UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"DIAGNÓSTICO DE SISTEMA DE ALTA TENSIÓN EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS: APLICACIONES DEL MEGÓHMETRO Y MILIÓHMETRO"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniero Automotriz.

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Chicaiza Lima Shair Sebastián

Ordóñez Lara Nésder Gilmar

DIRECTOR:

MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco

Ibarra-Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chicaiza Lima Shair Sebastián Ordoñez Lara Nesder Gilmar

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DIAGNÓSTICO DE SISTEMA DE ALTA TENSIÓN EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS: APLICACIONES DEL MEGÓHMETRO Y MILIÓHMETRO
AUTOR (ES):	Chicaiza Lima Shair Sebastián Ordoñez Lara Nesder Gilmar
FECHA: DD/MM/AAAA	8/4/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	**Ingeniero Automotriz**
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco PhD. Fredy Alexander Rosero Obando

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días, del mes de septiembre de 2026

EL AUTOR:

SHAIR SEBASTIAN CHICAIZA LIMA

Firmado digitalmente por SHAIR SEBASTIAN CHICAIZA LIMA
Fecha: 2026.09.19 07:41:45 -05'00'

Firma……
Nombre: Chicaiza Lima Shair Sebastián

EL AUTOR:

NESDER GILMAR ORDOÑEZ LARA

Firmado digitalmente por NESDER GILMAR ORDOÑEZ LARA
Fecha: 2026.09.19 07:41:08 -05'00'

Firma ……

Nombre: Ordoñez Lara Nesder Gilmar

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 21 de septiembre de 2026

MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:
Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Fecha: 2026.09.25 '09:39:27 -05'00
Versión de Adobe Acrobat: 2026.002.21931

RAMIRO ANDRES ROSERO AÑAZCO

(f) ……

MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco

C.C.: 1718193616

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "DIAGNÓSTICO DE SISTEMA DE ALTA TENSIÓN EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS: APLICACIONES DEL MEGÓHMETRO Y MILIÓHMETRO" elaborado por Chicaiza Lima Shair Sebastián, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Fecha: 2026.09.25 '09:41:19 -05'00 Versión de Adobe Acrobat: 2026.002.21931

RAMIRO ANDRES ROSERO AÑAZCO

(f)…….

MSc. Ramiro Andrés Rosero Añazco

C.C: 1718193616

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FREDY ALEXANDER ROSERO OBANDO

(f):…….

PhD. Fredy Alexander Rosero Obando

C.C.: 1002641742

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi madre, Teresa Lima, y a mi padre, Fabián Chicaiza, quien ahora me cuida desde el cielo. A ti, papá, gracias por estar siempre a mi lado y por darme el mejor ejemplo de cómo ser una persona correcta. A ambos, gracias por ser un ejemplo de vida, esfuerzo, dedicación y amor incondicional, a pesar de mis errores.

A mi hermano Jhon y a mi sobrino Eithan, gracias por apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria y por respaldar mi sueño de competir en moto velocidad.

Agradeciendo a cada uno de los ingenieros por cada historia, anécdotas, risas, en especial compartiendo sus conocimientos sin juzgar a las personas y gracias a mis tutores de trabajo de grado por su apoyo en este trayecto.

Gracias a todos por ser mi apoyo incondicional para alcanzar este logro. No me alcanzan las palabras para pedirles perdón por mis equivocaciones, pero quiero que sepan que nunca me rendí. Logré sacar adelante este sueño por todos los que están detrás de mí, impulsándome a seguir.

Shair Sebastián Chicaiza Lima

DEDICATORIA

Agradezco profundamente a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de toda mi carrera, iluminando cada paso en este camino académico. Dedico este trabajo con amor y gratitud a toda mi familia, mis hermanos y especialmente a mi madre Gina María Lara Salcedo, pilar fundamental en mi vida y ejemplo constante de esfuerzo, dedicación y perseverancia además a los Ingeniero por a ver ampliado mi conocimiento. Gracias por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

