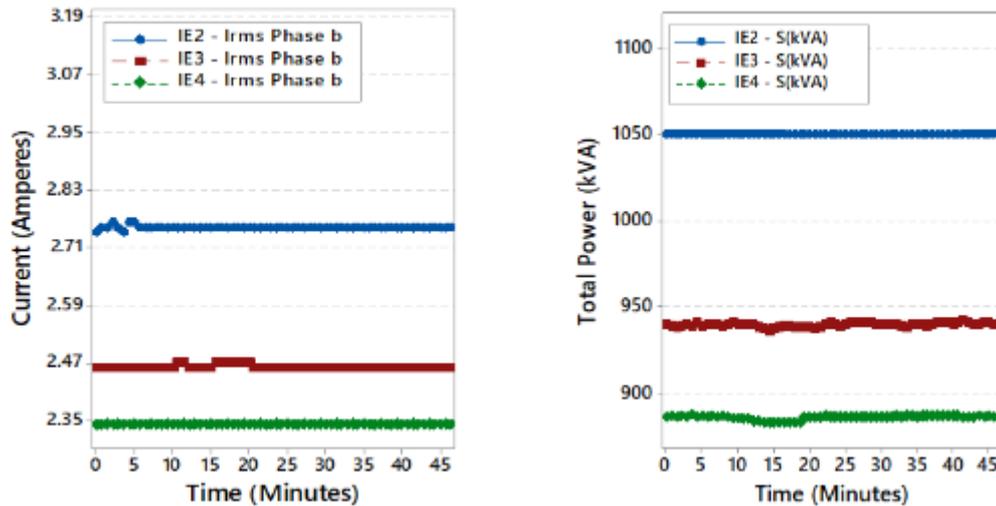


Figura 2.25: Comparativa de potencia útil y consumo de corriente entre IE2, IE3, IE4

Si se comparan las eficiencias de un motor con características IE1 contra un IE4 teniendo un valor de potencia de 4kW, se tiene que un valor alrededor de 80% para el IE1 y de 90% para el IE4 esto representa significativamente una reducción en pérdidas y un ahorro de energía y costo en operación.

6- IP (PROTECCIÓN DE ENTRADA): Es la capacidad que posee un motor para que no entren materiales externos que afecten su funcionamiento, la protección viene acompañada de dos dígitos, la Tabla 2.3 representa la protección contra solidos extraños y la Tabla 2.4 representa la protección contra el agua según la norma IEC 60529.

Primer número de IP contra objetos extraños sólidos	
0	Sin protección especial.
1	Protección contra objetos solidos arribas de 50 mm, por ejemplo, la mano de una persona.
2	Protección contra objetos solidos arribas de 12.5 mm, por ejemplo: dedos de personas.
3	Protección contra objetos solidos arriba de 2.5 mm.
4	Protección contra objetos arriba de 1 mm.
5	Protección contra el ingreso limitado de polvo.
6	Totalmente protegido contra la entrada de polvo.

Tabla 2.3: Primer digito IP contra objetos extraños solidos

Segundo número de IP contra líquidos	
0	Sin protección especial.
1	Protección contra caída vertical de agua desde 200 mm de altura durante 10 minutos.
2	Protección contra caída de gotas, durante 10 minutos con inclinación de 15 ° tanto en sentido vertical como horizontal.
3	Protección contra agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda a un promedio de 11 litros por minuto.
4	Protección contra chorros de agua desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto.
5	Protección contra chorro de agua desde cualquier ángulo a un promedio de 12.5 litros por minuto.
6	Protección contra fuertes de chorros de agua desde cualquier ángulo a un promedio de 100 litros por minuto.
7	Protección contra los efectos de la inmersión completa a 1 metro de profundidad durante 30 minutos.
8	Protección contra la inmersión completa y continua a la profundidad y durante el tiempo que especifique el fabricante del producto, con condiciones más severas que el valor 7.

Tabla 2.4: Segundo dígito IP contra líquidos

7-Cojinetes: se coloca la información de los tipos de cojinetes delanteros y traseros que usa el motor, así como el peso de los mismos.

8-Temperatura: es el valor a temperatura ambiente al que puede operar el motor.

9-Tipo de aislamiento: En las placas según norma IEC se pone la clase de aislamiento en los devanados del motor, esto es de suma importancia ya que en muchas ocasiones es necesario mandar a rebobinar y tener un parámetro para mantener o igualar la eficiencia de este.

10-Duty cycle: es el ciclo de trabajo al que este diseñado por ejemplo un motor con un DUTY tipo S1 es un motor capaz de trabajar las 24 horas del día, todos los días, los 365 días del año, S1 es un servicio continuo que posee ciertas ventajas

que incluye la eficiencia, confiabilidad y simplicidad. Diez clasificaciones de ciclo de trabajo cubren ejemplos como uso a corto plazo, servicio intermitente, carga variable. Y el número después del símbolo.

11- N° de fase: Indica el número de fases con la que deber alimentado el motor, ya que puede ser monofásico.

Capítulo 3: Normativas de eficiencia.

3.1: Normativas internacionales sobre desempeño y eficiencia

En este subcapítulo se mostrarán extractos de normativas internacionales referentes a eficiencia de motores eléctricos, con el objetivo de tener un mayor marco de referencia sobre los apartados relacionados al desempeño y eficiencia de motores, las diferencias y similitudes de estas normativas con el RTS 29.01.01:15.

Según el capítulo 1 de este trabajo, se establece que la eficiencia es la razón entre la potencia de entrada con respecto a la potencia de salida multiplicada por 100%, a partir de tal definición se encuentran, dentro de algunas normativas, artículos referentes a esta temática. Las normativas que serán citadas son aplicadas ampliamente por los fabricantes de motores para el cumplimiento de estándares internacionales de calidad, algunas de las cuales se presentan a continuación:

Normas IEC: La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), mayormente conocida por sus siglas en inglés IEC (International Electrotechnical Commission), es una organización de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Junto a otras, las normativas de la IEC son un elemento clave para el comercio internacional de productos y servicios relacionados con esas tecnologías, ya que permiten reducir barreras técnicas al ser adoptadas en los países que producen y/o que importan esos productos y servicios. Igualmente, el sistema de evaluación de la conformidad de la IEC permite el funcionamiento de un sistema internacional de laboratorios de prueba que respaldan el cumplimiento de esas normas. Según la IEC, para la elaboración de sus distintas normativas Participan cerca de 20 mil expertos de una gama de empresas de la industria y el comercio, como también del gobierno, laboratorios de pruebas y de investigación, de la academia y grupos de consumidores.

En el área que compete a este trabajo de investigación, que es la eficiencia de motores eléctricos trifásicos, identificamos las siguientes normativas con procedimientos aplicables u homologables al RTS 29.01.01:15:

3.1.1: IEC 60034

La normativa IEC 60034 tiene como título “Maquinas eléctricas rotativas”, esta normativa se divide en dos partes, la numero 1 se titula “Desempeño y eficiencia”, en esta primera parte se tratan aspectos generales sobre la clasificación de las maquinas eléctricas según sus condiciones de operación, según las condiciones del sitio donde operan, las condiciones eléctricas de operación entre otros parámetros. La parte número 2, (definida a partir de acá como IEC 60034-2) tiene como título “Métodos estandarizados para determinar pérdidas y eficiencia a partir de pruebas”, como su nombre lo dice, este documento es una guía de las pruebas y las condiciones bajo las cuales se deben realizar dichas pruebas para determinar las pérdidas del motor y por lo

tanto, su eficiencia. El documento de la normativa empieza describiendo su alcance de aplicación para luego especificar algunas definiciones técnicas.

La segunda parte de la normativa IEC 60034-2, como se mencionó anteriormente, habla sobre las pruebas para determinar la eficiencia, esto apegado a el RTS 29.01.15.15 ya que la mayor parte del contenido de este último documento en mención también trata sobre las pruebas a realizar para determinar la eficiencia.

A continuación, se desglosarán algunos capítulos de la IEC 60034-2 y posteriormente se hará un breve análisis de las diferencias y similitudes que hay con el RTS 29.01.15.15.

Es importante hacer hincapié que las normativas de la IEC 60034 engloban a maquinas eléctricas (motores y generadores) tanto de corriente continua, como de corriente alterna, síncronas y asíncronas. Por lo que se hará referencia a las partes donde se traten motores de corriente alterna asíncronos polifásicos

Los capítulos 1, 2, 3 y 4 contienen definiciones de términos, símbolos y abreviaturas que serán usados en los capítulos posteriores de esta parte de la normativa IEC 60034-2, dado lo anteriormente expresado, no se hará un mayor análisis de dichos capítulos, para sí hacerlos con los que sí presentan un mayor contenido.

- Subcapítulo 5.4.1 (IEC 60034-2): Suministro de potencia

“Los Motores de corriente alterna clasificados para uso en una fuente de alimentación de frecuencia fija, suministrada desde un generador de corriente alterna (ya sea local o a través de una red de suministro) debe ser adecuado para operar en un voltaje de suministro que tiene un factor de voltaje armónico (HVF) que no excede:

– 0.02 para motores monofásicos y motores trifásicos, incluidos los motores síncronos, pero excluyendo motores de diseño N (ver IEC 60034-12), a menos que el fabricante declare de lo contrario.

– 0.03 para motores de diseño N.”

- Subcapítulo 6.3.1.4 (RTS 29.01.01:15):

“La Distorsión Armónica Total (DAT) de la onda de tensión eléctrica no debe ser mayor al 8 %.”

Se puede observar una diferencia del parámetro de calidad de energía de referencia usado por la normativa internacional IEC 60034-2 y el RTS 29.01.15, para la IEC 60034-2 es el factor de voltaje armónico, el cual no debe exceder entre 0.02 para los motores trifásicos, excepto los de clase N que no deberán exceder 0.03. Para el RTS 29.01.01:15 dice que la distorsión armónica total de la onda de tensión eléctrica no debe exceder el 8%, es decir 0.08.

- Subcapítulo 5.4.2 (IEC 60034-2): Frecuencia

“Durante las pruebas, la frecuencia de suministro promedio deberá estar dentro del ± 0.1 % de la frecuencia requerida para la prueba que se está realizando.”

- Subcapítulo 6.3.1.2 (RTS 29.01.15.15)

“La frecuencia eléctrica de alimentación para todas las pruebas debe ser de 60 Hz con una variación de ± 0.3 %.”

Para el parámetro de frecuencia de la señal de alimentación del motor durante las pruebas de eficiencia de los motores eléctricos trifásicos, la diferencia se encuentra en que la normativa IEC 60034-2 establece que la variación de la frecuencia de suministro eléctrico para los motores durante las pruebas de eficiencia debe ser de ± 0.1 %, en cambio el RTS 29.01.01:15 norma que la frecuencia de alimentación del motor es de 60 Hz con una variación máxima del ± 0.3 %

- Subcapítulo 5.5.2 (IEC 60034-2): Instrumentos de medición para cantidades eléctricas

“El equipo de medición debe alcanzar una incertidumbre global del 0.2 % de la lectura con un factor de potencia de 1.0 e incluir todos los errores de los transformadores o transductores de medida, si se utilizan.”

- Subcapítulo 6.3.2.2 (RTS 29.01.15.15)

“Los instrumentos analógicos o digitales deben estar calibrados con una incertidumbre máxima de ± 0.2 % de plena escala”

- Subcapítulo 6.3.2.3 (RTS 29.01.15.15)

“Cuando se utilicen transformadores de corriente y de potencial, se deben realizar las correcciones necesarias para considerar los errores de relación y fase en las lecturas de tensión, corriente y potencia eléctricas. Los errores de los transformadores de corriente y potencial no deben ser mayores de 0.3 %.”

Tanto el subcapítulo 5.5.2 de la normativa IEC 60034-2 como el subcapítulo 6.3.2.2 del RTS 29.01.15.15 tienen la similitud de establecer que la incertidumbre máxima de ± 0.2 %, además, el subcapítulo 6.3.2.3 del RTS 29.01.15.15 establece de igual forma que la normativa de la IEC que cuando se utilicen transformadores de corriente y de potencial, se deben realizar las correcciones necesarias para considerar los errores de relación y fase en las lecturas de tensión, corriente y potencia eléctricas.

- Subcapítulo 5.5.3 (IEC 60034-2): Medición del par

“El par mínimo medido será al menos el 10 % del par nominal del torquímetro”

- Subcapítulo 6.3.2.4 (RTS 29.01.01:15)

“El dinamómetro debe seleccionarse de forma que, a su carga mínima, la potencia de salida demandada al motor no sea mayor del 15 % de la potencia nominal del mismo.”

Ta

- Subcapítulo 5.5.4 (IEC 60034-2): Medición de velocidad y frecuencia

“La instrumentación usada para medir la frecuencia del suministro eléctrico debe tener una precisión de $\pm 0.1\%$ “

- Subcapítulo 6.3.2.6 (RTS 29.01.01:15):

“La instrumentación para medir la frecuencia eléctrica de alimentación debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 0.1\%$ de plena escala.”

A partir de lo anterior se observa que ambas normativas tienen estándares iguales para medir la calidad de la frecuencia del suministro eléctrico

- Subcapítulo 5.5.5 (IEC 60034-2): Medición de temperatura

“La instrumentación utilizada para medir temperaturas deberá tener una precisión de $\pm 1\text{ K}$.”

- Subcapítulo 6.3.2.8. (RTS 29.01.01:15):

“La instrumentación para medir la temperatura debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.”

En lo que se refiere a medición de temperaturas, ambas normativas coinciden en que la precisión de la instrumentación debe ser de ± 1 unidades; la IEC 60034-2 utiliza las unidades de Kelvin y el RTS 29.01.01:15 utiliza los grados Celsius.

3.2: Pruebas de laboratorio

Las pruebas que se realizan poseen un orden establecido, es importante llevarlo a cabo, aunque no es necesario realizar todas de una sola vez, si lo es el hecho de volver a cumplir con las condiciones térmicas previamente establecidas.

Las pruebas de equilibrio térmico son realizadas con un termo par o más de ser necesario, si se utilizan más pues lo indicado es promediar los valores de temperatura en la cabeza de los devanados y en los puntos donde se colocaron, pero cabe resaltar un criterio que “ los termopares que queden entre o sobre los cabezales del devanado, deben quedar fuera de las trayectorias de aire de enfriamiento del motor”, hay tipos de motor según norma y según protección no se podrán abrir en eso casos los termopares pueden ser instalados en el estator a través de la caja de conexiones, si se utilizan termopares externos debe considerarse las posición más cercana a los devanados del estator teniendo en cuenta que se debe generar el mejor contacto térmico sin verse afectado por el enfriamiento del motor

En esta prueba se calculan los valores de resistencia y temperatura del motor a plena carga (utilizando los parámetros de placa), se realizarán mediciones de resistencias antes y después, ya que necesitamos una resistencia de referencia R_i para el análisis comparativo cuando el motor llega al punto de equilibrio térmico no hay variación de temperatura mayor de 1°C en un Intervalo de tiempo de 30 minutos y el motor este trabajando a plena carga.

PARAMETROS INICIALES

Se mide la resistencia entre los devanados, así como la temperatura del medio ambiente, se registran los siguientes valores.

- 1- La resistencia entre los devanados del estator, en Ω ; el valor que más se aproxime al promedio de las 3 mediciones es el que se tomara como resistencia de referencia R_i
- 2- La temperatura o el promedio de temperaturas del devanado del estator, núcleo del estator o cuerpo del motor o sea donde se hayan posicionado los termopares t_i en °C;
- 3- Temperatura del medio ambiente t_{ai} en °C.

Se hace funcionar el motor hasta su valor nominal llegando al equilibrio térmico en todos los detectores de temperatura, posteriormente se desconecta la fuente de energía y se toma la medición de resistencia en las terminales de la resistencia de referencia R_i en cierto tiempo que viene definido en la siguiente tabla 3.1.

N°	Potencia nominal [kW]	Tiempo [s]
1	37.5 o menor	30
2	mayor de 37.5 a 150	90
3	mayor de 150	120

Tabla 3.1: Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2016, Eficiencia energética de motores de corriente alterna trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla.

En el caso de sobrepasar el tiempo que estipula la tabla 3.1, se grafica un gráfico de enfriamiento basado en la resistencia entre el par de terminales de referencia, será necesario utilizar por lo menos 10 valores espaciados a intervalos de 3 segundos, esto para determinar la resistencia al tiempo de retardo especificado en la tabla 3.

Cuando los tiempos se exceden más del doble para el registro de la primera lectura, esta no se toma en cuenta se anula y se repite la prueba, se miden y registran los siguientes parámetros.

- a) La resistencia entre los terminales de la resistencia de referencia R_f en Ω ;
- b) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, T_f en $^{\circ}\text{C}$;
- c) La temperatura ambiente T_{af} en $^{\circ}\text{C}$
- d) El tiempo al que se midió o se determinó la resistencia de R_f en s

CALCULO DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA

Se debe calcular el incremento de temperatura, este delta se obtiene después que el motor alcanza su punto de equilibrio, para este cálculo utilizamos la ecuación 3.1:

$$\Delta t = t_f - t_{af} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$t_{rf} = \left[\left(\frac{R_f}{R_i} \right) \times (t_f + k) \right] - k \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

t_{rf} = Es la temperatura de los devanados del estator cuando este se encuentra en equilibrio térmico.

k = Representa la constante de temperatura para el caso del cobre es de 234.5°C esta constante depende de cada material y el fabricante debe especificarlo.

COMPARATIVA CON NORMA IEC 60034

El reglamento técnico salvadoreño ha realizado unas adaptaciones para su mismo uso tomando como base la norma IEC 60034 la cual manifiesta que hay tres tipos de medición de temperatura.

Métodos de medición de la temperatura

Se reconocen tres métodos para medir la temperatura de los bobinados y otras piezas:

- Método de resistencia;
- Método del detector de temperatura incorporado (ETD);
- Método del termómetro.

Los distintos métodos no se utilizarán para controlarse mutuamente.

Método de resistencia

La temperatura de los devanados se determina a partir del aumento de la resistencia de los mismos.

Método del detector de temperatura integrado (ETD)

La temperatura se determina mediante detectores de temperatura (por ejemplo, termómetros de resistencia, termopares o detectores semiconductores de coeficiente negativo) incorporados a la máquina durante su construcción, en puntos inaccesibles una vez terminada la máquina.

Método del termómetro

La temperatura se determina mediante termómetros aplicados a superficies accesibles de la máquina terminada. El término "termómetro" incluye no sólo los termómetros de bulbo, sino también los termopares no empotrados y los termómetros de resistencia. Cuando se utilicen termómetros de bulbo en lugares en los que exista un campo magnético fuerte, variable o en movimiento, se emplearán preferentemente termómetros de alcohol en lugar de termómetros de mercurio.

Determinación de la temperatura del devanado

Elección del método

En general, para medir la temperatura de los devanados de una máquina, se aplicará el método de la resistencia.

Para devanados de estator de corriente alterna de máquinas con una potencia nominal igual o superior a 5000 kW (o kVA) se utilizará el método detector de temperatura integrado ETD.

Para los bobinados del estator de corriente alterna de máquinas con una potencia nominal inferior a 5000 kW (o kVA) pero superior a 200 kW (o kVA), el fabricante elegirá el método de la resistencia o el de la ETD, salvo acuerdo en contrario.

Para los devanados del estator de corriente alterna de máquinas con una potencia nominal inferior o igual a 200 kW (o kVA), el fabricante elegirá la versión de medición directa o la versión de superposición del método de resistencia.

Para las máquinas con una potencia nominal inferior o igual a 600 W (o VA), cuando los devanados no sean uniformes o existan grandes complicaciones para realizar las conexiones necesarias, la temperatura podrá determinarse mediante termómetros.

Tomando en cuenta lo antes explicado (IEC 60034) se logra ver que el reglamento técnico salvadoreño toma el método de resistencia para su listado de pruebas el cual se denomina prueba de equilibrio térmico con ciertas diferencias dentro de las cuales están:

CALCULO DE INCREMENTO DE TEMPERATURA SEGÚN NORMA IEC-60034

- Medición directa al principio y al final de la prueba, utilizando un instrumento con un alcance adecuado;
- Medición de corriente y tensión en corriente continua en devanados de corriente continua, midiendo la corriente en el devanado y la tensión a través del mismo, utilizando instrumentos con adecuados.
- Medición de corriente y tensión en corriente alterna en devanados de corriente continua, inyectando corriente continua en el devanado cuando está desenergizado.
- Medición mediante corriente/tensión de c.c. en devanados de corriente alterna, superponiendo una pequeña cantidad de corriente de c.c. en el devanado, cuando está energizado.

Se puede observar de la norma IEC 60034 realiza una inyección en los devanados para poder tener un valor de resistencia a diferentes condiciones lo que no se hace en el Reglamento técnico salvadoreño, con respecto a la fórmula para el cálculo de incremento de temperatura la ecuación es muy similar con la variante que se considera la temperatura del refrigerante.

$$\theta_2 - \theta_a = \left(\frac{R_2 - R_1}{R_1} \right) * (k + \theta_1) + \theta_1 + \theta_a \quad \text{Ecuación 3.3}$$

θ_1 : es la temperatura (°C) del bobinado (frío) en el momento de la medición inicial de la resistencia

θ_2 : es la temperatura (°C) del bobinado al final de la prueba térmica

θ_a : es la temperatura (°C) del refrigerante al final de la prueba térmica;

R_1 : es la resistencia del bobinado a la temperatura θ_1 (frío)

R_2 : es la resistencia del bobinado al final de la prueba térmica;

K : es el recíproco del coeficiente de temperatura de resistencia a 0 °C del material conductor.

Se puede considerar la temperatura del refrigerante interno en los motores, pero en nuestro caso no se hará, prácticamente la fórmula es similar solo que se tiene en consideración y el hecho de no tomar una resistencia de referencia.

Corrección del tiempo de parada

Generalidades

La medición de las temperaturas al final de la prueba térmica por el método de resistencia de medición directa requiere una parada rápida. Se requiere un procedimiento cuidadosamente planificado y un número adecuado de personas.

Tiempo de parada corto

Si la lectura inicial de la resistencia se obtiene dentro del intervalo de tiempo especificado en la tabla 2.1 dicha lectura se aceptará para la medición de la temperatura.

Potencia nominal (P_n) kW o kVA	Intervalo de tiempo tras desconectar la alimentación
$P_n \leq 50$	30 segundos
$50 < P_n \leq 200$	60 segundos
$200 < P_n \leq 5000$	90 segundos
$5000 < P_n$	Por acuerdo

Tabla 3.2: Intervalo de tiempo tras desconectar la alimentación

Ampliación del tiempo de parada

Si no puede efectuarse una lectura de la resistencia en el intervalo de tiempo especificado en la Tabla 3.2, se efectuará lo antes posible, pero no después de transcurrido más del doble del intervalo especificado en la Tabla 3.2, y se tomarán lecturas adicionales a intervalos de aproximadamente 1 minuto hasta que estas lecturas hayan iniciado una clara disminución a partir de su valor máximo. Se trazará una curva de estas lecturas en función del tiempo y se extrapolará al intervalo de tiempo apropiado de la tabla 3.2 para la potencia nominal de la máquina. Se recomienda un diagrama semilogarítmico en el que la temperatura o la resistencia se representen en la escala logarítmica. El valor de temperatura así obtenido se considerará como la temperatura en el momento de la desconexión. Si las mediciones sucesivas muestran temperaturas crecientes después de la parada, se tomará el valor más alto.

Si no se puede efectuar una lectura de la resistencia hasta después de transcurrido el doble del intervalo de tiempo especificado en el Tabla 3.2, este método de corrección sólo se utilizará de común acuerdo.

Esta es otra adaptación que se ha realizado en la cual se utiliza una tabla que maneja los mismos intervalos de tiempo que el reglamento técnico salvadoreño con la variante que las potencias de motor son diferentes ya que para el primer rango tiene como límite 50 Kva, el segundo tiene como límite máximo 200 kVA, el tercero tiene como límite máximo 500 Kva, la segunda variante que los intervalos de tiempo para graficar la curva de enfriamiento son de 1 minuto en la IEC 60034 mientras que en reglamento técnicos salvadoreño son 10 mediciones con intervalos de 30 segundos cada uno.

SEGUNDA PRUEBA

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

En esta prueba se realiza con las condiciones anteriores vigentes como el punto de equilibrio, trabajando a plena carga con los valores de placa, es decir, voltaje, frecuencia y potencial nominal, se realizarán 2 mediciones una a 130% y otra 115% arriba de la

potencia nominal, así como cuatro valores de carga al 100 %, 75 %, 50 % y 25 % de la potencia nominal, con una tolerancia de ± 2 %.

La temperatura en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, debe estar como máximo 10 °C abajo de la temperatura registrada en la prueba para alcanzar el equilibrio térmico, antes de empezar la prueba de funcionamiento.

Esta prueba hace referencia a la Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-2016 sobre eficiencia energética para los motores jaula de ardilla.

Prueba de carga mínima posible en el dinamómetro

Se ajusta el dinamómetro a su carga mínima y se opera el motor a su tensión eléctrica nominal, medida en sus terminales y 60 Hz, hasta que la potencia de entrada no varíe más del 3 % en un lapso de 30 min.

Con la potencia de entrada estabilizada a la carga mínima del dinamómetro, se miden y registran:

- a) El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V.
- b) La frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz.
- c) El promedio de las corrientes eléctricas de línea, I_{\min} , en A.
- d) La potencia de entrada, P_{\min} , en kW.
- e) El par torsional del motor, T_{\min} , en N·m;
- f) La frecuencia de rotación, n_{\min} , en min^{-1} ;
- g) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo t_{\min} , en °C;
- h) Se verifica que la potencia de salida P_d demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15

% de su potencia nominal. Donde P_d en kW se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{\min} \times N_{\min}}{9549}$$

La norma IEC 60034-2, hace mención del dinamómetro como una prueba directa para determinar la eficiencia de un motor trifásico, cuando el par del eje se mida mediante un dinamómetro se pondrá una corrección del par, para realizar esta prueba es de mucha importancia la calibración de los equipos, antes de empezar con medición la

lectura de este debe estar en cero, los cálculos de esta noma difieren en su totalidad con el reglamento técnico salvadoreño.

