



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Comprobaciones y ensayos estáticos recomendados
durante el proceso de aceptación de motores eléctricos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Mantenimiento

AUTOR/A: Madiouni, Iheb Tijani

Tutor/a: Antonino Daviu, José Alfonso

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Universidad Politécnica de Valencia (UPV)

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del
Diseño(ETSID)

Máster Universitario en Ingeniería del
Mantenimiento

Comprobaciones y ensayos estáticos
recomendados durante el proceso de aceptación
de motores eléctricos

Autor:

Iheb Tijani Madiouni

Director:

José Alfonso Antonino Daviu

Agradecimiento

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a **DIOS** por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia y todas las personas que contribuyeron al éxito de mi Trabajo de Fin de Máster (TFM).

Me gustaría reconocer y agradecer a las siguientes personas:

En primer lugar, a mi querida familia, mis padres JALEL y EMNA, mis hermanas y hermano que me brindaron su apoyo incondicional y confianza fundamental en mi para lograr mis metas y superar el desafío que he tenido.

También, quiero agradecer a mi profesor José Alfonso Antonino Daviu, por su orientación experta y apoyo a lo largo de todo el proceso de investigación. Su conocimiento y experiencia fueron fundamentales para el desarrollo y la finalización de este trabajo.

Estoy agradecido por su tiempo dedicado a revisar y proporcionar comentarios valiosos que mejoraron significativamente mi trabajo.

No puedo dejar sin agradecer mis profesores y compañeros del máster, por su enseñanza y guía en las diferentes asignaturas me brindaron los conocimientos y las herramientas necesarias durante todo el curso de máster y especialmente mi compañero Leandro Jiménez Carrillo por su gran ayuda y apoyo.

Resumen

Este Trabajo Fin de Máster pretende ser un compendio de los ensayos que resulta recomendable aplicar durante el proceso de aceptación de motores (comisionado), tanto cuando el motor proviene del fabricante como cuando procede de un taller de reparación.

En el trabajo se realizará una profunda revisión bibliográfica para detallar, con suficiente rigor, de cada una de las pruebas recomendadas.

Para cada prueba, se especificarán los componentes del motor comprobados, las magnitudes medidas, los valores límites especificados por la normativa, periodicidad de aplicación, así como los medios técnicos y humanos requeridos para su aplicación.

El objetivo es elaborar un manual completo en el que se recopilen todas las pruebas más significativas y que pueda servir como referencia a una empresa industrial, durante el proceso de comisionado de sus motores.

Finalmente, algunas de las pruebas o ensayos expuestos, se acompañarán de medidas reales efectuadas en motores de laboratorio de cara a ilustrar su procedimiento de aplicación.

Lista de acrónimos

DAR o IA: índice de absorción dieléctrica.

IP: índice de polarización.

IR: medición puntual de aislamiento.

Hipot: Alto potencial.

Abstract

This master's thesis aims to serve as a compendium of the most significant tests and trials recommended to be applied during the motor acceptance process (commissioning), whether the motor comes from the manufacturer or a repair workshop.

The thesis will involve an in-depth literature review to provide detailed information with sufficient rigor for each of the recommended tests. For each test, it will specify the motor components being checked, the measured quantities, the limits set by regulations, the frequency of application, as well as the technical and human resources required for implementation.

The objective is to create a comprehensive manual that compiles all the significant tests, serving as a reference for an industrial company during the commissioning process of their motors.

Finally, some of the tests and trials presented will be accompanied by actual measurements taken on laboratory motors to illustrate their application procedures.

Índice

Índice	5
Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
1. Generalidades	10
1.1. Introducción	10
1.2. Antecedentes	10
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
2. Estado del arte	11
2.1. Generalidades de los motores eléctricos	11
3. Partes de un motor eléctrico	13
3.1. Estator	13
3.2. Rotor	14
3.3. Carcasa	14
3.4. Placa de características	15
3.5. Rodamientos	15
3.6. Caja de conexiones	16
4. Fallas probables del motor eléctrico	16
4.1. Daños en los bobinados de motor trifásico	17
4.2. Árbol de fallas de motor eléctrico	19
5. Métodos de comprobación de motor eléctrico	23
5.1. Condición del medio ambiental y clase térmica	23
5.2. Clase de servicio	25
5.3. Condición eléctrica	31
6. Ensayos estáticos recomendados durante el proceso de aceptación de un motor eléctrico	35
6.1. Prueba de resistencia óhmica	35
6.2. Prueba de resistencia de aislamiento	38
6.3. Prueba de índice de polarización (IP)	42
6.4. Prueba de índice de absorción (IA)	44
6.5. Prueba De HIPOT	44
6.6. Prueba de impulso o surge test	46
7. Equipo y motores analizados	49
7.1. Equipo y software utilizado	49
7.1.1. Equipo	49
7.1.2. Especificaciones técnicas del equipo	50
7.1.3. Software utilizado	50
7.1.4. Motores ensayados	52

8. Ensayos realizados	59
8.1. Procedimiento de la prueba	59
9. Resultados	61
9.0.1. Datos y conclusiones de los motores	61
10.Presupuesto de implantación	65
11.Conclusión	66
Referencias	67

Índice de figuras

1.	Motor eléctrico	11
2.	Motor de corriente continua	12
3.	Motor de corriente alterna	13
4.	Partes de un motor eléctrico	13
5.	Ejemplo de estator	13
6.	Ejemplo de rotor	14
7.	Ejemplo de Carcasa	14
8.	Ejemplo de Placa de características	15
9.	Ejemplo de Rodamientos	16
10.	Ejemplo de caja de conexión	16
11.	Corto entre fases	17
12.	Desequilibrio de tensión	17
13.	Sobrecalentamiento	18
14.	Rotor bloqueado	18
15.	Árbol de fallas de motor quemado	19
16.	Árbol de fallas de motor sin arranque	20
17.	Árbol de fallas de motor sobrecalentado	21
18.	Árbol de fallas de motor parado	22
19.	Tabla de factor de corrección	23
20.	Clases térmicas	24
21.	Gráfica S1	26
22.	Gráfica S2	26
23.	Gráfica S3	27
24.	Gráfica S4	27
25.	Gráfica S5	28
26.	Gráfica S6	29
27.	Gráfica S7	29
28.	Gráfica S8	30
29.	Gráfica S9	31
30.	Tipos de acoplamiento	34
31.	Ohmímetro Megger MTO106	36
32.	Ohmímetro Megger MTO106	37
33.	Origen de contaminación externa	39
34.	Causas principales de fallo de motores eléctricos	39
35.	Megóhmetro 6555 AEMC	40
36.	Gráfico de coeficiente K en función de la temperatura	41
37.	Medidas típicas de resistencia de aislamiento	43
38.	Ejemplo de aislamiento en perfecto estado	45
39.	Ejemplo de aislamiento en mal estado	45
40.	Forma de señal de buen bobinado	47
41.	Forma de señal de cortocircuito en espiras	48
42.	Bobinado perfecto vs Bobinado dañado	48
43.	Megger MIT1025	49

44.	Megger MIT1025	50
45.	Power DB Megger	51
46.	Ventana de Power DB	51
47.	Ventana de Power DB	52
48.	Ventana de Power DB	52
49.	Placa de características	53
50.	Motor WEG 1	53
51.	Placa de características	54
52.	Motor WEG 2	54
53.	Motor SIEMENS	55
54.	Placa características	55
55.	Motor CEMER	56
56.	Placa de características	56
57.	Motor ALren	57
58.	Placa de características	57
59.	Motor BALDOR	58
60.	Placa características del Motor BALDOR	58
61.	Conexiones para prueba de IP con un motor eléctrico	60
62.	Conexiones entre un motor eléctrico, el Megger MIT1025, el software POWER DB	60
63.	Curva de índice de polarización de 3 Motores	61
64.	Resultados de Medición de IR, IP, DAR de 3 Motores	61
65.	Curva de resistencia de aislamiento en 3 Motores corregidas a $40^{\circ}C$	62
66.	Curva de índice de polarización de 4 Motores	63
67.	Resultados de Medición de IR, IP, DAR de 4 Motores	63
68.	Curva de resistencia de aislamiento en 4 Motores corregidas a $40^{\circ}C$	64
69.	Tabla de coste de Implantación de materiales	65
70.	Tabla de coste de Mano de obra	65

Índice de tablas

1.	Grado de Protección	24
2.	Grado de Protección	25
3.	Número de polos y velocidad de motores eléctricos	34
4.	Voltajes de pruebas de resistencia de aislamiento	40
5.	Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40 °C(todos en MΩ)	41
6.	Valores de índice de polarización y estado de aislamiento	42
7.	Valores recomendados de índice de polarización (IP)	42
8.	Estado del aislante según el índice de polarización	43
9.	Valores de índice de absorción y condición de aislamiento	44
10.	Especificaciones Técnicas	50

1. Generalidades

1.1. Introducción

En el ámbito de la industria y la ingeniería eléctrica, los motores eléctricos desempeñan un papel de vital importancia, ya que son la fuerza motriz detrás de una amplia gama de aplicaciones industriales. Estos motores impulsan maquinaria, sistemas de climatización, transportadores, bombas, y una variedad de otros equipos esenciales. La fiabilidad y el rendimiento de estos motores son cruciales para garantizar una producción eficiente y sin problemas en numerosos sectores.

El proceso de aceptación de motores eléctricos, que abarca desde su fabricación hasta su puesta en funcionamiento, se convierte en un paso fundamental para asegurar que estos motores cumplan con los estándares de calidad y rendimiento requeridos. Durante este proceso, se llevan a cabo diversos ensayos estáticos para evaluar la integridad, seguridad y eficiencia de los motores antes de que entren en servicio activo.

Este Trabajo de Fin de Máster se centra en la exploración y análisis de los ensayos estáticos recomendados que deben llevarse a cabo durante el proceso de aceptación de motores eléctricos. Se examinará en detalle las técnicas, procedimientos y estándares aplicables en esta fase crucial de evaluación. El objetivo principal de este trabajo es proporcionar una comprensión exhaustiva de las mejores prácticas en la aceptación de motores, lo que contribuirá a la mejora de la fiabilidad y la seguridad en aplicaciones industriales.

1.2. Antecedentes

Durante el último cuarto del siglo 19, en el apogeo de la revolución industrial, la maquinaria eléctrica emergió como un componente esencial en la industria. Los investigadores como Thomas Edison y Nikola Tesla desempeñaron un papel fundamental en el desarrollo de los motores eléctricos. A medida que la tecnología eléctrica avanzaba y la demanda de motores eléctricos crecía, se hizo evidente la necesidad de establecer métodos efectivos para evaluar y garantizar la calidad y la confiabilidad de estos motores.

A principios del siglo 20, se produjo un importante progreso en la estandarización de las pruebas de motores eléctricos. Organizaciones de renombre, como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y la Asociación Nacional de Fabricantes de Motores Eléctricos (NEMA), comenzaron a establecer directrices y normativas para evaluar la calidad y el rendimiento de los motores eléctricos. Estas iniciativas sientan las bases para un enfoque más estructurado en la evaluación de motores eléctricos.

A medida que avanzaba el siglo, los avances en la instrumentación de pruebas desempeñaron un papel crucial. La introducción de instrumentos de medición de alta precisión permitió la realización de ensayos estáticos más detallados, como los ensayos de resistencia de aislamiento, la resistencia óhmica y índice de polarización y absorción etc... Estos avances en la instrumentación no solo mejoraron la precisión de las pruebas, sino que también allanaron el camino para una evaluación más exhaustiva y confiable de los motores eléctricos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo es elaborar un manual integral que las empresas industriales puedan emplear como referencia durante el proceso de la puesta en marcha de sus motores.

1.3.2. Objetivos específicos

Conocer los diferentes tipos de fallos tanto mecánicas como eléctricas que suelen o se puede producir en motor eléctrico.

Especificar las magnitudes medidas, los valores límites, medios técnicos y humanos.

Conocer que es un motor eléctrico y los diferentes partes.

Conocer las pruebas recomendadas.

Citar los componentes del motor comprobado.

2. Estado del arte

2.1. Generalidades de los motores eléctricos

En este apartado, mostramos los fundamentales tipos de motores eléctricos

Un motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico basándose en el principio fundamental de la interacción entre corrientes eléctricas y campos magnéticos.

Generalmente, constan de un estator fijo que contiene bobinas de hilo eléctrico y un rotor móvil, sometido a la acción del campo magnético.

Cuando una corriente eléctrica circula por las bobinas del estator, crea un campo magnético que interactúa con los imanes permanentes del rotor (en el caso de los motores de imanes permanentes) o con las corrientes inducidas en el rotor (en el caso de los motores de inducción).

Esta interacción genera una fuerza que hace que el rotor se mueva, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica.

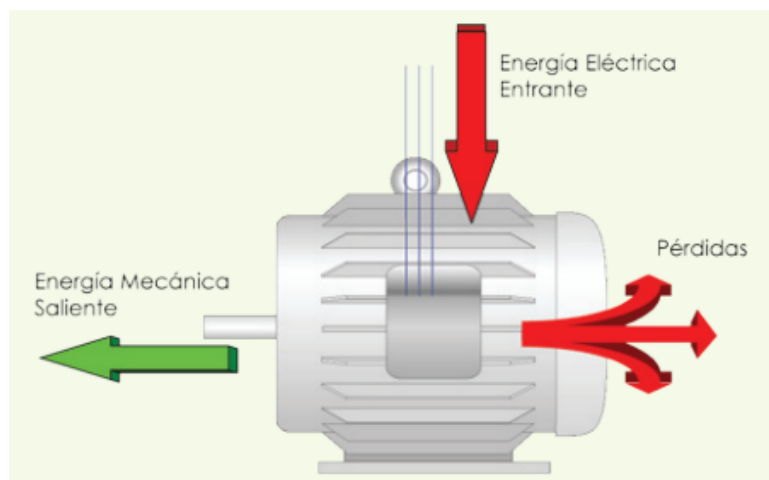


Figura 1: Motor eléctrico
[1]

Los motores eléctricos se dividen en 2 categorías:

Motor de corriente continua (CC)

Un motor eléctrico de corriente continua es un tipo de motor eléctrico que funciona con corriente continua e ofrecen una serie de ventajas, como un control preciso de la velocidad, un par de arranque elevado, la posibilidad de invertir el sentido de giro, una respuesta rápida a los cambios de carga[5].

El funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua se basa en el principio de interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica.

Cuando la corriente eléctrica circula por el inducido, se crea un campo magnético alrededor de la bobina. Este campo magnético interactúa con el campo magnético del estator, generando una fuerza de par que hace girar el rotor.

También como hay ventajas, hay desventajas como el costo muy elevado de su instalación y de mantenimiento.

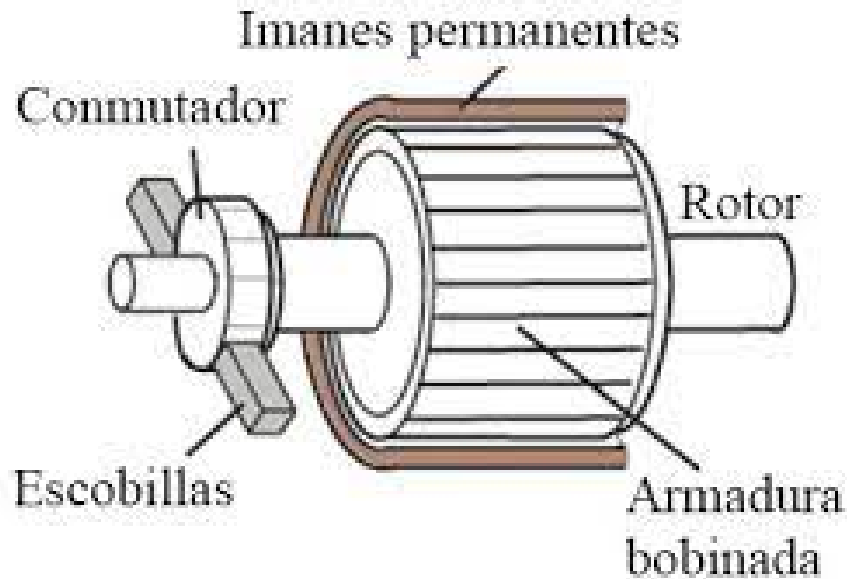


Figura 2: Motor de corriente continua [2]

Motor de corriente alterna (CA)

Un motor de corriente alterna es un tipo de motor eléctrico que funciona con un corriente alterna, es decir, un corriente eléctrico que cambia de dirección periódicamente[5].

Los motores de corriente alterna ofrecen una serie de ventajas, como una amplia disponibilidad de potencia, un diseño sencillo y robusto, unos costes de fabricación relativamente bajos y un mantenimiento sencillo.

Hay dos tipos más populares del corriente alterna (CA):

Asíncronos

Un motor asíncrono, también conocido como motor de inducción, es un tipo de motor eléctrico muy utilizado en muchas aplicaciones industriales y domésticas gracias a su velocidad de rotación, que depende de la frecuencia de la corriente alterna y del número de pares de polos magnéticos del estator.

Los motores asíncronos están diseñados para funcionar a una velocidad ligeramente inferior a la velocidad síncrona, es decir, la velocidad a la que gira el campo magnético del estator.

También ofrecen una serie de ventajas, como una construcción sencilla, un coste relativamente bajo, una gran fiabilidad, un buen rendimiento energético y un mantenimiento reducido.

Síncronos

El motor síncrono funciona manteniendo una sincronización precisa entre el campo magnético del estator y del rotor.

Cuando se mantiene esta sincronización, el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético giratorio del estator. Por lo tanto, la velocidad de rotación está directamente relacionada con la frecuencia de la corriente alterna de alimentación.

También ofrecen varias ventajas, como un alto rendimiento, una excelente estabilidad de la velocidad, una elevada potencia de salida y una buena regulación de la tensión.

Como en la corriente continua hay desventajas también en corriente alterna como, por ejemplo:

- *Coste inicial más elevado.
- *Necesidad de arrancadores adicionales, como arrancadores electrónicos o variadores de frecuencia.
- *Necesidad de mantenimiento periódico.

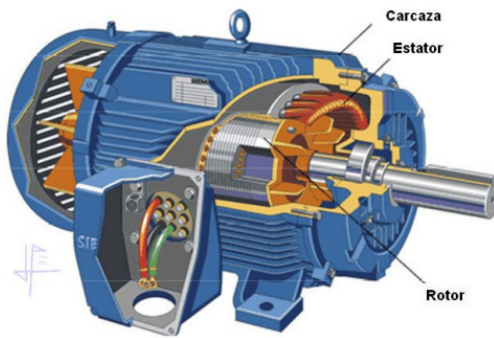


Figura 3: Motor de corriente alterna [5]

3. Partes de un motor eléctrico

En este apartado se describe los partes fundamentales compuesto por un motor eléctrico, como se detalla en la figura 4.

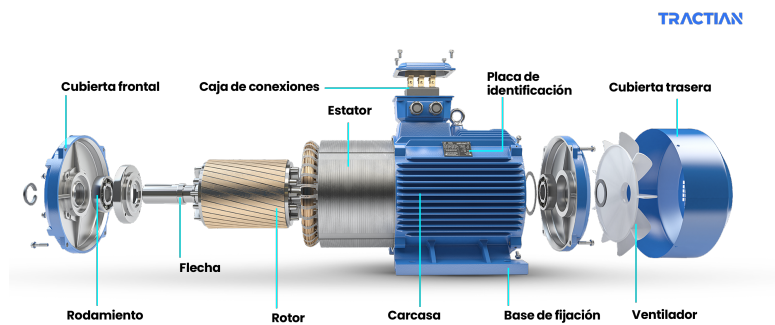


Figura 4: Partes de un motor eléctrico [4]

3.1. Estator

El estator es la parte fija de un motor eléctrico que rodea al rotor. Está formado por bobinas de hilo conductor enrolladas sobre un núcleo ferromagnético laminado.

Su función principal es generar un campo magnético estacionario que interactúa con el rotor para impulsar el movimiento mecánico del motor.

El estator no se mueva mecánicamente pero magnéticamente sí.

También se encarga de mantener la estructura mecánica del motor.



Figura 5: Ejemplo de estator [1]

3.2. Rotor

El rotor de un motor eléctrico es la parte móvil que desempeña un papel esencial en la conversión de la energía eléctrica en movimiento mecánico.

Por eso, está generalmente hecho de un núcleo ferromagnético laminado que tiene ranuras para alojar los conductores eléctricos.

Los conductores, a menudo en forma de bobinas o barras, se fijan en las ranuras y están eléctricamente aislados del núcleo. Estos conductores son esenciales para generar el campo magnético necesario para la rotación del rotor [3].

También existen varios tipos de rotor:

El rotor de jaula de ardilla es el tipo más comúnmente utilizado en motores asíncronos o de inducción. Consiste en conductores de cobre o aluminio colocados en ranuras del rotor y cortocircuitados en los extremos por anillos de corriente. Estos conductores tienen una forma similar a una jaula de ardilla, de ahí su nombre. Este tipo de rotor es resistente, económico y adecuado para diversas aplicaciones industriales.

El rotor bobinado se utiliza en motores síncronos y de corriente continua. Está compuesto por bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor del núcleo del rotor. Los extremos de las bobinas se conectan a anillos colectores para suministrar corriente al rotor. Los rotores bobinados ofrecen un mayor control del flujo magnético y se utilizan en aplicaciones específicas que requieren una sincronización precisa o un funcionamiento a baja velocidad.

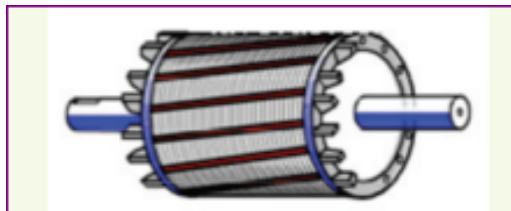


Figura 6: Ejemplo de rotor [1]

3.3. Carcasa

La carcasa de un motor eléctrico, también conocida como cubierta o envoltorio, es la estructura externa que aloja los componentes internos del motor. Su función es proteger las partes sensibles del motor, proporcionar soporte mecánico y facilitar la disipación térmica. La forma, la estructura y materiales de la carcasa varían según el tipo de motor eléctrico. Por eso se presentan varios tipos de carcasa como:

- Carcasa antideflagrante
- Carcasa refrigerada por líquido
- Carcasa cerrada
- Carcasa abierta



Figura 7: Ejemplo de Carcasa [3]

3.4. Placa de características

La placa de características, es el documento de entidad del motor donde encontramos las informaciones esenciales del motor y permiten de conocer rápidamente todas las condiciones de funcionamiento como:

Potencia nominal: es la potencia eléctrica nominal del motor, expresada en kilovatios (kW) o caballos de potencia (CV). Es la potencia máxima que el motor es capaz de suministrar de forma continua en condiciones normales de uso.

Tensión nominal: es la tensión eléctrica nominal a la que debe alimentarse el motor, expresada en voltios (V). Indica la tensión a la que el motor ha sido diseñado para funcionar de forma óptima.

Corriente nominal: es la corriente eléctrica nominal del motor, expresada en amperios (A). Es la corriente máxima que el motor puede consumir a plena carga.

Frecuencia nominal: es la frecuencia de la corriente eléctrica a la que está previsto alimentar el motor, generalmente 50 Hz o 60 Hz, según la región.

Clase de aislamiento: Indica el nivel de aislamiento eléctrico del motor, que determina su capacidad para soportar altas temperaturas y humedad.

Velocidad nominal: es la velocidad nominal del motor, expresada en revoluciones por minuto (RPM).

Número de serie y fabricante: el número de serie exclusivo del motor y el nombre o logotipo del fabricante.