Nesder Gilmar Ordoñez Lara

RESUMEN EJECUTIVO

La transición hacia la electromovilidad ha introducido sistemas de alta tensión (>400V) que exigen protocolos de diagnóstico rigurosos para garantizar la seguridad operativa y prevenir fallas críticas de aislamiento. El objetivo general de esta investigación fue diagnosticar sistemas de alta tensión en vehículos híbridos y eléctricos mediante el uso del Megóhmetro y Milióhmetro para fortalecer el mantenimiento preventivo, se utilizó una metodología empleada fue de carácter cuantitativo-aplicado, estructurada en fases de selección técnica de equipos (580A y 580C), implementación de protocolos de seguridad bajo el estado de Energía Cero y ejecución de ensayos con compensación térmica según la norma IEEE 43. La metodología utilizada demostró en sus resultados la funcionabilidad y metrología con su rango de resolución de 0.1 mΩ, en relación con un equipo convencional, además demostró verificar pequeñas variaciones de resistencia para detectar el desbalance de las fases. En las pruebas físicas se hizo el diagnostico de una falla de aislamiento entre carcasa y el motogenerador, el MG2 registro una resistencia de aislamiento de 16.50 MΩ, debajo de 100 MΩ recomendado, mientras que el MG1 registró 550 MΩ. De la misma manera se validó la sensibilidad térmica típica del cobre relacionando la resistencia con el rango de temperatura aumentando progresivamente, inicialmente registrando variaciones de resistencia desde 38.6 mΩ a 8°C hasta 43.7 mΩ elevando a 40°C, esto demuestra que es importante aplicar el factor de corrección de temperatura. Se concluye que la estandarización de estos procedimientos permite diferenciar con precisión fallas de aislamiento de daños en el bobinado, optimizando la toma de decisiones técnicas en entornos de taller y laboratorio.

Palabras clave: Evaluación de alta tensión, Equipos de medición (Megóhmetro/Milióhmetro), Aislamiento galvánico, Movilidad híbrida, Protocolos de seguridad eléctrica.

ABSTRACT

The transition toward electromobility has introduced high-voltage systems (>400V) that demand rigorous diagnostic protocols to ensure operational safety and prevent critical insulation failures. The main objective of this research was to diagnose high-voltage systems in hybrid and electric vehicles using a Megohmmeter and a milliohmmeter to strengthen preventive maintenance. The methodology employed was quantitative-applied, structured into phases including technical equipment selection (580A and 580C), implementation of safety protocols under Zero Energy state, and execution of tests with thermal compensation according to the IEEE 43 standard. The applied methodology demonstrated its functionality and metrological accuracy in the results, featuring a resolution of 0.1 mΩ compared to conventional equipment. Furthermore, it proved capable of verifying small resistance variations to detect phase imbalance. During the physical testing, an insulation fault between the casing and the motor-generator was diagnosed. The MG2 registered an insulation resistance of 16.50 MΩ, which is below the recommended 100 MΩ, whereas the MG1 registered 550 MΩ. Likewise, the typical thermal sensitivity of copper was validated by correlating resistance with a progressively increasing temperature range. It initially recorded resistance variations from 38.6 mΩ at 8°C up to 43.7 mΩ when raised to 40°C, demonstrating the importance of applying a temperature correction factor. It is concluded that standardizing these procedures allows for accurate differentiation between insulation faults and winding damage, thereby optimizing technical decision-making in both workshop and laboratory environments.

Keywords: High-voltage diagnosis, Megohmmeter, Milliohmmeter, Insulation resistance, Hybrid vehicles, Electrical safety.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I....16
1.1 Introducción....16
1.2 Problema de Investigación....16
1.3 Objetivos....18
1.3.1 *Objetivo General*....18
1.3.2 *Objetivos Específicos*....18
1.4 Alcance....18
1.5 Justificación....19
2 CAPITULO II....21
MARCO TEÓRICO....21
2.1 Antecedentes....21
2.2 Conceptos y Magnitudes Eléctricas....22
2.2.1 *Corriente Eléctrica*....22
2.2.2 *Tensión*....23
2.2.3 *Intensidad*....23
2.2.4 *Resistencia*....24
2.2.5 *Aislamiento*....25
2.3 Almacenamiento de Energía....26
2.3.1 *Tipos de Baterías HV*....27
2.4 Máquinas Eléctricas....30
2.4.1 *Principio de Funcionamiento*....30
2.4.2 *Motor de Corriente Continua*....31
2.4.3 *Motor de Corriente Alterna*....33
2.5 Arquitectura Vehículos Híbridos y Eléctricos....36
2.5.1 *Tipología de Vehículos Eléctricos*....37
2.6 Convertidores de Potencia....40
2.7 Equipos de Diagnóstico Eléctrico....41
2.7.1 *Seguridad*....41
2.7.2 *Multímetro CAT II*....42
2.7.3 *Osciloscopios Automotrices*....44
2.7.4 *Escáner Automotriz*....46