Capítulo 4: Reglamento Técnico Salvadoreño

4.1: Reseña de la creación del Reglamento Técnico Salvadoreño y beneficios de su implementación

Un reglamento técnico es un documento que especifica las propiedades de un producto o los procedimientos y técnicas de producción relacionados con ellos, junto con los requisitos administrativos pertinentes y cuya observancia es obligatoria. También puede cubrir o limitarse a especificaciones de terminología, símbolos, empaque, marcado o etiquetado que son relevantes para un producto, procedimiento o método de producción determinado. En El Salvador, el Organismo Salvadoreño de Mejora Regulatoria (OSARTEC) es el organismo encargado de revisar y validar esta normativa.

Cuando es implementada de modo flexible, consistente, coherente y proporcional a los objetivos que se quieren lograr, la correcta reglamentación se convierte en un promotor del desarrollo y el progreso de la sociedad. Por lo que la adopción de prácticas recomendadas de reglamentación beneficia no sólo su implementación, sino también la eficacia y la eficiencia de la presencia del Estado en lo que respecta al cumplimiento de sus objetivos legítimos, uno de esos objetivos, el desarrollo económico con un impacto ambiental mínimo.

El Salvador tiene 8 reglamentos técnicos de eficiencia energética que buscan garantizar la reducción en el consumo energético de equipos regulados, estableciendo los índices mínimos de eficiencia energética para diferentes equipos entre los que se encuentran: aires acondicionados, motores eléctricos y refrigeración doméstica y comercial.



Figura 4.1: Equipos donde se implementan los reglamentos técnicos de eficiencia energética

Los beneficios de los reglamentos técnicos de eficiencia energética son variados, pero se pueden dividir en 4 grandes áreas de impacto:

Para empresas:

- Nivelan las condiciones comerciales.
- No permite ventajas de unos sobre otros por temas de ineficiencia energética.

- Fomenta la participación de distintos fabricantes y distribuidores en la oferta de productos eficientes.
- La facilitación de la creación de sistemas de gestión de la calidad en diferentes empresas.

Para los consumidores:

- El acceso detallado de las especificaciones técnicas del producto.
- Ahorro en la factura de electricidad.

Para el país:

- Cumplimiento a la política energética nacional al fomentarse el uso racional de la energía eléctrica generada en el país.
- Mayor eficiencia significa menos consumo de energía y por lo tanto menores costos económicos que implica su generación.

Para el medio ambiente:

- Al tener equipos con alta eficiencia se fomenta de igual manera el uso y explotación de recursos naturales involucrados en la generación de la energía eléctrica.

En la siguiente imagen se presenta la cronología desde la solicitud de elaboración hasta la implementación de los reglamentos técnicos salvadoreños de eficiencia energética (RTSEE), de los que el RTS 29.01.01:15. forma parte.



Figura 4.2: Cronología de la creación del RTS 29.01.01:15 hasta su implementación

De los reglamentos técnicos existentes en el país el que compete este trabajo de investigación es el 29.01.01:15 titulado oficialmente “REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO RTS 29.01.01:15 EFICIENCIA ENERGÉTICA. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA, TRIFÁSICOS, DE INDUCCIÓN, TIPO JAULA DE ARDILLA, EN POTENCIA NOMINAL DE 0,746 A 373 KW. LÍMITES, MÉTODO DE PRUEBA Y ETIQUETADO”. referente a la

eficiencia de motores eléctricos, el reglamento en mención sustituyó la normativa homóloga anterior titulada “NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA: NSO 29.47.02:08 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA, TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN, TIPO JAULA DE ARDILLA, EN POTENCIA NOMINAL DE 0,746 A 373 kW. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO.”

El RTS 29.01.01:15. se publicó en el Diario Oficial el 8 de enero de 2018 y en esa publicación se estableció que entraría en vigor 6 meses después de la publicación oficial, sin embargo, se solicitó una prórroga para su implementación, por lo que oficialmente entró en vigencia a partir del 5 de enero de 2019.

El RTS 29.01.01:15; es el reglamento técnico salvadoreño que establece el procedimiento y el conjunto de pruebas a realizarse a los motores trifásicos jaula de ardilla que poseen una potencia nominal de 0.746 kW a 373 kW el objetivo de este reglamento es definir la eficiencia nominal y mínima de estos, también los criterios para la aceptación, así como la verificación de toda la información que proporciona la placa de los motores ya sea abiertos o cerrados que se importen al país.

La aplicación de este es específicamente para motores que usan hasta 600 voltios como tensión nominal a una frecuencia de 60 Hertz; ya sea abierto o cerrados, con la posibilidad de un montaje en posición vertical o horizontal.

Este reglamento está en constante revisión para acoplarse a los distintos cambios según se vayan modernizando los procesos y equipos, hay diferentes entidades que están involucradas en la aprobación de estos reglamentos en este caso los comités nacionales de reglamentación técnica conformados por el organismo salvadoreño estos a su vez están conformados por miembros de las siguientes instituciones:

- Empresa privada
- Gobierno
- Defensoría del consumidor
- Sector académico universitario

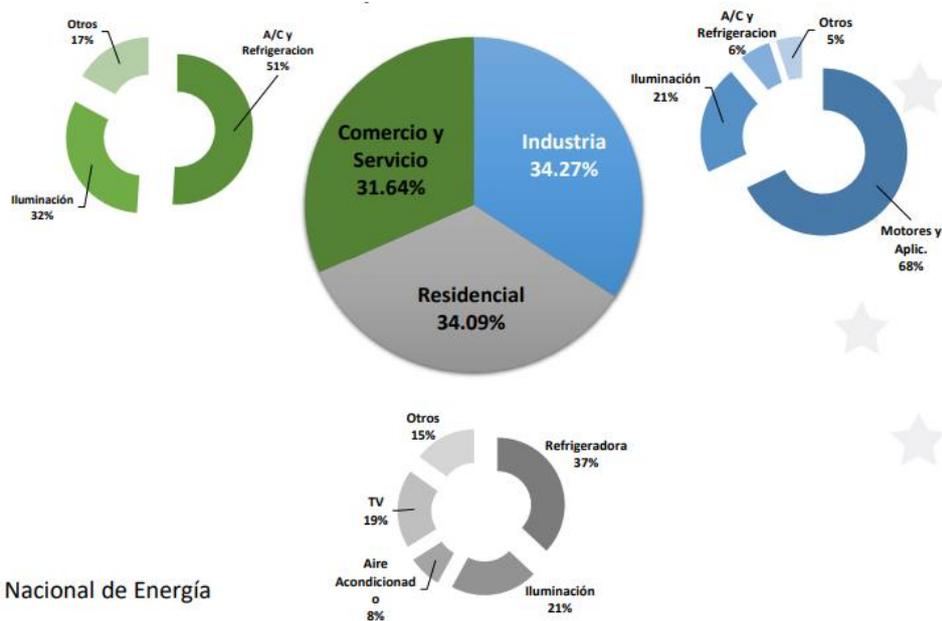
Cabe resaltar que estas instituciones no son todas las involucradas en este proceso de métodos de prueba y etiquetado para la aprobación de los motores también al finalizar las pruebas que ya se mencionaran; se necesitan aprobación del consejo nacional de energía (CNE) y del sistema salvadoreño de acreditación (OSA).

El Reglamento Técnico Salvadoreño 29:01:01:15 posee criterios importantes de aceptación dentro de cuales se tienen:

- Placa de motor: en este apartado se evaluará la eficiencia la cual debe ser mayor o igual a la que presenta el motor.

- Resultado de pruebas: aquí se evaluarán con los métodos de prueba que están establecidos para cada motor examinado debe ser al menos tan eficiente como la eficiencia nominal marcada.
- Métodos de prueba: aquí se implementará un cálculo indirecto de eficiencia el cual se llama método de pérdida segregadas; se usarán mediciones y cálculos se determinan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator y del rotor, las pérdidas del núcleo y las pérdidas por fricción y ventilación; al final, las pérdidas indeterminadas se obtienen por diferencia.

En la Figura 4.3 se presenta una gráfica generada a partir de los datos del consejo nacional de energía, del consumo de energía eléctrica por rubros.



Fuente: Consejo Nacional de Energía

Figura 4.3: Gráfica de consumo de energía eléctrica en el país por rubro y por equipos

A partir de la Figura 4.3 se observa que el rubro que más consume energía eléctrica en el país es la industria, con un 34.27%, dentro de este rubro en específico, los motores eléctricos y las aplicaciones que conllevan motores eléctricos forman un 68% del consumo total de la industria, lo que por sí solo lo convierten en la aplicación que más consume energía eléctrica, por lo que es de suma importancia tener un control de la eficiencia de los motores eléctricos ya que eso significa múltiples beneficios, desde un menores pérdidas de energía pasando por un beneficio a la economía de los usuarios de la red eléctrica y al país en general hasta un impacto menor en el medio ambiente.

Para medir el impacto de la implementación del RTS 29.01.01:15, el Consejo Nacional de Energía elaboró un estudio con datos hasta el año del 2021 en el que se presentan dos escenarios de consumo de energía de motores eléctricos, uno con la línea base y

otro con la implementación del reglamento, la representación del estudio se resume en la gráfica de la Figura 4.4

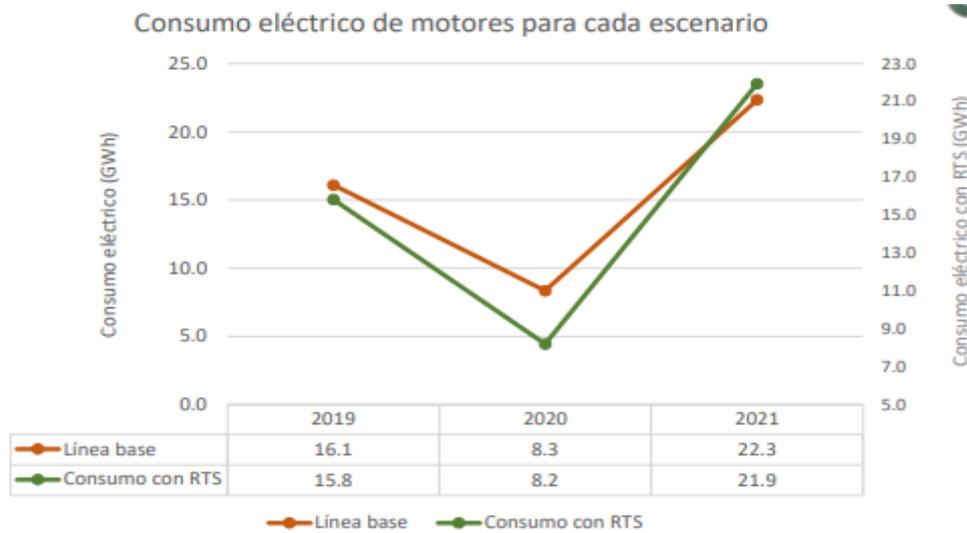


Figura 4.4: Gráfico de consumo eléctrico de motores en un escenario de línea base y en otro con la implementación del RTS 29.01.01:15

Desde la implementación de este reglamento en 2019 hasta 2021, se encuentran los siguientes hallazgos:

- Para el 2019, con línea base, el consumo de energía eléctrica en motores es de 16.1 GWh. Con la implementación del RTS, el consumo para ese mismo año es de 15.8 GWh.
- Para el año 2020, con línea base, el consumo de energía eléctrica en motores es de 8.3 GWh. Con la implementación del RTS, el consumo para ese año es de 8.2 GWh.
- Para 2021, con línea base, el consumo de energía eléctrica en motores es de 22.3 GWh, Al implementarse el reglamento el consumo se reduce a 21.9 GWh.

A partir de los datos, se resume que la implementación del RTS 29.01.01:15 durante los años 2019, 2020 y 2021 significa un ahorro 892.9 MWh de energía, en términos económicos representa un ahorro de \$124,384.00 USD, esto significa un impacto ambiental positivo de 76.4 toneladas de dióxido de carbono que se evita enviar a la atmósfera.

4.2: Proceso de evaluación de la conformidad del RTS 29.01.01:15.

La evaluación de la conformidad es la guía principal que establece el RTS 29.01.01:15 como ruta a seguir para determinar que si el producto sometido a evaluación, en este caso, el motor de inducción trifásico de jaula de ardilla, cumple la normativa, por lo que

es de especial cuidado para los interesados en la evaluación de la conformidad de la normativa conocer y seguir a cabalidad el procedimiento.

El proceso de evaluación de conformidad tiene como referencia el capítulo 6 del RTS 29.01.01:15, en líneas generales, la evaluación de la conformidad consiste en los siguientes pasos:

1. Muestreo
2. Criterios de aceptación
3. Método de prueba
4. Marcado
5. Obtención del certificado por un organismo de certificación del producto
6. Esquemas de certificación
7. Ampliación del certificado

A continuación, se hará una descripción cada uno de ellos.

4.2.1: Muestreo

El muestreo del producto a evaluar ubicado en el subcapítulo del reglamento hace constante referencia al anexo F del reglamento RTS 29.01.01:15, por lo que será la guía principal de los parámetros a seguir para el muestreo.

El anexo F del reglamento establece para la evaluación de conformidad los motores pueden agruparse por familia, el reglamento establece que son 6 familias y bastará con que un miembro de la familia sea sometido a la prueba exitosamente para otorgar la certificación a toda la familia.

Para la clasificación de las familias el reglamento norma a que se hará basado en criterios de valores de eficiencia nominal a plena carga, establecidos en la norma de referencia y que agrupa motores cerrados, abiertos, horizontales y verticales.

El modo de clasificación antes mencionada se resume en la tabla 5.1

	Familia	Tipo de encerramiento	kW (HP)	No. Polos	Cantidad de motores de la muestra a pruebas
Horizontal o vertical	1	Abierto	0.746 (1.0) a 14.920 (20)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical
Horizontal o vertical	2	Abierto	14.921 (20.1) a 74.60 (100)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical
Horizontal o vertical	3	Abierto	74.61 (100.1) a 373 (500)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical

Horizontal o vertical	4	Cerrado	0.746 (1.0) a 14.920 (20)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical
Horizontal o vertical	5	Cerrado	14.921 (20.1) a 74.60 (100)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical
Horizontal o vertical	6	Cerrado	74.61 (100.1) a 373 (500)	2, 4, 6, 8	1 horizontal + 1 Vertical

Tabla 4.1: Modo de clasificación de muestreo para la prueba

El anexo F del reglamento establece las siguientes notas aclaratorias, que también deberán ser tomadas en especial consideración por el laboratorio que ejecuta la prueba.

- Para aquellas familias que requieran la certificación de motor con ambas posiciones de montaje (horizontal y vertical), se debe enviar a pruebas de laboratorio las muestras correspondientes a cada tipo de motor.
- En el caso de aquellas familias que solo requieran la certificación de motores con una posición de montaje (horizontal o vertical), sólo se debe enviar a pruebas de laboratorio la muestra correspondiente al tipo de motor que se requiera certificar.
- Para familias que ya cuenten con la certificación de motores en una determinada posición de montaje, y en el caso de requerir “ampliar la familia” para motores de otra posición, se deberá presentar el correspondiente informe de pruebas, según se requiera para la familia.

El reglamento establece que cuando el producto se encuentre en El Salvador, el organismo certificador del producto tomara las muestras de acuerdo a la clasificación previa. Para el caso en el que el producto no se encuentre en El Salvador, las muestras se tomaran en el país de origen, de acuerdo a la clasificación previa.

4.2.2: Designación del laboratorio

Finalizada la etapa de muestreo, el subcapítulo 6.1.2 afirma que el OCP designará el laboratorio apropiado para el desarrollo de los ensayos/pruebas. Si el cliente de productos a certificar posee laboratorios para los ensayos/prueba que se requieren, el OCP solamente realizará las pruebas en estos, con atestiguamientos de un evaluador del OCP.

El fabricante deberá generar documentación técnica descrita en el anexo G, la cual deberá incluir:

- La documentación técnica del motor con la descripción general de todas las familias que quiera certificar.
- Procedimientos de fabricación
- La dirección y lugares de fabricación y almacenamiento.

– Nombre y dirección del fabricante y del representante autorizado o importador.

El Organismo de Evaluación de la Conformidad debe examinar la documentación, comprobar las muestras, efectuar o hacer efectuar los ensayos, acordar con fabricante lugar dónde se hacen los ensayos. El OCP debe elaborar un informe de evaluación donde recoja las actividades realizadas.

4.2.3: Criterios de aceptación:

Habiéndose cumplido las condiciones mencionadas anteriormente, en el capítulo 6.2.1 del reglamento denominado “Criterios de aceptación” aparecen dos condiciones que se deben superar para aprobar la evaluación de conformidad, entre estos criterios de aceptación se encuentran:

- Placa de datos
- Resultados de las pruebas

4.2.3.1: Placa de datos

La eficiencia nominal marcada por el fabricante en la placa de datos del motor, debe ser igual o mayor que la eficiencia de la Tabla 1 del RTS 29.01.01:15, de acuerdo con su potencia nominal en kW, número de polos y tipo de encerramiento. En este documento, la tabla de eficiencia nominal se observa en la Tabla 4.2.

Potencia Nominal kW	Potencia Nominal HP	MOTORES CERRADOS				MOTORES ABIERTOS			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0.746	1	77.0	85.5	82.5	74.0	77.0	85.5	82.5	74.0
1.119	1.5	84.0	86.5	87.5	77.0	84.0	86.5	86.5	75.5
1.492	2	85.5	86.5	88.5	82.5	85.5	86.5	87.5	85.5
2.238	3	86.5	89.5	89.5	84.0	85.5	89.5	88.5	86.5
3.730	5	88.5	89.5	89.5	85.5	86.5	89.5	89.5	87.5
5.595	7.5	89.5	91.7	91.0	85.5	88.5	91.0	90.2	88.5
7.460	10	90.2	91.7	91.0	88.5	89.5	91.7	91.7	89.5
11.19	15	91.0	92.4	91.7	88.5	90.2	93.0	91.7	89.5
14.92	20	91.0	93.0	91.7	89.5	91.0	93.0	92.4	90.2
18.65	25	91.7	93.6	93.0	89.5	91.7	93.6	93.0	90.2
22.38	30	91.7	93.6	93.0	91.0	91.7	94.1	93.6	91.0
29.84	40	92.4	94.1	94.1	91.0	92.4	94.1	94.1	91.0
37.30	50	93.0	94.5	94.1	91.7	93.0	94.5	94.1	91.7
44.76	60	93.6	95.0	94.5	91.7	93.6	95.0	94.5	92.4
55.95	75	93.6	95.4	94.5	93.0	93.6	95.0	94.5	93.6
74.60	100	94.1	95.4	95.0	93.0	93.6	95.4	95.0	93.6

93.25	125	95.0	95.4	95.0	93.6	94.1	95.4	95.0	93.6
111.9	150	95.0	95.8	95.8	93.6	94.1	95.8	95.4	93.6
149.2	200	95.4	96.2	95.8	94.1	95.0	95.8	95.4	93.6
186.5	250	95.8	96.2	95.8	94.5	95.0	95.8	95.4	94.5
223.8	300	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
261.1	350	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
298.4	400	95.8	96.2	---	---	95.8	95.8	---	---
335.7	450	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---
373	500	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---

Tabla 4.2: Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento.

4.2.3.2: Resultado de las pruebas:

La eficiencia determinada con el método de prueba del subcapítulo 6.3 del RTS 29.01.01:15 (en este documento el procedimiento de esa prueba será abordada en el subcapítulo 4.3.3), para cada motor probado, debe ser igual o mayor que la eficiencia mínima asociada a la eficiencia nominal marcada en la placa de datos por el fabricante que se representa en la Tabla 4.3

4.2.4: Método de prueba:

Aparte de que la información en la placa de datos sea fidedigna, la otra condición a cumplir es que aprobar la prueba, en el reglamento se aborda el método de prueba dentro del subcapítulo 6.3 del reglamento técnico salvadoreño, todos los motores se prueban por el método de las pérdidas segregadas, en este método, a partir de mediciones y cálculos, se determinan las pérdidas por efecto Joule en los motores.

En este documento de investigación, el método de prueba se tratará a profundidad en el subcapítulo 4.3

Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima	Columna A Eficiencia Nominal	Columna B Eficiencia Mínima
99.0	98.8	94.1	93.0
98.9	98.7	93.6	92.4
98.8	98.6	93.0	91.7
98.7	98.5	92.4	91.0
98.6	98.4	91.7	90.2
98.5	98.2	91.0	89.5
98.4	98.0	90.2	88.5
98.2	97.8	89.5	87.5
98.0	97.6	88.5	86.5
97.8	97.4	87.5	85.5
97.6	97.1	86.5	84.0
97.4	96.8	85.5	82.5
97.1	96.5	84.0	81.5
96.8	96.2	82.5	80.0
96.5	95.8	81.5	78.5

96.2	95.4	80.0	77.0
95.8	95.0	78.5	75.5
95.4	94.5	77.0	74.0
95.0	94.1	75.5	72.0
94.5	93.6	74.0 72.0	70.0 68.0

Tabla 4.3: Eficiencia mínima (Columna B) asociada a la eficiencia nominal (Columna A)

4.2.5: Marcado:

El proceso de evaluación de conformidad pasa también por la evaluación del marcado del motor, con especial atención a la placa de datos del motor, para el marcado se establecen dos parámetros a cumplir: Placa de datos e información.

A continuación, se analizan cada uno de ellos:

Placa de datos: Todos los motores deben de ser provistos con al menos una placa de datos, ésta

debe ser permanente, legible e indeleble. Debe estar adherida o sujeta mecánicamente a la envolvente o carcasa en el cuerpo principal y en un lugar visible, no se admite la colocación de ésta, en tapas, bridas o accesorios, que puedan ser retirados del cuerpo principal del motor, provocando la pérdida de rastreo del motor.

La placa de datos debe ser de un material que garantice la legibilidad de la información permanentemente y no se degrade con el tiempo bajo condiciones ambientales normales.

El fabricante o importador debe garantizar que el material, estilo, tipografía y distribución de información en la placa de datos ingresada al momento de evaluar la conformidad del producto con este reglamento, sea la misma que se utilice durante la comercialización del mismo.

Información: Toda la información contenida en la placa de datos debe estar en idioma español y la información mínima que se debe marcar en la placa de datos del motor es:

- Nombre del fabricante o del distribuidor, o logotipo o marca registrada
- Modelo designado por el fabricante o distribuidor utilizado para la identificación comercial
- Numero de frame o chasis
- Tipo de encerramiento (abierto o cerrado)
- País de fabricación
- La eficiencia nominal, en por ciento, precedida del símbolo “ η ” (2 dígitos enteros y un decimal)
- La potencia nominal en kW y su equivalente
- La tensión eléctrica en V.
- La frecuencia eléctrica en Hz.
- La velocidad nominal de rotación en min^{-1} o r/min.

Cuando la información antes descrita no se encuentre en idioma español y el producto este en exhibición al público, el comercializador deberá colocar adjunto al motor una ficha técnica con la respectiva traducción.

4.2.6: Obtención del certificado por un organismo de certificación del producto:

Para obtener el certificado por un organismo de certificación de productos, el interesado deberá:

- a) Requerir al organismo de certificación de producto, el paquete informativo que debe contener el formato de solicitud de certificación de producto.
- b) El interesado entregará toda la información solicitada en la letra a), en original al organismo de certificación para producto acreditado, y éste revisará la documentación presentada y, en caso de estar incompleta la misma, se devolverá al interesado la solicitud y sus anexos, junto con una constancia en la que indique con claridad lo que el solicitante debe corregir.
- c) Los organismos de certificación mantendrán permanentemente la información de los certificados y de los dictámenes de producto para fabricante nacional o extranjero que expidan, así como de las verificaciones que realicen.
- d) Las solicitudes de los fabricantes ante los organismos de certificación para productos deberán acompañarse de una declaración jurada, por la que el solicitante manifieste que el producto que presenta es nuevo.
- e) Los certificados que emitan los organismos de certificación para productos también deberán indicar en forma expresa a cuál de las categorías mencionadas corresponde el producto certificado.
- f) El certificado sólo es válido para el solicitante del certificado.
- g) La vigencia del certificado de producto para fabricante nacional o extranjero, será de tres años a partir de la fecha de su emisión.

4.2.6.1: Esquemas de certificación

El reglamento establece dos esquemas de certificación:

- Verificación por lote
- Verificación de producción total

Verificación por lote: El subcapítulo 6.6.1.1. del reglamento establece que el esquema de certificación por lote se realiza mediante ejecución de ensayos, el cumplimiento de uno o varios lotes de producto con respecto a los requisitos establecido en este RTS. El interesado deberá presentar la documentación con la información técnica requerida, de conformidad con lo dispuesto en el anexo F y G del reglamento, Los certificados que se expidan conforme a este número, podrán ser usados directamente por su titular.

Coordinar con el OCP la toma de muestra y designación del laboratorio de pruebas de acuerdo a lo establecido en los números anteriores.

Verificación de producción total: Este esquema de certificación es abordado en el subcapítulo 6.6.1.2. del reglamento, para obtener el certificado con verificación mediante el sistema de calidad de la línea de producción, se deberán realizar ante el organismo de certificación del producto, los siguientes pasos:

- a. Elaborar una documentación completa de los productos y familias que desea certificar según el anexo F del RTS 29.01.01:15, para que el OCP pueda evaluar el grado de cumplimiento de los requisitos de este RTS.
- b. El fabricante deberá gestionar el SGC (Sistema de gestión de la calidad) para la fabricación, la inspección del producto, acabado, ensayos, y estará sujeto a la supervisión del OCP.
- c. De igual manera en la solicitud al OCP debe de incluir una declaración de que no ha solicitado evaluación a otro OCP.
- d. El fabricante deberá entregar al OCP toda la documentación relativa al sistema de calidad, junto con la documentación técnica.
- e. El Sistema de Gestión de la Calidad del fabricante debe garantizar la conformidad de los motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW con los requisitos desempeño energético de este RTS, el cual deberá de incluir:
 - Los objetivos de calidad, el organigrama y las responsabilidades y líneas de autoridad del personal de gestión en lo que se refiere a la calidad del producto.
 - Las correspondientes técnicas, procesos y acciones sistemáticas de fabricación, control y aseguramiento de la calidad que se utilizaran.
 - Los exámenes y ensayos que se efectuarán antes, durante y después de la fabricación y su frecuencia.
 - Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación del personal involucrado en el SGC (Sistema de Gestión de Calidad).