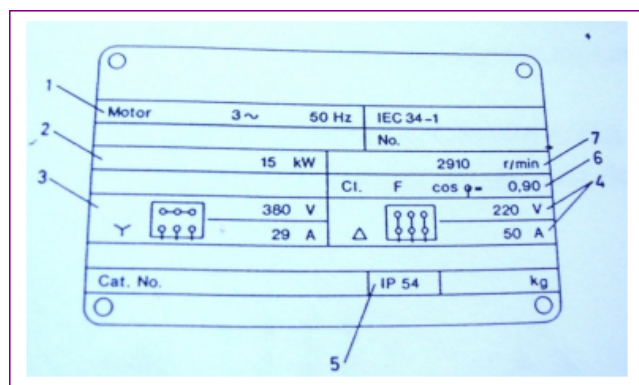


Figura 8: Ejemplo de Placa de características [1]

3.5. Rodamientos

Los rodamientos de un motor eléctrico son elementos mecánicos esenciales que soportan y guían el eje giratorio del motor. Están diseñados para reducir la fricción y la tensión mecánica, permitiendo que el motor funcione con suavidad y eficacia.

Los principios de funcionalidad son, absorción de vibraciones, transmisión de cargas, reducción de la fricción y soporte del eje.

Los rodamientos constan generalmente de dos anillos, un anillo interior fijado al eje del motor e un anillo exterior fijado a la carcasa del motor. Entre estos dos anillos hay bolas o rodillos que aseguran el movimiento de rotación reduciendo la fricción. Dentro de esto hay varios tipos de rodamientos como de bolas, de rodillos o de aguja.

Estas imágenes muestran los diferentes tipos



Figura 9: Ejemplo de Rodamientos [2]

3.6. Caja de conexiones

La caja de conexiones de un motor eléctrico es un componente esencial para conectar los distintos cables eléctricos del motor. Suele estar situada en el cuerpo del motor y desempeña un papel crucial en el cableado y la alimentación eléctrica del motor.

También tiene la función de proteger y resguardar los terminales del contacto directo con las personas.



Figura 10: Ejemplo de caja de conexión

4. Fallas probables del motor eléctrico

Para asegurar la vida útil y la productividad del motor eléctrico y obtener la mayor prestación de su servicio es necesario saber los factores donde se producen los averías o fallas y los tipos.

Por otro lado, podría decir que los averías se dividen en 2 grupos fundamentales que son eléctricas y mecánicas. También el entorno de trabajo puede influir en partes de las averías.

Averías eléctricas

Las averías eléctricas generalmente se deben al deterioro del sistema de aislamiento de los devanados, causado por sobrecargas prolongadas, cuando el motor funciona solo con una o dos fases, tensiones de alimentación desequilibradas o excesivas, polaridad incorrecta.

Estos problemas pueden ser causados por conexiones incorrectas, mal funcionamiento de los fusibles, mal contacto entre los terminales, mala calibración y selección incorrecta de sistemas de protección.

Averías mecánicas

Las fallas mecánicas suelen presentar tres tipos de síntomas: vibraciones excesivas, aumento de la temperatura de funcionamiento o localizada, y ruidos inusuales durante el funcionamiento normal. Estos síntomas pueden ser causados por desalineación o desequilibrio del rotor, desgaste o fricción, falta de alineación entre el motor y la carga acoplada, bases de montaje defectuosas, falta de lubricación en los cojinetes, ajuste incorrecto de los componentes del motor, entre otros componentes de otra máquina.

4.1. Daños en los bobinados de motor trifásico

Corto entre fases

La contaminación interna del motor puede ser una causa de preocupación, ya que puede afectar su rendimiento y vida útil. La presencia de partículas y suciedad en el interior del motor puede interferir con el adecuado funcionamiento de los componentes y provocar fallos. Además, la degradación del material aislante es otro problema común, especialmente cuando se produce por un exceso de temperatura[7].

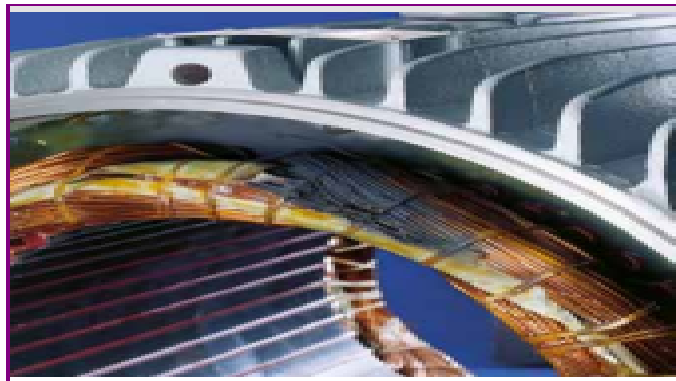


Figura 11: Corto entre fases
[7]

Desequilibrio de tensión

El desequilibrio de tensión e intensidad entre fases se produce por un mal contacto en las conexiones, interruptores, contactores y disyuntores, lo que puede provocar interrupciones en el suministro eléctrico y daños en los equipos conectados[7].

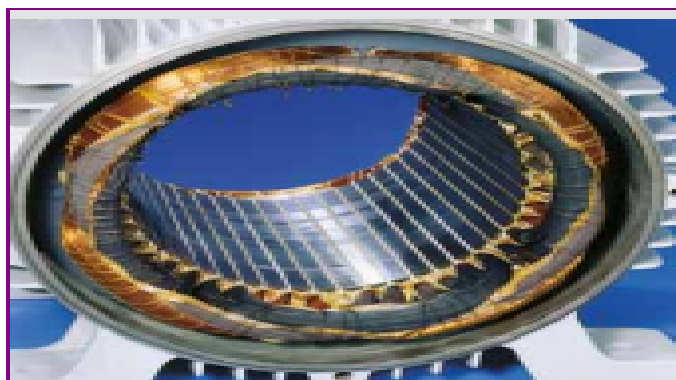


Figura 12: Desequilibrio de tensión
[7]

Sobrecalentamiento

Se surge por cables de alimentación muy largos o la sección inadecuada, conexión incorrecta de los cables de alimentación del motor. También, por una carga alta en la punta de eje y ventilación deficiente[7].



Figura 13: Sobrecalentamiento
[7]

Rotor bloqueado

Se presenta de una excesiva dificultad en el arranque del motor por una caída de tensión muy elevada o inercia y también si el par de la carga muy elevado. Por otro lado, se puede originar por una oscilación de tensión en las fases[7].



Figura 14: Rotor bloqueado
[7]

4.2. Árbol de fallas de motor eléctrico

En la siguiente parte, se presente una recapitulación de las fundamentales fallas que se pueden producir durante el ciclo de vida de un motor eléctrico.

El motor eléctrico puede pasar por muchas averías durante su funcionamiento, hay 4 síntomas más probables a que ello puede pasarlas como motor quemado, sin arranque, sobre calentado y motor parado.

No obstante, cada uno de estos síntomas se origina por causas específicas, ya sea en la parte mecánica o eléctrica del motor o incluso en el entorno de trabajo.

Motor quemado

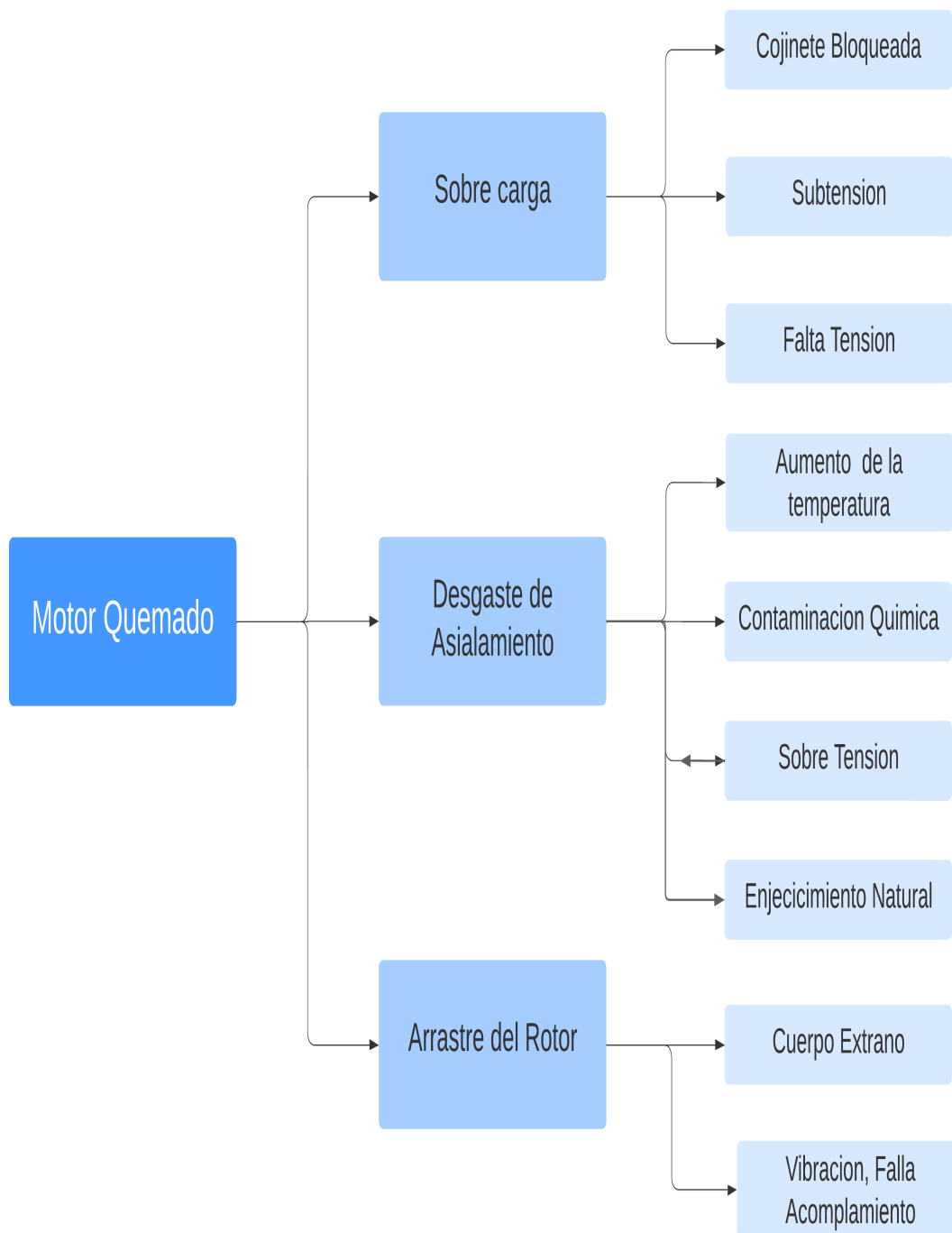


Figura 15: Árbol de fallas de motor quemado

Motor sin arranque

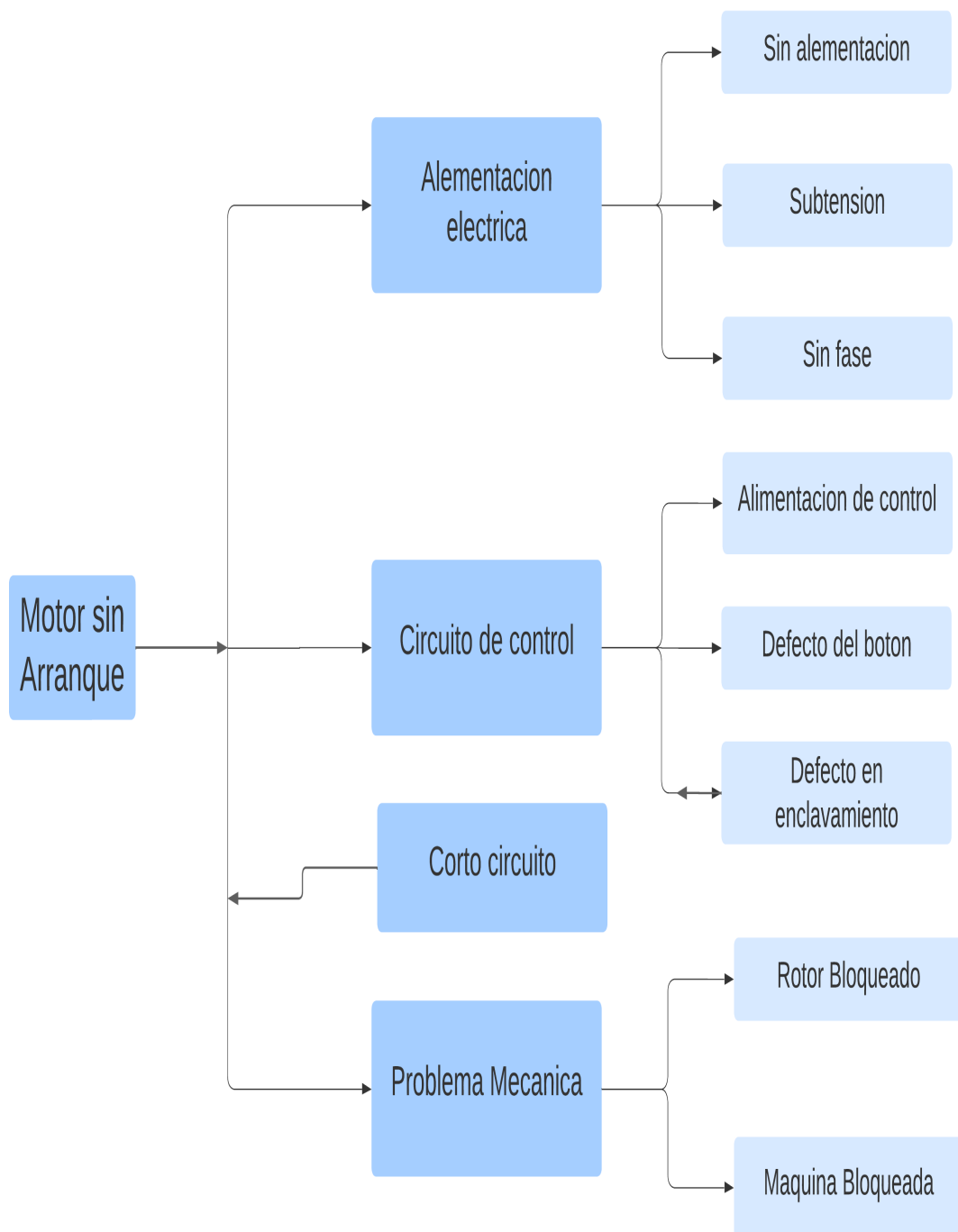


Figura 16: Árbol de fallas de motor sin arranque

Motor sobrecalentado

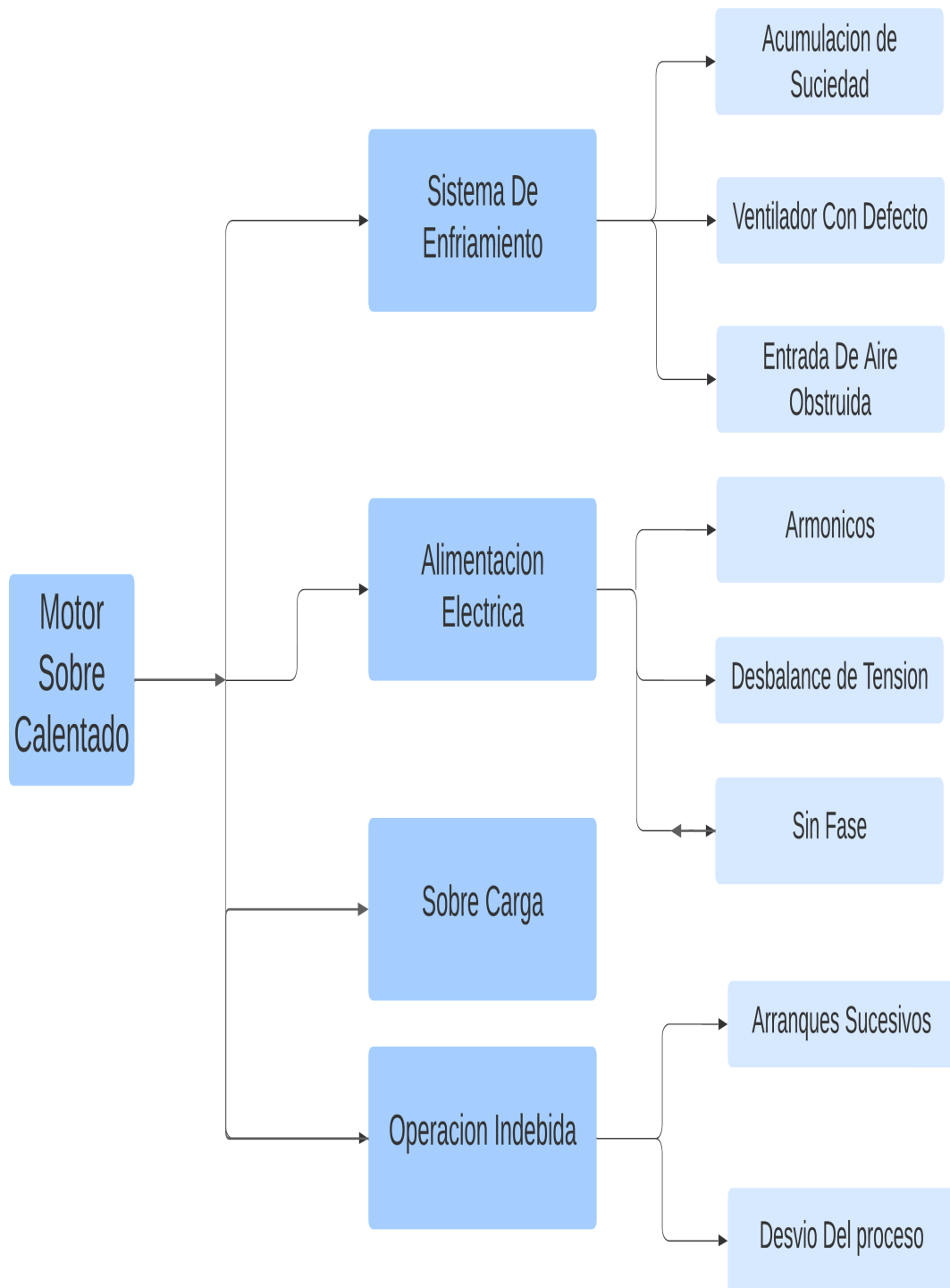


Figura 17: Árbol de fallas de motor sobrecalentado

Motor parado

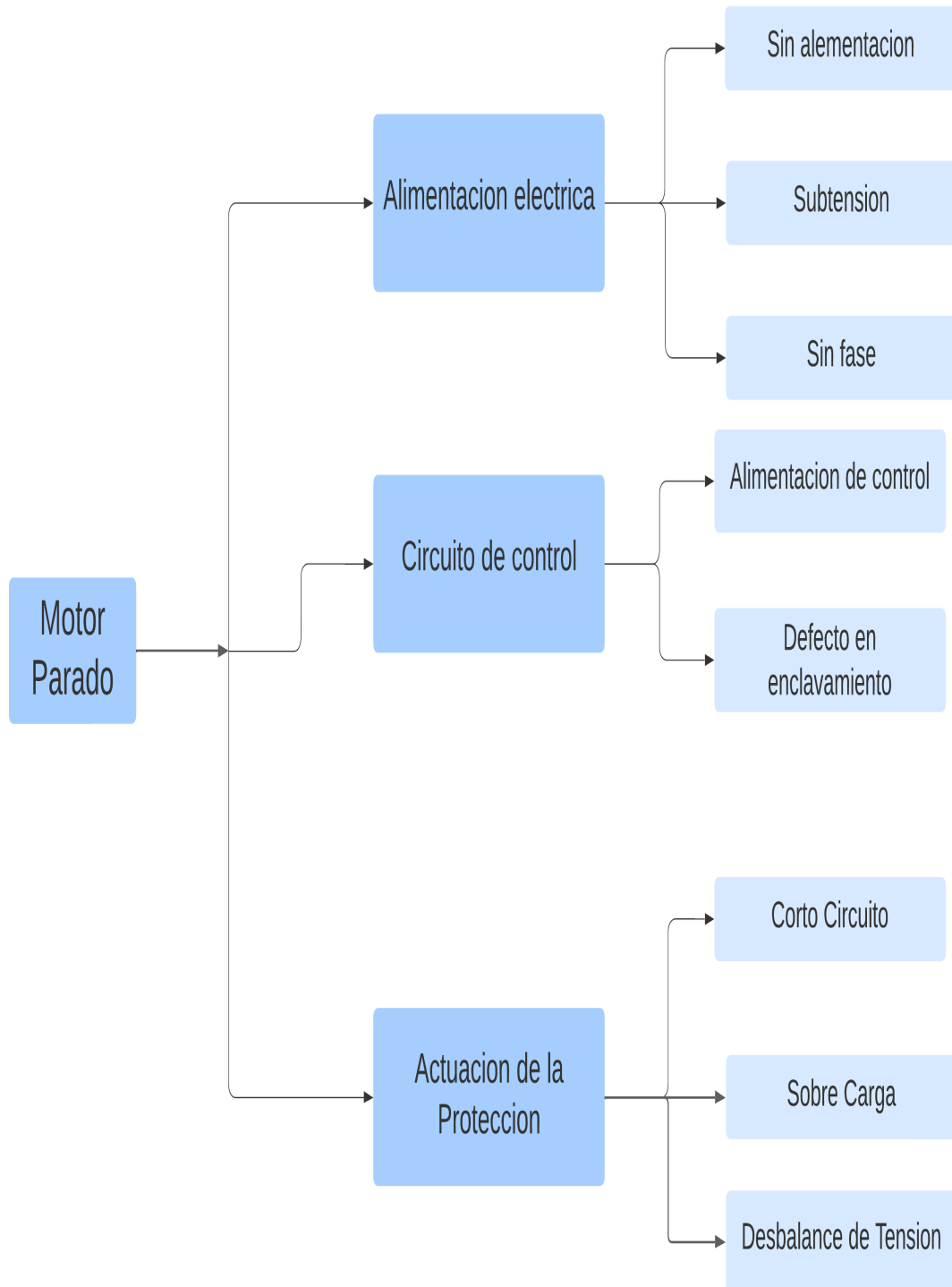


Figura 18: Árbol de fallas de motor parado

5. Métodos de comprobación de motor eléctrico

Dado que los motores abarcan una variedad de tipos y características, y desempeñan un papel fundamental en una amplia gama de aplicaciones, tanto industriales como domésticas, es importante tener en cuenta que en el sector industrial existen diversos subsectores.

Estos incluyen, entre otros, la industria automoción, la construcción, la agricultura, el ámbito marítimo, entre otros, y cada uno tiene sus propias especificaciones. La elección de un motor depende en gran medida del entorno y el contexto de trabajo en el que se utilizará.

Además, es esencial considerar varias condiciones y normativas que deben cumplirse para abordar los desafíos desde el inicio. Esto incluye aspectos como las condiciones de servicio y las regulaciones medioambientales.

5.1. Condición del medio ambiental y clase térmica

La selección y operación de motores eléctricos son procesos fundamentales en los que la condición ambiental y la clase térmica desempeñan un papel vital. Estos factores inciden directamente en el rendimiento y la resistencia de los motores en un entorno particular

Por lo tanto, comprender y aplicar adecuadamente estas consideraciones es esencial para garantizar un funcionamiento eficiente y una mayor vida útil de los motores eléctricos.

Condición ambiental: en la condición normal y de forma general los motores están diseñados para funcionar en un entorno mediante estos parámetros establecidos de acuerdo con la norma IEC 60034, altitud no superior a 1.000 m por encima del nivel del mar y temperatura no superior a 40 °C. Hasta estos valores el motor debe suministrar su potencia nominal sin sobrecalentarse. Al combinar los impactos de cambios en la temperatura y la altitud, es posible calcular la capacidad de disipación de la potencia del motor al multiplicar la potencia útil por el factor de amplificación proporcionado en la figura 19 [6].