2.7.5 *Megóhmetro* 47
2.7.6 *Milióhmetro* 49
2.8 Normativa IEC 61010 51
2.9 Normativa Nema MG1 51
2.10 Normativa IEEE std. 43 52
3 CAPITULO III 53
MATERIALES Y MÉTODOS 53
3.1 Determinación de Materiales 54
3.2 Selección de los Equipos de Diagnostico 54
3.2.1 *Análisis Técnico-Funcional del Megóhmetro 580A* 56
3.2.2 *Análisis Técnico-Funcional del Milióhmetro 580C* 63
3.3 Diseño de Pruebas Piloto 66
3.3.1 *Validación de Equipo de Diagnóstico* 66
3.3.2 Protocolo de seguridad 69
3.4 Metodología de Diagnóstico 71
3.4.1 *Proceso de Diagnóstico Megóhmetro* 71
3.4.2 *Proceso de Diagnóstico Milióhmetro* 74
3.5 Fórmulas de Corrección de Datos 76
3.5.1 *Corrección Normativa por Temperatura para Aislamiento* 76
3.5.2 *Evaluación de Porcentaje de Error del Equipo* 76
3.5.3 *Ecuación de Corrección por Temperatura en Devanados* 77
3.5.4 *Porcentaje de Desbalance Resistivo* 78
4 CAPITULO IV 79
Análisis Y Discusión De Resultados 79
4.1 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Megóhmetro – MG1 79
4.2 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Megóhmetro – MG1 80
4.3 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Milióhmetro – MG1 81
4.3.1 *Factor de Corrección por Temperatura Equipo Milióhmetro – MG1* 82
4.3.2 *Porcentaje de desbalance – MG1* 83
4.4 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Megóhmetro - MG2 84
4.5 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Megóhmetro – MG2 85
4.6 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Milióhmetro - MG2 86
4.7 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Milióhmetro – MG2 87
4.7.1 *Porcentaje de Desbalance – MG2* 88