El reglamento establece que el organismo certificador del producto vigilará que se cumpla debidamente las obligaciones del fabricante impuestas por el SGC (Sistema de Gestión de la Calidad). Para la vigilancia y realizar la evaluación, el fabricante permitirá la entrada del organismo certificador del producto en los locales de fabricación, inspección, ensayo y almacenamiento.

El organismo certificador del producto hará auditorías anuales.

El fabricante entregará al organismo certificador del producto OCP:

- a) La documentación relativa al sistema de calidad.

b) La documentación técnica.

c) Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación del personal afectado, entre otros.

A continuación, para un mayor entendimiento se presenta un diagrama del proceso de evaluación de la conformidad.

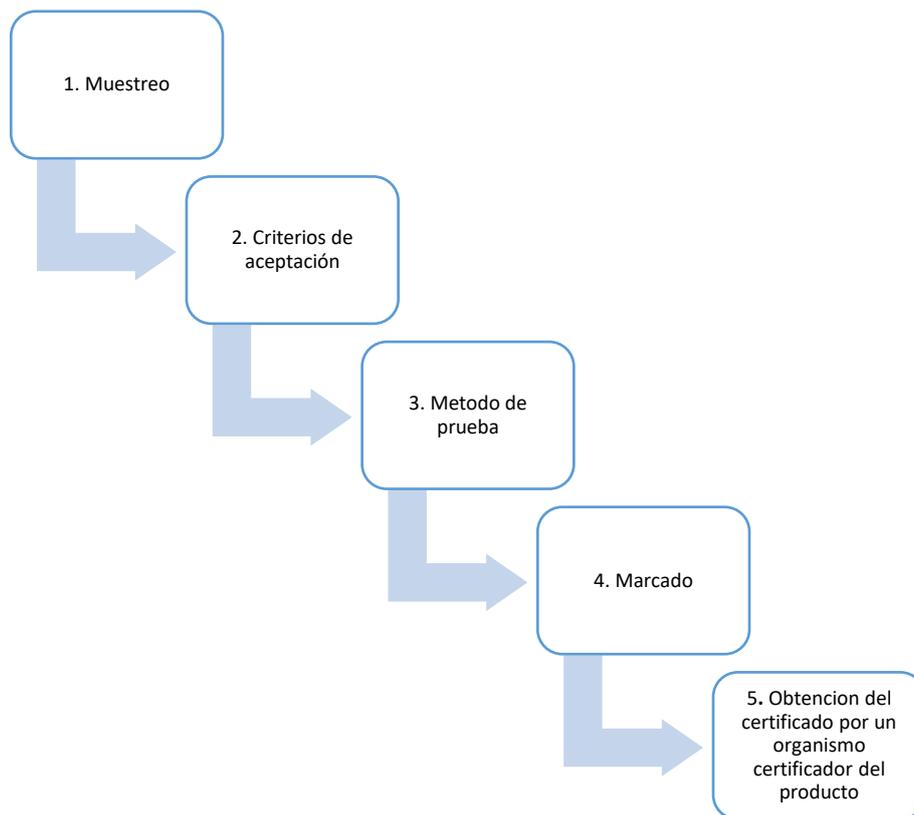


Figura 4.5: Diagrama del proceso de obtención del certificado por un organismo de certificación del producto OCP

4.2.7: Ampliación del certificado de evaluación de la conformidad:

La ampliación del certificado se trata en el subcapítulo 6.7 del reglamento, en el cual se expedirá por separado y procederá para ampliar los sufijos del modelo de los productos indicados en el certificado que correspondan a la misma familia, conforme a los criterios indicados en el anexo F y G.

Para obtener la ampliación de certificado deberán presentarse los documentos siguientes:

a) Copia del certificado del cual se desea la ampliación.

b) Manifiesto del solicitante, bajo protesta de decir la verdad, que indique los países de origen y procedencia que se desean ampliar en el certificado o Manifiesto del fabricante,

en el que se indiquen los modelos que integran una familia, sus diferencias, cuál es el modelo representativo de la línea de producción y su justificación.

c) La ampliación procederá únicamente para aquellos modelos que justifiquen pertenecer a la misma familia.

El OCP, evaluará por medio de fotografías del producto y del informe de ensayo que ampara el certificado del producto, la validez de la correspondencia de la agrupación de familia descritas en el anexo F y que no representan cambios en las características técnicas del equipo (desempeño energético).

4.3: Método de prueba a motores eléctricos de inducción trifásicos, tipo jaula de ardilla, para evaluación de conformidad del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15.

El subcapítulo 6.3 del RTS 29.01.01:15 aborda el proceso del método de prueba que se realizara a los motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 kW a 373 kW.

El método de prueba para todos los motores será el de las pérdidas segregadas, en este método, a partir de mediciones y cálculos, se determinan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator y del rotor, las pérdidas del núcleo y las pérdidas por fricción y ventilación; al final, las pérdidas indeterminadas serán obtenidas por diferencia.

4.3.1: Condiciones para la realización de la prueba

Las condiciones de la prueba de evaluación de conformidad del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 se establecen en su subcapítulo 6.3.1., entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Todos los motores se deben operar en posición horizontal o vertical
- La frecuencia eléctrica de alimentación para todas las maquinas debe ser de 60 Hz con una variación de $\pm 0.3\%$
- La tensión eléctrica de corriente alterna de alimentación para la prueba, debe ser la tensión eléctrica nominal indicada en la placa de datos del motor, medida en sus terminales, sin exceder una variación de $\pm 0.5 \%$, con un desbalance máximo permitido de $\pm 0.5 \%$. El por ciento de desbalance es igual a 100 veces la desviación máxima de la tensión eléctrica de cada fase con respecto a la tensión eléctrica promedio, dividida entre la tensión eléctrica promedio.
- La Distorsión Armónica Total (DAT) de la onda de tensión eléctrica no debe ser mayor al 8 %.

- La Distorsión Armónica Total (DAT) es un indicador del contenido de armónicas en una onda de tensión eléctrica. Se expresa como un porcentaje de la fundamental y se define como:

$$DAT = \left(\frac{\sum_{i=2}^n V_i^2}{V_1^2} \right) \cdot 100 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

V_i : es la amplitud de cada armónica

V_1 : es la amplitud de la fundamental

4.3.2: Condiciones de los instrumentos de medición y equipo de prueba:

La instrumentación que deberá usarse para las mediciones y el equipo de prueba son dos aspectos que deben tomarse en cuenta, tanto para asegurar la fidelidad de los resultados y de igual forma para que el proceso de acreditación del laboratorio sea exitoso, estos temas son tratados en el subcapítulo 6.3.2. del reglamento, el cual establece lo siguiente:

Los instrumentos de medición deben seleccionarse para que el valor leído esté dentro del intervalo de la escala recomendado por el fabricante del instrumento, o en su defecto en el tercio superior de la escala del mismo.

Los instrumentos analógicos o digitales deben estar calibrados con una incertidumbre máxima de $\pm 0.2 \%$ de plena escala.

Cuando se utilicen transformadores de corriente y de potencial, se deben realizar las correcciones necesarias para considerar los errores de relación y fase en las lecturas de tensión, corriente y potencia eléctricas. Los errores de los transformadores de corriente y potencial no deben ser mayores de 0.3%

El dinamómetro debe seleccionarse de forma que, a su carga mínima, la potencia de salida demandada al motor no sea mayor del 15% de la potencia nominal del mismo.

La instrumentación para medir el par torsional debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 0.2 \%$ de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia eléctrica de alimentación debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 0.1 \%$ de plena escala.

La instrumentación para medir la frecuencia de rotación debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 1 \text{ min}^{-1}$ de la lectura.

La instrumentación para medir la temperatura debe tener una incertidumbre máxima de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para evitar la influencia por el acoplamiento y desacoplamiento del motor con el dinamómetro durante el desarrollo de las pruebas de equilibrio térmico, funcionamiento, y carga mínima posible en el dinamómetro, éstas deben realizarse sin desacoplar el motor entre ellas.

4.3.3: Equipo para la realización de la prueba

Los instrumentos de medición, equipos y aparatos para aplicar este método de prueba son los siguientes:

- a) Aparato para medir la temperatura detectada por los detectores de temperatura por resistencia o termopares;
- b) Óhmetro a cuatro terminales, para medir resistencias bajas
- c) Equipo para controlar la tensión de alimentación
- d) Frecuencímetro
- e) Voltímetros
- f) Amperímetros
- g) Wattímetro trifásico
- h) Dinamómetro
- i) Torsiómetro o aparato para medir par torsional
- j) Tacómetro
- k) Cronómetro

4.3.4: Procedimiento de la prueba

El procedimiento de la prueba de la evaluación de conformidad se explica en el subcapítulo 6.3.3 del reglamento, antes de detallar los pasos de la prueba se hacen las siguientes advertencias:

- Las pruebas que conforman este método deben ser desarrolladas en la secuencia indicada. No es necesario que cada paso sea llevado a cabo inmediatamente después del otro, sin embargo, cuando cada paso se ejecuta en forma individual e independiente, entonces las condiciones térmicas especificadas para el mismo deben ser restablecidas previamente a la ejecución de la prueba.

- Antes de comenzar las pruebas se debe instalar un termopar en el motor. Cuando se utilice más de un termopar, la temperatura para los cálculos debe ser el valor promedio.
- Cuando todos los termopares se localicen en los cabezales del devanado o cuando la temperatura del termopar más caliente sea localizada en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, se debe aplicar el siguiente criterio, de preferencia en el siguiente orden que se establece: Entre o sobre los cabezales del devanado, procurando que queden fuera de las trayectorias del aire de enfriamiento del motor.
- En los casos en que es inaceptable abrir el motor o no es posible la colocación de termopares en los cabezales del devanado, los termopares pueden ser instalados en: a) El núcleo del estator (ejemplo; a través de la caja de conexiones del motor); o b) En el cuerpo del motor.

Nota: Cuando se utilizan termopares externos ya sea en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, debe asegurarse que los termopares estén posicionados tan cerca como sea posible al estator devanado, con un buen contacto térmico. Cuidado especial debe tomarse para que el termopar quede aislado y sellado del mecanismo de enfriamiento del motor.

4.3.4.1: Parámetros iniciales de la prueba

Se miden las resistencias entre terminales de los devanados del estator y la temperatura correspondiente. Se registran los siguientes parámetros:

- Las resistencias entre terminales de los devanados del estator, en Ω
- La temperatura o el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo t_i en $^{\circ}\text{C}$
- Temperatura ambiente t_{ai} en $^{\circ}\text{C}$

Se designa como resistencia de referencia R_i , a aquélla con el valor más cercano al promedio de las tres registradas. Por ejemplo, cuando:

$$R_{1-2} = 4.8 \Omega \quad R_{1-3} = 5.0 \Omega \quad R_{2-3} = 5.2 \Omega$$

El valor de resistencia de referencia será $R_i = 5.0 \Omega$

4.3.4.2: Prueba para alcanzar el equilibrio térmico:

En el apartado 3.5 de definiciones del RTS 29.01.01:15 denominan el equilibrio térmico a plena carga como el estado que se alcanza cuando el incremento de temperatura del motor eléctrico, trabajando a plena carga, no varía más de 1°C en un lapso de 30 minutos

Mediante esta prueba se determinan la resistencia y la temperatura de los devanados del motor operando a plena carga.

Se hace funcionar el motor a su régimen nominal hasta alcanzar el equilibrio térmico definido en el apartado 3.5 del RTS en todos los detectores de temperatura. Se desenergiza y se desconectan las terminales de línea del motor, se mide y registra la

resistencia entre las terminales de la resistencia determinada en el apartado 5.3.2.1. en el tiempo especificado en la tabla 4.4

Nº	Potencia nominal, en kW	Tiempo [s]
1	37.5 o menor	30
2	Mayor de 37.5 a 150	90
3	Mayor de 150	120

Tabla 4.4: Tiempo al cual se debe realizar la medición de la resistencia de referencia de los devanados del estator

Cuando se excede el tiempo establecido en la tabla anterior se traza una curva de enfriamiento basada en la resistencia entre el par de terminales de referencia, utilizando por lo menos 10 valores espaciados a intervalos de 30 s, para determinar la resistencia al tiempo de retardo especificado en la anterior.

Cuando los tiempos especificados en la tabla 3 se exceden en más del doble para el registro de la primera lectura, se anula y se repite la prueba. Se miden y registran:

- a) La resistencia entre las terminales de referencia.
- b) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, t_f , en °C;
- c) La temperatura ambiente, t_a , en °C, y
- d) El tiempo al que se midió o determinó la resistencia R_f , en s.

4.3.4.3: Cálculo del incremento de la temperatura por resistencia

se determina el incremento de temperatura (Δt) después que el motor ha alcanzado el equilibrio térmico mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta t = t_f - t_{af} \text{ } |^{\circ}\text{C}| \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$t_{fr} = \left[\left(\frac{R_f}{R_i} \right) (t_f + K) \right] - K \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

t_{fr} = es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico (calculado por resistencia)

K es la constante del material y es igual a 243.5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados debe usarse el valor especificado por el fabricante del material

4.3.4.4: Prueba de funcionamiento

El apartado 6.3.7.1 del RTS 29.01.01:15 describe el procedimiento para comprobar el funcionamiento del motor, esta prueba se realiza después de haber realizado la prueba de equilibrio térmico, para ello se debe hacer funcionar el motor a su tensión eléctrica nominal medida en sus terminales, a 60 Hz y potencia nominal. Se aplicarán en forma descendente dos valores de carga arriba de la potencia nominal, 130 % y 115 %; así como cuatro valores de carga al 100 %, 75 %, 50 % y 25 % de la potencia nominal, con una tolerancia de ± 2 %.

Como requerimiento para la realización de la prueba de funcionamiento, la temperatura en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo del motor, debe estar como máximo 10 °C abajo de la temperatura registrada en la prueba para alcanzar el equilibrio térmico.

Se miden y registran los siguientes parámetros para cada uno de los valores de carga:

- a) El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
- b) Frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- c) El promedio de las corrientes eléctricas de línea, I_m , en A;
- d) La potencia de entrada, P_e , en kW
- e) El par torsional del motor, T_m , en N·m;
- f) La frecuencia de rotación, n_m , en min^{-1} ;
- g) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga, t_m , en °C, y
- h) La temperatura ambiente para cada valor de carga, t_{am} , en °C.

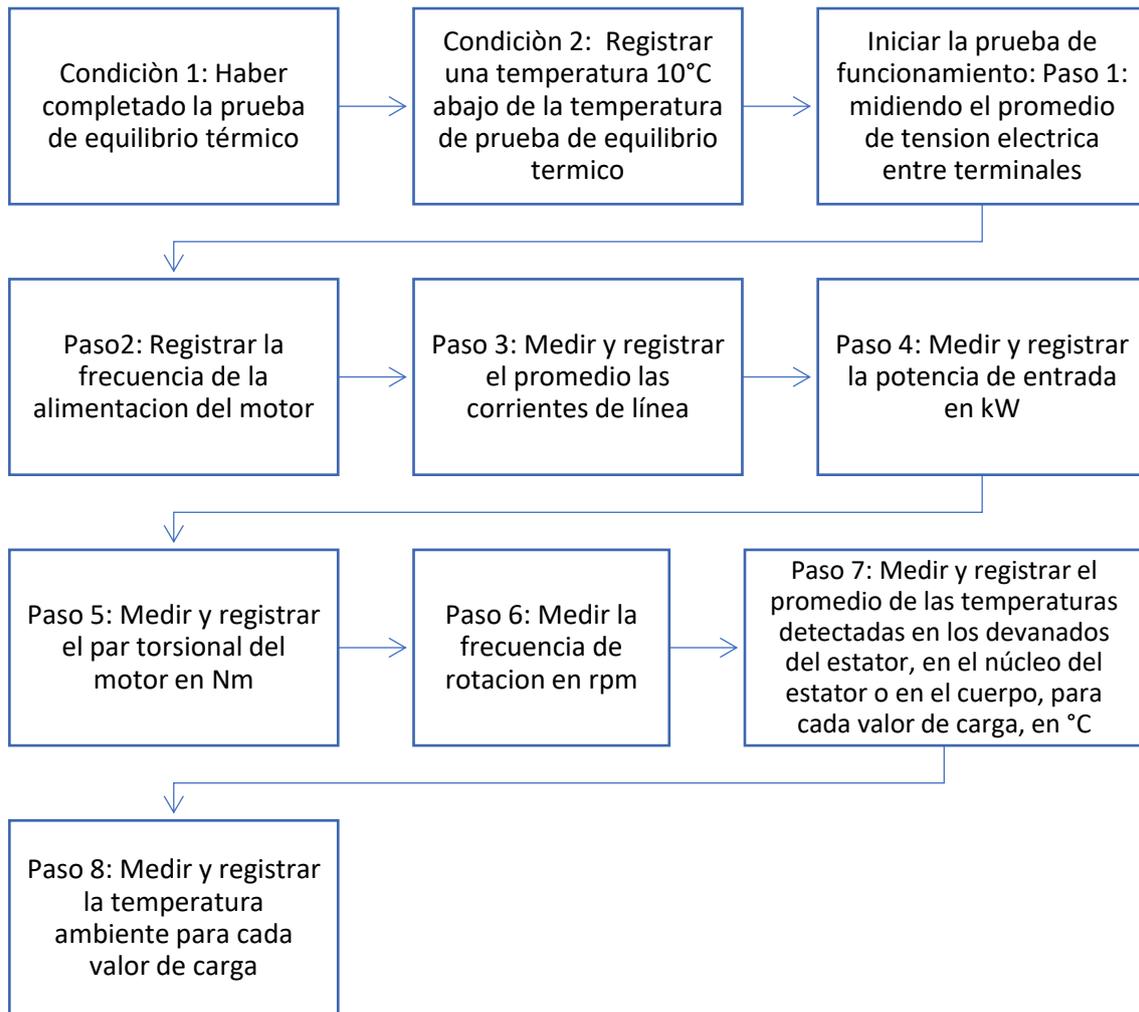


Figura 4.6: Diagrama de proceso de la prueba de funcionamiento

4.3.4.5: Prueba de carga mínima posible en el dinamómetro

En el apartado 6.3.8 del RTS 29.01.01:15, se define el procedimiento de la prueba de carga mínima posible en el dinamómetro, esta prueba se realiza luego de la prueba de funcionamiento del motor y es importante ya que del valor que se obtiene al final de la prueba depende buena parte de la determinación de la eficiencia del motor.

Para la realización de esta prueba se debe ajustar el dinamómetro a su carga mínima y operar el motor a su tensión eléctrica nominal, medida en sus terminales y 60 Hz, hasta que la potencia de entrada no varíe más del 3 % en un lapso de 30 min.

Con la potencia de entrada estabilizada a la carga mínima del dinamómetro, se miden y registran:

- a) El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V

- b) La frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz
- c) El promedio de las corrientes eléctricas de línea, I_{min} , en A
- d) La potencia de entrada, P_{min} , en kW
- e) El par torsional del motor, T_{min} , en Nm
- f) La frecuencia de rotación, n_{min} , en min^{-1}
- g) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo t_{min} , en °C, y
- h) Se verifica que la potencia de salida P_d demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15 % de su potencia nominal. Donde P_d en kW, se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{min} * n_{min}}{9549} [kW] \quad \text{Ecuación 4.4}$$

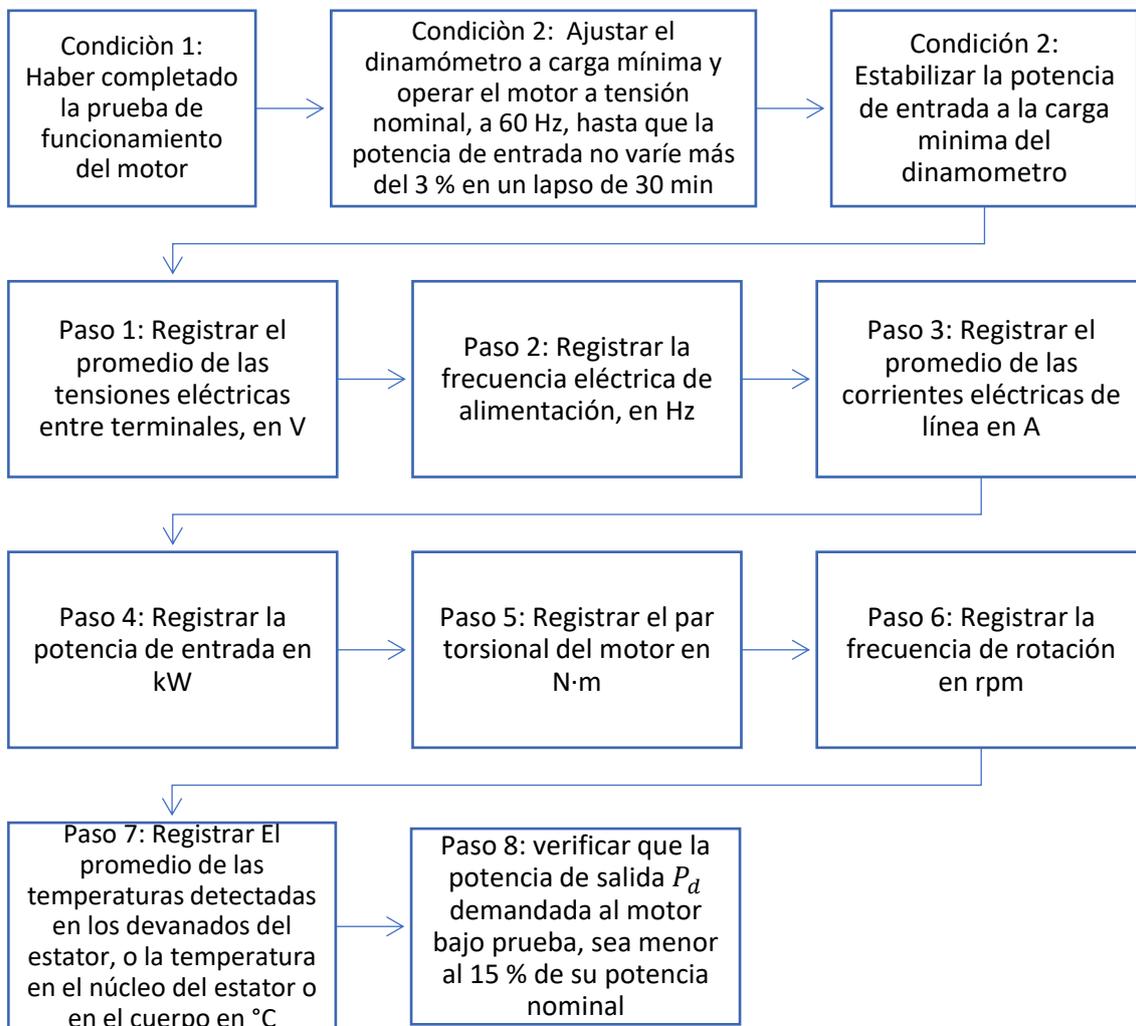


Figura 4.7: Diagrama de proceso de la prueba de carga mínima posible en el dinamómetro

4.3.4.6: Prueba de operación en vacío

El subcapítulo 6.3.9 del RTS 29.01.01.1 detalla la prueba que se debe seguir después de la prueba de carga mínima del dinamómetro, dicha prueba es la de operación del motor en vacío.

Para esta prueba se debe desacoplar el motor del dinamómetro y operar en vacío a su tensión eléctrica nominal medida en las terminales del motor y 60 Hz, hasta que la potencia de entrada varíe no más del 3 % en un lapso de 30 min. Se aplican en forma descendente tres o más valores de tensión eléctrica entre el 125 % y el 60 % de la tensión eléctrica nominal, espaciados en forma regular; dentro de estos tres valores debe incluirse la medición al 100% de la tensión eléctrica nominal, de la misma manera, tres o más valores entre el 50 % y el 20 % de la tensión eléctrica nominal o hasta donde la corriente eléctrica de línea llegue a un mínimo o se haga inestable.

Esta prueba debe ser llevada a cabo lo más rápidamente posible y las mediciones deben tomarse en forma descendente respecto a la tensión máxima aplicada.

Para cada valor de tensión eléctrica, se miden y registran:

- a) El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
- b) La frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- c) El promedio de las corrientes eléctricas de línea, I_0 , en A;
- d) La potencia de entrada en vacío P_0 , en kW;
- e) La frecuencia de rotación, n_0 , en min^{-1} , y
- f) El promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de tensión, t_0 , en °C.