T (°C)	Altitud (m)								
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
10							0,97	0,92	0,88
15						0,98	0,94	0,90	0,86
20					1,00	0,95	0,91	0,87	0,83
25				1,00	0,95	0,93	0,89	0,85	0,81
30			1,00	0,96	0,92	0,90	0,86	0,82	0,78
35		1,00	0,95	0,93	0,90	0,88	0,84	0,80	0,75
40	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,82	0,80	0,76	0,71
45	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,81	0,78	0,74	0,69
50	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,72	0,67
55	0,88	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,70	0,65
60	0,83	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70	0,67	0,62
65	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,62	0,58
70	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,58	0,53
75	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,53	0,49
80	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	0,48	0,44

Figura 19: Tabla de factor de corrección [6]

Clase térmica: Las clases de temperatura del medio ambiente para motores eléctricos normalizadas son las siguientes:

Clase F: Esta clase de temperatura permite que el motor funcione en un ambiente con una temperatura máxima de 155°C.

Clase H: Esta clase de temperatura permite que el motor funcione en un ambiente con una temperatura máxima de 180°C.

Clase B: Esta clase de temperatura permite que el motor funcione en un ambiente con una temperatura máxima de 130°C.

Clase A: Esta clase de temperatura permite que el motor funcione en un ambiente con una temperatura máxima de 105°C.

Estas clases de temperatura se utilizan para especificar la capacidad de un motor eléctrico para operar de manera segura en diferentes condiciones ambientales. Es importante seleccionar la clase de temperatura adecuada para garantizar un rendimiento óptimo y evitar daños en el motor debido a temperaturas excesivas[6].

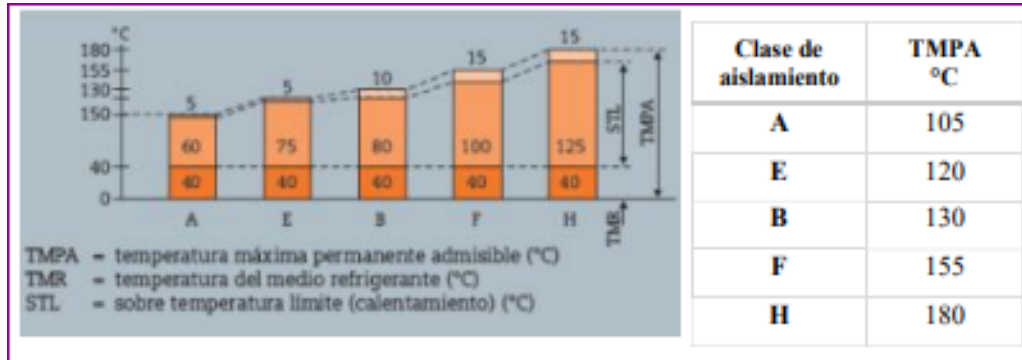


Figura 20: Clases térmicas [6]

Grado de protección Con un grado de protección, es posible distinguir el nivel de protección y contra qué se protege. Los símbolos utilizados para indicar los grados de protección consisten en las letras (IP) seguidas de dos números (XX) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en la tabla (1).

Primer número característico, es la protección contra la entrada de cuerpos sólidos y la aproximación o el contacto con partes bajo tensión.

Números	Características
0	sin protección
1	protección contra la penetración de objetos sólidos de más de 50 mm de diámetro (por ejemplo, contacto involuntario con las manos)
2	protección contra la penetración de objetos sólidos de más de 12 mm de diámetro (por ejemplo, dedos)
3	protección contra la penetración de objetos sólidos de más de 2,5 mm de diámetro.
4	protección contra la entrada de sólidos de más de 1 mm de diámetro
5	protección contra la entrada de polvo; la penetración de polvo no se elimina por completo, pero no puede entrar en cantidades suficientes para comprometer el funcionamiento del motor.
6	protección total contra la penetración de polvo

Tabla 1: Grado de Protección [6]

Segundo número característico, es la protección contra la penetración de agua.

Números	Características
0	sin protección
1	las gotas de agua que caen verticalmente no deben causar efectos nocivos (por ejemplo, condensación)
2	las gotas de agua que caen verticalmente no deben causar efectos nocivos cuando la máquina está inclinada en cualquier ángulo hasta 15° de su posición normal
3	el agua que caiga en forma de lluvia en una dirección inclinada a un ángulo igual o inferior a 60° con respecto a la vertical no deberá provocar ningún efecto nocivo
4	el agua que salpique la máquina no deberá tener efectos nocivos en ninguna dirección
5	el agua proyectada sobre la máquina por una boquilla no deberá producir efectos nocivos desde ninguna dirección
6	en caso de olas o chorros, el agua no deberá penetrar en la máquina en cantidades que puedan dañarla
7	en caso de olas o chorros, el agua no deberá penetrar en la máquina en cantidades que puedan dañarla
8	el motor deberá ser adecuado para la inmersión permanente en agua en las condiciones especificadas por el fabricante

Tabla 2: Grado de Protección
[6]

5.2. Clase de servicio

Según la normativa IEC 60034-1, el régimen de un motor eléctrico se refiere a la regularidad con la que se utiliza y la carga a la que se somete. Los motores normales están diseñados para funcionar de manera continua, es decir, con una carga constante, durante un tiempo indefinido, y esta carga debe ser igual a la potencia nominal del motor.

El comprador debe especificar el régimen del motor de la manera más precisa posible. Si la carga no varía o si su variación es predecible, se puede indicar el régimen en términos numéricos o a través de gráficos que representen cómo cambian las condiciones con el tiempo.

Cuando no se puede prever una secuencia exacta de valores en el tiempo, se debe especificar una secuencia ficticia que sea al menos tan exigente como la real. Cambiar el régimen de arranque en comparación con lo que se indica en la placa de identificación del motor puede provocar un sobrecalentamiento y daños en el motor[6].

Servicio continuo S1

Funcionamiento a carga constante de duración suficiente para que se alcance el equilibrio térmico.

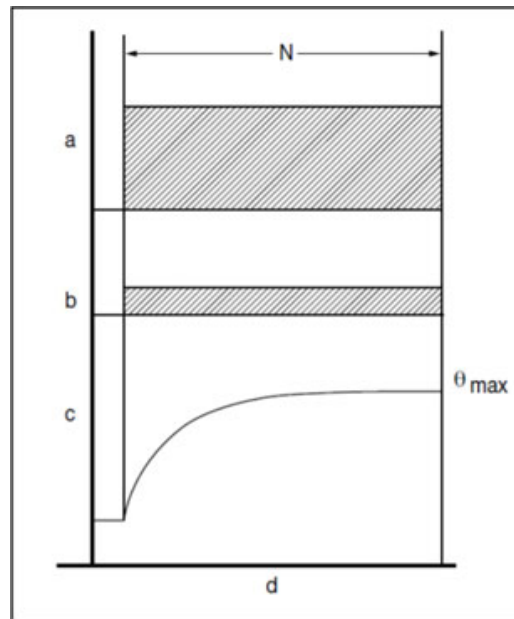


Figura 21: Gráfica S1
[8]

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 N = tiempo de funcionamiento con carga constante,
 θ_{max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo.

Servicio temporal S2

Funcionamiento a carga constante con un tiempo de funcionamiento inferior al necesario para alcanzar el equilibrio térmico, seguido de un período de descanso lo suficientemente largo como para llevar la temperatura del motor a un valor inferior o igual a la temperatura del refrigerante.

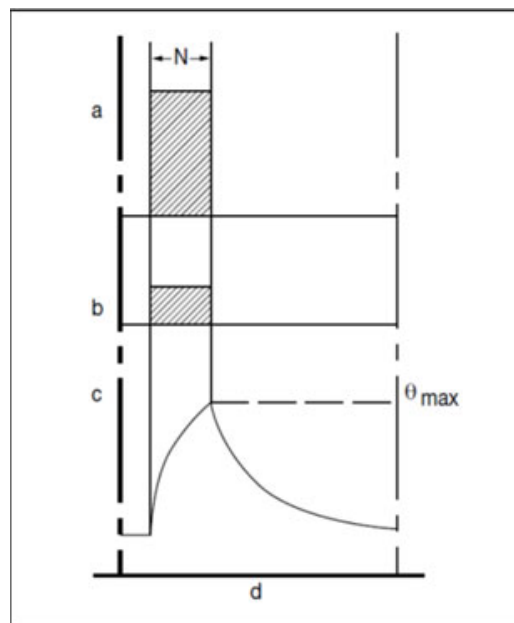


Figura 22: Gráfica S2
[8]

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 N = tiempo de funcionamiento con carga constante, θ_{max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo.

Servicio intermitente periódico S3

En una secuencia de ciclos idénticos, cada uno comprende un período de funcionamiento con carga constante seguido de un período de desenergización y reposo. En este régimen, el ciclo está diseñado de manera que la corriente de arranque no tiene un impacto significativo en el aumento de la temperatura.

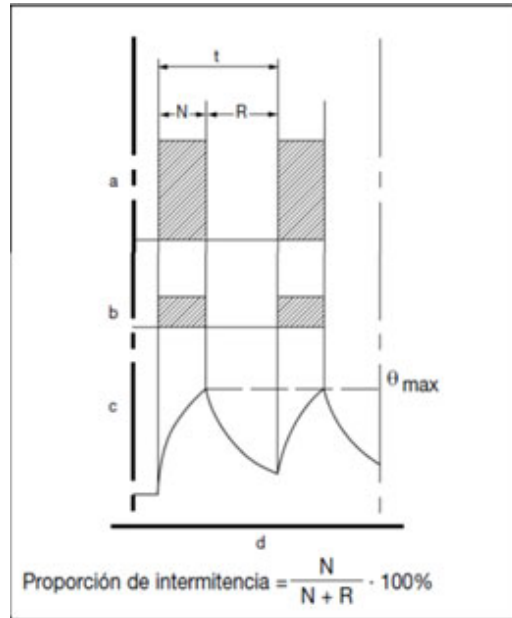


Figura 23: Gráfica S3
[8]

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 N = tiempo de funcionamiento con carga constante, θ_{\max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 R = tiempo de reposo, t = duración de ciclo

Servicio intermitente periódico con arranque S4

Una secuencia de ciclos de régimen idénticos, cada uno de los cuales comprende una fase de arranque, seguida de una fase de funcionamiento a carga constante, y finalmente una fase de reposo. Estos ciclos están diseñados con períodos muy breves para permitir que el sistema alcance el equilibrio térmico de manera eficiente.

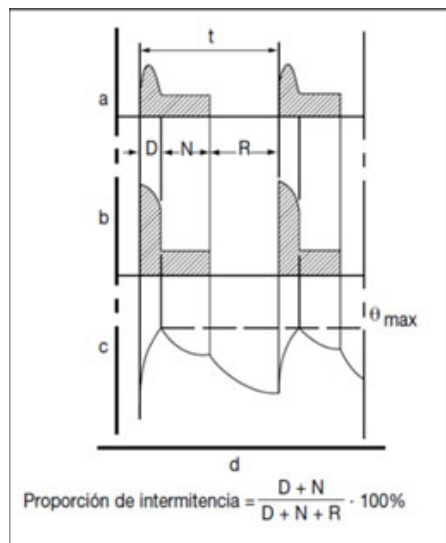


Figura 24: Gráfica S4
[8]

$a =$ carga, $b =$ pérdidas eléctricas, $c =$ temperatura, $d =$ tiempo,
 $N =$ tiempo de funcionamiento con carga constante, $\theta_{\max} =$ temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 $R =$ tiempo de reposo, $t =$ duración de ciclo $D =$ tiempo de arranque o de aceleración

Servicio intermitente periódico con frenado eléctrico S5

Una secuencia de ciclos de régimen idénticos, cada uno de los cuales comprende una fase de arranque, seguida de una fase de funcionamiento a carga constante, y finalmente una fase de reposo. Estos ciclos están diseñados con períodos muy breves para permitir que el sistema alcance el equilibrio térmico de manera eficiente.

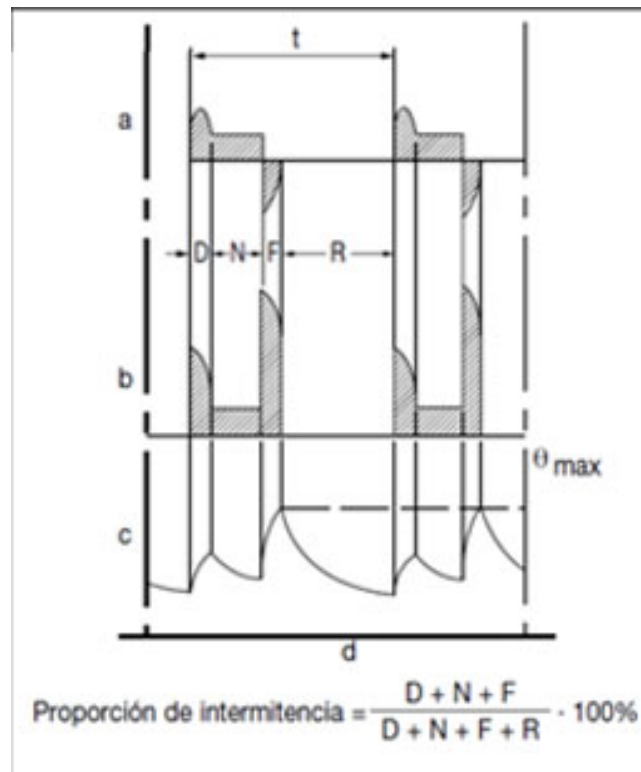


Figura 25: Gráfica S5
 [8]

$a =$ carga, $b =$ pérdidas eléctricas, $c =$ temperatura, $d =$ tiempo,
 $N =$ tiempo de funcionamiento con carga constante, $\theta_{\max} =$ temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 $R =$ tiempo de reposo, $t =$ duración de ciclo, $D =$ tiempo de arranque o de aceleración,
 $F =$ Tiempo de frenado eléctrico

Servicio continuo periódico con carga intermitente S6

Una secuencia de ciclos de régimen uniforme, cada uno compuesto por un período de funcionamiento a carga constante seguido de un período de funcionamiento en vacío, sin interrupciones entre ellos.

$a =$ carga, $b =$ pérdidas eléctricas, $c =$ temperatura, $d =$ tiempo,
 $N =$ tiempo de funcionamiento con carga constante, $\theta_{\max} =$ temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 $V =$ tiempo de funcionamiento en vacío, $t =$ duración de ciclo

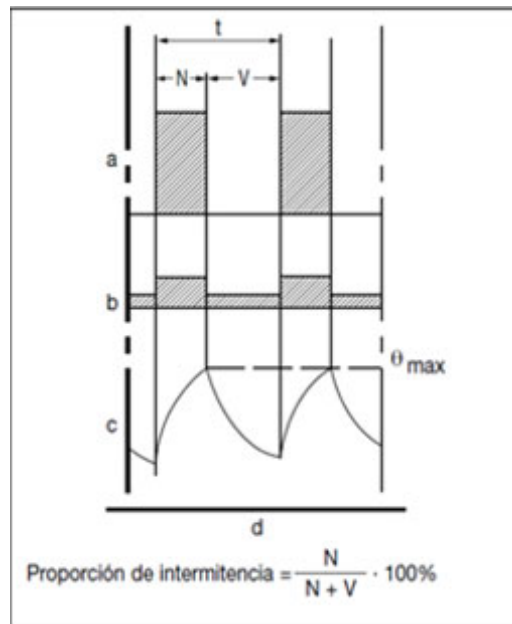


Figura 26: Gráfica S6
[8]

Servicio continuo periódico con frenado eléctrico S7

Una secuencia de ciclos consta de regímenes idénticos, cada uno compuesto por una fase de arranque, una fase de funcionamiento a carga constante y una fase de frenado eléctrico. No se incluye un período de inactividad en esta secuencia..

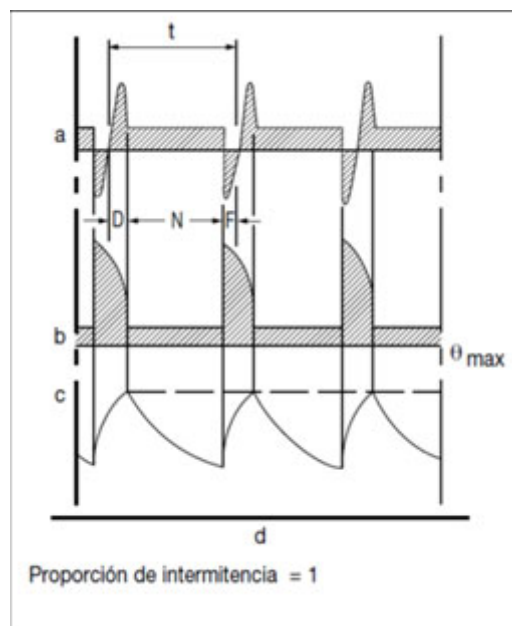


Figura 27: Gráfica S7
[8]

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 N = tiempo de funcionamiento con carga constante, θ_{\max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 t = duración de ciclo, D = tiempo de arranque o de aceleración, F = Tiempo de frenado eléctrico

Servicio continuo con cambio periódico en la relación carga y velocidad de rotación S8

Una secuencia de ciclos de regímenes idénticos se compone de varios ciclos, cada uno de los cuales consta de un período de arranque y un período de funcionamiento a carga constante, en el que se mantiene una velocidad de rotación específica. Estos ciclos se suceden inmediatamente por uno o más

períodos de funcionamiento a otras cargas constantes, donde las velocidades de rotación difieren. No se incluye ningún período de inactividad en esta secuencia.

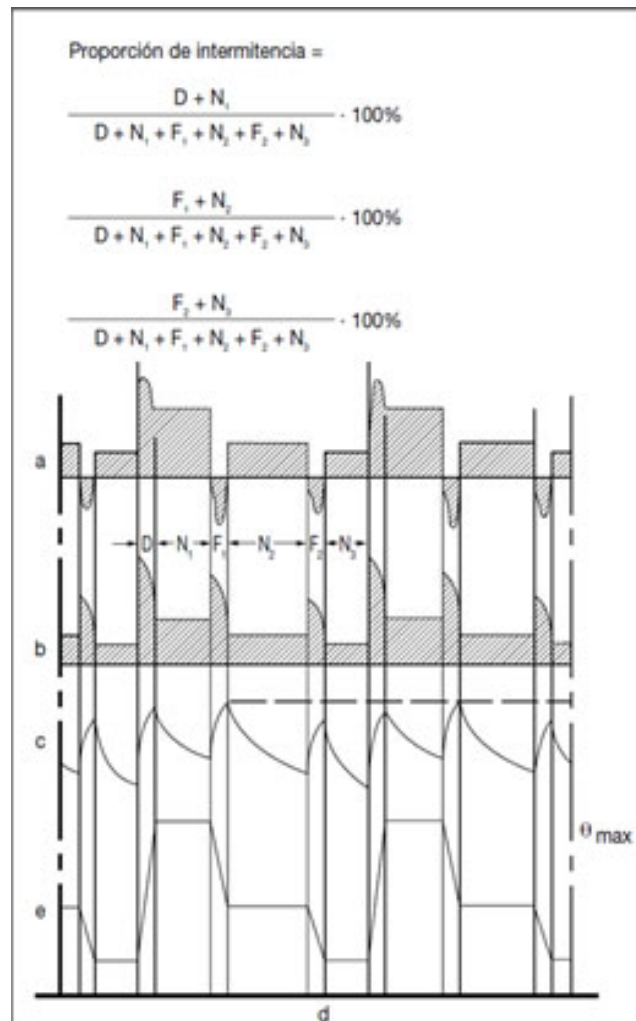


Figura 28: Gráfica S8
[8]

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 N = tiempo de funcionamiento con carga constante, θ_{max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 t = duración de ciclo, D = tiempo de arranque o de aceleración, F = Tiempo de frenado eléctrico

Servicio con variaciones no periódicas de carga y de velocidad S9

Régimen operativo en el que, por lo general, tanto la carga como la velocidad experimentan variaciones no periódicas, siempre dentro del rango de operación permitido. Esto puede incluir, en ocasiones, aplicaciones de sobrecarga que superan significativamente la carga de referencia

a = carga, b = pérdidas eléctricas, c = temperatura, d = tiempo,
 R = tiempo de reposo, θ_{max} = temperatura máxima alcanzada durante el ciclo,
 t = duración de ciclo, D = tiempo de arranque o de aceleración, F = Tiempo de frenado eléctrico,
 P = Plena carga, L = tiempo de funcionamiento con carga variable, e = velocidad,
 S = tiempo de funcionamiento con sobrecarga

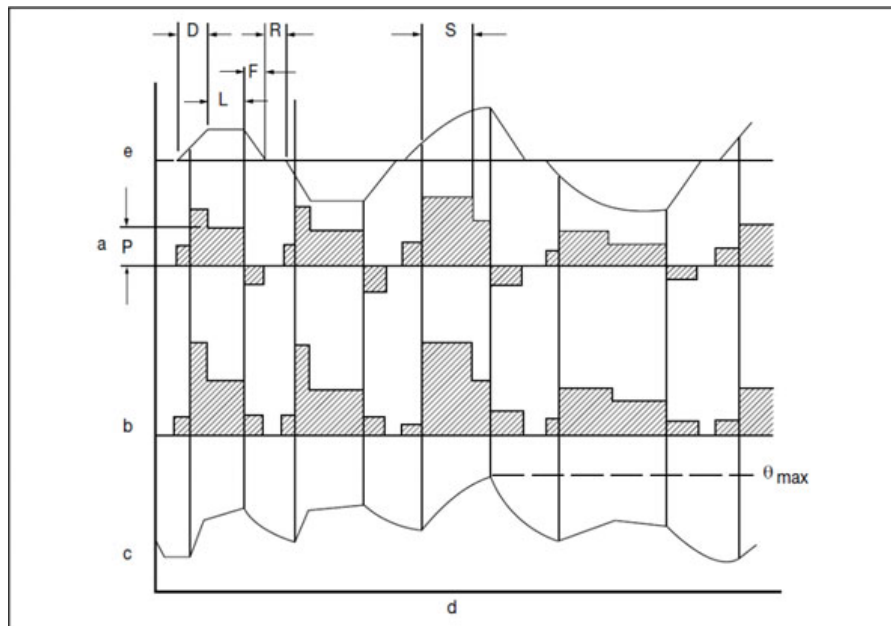


Figura 29: Gráfica S9
[8]

5.3. Condición eléctrica

Las condiciones eléctricas varían de un motor a otro en función de varios factores como la potencia, la alimentación eléctrica, la intensidad de corriente eléctrica, el rendimiento, velocidad y el acoplamiento etc [9].

Potencia

La potencia de un motor eléctrico se refiere a la cantidad de trabajo que el motor es capaz de realizar en un determinado período de tiempo. Se mide en unidades de vatios (W) o kilovatios (kW). La potencia del motor eléctrico depende de varios factores, como el diseño del motor, la corriente de alimentación, el voltaje aplicado y la eficiencia del motor.

Existen dos tipos de potencia en un motor eléctrico: la potencia nominal y la potencia de salida.

La potencia nominal, también conocida como potencia nominal de entrada, se refiere a la potencia máxima que el motor puede manejar de forma continua sin sobrecalentamiento. Se indica en la placa de características del motor y se expresa en vatios o kilovatios. Esta potencia se determina durante las pruebas y está relacionada con la capacidad del motor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica sin exceder los límites de temperatura seguros.

La potencia de salida, también conocida como potencia útil, es la potencia real entregada por el motor en forma de trabajo mecánico. Esta potencia puede ser menor que la potencia nominal debido a las pérdidas internas del motor, como las pérdidas por fricción y las pérdidas por calor. La eficiencia del motor, que es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada, determina qué tan eficientemente el motor convierte la energía eléctrica en trabajo mecánico [9].

Velocidad

La velocidad de un motor eléctrico se refiere a la velocidad a la que gira el eje del motor y se mide en revoluciones por minuto (RPM) o en radianes por segundo (rad/s).

La velocidad de un motor eléctrico puede variar dependiendo de varios factores, como el diseño del motor, la frecuencia de alimentación, el número de polos y la carga aplicada al motor. La velocidad nominal del motor, también conocida como velocidad sincrónica, es la velocidad a la que el motor debería girar cuando se le aplica la frecuencia nominal de alimentación. Esta velocidad está determinada por el número de polos del motor y la frecuencia de alimentación[9].