4.8 Análisis Dinámico de Resistencia de Aislamiento y Continuidad Óhmica 88
4.8.1 *Análisis de Resistencia de Aislamiento y Corrientes de Fuga en Sistemas de Alta Tensión: Correlación Térmica y Validación Normativa* 89
4.8.2 *Análisis del Fenómeno de Tensión Escalonada* 90
4.8.3 *Análisis de Validación De Resistencia Conforme Criterios de Aprobación* 91
4.9 Análisis de la Variación de Resistencia por Temperatura de Trabajo 92
4.9.1 *Análisis de Sensibilidad Térmica* 94
4.9.2 *Análisis de la Variación Absoluta* 95
4.9.3 *Análisis de Validación Experimental* 97
4.10 Aislamiento Eléctrico (FALLA) 98
4.10.1 *Datos Obtenidos en Aislamiento* 98
5 CAPÍTULO V 101
5.1 CONCLUSIONES 101
5.2 RECOMENDACIONES 103
6 Referencias Bibliográficas 104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de baterías 29
Tabla 2 Tabla resumen con la clasificación ISO de los diferentes grados de electrificación 39
Tabla 3 Clasificación de Seguridad en Equipos de Medición 42
Tabla 4 Datos multímetro 44
Tabla 5 Osciloscopio Pico-Scope 4000 45
Tabla 6 Osciloscopio Launch X431 ProS V5 47
Tabla 7 Especificaciones Megóhmetro PCE-IT111 48
Tabla 8 Especificaciones Milióhmetro PCE-MO 2001 50
Tabla 9 Datos del diagrama radial 55
Tabla 10 Especificación general 57
Tabla 11 Simbología 58
Tabla 12 Descripción Equipo 580 A 59
Tabla 13 Rango y precisión en pruebas de aislamiento 61
Tabla 14 Descripción de la estructura Milióhmetro 580 C 64
Tabla 15 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Validación Milióhmetro 67
Tabla 16 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Validación Megóhmetro 68
Tabla 17 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Descarga 70
Tabla 18 Descripción Diagnostico con Megóhmetro 73
Tabla 19 Descripción General Diagnostico Milióhmetro 75
Tabla 20 Datos MG1: Error Total del equipo 79
Tabla 21 Datos MG1: Análisis del rango de resolución 80
Tabla 22 Datos MG1: Resultado aplicado factor de corrección de temperatura 81
Tabla 23 Datos MG1: Análisis de rango de resolución 82
Tabla 24 Datos MG1: Factor de corrección de temperatura Milióhmetro 83
Tabla 25 Datos MG2: Error Total del equipo 84
Tabla 26 Datos MG2: Análisis del rango de resolución 85
Tabla 27 Datos MG1: Resultado aplicado factor de corrección de temperatura 86
Tabla 28 Datos MG1: Análisis de rango de resolución 86
Tabla 29 Datos con factor de corrección de temperatura Milióhmetro 87
Tabla 30 Resistencia de Aislamiento Corregida 90
Tabla 31 Resultados Motor MG1 y MG2 92
Tabla 32 Capturas termográficas de la distribución del calor 93
Tabla 33 Análisis de Variación Absoluta 96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Corriente Continua – Corriente Alterna....23
Figura 2 Medición de Aislamiento....26
Figura 3 Proceso de transformación de energía eléctrica en química....27
Figura 4 Densidad energética de batería de alta tensión (HV)....30
Figura 5 Clasificación de motores eléctricos....31
Figura 6 Despiece Motor Síncrono....34
Figura 7 Motor Asíncrono....35
Figura 8 Motor eléctricos de reluctancia....36
Figura 9 Arquitectura básica del tren motriz HEV: diseño en serie vs. diseño en paralelo....37
Figura 10 Tipología de Vehículos Eléctricos....38
Figura 11 Unidad de control. Inversor....41
Figura 12 Multímetro....43
Figura 13 Osciloscopio, componentes y conexión....45
Figura 14 Escáner Automotriz....46
Figura 15 Megóhmetro....49
Figura 16 Milióhmetro Modelo LT-MO2001....49
Figura 17 Diagrama de flujo de actividades del proyecto de Titulación....53
Figura 18 Diagrama radial Megóhmetro....55
Figura 19 Diagrama radial Milióhmetro....56
Figura 20 Perrilla de función los rangos....59
Figura 21 Proceso de medición....62
Figura 22 Milióhmetro....63
Figura 23 Medición de dos puntos....65
Figura 24 Fases para validación de Equipo según IEC 61010-1....66
Figura 25 Flujograma del protocolo de seguridad....69
Figura 26 Flujograma procesos de uso Megóhmetro....72
Figura 27 Flujograma proceso de uso Milióhmetro....74
Figura 28 Variación de Resistencia....91
Figura 29 Resistencia Óhmica - Milióhmetro....94
Figura 30 Variación de temperatura....95
Figura 31 Variación Absoluta....96
Figura 32 Validación Experimental de Resistencia....97
Figura 33 Comparación entre Motores Generadores por Falla de Aislamiento....99

CAPITULO I

1.1 Introducción

El progreso tecnológico en la industria automotriz ha impulsado la incorporación de sistemas de alta tensión en vehículos híbridos y eléctricos, los cuales solicitan procedimientos de diagnóstico precisos y seguros. Estos sistemas, al operar con tensiones superiores a los 400 V, requieren un control cuidadoso del aislamiento eléctrico y de la resistencia de sus componentes para garantizar un funcionamiento eficiente y evitar fallos eléctricos.

En la presente investigación se presenta lo importante que es el uso especializado de herramientas de diagnóstico como el Megóhmetro y Milióhmetro para evaluar la integridad del aislamiento y la resistencia interna de los devanados implementando metodologías de diagnóstico para el correcto diagnóstico.