En la Figura 4.4 se presenta un diagrama del proceso paso a paso de la prueba de operación en vacío correspondiente a la evaluación de conformidad del RTS

29.01.01:15

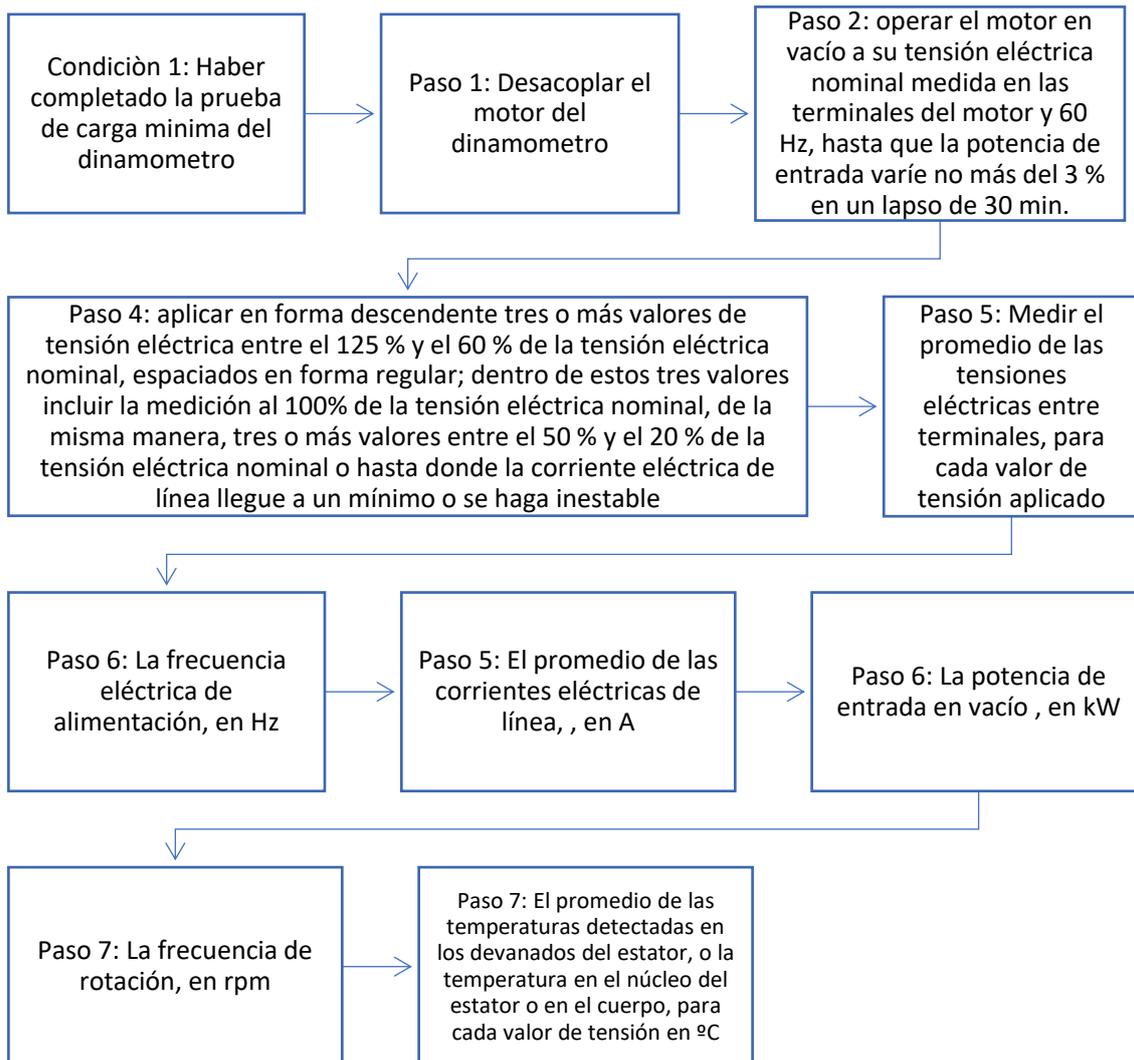


Figura 4.8: Diagrama de proceso de la prueba de operación en vacío

Luego de los pasos anteriores, se procederá a obtener la segregación de pérdidas, el reglamento divide en 3 pasos, la obtención de la magnitud de las pérdidas en el motor, esos pasos son:

- Determinación de las pérdidas por fricción y ventilación y cálculo de las pérdidas en el núcleo.
- Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator.
- Cálculos de las pérdidas por efecto Joule en el rotor.

4.3.4.7: Determinación de las pérdidas por fricción y ventilación y cálculo de las pérdidas en el núcleo.

Los siguientes cálculos se utilizan para separar el origen de las pérdidas en vacío.

- a) Se resta de la potencia de entrada medida en la prueba de operación en vacío (subcapítulo 4.3.3.5), P_0 , las pérdidas de los devanados del estator $I^2 R_{E0}$ para cada valor de tensión eléctrica de la prueba de operación en vacío, calculadas con la siguiente ecuación:

$$I^2 R_{E0} = 0.0015 \times I_0^2 \times R_{E0} \quad [\text{kW}] \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

I_0 : Es el promedio de las corrientes eléctricas de línea en vacío calculadas en la prueba de operación en vacío, en Amperes.

R_{E0} : Es la resistencia entre las terminales de referencia, en ohm, obtenida en los parámetros iniciales de la prueba, corregida al promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator para cada valor de tensión eléctrica, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R_{E0} = R_i \times \frac{t_0 + K}{t_i + K} \quad [\Omega] \quad \text{Ecuación 4.6}$$

R_i : Es la resistencia de referencia de los parámetros iniciales de la prueba, en Ω

t_0 : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator, o en el cuerpo para cada valor de tensión del número 6.3.9, en $^{\circ}\text{C}$.

t_i : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo en frío del número 6.3.4, en $^{\circ}\text{C}$

K : Es la constante del material y que tiene un valor igual a 243.5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.

- b) Se traza una curva con la potencia de entrada con el motor operando en vacío P_0 menos las pérdidas en los devanados del estator $I^2 R_{E0}$ contra la tensión eléctrica en vacío, para cada valor de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% del valor nominal.
- c) Se traza una curva con los valores de potencia de entrada en vacío P_0 menos las pérdidas en los devanados del estator $I^2 R_{E0}$, contra el cuadrado de la tensión eléctrica, para cada valor de tensión eléctrica entre el 50% y el 20% del valor nominal o hasta el valor correspondiente a la corriente eléctrica de línea mínima o inestable. Se extrapola la curva a la tensión eléctrica en vacío igual a cero. El valor de la potencia de entrada en este punto corresponde a las pérdidas por fricción y ventilación P_{fV} .

- d) De la curva obtenida en el literal (b), se calculan las pérdidas del núcleo, P_h , a la tensión eléctrica nominal, restando de la potencia de entrada en vacío, P_0 , las pérdidas en los devanados del estator $I^2 R_{E0}$ según el literal (a), y las pérdidas de fricción y ventilación P_{fV} según el literal (c).

4.3.4.8: Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator $I^2 R_m$ para cada uno de los seis valores de carga aplicados según la prueba de funcionamiento del subcapítulo 4.3.3.4, utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_m = 0.0015 \times I_m^2 \times R_m \quad [\text{kW}] \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Donde:

I_m : Es el promedio de las corrientes de línea en subcapítulo 4.3.3.4. en Amperes.

R_m : Es la resistencia entre las terminales de referencia del estator, obtenida en los parámetros iniciales (subcapítulo 4.3.3.1), corregida a la temperatura de los devanados para cada valor de carga mediante la siguiente ecuación

$$R_{E0} = R_i \times \frac{t_{mc} + K}{t_i + K} \quad [\Omega] \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde:

R_i : Es la resistencia de referencia de la medición de los parámetros iniciales. en ohmios.

t_i : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, en frío, obtenidas en los parámetros iniciales de la prueba, en °C.

K: Es la constante del material y es igual a 234.5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante.

t_{mc} : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga de la prueba de funcionamiento (subcapítulo 4.3.3.4), en °C, corregida mediante la siguiente ecuación:

$$t_{mc} = \frac{t_{fr}}{t_f} \times t_m \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde:

t_{fr} : Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico, calculada por resistencia en el número 6.3.6, en °C.

t_f : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, de la prueba para alcanzar el equilibrio térmico, en °C.

t_m : Es el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator, o la temperatura en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga de la prueba de funcionamiento, en °C.

4.3.4.9: Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor I^2R_r , en cada uno de los seis valores de carga aplicados según la prueba de funcionamiento utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2R_r = (P_e - I^2R_m - P_h) \times S_m$$

*Ecuación
4.10*

Donde:

P_e : Es la potencia de entrada para cada valor de carga medida en la prueba de funcionamiento.

P_h : Son las pérdidas del núcleo calculadas

S_m : Es el deslizamiento en "por unidad" de la frecuencia de rotación síncrona n_s para cada valor de carga, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{n_s - n_m}{n_s} \quad [\text{p. u}]$$

*Ecuación
4.11*

Donde:

n_m : Es la frecuencia de rotación para cada valor de carga medida en el número 6.3.7 en min^{-1} .

n_s : Es la frecuencia de rotación síncrona, calculado mediante la siguiente ecuación.

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad [\text{min}^{-1}]$$

Ecuación
4.12

Donde:

f : Es la frecuencia eléctrica de 60Hz de la alimentación.

p : Es el número de polos del estator.

4.3.4.10: Cálculo de la potencia de salida

- a) Se calculan los valores de par torsional corregido T_c , sumando el factor de corrección del dinamómetro FCD, en cada uno de los valores de par medidos T_m . En la práctica el FCD es compensado por la calibración del dinamómetro, por lo que cuando la medición del par se hace entre el motor a prueba y el dinamómetro, este valor no afecta la medición y puede ser despreciado considerando FCD = 0 para este paso del cálculo. Cuando es necesario el cálculo del FCD, debe realizarse de acuerdo con el Anexo B del RTS 29.01.01:15

$$T_c = T_m + FCD$$

Ecuación
4.13

- b) Se calcula la potencia de salida de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{T_c \cdot n_m}{9549} \quad [\text{kW}]$$

Ecuación
4.14

Donde:

T_c : Es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, en N·m.

n_m : Es la frecuencia de rotación para cada valor de carga, medida en la prueba de funcionamiento, en min^{-1}

4.3.4.11: Cálculo de las pérdidas indeterminadas

- a) Para calcular las pérdidas indeterminadas en cada uno de los seis valores de carga medidos en el número 6.3.7, se calcula la potencia residual P_{res} como sigue:

$$P_{res} = P_e - P_s - I^2 R_m - P_h - P_{fv} - I^2 R_r \quad [\text{kW}]$$

Ecuación
4.15

P_e : Es la potencia eléctrica de entrada para cada valor de carga, medida en la prueba de funcionamiento

P_s : Es la potencia mecánica de salida corregida para cada valor de carga calculada en el subcapítulo 4.3.3.10, en kW.

I^2R_m : Son las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada valor de carga calculadas en el subcapítulo 4.3.3.8, en kW.

P_h : Son las pérdidas en el núcleo calculadas en el subcapítulo 4.3.3.7, (d), en kW.

P_{fv} : Son las pérdidas por fricción y ventilación calculadas en el subcapítulo 4.3.3.7, (c), en kW.

I^2R_r : Son las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor para cada valor de carga, calculada en el subcapítulo 4.3.3.9, en kW.

Para suavizar la curva de potencia residual, P_{res} , contra el cuadrado del par torsional T_c^2 , para cada valor de carga, se usa el análisis de regresión lineal.

$$P_{res} = A \cdot T_c^2 + B \quad [\text{kW}]$$

*Ecuación
4.16*

Donde:

T_c : Es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el subcapítulo 4.3.3.10 (a), en N·m.

A : Es la pendiente de la recta para el análisis de regresión lineal.

B : Es la intersección de la recta con el eje de las ordenadas.

- b) Cuando el coeficiente de correlación “ γ ” es menor que 0.9, se elimina el peor punto y se calculan nuevamente A y B. Cuando el valor de “ γ ” se incrementa hasta hacerlo mayor que 0.9, se usa el segundo cálculo. En caso contrario, la prueba no fue satisfactoria, indicando errores en la instrumentación, de lectura o ambos. Se debe investigar la fuente de estos errores y corregirse, para posteriormente repetir las pruebas. Cuando el valor de A se establece conforme al párrafo anterior, se pueden calcular las pérdidas indeterminadas para cada uno de los valores de carga del número 6.3.7 de la siguiente forma:

$$P_{ind} = A \cdot T_c^2 \quad [\text{kW}]$$

Donde:

T_c : Es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el subcapítulo 4.3.3.10, (a), en N·m.

A : Es la pendiente de recta.

4.3.4.12: Corrección por temperatura para las pérdidas por efecto Joule:

Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator corregidas por temperatura

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator corregidas de la temperatura ambiente T_{af} , medida en la prueba para alcanzar el equilibrio térmico, a la temperatura ambiente de 25°C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en la prueba de funcionamiento, usando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_m = 0.0015 \times I_m^2 \times R_m \quad [\text{kW}]$$

Donde:

I_m : Es el promedio de las corrientes de línea

R_m : Es la resistencia entre las terminales de referencia del estator, de los parámetros iniciales, corregida a la temperatura de los devanados para cada valor de carga mediante la siguiente ecuación:

$$R_{mc} = R_f \times \frac{t_c + K}{t_{fr} + K} \quad [\Omega]$$

Donde:

t_c : Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, t_{fr} , del subcapítulo 4.3.3.3, corregida a una temperatura ambiente de 25°C ($t_c = t_{fr} + 25^\circ\text{C} - t_{af}$), en °C

t_{fr} : Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia, del subcapítulo 4.3.3.3, en °C

K: Es la constante del material y es igual a 234.5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material

4.3.4.13: Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor corregidas por temperatura.

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del rotor, corregidas de la temperatura ambiente t_{af} , medida en la prueba para alcanzar el equilibrio térmico a la temperatura ambiente de 25°C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en la prueba de funcionamiento, usando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_{rc} = (P_e - I^2 R_{mc} - P_h) \times S_{mc} \quad [\text{kW}] \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Donde:

$$S_{mc} = S_m \cdot \frac{t_c + k}{t_{mc} + k} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

S_{mc} : Es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona, referido a una temperatura ambiente de 25°C.

S_m : Es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de la frecuencia de rotación síncrona medida en la prueba de funcionamiento obtenido en el cálculo de pérdidas por efecto Joule en el rotor.

t_{mc} : Es el promedio de temperaturas detectadas en los devanados del estator, en el núcleo del estator o en el cuerpo, para cada valor de carga, obtenida en la prueba de funcionamiento. en °C corregidas mediante la siguiente ecuación $t_{mc} = \left((t_{fr}/t_f) \times t_m \right)$

t_c : Es la temperatura de los devanados del estator en equilibrio térmico calculada por resistencia t_{fr} , del subcapítulo 4.3.3.2, corregida a una temperatura ambiente de 25°C ($t_c = t_{fr} + 25^\circ\text{C} - t_{af}$), en °C.

t_{af} : Es la temperatura ambiente durante la prueba de equilibrio térmico a plena carga del número 6.3.5, en °C.

k : Es la constante del material y es igual a 234.5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, debe usarse el valor especificado por el fabricante del material.

4.3.4.14: Cálculo de la potencia de salida

Se calcula la potencia de salida corregida a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga establecidos en la prueba de funcionamiento usando la siguiente ecuación:

$$P_{sc} = P_e - P_h - P_{fv} - P_{ind} - I^2 R_{mc} - I^2 R_{rc} \quad [\text{kW}] \quad \text{Ecuación 4.22}$$

Donde:

P_{sc} : Es la potencia de salida corregida para cada valor de carga, referido a una temperatura ambiente de 25 °C, en kW.

P_e : Es la potencia de entrada para cada valor de carga, medida en la prueba de funcionamiento.

P_h : Son las pérdidas en el núcleo, calculadas en el subcapítulo 4.3.3.7. (d) en kW.

P_{fv} : Son las pérdidas por fricción y ventilación, calculadas en el subcapítulo 4.3.3.7, (c), en kW.

P_{ind} : Son las pérdidas indeterminadas, calculadas en el subcapítulo 4.3.3.11, en kW.

$I^2 R_{mc}$: Son las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada valor de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C, calculadas en el subcapítulo 4.3.3.11, en kW.

$I^2 R_{rc}$: Son las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor para cada valor de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C, calculadas en el subcapítulo 4.3.3.13, en kW.

4.3.4.15: Cálculo de la eficiencia

Se calcula la eficiencia η_m para cada uno de los seis valores de carga de la prueba de funcionamiento usando la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \left(\frac{P_{sc}}{P_e} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{Ecuación 4.23}$$

Donde:

P_{sc} : Es la potencia mecánica de salida corregida para cada valor de carga, referida a una temperatura ambiente de 25 °C, calculada en el subcapítulo 4.3.3.14 en kW.

P_e : Es la potencia eléctrica de entrada para cualquier valor de carga, medida en la prueba de funcionamiento, subcapítulo 4.3.3.4 en kW

4.3.4.16: Eficiencia en cualquier valor de carga

Para determinar la eficiencia en cualquier valor preciso de carga, se traza una curva con la eficiencia calculada según el subcapítulo 4.3.3.14., contra la potencia de salida corregida calculada en el subcapítulo 4.3.3.14

4.3.5: Formato para usarse para la toma de datos

CONCENTRADO DE RESULTADOS							
NORMA		RTS 29.01.15:15					
Potencia		kW					
Frecuencia		Hz					
Voltaje		voltios					
Corriente medida		amperios					
Velocidad medida		rpm					
Eficiencia calculada		%					
Polos							
Armazón							
PARÁMETROS INICIALES							
	Inciso	Estabilidad térmica				Inciso	
Resistencia de línea							
Temperatura de cobre							
Temperatura ambiente							
VARIACIÓN DE CARGA							
PORCENTAJE DE POTENCIA NOMINAL (%)		150	125	100	75	50	25
Par de salida corregido	N·m						
Par de salida corregido	lb-ft						
Potencia de entrada	W						
Corriente	A						
Velocidad	RPM						
Temperatura de cobre	°C						
Temperatura ambiente	°C						
Factor de potencia	p.u						
Eficiencia Calculada	%						
Voltaje de línea	V						
OPERACIÓN EN VACÍO							
PORCENTAJE DE POTENCIA NOMINAL (%)		121	100	90	80	50	40
Voltaje de línea	V						
Corriente	A						
Potencia de entrada	W						
Temperatura de cobre	°C						
RESULTADOS DE CÁLCULOS							
Pérdidas mecánicas	W						
Pérdidas en núcleo	W						

Pérdidas estator	W				
Pérdidas rotor	W				
Pérdidas indeterminadas	W				
Suma de pérdidas	W				
% de pérdidas indeterminadas	%				
Factor de correlación de perdidas					
Corrección de par					

Tabla 4.5: Formato de toma de resultados de la prueba

Capítulo 5: Diseño e implementación de laboratorio

5.1: Aspectos de diseño y de ambiente controlado a considerar en el diseño del laboratorio de pruebas

Así como existen estandarizaciones y normativas para procedimientos de pruebas de laboratorio, como por ejemplo las pruebas de eficiencia de motores eléctricos, de igual forma existen normativas que rigen las condiciones del sitio donde tales pruebas serán realizadas, con el propósito de cumplir las condiciones que establecidas para la obtención de la acreditación del laboratorio, asegurar un ambiente seguro para el personal que ejecutará las pruebas de eficiencia, la integridad de los equipos que serán sometidos a pruebas y para contar con la mayor fidelidad posible en los resultados.

Organizaciones involucradas en un amplio espectro de actividades usan normativas como la ISO 9001 o 9002, por ejemplo, como guía para sus sistemas de gestión de la calidad, los laboratorios no son la excepción, en cuyo caso se acreditan para la realización de pruebas o mediciones específicas a productos bajo el sistema de calidad ISO/IEC 17025.

La norma ISO/IEC 17025 establece que las instalaciones y las condiciones ambientales deben ser adecuadas para las actividades del laboratorio y no deben afectar adversamente a la validez de los resultados.

5.1.1: Variables ambientales para controlar

A continuación, se analizarán variables ambientales que según la normativa ISO/IEC 17025, deben controlarse en un laboratorio de pruebas:

5.1.1.1: Humedad:

La humedad se considera como la cantidad de agua en un material o sustancia y su análisis es crítico en la determinación de la calidad del ambiente en instalaciones de laboratorio, sobre todo en el caso de laboratorios que miden parámetros eléctricos, ya que el exceso de humedad altera el funcionamiento normal de una máquina, para citar dos ejemplos en máquinas eléctricas: la humedad afecta las características magnéticas y eléctricas de las bobinas de un transformador; y en el motor eléctrico tiene efectos en la conductividad normal de los devanados del inductor. Diferentes normativas coinciden de que la variable humedad se medirá con relación a la temperatura, por ejemplo, la norma ISA RP5 2.1 dice que cuando la temperatura ambiente sea de 23°C, el porcentaje de la humedad relativa (HR) debe oscilar entre 20% a 55%.

5.1.1.2: Temperatura:

Una de las variables ambientales que deben ser controlada según el ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” es la temperatura, y en algunos casos esta variable es la de mayor incidencia en los salones de pruebas del laboratorio

Una restricción de la variable temperatura en laboratorio, se encuentra en la norma MG1-2009 (sección 12.42.3), establece que la mayoría de los motores están diseñados para trabajar en un ambiente de 40° C. De igual forma establece que en caso de existir temperaturas mayores a 40° C. (El incremento de temperatura que se soporta se establecen en los apartados 12.42.1 y 12.42). También hace la sugerencia de los valores preferidos para el aumento de la temperatura ambiente se centran en los siguientes valores: 50° C, 65° C, 90° C y 115° C.

5.1.1.3: Presión:

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre.

La presión atmosférica en un punto coincide densamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera.

La norma ISO 554:1976 “Atmósferas normales para acondicionamiento o prueba” hace mención que la presión atmosférica deberá estar en el orden de 86kPa a 106kPa. Aunque la presión atmosférica varía en proporción a la altitud del lugar, para el caso del laboratorio que se implementará en este trabajo de investigación se ubicará dentro de las instalaciones de la Universidad de El Salvador en la ciudad de San Salvador, El Salvador que esta con una altitud de 658 msnm y una presión atmosférica del orden de los 100800 Pascales o 1008 milibares

5.1.1.4: Cantidad de partículas de polvo:

Ya que la existencia del polvo facilita la aparición de la corrosión y afecta la conductividad eléctrica de los aparatos eléctricos y electrónicos, la normativa ISO/IEC 17025 establece que la cantidad de partículas polvo es una variable que incidirá en la confiabilidad de los resultados de las pruebas. Lo que la normativa mandata para tratar esta variable son consideraciones del mantenimiento higiénico y aseo del lugar lo que se convierte en la mejor forma de regular los efectos adversos de la cantidad de polvo en el sitio.

Además, la normativa ISA-RP52.1-1975 titulada “Ambientes recomendados para laboratorios de estandarización” sugiere que no deben existir ninguna partícula de polvo de tamaño igual o mayor a 50 μm , y en el caso de existencia de partículas de polvo de un tamaño inferior a 50 μm establece los siguientes límites máximos para este parámetro:

Menos de 7×10^6 partículas por m^3 de más de 1 μm

Menos de 4×10^7 partículas por m^3 de más de 1 μm

Una forma de contrarrestar el efecto de la cantidad de partículas de polvo es la limpieza constante del lugar, además de lo anterior se puede agregar la implementación de filtros

denominados HEPA que corresponde a las siglas en inglés “High Efficiency Particle Arrester”, literalmente en español: “atrapador de partículas de alta eficiencia”, también son denominados filtros absolutos. Fueron creados en 1950 por la compañía Cambridge Filter y consisten en un sistema de retención de partículas volátiles presentes en el aire, fabricados generalmente en fibra de vidrio. Estas fibras dispuestas al azar son extremadamente finas y crean un entramado en forma de malla que retiene los compuestos contaminantes.

5.1.1.5: Iluminación:

La luz es el factor esencial incidente en la capacidad de observar y necesaria para apreciar las características físicas como la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean.

De todos los sentidos, del que mayor cantidad de información se obtiene (cerca del 80%) es de la vista. Debido a lo fundamental que es su labor, se acostumbra a darle el cuidado necesario.

Desde el punto de vista de la seguridad ocupacional, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etcétera.

La IES (Illuminating Engineering Society), Sociedad de Ingenieros de la Iluminación, en español. En su manual publicado periódicamente presenta los niveles de iluminación sugeridos dependiendo de diferentes parámetros como el propósito de la iluminación, el material usado en el sitio a iluminar, entre otros. Para la recomendación del nivel de iluminación a utilizar en el laboratorio de eficiencia a motores en cuestión se tomó como referencia la Tabla 5.1 de nivel de iluminación según el tipo de tarea visual y área de trabajo.

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles de iluminación mínimos (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores.	Áreas de circulación y asilos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén;	100

	plataformas; cuartos de calderas.	
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios de prueba general.	500
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1000

Tabla 5.1: Niveles de iluminación mínimos en luxes de acuerdo a tarea y área de trabajo

De acuerdo con la tabla 6.1 se determina que el nivel de iluminación óptimo dentro del laboratorio debe ser de 500 luxes.

5.1.1.6: Vibraciones

La vibración ha sido un factor por considerar en todas las mediciones físicas. Balanzas utilizadas en masa los laboratorios se ven afectados por las vibraciones. El ISA RP 52.1 expresa que los laboratorios asociados a las funciones de mediciones de micro masas, con la calibración de elementos ópticos de precisión, cuñas, polígonos, etc., y calibración de los manómetros de precisión debe tener en cuenta las áreas problemáticas específicas y probablemente encuentre la especificación "general" inadecuada para sus necesidades.

Las medidas que tienen que ser interpretadas por el ojo humano o por medios fotográficos también son afectado por la vibración. Dado que 12-16 Hz es la frecuencia de parpadeo crítica del ojo humano, las vibraciones que tienen frecuencias por debajo de 12 Hz pueden ser seguidas a simple vista. Desplazamientos que tienen frecuencias por encima de 12 Hz causan desenfoque de los patrones de franjas del interferómetro. Como una franja representa 10.7 micro pulgadas, el desplazamiento de 6 micro pulgadas podría resultar en el lavado completo de la franja patrón. Un desplazamiento de 6 micro pulgadas a 12 Hz representa un nivel de vibración de 4.4×10^{-4} g.