Sin embargo, en la práctica, la velocidad real del motor puede variar debido a factores como la carga aplicada y las pérdidas internas del motor. La velocidad del motor puede ser controlada mediante dispositivos de control, como variadores de frecuencia, que permiten ajustar la frecuencia de alimentación y, por lo tanto, la velocidad del motor.

Es importante tener en cuenta que la velocidad del motor eléctrico está relacionada con el par motor, es decir,

la fuerza de giro que puede generar el motor. En general, a menor velocidad, mayor es el par motor disponible. La selección de un motor con la velocidad adecuada depende de los requisitos de la aplicación específica. Al elegir un motor, es importante considerar la velocidad nominal, la carga requerida e otros factores relevantes para asegurar un funcionamiento óptimo del motor en la aplicación deseada.

Alimentación eléctrica

La tensión de alimentación de un motor eléctrico se refiere al nivel de voltaje que se suministra al motor para su funcionamiento adecuado. La tensión de alimentación es un parámetro clave que debe ser compatible con las especificaciones del motor para garantizar un rendimiento óptimo y seguro[5].

La tensión de alimentación de un motor eléctrico puede variar dependiendo de diferentes factores, como el tipo de motor, la aplicación específica y la región geográfica. En la mayoría de los casos, los motores eléctricos están diseñados para operar con una tensión de alimentación específica, que suele ser de corriente alterna (CA) o corriente continua (CC).

En sistemas de alimentación de corriente alterna, las tensiones de alimentación comunes pueden ser 220V, 380V, 440V o incluso mayores, dependiendo del país y del sistema eléctrico local. Estas tensiones se refieren al voltaje eficaz (RMS) de la señal de corriente alterna suministrada al motor[9].

En sistemas de alimentación de corriente continua, las tensiones de alimentación pueden variar según la aplicación y el diseño del sistema. Por ejemplo, en aplicaciones automotrices, las tensiones de alimentación pueden ser de 12V o 24V para motores pequeños, y en aplicaciones industriales pueden ser más altas, como 48V o incluso cientos de voltios.

Es importante tener en cuenta que la tensión de alimentación del motor debe coincidir con la tensión nominal especificada por el fabricante del motor. El uso de una tensión de alimentación incorrecta puede afectar negativamente el rendimiento del motor, causar daños o incluso representar un riesgo de seguridad. Por lo tanto, es fundamental verificar y cumplir con las especificaciones de tensión de alimentación recomendadas para un motor específico.

Rendimiento

El rendimiento de un motor eléctrico se refiere a la eficiencia con la que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Es una medida de la cantidad de energía útil que produce el motor en comparación con la cantidad de energía eléctrica que se le suministra.

El rendimiento de un motor eléctrico se expresa típicamente como un porcentaje y se calcula dividiendo la potencia de salida (energía mecánica producida) entre la potencia de entrada (energía eléctrica suministrada). Un rendimiento del 100 % indicaría que el motor convierte toda la energía eléctrica en energía mecánica sin pérdidas, lo cual es teóricamente ideal pero difícil de lograr en la práctica.

En la realidad, los motores eléctricos siempre presentan ciertas pérdidas debido a diversos factores, como la resistencia eléctrica de los conductores, las pérdidas en los componentes magnéticos, las fricciones mecánicas y las pérdidas de calor. Estas pérdidas reducen la eficiencia del motor y disminuyen su rendimiento[9].

El rendimiento de un motor eléctrico puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo el diseño del motor, la carga a la que está sometido, la calidad de los materiales utilizados y las condiciones de operación. En general, los motores eléctricos modernos tienen rendimientos bastante altos, típicamente en el rango del 80 % al 95 %.

Un alto rendimiento en un motor eléctrico es deseable, ya que implica una menor pérdida de energía y una mayor eficiencia en la conversión de energía. Esto se traduce en un menor consumo de electricidad, menor generación de calor en una operación más económica y sostenible.

La corriente eléctrica

La corriente eléctrica del motor eléctrico se refiere a la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de sus bobinados o devanados. Esta corriente es suministrada por una fuente de alimentación y es esencial para generar el campo magnético necesario para el funcionamiento del motor.

La magnitud de la corriente del motor depende de varios factores, como la potencia requerida para la carga, la resistencia interna del motor, la eficiencia del motor y las condiciones de operación. En general, a mayor potencia requerida, mayor será la corriente necesaria para satisfacer esa demanda de energía.

Es importante tener en cuenta que la corriente del motor puede variar durante su funcionamiento, especialmente en situaciones de arranque o en presencia de cambios bruscos en la carga. Durante el arranque, la corriente puede ser mayor debido a la inercia de la carga y la necesidad de superar la resistencia inicial. Sin embargo, una vez que el motor está en funcionamiento, la corriente tiende a estabilizarse a un nivel más bajo, a menos que haya cambios significativos en la carga o en las condiciones de operación[5].

Es importante dimensionar correctamente la capacidad del sistema de alimentación eléctrica para manejar la corriente requerida por el motor. Además, es necesario tener en cuenta las características de protección y control, como fusibles, interruptores o dispositivos de arranque suave, para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del motor.

La corriente del motor también está relacionada con la eficiencia y el rendimiento del motor. Un mayor flujo de corriente puede generar mayores pérdidas de energía y calor en el motor, lo que puede reducir su eficiencia general. Por lo tanto, es importante seleccionar un motor con la corriente adecuada para la aplicación específica y operarlo dentro de los límites y recomendaciones establecidos por el fabricante.

Acoplamiento eléctrico:

El acoplamiento eléctrico de un motor eléctrico se refiere a la conexión o configuración de las terminales o bobinados del motor con el sistema de alimentación eléctrica. Esta configuración determina cómo se establece la conexión entre las fases del motor y la fuente de alimentación.

Existen diferentes tipos de acoplamiento eléctrico utilizados en los motores eléctricos, siendo los más comunes el acoplamiento estrella (Y) y el acoplamiento triángulo (Δ)[9].

En el acoplamiento estrella, también conocido como acoplamiento en estrella o conexión en Y, los extremos de cada bobinado del motor se conectan en un punto común llamado punto neutro. Las fases de alimentación se conectan a los extremos de los bobinados restantes. Esta configuración proporciona un voltaje de línea más bajo en cada bobinado, pero un voltaje de fase más alto, lo que puede ser beneficioso en ciertas aplicaciones.

En el acoplamiento triángulo, también conocido como acoplamiento delta o conexión en (Δ), cada extremo de un bobinado se conecta al extremo opuesto del siguiente bobinado. Las fases de alimentación se conectan a los extremos restantes de los bobinados. Esta configuración proporciona un voltaje de línea más alto en cada bobinado, pero un voltaje de fase más bajo.

La selección entre el acoplamiento estrella e el acoplamiento triángulo depende de diversos factores, como la tensión de alimentación disponible, la potencia del motor y los requisitos de la aplicación. Cada configuración tiene sus propias características y ventajas, y es importante seguir las recomendaciones y especificaciones del fabricante del motor para garantizar una conexión correcta y segura.

Es importante destacar que el acoplamiento eléctrico afecta tanto a la tensión como a la corriente del motor, por lo que es necesario tener en cuenta estos aspectos al seleccionar y operar un motor eléctrico en una aplicación específica.

Todas estas condiciones y informaciones se adjuntan al motor en una placa de características que muestra todos estos detalles.

Ejemplo de cómo leer o mejor dicho hacer una decodificación de una placa de características de un motor eléctrico.

* Marca del motor: LEROY-SOMER

* Tipo: LS 90 L3

* LS = LETRAS DE SERIE

* Número de serie: 834039

* Grado de protección IP44

* "4" protegido contra objetos sólidos mayores de 1mm.

* "4" protegido contra salpicaduras de agua desde todas las direcciones.

* Potencia útil entregada en el eje del motor 1,8 kW.

* El factor de potencia (0,82) utilizado para calcular la potencia reactiva consumida por el motor.

* Las tensiones de alimentación: 220 V tensión del motor triángulo, Tensión del motor 380 V en estrella.

* Las corrientes de línea 7,5 A corriente del motor en triángulo, 4,3 A corriente del motor en estrella.

* Eficiencia (79 %), que indica la potencia eléctrica absorbida por la máquina.

- * La velocidad nominal de rotación (1410 rpm) del eje del motor, que se utiliza para determinar la velocidad síncrona (1500 rpm) en el caso de una máquina asíncrona.
- * La frecuencia (50 Hz) de las tensiones que se suministrarán a la máquina.
- * El número de fases 3.
- * La temperatura ambiente máxima (40°C).
- * El régimen de funcionamiento S1 (S1=100 %, S2=80 %, S3=60 %, S4=40 %).
- * Clase de aislamiento F ($A = 105^{\circ}\text{C}$, $E = 120^{\circ}\text{C}$, $B = 130^{\circ}\text{C}$, $F = 155^{\circ}\text{C}$, $H = 180^{\circ}\text{C}$) que se define la temperatura máxima de funcionamiento.
- * Peso de la máquina 24 kg.

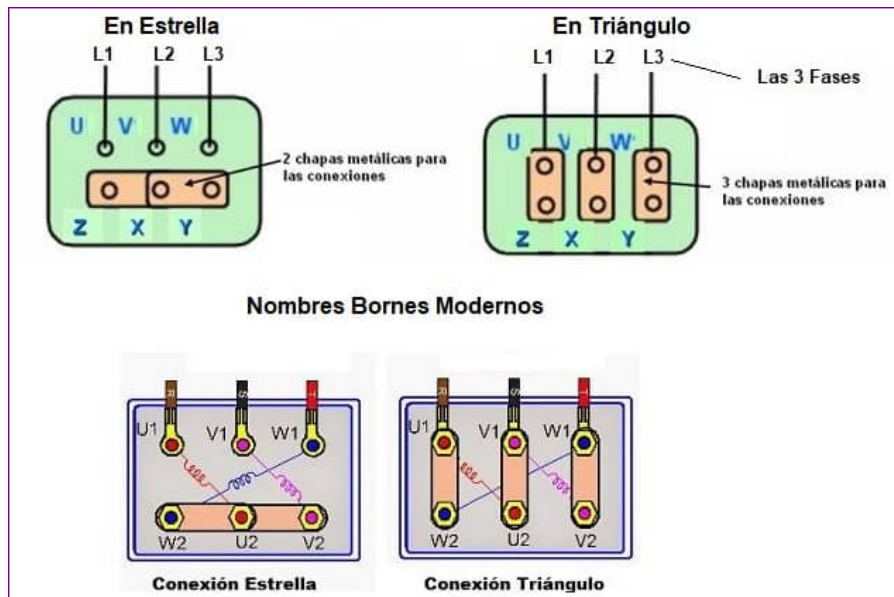


Figura 30: Tipos de acoplamiento

N° polos	50 Hz	60 Hz
2	3000 rpm	3600 rpm
4	1500 rpm	1800 rpm
6	1000 rpm	1200 rpm
8	750 rpm	900 rpm

Tabla 3: Número de polos y velocidad de motores eléctricos

6. Ensayos estáticos recomendados durante el proceso de aceptación de un motor eléctrico

La fase de aceptación de un motor eléctrico es un momento crítico en el proceso de adquisición o instalación, donde se verifica que el equipo cumpla con los requisitos técnicos y de calidad establecidos. Para asegurar un funcionamiento óptimo y una vida útil prolongada del motor, es fundamental realizar una serie de ensayos estáticos durante esta etapa.

Los ensayos estáticos recomendados para la aceptación de un motor eléctrico son pruebas no invasivas que permiten evaluar diferentes aspectos clave del equipo, tales como la resistencia de aislamiento, la continuidad de los devanados, la integridad de las conexiones eléctricas y otras características esenciales para garantizar un desempeño seguro y eficiente. Estas pruebas se llevan a cabo con el motor en estado estático, es decir, sin movimiento mecánico, lo que facilita su ejecución y minimiza riesgos asociados.

En el presente apartado, se abordarán los ensayos estáticos más relevantes para la aceptación de un motor eléctrico, destacando su importancia, los procedimientos recomendados y los resultados esperados. Estos ensayos proporcionan una visión integral del estado del motor y permiten detectar posibles defectos o anomalías antes de su puesta en marcha, evitando así fallos prematuros o daños mayores.

Es esencial que estos ensayos se realicen bajo la supervisión de personal técnico capacitado y con equipos de medición adecuados. Además, es necesario contar con los datos técnicos y especificaciones del fabricante del motor, para establecer criterios claros de aceptación y poder comparar los resultados obtenidos con los valores de referencia.

6.1. Prueba de resistencia óhmica

La prueba de resistencia óhmica de un motor eléctrico es un procedimiento fundamental para evaluar la integridad y calidad de su bobinado. Esta medición de resistencia eléctrica permite detectar posibles defectos como cortocircuitos, bobinados dañados o problemas de aislamiento que podrían afectar el correcto funcionamiento del motor.

El objetivo principal de esta prueba es obtener valores de resistencia coherentes para cada fase del motor. Estos valores permiten verificar si los bobinados están en buen estado y equilibrados, asegurando una distribución uniforme de la corriente eléctrica.

La prueba de resistencia óhmica se lleva a cabo comúnmente antes de poner en funcionamiento el motor, ya sea durante su fabricación, reparación o mantenimiento periódico. Forma parte de las pruebas rutinarias para asegurarse de que el motor se encuentre en buen estado y funcione de manera óptima. Esto nos permite garantizar un rendimiento óptimo del motor y su correcto funcionamiento.

Durante esta prueba, es crucial que los valores obtenidos sean iguales o muy similares entre sí. Si se encuentran diferencias significativas, puede indicar la presencia de posibles anomalías que podrían afectar el rendimiento del motor eléctrico. Algunos de los defectos que podrían existir son:

* Un desequilibrio resistivo muy elevado podría indicar que durante el funcionamiento del motor, el bobinado presentará puntos calientes, lo que podría resultar en un mal funcionamiento.

* Si se detecta un desequilibrio resistivo entre las fases, esto podría indicar la presencia de circuitos abiertos entre los bobinados.

* También podría sugerir que, en un rebobinado anterior, el número de vueltas por bobina no es el mismo, lo que podría causar problemas en el motor en el futuro y ser una causa potencial del desequilibrio resistivo.

Para poder realizar esta prueba, es primordial elegir el equipo necesario que encajara con las condiciones del ensayo. La herramienta más común que utilizan los técnicos es ohmímetro, en este caso hay varias modelos y marcas.

Por ejemplo, elegimos la marca Megger, solamente para entender las características del aparato, de modelo MTO106 Es un dispositivo digital y portátil, creado para medir la resistencia eléctrica de bobinados. Tiene la capacidad de realizar mediciones seguras y precisas en el campo, además de ser muy fácil de usar [9].

Sus características son:

- * Inyección de corriente desde 1mA hasta 6 A en 5 rangos.
- * Tensión de prueba de hasta 48V para la saturación rápida de transformadores.
- * Seguridad mediante circuitos automáticos de descarga pasiva.
- * Auténtica portabilidad, tamaño compacto y ligero.
- * Precisión de medición de $\pm 0.25\%$



Figura 31: Ohmímetro Megger MTO106
[9]

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones son válidas con una tensión de entrada nominal.
Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Entorno

Campo de aplicación El uso previsto del instrumento es en entornos industriales y subestaciones de alta tensión.

Temperatura

Funcionamiento de -20 °C a +50 °C (de -4 °F a +122 °F)
Almacenamiento y transporte de -50 °C a +70 °C (de -58 °F a +158 °F)

Humedad (funcionamiento) 0 % – 90 % HR, sin condensación

Marcado CE

LVD 2014/35/UE

CEM 2014/30/UE

RoHS (Restricción de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos) 2011/65/UE

General

Tensión de red 100 - 240 V CA, 50 / 60 Hz

Potencia de entrada 400 VA (máx.)

Estuche Estuche de plástico resistente con tapa extraíble y asa de transporte, con clasificación IP67 cuando está cerrado

Dimensiones (Anch. x Prof. x Alt.) 360 x 304 x 194 mm (14,2 x 12 x 7,6")

Peso 7,3 kg (16 lbs) sin cables

Pantalla Pantalla alfanumérica monocromática retroiluminada de 4 pulgadas

Cables de prueba 2 x 10 m (33 pies), con conectores banana y abrazaderas Kelvin

Cable de conexión a tierra 1 x 5 m (16 pies), 2,5 mm²

Sección de medición

Rango de medición de 10 μ Ohm a 30 kOhm

Resolución Hasta 4 dígitos

Tensión de prueba de circuito abierto hasta 48 V CC

Tensión de medición hasta 20 V CC

Rango de corriente	Rango de resistencia	Inexactitud	Resolución
6 A	de 10,00 Ω a 5,000 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 1 dígito)	4 dígitos
	de 0,010 m Ω a 9,999 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 2 dígitos)	0,001 m Ω
1 A	de 100,0 m Ω a 30,00 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 1 dígito)	4 dígitos
	de 0,10 m Ω a 99,99 m Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 2 dígitos)	0,01 m Ω
100 mA	de 1,000 Ω a 300,0 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 1 dígito)	4 dígitos
	de 1,0 m Ω a 999,9 m Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 2 dígitos)	0,1 m Ω
10 mA	de 10,00 Ω a 3000 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 1 dígito)	4 dígitos
	de 0,010 Ω a 9,999 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 2 dígitos)	0,001 Ω
1 mA	de 100,0 Ω a 30,00 k Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 1 dígito)	4 dígitos
	de 0,10 Ω a 99,99 Ω	$\pm(0,25$ % lect. + 2 dígitos)	0,01 Ω

Figura 32: Ohmímetro Megger MTO106
[9]

A la hora de realizar las conexiones correspondientes el instrumento empieza a calcular los valores de Fase a Fase donde se da los valores de resistencia óhmica.

Siguiendo la norma IEEE 1415, que aborda el mantenimiento de máquinas de inducción, pruebas y análisis de fallas, se especifica que el desequilibrio resistivo debe situarse dentro del rango del 3% al 5% con respecto a la resistencia óhmica promedio. Cualquier valor que exceda estas tolerancias debe ser motivo para un análisis más exhaustivo [10].

6.2. Prueba de resistencia de aislamiento

La prueba de resistencia de aislamiento de un motor eléctrico representa una etapa crítica en la evaluación de la eficacia y fiabilidad de este componente fundamental. El propósito principal de este procedimiento de prueba es medir la resistencia eléctrica entre los conductores activos y la carcasa del motor, lo que proporciona una información valiosa sobre la condición del material aislante que los separa.

El objetivo principal de esta prueba es verificar si el aislamiento del motor está en buen estado o si presenta defectos como grietas, infiltraciones de humedad o degradaciones debido al desgaste. Los problemas de aislamiento pueden dar lugar a corrientes de fuga, cortocircuitos o incluso riesgos de electrocución, lo que subraya la importancia crucial de esta etapa.

Si los valores de resistencia medidos se encuentran dentro del rango esperado, esto indica que el aislamiento está generalmente en buen estado. Sin embargo, si los valores son inferiores a lo normal, esto podría revelar un riesgo potencial de falla en el aislamiento. Las causas de estas fallas pueden ser [14]

* Fatiga eléctrica: que puede ser causada por sobre tensiones o caídas de tensión durante el funcionamiento del motor.

* Fatiga mecánica: que puede ser causada por el arranque y parada del motor, especialmente cuando estas operaciones son frecuentes, desequilibrio del motor, golpes contra cables, etc.

* Fatiga química: este tipo de fatiga puede ser causado por el uso de aceites, grasas utilizadas en la lubricación de rodamientos que ingresan de alguna manera al estator debido a un sellado deficiente o una lubricación excesiva de los rodamientos, así como por los vapores corrosivos y el entorno ácido en el que el motor puede operar, que afectan el aislamiento del bobinado, así como el polvo.

* La Fatiga debido a cambios de temperatura relacionados con el arranque y parada del motor: la dilatación y contracción de los componentes mecánicos afectan los materiales de aislamiento de los bobinados y, si el aumento de temperatura es excesivo, constituye un factor importante de degradación del aislamiento de los bobinados. El aumento de temperatura es un factor importante en la degradación de los materiales aislantes.

En los gráficos subsiguientes, se presentan de manera visual las causas principales que pueden resultar en fallos en el funcionamiento de motores eléctricos. Además, se destacan las causas más significativas de contaminación externa que impactan en la integridad del aislamiento tanto del motor como del rotor.

La prueba de resistencia de aislamiento se basa en la ley de Ohm, donde se aplica una tensión continua con un valor conocido, menor que la del ensayo dieléctrico, y luego se mide la corriente que circula. Así, es posible determinar fácilmente el valor de la resistencia. Por lo tanto, esta prueba se realiza para detectar la presencia de humedad y contaminantes en el bobinado del motor. Esto nos indica cómo varía la resistencia a tierra del aislamiento a lo largo del tiempo.

Para llevar a cabo esta prueba, se necesita usar un dispositivo llamado megaóhmetro. Este instrumento inyecta una tensión continua y luego mide la corriente que circula. Con estos dos valores, calcular el valor de la resistencia es sencillo. Los resultados obtenidos pueden expresarse en $k\Omega$, $M\Omega$, $G\Omega$ y $T\Omega$. Este valor representa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores y puede indicarnos los riesgos debido a la presencia de corrientes de fuga.

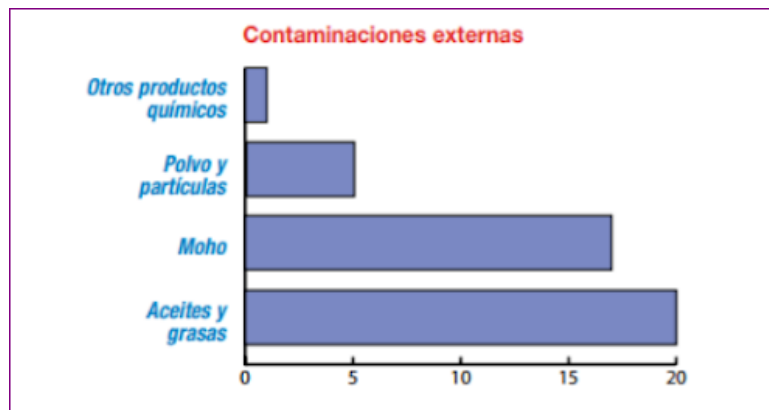


Figura 33: Origen de contaminación externa [14]

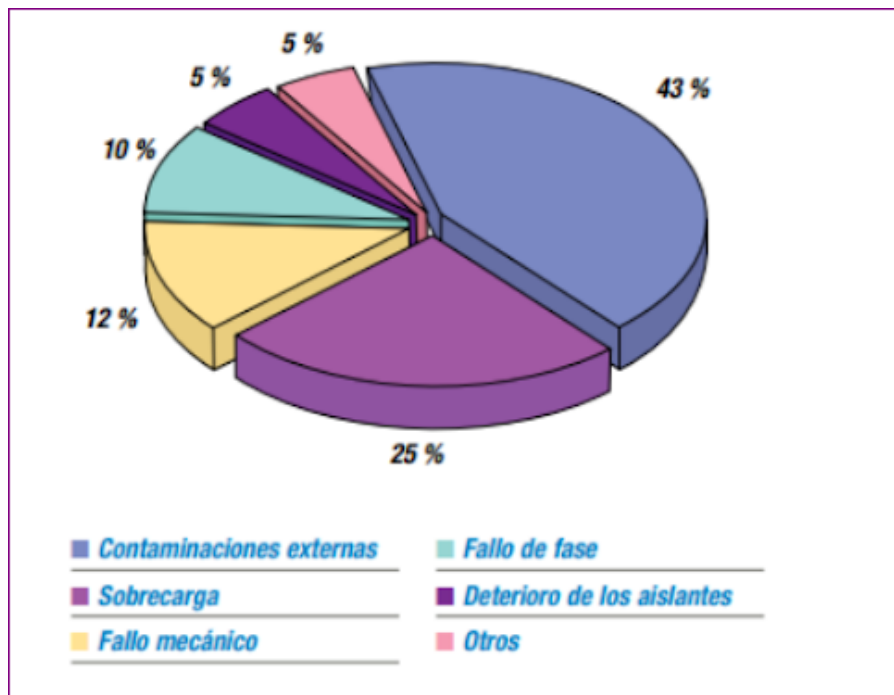


Figura 34: Causas principales de fallo de motores eléctricos [14]

Esta prueba se realiza puntualmente durante un corto período de tiempo, ya sea durante 30 segundos o 1 minuto. el dispositivo recomendado para hacer este tipo de ensayos es Megóhmetro 6555 AEMC como se ve en la figura 35

El megóhmetro modelo 6555 es un instrumento de medición portátil de alta gama diseñado para la evaluación de una amplia gama de valores de resistencia de aislamiento eléctrico en cables y dispositivos que operan a tensiones elevadas. Se trata del único probador de aislamiento gráfico de 15,000 V completamente automatizado. El True Megóhmetro® modelo 6555 se presenta en un resistente estuche que alcanza la clasificación IP65 cuando está cerrado. Los resultados de las pruebas y los datos de configuración se visualizan en una pantalla LCD gráfica y se pueden exportar a través de DataView® (incluido). Este megóhmetro puede funcionar con batería o conectado a la red eléctrica.