El exceso de los límites de vibración admisibles en máquinas electromecánicas como los motores es un defecto que puede darse y afectar la fidelidad de la prueba de laboratorio, por lo que es necesario conocer causas de vibración y sus consecuencias, como una guía corta para conocer el tipo de vibración y la corrección de la misma se presenta el siguiente listado:

Vibración por desbalance: Una de las causas más comunes de vibración es el desbalance de la máquina y se manifiesta de la siguiente forma

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1 por cada rpm de la pieza desbalanceada.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las máquinas con ejes horizontales).
- El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
- La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°

Vibración por falta de alineamiento: La falta de alineamiento se manifiesta de la siguiente forma

- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineamiento, incluso con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

No solo el accionar de las máquinas electromecánicas, como es el caso del motor trifásico de corriente alterna, son fuente de vibración, también el entorno del laboratorio puede afectar con vibraciones la exactitud de los instrumentos de medición, lo que conlleva en una afectación adicional a la fidelidad de los resultados de la prueba, por esta razón la normativa ISA RP 52.1 recomienda las siguientes medidas para reducción de los efectos de la vibración en los instrumentos de lectura

- Ubicar el laboratorio lejos de fuentes de vibración.
- Siempre que sea posible, utilice únicamente equipos auto amortiguadores.
- Usar métodos locales para desafinar las frecuencias resonantes de los instrumentos: por suspensiones neumáticas o por montajes sismográficos.

5.1.1.7: Ruido Acústico

A la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones que implique molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que cause efectos significativos sobre el medio ambiente, cualquiera que sea la fuente o emisor acústico que los origine se le conoce como ruido acústico. El ruido es un caso particular de sonido, en este caso no deseado, molesto o dañino.

La normativa ISA-RP 52.1 en su subcapítulo 4.1 recomienda que el nivel máximo de ruido acústico debe ser de 45 decibeles.

Basándose en la recomendación anterior se recomienda de realizar las mediciones correspondientes para cumplir con lo recomendado, y de resultar que el ruido acústico excede los 45 decibeles máximo, realizar las adecuaciones en la infraestructura del laboratorio entre las que se encuentran:

- Realizar un mapa de ruido para conocer los puntos críticos que necesitan mayor aislamiento acústico.
- Instalación de paneles de fibra fonoabsorbentes.
- Sustitución de las ventanas existentes por ventanas de PVC con aislamiento de ruido externo.

5.1.1.8: Interferencia electromagnética:

Otro aspecto que puede influir negativamente en la precisión de la medición, en los instrumentos de prueba y en el producto sometido a prueba es la interferencia causada por la falta de control a los campos magnéticos, dicho fenómeno es abordado por la normativa ISO/IEC 17025.

Para garantizar el control de la interferencia electromagnético de acuerdo con la normativa ISO/IEC 17025 se sugiere contemplar en el diseño del laboratorio de pruebas la implementación de sistemas de blindaje o apantallamiento contra los campos electromagnéticos.

Estos materiales se componen de aleaciones metálicas especiales de alta permeabilidad magnética, que consiguen una alta eficacia de blindaje contra los campos electromagnéticos, el blindaje debe ser implementado tanto en la infraestructura, en las bandejas y canalizaciones de cable eléctrico y de igual forma en los cables.

En las paredes y techo del laboratorio se puede implementar un sistema de aislamiento consistente en una aleación especial de alta permeabilidad electromagnética que actuará para desviar las líneas de fuerza magnética fuera del espacio a proteger, y así facilitar un "camino de baja resistencia" para el campo magnético, este sistema de apantallamiento se instala directamente a la pared de ladrillo o hormigón, y no necesita ninguna estructura metálica para soportar el material de blindaje.

5.2: Sistema Eléctrico

En todo sistema eléctrico existen perturbaciones en la señal de tensión o corriente, esto en parte se debe al aumento de la electrónica de potencia en la generación y consumo, es por ello que en la actualidad existen normativas nacionales e internacionales que han establecido límites permisibles de perturbaciones, los cuales se tienen que cumplir para que la señal de tensión y corriente este lo más próxima a una señal sinusoidal, y de esa manera no se afecte al usuario ni al sistema eléctrico.

Para garantizar la integridad de los equipos que serán sometidos a prueba, y para asegurar la calidad de la medición de eficiencia cumpliendo con el RTS 29.01.01:15, en este apartado se hará un listado de las perturbaciones al suministro de energía que representan una afectación a la calidad de energía a las que se le debe hacer un registro previo y periódico para mantener o corregir la calidad energía en el edificio de potencia de la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador que es donde se ubicara el laboratorio de la propuesta.

5.2.1: Perturbaciones en el sistema eléctrico

Para poder entender las perturbaciones que se pueden dar en el sistema eléctrico, antes, es necesario entender el concepto de calidad de energía, según IEEE 6100 es la capacidad de un aparato, equipo o sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir el mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentre en este entorno.

Según la normativa IEEE Std. 1159, las perturbaciones se pueden clasificar según su duración, amplitud, espectro armónico de los fenómenos electromagnéticos que provocan las perturbaciones. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Transitorios: Entre lo que se encuentran transitorias impulsiones, transitorios oscilantes.
- Variaciones de corta duración: En esta categoría están las Interrupciones, huecos, sobretensiones momentáneas.
- Variaciones de larga duración: Sobretensión, sub-tensión, interrupciones mantenidas.
- Desequilibrio: Desequilibrio de tensión y de corriente.
- Distorsión de forma de onda: Armónicos, sub armónicos, Inter armónicos, micro cortes componentes de continua y ruidos de alta frecuencia.
- Fluctuaciones de tensión.
- Fluctuaciones de frecuencia.

5.2.1.1: Transitorios impulsionales

Es un aumento repentino en el nivel de tensión que dura microsegundos causado mayormente por fallas en la red eléctrica, descargas atmosféricas y maniobras de gran carga. Ejemplo: Caída directa de un rayo en una estructura. Para contrarrestar los efectos de este tipo de perturbaciones se recomienda la implementación de un sistema de pararrayos.



Figura 5.1: Pararrayos

5.2.1.2: Transitorios oscilantes

Este tipo de transitorios presenta una respuesta sub amortiguada, duración desde microsegundos hasta milisegundos, pueden ser provocados por desconexión de cargas inductivas o capacitivas, se puede implementar el uso de UPS de un supresor de voltaje de transitorios para protección de equipos electrónicos.

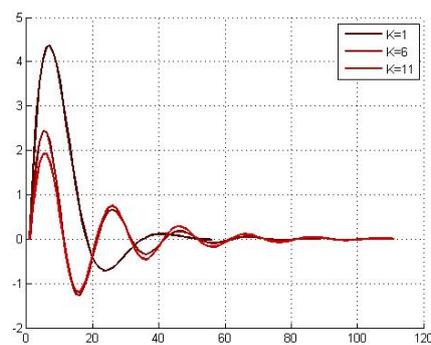


Figura 5.2: Respuesta subamortiguada

5.2.1.3: Interrupciones

Consiste en descensos de tensión por debajo de un 10% de su valor nominal que puede ser causada por conmutaciones, transferencias o fallas de una carga. Una protección para las cargas ante esta perturbación son los UPS

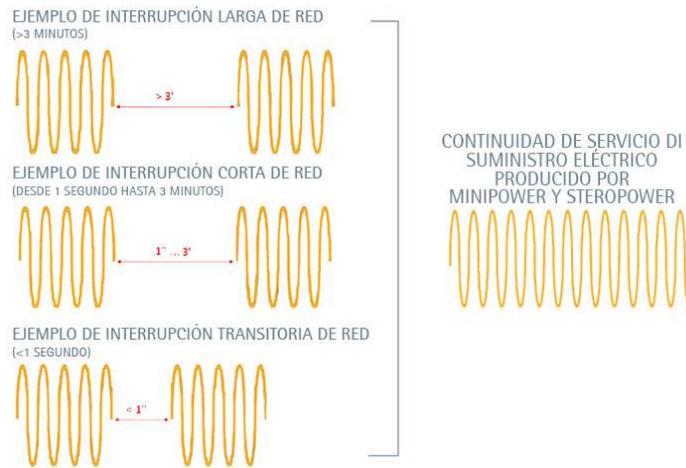


Figura 5.3: Interrupciones de tensión

5.2.1.4: Huecos (Sag)

Son descensos de la tensión entre un 90% y un 10% de su valor nominal. Los huecos de tensión son usualmente asociados a cortocircuitos en las líneas, a la energización de grandes cargas, o al arranque de grandes motores.

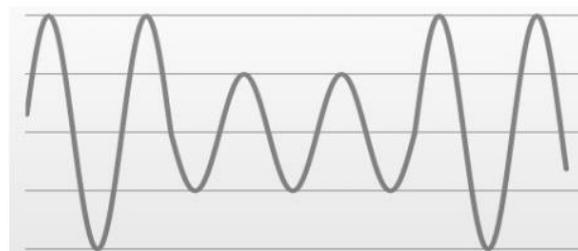


Figura 5.4: Huecos de tensión ("Sag")

5.2.1.5: Sobretensión momentánea (Swell)

Estas perturbaciones consisten en elevaciones de tensión de entre un 110% y un 180% de su valor nominal con una duración que abarca desde medio ciclo hasta un minuto. Son menos comunes que los huecos y por lo general están relacionados con las condiciones de falla del sistema. Los swells pueden ocurrir como un fallo entre una línea y la tierra, lo que elevará brevemente el nivel de tensión de las fases sin fallas, puede reducir la vida útil de los equipos, una forma de mitigar esto es usando UPS en las cargas críticas.

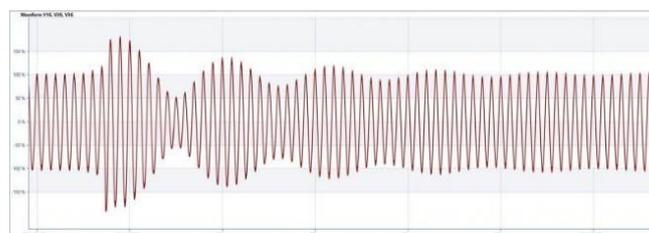


Figura 5.5: Sobretensión momentánea

5.2.1.6: Fluctuaciones de frecuencia:

La variación de frecuencia es muy poco común en sistemas estables de la red eléctrica, especialmente sistemas interconectados a través de una red. Cuando los sitios poseen generadores dedicados de reserva o una infraestructura pobre de alimentación, la variación de la frecuencia es más común, especialmente si el generador se encuentra muy cargado.

Las cargas más sensibles a las fluctuaciones de frecuencia son los motores ya que la velocidad de estos depende proporcionalmente de la frecuencia, por lo que una fluctuación provoca pérdida de eficiencia y un aumento de la temperatura del motor que conlleva a un mayor consumo de corriente.

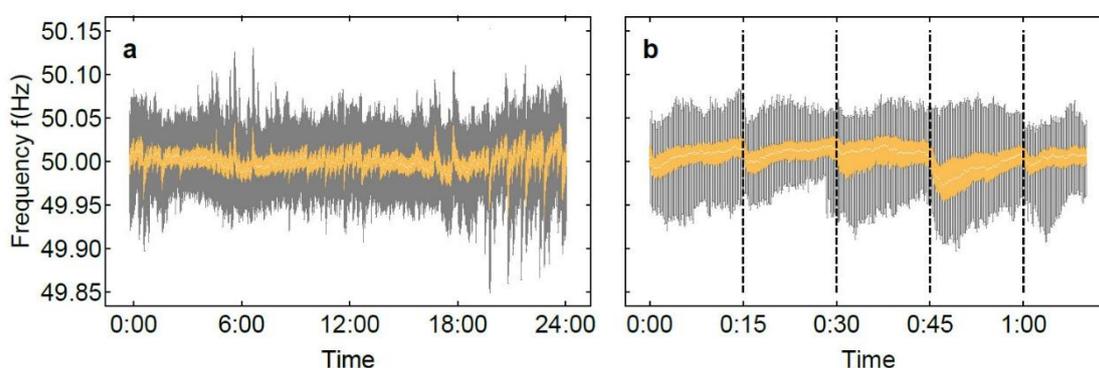


Figura 5.6: Fluctuaciones de frecuencia

5.2.2: Red de puesta a tierra

La red de puesta a tierra es conjunto de elementos eléctricos conectados entre sí para proteger las instalaciones o subestaciones; ya sea para el área de generación o distribución o en su defecto darle protección a los equipos que se encuentran conectados a esta red, para el diseño de una red de tierra se puede utilizar la norma IEEE-80-2013 que es una de las normativas más utilizado para el análisis y diseño, cabe recalcar que hay más normas que pueden proporcionar las herramientas necesarias

Según esta norma se deben cumplir ciertos objetivos dentro de cuales están:

- Para las corrientes eléctricas se debe tomar en cuenta que se deben brindar los medios necesarios para poder llevarla hasta la red de tierra; ya sea en condiciones normales o de fallo sin sobre pasar las condiciones normales de operación
- Disminuir el riesgo de sufrir un choque eléctrico de mayor magnitud por las instalaciones donde se encuentre la persona.

Por lo tanto, es importante tener un buen diseño para disminuir los peligros; las condiciones de peligro son variadas, por ejemplo, un alto gradiente de potencial puede

llegar a sobresalir en los puntos de superficie de tierra, la ausencia de suficiente de tener un contacto directo a tierra.

También Se revisan aspectos de diseño de la conexión a tierra en instalaciones eléctricas cubiertas por el NEC, en el cual son aplicables las normas de diseño IEEE 142 e IEEE 1100. Para las redes de tierra importa la distribución de potencial en la superficie medidos desde un punto de referencia lejano. La corriente de una fuente AC o DC impone un campo eléctrico y una distribución de potencial.

Los electrodos son piezas metálicas las cuales poseen una función importante que es llevar la corriente eléctrica a tierra, estos electrodos se colocan de diferente forma geométrica y será según la instalación; para el caso de la escuela de ingeniería eléctrica

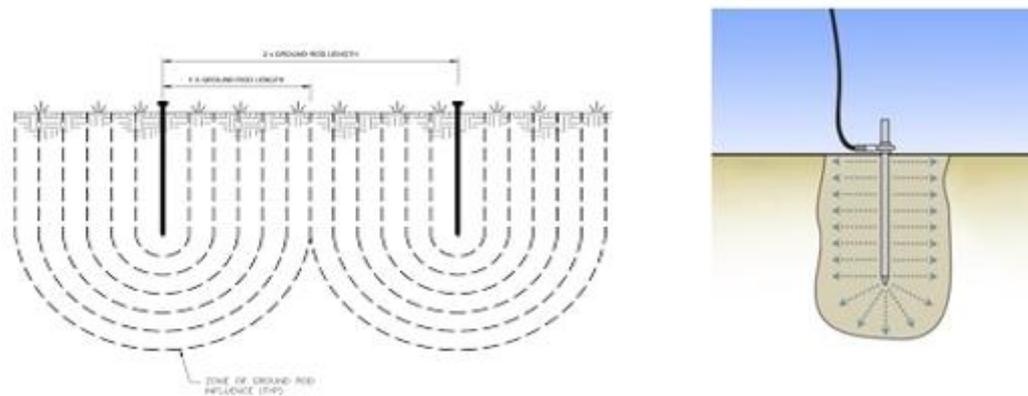


Figura 5.7: Electrodos de puesta a tierra

se tienen una en forma de anillo

Se pueden obtener resistencias a tierra del sistema de menos de 1 ohm mediante el uso de varios electrodos individuales conectados entre sí. Una resistencia tan baja solo se requiere para grandes subestaciones, líneas de transmisión o estaciones generadoras. Las resistencias en el rango de 1 Ω a 5 Ω generalmente se consideran adecuadas para subestaciones y edificios de plantas industriales y grandes instalaciones comerciales

El valor de 25 ohmios indicado en el NEC se aplica a la resistencia máxima para un solo electrodo que consiste en una varilla, tubería o placa. Si se obtiene una resistencia mayor para un solo electrodo, se requiere un segundo electrodo de cualquiera de los tipos especificados en el NEC.

Esto no debe interpretarse en el sentido de que 25 ohmios es un valor de resistencia satisfactorio para un sistema de puesta a tierra.

Por el contrario, el Código Eléctrico Canadiense (CEC), CSA C22.1 utiliza un criterio de aumento máximo del potencial de tierra de la estación de 5000 V (o menos) en

condiciones máximas de falla a tierra, y voltajes de paso/toque para mostrar los valores estipulados en el CEC (básicamente estos valores son los mismos valores dados en IEEE Std 80).

$$GPR \leq 5000 \text{ V RMS}$$

5.2.2.1: Resistencia del suelo

Se recomienda enfáticamente que se investigue la resistividad de la tierra en la ubicación deseada de la conexión. La resistividad de los suelos varía con la profundidad desde la superficie, el tipo y la concentración de químicos solubles en el suelo, el contenido de humedad y la temperatura del suelo. En otras palabras, la resistividad es la del electrolito en el suelo. La presencia de agua superficial no indica necesariamente baja resistividad.

5.2.2.2: Capacidad de manejo de corriente

- Un factor que no debe pasarse por alto al diseñar un sistema de puesta a tierra es la capacidad de carga de corriente de una conexión a tierra.
- Las condiciones de temperatura y humedad que rodean inmediatamente al electrodo tienen un efecto directo sobre la resistividad de esta sección del circuito de puesta a tierra.
- Las corrientes que pasan del electrodo a la tierra tendrán un efecto definido en estas dos condiciones.
- Por lo tanto, la capacidad de carga de corriente de una conexión debe analizarse desde el punto de vista de la naturaleza del circuito de puesta a tierra y los tipos de carga que normalmente se espera que lleve.

Para evitar los electrodos humeantes, una corriente máxima por metro de longitud de varilla para el sistema de varilla total no debe exceder los valores determinados por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1140 \times d}{\sqrt{\rho \times t}}$$

Donde

I : máxima corriente en A/m

d : diámetro de la varilla en mm

ρ : resistividad en Ω -cm

t: tiempo en segundos (típicamente un segundo)

5.2.2.3: Electrodo de tierra

- Los electrodos de tierra se pueden dividir en dos grupos.
- El primer grupo comprende sistemas de tuberías metálicas subterráneas, estructura de refuerzo metálica de edificios puestos a tierra de manera efectiva, revestimientos de pozos metálicos, pilotes de acero y otras estructuras metálicas subterráneas instaladas con fines distintos a la puesta a tierra.
- El segundo grupo comprende electrodos diseñados específicamente para fines de puesta a tierra, también conocidos como electrodos fabricados.
- Los electrodos diseñados específicamente para fines de puesta a tierra se pueden subdividir en electrodos manuales, barras de refuerzo de acero embebidas en concreto (también conocido como tierra ufer), cinta o cables enterrados, cuadrículas de tierra, placas enterradas y contrapesos.
- El tipo seleccionado dependerá del tipo de suelo encontrado y la profundidad disponible.
- Las cuadrículas de tierra se utilizan con frecuencia para subestaciones o estaciones generadoras para proporcionar áreas equipotenciales en toda la estación en lugares donde los riesgos para la vida y la propiedad justificarían un costo más alto. También requieren la menor cantidad de material enterrado para una resistencia de electrodo dada.
- Las placas de tierra no se han utilizado mucho en los últimos años debido al alto costo en comparación con las varillas o cintas. Además, cuando se usan en pequeñas cantidades, las placas enterradas son el tipo de electrodo fabricado menos eficiente.
- El contrapeso es una forma de electrodo de cable enterrado que se usa con mayor frecuencia para poner a tierra torres y estructuras de líneas de transmisión.

Las redes de tierra que tenía la escuela de ingeniería eléctrica eran las siguientes:

- Red de tierra para el generador de las pruebas de impulso
- Red de tierra para el ala de motores

- Red de tierra anillo enterrado para la parte externa del edificio

En la última visita a la Universidad de El Salvador se observó el retiro de estas redes de tierra ya que se estaban realizando modificaciones en todas las instalaciones de la universidad, la recomendación para este laboratorio de pruebas se impulso es el anillo enterrado a tierra



Figura 5.8: Anillo enterrado de puesta a tierra

Un anillo de puesta a tierra está formado por conductores de cobre desnudo con una sección transversal de calibre no inferior a 2 AWG (para resistencia mecánica) y una longitud no inferior a 6 m que se entierran alrededor de un edificio u otra estructura a una profundidad de 800 mm.

Estos anillos de tierra se utilizan con frecuencia para proporcionar un plano equipotencial para edificios y equipos alrededor de una fábrica, un sitio de comunicaciones o computación, para el caso del laboratorio sería ideal ya que se utilizará cierta cantidad de computadores para el desarrollo de pruebas de los motores donde se llevará una bitácora, o cualquier de registro necesario para llevar un historial o una base de datos y se cubre en gran manera la seguridad ya que la superficie que brinda esta superficie equipotencial de alta.

5.3: Ubicación de instalaciones

Para la elección del lugar que fuera más favorable para la propuesta de implementación del laboratorio de eficiencia de motores eléctricos trifásicos de jaula de ardilla el equipo de trabajo realizo una visita técnica a un laboratorio de pruebas de motores en el país para conocer las condiciones bajo las que ellos trabajan, posteriormente se realizó una inspección a las instalaciones de la Universidad de El Salvador, para evaluar el sitio dentro del campus que mejores condiciones reunía para la implementación del laboratorio.

Posteriormente a la inspección, se determinó que dos sitios en específico reunían las mejores condiciones:

- 1 Terreno ubicado frente al acceso de la entrada principal de la escuela de ingeniería eléctrica y al oriente del centro de investigaciones de metrología.
- 2 Ala sur del edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.



Figura 5.9: Ubicaciones de las opciones para desarrollar la propuesta de laboratorio de pruebas para evaluación de conformidad RTS 29.01.01:15.

Tomar en cuenta que la primera opción implica la obra civil de las instalaciones del terreno, ya que solamente es un terreno, la segunda opción es una infraestructura ya construida. El equipo de trabajo realizó un método de evaluación de las opciones finales el cual se muestra a continuación.

Se tomaron en cuenta 4 criterios básicos y se evaluó la conveniencia de cada uno de estos basado en una evaluación por puntajes donde la suma mayor resulta en la mejor opción, la conveniencia de los criterios de evaluación se mide en un puntaje de 1 a 3, donde:

- 1: Poco conveniente
- 2: Conveniente
- 3: Muy conveniente

Criterios	Terreno frente a entrada principal Escuela de Ingeniería Eléctrica	Edificio de potencia Escuela de Ingeniería Eléctrica
Costos de construcción	1	2
Accesibilidad	2	2
Impacto ambiental (Menor cantidad de flora y fauna afectada)	1	3

por la implementación del laboratorio)		
Tiempo de implementación	2	3
Puntaje total	6	10

Tabla 5.2: Evaluación de criterios para elección de instalaciones de laboratorio.

Basado en el método anterior, la opción que tuvo el mayor puntaje fue la del edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.



Figura 5.10: Edificio de potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador.

5.4: Descripción de la instalación

El edificio de potencia de la EIE- UES, está ubicado en las coordenadas 13.720980 N, - 89.200108 O, divididos en dos salones (uno al extremo sur y otro al extremo norte) en forma de octágono que se conocen como “alas”, ambos salones interconectados entre sí por un pasillo central.

Para la implementación del laboratorio se usará solamente el ala sur del edificio de potencia ya que el área que posee es suficiente para el funcionamiento adecuado de los equipos y también posee la accesibilidad necesaria para el ingreso de los motores, funciona actualmente como laboratorio de conversión de energía electromecánica y se observó que todas las máquinas eléctricas que dispone el laboratorio, como una máquina universal de pruebas, transformadores, generadores, motores, banco de pruebas y demás; también como algunos instrumentos de medición presentan buenas condiciones, y permanecen en estantes guardados, y las máquinas completamente tapadas, protegidas del polvo y la humedad, por lo que quedará a decisión de las autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador la nueva ubicación y traslado del laboratorio de conversión de energía electromecánica.

En la Tabla 5.3 se presentan algunos datos de interés de la ubicación del laboratorio obtenidos durante la inspección.

Datos medidos	Unidades
Altura del edificio	5.10 m
Área total del ala sur	72 m ²
Medidas de la cortina metálica de acceso principal	Alto: 3.65 m, largo: 3.20 m
Cantidad de ventanas	18
Medidas de las ventanas	Alto: 1.2 m, largo: 0.70 m

Tabla 5.3: Datos de interés de la infraestructura del ala sur del edificio de potencia EIE

5.5: Equipo a utilizar en el laboratorio

5.5.1: Especificaciones de equipos a utilizar según el RTS 29.01.01:15, para la prueba de evaluación de conformidad

A continuación, se mostrará la propuesta de los equipos a utilizar para la prueba de evaluación de conformidad del RTS 29.01.01:15, el listado de equipo a utilizar para la prueba aparece en el subcapítulo 4.4.2 de este documento.

5.5.1.1: Termopar (RTD) sonda doble PTC KZ235

Los termistores PTC (Coeficiente de temperatura positivo) son resistencias hechas de materiales semiconductores (cerámica), cuyo valor de resistencia aumenta considerablemente cuando la temperatura aumenta. Estas sondas se utilizarán principalmente en el sector de la electrónica y la ingeniería eléctrica. Por ejemplo, para la protección contra sobrecargas de devanados de motores eléctricos, de devanados de transformadores, para monitorización de temperatura de semiconductores de potencia, de cojinetes de todas las máquinas giratorias, etc., gracias a la precisión del umbral de funcionamiento, de reducidas dimensiones, baja inercia térmica y bajo coste, la sonda PTC es un producto especialmente atractivo.



Figura 5.11: Termopar (RTD) de sonda doble

Características mecánicas y eléctricas.

Tipo: KZ235

Diámetro de la sonda \varnothing : 2 a 2.5 mm

Contracción térmica: Kynar15mm

Cable: Cobre plateado trenzado

Aislamiento en Teflón PTFE / PFA (AWG26, 24, 20) Según elección del fabricante

Longitud de cable estándar L:

Sonda doble: 500/180/500 ± 10 mm

Código de color: Colores estándar según DIN VDE V098-1-401 (normas antiguas DIN 44081+ DIN 44082).

Conductor:

Vaina precortada en ~ 10 mm, despejada lista para pelar (evita la dispersión del hilo).

Voltaje de funcionamiento: U = 600 VAC

Resistencia de los

conductores: a 20°C, AWG26=133 Ohms/Km, AWG24=82,7 Ohms/Km

Temperatura de funcionamiento: -40 a + 200 ° C

Voltaje de funcionamiento máximo: U_{max} = 30V

Voltaje de medición: U_{max} = 2,5V

Rigidez dieléctrica: U <2.5KV

Temperaturas nominales de funcionamiento

Ttnf : de +60°C à +180°C par fractions de 10K (ainsi que +145°C et +155°C)

Tolerancia de Ttnf en:

Delta Ttnf, de + 60 ° C a + 160 ° C: ± 5K

de + 170 ° C a + 180 ° C: ± 6K

Constante térmica ta: <5 seg.

Disparador Tab: <3 seg.

Montaje y posicionamiento de sondas

Es preferible implantar las sondas antes de impregnar los devanados. Para motores eléctricos trifásicos, cada devanado está equipado con una sonda (velocidad única = 3 PTC, 2 velocidades = 6 PTC). Las sondas están conectadas en serie, los dos cables de conexión deben conectarse a 2 terminales libres en la caja de terminales. El CTP se debe colocar en el punto más caliente de los devanados. En el caso de los motores eléctricos, este punto es casi siempre opuesto al ventilador.

Es esencial que las sondas tengan un buen contacto térmico con el devanado, en el caso de los motores eléctricos, es necesario proporcionar un espacio en el medio de la cabeza del devanado, lo que permite el alojamiento de la sonda, los conductores de la sonda deben colocarse paralelos a los cables del devanado, este último debe tener el mayor contacto íntimo posible con la sonda. Para obtener este resultado, el cable debe

presionarse fuertemente con la mano alrededor de la sonda de vendaje. Los devanados compuestos por alambres más grandes se adaptan menos bien a la forma de las sondas, en este caso se recomienda recubrir ligeramente las sondas de resina cargadas con polvo de cuarzo con buena conductividad térmica, es importante evitar inclusiones de aire. Si el fabricante del motor usa productos de impregnación que no son químicamente neutros, o si usa un método de impregnación especial, que corre el riesgo de dañar el aislamiento de la sonda.

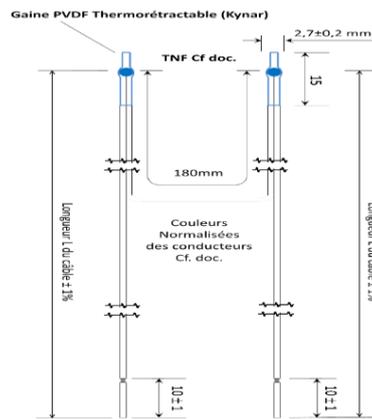


Figura 5.12: Sondas de termopar

CTP para medición

Los sensores de temperatura con sondas PTC también son muy efectivos para el monitoreo de temperatura límite en técnicas de medición, control y regulación. Además de las versiones estándar para integrar, sondas de rosca, sondas de superficie (con longitudes de conductor estándar: 500 ± 10 mm).

5.5.1.2: Óhmetro de 4 terminales (M210)

Este instrumento es un medidor digital portátil para medir resistencias bajas sobre el rango de 0.001Ω a 200Ω . Se logra un alto grado de precisión utilizando una entrada de cuatro terminales para eliminar errores causados por la longitud del cable de prueba. Una de las características más importantes del medidor de mili ohmios es su prueba baja (5mA) actual.



Figura 5.13: Óhmetro de 4 terminales

Esto asegura que el contacto que se está probando no sea "limpiado" por la prueba corriente que puede ocurrir cuando se utilizan corrientes de prueba más altas. Esta 'limpieza' del contacto bajo prueba conduce a mediciones erróneas. El conjunto M210 comprende; Medidor de mili ohmios M210, posee un conjunto de conectores de clip de resorte y cables, un estuche de cuero y un folleto de instrucciones, posee las siguientes características:

- 0.1% de precisión
- Solo corriente de prueba de 5 mA
- Operación con un solo botón
- Rango automático
- Entrada de cuatro terminales
- Apagado automático después de tres minutos
- 20 horas de funcionamiento continuo (desde batería PP3 estándar)
- Completo con estuche de cuero
- Liviano y portátil

Este dispositivo abarca las siguientes aplicaciones:

- Contactos de relé, interruptor y conector
- Agujeros pasantes chapados en PC
- Resistencia de pista de PC
- Devanados de transformadores y motores
- Prueba de circuito de anillo
- Continuidad del conductor de tierra
- Uniones envueltas en alambre y soldadas
- Blindaje RFI y resistencia de bobina
- Cableado de red
- Comprobación de vinculación de aeronaves

ESPECIFICACIONES	
Rangos	1.999 Ω ,19.99 Ω ,199.9 Ω
Incrementos	0.001 Ω ,0.01 Ω ,0.1 Ω
Precisión	\pm 0.1 de rango
Offset	\pm 0.001 Ω
Máximo V	1.4V
Máximo I	5mA
Deriva de temperatura	0.1% $^{\circ}$ C de bajo rango

Tabla 5.4: Especificaciones de óhmetro

Una de las aplicaciones del óhmetro M210 es la medición de resistencia en devanados de motores y transformadores por cual se considera recomendable ya que posee una gran precisión disminuyendo directamente la incertidumbre, obteniendo así un dato más exacto.

5.5.1.3: Equipo para controlar la tensión de alimentación

Tal como se establece en el reglamento, es indispensable contar con un equipo que permita el control y la regulación de la tensión de alimentación, dado que no todos los motores que serán sometidos a pruebas tienen el mismo nivel de tensión de alimentación en su placa de datos, además, la prueba de operación en vacío exige aplicar en forma descendente tres o más valores de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% de la tensión eléctrica nominal, espaciados en forma regular, de igual forma deben incluirse mediciones con tensión de alimentación de entre el 50% y el 20% de la tensión eléctrica nominal.

Para controlar y regular la tensión de alimentación se usará una fuente programable de corriente alterna de alta potencia de la marca Preen



Figura 5.14: Fuente de potencia programable AC de alta potencia Preen

El modelo es el AFV+ series, el cual tiene fuentes que ofrecen desde 10kVA hasta 20000kVA. Según el fabricante esta fuente entrega energía con una baja tasa de distorsión armónica, alta confiabilidad y múltiples características de programación, como una característica adicional que podría ser útil para otros propósitos, esta fuente de potencia tiene la capacidad de simular diferentes perturbaciones como desbalance de fases, desfase y pérdida de fase.

Utiliza una avanzada tecnología modulación por ancho de pulsos para entregar potencia con una tasa de distorsión armónica menor al 0.5%. La frecuencia de salida puede programarse de 45Hz a 120Hz con una variación máxima de $\pm 0.02\%$ e incluso el usuario puede programar hasta los 800Hz para las aplicaciones que requieran esa frecuencia. De igual manera, puede entregar un nivel de tensión máximo de 400V (L-N) / 690V (L-L) y un nivel de tensión opcional de 600V (L-N) / 1039V (L-L).

Al ser diseñada para que puedan realizarse ensayos a motores, esta fuente de potencia también contempla el hecho que los motores consumen una alta intensidad de corriente por lo que tiene agregada una característica para poder alcanzar el 200% de la intensidad de corriente nominal de un dispositivo durante 2 segundos, el 150% por 5 segundos y el 125% por 15 segundos.

La fuente de potencia propuesta también tiene la capacidad de compensar automáticamente las caídas de tensión causadas por la longitud del cable que conecta la fuente de potencia y el motor, por lo que el operario del laboratorio evitará estar regulando el voltaje por razones de caída de tensión.

5.5.1.4: Frecuencímetro- FLUKE 117 multímetro RMS

Para la condición de frecuencia se considera a bien el uso del multímetro digital Fluke 117 el cual posee la función de medición de frecuencia entre muchas otras.



Figura 5.15: Multímetro Fluke

El medidor mide la frecuencia de una señal contando la cantidad de veces que ésta atraviesa un nivel de activación cada segundo. El nivel de activación es 0 V, 0 A para

todos los rangos. para activar y desactivar la función de medición de la frecuencia. La frecuencia funciona únicamente con las funciones de CA. En el modo de frecuencia, el gráfico de barras y el anunciador del rango indican la tensión o corriente de CA presente.

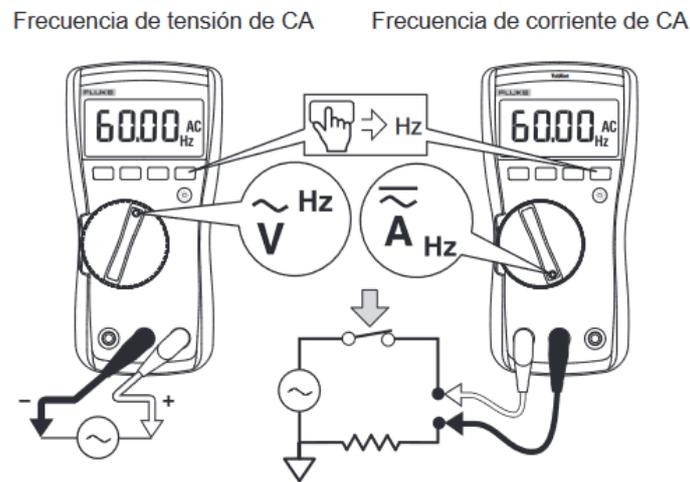


Figura 5.16: Funciones del multímetro Fluke

Dentro de las características principales están:

- Tecnología VoltAlert™ para detección de voltaje sin contacto
- Función AutoVolt para selección automática del voltaje CA/CC
- Baja impedancia de entrada: ayuda a evitar las lecturas falsas producidas por voltaje fantasma
- Gran pantalla con retroiluminación para trabajar en lugares poco iluminados
- Valor eficaz verdadero para mediciones precisas en cargas no lineales
- Mide 10 A (sobrecarga de 20 A durante 30 segundos)
- Resistencia, continuidad, frecuencia y capacidad
- Proporciona Min / Max / Average para registrar las fluctuaciones de la señal
- Diseño ergonómico y compacto para su usación con una sola mano
- Compatible con la opción de correa con imán para poder trabajar cómodamente con ambas manos
- Clasificación de seguridad CAT III 600 V

Se recomienda este modelo, ya que cumple una condición importante para la realización de pruebas la cual es que medir la frecuencia de alimentación teniendo como máximo valor de incertidumbre un $\pm 0.1\%$

Hz (entrada en V o A) ²	Rango/Resolución	99.99 Hz / 0.01 Hz 999.9 Hz / 0.1 Hz
------------------------------------	------------------	---

		9.999 kHz / 0.001 Hz 50.00 kHz / 0.01 Hz
	Precisión	±0.1 % + 1

Tabla 5.5: Especificaciones del multímetro

A continuación, se presentan los valores de incertidumbre que proporciona el multímetro Fluke 117 para la medición de voltaje y corriente

Voltaje/Amperios AC	Rango/Resolución	6.000 A / 0.001 A 10.00 A / 0.01 A 6.000 V / 0.001 V 60.00 V / 0.01 V 600.0 V / 0.1 V
	Precisión	±1.0 % + 1

Tabla 5.6: Especificaciones del multímetro

Ya que los valores de precisión que ofrece el equipo cumplen con las condiciones que exige el reglamento técnico salvadoreño el cual establece que debe tener máximo un valor de incertidumbre ±2%.

5.5.1.5: Vatímetro - FLUKE 125

El vatímetro FLUKE 125 es un dispositivo robusto para la localización de averías en entornos industriales. Este vatímetro integra un osciloscopio, un multímetro y un 'registrador' sin papel en un único equipo, asequible y fácil de usar. El vatímetro es el equipo adecuado para resolver los problemas en máquinas, instrumentación y sistemas de control y alimentación eléctrica.

Anomalías en las señales, caídas de tensión y fallos imprevistos que pueden provocar la parada de una máquina, se ven mejor con un osciloscopio. El vatímetro FLUKE 125 satisface las necesidades actuales de medir y comprobar simultáneamente formas de ondas. El exclusivo modo de disparo Connect-and-View™ muestra automáticamente formas de ondas estables para prácticamente cualquier señal imaginable. Proporciona una visualización estable, fiable y repetible de casi cualquier señal, incluidas las señales de control y variadores de velocidad, sin necesidad de pulsar un botón.



Figura 5.17: Vatímetro Fluke

- Incluye función de prueba del estado bus y medición de potencia
- Mediciones automáticas
- Tres canales con TrendPlot™
- Tipos de disparo automáticos Connect-and-View™ para una medición fácil
- Cables de prueba apantallados para los modos de osciloscopio, medidas de resistencia y continuidad
- 10:1 - sonda de tensión para mediciones de alta frecuencia
- Duración de la batería hasta 7 horas
- Seguridad EN61010-1 CAT III 600 V
- Interfaz aislada ópticamente para conexión a PC
- Equipo compacto y robusto
- Medición de VDC, VAC, VAC+VDC, Ohmios, Continuidad, Comprobación de diodos, Corriente, °C, °F, Capacidad, dBV, dBm, Factor de cresta, Touch Hold y Ajuste a cero
- Multímetro digital TRMS de dos canales con 5.000 dígitos
- FlukeView Software para el análisis posterior de los valores medidos

Modelo	ScopeMeter FLUKE 125
Ancho de banda del osciloscopio	40 MHz
Multímetro de verdadero valor eficaz de dos canales	VDC, VAC, VAC+VDC, Ohmios, Continuidad, Comprobación de diodos, Corriente, °C, °F, Capacidad, dBV, dBm, Factor de cresta, Touch Hold y ajuste a cero
Registro TrendPlot	Escala automática vertical y compresión temporal.
	Presentación de lecturas reales de mínimos, máximos y promedio.
Cursores	ΔT , $1/\Delta T$, V, ΔV , tiempo de subida y caída

Máx. velocidad de muestreo en tiempo real	25 MS/s
Velocidad de muestreo equivalente	hasta 2,5 GS/s (125, 124) o 1.25 GS/s (123)
Canales y digitalizadores	2
Rango de la base de tiempos	20 ns -1 min/div
Sensibilidad de entrada	5 mV -500 V/div
Tipos de disparo	Connect-and-View™, Libre, Disparo único, Flanco, Vídeo, Externo
Captura de picos	40 ns
Medidas del osciloscopio	26 mediciones automáticas, W, VA, VAR y el PF para sistemas eléctricos monofásicos y trifásicos equilibrados (en triángulo)
Rango de frecuencia de armónicos	CC hasta el armónico 33º (fundamental hasta 60 Hz);
	CC hasta el armónico 24º (fundamental hasta 400 Hz).
Longitud máxima del registro	512 mín./ máx. puntos de entrada
Memoria	20 pantallas y configuraciones
Temperatura de trabajo	De 0°C hasta 50 °C
Temperatura de almacenaje	De -20°C hasta +60 °C
Altitud	3.000 m
Seguridad	Seguridad EN61010-1 CAT III 600 V
Dimensiones	232 x 115 x 50 mm
Peso	1.2 kg

Tabla 5.7: Especificaciones del osciloscopio

Con este equipo se tiene asegurado la medición de cualquier tipo de potencia de una manera, más precisa y exacta.

5.5.1.6: Dinamómetro

5.5.1.6.1 Dinamómetro para pruebas de motor horizontal

Para el caso del dinamómetro se ha considerado la potencia máxima que debe entregarse para los motores de mayor tensión del reglamento técnico salvadoreño 29:01:01: 15 por lo mismo se tiene en cuenta que la mejor opción para este caso es un dinamómetro de la marca Taylor el cual posee una potencia nominal 530 hp (410 kW)

lo suficiente para suministrar al motor de máxima demanda de potencia de los motores del RTS.

Este dinamómetro de origen americano posee ciertas características que lo hacen ideal para pruebas en laboratorios por sus especificaciones y accesorios los cuales facilitan en gran medida la parte práctica.

En la siguiente imagen se observa el modelo de dinamómetro recomendado



Figura 5.18: Dinamómetro recomendado

Dinamómetro DH22

Especificaciones Potencia: 530 hp (410 kW)

Torque: 850 libras-pie (1,153 Nm)

Velocidad: 5.500 rpm Uso de agua*: 40 gpm (151,4 lpm)

Valor de inercia: 7,4 lb·ft² (0.312 kg·m²)

Peso: 400 libras (181 kg).

Accesorios recomendados:

- Juego de placa adaptadora - 1550
- Eje de accionamiento
- Protección del eje de transmisión
- Carro del motor - 6000 lb (2724 kg)
- Columna de refrigeración: 1250 hp (932 kW)
- Enfriador de aire de carga
- Sistema de recirculación de agua



Figura 5.19: Accesorios recomendados con el dinamómetro

Se muestran en la Figura 5.16 parte de los accesorios que se pueden utilizar para facilitar la parte mediciones haciendo de manera más segura y eficiente el proceso en el laboratorio.

5.5.1.6.2 Dinamómetro para pruebas de motor vertical:

El motor vertical posee características diferentes y dando cumplimiento RTS 29.01.01:15, deben ser probados en dicha posición, por lo que se propone el dinamómetro mostrado en la Figura 5.19, el cual posee las mismas características que el dinamómetro para pruebas de motor horizontal.



Figura 5.20: Dinamómetro para pruebas de motor vertical

5.5.1.7: Aparato para medir el par torsional- Sensor LORENZ DR-2477

Los sensores de par dinámico o rotativos sin escobillas, a diferencia de los sensores de par dinámico con escobillas o anillos rozantes, tienen la particularidad de realizar la medida de par sobre elementos en rotación mediante un sistema de telemetría, que permite transmitir la señal desde el eje en rotación a la parte estática del sensor. Esto permite obtener una señal más limpia a mayor velocidad de rotación.

Los rangos de par que se pueden alcanzar son de hasta 20000N con velocidades de hasta 30000 rpm, existiendo una extensa gama de formatos con diferentes anclajes y soportes, así como señales de salida analógica e incluso con conexión directa por USB.



Figura 5.21: Aparato para medir el par torsional

El modelo DR-2477, mostrado en la Figura 5.20 del fabricante alemán Lorenz es un sensor de par diseñado para poder medir el par en muchas aplicaciones donde no se requiere una alta precisión y sobre todo dónde el coste está muy ajustado, estas podrían ser las dos características destacadas de este modelo de bajo coste de Lorenz.

El formato es el típico de un sensor de par de doble eje macho cilíndrico, que como incorpora telemetría, puesto que es una medida sin escobillas, permite una alta velocidad de giro y además salida amplificada $\pm 5V$, todo ello lo hace un sensor interesante para medidas comunes en rangos medios, de hasta 200Nm.

Características principales:

Rango: Hasta 200Nm con rangos intermedios.

Precisión: 0.25%.

Salida: Amplificada $\pm 5V$.

Velocidad máxima: 8000 rpm.

Formato: Doble eje macho cilíndrico.

5.5.1.8: Tacómetro

Este tacómetro mide las revoluciones por minuto o número de vueltas de equipos como motores, poleas o aspas, con la máxima precisión. Es totalmente seguro de usar, ya que la medición se realiza con un haz de luz láser que se refleja en una etiqueta colocada en el objeto en movimiento, evitando así el contacto.



Figura 5.22: Tacómetro

En su pantalla digital iluminada, muestra la medición de las revoluciones por minuto (RPM), con una exactitud de 0.1, o solo las revoluciones (vueltas). Incluso, tiene una memoria para dar la lectura de RPM máxima, mínima y la última medición.

Descripción técnica

Mide RPM y vueltas

Pantalla iluminada

Alimentación con batería: 9 V⁻⁻⁻ (1 x 9 V “cuadrada”)

Alimentación del convertidor de voltaje: 6 V⁻⁻⁻ 1 A

Tipo de láser: Clase 2

Potencia de láser: <1 mW

Longitud de onda: 630 a 670 nm

Resolución: 0.1 RPM

Conteo máximo: 0 a 99 999

5.5.1.9: Cronómetro

Estos dispositivos se utilizan para medir con precisión la duración de los experimentos, los pasos del procedimiento y otros procesos en los que la medición del tiempo es esencial. La mayoría de las versiones digitales electrónicas modernas ofrecen ahora fiabilidad y precisión de cristal de cuarzo de hasta un 0.005 %



Figura 5.23: Cronómetro para pruebas

Se propone el uso de un cronómetro de marca Brannan, posee capacidad para hacer cuenta regresiva y progresiva de hasta 20 horas con alarma. El temporizador triple y reloj con pantalla LCD, puede ejecutar los tres temporizadores de forma simultánea. Incluye un reloj de 12/24 horas con clip posterior, soporte e imán.

A continuación, se enumerarán algunas especificaciones de este cronómetro

- Cuenta atrás y progresiva de 20 horas con alarma
- Temporizador de memoria
- Reloj
- 10 mm de altura de los dígitos
- Pinza trasera con soporte e imán
- Dimensiones: 60mm x 70mm
- Son necesarias 2 pilas de repuesto SR41/392
- El uso de los 3 temporizadores al mismo tiempo solo está disponible en la opción de cuenta atrás
- Solo se puede utilizar 1 temporizador en la función de cuenta progresiva.

5.5.2: Equipo adicional que se utilizará en el laboratorio

En este apartado se hará una propuesta de diferentes equipos, que, aunque no aparecen en el reglamento, se utilizan para tener parámetros adicionales de análisis de condiciones del motor

5.5.2.1: Sensor de vibraciones para motores eléctricos

El análisis de vibraciones es una herramienta usada para evaluar el rendimiento y condiciones del equipo y maquinaria, básicamente consiste en medir las vibraciones que emiten mientras están en funcionamiento o en su defecto a plena carga en el caso de los motores; se analizan los datos para detectar fallas o problemas potenciales, si se hace preventivamente puede ayudar a evitar fallos costosos y claro aporta a que haya una mejor eficiencia. Los sensores se instalan en el motor y miden las vibraciones emitidas mientras están en funcionamiento, los datos recolectados se mandan a un analizador, para llevar a cabo este es necesario seguir un proceso en específico.

Los motores presentan vibraciones las cuales deben ser monitoreadas ya que esto puede indicar que alguna pieza está dañada y ya necesité cambio; las vibraciones pueden ser causadas por diversas razones como, por ejemplo:

- Holgura del cojinete en ciertos casos se hace demasiado debido al desgaste un eje doblado
- Rodamiento gastado: esto es bastante significativo dado que es un trabajo con el eje para obtener una eficiente rotación
- Desalineación en acoplamientos.

Uno de los modelos más utilizado y con mayor practicidad es el sensor SKF QuickCollect es un sensor portátil con Bluetooth, fácil de usar, que se conecta a las aplicaciones que funcionan con iOS y Android. Con una combinación de detección de vibración y temperatura, los datos generales se pueden analizar in situ en tiempo real o pueden enviarse a la nube para su posterior análisis



Características del tacómetro *Figura 5.24: Sensor de vibraciones*

- Sensor y aplicaciones portátiles fáciles de usar
- Mediciones generales predefinidas 3 en 1 que incluyen velocidad, envolvente de aceleración y temperatura
- Medición avanzada y configurable de la velocidad, la envolvente de aceleración y la temperatura
- Aprobado para su uso en zonas peligrosas, versión ATEX, IECEx y CSA clase I División 2
- Diseño industrial resistente: Prueba de caída de 2,0 m (6.6 ft), resistente al agua y al polvo (IP65)
- Batería de litio recargable (jornada completa en uso normal)

La Pantalla de medición muestra las medidas tomadas por el sensor y se muestra en el dispositivo móvil al que esté vinculado, muestra velocidad, aceleración envolvente y temperatura naturaleza como se muestra a continuación: Cada lectura muestra una corriente genera medición, incluido el estado de alarma, mini-valores mínimo y máximo, y alerta y umbrales de peligro.

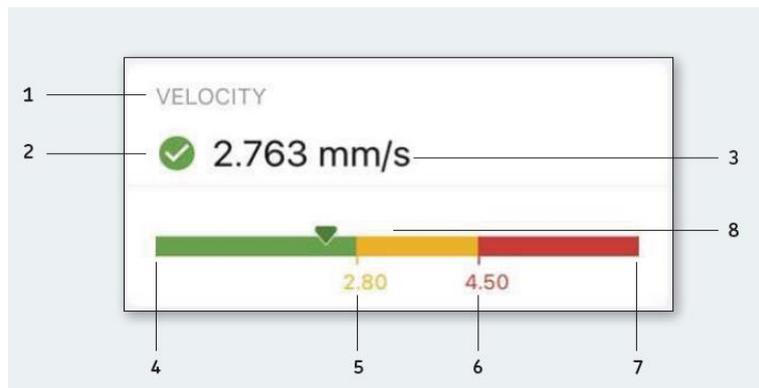


Figura 5.25: Pantalla de medición del sensor

- 1-Categoría de lectura
- 2-Estado de alarma
- 3-Valor total
- 4-Minimo
- 5-Umbral de alerta
- 6-Umbral de peligro
- 7-Maximo
- 8-Lectura actual

Con este sensor se planea tener un monitoreo y una detección de las posibles debido a altas temperaturas o vibraciones.

5.5.2.2: Termografía

Este método es uno de los más utilizados en los últimos años ya que a través de dispositivos ópticos-electrónicos se logra detectar y medir en tiempo real la radiación IR a partir de la cual se obtiene la temperatura de las superficies que están en estudio, la termografía sirve para medir temperatura de manera precisa, exacta y a una distancia segura, se puede medir en diferentes condiciones dentro de las cuales están:

- Objetos que estén en movimiento.
- Equipo que se encuentra con difícil acceso.
- Equipo el cual es de costosa parada.
- Equipo donde es de alta peligrosidad entrar en contacto.
- Equipo que puede presentar contaminación por químicos que se manejen.

Ya que todos los cuerpos presentan radiación IR un lente enfoca la radiación IR sobre un elemento sensor (matriz plana de bolómetros) este proceso pasa de un fenómeno óptico a un proceso digital el cual es mostrado a través de una pantalla; a mayor tamaño de

detector presentarán mejor nitidez o resolución las imágenes contribuyendo así de gran manera a la visibilidad de las temperaturas que se intentan analizar.