El modelo 6555 también ofrece la capacidad de programar hasta tres perfiles de voltaje (desde 40 hasta 15,000 V), cada uno con hasta diez niveles. Además, incluye tres perfiles de rampa y tres tensiones de prueba programables, además de las tensiones fijas estándar de 500, 1,000, 2,500, 5,000, 10,000 y 15,000 V.[13].



Figura 35: Megóhmetro 6555 AEMC
[13]

A la hora de realizar las conexiones correspondientes el instrumento, se debe que seguir la norma para aplicar la tensión de prueba exacta en función de tensión nominal del motor que desea probarlo estos valores que ve en la tabla son de acuerdo con la norma IEEE 43-2000.

Tensión nominal*(V)	Prueba de resistencia del aislamiento tensión directa (V)
<1000	500
1000-2500	500 - 1000
2501-5000	1000 - 2500
5001-12000	2500- 5000
>12000	5000 -10000

Tabla 4: Voltajes de pruebas de resistencia de aislamiento
[14]

Nota*: el voltaje nominal de línea-línea para maquinas trifásicas de AC, tensión de línea-tierra para maquinas monofásicas y voltaje nominal DC para máquinas de corriente continua o devanados de campo.

Una vez teniendo los valores hay que tener en cuenta muchos factores que pueden influir durante la prueba y afectan a la credibilidad de la prueba como la temperatura y la humedad puede haber un impacto significativos sobre los resultados y la interpretación del ensayo.

Por ejemplo, a las temperaturas más altas, los materiales aislantes pueden tener una conductividad ligeramente superior, lo que puede influir en las mediciones de resistencia de aislamiento.

Por otro lado, la humedad puede favorecer la conducción eléctrica a través de los materiales aislantes, lo que puede reducir artificialmente la resistencia de aislamiento medida. Esto puede dar la impresión de un mal estado del aislamiento, aunque el motor esté realmente en buenas condiciones.

Por eso, es muy necesario hacer una medida de temperatura antes de empezar a probar para que después puede aplicar el factor de corrección y se recomienda que la corrección se aplica a base de 40°C de temperatura, aunque el valor corregido es una aproximación pero permite una comparación más significativa de los valores

de resistencia de aislamiento obtenidos a diferentes temperaturas.

La corrección puede realizarse mediante la ecuación (1)

$$R_{40^{\circ}C} = K_t \times R_t \quad (1)$$

$R_{40^{\circ}C}$: es la resistencia de aislamiento (en mega-ohmios) corregida a 40 °C.

K_t : es el coeficiente de temperatura de resistencia del aislamiento a la temperatura T °C.

R_t : es la resistencia de aislamiento medida (en mega-ohmios) a la temperatura T °C.

Se debe que aplicar este ecuación (1) para poder realizar la corrección del factor de temperatura a 40 °C en función a la temperatura con el valor obtenido en la resistencia de aislamiento R_t y a la ayuda de este valor seleccionar el factor de corrección K_t y posteriormente multiplicar ambos valores.

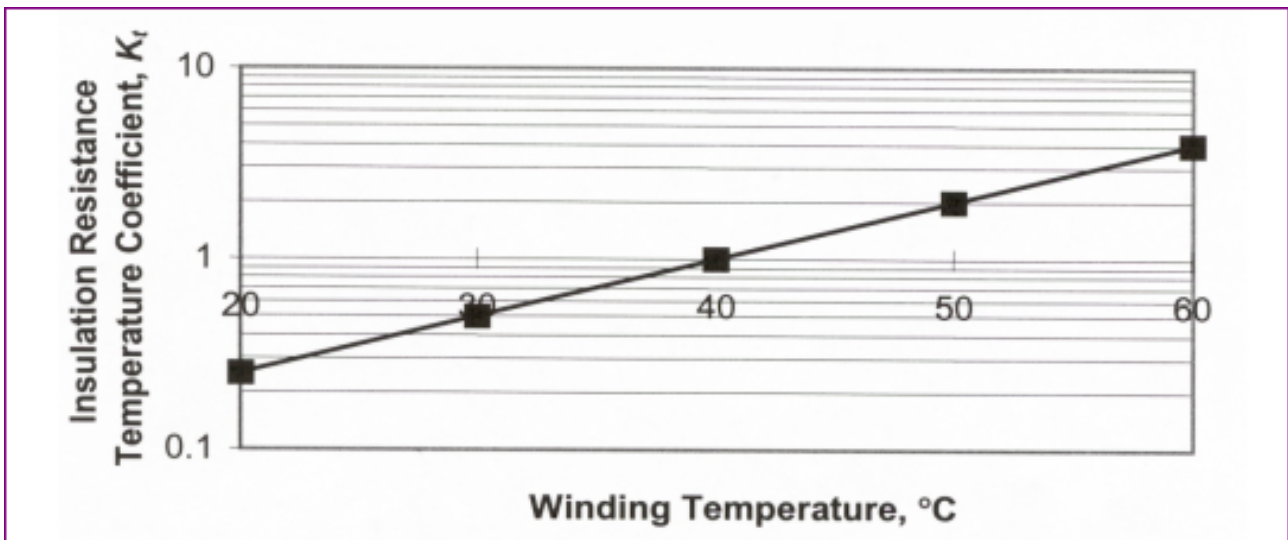


Figura 36: Gráfico de coeficiente K en función de la temperatura [14]

Una vez que se ha obtenido el valor de la resistencia a 40 °C, esta medida se utiliza para evaluar el estado del motor eléctrico. En este contexto, es importante seguir una recomendación específica que proporciona una serie de valores para determinar el estado del aislamiento del motor.

Esta tabla se muestra los valores recomendados

Valor mínimo de resistencia de aislamiento	Tipo de Motor
$IR_{1min} = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos.
$IR_{1min} = 100$	Para la mayoría de las armaduras DC y bobinados AC fabricados después de 1970 (pletina)
$IR_{1min} = 5$	Para la mayoría de las maquinas con estatores bobinados de alambre redondo y en pletina con tensiones menores 1 kV

Tabla 5: Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40 °C(todos en MΩ) [14]

IR_{1min} : es la resistencia de aislamiento mínima recomendada, en mega-ohmios, a 40 °C de todo el bobinado del motor.

kV : es la tensión nominal entre bornes del motor , en kV.

6.3. Prueba de índice de polarización (IP)

El Índice de Polarización (IP) representa un indicador significativo del estado del aislamiento eléctrico y constituye una prueba adicional de la resistencia de aislamiento. De acuerdo con la norma IEEE 43-2013, esta prueba se lleva a cabo en un período que oscila entre 1 y 10 minutos, empleando el mismo nivel de voltaje que se utiliza en la prueba de resistencia de aislamiento previamente mencionada.

El índice de Polarización IP se define como la relación entre el valor de resistencia de aislamiento obtenido a los 10 minutos y el valor de resistencia de aislamiento a 1 minuto. Esta relación proporciona una visión más completa de la calidad del aislamiento y resulta fundamental para la toma de decisiones informadas sobre el mantenimiento y la seguridad de los equipos eléctricos. Cabe destacar que, en esta prueba, no es necesario aplicar correcciones relacionadas con la temperatura, dado que esta no influye en el cálculo del índice de polarización.

El valor se define mediante esta ecuación:

$$IP = \frac{IR_{10min}}{IR_{1min}} \quad (2)$$

De acuerdo con la norma IEEE 43, se recomienda tener en cuenta los valores IP a la hora de evaluar el estado del aislamiento que se muestran en la siguiente tabla.

Valores de índice de Polarización (IP)	La condición de aislamiento
IP <1.0	Peligroso
1.0 <IP <2.0	Cuestionable
2.0 <IP <4.0	Bueno
IP >4.0	Excelente

Tabla 6: Valores de índice de polarización y estado de aislamiento [15]

La interpretación de los resultados de la prueba de IP puede ayudar a identificar problemas potenciales en el aislamiento de equipo eléctrico. Si la relación (IP) es alta, significa que el aislamiento es sólido y que la resistencia aumenta constantemente con el tiempo.

Por otro lado, si la relación IP es baja, podría indicar que el aislamiento presenta fugas eléctricas o debilitamiento a lo largo del tiempo.

Los valores mínimos recomendados de (IP) para máquinas rotativas de (AC) y (DC). figuran en la tabla más abajo.

La tabla está basada en la clase térmica de los materiales aislantes y, con excepción de los devanados de campo no aislados, se aplica a todos los materiales aislantes independientemente de su aplicación.

La norma IEEE 43, establece valores recomendados de (IP) Para motores según su clase de aislamiento.

Clasificación de clase térmica	Índice de polarización mínimo
Clase A	1.5
Clase B	2.0
Clase F	2.0
Clase H	2.0

Tabla 7: Valores recomendados de índice de polarización (IP) [15]

Si la resistencia de aislamiento a 1 min es superior a 5000 MΩ, el (IP) calculado puede no ser significativa. En este caso el (IP) puede ignorarse como medida entonces no puede tenerla como referencia de evaluación o prueba

De acuerdo con estos de valores (IP) puede establecer el estado de aislamiento en el cual se encuentra el motor se muestran en la tabla 8.

Índice de Polarización	Estado del aislante
$IP < 1.0$	Aislamiento muy débil con corrientes de fuga elevadas por hidratación profunda o fuerte contaminación superficial.
$1.0 < IP < 2.0$	Aislamiento húmedo o contaminado
$2.0 < IP < 4.0$	Aislamiento seco y limpio
$IP > 4.0$	Aislamiento con buena sequedad y sin contaminación.

Tabla 8: Estado del aislante según el índice de polarización [15]

En los gráficos representado en la figura (37), se presentan diversos estados de aislamiento y sus respectivos rangos de resistencia. Por ejemplo, la primera curva muestra un incremento relativamente constante en la resistencia, lo que sugiere un aislamiento húmedo y contaminado. La segunda curva exhibe un aumento continuo, lo cual indica un aislamiento en buen estado.

No obstante, la última curva presenta una pendiente muy baja, lo que refleja un aislamiento de excelente calidad o un aislamiento completamente nuevo.

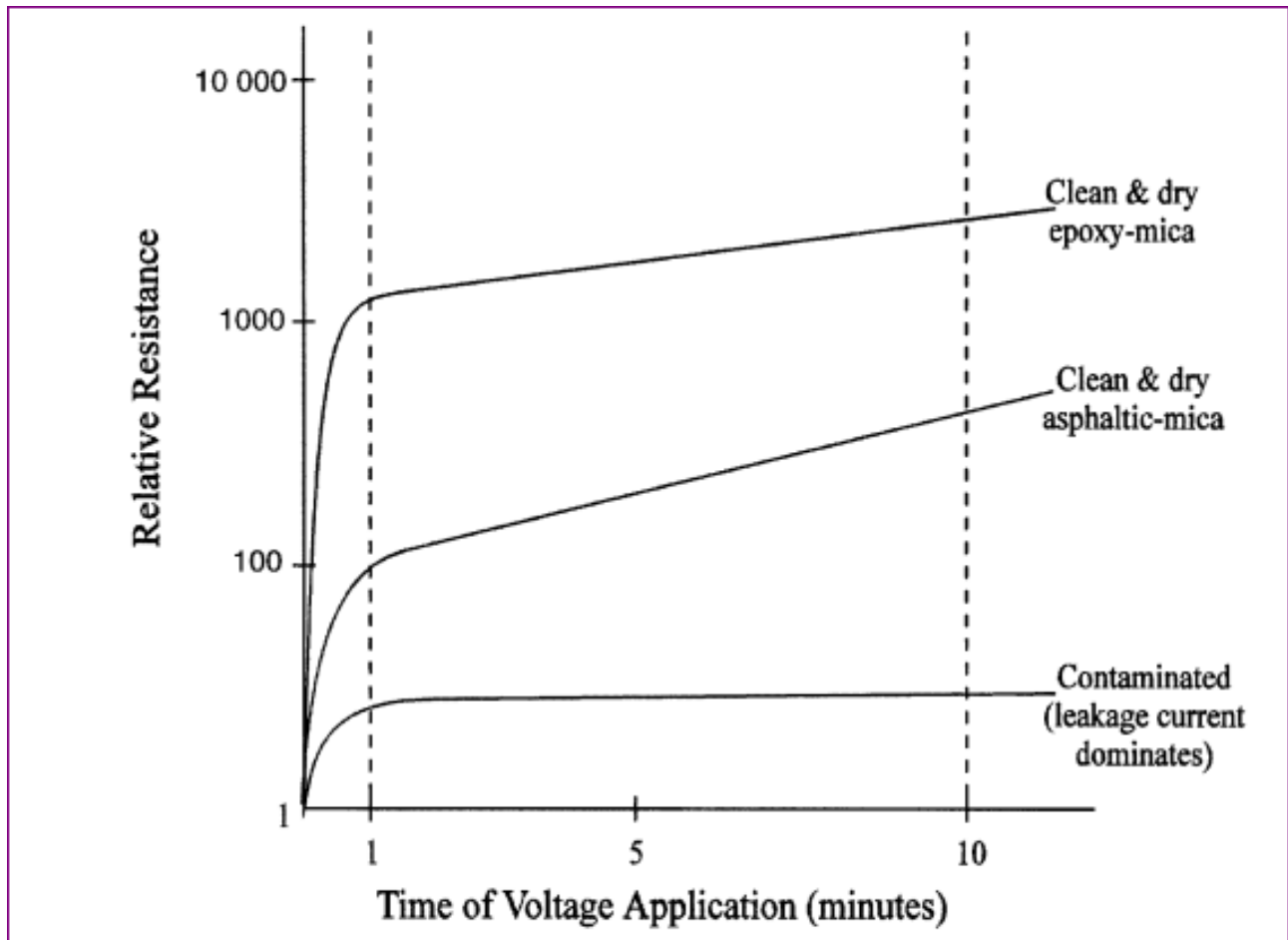


Figura 37: Medidas típicas de resistencia de aislamiento [14]

6.4. Prueba de índice de absorción (IA)

La Prueba de Índice de Absorción (IA) representa una técnica aplicada en el ámbito de la ingeniería eléctrica para evaluar la calidad del aislamiento en motores eléctricos. Esta prueba se enfoca en la capacidad del material aislante para resistir la absorción de humedad y otros contaminantes que puedan perjudicar su desempeño, incrementando el riesgo de fallos en motores eléctricos que operan en ambientes húmedos o con elevada humedad relativa.

Durante esta prueba, se aplica una tensión continua (generalmente de 500 V) al aislamiento durante un tiempo específico, y se registra la corriente que fluye a través del aislante durante la aplicación de la tensión. Esta corriente refleja la cantidad de humedad que el material aislante está absorbiendo.

El Índice de Absorción (IA) se calcula dividiendo la corriente medida después de un tiempo específico entre la corriente inicial. El resultado obtenido constituye un indicador de la velocidad con la que el material aislante ha absorbido la humedad.

El valor se define mediante esta ecuación:

$$IA = \frac{IR_{1min}}{IR_{30seg}} \quad (3)$$

De acuerdo con la norma IEEE 43, se recomienda tener en cuenta los valores (IA) a la hora de evaluar el estado del aislamiento que se muestran en la siguiente tabla.

Valor de índice de Absorción	Condición de Aislamiento
$0 < IA < 1$	Peligroso
$1 < IA < 1.3$	Deficiente
$1.3 < IA < 1.6$	Bueno
$IA > 1.6$	Excelente

Tabla 9: Valores de índice de absorción y condición de aislamiento [15]

6.5. Prueba De HIPOT

La prueba de Hipot, también conocida como prueba de rigidez dieléctrica, aplicada a motores eléctricos tiene como finalidad evaluar la capacidad de aislamiento del motor y su resistencia ante tensiones eléctricas elevadas, asegurando que no se produzcan fallos en el aislamiento. Este procedimiento es de vital importancia para garantizar un funcionamiento seguro y confiable del motor en situaciones normales y excepcionales.

El propósito principal de la prueba de Hipot en motores eléctricos es verificar la integridad del aislamiento entre diversas partes del motor, como bobinas, devanados y la carcasa, y garantizar que no existan corrientes de fuga significativas que puedan resultar en fallos o riesgos eléctricos. Además, esta prueba contribuye a detectar posibles defectos de fabricación, daños en el aislamiento debido a condiciones ambientales adversas o desgaste a lo largo del tiempo, factores que podrían comprometer la seguridad y el rendimiento del motor.

Es crucial destacar que durante la prueba de Hipot, las piezas que se evalúan deben estar limpias y secas para obtener mediciones confiables sobre el estado del aislamiento. La prueba implica la aplicación de una tensión eléctrica significativamente superior a la tensión nominal del motor, manteniéndola durante un período de tiempo específico, que varía según las especificaciones y el tipo de motor, normalmente oscilando entre unos segundos y varios minutos.

Por lo tanto, al realizar esta prueba en motores nuevos o durante intervenciones de mantenimiento, se debe seleccionar la tensión exacta. Por lo general, se utiliza una tensión alterna que oscila entre el 125 % y el 150 % de la tensión eficaz nominal de línea a línea (E), lo que equivale aproximadamente al 65 % y el 75 % de $2E + 1000$ V, dependiendo de la tensión nominal del equipo sometido a la prueba.

La aplicación de la tensión de prueba debe ser gradual, evitando superar la corriente máxima de la unidad de prueba y evitar el disparo innecesario de los relés de sobre tensión o sobre corriente del equipo de prueba, que podrían introducir sobre tensiones no deseadas. La duración de las pruebas de aceptación o de mantenimiento suele ser de 1 minuto. La temporización de comienza cuando se alcanza la tensión de prueba deseada.

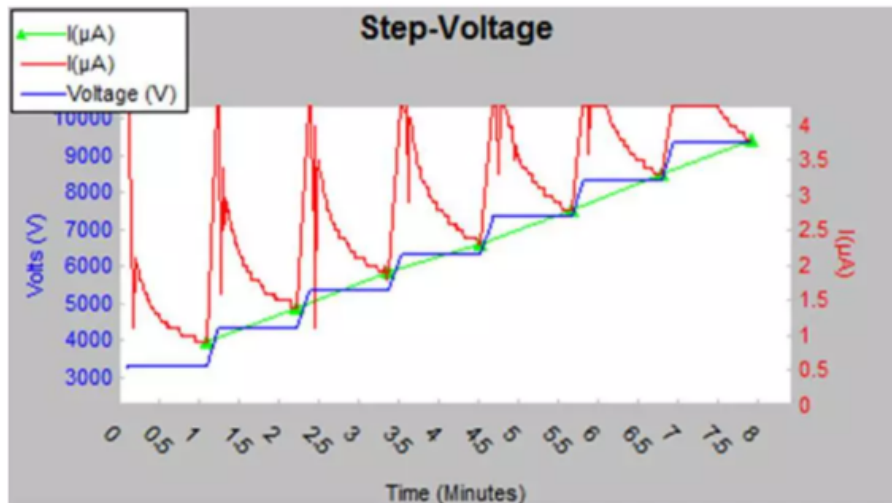


Figura 38: Ejemplo de aislamiento en perfecto estado [19]

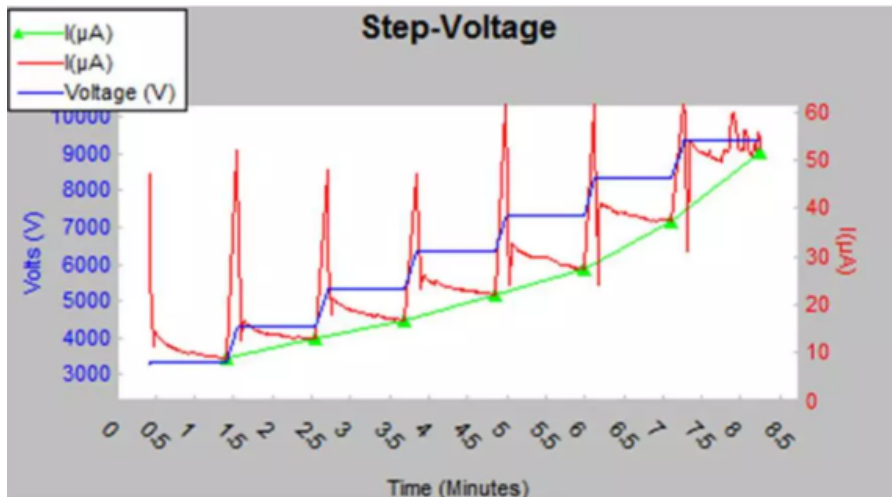


Figura 39: Ejemplo de aislamiento en mal estado [19]

La figura (39) se muestra un ejemplo de estado de aislamiento, lo que vimos en la gráfica que si el corriente de la fuga es decir la recta verde no está alineada resulta que el motor tiene un mal aislamiento.

La figura (38) se muestra un ejemplo de estado de aislamiento, lo que vimos en la gráfica que si el corriente de la fuga es decir la recta verde esta alineada resulta que el motor tiene un aislamiento perfecto.

Si durante la prueba vimos que en algunos puntos hay un disparo es decir que estamos en la zona de arco lo que significa estamos en los puntos débiles de aislamiento, por lo tanto, hay que tomar decisiones inmediatas antes de producir el fallo.

En esta prueba, se aplica tensión a una de las fases y se registra la corriente que fluye a través de ella. Las otras fases se conectan en paralelo y se ponen a tierra. Además, para evaluar la influencia del devanado en las otras dos fases, es posible colocar un amperímetro en serie entre la conexión a tierra y las fases.

Según la norma IEEE95, existen métodos específicos para incrementar la tensión de prueba, siendo las tres vías más habituales para llevar a cabo dicho proceso

Rampa de Tensión

El procedimiento de prueba implica aplicar un aumento lento y continuo de la tensión aplicada, típicamente de alrededor de 1 kV por minuto. Como resultado, es menos propenso a causar daños imprevisibles en el aislamiento en comparación con otros tipos de pruebas.

Esto proporciona un mejor control y una advertencia más efectiva en caso de fallo inminente para evitar daños en el aislamiento. La eliminación de la variable humana en los parámetros de tiempo, voltaje y corriente conduce a resultados generales mucho más precisos y repetibles.

También hay que tener en cuenta cualquier variación en la velocidad de aumento de la tensión aplicada creará un cambio no lineal en la corriente y, por lo tanto, reducirá la precisión de los resultados de la prueba, por lo que es esencial un suministro de alta tensión estable y bien regulado.

Escalones de tensión uniformes

El procedimiento de prueba consiste en aplicar una tensión en una serie de pasos uniformes a intervalos de tiempo regulares. Al final de cada intervalo se mide la corriente. El primer paso dura 10 minutos y sirve para medir el índice de polarización y determinar si el bobinado es apto para la prueba HiPot.