Para realizar una buena inspección termográfica se tienen que tomar en cuenta ciertos aspectos:

- Reflexión absorción y transmisión
- Emisividad
- Temperatura reflejada
- Efecto distancia
- Enfoque
- Condiciones atmosféricas

Para este caso se ha tomado en consideración la Cámara termográfica marca Fluke PTI 120 ya que posee características técnicas y una manera práctica a la hora de realizar análisis termográficos.



Figura 5.26: Cámara Fluke PTI 120

Esas son ciertas especificaciones que posee la cámara termográfica que se recomienda para el laboratorio de pruebas de motores jaula de ardilla; se ha contemplado este tipo de equipo para tener un amplio margen de detección de fallas de índole térmico o cualquier tipo de anomalía que pudiese salir a la hora de realizar las pruebas de laboratorio ya que al tener una herramienta de estas nos da una posibilidad de encontrar o detectar cualquier tipo de falla previa que pueda afectar la eficiencia del motor y por ende la acreditación del motor que está sometido a pruebas

Principales características PTi120	
Resolución de infrarrojos	120 x 90 (10.800 píxeles)
Resolución espacial (IFOV)	7,6 mrad, D:S (relación de distancia al objetivo) 130:1
Campo de visión	50° H x 38° V
Distancia mínima de enfoque	50 cm (29")
Sistema de enfoque	Enfoque fijo
Transferencia de datos	Utiliza mini USB para transferir imágenes al PC
Conectividad inalámbrica	Sí, (802.11 b/g/n (2,4 GHz))
Carga instantánea en Fluke Connect	Sí, conecte su cámara a la red de Wi-Fi de su edificio
Memoria	Memoria flash interna de ≥ 2 GB
Sistema de captura, revisión y almacenamiento de imágenes	Captura, revisión y almacenamiento de imágenes con una sola mano
Formatos de archivo de imagen	No radiométrico (.jpeg) o 100% radiométrico (.is2); no es necesario
Software	Software Software Fluke Connect para análisis y generación de informes con acceso al sistema Fluke Connect
Formatos de archivos exportables con el software	.bmp, .dib, .jpg, .tif, .ti

Tabla 5-9. Principales características PTi120

5.5.2.3: Software de adquisición de datos

El registro de los datos obtenidos juega un papel imprescindible en el diseño e implementación del laboratorio ya que garantiza desde parte del cumplimiento de los requerimientos de trazabilidad establecidos por la normativa IEC/ISO 17025 y requisitos de acreditación OSA hasta poseer un respaldo de los resultados de las pruebas realizados en caso de ser requeridos en un futuro después de la realización de la prueba, entre otras ventajas que significa la implementación de este software.

Se propone la implementación del software desarrollado por la marca LabWare debido a ser un software ampliamente reconocido, utilizado e implementado en laboratorios de diferentes rubros a nivel mundial, lo que contribuye a garantizar la calidad del software y como se menciona anteriormente, en la acreditación del laboratorio.

Una característica especial de este software, que es muy valorada en la actualidad, es que es SaaS ("Software as a Service", por sus siglas en inglés) es un modelo de software basado en la nube que ofrece aplicaciones a los usuarios finales a través de un navegador de Internet. Los proveedores de SaaS alojan servicios y aplicaciones para que los clientes (que en este caso será el personal del laboratorio) puedan acceder a ellos bajo demanda. El fabricante también establece que esta característica provee una

protección adicional ante ciberataques que puedan extraer información confidencial del laboratorio.

Otra característica de este software es la capacidad de conectarse y adaptarse al software de los equipos de instrumentación

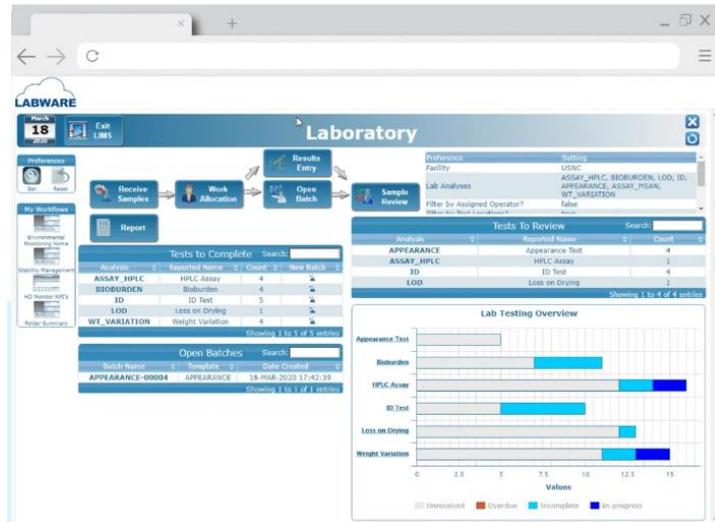


Figura 5.27: Pantalla de LabWare

En la Figura 5.26 se muestra la pantalla del programa LabWare del cual se propone su utilización en el laboratorio. LabWare permitirá que las pruebas logren la exactitud requerida y cumplen con las especificaciones pertinentes para los ensayos.

5.6: Aspectos de seguridad y salud ocupacional

5.6.1: Matriz de Riesgos Laborales

Puesto de Trabajo: Ingeniero coordinador de laboratorio

Riesgos:

1. Exposición a sonidos estridentes por operación de motor
2. Lesiones por contacto con herramientas y equipos de diseño.
3. Lesiones musculoesqueléticas debido a una postura inadecuada durante la realización de tareas.

Medidas de Control:

1. Proporcionar equipos de protección personal adecuados, como guantes, gafas de seguridad y mascarillas, y asegurar su uso correcto.
2. Capacitar al personal en el uso seguro de herramientas y equipos, y mantenerlos en condiciones adecuadas.

3. Promover la ergonomía mediante el diseño de estaciones de trabajo ajustables y proporcionar capacitación sobre posturas correctas y pausas activas.

Puesto de Trabajo: Técnico de Ensamblaje

Riesgos:

1. Lesiones por atrapamiento al manipular partes móviles de los motores eléctricos.
2. Exposición a niveles elevados de ruido durante el proceso de ensamblaje.
3. Riesgo de descargas eléctricas durante las pruebas de los motores.

Medidas de Control:

1. Establecer procedimientos seguros de trabajo y proporcionar capacitación sobre el manejo seguro de las partes móviles de los motores.
2. Proporcionar protectores auditivos adecuados y promover la rotación de tareas para limitar la exposición al ruido.
3. Capacitar al personal en las precauciones necesarias para trabajar con electricidad, como el uso de equipos de prueba adecuados y la identificación y aislamiento de fuentes de energía.

Puesto de Trabajo: Inspector de Calidad

Riesgos:

1. Exposición a sustancias químicas utilizadas en los procesos de limpieza y prueba.
2. Lesiones por manipulación de motores defectuosos o afilados.
3. Riesgo de lesiones oculares debido a partículas suspendidas en el aire.

Medidas de Control:

1. Proporcionar equipos de protección personal, como guantes y gafas de seguridad, y asegurar la ventilación adecuada en las áreas de limpieza y prueba.
2. Establecer procedimientos seguros de manejo y descarte de motores defectuosos, y proporcionar herramientas adecuadas para evitar lesiones.
3. Implementar sistemas de ventilación adecuados y proporcionar gafas de seguridad para proteger los ojos de partículas suspendidas.

Matriz de Riesgos Laborales - Método de William Fine

Riesgos	Probabilidad (P)	Gravedad (S)	Exposición (E)	Control (C)	Riesgo (R)
Puesto de Trabajo: Ingeniero de Diseño de Motores					
Exposición a productos químicos tóxicos	3	4	3	3	36
Lesiones por contacto con herramientas y equipos	2	3	2	4	48
Lesiones musculoesqueléticas	3	2	2	4	48
Puesto de Trabajo: Técnico de Ensamblaje					
Lesiones por atrapamiento	4	4	3	3	72
Exposición a niveles elevados de ruido	3	2	2	4	48

Riesgo de descargas eléctricas	2	4	3	3	36
Puesto de Trabajo: Inspector de Calidad					
Exposición a sustancias químicas	3	3	3	3	54
Lesiones por manipulación de motores defectuosos	2	3	2	4	48
Riesgo de lesiones oculares	3	3	2	4	72

Tabla 5.10: Método de William Fine

Leyenda:

- Probabilidad (P): Evaluada en una escala del 1 al 5, donde 1 es muy baja y 5 es muy alta.
- Gravedad (S): Evaluada en una escala del 1 al 5, donde 1 es baja y 5 es alta.
- Exposición (E): Evaluada en una escala del 1 al 3, donde 1 es baja, 2 es media y 3 es alta.
- Control (C): Evaluada en una escala del 1 al 4, donde 1 es muy efectivo y 4 es poco efectivo.
- Riesgo (R): Calculado multiplicando P, S, E y C ($R = P * S * E * C$).

El valor de riesgo (R) indica la magnitud del riesgo, siendo mayor cuanto mayor sea el valor obtenido. Esto permite identificar los riesgos más significativos y priorizar las medidas de control en consecuencia.

- **Riesgo Crítico:** Valores de riesgo (R) por encima de 80. Los riesgos críticos requieren una acción inmediata y deben abordarse de manera prioritaria.
- **Riesgo Moderado:** Valores de riesgo (R) entre 40 y 80. Los riesgos moderados son significativos y deben gestionarse mediante medidas de control adecuadas para reducir su impacto.
- **Riesgo Tolerable:** Valores de riesgo (R) por debajo de 40. Los riesgos tolerables aún requieren atención y seguimiento, pero se consideran en un nivel aceptable y pueden gestionarse con medidas de control y seguimiento adecuados.

1. Usar equipo de protección personal (EPP):

- Utilizar gafas de seguridad para proteger los ojos de partículas o sustancias químicas.
- Usar guantes adecuados para evitar el contacto directo con sustancias peligrosas o superficies calientes.
- Utilizar protectores auditivos en áreas con niveles de ruido elevados.
- Portar calzado de seguridad para proteger los pies de posibles caídas de objetos pesados o materiales peligrosos.

2. Recibir capacitación en seguridad:

- Participar en programas de capacitación que aborden los riesgos específicos del laboratorio y las medidas de prevención.
- Aprender los procedimientos de emergencia, incluyendo evacuación y primeros auxilios.
- Familiarizarse con los equipos de seguridad, su uso adecuado y su mantenimiento.
- Conocer los riesgos asociados con los motores eléctricos y cómo prevenirlos.

3. Mantener áreas de trabajo seguras:

- Mantener las áreas de trabajo limpias y ordenadas para evitar obstáculos y reducir el riesgo de tropiezos y caídas.
- Almacenar herramientas y equipos de manera segura y organizada cuando no estén en uso.
- Mantener los pasillos y las salidas de emergencia despejados en todo momento.
- Identificar y corregir condiciones peligrosas, como cables sueltos o superficies resbaladizas.

4. Manipular motores eléctricos de forma segura:

- Seguir los procedimientos de manejo seguro de los motores eléctricos establecidos por el fabricante.
- Apagar y desconectar los motores antes de realizar cualquier manipulación o mantenimiento.
- Utilizar herramientas y equipos adecuados para evitar lesiones durante la manipulación.
- Evitar forzar o golpear los motores para evitar daños y lesiones.

5. Aplicar bloqueo y etiquetado de energía:

- Identificar y comprender las fuentes de energía que alimentan el equipo o la maquinaria.
- Notificar a los demás trabajadores sobre la aplicación del bloqueo y etiquetado de energía.
- Apagar y desconectar el equipo de todas las fuentes de energía.
- Colocar dispositivos de bloqueo (como candados) en los controles de energía para evitar su activación accidental.
- Colocar etiquetas de advertencia en lugares visibles para indicar que el equipo está bloqueado y no debe ser encendido.

6. Realizar pruebas y mediciones seguras:

- Seguir los procedimientos de seguridad establecidos para realizar pruebas y mediciones en los motores eléctricos.
- Utilizar equipos de prueba calibrados y en buen estado de funcionamiento.
- Evitar el contacto directo con partes energizadas del motor y utilizar herramientas aisladas cuando sea necesario.
- Conocer los riesgos eléctricos y tomar las precauciones necesarias para evitar descargas eléctricas.

7. Controlar sustancias peligrosas:

- Almacenar sustancias químicas peligrosas de acuerdo con las regulaciones y prácticas seguras.
- Utilizar los equipos de protección personal adecuados al manipular sustancias químicas.
- Seguir los procedimientos seguros de manipulación, almacenamiento y eliminación de sustancias peligrosas.

- Mantener un inventario actualizado de las sustancias químicas utilizadas y conocer sus propiedades y riesgos asociados.
8. Mantener una ventilación adecuada:
- Asegurar una buena circulación de aire en el laboratorio mediante sistemas de ventilación apropiados.
 - Utilizar equipos de extracción localizada cuando sea necesario para eliminar vapores o sustancias peligrosas.
 - Evitar trabajar en áreas confinadas con una ventilación deficiente.
 - Familiarizarse con los procedimientos de respuesta en caso de problemas de ventilación o calidad del aire.
9. Establecer procedimientos de respuesta a emergencias:
- Desarrollar y comunicar los procedimientos de respuesta a emergencias, como evacuación, en caso de incendio, derrame químico u otras situaciones peligrosas.
 - Capacitar a todo el personal en los procedimientos de respuesta a emergencias y realizar simulacros periódicos.
 - Mantener los equipos de primeros auxilios y extintores de incendios en lugares accesibles y en condiciones adecuadas.
 - Designar responsables de emergencia y establecer puntos de encuentro seguros fuera del laboratorio.
10. Realizar mantenimiento y revisión de equipos:
- Realizar un mantenimiento regular de los equipos utilizados en el laboratorio según las recomendaciones del fabricante.
 - Inspeccionar los equipos antes de su uso para detectar cualquier daño o mal funcionamiento.
 - Reportar cualquier anomalía o problema identificado en los equipos y solicitar reparaciones o reemplazos necesarios.
 - Mantener registros de mantenimiento y revisión para llevar un seguimiento adecuado de la condición de los equipos.

5.6.2: Bloqueo y etiquetado

Con el bloqueo y etiquetado se busca proteger al personal del laboratorio lesiones causadas por el inicio inesperado de una máquina o equipo durante actividades de mantenimiento o servicio. Al bloquear y etiquetar adecuadamente, se asegura que ninguna fuente de energía pueda ser activada accidentalmente mientras se realizan trabajos en el equipo.

Procedimiento de bloqueo y etiquetado: El procedimiento típico de bloqueo y etiquetado implica los siguientes pasos:

Identificación de las fuentes de energía: Se identifican las fuentes de energía que alimentan el equipo. Estas pueden incluir electricidad, aire comprimido, vapor, agua a presión, entre otros.

Notificación: Se informa a todos los trabajadores involucrados que se hará el bloqueo y etiquetado y que el equipo no deberá ser operado. Esto se logra colocando una etiqueta de advertencia en el interruptor principal o en el punto de control de energía.

Apagado y aislamiento: Apaga el equipo o la maquinaria siguiendo los procedimientos adecuados y verificar de que esté desconectado de todas las fuentes de energía. Esto puede requerir el uso de interruptores, válvulas de cierre, disyuntores o cualquier otro método necesario.

Bloqueo: Colocar dispositivos de bloqueo (como candados o cerrojos) en los controles de energía para evitar su activación. Estos dispositivos deben ser seguros, robustos y no deben ser fáciles de quitar o eludir.

Etiquetado: Se colocan etiquetas de advertencia en lugares visibles para indicar que el equipo o la maquinaria están bloqueados y no deben ser encendidos. Las etiquetas deben incluir información como la identificación del equipo, el nombre del trabajador responsable, la fecha y cualquier otra advertencia o instrucción relevante.

1. Verificación y prueba: Una vez que el equipo está bloqueado y etiquetado, se debe verificar que todas las fuentes de energía estén efectivamente aisladas y que el equipo no pueda ser encendido. Realiza una prueba de verificación para asegurarte de que el bloqueo y etiquetado hayan sido realizados correctamente.
2. Liberación del bloqueo y etiquetado: Antes de quitar los dispositivos de bloqueo y etiquetas, asegúrate de que el equipo esté en un estado seguro y que todos los trabajadores estén fuera de peligro. Sigue un procedimiento establecido para liberar el bloqueo y etiquetado y para restaurar la energía al equipo de manera segura.

5.6.3: Señalizaciones de riesgos y ubicación en el laboratorio



Figura 5.28: Señalización de riesgos en el laboratorio

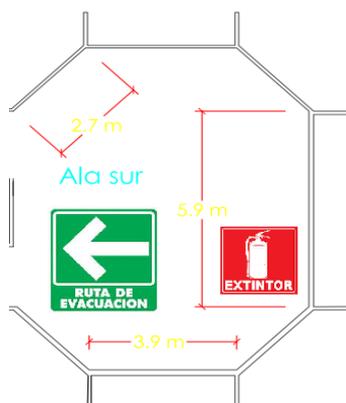


Figura 5.29: Ubicación de señalizaciones en el laboratorio

Leyenda:

La ruta de evacuación señala un camino seguro en caso de una emergencia grave o en caso de fenómenos naturales como sismos, etc.

Extintor CO₂ Bióxido de Carbono protección rápida, segura y efectiva para los incendios que envuelven equipo eléctrico y líquidos inflamables.

Protección contra incendios

- La mejor prevención contra un incendio incluye: Mantener sin obstáculos las salidas y los pasillos.
- Almacenar solamente una cantidad limitada de material inflamable.
- Alejar los líquidos ininflamables de los materiales de combustión tales como cajas de cartón o papeles absorbentes.
- El laboratorio debe contar con extintores contra incendios y detectores de humo. El laboratorio debe contar con un sistema de alarma contra incendio.
- El personal deberá estar atento al estado de carga de los extintores, de igual manera se debe contratar a una empresa especializada para las labores de verificación y recarga de los extintores

5.6.4: Procedimiento en caso de accidentes en el laboratorio

El laboratorio debe estar equipado con una o más fuentes de lavajos y con duchas de emergencia. Las personas que usan el laboratorio deben estar familiarizadas con la ubicación de estos equipos y saber cómo usarlos.

El jefe de la debe hacer de conocimiento a las personas que ingresan al laboratorio sobre las rutas de evacuación en caso de una emergencia.

5.6.4.1: Electrocuación

En el caso de un accidente eléctrico la persona que auxilia debe tener muy claro que bajo ningún concepto debe tocar directamente a la víctima que está sufriendo electrificación, pues es seguro que la corriente le pasara también, habiendo entonces una víctima más.

Si se siguen los siguientes pasos se asegura la protección hacia sí mismo y una alta probabilidad de salvar a la víctima:

En primer lugar, llamar a los servicios de emergencias. Proporcionar datos claros y concisos sobre el lugar y las causas de la electrificación, y detalles que considere importantes.

No tocar a la persona hasta verificar con seguridad que no está en contacto con ninguna fuente eléctrica.

Si está en contacto, buscar la manera de cortar la corriente. Puede ser un interruptor o puede ser que haya que cortar el cable, en cuyo caso se hará con una herramienta bien aislada y con los debidos protectores y aislantes. asegúrese de no llevar prendas mojadas y de estar pisando charcos o suelo mojado.

Una vez separada de la corriente y asegurada la víctima, evitar en la medida de lo posible moverla, sobre todo el cuello y la cabeza, pues podría tener una lesión vertebral.

Comprobar su grado de conciencia y respiración. En caso de que no respire, proceda a realizar maniobras de reanimación cardiopulmonar. Si respira, es preferible no mover a la víctima y vigilarla constantemente, comprobando su respiración cada 1-2 minutos, ya que podría entrar en parada cardiorrespiratoria.

Si la víctima esta inconsciente, tápala con mantas o abrigos y elevar sus piernas. Tapar las quemaduras con gasa estéril o paños limpios.

Prevención de los peligros de la electricidad

Los peligros propios del uso de la electricidad son:

- La descarga eléctrica, ocurre cuando una persona entra en contacto con un conductor, equipo o accesorio que está con tensión, o al tocar una parte metálica que normalmente no transporta corriente y que por una avería queda energizada o con tensión; y como consecuencia sufre una circulación de corriente eléctrica a través de su cuerpo.

- El arco o chispa eléctricos, que puede producirse debido a corto circuitos, o la interrupción de flujo de corriente, fallas en equipos o accesorios debido a la disminución del nivel de aislamiento, sea por humedad, contaminación ambiental, por acumulación de suciedad o por aproximación a una distancia menor al límite de acercamiento.
- Los arcos eléctricos liberan una enorme cantidad de energía casi instantáneamente y puede provocar quemaduras en el cuerpo, debido exclusivamente a la radiación ultravioleta que irradian aún sin que exista contacto eléctrico.
- Los incendios de origen eléctrico, que principalmente se deben al sobrecalentamiento de conductores y equipos, a conductores y equipos sin la adecuada protección contra sobre corrientes, a descargas atmosféricas, a los arcos y chispas en ambientes con gases y vapores explosivos, o con polvos combustibles que pueden causar explosiones, así como instalaciones defectuosas o mal ejecutadas.

5.6.4.2: Incendio

Frente al riesgo de incendio, debe existir como mínimo equipos de extinción portátiles que sean adecuados a las características de los productos químicos que se utilicen en el laboratorio. Los equipos de extinción de incendios deberían estar disponibles para su uso inmediato y ser colocadas según lo indiquen las disposiciones legales y las normas nacionales vigentes, usando además la señalética correspondiente.

Mediante inspecciones efectuadas de manera regular se debería garantizar el mantenimiento de las óptimas condiciones de funcionamiento de los equipos de extinción de incendios y de protección contra el fuego. Se debería impartir a los responsables del laboratorio la formación, instrucción e información adecuadas sobre los peligros que entrañan los incendios relacionados con la electricidad.

Los teléfonos de la estación de bomberos más cercana, así como los teléfonos de los integrantes de la brigada de emergencia, si la hubiera, deben estar colocados en un lugar visible para el personal y también deben ser de conocimiento de los responsables del laboratorio.

5.6.5: Normas de seguridad industrial para los laboratorios de motores eléctricos

5.6.5.1: Sobre los equipos eléctricos

1. Toda instalación debe considerarse bajo tensión mientras no se compruebe lo contrario con los aparatos adecuados.

2. El usuario debe estar siempre alerta de ponerse en contacto con equipos eléctricos bajo tensión.
3. Si trabajas con equipos o herramientas alimentadas por tensión eléctrica, aíslate. Utiliza prendas y equipos de seguridad. (Bata y zapatos con suela de goma).
4. Si se detecta algún defecto en los equipos eléctricos, se debe informar rápidamente al profesor o técnico.
5. Antes de conectar un cable de tensión eléctrica, debe cerciorarse si hay desperfecto visible.
6. Al menor chispazo desconecta el equipo.
7. Se deben aislar todos los cables.
8. Los equipos de respaldo deben estar ubicados en sitios secos y seguros.

5.6.5.2: Sobre prevención y protección contra incendio

1. Los aparatos contra incendios son para usarlos en caso de incendio únicamente.
2. No deben bloquearse los sitios donde están colocados los extintores de incendios ni las salidas de emergencias.
3. El personal debe conocer el funcionamiento y uso de los extintores de incendios.
4. Debe notificar al encargado de seguridad industrial cuando se use cualquier extintor, así sea poca la cantidad de sustancia química que se haya usado

De las normas internas y puntuales

Las establecidas por el Consejo de Escuela de Ingeniería de eléctrica.

5.6.6: Protección personal

La dirección del laboratorio debe asegurar la competencia de todo aquel que opera un equipo específico, ejecuta ensayos y/o calibraciones, evalúa los resultados y firma los informes de los ensayos y los certificados de calibración.

La dirección del Laboratorio debe formular las metas con respecto a la educación, formación y habilidades del personal del laboratorio. El laboratorio debe utilizar personal que sea empleado por él, o bajo contrato del laboratorio, cuando se utilice personal contratado y personal técnico adicional este deberá ser supervisado para que trabaje de acuerdo con el sistema de calidad del laboratorio.

La dirección debe autorizar personal específico para ejecutar tipos particulares de muestreo, ensayos, calibraciones, emitir informes de ensayos y certificados de calibración, dar opiniones e interpretaciones y operar tipos particulares de equipos.

5.6.6.1: Protección auditiva

Los tapones de oídos reducen el ruido obstaculizando su trayectoria desde la fuente hasta el canal auditivo. Los protectores auditivos tipo tapón, son desechables y fabricados con espuma de poliuretano.



Figura 5.30: Protección auditiva

5.6.6.2: Protección para los pies

Botas industriales: En el laboratorio de máquinas eléctricas se usarán el tipo II. Es aquel destinado a la protección integral de los dedos de los pies, donde existen riesgos de impacto y compresión.

La bota industrial como se muestra en la Figura 5.30, también conocida como bota de seguridad, es un tipo de calzado que pretende proteger al trabajador de los peligros de su oficio.



Figura 5.31: Protección para los pies

5.6.6.3: Protección para la cabeza

Casco de seguridad industrial: El principal objetivo del casco de seguridad es proteger la cabeza de quien lo usa, de peligros y golpes mecánicos; es de tipo cachucha clase “E” resistente hasta 20000V. Canal de desagüe para que la caída del agua sea por la parte frontal del casco. Con un diseño en el cuello para evitar el desprendimiento del casco. Laterales de 45° para que al momento del impacto el objeto sea desplazado con facilidad.



Figura 5.32: Protección para la cabeza

5.6.6.4: Protección para las manos

Guantes de protección: Un guante es un equipo de protección personal destinado a proteger total o parcialmente la mano. Caucho: Tienen un uso específico para trabajar en faenas eléctricas. Sobre ellos se utilizan guantes de cabritilla reforzados, para protegerlos de abrasión o pinchazos. Se usan en circuitos energizados de baja tensión.