Los pasos siguientes no deben superar el 3% del nivel de tensión final y deben mantenerse durante un minuto antes de pasar al siguiente paso. Los ajustes de tensión para cada paso deben realizarse en los primeros 10 segundos. Para las máquinas más antiguas, se sugiere un intervalo de 3 minutos debido a la lenta respuesta de la corriente de absorción.

Curva de Tensión

El procedimiento de prueba con pasos de tiempo graduales, se puede resumirse de la siguiente manera. Se aplica un primer paso de tensión, que es el 30 % o menos de la tensión de prueba máxima, y se mantiene constante durante 10 minutos. Se registran mediciones de corriente a los 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 y 2,0 minutos, y luego cada minuto hasta completar los 10 minutos.

Los valores medidos se representan de inmediato en una escala logarítmica-logarítmica. Se ajusta una curva suave a las mediciones después de los 8 minutos de lectura.

Esta curva se extrapola hasta los 10 minutos. Se leen tres puntos de la curva suave para determinar el componente de conducción de la corriente medida. La corriente de conducción se resta de las lecturas de corriente a 1 y 10 minutos para obtener la corriente de absorción.

Las corrientes medidas y calculadas se utilizan luego para determinar la relación de absorción. Una vez que se determina la relación de absorción, se puede seleccionar el programa de tiempo a utilizar para el resto de la prueba. La prueba continúa a través de los pasos sucesivos de tensión hasta alcanzar el nivel máximo de tensión deseado o hasta que la corriente registrada se desvíe de manera no lineal y se sospeche una posible falla inminente.

La prueba HIPOT es una prueba necesaria y no destructiva debido a la importancia de su interpretación. Como resultado, la prueba HIPOT no produce ninguna degradación en un motor bien aislado, es decir, si la prueba revela un fallo, significa que el motor tiene puntos débiles o un aislamiento deficiente.

6.6. Prueba de impulso o surge test

Según General Electric Paper y EASA el 80 % o la mayoría de las fallas de aislamiento del bobinado del motor empiezan como fallas entre espiras, Por lo tanto, la prueba de surge test cuenta como la prueba mas importante durante una inspección sobre un motor y también considera como la prueba única para detectar fallas entre espiras [19].

La prueba de impulso según la norma IEEE 522 es para determinar la rigidez dieléctrica entre espiras en el bobinado. Esta prueba se utiliza para determinar la rigidez dieléctrica entre espiras en el bobinado. Esta prueba puede utilizarse para detectar varios tipos de fallos, como fallos entre espiras de la misma bobina, fallos entre bobinas y fallos entre fases.

A través la prueba de impulso, ya sabemos que la bobina es conductor rollado sobre un eje lo significa que va a tener un R, L, C, se conoce como un circuito resonante amortiguado, a la alimentación de la bobina se produce una onda sinusoidal, por lo principio va a tener ciertos valores y con la resistencia se disipa hasta llega a cero [19].

La frecuencia de esta señal viene definida para ecuación (4) y depende de la inductancia y la capacitación y como estos valores no varían es decir que la frecuencia va a ser la misma pero lo que va a variar es la amplitud

de la frecuencia a causa de aumentar el voltaje y este aumento variar según las especificaciones del motor y los estándares aplicables.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{LC}} \quad (4)$$

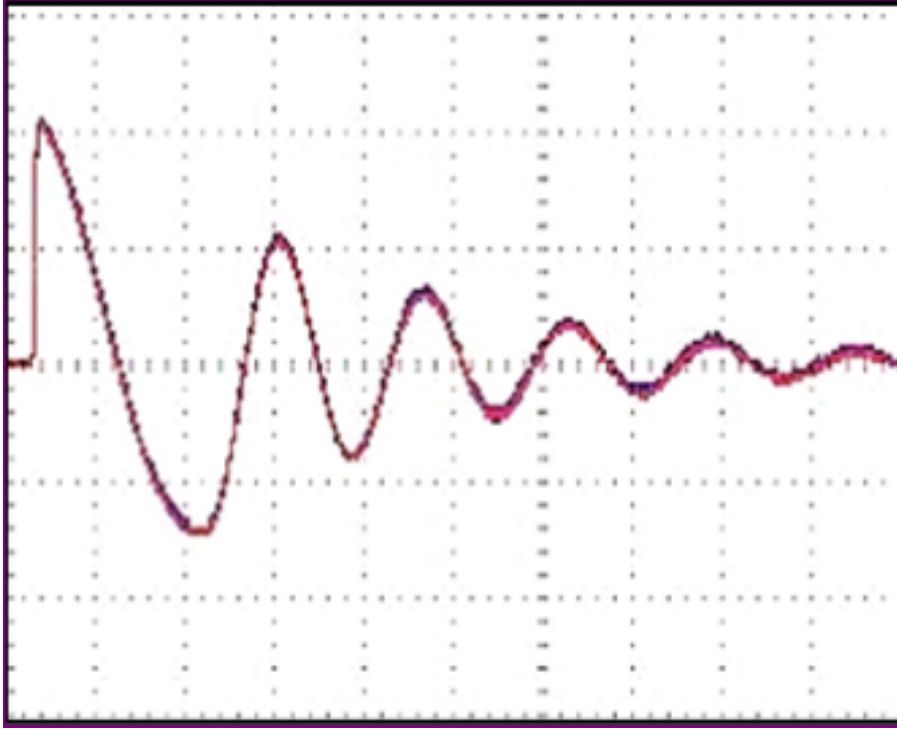


Figura 40: Forma de señal de buen bobinado [20]

Mas adelante, si observemos que la onda o el señal se modifica o destorcía y desde la ecuación (4) indica que cualquier cambio en uno de los valores de (L) o (C) la ecuación (4) habrá un modificación en la frecuencia de la onda, par consecuencia, lo que varía es la inductancia por efecto de un arco eléctrico entre espiras y como la amplitud es proporcional con la (L) de la bobina y se define por la ecuación (5) en el que la corriente varía con el tiempo, cuando hay un cortocircuito entre las espiras, se habrán menos espiras, lo que provoca un cambio en la inductancia de la bobina e un aumento de la frecuencia como se vea en la figura (41).

$$V = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (5)$$

La técnica de prueba de impulso consiste a aplicar impulsos controlados de tensión al motor y medir su respuesta a estas tensiones transitorias, son impulsos de tensión controlados y definidos y también simulan como los picos de tensión que podrían ocurrir en la red eléctrica.

Para realizar esta prueba, hay un instrumento especializado para ella, la prueba consiste a cargar un condensador que está instalado dentro del instrumento de prueba el cual posteriormente se descargara sobre una fase del motor para esto las otras dos fases deben de estar conectadas a tierra, posteriormente el instrumento de prueba incrementara la tensión de 0V a la tensión final de prueba que seleccionada.

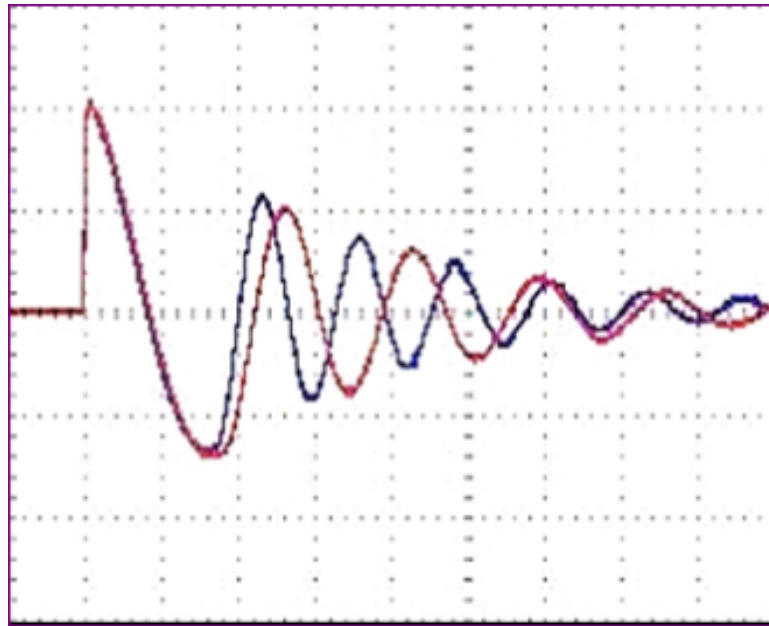


Figura 41: Forma de señal de cortocircuito en espiras [20]

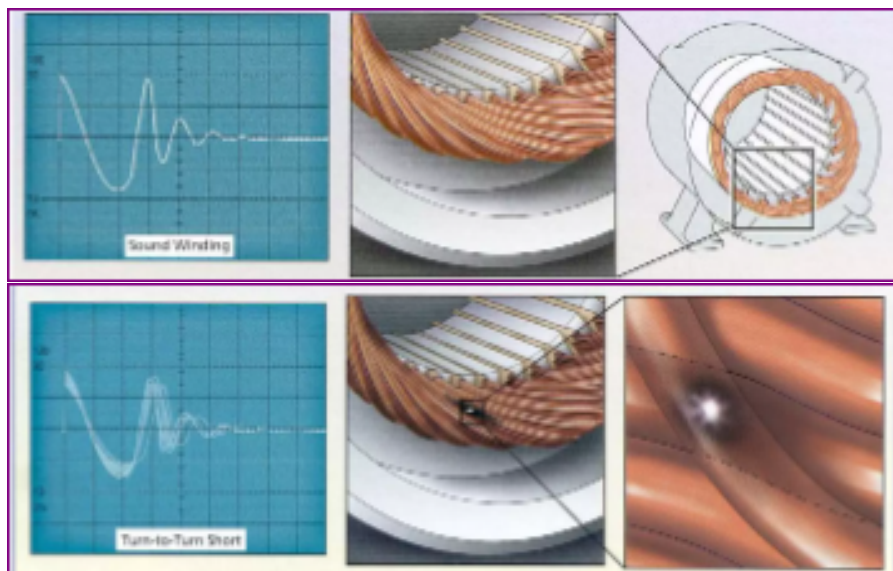


Figura 42: Bobinado perfecto vs Bobinado dañado [19]

La figura (42) muestra la diferencia entre el bobinado en perfecto estado comparando con el bobinado en mal estado debido a la forma de la onda.

7. Equipo y motores analizados

En esto apartados nos enfocamos en el análisis de los motores, describiendo cada motor para conocer sus características. Por lo cual sirven en los ensayos posteriormente y de saber en qué estado de aislamiento se encuentra cada motor y compararlo con otros motores.

También se da conocer el equipo que sirve para efectuar los ensayos, en cuanto a sus características y su modo de uso, el software utilizado para recopilar y reportar los datos obtenidos.

7.1. Equipo y software utilizado

7.1.1. Equipo

El equipo MEGGER MIT1025 es un avanzado instrumento de prueba y medición utilizado en el ámbito de la ingeniería eléctrica y la seguridad en instalaciones eléctricas. Este equipo es un Megger, que es una herramienta esencial para evaluar el aislamiento de cables, motores, transformadores y otros componentes eléctricos. la gran ventaja que tiene que es un instrumento portátil y fácil para trabajar con el, no tiene ninguna complejidad.

El Megger MIT1025 permite una lectura directa de la resistencia de aislamiento en ohmios cuando se encuentra en mal estado y en mega ohmios cuando el aislamiento está en buen estado. Esta característica es útil porque facilita la identificación de problemas en el aislamiento eléctrico: valores bajos en ohmios indican un aislamiento deficiente, mientras que valores altos en mega ohmios señalan que el aislamiento se encuentra en buen estado. De esta manera, el Megger MIT1025 proporciona una lectura clara y directa que ayuda a evaluar la condición del aislamiento eléctrico de manera eficiente y precisa.

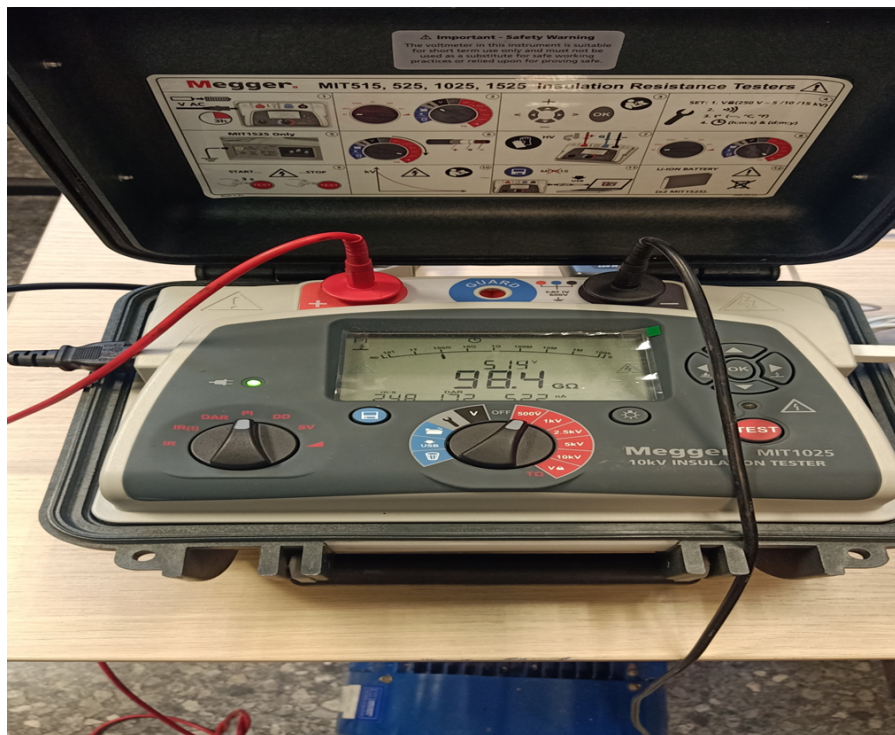


Figura 43: Megger MIT1025

La simplicidad de manipularlo se encuentra con los 3 botones que lleva, el Botón central asegura de encender y de apagar el aparato y también mantiene la selección de rango de voltaje, mientras el botón izquierdo lleva a cabo la selección el tipo de prueba a ejecutarla y por último el botón TEST efectúa la inicio y detiene de la prueba.

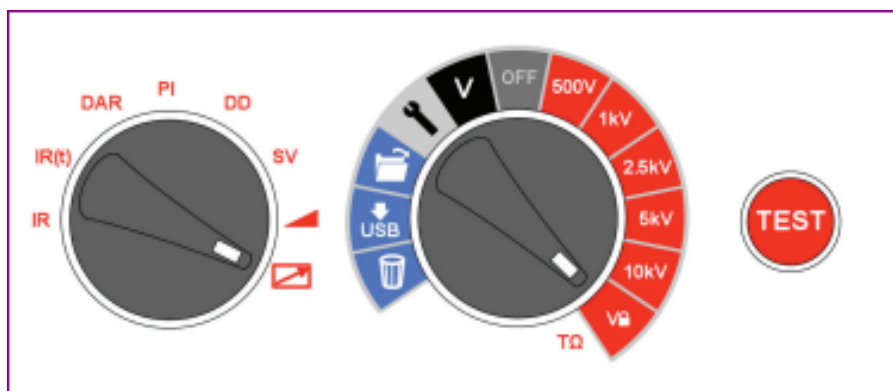


Figura 44: Megger MIT1025

7.1.2. Especificaciones técnicas del equipo

Rango de voltaje de entrada	85 a 265 V rms, 50/60 Hz, 100 VA
Vida de batería	Capacidad típica es de 4.5 horas continuas @ 10 kV con una carga de 100 M <i>omega</i>
Voltajes de prueba	500 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V, 10000 V
Voltaje de prueba definido por el usuario	5 kV a 10 kV en pasos de 25 V
Precisión (23 °C)	±5 % a 2 T <i>omega</i> , ±20 % a 20 T <i>omega</i>
Rango del voltímetro	30 V a 660 V CA o CC, 50/60 Hz
Precisión del voltímetro	±3 %, ±3 V
Rango del temporizador	Hasta 99 minutos, configuración mínima de 15 segundos
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 50 °C
Temperatura almacenamiento	-25 °C a 65 °C
Humedad	90 % de humedad relativa sin condensación a 40 °C
Protección de entrada	IP65 (con tapa cerrada), IP40 (con tapa abierta)
Seguridad	Cumple con los requerimientos de IEC 61010-1, CATIV 600 V a 3000 m. Hacer funcionar el aparato con todos los cables de prueba conectados por encima de 2.000 m
EMC Compatibilidad electromagnética	Cumple con los requerimientos de IEC61326-1 (Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements)
Dimensiones	315 mm de largo x 285 mm de ancho x 181 mm de alto
Peso	4.5 kg

Tabla 10: Especificaciones Técnicas

7.1.3. Software utilizado

PowerDB es un software de Megger diseñado para la gestión de datos y pruebas de equipos eléctricos y de protección. Este software se utiliza comúnmente en la industria eléctrica y de energía para realizar pruebas, mantener registros y gestionar la información relacionada con equipos de alta tensión y sistemas de protección.

PowerDB permite a los usuarios almacenar y gestionar datos relacionados con equipos eléctricos, facilita la planificación y la ejecución de pruebas en equipos eléctricos. Esto incluye pruebas de resistencia aislamiento, índice de polarización, etc...

También permite la generación de informes detallados sobre las pruebas realizadas. Los informes se pueden personalizar para incluir gráficos, tablas y datos específicos.



Figura 45: Power DB Megger

La conexión del Software y el equipo se hace mediante un cable USB, después que la conexión con el equipo sea satisfecha, un vez todo ha sido, se sale varios interfaces de conexión que permite de ejecutar varios pruebas. En nuestro caso elegimos el interfaz PI TEST -60000, mostrado en la figura 46.

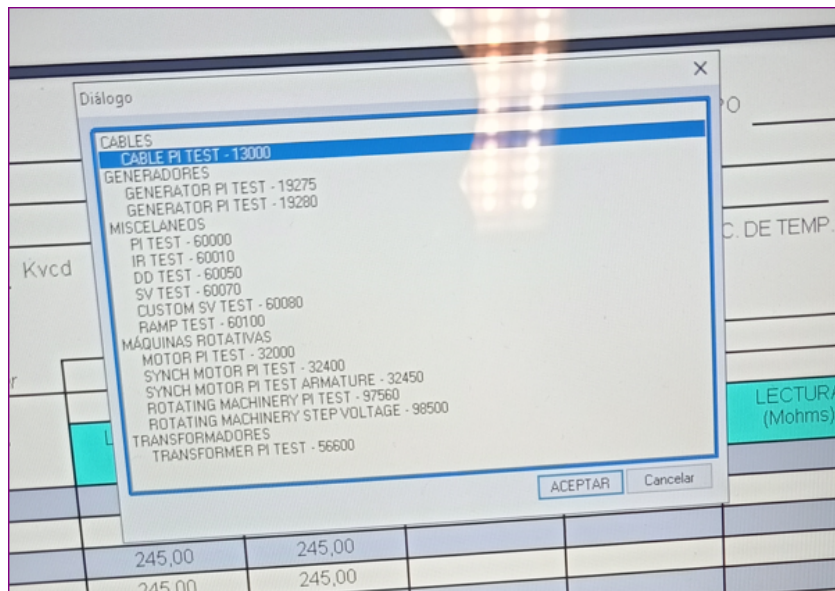


Figura 46: Ventana de Power DB

Posteriormente, se cargará el informe correspondiente de la prueba seleccionada, al mover más abajo donde se aparece una tabla, en la cabeza de la columna en tabla LECTURA MEGAOMHIOS hacemos un clic con el botón derecho, se abrirá una ventana para ejecutar donde se parece las funciones que debe manipularlas.

Click on blue label fields to edit

MINUTES	SWITCHGEAR								
	A			B			C		
	READING (megohms)	FILTER SETTING	CORR. VALUE (megohms)	READING (megohms)	FILTER SETTING	CORR. VALUE (megohms)	READING (megohms)	FILTER SETTING	CORR. VALUE (megohms)
0,25									
0,50									
0,75									
1,00									
2,00									
3,00									
4,00									
5,00									
6,00									
7,00									
8,00									
9,00									
10,00									
P. I.									
D. A. R.									

Figura 47: Ventana de Power DB

A continuación, se detallan las funciones

Start New Live Stream: Con esta opción, puede capturar los datos mientras ocurren en tiempo real. Durante una prueba, se registran los resultados cada segundo y se muestran gráficamente en tiempo real. Esto es útil para ver cómo cambian las cosas con el tiempo, como la resistencia o la corriente.

Save Selected To Form: Con esta opción, puede guardar los datos en una carpeta en el escritorio del ordenador.

Copy Results to Clipboard: Esta función crea una copia de todos los datos en un formato que se puede pegar en Excel y otros programas de software que uses regularmente.

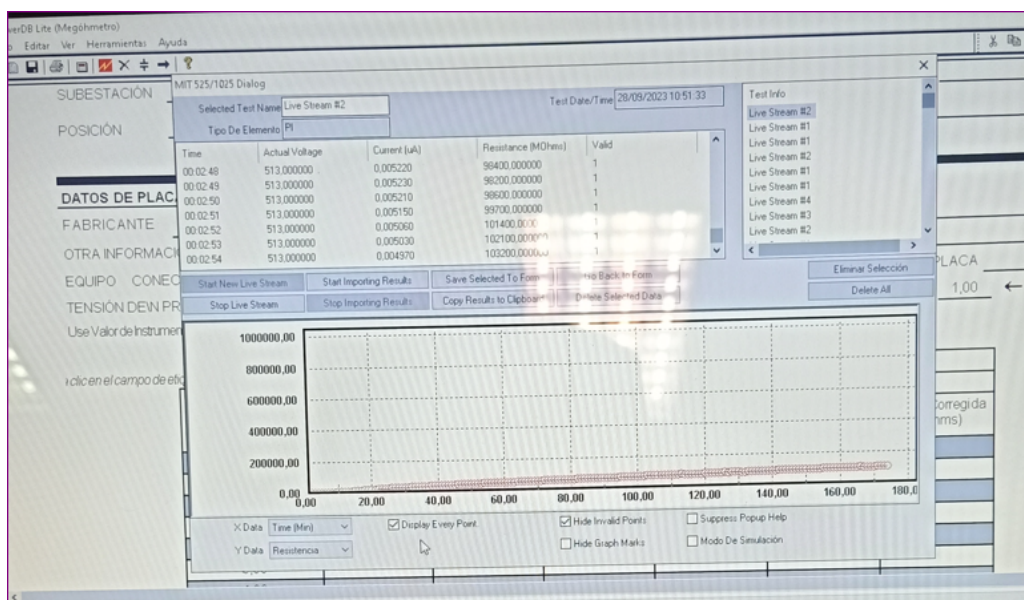


Figura 48: Ventana de Power DB

7.1.4. Motores ensayados

La realización de los ensayos se hace mediante un grupo de motores de diferentes estados de vida, es decir que los ensayos se efectúan sobre motores nuevos, motores con un cierto tiempo de funcionamiento o están almacenando

durante un cierto tiempo y motor que están de baja o están fuera de servicio por ciertas causas.

Mas adelante, listamos los motores para que sirven y facilitan la ejecutar los ensayos deseados, es decir, realizar un informe o ficha técnica de cada motor para saber las características, como tipo de conexionado y clase de aislamiento etc..., para que la realización de la prueba sea correcta y las interpretaciones de los resultados.

Motores nuevos

Son 2 motores siendo nuevos del fabricante WEG, de Tamaño pequeño, por lo cual han sido no operativos, por lo tanto, no es necesario que un motor nuevo significa que tenga un buen aislamiento o estaría en buen condiciones, por eso es primordial previamente de poner un motor nuevo en marcha, hacer las pruebas necesarios de aislamiento.

El primer motor es un motor trifásico de baja tensión, de tamaño 112 y de 2 polos y de potencia 3KW, se detalla las características en la figura 49

Placa de características del motor WEG 3-AL112M-02. La placa muestra especificaciones técnicas y un cuadro de datos de rendimiento.

V	Hz	kW	min ⁻¹	A	cos φ
220	50	3.0	2880	10.2	0.89
380	50	3.0	2880	5.88	0.89
230	50	3.0	2890	9.93	0.87
400	50	3.0	2890	5.71	0.87
415	50	3.0	2900	5.63	0.85
440	60	3.6	3475	6.03	0.89
460	60	3.6	3480	5.88	0.87

Además, la placa indica: VDE 0530, IEC 60034, IP55, F 180 K, S1, SF 1.00, AMB 40°C, W2, U2, V2, W1, U1, V1, W1, L1, L2, L3, -6307-ZZ, -6206-ZZ, MOD. POLYTEX EM, 5 kg, LR 38324, MOD. TE01A0X0T0000102085.

Figura 49: Placa de características

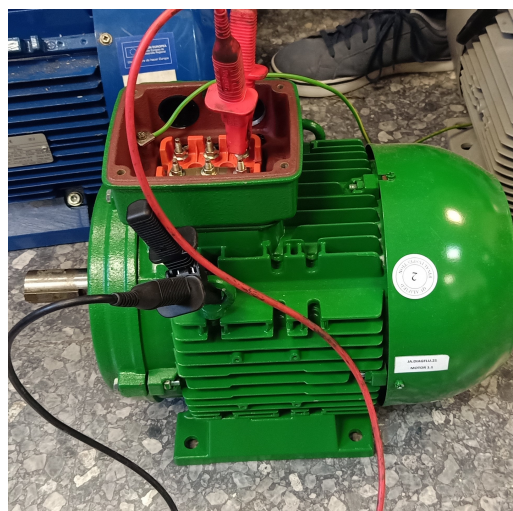


Figura 50: Motor WEG 1

El segundo Motor también trifásico de baja tensión de tamaño 80 y 4 polos y de potencia 0.55kW, se detalla más las características en la figura 51.

WEG					
VDE 0530	3~ 80-04	2013/04	21Kg	LN12101-3	
IEC60034	IP55	80 K S1	40°C/S2	28SET09	
V	Hz	KW	min-1	A	cosφ
220	50	0,55	1420	2.38	0.81
380			1420	1.38	0.81
230	50	0,55	1430	2.37	0.78
400			1430	1.36	0.78
415	50	0,55	1440	1.37	0.75
440	60	0.62	1720	1,54	0.81
460			1725	1,54	0.78

Figura 51: Placa de características

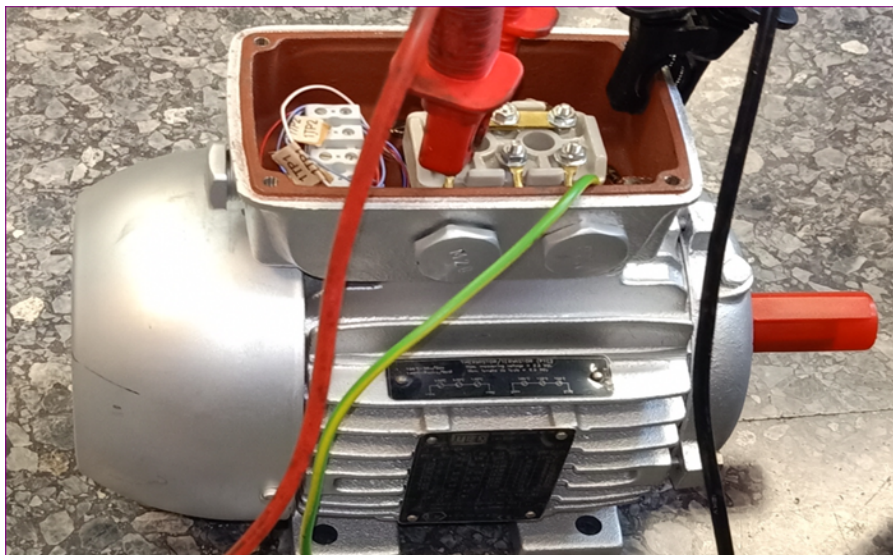


Figura 52: Motor WEG 2

Motores operados o almacenados

Son 4 motores de diferentes marcas y tipos, pero todos son de baja tensión y características diferentes.

Motores SIEMENS

Hay 2 motores de marcas SIEMENS tienen las mismas características, pero de acoplamiento diferentes, uno de estrella y el otro de triángulo.

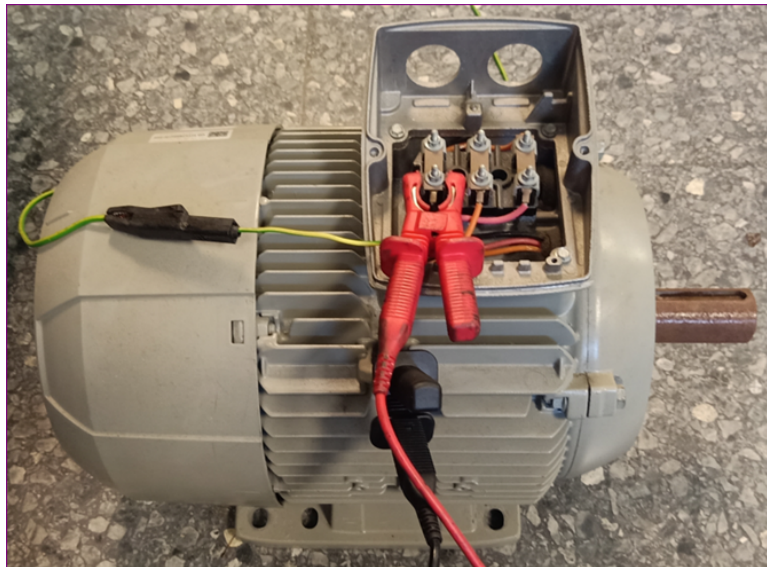


Figura 53: Motor SIEMENS

A continuación, son motores de baja tensión, rotor de jaula de ardilla IEC, auto refrigerado, clase de protección IP55, clase de temperatura 155(F), según 130(B) carcasa de aluminio High Efficiency IE2, se detalla más las características en la figura 54.

SIEMENS IE2^H CE
 Made in Czech Rep.
 3~MOT 1AV2130B 1LE10011CB034AA4Z | UD 1605/75795282-030
 IEC/EN 60034 132S IMB3 IP55
 42kg Th.Cl. 155(F) -20° C ≤ TAMB ≤ 40° C

		Bearing					
		DE	NE				
		6208-2ZC3	6208-2ZC3				
V	Hz	A	kW	cosφ	NOM.EFF	1/min	IE-CL
400 Δ	50	11.3	5.5	0.80	87.7	1465	IE2
690 Y	50	6.6	5.5	0.80	87.7	1465	IE2
460 Δ	60	10.9	6.3	0.81	89.5	1765	IE2
460 Δ	60	9.9	5.5	0.78	89.5	1770	IE2

Figura 54: Placa características

Motor CEMER:

Motor asíncrono trifásico en Aluminio y de jaula de ardilla. El tiene un servicio continuo S1, clase de aislamiento 155 (F), clase de protección IP 55.

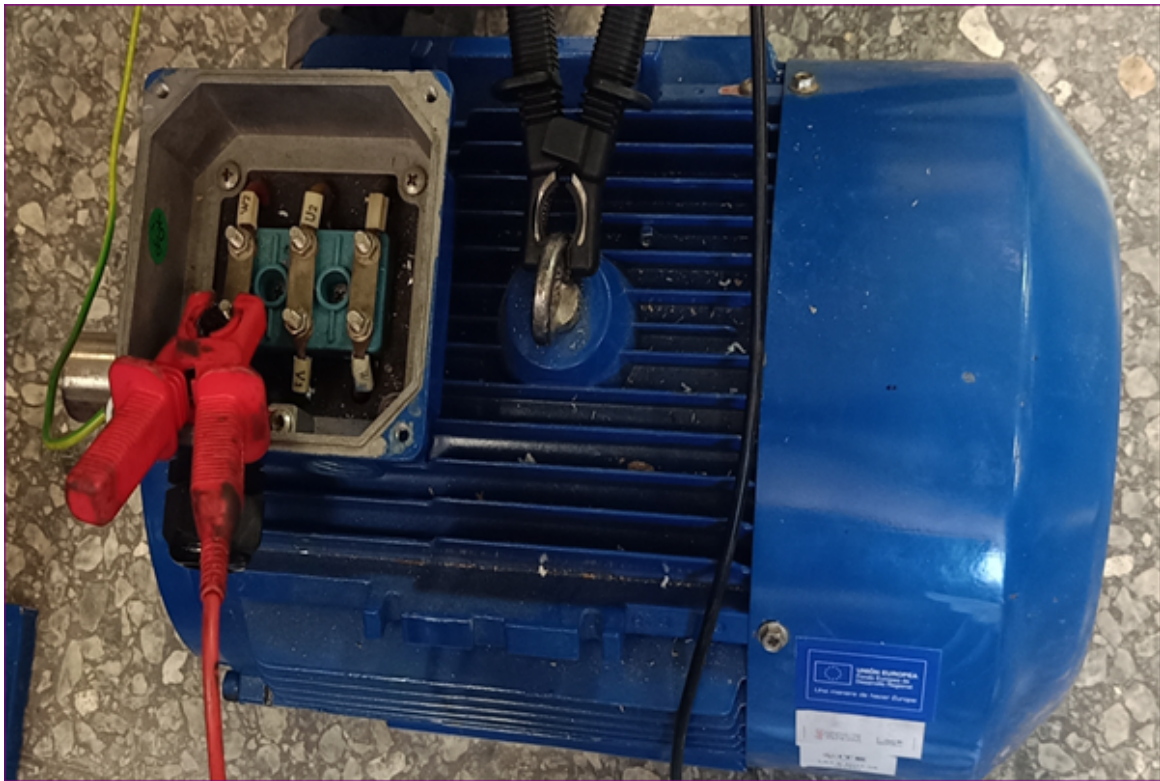


Figura 55: Motor CEMER

Se detalla más las características en la figura 56.

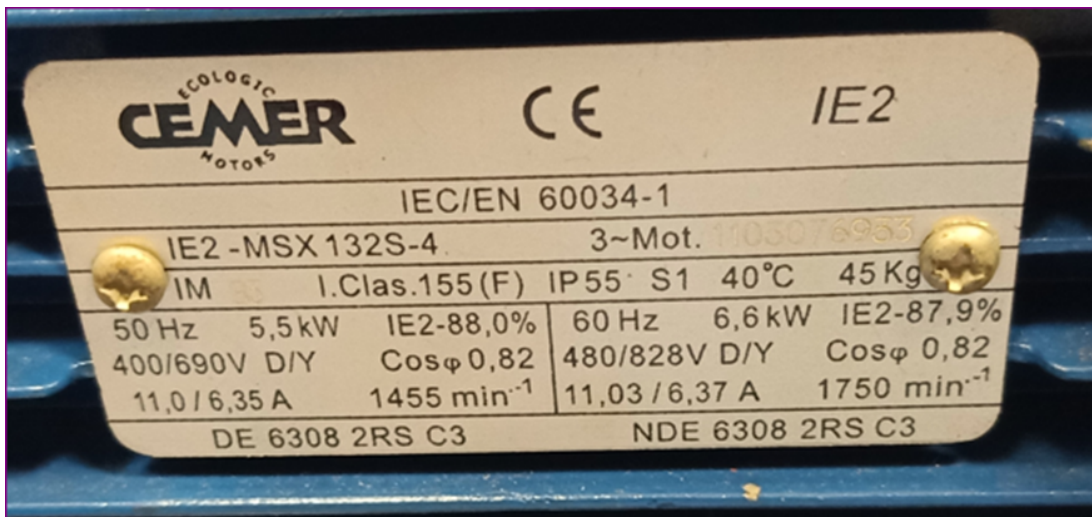


Figura 56: Placa de características

Motor ALren

Motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla, tiene una potencia 5.5KW, una clase de temperatura F (155°) y una clase de protección IP55.



Figura 57: Motor ALren

Se detalla más las características en la figura 58.



Figura 58: Placa de características

Motor inoperativo o parado

Motor Baldor

El motor Baldor es un motor trifásico con una potencia de 20 kW y clase de temperatura F y con un factor de potencia de 85 % también su velocidad es 1765rpm.

Este motor lleva mucho tiempo sin operar, por eso sería un buen factor para saber su estado de aislamiento.

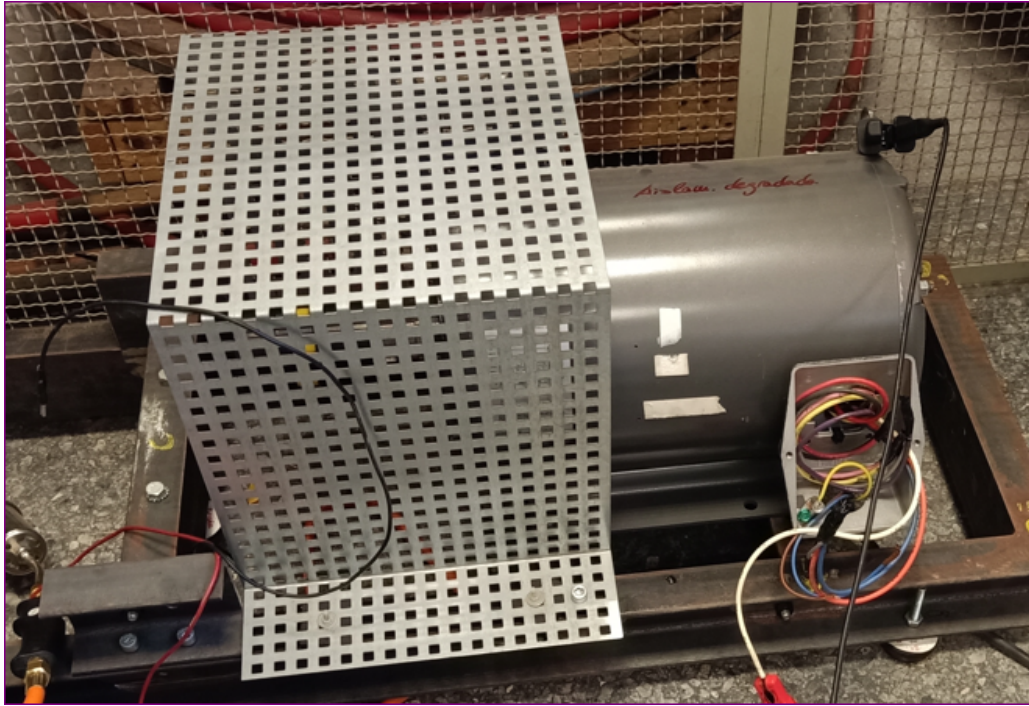


Figura 59: Motor BALDOR

Mediante la figura 60 se detalla más las características del Motor

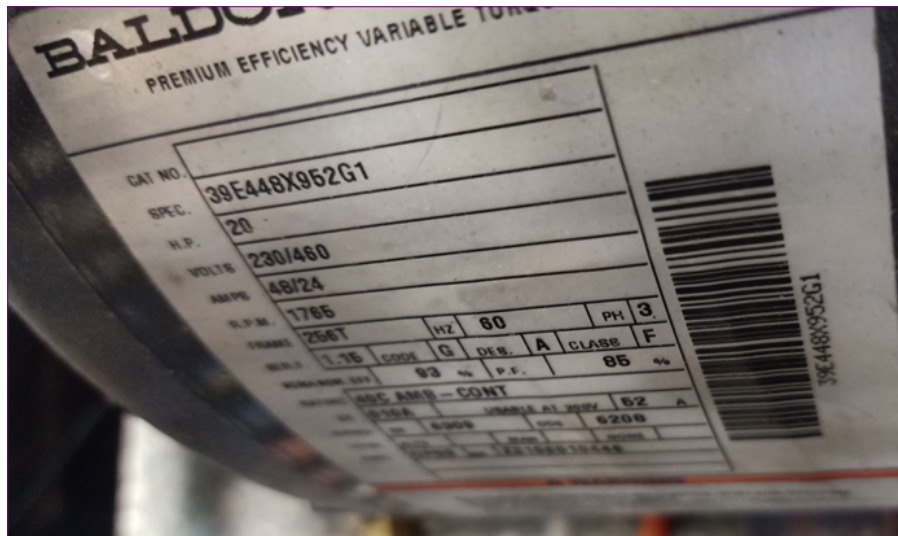


Figura 60: Placa características del Motor BALDOR

8. Ensayos realizados

Las pruebas de resistencia de aislamiento, índice de polarización y índice de absorción son conceptos fundamentales en ingeniería eléctrica y evaluación de sistemas eléctricos. Estas pruebas desempeñan un papel crucial en la determinación de la integridad y el rendimiento de los equipos eléctricos y son esenciales para garantizar la seguridad y la eficiencia de los equipos eléctricos.

Esta investigación tiene como objetivo explorar en profundidad estos tres conceptos críticos en el campo de la ingeniería eléctrica. A lo largo de nuestro estudio, examinaremos los principios detrás de cada uno de estos ensayos, aprenderemos a interpretar sus resultados y comprenderemos su importancia en la preservación de la integridad y la fiabilidad de los sistemas eléctrico.

Además, exploraremos cómo estas pruebas desempeñan un papel crucial en la identificación temprana de problemas, lo que a su vez permite una planificación efectiva del mantenimiento e una operación segura de sistemas eléctricos en diversas industrias. En última instancia, esta investigación académica tiene como objetivo proporcionar una base sólida para comprender y aplicar los ensayos de resistencia de aislamiento, el índice de polarización e el índice de absorción en el contexto de la ingeniería eléctrica.

Las pruebas se hacen con de acuerdo de las normas exigidas y resumidas en el estándar de IEEE 43, a la realización de las pruebas se debe tomar en cuenta todo las normas y las recomendaciones que hablamos en los apartados anteriores.

8.1. Procedimiento de la prueba

El equipo utilizado es el Megger MIT1025 que se capta o registra los valores de la resistencia del aislamiento durante la prueba del índice de polarización y como la prueba del índice de polarización se ejecuta desde 15 segundos aproximadamente hasta 10 minutos y la prueba de resistencia de trata durante 1 min, por lo tanto, podemos deducir el valor tanto de la resistencia de aislamiento como el índice de absorción como entendía entre el 30 segundos y 60 segundos.

Mas adelante, se describe el procedimiento de la prueba del índice de polarización.

Selección del voltaje de prueba

Como en esta investigación todos los motores ensayados de baja tensión es decir que el voltaje nominal es inferior a 1000 v y según la norma establecida, el voltaje de prueba correspondiente es de 500V en corriente continua.

Conexiones para la prueba de IP:

Conecta los cables de prueba del Megger MIT1025 al motor eléctrico de la siguiente manera.

- a. Conecta un cable de prueba del Megger MIT1025 (generalmente de color rojo) al terminal de la fase del motor. Este cable se conoce como cable de fase.
- b. Conecta el otro cable de prueba del Megger MIT1025(generalmente de color negro) al terminal de tierra del motor. Este cable se conoce como cable de tierra.



Figura 61: Conexiones para prueba de IP con un motor eléctrico

Selección de los parámetros

- a. La opción de prueba IP se selecciona utilizando el Botón izquierdo del Megger MIT1025.
- b. El voltaje de prueba se selecciona con el Botón derecho, el cual corresponde a 500V.
- c. Una vez el software esta conectado o mejor dicho que la configuración sea satisfecha con equipo, pulse el botón TEST para iniciar la Prueba. EL tiempo de la prueba esta predefinido en el equipo.
- d. Una vez finalizada la prueba, los datos se guardan a través de la opción Save selected to form del software.

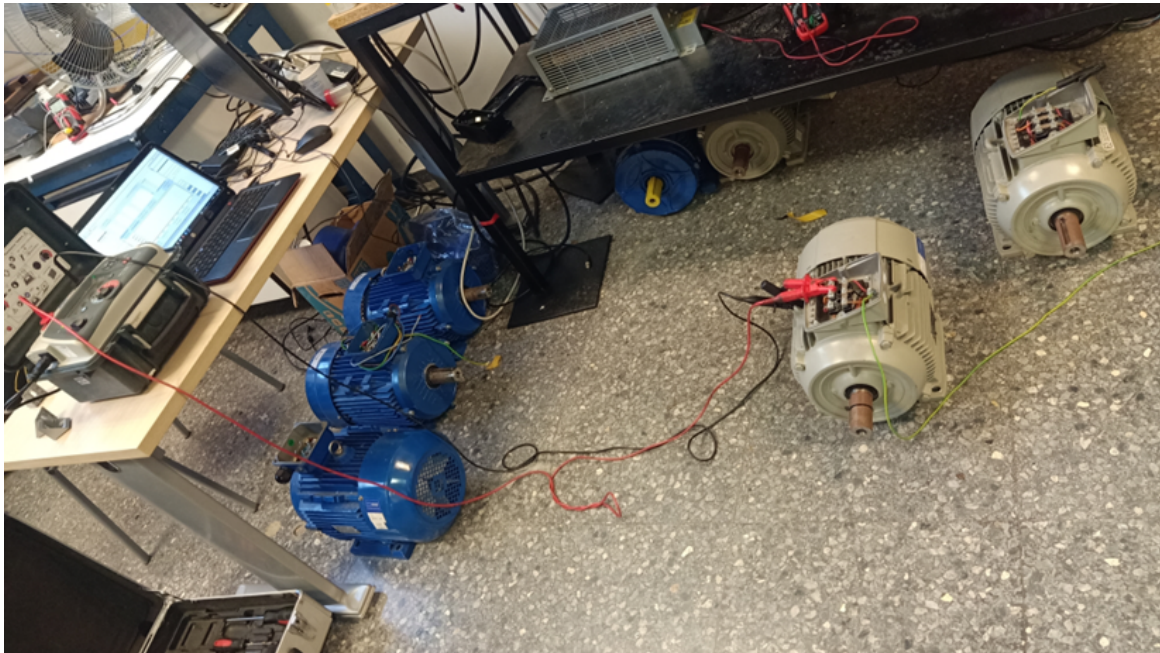


Figura 62: Conexiones entre un motor eléctrico, el Megger MIT1025, el software POWER DB

recomendaciones antes y durante la prueba

La prueba debe llevarse a cabo en una instalación que no esté energizada ni conectada a la red eléctrica, garantizando así que la tensión de prueba no afectará a otros equipos que puedan estar interconectados con el circuito bajo evaluación.

Antes y después la prueba debe mantenerse el equipo a probar totalmente descargados.

9. Resultados

En apartado de resultados de un Trabajo Fin de Máster, se presentan los datos y las conclusiones derivados de los ensayos realizados en los diferentes motores eléctricos. En particular, se centra en tres aspectos cruciales: la resistencia de aislamiento, el índice de polarización y el índice de absorción y se dedica a interpretar y comparar los resultados.

9.0.1. Datos y conclusiones de los motores

GRUPO 1:

El grupo 1 de los motores ensayados fue de 3 Motores de baja tensión que están operativos o almacenados y del misma potencia y de marca diferentes, por lo cuales se realizo la IP y a partir de estos resultados se obtiene los datos de resistencia de aislamiento a tierra (IR1min@40°C), el índice de absorción y índice de polarización.