Figura 5.33: Protección para las manos

5.6.6.5: Protección para la vista



Figura 5.34: Protección para la vista

Las gafas o anteojos de seguridad tienen el objetivo de proteger los ojos de materiales volátiles o ambientales, se tienen las siguientes características.

- Lente con armazón de nylon flexible y mica de policarbonato oftálmico.
- Las patas tienen ajuste de estiramiento y retráctil para mejor ajuste.
- Filtro UV 99.97%.

- Protección lateral.
- Resistente a impactos y salpicaduras menores.

5.7: Acreditación del laboratorio

La acreditación del laboratorio es un proceso trascendental para su operatividad, para que los resultados de las pruebas posean validez legal acorde al RTS 29.01.01:15 y ante las entidades que requieran los resultados de las pruebas como por ejemplo el CNE, por lo que se vuelve de mucho interés para el fabricante, importador o representantes legales.

En una forma de listado, las ventajas de la acreditación de laboratorios son las siguientes

- Facilitación del conocimiento sobre la competencia específica de los laboratorios.
- Establecimiento de estándares mínimos de competencia.
- Mejora del cumplimiento de normas.
- Identificación de los requerimientos regulatorios actuales.

La institución encargada del proceso y entrega de acreditación en El Salvador es el Organismo Salvadoreño de Acreditación OSA

En su sitio de internet OSA expresa lo siguiente:

“OSA aplica políticas, reglamentos, procedimientos, principios y criterios que eviten dar origen a tratos diferenciados a los laboratorios que soliciten el servicio de acreditación”

“A todos los laboratorios solicitantes del servicio de acreditación se les aplica un principio de igualdad de condiciones tanto en los requisitos técnicos, financieros y de carácter informativo independiente del tamaño y de su condición de miembro de cualquier asociación. Además, son evaluados según lo establecido en el procedimiento de acreditación; contra los requisitos establecidos en las normativas vigentes que le apliquen al esquema de acreditación de laboratorios”

Para la acreditación, el Organismo Salvadoreño de Acreditación divide los laboratorios en tres categorías:

- Laboratorios de ensayo
- Laboratorios de calibración
- Laboratorios clínicos

La categoría en la que estará el laboratorio en cuestión de este documento es la de “Laboratorios de Ensayo”, bajo esta categoría es la que deberán realizarse todas las gestiones de acreditación ante el OSA.

Antes de que se inicie el proceso de evaluación, OSA sugiere el cumplimiento de unos criterios específicos para laboratorios, entre los que se encuentran:

- Contar con un sistema de gestión documentado que dé cumplimiento a la Norma ISO/IEC 17025 para Laboratorios de ensayo y calibración, o a la Norma ISO 15189 para laboratorios clínicos en su versión vigente.
- Haber participado en ensayos de aptitud según la política PO 11.1 Política de Ensayos de Aptitud.
- Cumplir con la G 9.2 Criterios Generales para la evaluación de laboratorios de ensayo y calibración, PO 9.1 Política de Trazabilidad de las Mediciones, PO 9.4 Política para la validación y estimación de la incertidumbre de métodos microbiológicos (si aplica), G 9.6 Validación de métodos analíticos fisicoquímicos (si aplica), G 9.1 Criterios generales para la evaluación de laboratorios clínicos, PO 9.3 Declaración del intervalo de trabajo para laboratorios del área de geotecnia y materiales (si aplica).

5.7.1: Etapas generales de proceso de acreditación del laboratorio.

Dentro del proceso de acreditación que establece OSA se encuentran cinco etapas generales:

Etapa I: Solicitud de acreditación.

Etapa II: Evaluación.

Etapa III: Dictamen.

Etapa IV: Vigilancia.

En los documentos de uso oficial del OSA, se utiliza las siglas OEC para identificar a los Organismos de Evaluación de la Conformidad para designar a los distintos de laboratorios sean estos de ensayo, de calibración y también para designar a organismos de inspección, entre otros)

A continuación, se hará una descripción de cada etapa:

5.7.1.1: Solicitud de acreditación

Dentro de esta etapa se debe llenar el formato de solicitud para acreditación de laboratorio establecido por OSA dependiendo del tipo de laboratorio, en este caso se deberá llenar el formato de solicitud para laboratorio de ensayo, Esta solicitud debe estar firmada por un representante debidamente autorizado del OEC. La autorización o documento equivalente, debe ser presentada junto con la solicitud de acreditación. El jefe de departamento /técnico de acreditación cuenta con 3 días hábiles para realizar la revisión de la solicitud de acreditación y notificar al OEC cualquier observación. El OEC cuenta con 15 días hábiles para completar la documentación faltante. De no cumplirse

con la entrega, se da por concluida esta etapa y se devuelve la información al OEC para que la complete.

Luego se hará una revisión de recursos en la que el jefe de departamento/técnico de acreditación documentará si se cuenta con los conocimientos técnicos en el sector del OEC por parte de la Comisión de Acreditación.

Posteriormente luego de 3 días hábiles a partir de la revisión de recursos, el Jefe de departamento/técnico de acreditación envía la cotización del servicio de acreditación. El OEC solicitante notifica la aprobación de la cotización. Esta aprobación puede recibirse también en forma de orden de compra, o incluso mediante copia de comprobante de pago realizado.

El proceso de acreditación da inicio cuando el OEC cumple con la entrega de toda la documentación solicitada y efectúa el pago del servicio solicitado. Si el OEC cumple con una de estas condiciones la otra debe ser realizada dentro de un lapso no mayor a 6 meses. De no dar cumplimiento a dichas disposiciones el proceso se da por finalizado y el OEC deberá iniciar de nuevo su proceso de acreditación. Es importante resaltar que OSA no realiza reembolsos.

Luego de las actividades descritas anteriormente OSA designa a un equipo para realizar una evaluación documental al OEC (el laboratorio), una vez el OEC acepta al equipo designado para la evaluación se procede con la realización de la misma, y el resultado de la evaluación determina si se pasa a la siguiente etapa o no.

5.7.1.2: Evaluación

Cuando se haya concluido la evaluación documental y si en esta se determina proceder con la etapa II para ello debe considerar la información provista por el OSA respecto a las actividades a evaluar, las ubicaciones, el personal cubierto por el alcance de la acreditación solicitado; y las técnicas de evaluación a utilizar, terminada la evaluación en sitio se hace un informe de los resultados obtenidos en la evaluación, el jefe del departamento de acreditación revisa el informe y si los resultados difieren proporcionará una explicación por escrito al OEC evaluado. Si se detectan hallazgos se les dará seguimiento, si no se detectan hallazgos se procederá con la etapa III.

5.7.1.3: Dictamen

La comisión de acreditación evalúa la información presentada por cada OEC y en el documento F.10.2.5 de OSA "Resolución de la comisión de acreditación" emite su dictamen sobre si otorga, renueva, mantiene, reduce, amplía, cancela o suspende la acreditación para cada OEC que se somete a decisión, posteriormente, en un plazo no mayor a 3 días hábiles, el OEC es notificado de la resolución acordada. Si el dictamen es desfavorable para el OEC, este tiene la posibilidad de apelar a la decisión por medio del documento de OSA P 3.1 "Apelaciones al proceso de acreditación".

La vigencia de la acreditación otorgada por la Comisión de Acreditación para los laboratorios de ensayo, calibración y clínicos es de cuatro años a partir de la fecha en la cual la Comisión Directiva del OSA ratifique dicha decisión.

Si el OEC obtiene la acreditación, el jefe de departamento /técnico de acreditación asigna un número de registro de OEC acreditado.

5.7.1.4: Vigilancia

Un OEC puede ampliar el alcance de su acreditación en el momento que lo considere necesario, durante un proceso de vigilancia, en el momento de renovar la acreditación o de forma independiente. Para ello OSA establece para los OEC acreditados evaluaciones de vigilancia anuales.

Las evaluaciones de vigilancia son programadas por el jefe de departamento /técnico de acreditación en el F 9.1.17 “Programa anual de evaluaciones a los OEC” para ser ejecutadas 88 días hábiles antes de la fecha de vigencia de la acreditación el Jefe de departamento /técnico de acreditación debe notificar al OEC sobre dicha programación a más tardar 55 días antes de la fecha programada para la evaluación.

En la Figura se muestra un diagrama del proceso a seguir ante OSA para la obtención de la certificación del laboratorio

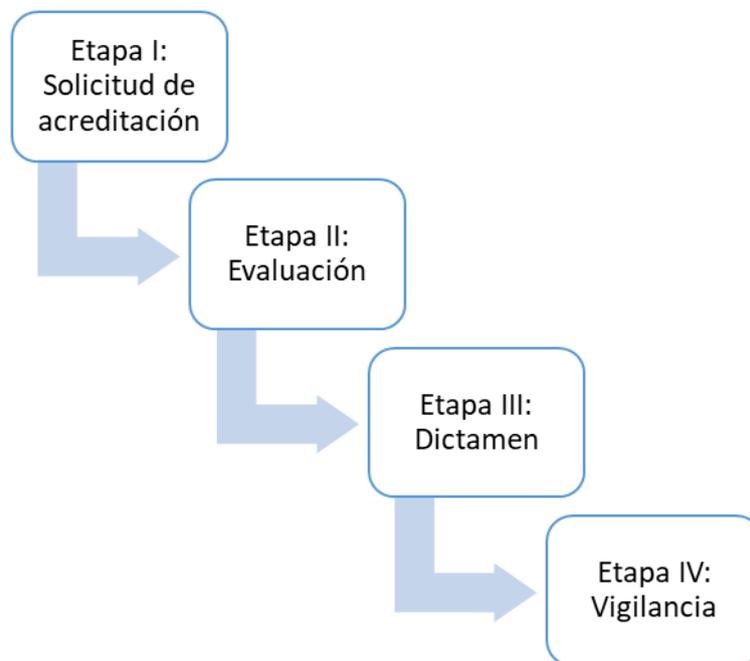


Figura 5.35: Etapas para la certificación del laboratorio ante OSA

5.7.2: Requisitos para la acreditación

Los requisitos OSA exige para el otorgamiento de la acreditación en los laboratorios de ensayo son homologados con los requisitos de la normativa ISO/IEC 17025:2017, los cuales se encuentran clasificados en:

- Requisitos generales
- Requisitos relativos a la estructura
- Requisitos relativos a los recursos
- Requisitos del proceso
- Requisitos del sistema de gestión

A continuación, se explicará cada bloque de requisitos

5.7.2.1: Requisitos generales

5.7.2.1.1 Imparcialidad

El laboratorio debe presentar evidencia objetiva del compromiso de la dirección con la imparcialidad.

El laboratorio debe demostrar de manera documentada el mecanismo establecido para garantizarla imparcialidad frente a presiones comerciales, financieras u otras.

El laboratorio debe demostrar de forma documentada, como ha considerado los riesgos a su imparcialidad, cuando sea apropiado, pero sin limitarse a las siguientes relaciones:

- Con la organización mayor a la que pertenece ya sea público o privado
- Con miembros de juntas directivas, comités o accionistas
- Con los departamentos de la organización
- Con entes reguladores
- Con clientes
- Con proveedores (de bienes y servicios suministrados externamente)
- Del personal del laboratorio
- Recursos (finanzas, comisiones o incentivos, contratos) Se debe realizar una revisión de los riesgos cuando las relaciones del laboratorio o de su personal cambien.

5.7.2.1.2 Confidencialidad

Debe estar documentado el mecanismo o medio de notificación al cliente o a la persona interesada, cuando el laboratorio le sea requerido revelar información confidencial.

El mecanismo que el laboratorio establezca para garantizar el manejo confidencial de la información debe permitir evidenciar el compromiso de los involucrados con el cumplimiento de sus responsabilidades.

5.7.2.2: Relativos a la estructura

El laboratorio debe identificar en su sistema de gestión la razón social, persona natural o jurídica que asume las responsabilidades legales.

Se deberá identificar las actividades de laboratorio que están dentro de su alcance acreditado o en proceso de acreditación.

a) Si el laboratorio es parte de una organización que desarrolla actividades distintas de las de laboratorio, debe de especificar esas otras actividades, para identificar su interrelación.

Las tareas y responsabilidades listadas en este requisito deben estar documentadas en su sistema de gestión. Además, se deben definir requisitos de competencia para el personal responsable de realizar las tareas descritas en este requisito.

b) La dirección debe definir los mecanismos de comunicación dentro del laboratorio.

c) se deben definir requisitos de competencia para el personal responsable de realizar las tareas descritas en este requisito.

5.7.2.3: Requisitos relativos a los recursos

5.7.2.3.1 Personal

- El laboratorio debe establecer los requisitos de competencia del personal, al menos para las siguientes funciones que influyen en los resultados de las actividades del laboratorio:
- Revisión y emisión de ofertas y contratos.
- Desarrollo, modificación, verificación y validación de métodos.
- Recepción de ítems de ensayo o calibración.
- Ejecución de ensayos, calibraciones o muestreos.
- Evaluación de importancia de las desviaciones
- Reporte, revisión y autorización de resultados.
- Emisión de opiniones e interpretaciones.
- Estimación y evaluación de la incertidumbre de medición.
- Aseguramiento de la validez de los resultados.
- Análisis de resultados y declaración de conformidad.
- Ejecución de auditorías internas.
- Revisión y análisis de certificados de calibración y controles metrológicos de equipos de medición, así como el establecimiento de intervalos de calibración.
- Responsable de tramitar la adquisición de productos y servicios suministrados externamente (Ver 6.6 de la norma).
- Cualquier otra función que influye en los resultados de las actividades del laboratorio. Para cada función se deben considerar los requisitos de

competencia, que incluyan la educación, calificación, formación, conocimiento técnico, habilidades y experiencia, según corresponda.

Para cada función se deben considerar los requisitos de competencia, que incluyan la educación, calificación, formación, conocimiento técnico, habilidades y experiencia, según corresponda.

El laboratorio debe asegurar que el personal permanente, temporal o que actué como suplente, y que tenga influencia en las actividades de laboratorio, es competente para realizar sus funciones, el laboratorio podría utilizar algunos de los siguientes mecanismos, dependiendo de la naturaleza de las actividades: - observaciones in situ, - revisiones de informes, - Entrevistas, - Simulaciones de ensayos El laboratorio debe notificar al OSA, cualquier cambio en su personal que pueda influir en las actividades de laboratorio, de acuerdo al alcance acreditado, así como cuando haya autorizado nuevo personal o designado nuevas responsabilidades. Además, deberá presentar la evidencia del cumplimiento de lo establecido en el requisito de la norma ISO/IEC 17025:2017.

5.7.2.3.2 Instalaciones y condiciones ambientales

Cuando corresponda, en locales donde se realicen actividades de laboratorio que requieran de condiciones ambientales determinadas, el laboratorio debe disponer de un registro que sea trazable a los días de ejecución de las actividades. Se debe especificar y tener por escrito los rangos de aceptabilidad de los parámetros ambientales y las acciones a seguir cuando los registros indiquen que las condiciones ambientales se salen de los rangos aceptables. Debe demostrarse la calibración de los equipos de medición de dichas condiciones ambientales y el cumplimiento de los requisitos especificados, según lo establecido en los requisitos 6.4.4, 6.4.5 y 6.4.6 de la norma ISO/IEC 17025:2017.

5.7.2.3.3 Equipamiento

El laboratorio debe documentar y presentar las evidencias que respalden cualquier cambio en la frecuencia de calibración de los equipos de medición que afectan la validez de los resultados. Para los equipos que por su naturaleza requieran una caracterización, calificación o evaluación de desempeño, deben mantenerse registros de los resultados obtenidos.

El laboratorio debe documentar y justificar los casos en los que no sea necesario realizar comprobaciones intermedias. Cuando se realicen comprobaciones, el procedimiento debe tomar en cuenta el rango o punto(s) de trabajo y puede ser realizado conforme a la información proveniente del proveedor del equipo, lo establecido en los métodos de referencia o guías/normativas reconocidas, entre otros.

5.7.2.3.4 Trazabilidad metrológica

Se pide que se asegure la trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de alguna de estas vías:

1. Calibración por un laboratorio competente, reconociendo como tal al que cumple la norma ISO/IEC 17025.
2. Valores certificados o materiales de referencia de un proveedor competente, certificados con trazabilidad metrológica establecida al SI. Se entiende por competente aquel proveedor que cumple con la norma ISO 17034.
3. Realización directa de unidades del SI aseguradas mediante comparación directa o indirecta con patrones nacionales o internacionales.

5.7.2.3.5 Productos y servicios suministrados externamente

El laboratorio debe identificar y documentar aquellos productos y servicios que son suministrados externamente y que afectan a las actividades de laboratorio. Se aclara que este requisito contempla la subcontratación de muestreo, ensayos y calibraciones. Cuando el laboratorio subcontrate actividades de ensayo, calibración o muestreo que están dentro de su alcance, debe hacerlo con un laboratorio acreditado por el OSA o por otro organismo de acreditación para el alcance requerido. El OSA no acreditará aquellos ensayos/calibraciones que se subcontraten en forma permanente.

El laboratorio debe mostrar evidencia de que comunica a los proveedores externos sus requisitos. Considerando también como proveedores externos, aquellos que proveen servicios que no son realizados por personal del laboratorio, pero que si forman parte de la organización.

5.7.2.4: Requisitos del proceso

5.7.2.4.1 Selección, verificación y validación de métodos.

Cuando no se utiliza la última versión vigente de un método, el laboratorio deberá demostrar mediante evidencia documentada las causas de su no utilización.

Cuando el método sea modificado por el organismo que lo publicó, el laboratorio debe determinar la influencia de dichas modificaciones y si se encuentra alguna afectación a los resultados de la verificación, se debe repetir el proceso de verificación en la extensión necesaria.

Cuando se realicen cambios a un método validado, el laboratorio debe determinar la influencia de éstos y si se encuentra alguna afectación a los resultados de la validación inicial, se debe realizar una nueva validación del método, considerar como mínimo los siguientes:

- Cambio del personal que realiza el ensayo, calibración o muestreo.
- Cambio parcial o total del equipo y/o patrones críticos para el ensayo, calibración o muestreo.
- Recalibración de equipo o patrón crítico.

He de considerar que el laboratorio debe aplicar lo establecido en las políticas y guías del OSA en materia de verificación/validación de métodos, según corresponda.

5.7.2.4.2 Muestreo

El OSA solamente acreditará el muestreo o toma de muestra cuando esta actividad sea realizada por el mismo laboratorio que realizará el ensayo o calibración.

El OSA acreditará la toma de muestra, cuando esta se realiza conforme a lo establecido en un Reglamento Técnico o normativa adoptada por un ente regulador; este apartado puede declararse considerando lo descrito en el reglamento correspondiente.

5.7.2.4.3 Registros técnicos

Estos registros incluyen los generados en formato digital o impresa. Deben conservarse, al menos, durante 4 años como mínimo o, en su caso, el período que establezcan otras regulaciones legales aplicables (no menores de 4 años).

Cuando para la ejecución de las actividades de laboratorio, se cuente con más de un equipamiento, se debe identificar en los registros técnicos donde han sido utilizados.

5.7.2.4.4 Evaluación de la incertidumbre de la medición

Los laboratorios deben contar con evidencia documentada de la identificación de las contribuciones a la incertidumbre de la medición, así como de la evaluación realizada para declarar las contribuciones consideradas como significativas, es decir el criterio aplicado para ello. La estimación de la incertidumbre debe ser sustentada conforme a lo establecido en reconocidas referencias internacionalmente (GUM, EURACHEM, etc.)

5.7.2.4.5 Aseguramiento de la validez de los resultados

El laboratorio debe considerar, en su procedimiento y planificación de aseguramiento de la validez de los resultados.

5.7.2.4.6 Informe de resultados

El laboratorio deberá contar con un sistema de documentación de los resultados obtenidos en sus pruebas.

5.7.2.4.7 Informe de declaraciones de conformidad

Cuando se proporciona una declaración de conformidad, la regla de decisión implica definir la forma en que se toma en cuenta la incertidumbre para declarar conformidad.

5.7.2.5: Requisitos del sistema de gestión

Se presentan dos alternativas para el cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión, la opción A que es la aplicación puntual de los numerales que son semejantes a la norma ISO/IEC 17025 con inclusiones relevantes a los riesgos y a las oportunidades que se pueden presentar en el laboratorio. Y la opción B si el laboratorio tiene una certificación con base a la ISO 9001 se da por cumplido el numeral de esta norma.

Documentación del sistema de gestión: El laboratorio debe contar con objetivos y políticas, que en conjunto abarque los tres temas indicados en el apartado 8.2.2 de la norma. Los objetivos establecidos por el laboratorio deben ser medibles.

5.7.2.5.1 Acciones para abordar riesgos y oportunidades

Se deben considerar los riesgos (prevenir o reducir, impactos indeseables y potenciales fallas) y oportunidades asociadas a las actividades del laboratorio. Los riesgos y oportunidades deben estar de acuerdo con el potencial impacto, de la validez de los resultados).

5.7.2.5.2 Acciones correctivas

- a) El laboratorio debe documentar y evidenciar la aplicación del método utilizado para realizar el análisis de causa, que lleve a encontrar el origen de las fallas detectadas en el sistema.
- b) Deben definirse criterios objetivos, con los que se compruebe el seguimiento y la eficacia de las acciones implementadas.

5.7.2.5.3 Auditorías internas

El laboratorio debe seleccionar auditores y expertos técnicos con la competencia necesaria y llevar a cabo las auditorías asegurando la objetividad y la imparcialidad de la auditoría (en la medida de lo posible procurar que los auditores no auditen su propio trabajo). En el transcurso de un año (no más de 12 meses) deben auditarse todos los puntos de la norma, incluidos los criterios del OSA; en los casos que el laboratorio valore otras consideraciones, deberá documentarlas. En el transcurso de cuatro años, deben auditarse todas las actividades de laboratorio (ensayo, calibración y/o muestreo) bajo el alcance de la acreditación, para la auditoría pueden utilizarse diferentes técnicas o combinación de estas, tales como: testificación, revisión de registros, resultados en ensayos de aptitud, entre otras. En los casos que un laboratorio requiera ampliar una actividad de laboratorio, esta debe ser auditada antes de presentar la solicitud de ampliación al OSA. Se debe mostrar evidencia de haberse realizado la revisión de los requisitos y criterios evaluados, así como de la observación y evaluación de los ensayos, calibraciones y/o muestreo. Las acciones derivadas de todos los incumplimientos identificados durante las auditorías internas deben estar al menos en proceso de implementación al momento de realizar la evaluación del OSA.

Conclusiones

El edificio de potencia de la escuela de ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador tiene una accesible ubicación y que, al realizar las adecuaciones apegadas a estándares internacionales que se sugieren en este documento, lo convierte en un sitio óptimo para la implementación y operación del laboratorio de pruebas de eficiencia de motores como parte de la evaluación de conformidad del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15.

La implementación de aparatos y técnicas de diseño del laboratorio para mitigar los efectos negativos de las perturbaciones de calidad de energía es fundamental para preservar el buen estado de los equipos de prueba y medición del laboratorio, al igual que de los motores eléctricos mientras están siendo sometidos a prueba.

El método de pérdidas segregadas, establecido por el reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 como estándar para la determinación de la eficiencia del motor demuestra que, al ser llevado a cabo de una forma ordenada y correcta, es un método confiable ya que también ha sido adoptado por estándares de alcance internacional como el IEC 60034-1-2.

Se demostró de forma cuantitativa que la implementación en general del reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15 en los motores eléctricos significó el ingreso y comercialización en el país de motores más eficientes, lo que derivó en un menor consumo de energía eléctrica al ser comparado con el periodo previo a la implementación del reglamento, cumpliendo el propósito de contribuir a la eficiencia energética del país, establecido al momento de su creación.

La acreditación del laboratorio es indispensable para su funcionamiento, por lo que este documento detalló los pasos a seguir para que la solicitud de acreditación por parte del laboratorio sea exitosa.

Recomendaciones

- Se recomienda la elaboración de un estudio de factibilidad económica con respecto a las operaciones del laboratorio por medio de la elaboración del presupuesto, entre otras formas de análisis económico, para evaluar costos y retornos de la operatividad del laboratorio.
- Elaborar un sistema de gestión de calidad interno basado en la norma ISO 9001, con el propósito de mejorar los procesos dentro del laboratorio y facilitar la renovación de la acreditación.
- Realizar un plan de mantenimiento preventivo al equipo del laboratorio, con el objetivo de tener un registro del funcionamiento de los equipos, reducir la cantidad de fallas, y en caso de darse estas, agilizar reparaciones para minimizar tiempos de indisponibilidad.

Bibliografía

Diario Oficial Tomo Nº 418 Numero 4, Reglamento técnico salvadoreño 29.01.01:15: Eficiencia energética. motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW. límites, método de prueba y etiquetado, San Salvador: Dirección de la imprenta nacional, 2018.

Comisión electrotécnica internacional IEC, Maquinas eléctricas 60034-1, Ginebra: Comisión electrotécnica internacional, 2017.

Comisión electrotécnica internacional IEC, Maquinas eléctricas 60034-2, Ginebra: Comisión electrotécnica internacional, 2017.

National electrical manufacturers association, NEMA MG-1: Motors and generators, Rosslyn: National electrical manufacturers association, 2009.

J. Fraile Mora, Máquinas eléctricas, Madrid: McGraw Hill Interamericana, 2003.

ISA, Recommended Environments for Standards Laboratories RP 52.1, 1975.

C. González, N. Ramos, H. Treminio, Propuesta de laboratorio de pruebas de máquinas eléctricas, San Salvador: Universidad de El Salvador, 2016.

L. Flores Figueroa, Consultoría sobre estructura documental de un sistema de gestión de calidad norma ISO 17025:2005, con transición a la norma ISO 17025:2017, para el laboratorio de análisis de insumos médicos de la dirección nacional de medicamentos, San Salvador: Universidad de El Salvador, 2019.

Organismo salvadoreño de acreditación, Sistema de gestión de calidad: criterios generales para la evaluación de laboratorios de ensayo y calibración, conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017, versión 2, San Salvador: Organismo salvadoreño de acreditación, 2020