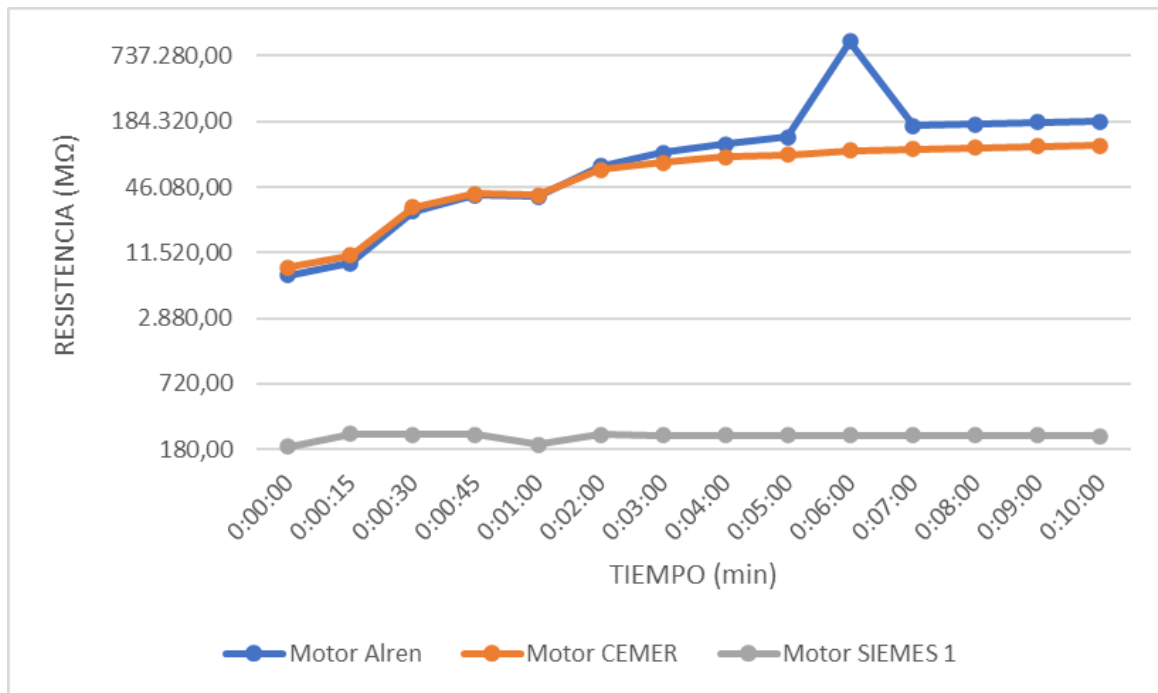


Figura 63: Curva de índice de polarización de 3 Motores

	IR_30seg (MΩ)	IR_1min(MΩ)¹	IR_1min(MΩ)	IR_10min (MΩ)	IP	DAR
Motor Alren	27.400,00	37.896,55	46,600,00	185.100,00	4,00	1,69
Motor CEMER	29.900,00	38.960,60	47,600,00	111.300,00	2,34	1,56
Motor SIEMES 1	29.900,00	200,53	245	241	0,98	0,99

Figura 64: Resultados de Medición de IR, IP, DAR de 3 Motores

1* Los valores que están escrito en negrita son los valores de resistencia de aislamiento en el primer minutos corregidas a 40°C con el factor de corrección mediante la formula (6) y (1) por los aislamiento termoestable y también cuando la temperatura rondo los 10°C <T >40°C.

$$K_t(T) = e^{-1245\left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{313}\right)} \quad (6)$$

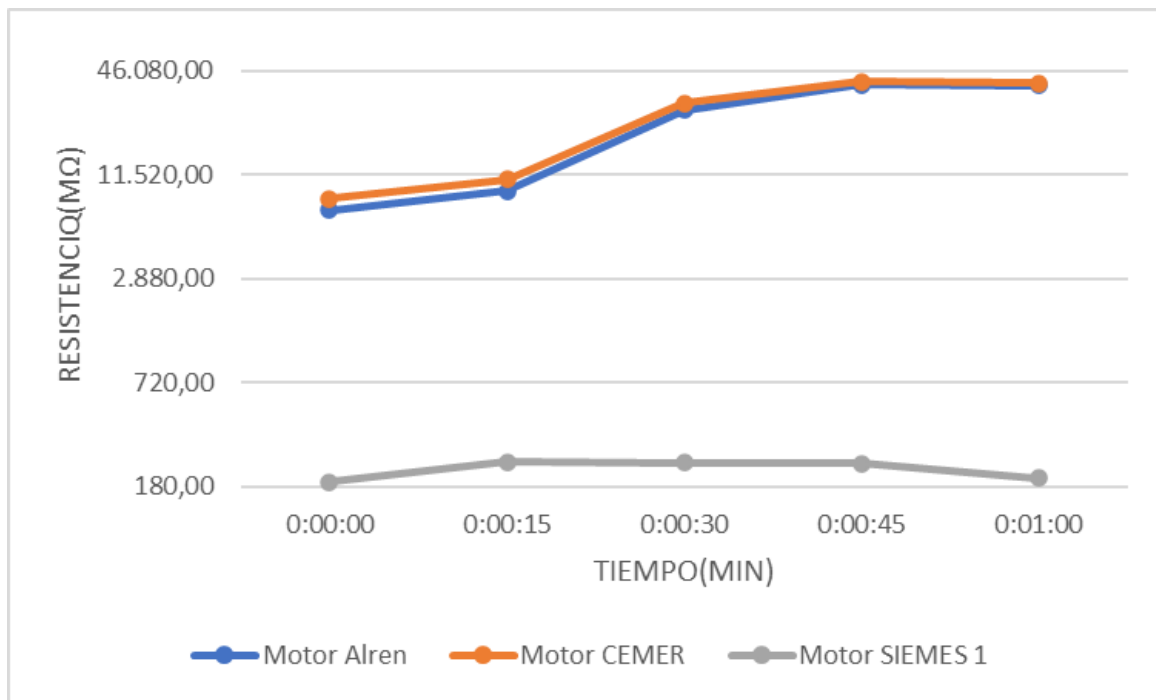


Figura 65: Curva de resistencia de aislamiento en 3 Motores corregidas a $40^{\circ}C$

Dado que no existe un registro histórico de la resistencia de aislamiento de los 3 motores, no es posible determinar con precisión si su aislamiento ha disminuido con el tiempo. Solo se podría realizar una comparación de los valores de un motor con respecto a otro.

La figura 63, se muestra los gráficos obtenidos cuando se aplica una tensión de 500 V al aislante durante 10 minutos.

la figura 64, se muestra los valores de resistencia de aislamiento en el primer minuto corregidas a $40^{\circ}C$ con el factor de corrección mediante la formula (6) ver la página (56) y la formula (1) ver la página (36) por el aislamiento termoestable y también cuando la temperatura ronda los $10^{\circ}C < T > 40^{\circ}C$ y también los valores del índice de polarización (IP), el valor índice de absorción.

La figura 65, se muestra los gráficos obtenidos para la resistencia de aislamiento cuando se aplica una tensión de 500 V al aislante durante un minuto. En estos gráficos, la corrección de la temperatura se ha realizado previamente de utilizando el coeficiente de resultado $K_t(T)$ es 0.8185.

Mediante las figuras 63 y 65, se puede observar como primera vista que hay una diferencia entre los motores, se observe que los 2 motores ALren y CEMER tiene la pendiente de la curva está muy razonable y casi similares mientras que no tienen la misma marcas pero casi el mismos características y sigue aumentando con el tiempo mendicante el impulso de corriente, el incremento de la curva de pendiente se observa alrededor del 15 segundos hasta que el alcanza el valor máximo de la resistencia.

También, se observa que han superado el valor mínimo establecido por la norma IEEE43 que es 100 Megaohmios para la mayoría de las armaduras DC y bobinas fabricadas después 1970.

Mas adelante, conforme con los resultados obtenidos por la figura 63, Podría decir que la curva IP era muy razonable y se presenta un incremento hasta el minuto 10.

comparando los valores obtenidos durante el ensayo de IP y DAR en la figura 64 con los valores mínimos establecidos por la norma IEEE43, se nota que cumplen con IP mínimo ver la tabla (6) de referencia en la página 41 y DAR mínimo ver la tabla (9) de referencia en la página 43.

dependiendo a los resultados y respecto con los valores mínimos establecidos con la norma podemos deducir que el aislamiento de los 2 motores se encuentra en nivel excelente y buen es decir que estado de los motores esta

adecuado e el aislamiento seco y limpio para seguir funcionando los motores sin ningún problema.

Por otro lado, se ve que la curva del motor SIEMENS se permanece estable sin observar ningún incremento en su curva durante toda la prueba. Aunque en la figura 65 se ve que los valores se encuentran alrededor del valor mínimo establecido por la norma que 100 Mega ohmios, pero esto no define que el aislamiento está en buen estado por lo que es necesario evaluarlos valores de IP y DAR, al examinar los valores obtenidos en la figura 65 y comprando con la norma ver la tabla (6) de referencia en la página 41 y ver la tabla (9) de referencia en la página 43.

Se indican un estado peligroso es decir que el aislamiento está totalmente afectado, por lo tanto, es muy débil con corrientes de fuga elevadas por hidratación profunda o fuerte contaminación superficial. lo que resulta hay que tomar decisiones muy urgentes con este motor y no mantenerlo funcionando desde este momento.

GRUPO 2:

El grupo 2 de los motores ensayados fue de 4 Motores de baja tensión que están clasificado entre Motores nuevos y un motor parado y un motor operativo almacenado y de potencia diferente y de marca diferente, por lo cuales se realizo la IP y a partir de estos resultados se obtiene los datos de resistencia de aislamiento a tierra (IR1min@40°C) y el índice de absorción DAR y índice de polarización.

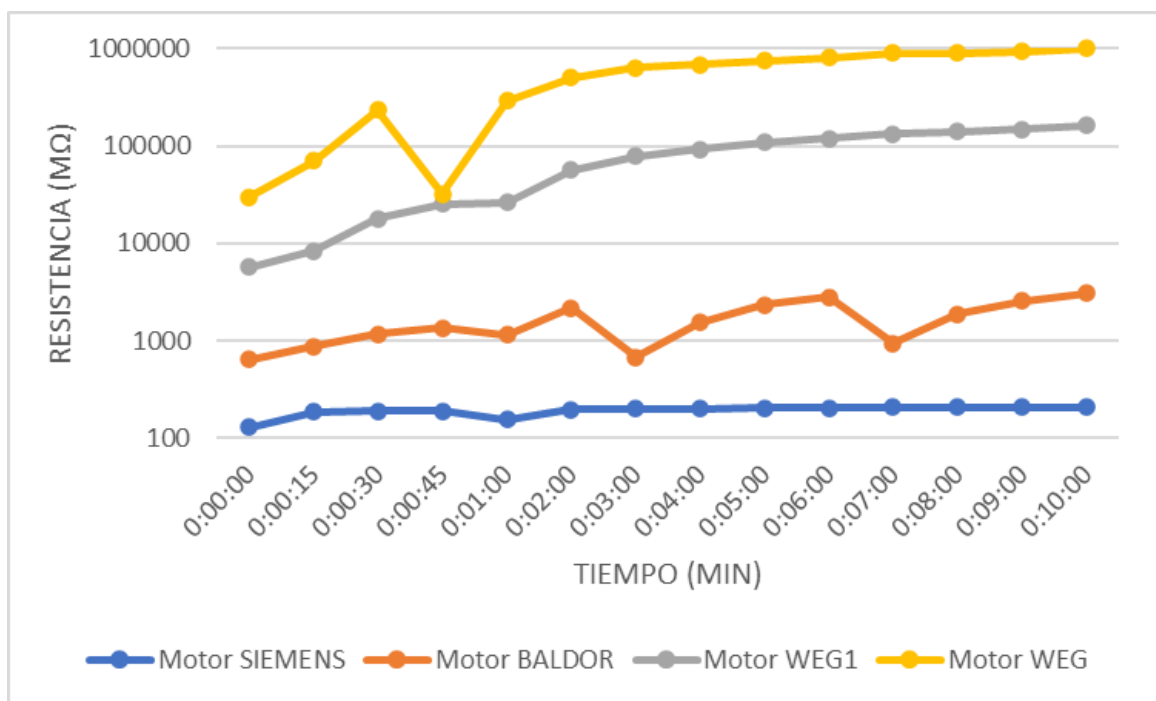


Figura 66: Curva de índice de polarización de 4 Motores

	IR_30seg (MΩ)	IR_1min(MΩ)*1	IR_1min(MΩ)	IR_10min (MΩ)	IP	DAR
Motor SIEMENS	190,4	156,333	191	209	1,09	1,01
Motor BALDOR	1.180,00	1.145,90	1.400,00	3.070,00	2,07	1,25
Motor WEG1	17.890,00	26.273,85	32.000,00	162.100,00	5,05	1,79
Motor WEG 2	233.000,00	291.386,00	356.000,00	1.000.000,00	2,81	1,53

Figura 67: Resultados de Medición de IR, IP, DAR de 4 Motores

1* Los valores que están escrito en negrita son los valores de resistencia de aislamiento en el primer minuto corregidas a 40°C con el factor de corrección mediante la formula (6) y(1) por los aislamiento termoestable y también cuando la temperatura rondo los 10°C <T >40°C.

$$K_t(T) = e^{-1245(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{313})} \tag{7}$$

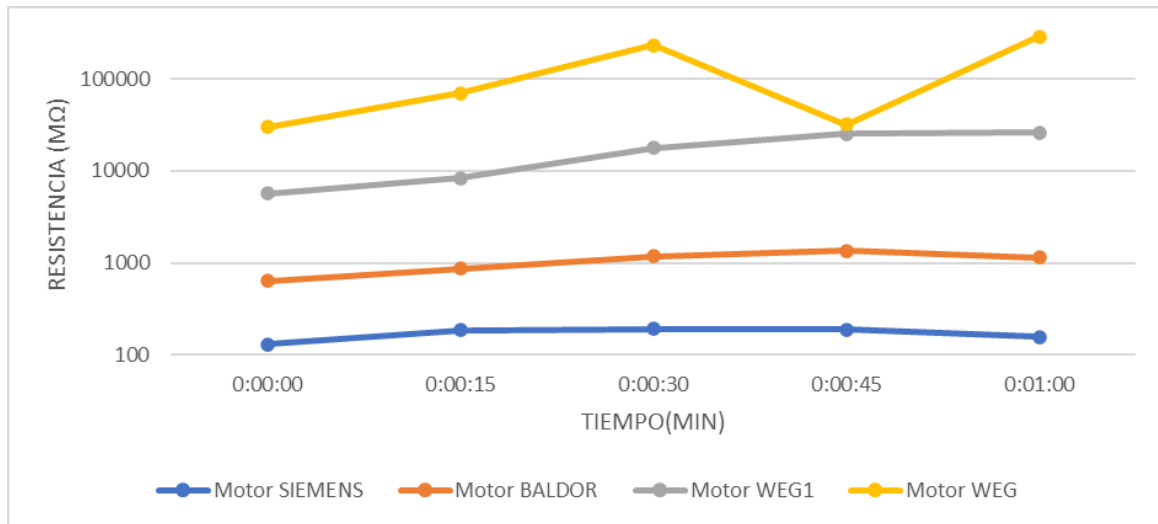


Figura 68: Curva de resistencia de aislamiento en 4 Motores corregidas a $40^{\circ}C$

Dado que no existe un registro histórico de la resistencia de aislamiento de los 4 motores, no es posible determinar con precisión si su aislamiento ha disminuido con el tiempo, tampoco por los motores nuevos. Solo se podría realizar una comparación de los valores de un motor con respecto a otro.

La figura 66, se muestra los gráficos obtenidos cuando se aplica una tensión de 500 V al aislante durante 10 minutos.

la figura 67, se muestra los valores de resistencia de aislamiento en el primer minutos corregidas a $40^{\circ}C$ con el factor de corrección mediante la formula (7) ver la página (58) y la formula (1) ver la página (36) por los aislamiento termoestable y también cuando la temperatura rondo los $10^{\circ}C < T > 40^{\circ}C$ y también los valores del índice de polarización (IP), el valor índice de absorción (DAR).

La figura 68, se muestra los gráficos obtenidos para la resistencia de aislamiento cuando se aplica una tensión de 500 V al aislante durante un minuto. En estos gráficos, la corrección de la temperatura se ha realizado previamente de utilizando el coeficiente de resultado $K_t(T)$ es 0.8185.

Cuando observamos las figuras, se puede destacar varias interpretaciones, por ejemplo, las curvas de pendiente obtenidas por los Motores SIEMES y BALDOR casi están simulares pero de valores diferentes y que tienen la pendiente bajas y se ve como línea recta continuada aunque que han superado el valor mínimo establecido por la norma que es 100 Mega ohmios para la mayoría de las armaduras DC y bobinas fabricadas después 1970, no se podría considerar un buen estado de aislamiento cuando Lo ideal es que el valor de la resistencia aumente con el paso del tiempo.

También mediante la figura 66, se observe que la curva de pendiente del motor BALDOR no es homogénea y se balancea durante la prueba que cuenta con varios puntos débiles.

Más que eso, al comparar los valores obtenidos del índice de polarización y el índice absorción en la figura 68 con los valores mínimos ver la tabla(6) de referencia en la página 41 y ver la tabla(9) de referencia en la página 43 establecidos por la norma IEEE43 se ve que no cumplen y se resulta que el motor SIEMES y motor BALDOR tiene un aislamiento degradado y deficiente, de esta forma se presenta la presencia de suciedad y humedad.

Al contrario con el resto de motores de marcas WEG considerado como nuevos, al ver los gráficos en los imágenes 66 y 68 que la curvas de pendiente son adecuados o lo general de un aislamiento nuevo que se observe un incremento en la pendiente de la curva alrededor el 15 segundos y sigue aumentando con el tiempo aunque que el Motor WEG 2 se presenta un decremento en la 45 segundos pero este decremento no demora mucho y se vuela incrementa de nueva hasta que alcanza el valor máximo en el Minuto 10.

El fenómeno de este decremento se puede indicar que el sistema de aislamiento se está secando o que los contaminantes se están desplazando o eliminando con el tiempo. Esto sería una señal positiva, ya que sugiere una

mejora en la calidad del aislamiento. Es importante destacar que, en las pruebas de índice de polarización, se busca evaluar la capacidad del aislamiento para resistir la humedad o contaminantes con el tiempo no en un tiempo concreto.

A continuación, al comparar los valores obtenidos del índice de polarización y el índice absorción en la figura 68 con los valores mínimos ver la tabla (6) de referencia en la página 41 y ver la tabla (9) de referencia en la página 43 establecidos por la norma IEEE43 se ve que cumplen y se resulta que el motor WEG 2 tienen un aislamiento seco y limpio y el Motor WEG 1 tiene un aislamiento con buena sequedad y sin contaminación.

10. Presupuesto de implantación

A continuación, se va a proceder una aproximación de costes generado durante la realización de este proyecto, teniendo en cuenta los costes personales tanto como materiales, puesto que se efectuaran en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia pero para meter una visión del costes de dicho ensayos en una industria o al contratar una empresa para poder efectuarlos.

Coste de Implantacion			
Descripcion	Cantidad	Precio €	Total
Coste de MEGGER MIT1025	1	5.250,00	5.250,00
Coste de Ordenador	1	500	500
Coste de MEGGER MT0210	1	5.870,00	5.870,00
Medidor de temperatura	1	200	200
Coste Total de Implantacion			11.820,00

Figura 69: Tabla de coste de Implantación de materiales

Coste de Mano de obra						
Descripcion	Cantidad	Tiempo por Motor (h)	Numero de Motores	total de Tiempo(h)	Precio(h* €)	Total€
costes de analisis de resultados	1	5	7	35	70	2450
Coste Personal (Tecnico)	2	4	7	28	50	1400
Coste Total de Implantacion						3850

Figura 70: Tabla de coste de Mano de obra

Partiremos el coste del presupuesto para que se acerque a la realidad como se efectúa en el campo. Pasaré a citar el presupuesto, lo que es fundamentales son los aparatos necesarios para ejecutar los ensayos que son el equipo de medición, un ordenador y un medidor de temperatura que cuestan alrededor 11.820€.

También lógicamente debería tener un personal que lleva y cabo la ejecución y el análisis de datos obtenidos y darle el interpretación de los datos obtenidos y esto también un coste que cuesta alrededor de 3.850€. Por último, el coste total de los ensayos asciende a 15.670€.

11. Conclusión

Para alcanzar este objetivo he realizado una profunda revisión bibliográfica sobre cada prueba recomendada y proporcioné una explicación detallada de lo que implica cada prueba, cómo se lleva a cabo y para qué se utiliza. Además, describí los fenómenos involucrados en cada una de ellas de manera comprensible mediante la norma IEEE43.

En general, el estado de aislamiento de los grupos de motores probados se puede resumir como teniendo diferentes estados de aislamiento, como bueno, malo o peligroso, y excelente. Por ejemplo, los motores de la marca SIEMENS presentaron un estado peligroso, mientras que los motores de la marca WEG mostraron un estado excelente y bueno. Sin embargo, es importante destacar que todos los motores cumplen con el valor mínimo de resistencia de aislamiento (IR) establecido por IEEE 43.

Por lo tanto, el resultado de la prueba IR_{1min} no puede considerarse como un factor confiable para determinar si el estado de aislamiento es bueno o no. Se necesita un análisis más detenido y tomar en consideración otras pruebas durante un período de tiempo más largo para tomar una decisión precisa en cuanto al aislamiento. Esto incluye la medición de la resistencia durante un período definido de 1 a 10 minutos, que prácticamente cubre la prueba rápida de resistencia de aislamiento IR_{1min} ; la prueba de índice de polarización $PI = IR_{10min}/IR_{1min}$ y la relación de absorción dieléctrica $DAR = IR_{1min}/IR_{30seg}$. Estos valores son independientes entre sí, pero dependen de los valores mínimos establecidos por la norma IEEE 43.

Mediante de los resultados obtenidos, se puede deducir que el valor de DAR es el mejor indicador del estado del aislamiento, dependiendo de si el IR aumenta significativamente con el tiempo o se estabiliza rápidamente.

En conclusión, los ensayos de resistencia de aislamiento, índice de polarización y absorción son pruebas fundamentales para evaluar la calidad y la integridad del aislamiento eléctrico en equipos y sistemas. Estas pruebas proporcionan información valiosa sobre la capacidad del aislamiento para resistir la corriente de fuga, la presencia de humedad o contaminantes y la estabilidad a lo largo del tiempo.

Finalmente, tras la realización de este Presente Trabajo de Fin de Máster, he adquirido como realizar un ensayo sobre un motor eléctrico y como hacer el análisis de los resultados obtenidos y compararla con las normas establecidas y como utilizar y manipular el equipo de medición y el software para registrar los datos.

Referencias

- [1] <https://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2019/02/Motores.pdf>
- [2] <https://www.bing.com/images/search?q=ejemplos+de+rodamientos&go=Search&q=ds&form=QBIDMH&first=1>
- [3] http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/motores_de_corriente_continua.php
- [4] <https://n9.cl/yk48p>
- [5] http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf
- [6] <https://urlz.fr/nYCI>
- [7] <https://urlz.fr/nYCF>
- [8] <https://renamecr.com/index.php/2019/04/15/tipos-de-servicio-en-motores-electricos-parte-2/>
- [9] <https://es.scribd.com/document/470789584/technical-catalogue-m-iec-std-fr-rev0-3>
- [10] <https://es.scribd.com/document/470789584/technical-catalogue-m-iec-std-fr-rev0-3>
- [11] <https://ppemma.org/standards/PCSIR-AND-ENERCON/IEC-60034-1.pdf>
- [12] https://oropezaingenieros.com/wp-content/uploads/2020/04/MT0106_DS_esla.pdf
- [13] <https://www.aemc.com/products/megohmmeters/megohmmeter-6555>
- [14] https://www.artecingenieria.com/pdf/Guias_Tecnicas_Megger/Castellano/Above%201kV_UG_ESLA_V06.pdf
- [15] <https://www.faradayos.info/2018/07/medicion-resistencia-aislamieto-megger-megometro.html>
- [16] <https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/datasheets/Megohmmeter/2130-32-SP.pdf>
- [17] <https://roshdsanatniroo.com/pdf/IEEE%20Std.%2043-2000.pdf>
- [18] <https://ieeexplore.ieee.org/document/996345>
- [19] <https://urlz.fr/nYCP>
- [20] <https://urlz.fr/nYCT>
- [21] <https://ieeexplore.ieee.org/document/598211>
- [22] <https://urlz.fr/nYCP>
- [23] https://www.researchgate.net/figure/Typical-waveforms-expected-in-the-Surge-test_fig2_304619580