1.2 Problema de Investigación

La transición hacia nuevas tecnologías en la industria automotriz ha impulsado el desarrollo de vehículos híbridos y eléctricos en el mercado[1]. Estos vehículos, caracterizados por su complejidad técnica, presentan desafíos como mantenimiento y diagnóstico, especialmente en sus sistemas de alto voltaje. En este contexto, los talleres mecánicos enfrentan una brecha tecnológica que limita su capacidad de realizar diagnósticos precisos, debido a la falta de herramientas especializadas como el Megóhmetro y el Milióhmetro [2]. Esta situación pone en riesgo tanto la seguridad de los usuarios como el desempeño de los vehículos, lo que resalta la necesidad de abordar esta problemática.

Los vehículos híbridos y eléctricos emplean sistemas de alta tensión que funcionan dentro de un rango de 200 a 900 V [3], en donde el aislamiento eléctrico es importante para el funcionamiento

seguro de estos. Con el paso del tiempo, los materiales aislantes pueden sufrir un deterioro provocado por el uso constante, factores ambientales desfavorables y su desgaste propio [4].

El desgaste propio provocado por fallas en su aislamiento provoca fallas en el sistema eléctrico relacionado con la seguridad, sin equipos de diagnósticos correcto para medir grandes variaciones de resistencias no es posible identificar estas fallas comunes [5].

El correcto diagnóstico de un sistema de alta tensión en este tipo de vehículos depende del correcto uso de los equipos y sus rangos de mediciones como el megohmio y el miliohmios, tales magnitudes no son fácilmente detectadas con un equipo convencional de diagnóstico, por lo tanto, es necesario implementar una investigación del proceso de diagnóstico y el correcto análisis de los resultados obtenidos.

El aporte de esta investigación va más allá de entender la parte técnica de estas herramientas. Lo que buscamos es crear estrategias reales para aplicarlas en los talleres de la Universidad Técnica del Norte. Al hacerlo, los diagnósticos serán más precisos y el entorno de aprendizaje resultará mucho más seguro para los estudiantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo General*

Diagnosticar sistemas de alta tensión en vehículos híbridos y eléctricos mediante el uso del Megóhmetro y Milióhmetro en la medición aislamiento resistencia para el mantenimiento preventivo y mejora de los procedimientos de diagnóstico.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

-Analizar las características técnicas y funcionamiento de herramientas de diagnóstico como el Megóhmetro y el Milióhmetro, su precisión en la medición de resistencia y aislamiento en sistemas de alta tensión de vehículos híbridos.

-Desarrollar procedimientos para medir resistencia y aislamiento en redes de alta tensión en vehículos híbridos, implementando herramientas avanzadas de diagnóstico.

-Evaluar la precisión de las herramientas de diagnóstico en condiciones de operativas como talleres y laboratorios validando su efectividad en diferentes entornos.

1.4 Alcance

Esta investigación se centrará en la evaluación de sistemas con alto voltaje en vehículos eléctricos e híbridos, utilizando equipos de medición especializados como el Megóhmetro y el Milióhmetro. El estudio se centra en analizar las características técnicas de los equipos de diagnóstico, por medio de su contraste con la normativa de validación, para evaluar la precisión en mediciones como resistencia y aislamiento, y simulando condiciones operativas en el taller automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

Para delimitar el estudio, nos centraremos únicamente en la parte eléctrica de los sistemas de alta tensión; en concreto, en su resistencia y aislamiento en el transeje y su conjunto de Moto Generadores. Por este motivo, el análisis de piezas mecánicas o de otros sistemas electrónicos del

vehículo queda fuera de nuestro alcance. Lo que buscamos es aportar datos útiles que animen a los talleres a implementar herramientas de diagnóstico más modernas en el mantenimiento automotriz.

1.5 Justificación

El aumento en el uso de vehículos híbridos y eléctricos en Ecuador ha sido favorecido por iniciativas gubernamentales, como la Ley Orgánica de Eficiencia Energética. [6] y la Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible [7]. Estas normativas tienen como finalidad impulsar la adopción de tecnologías sostenibles y la reducción de emisiones de CO_2 en el sector transporte, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU en particular con el objetivo 13, enfocado en la descarbonización [8]. Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), el 9% de los automóviles comercializados en país durante 2023 fueron híbridos o eléctricas, reflejando una creciente tendencia en el mercado nacional [9].

En el Artículo 22 de la ley orgánica de eficiencia energética [10], destaca en la implementación de mecanismos, que incentiven al transporte eléctricos ya sea particular o público estas medidas incentivara a la movilidad eléctrica, garantizando estándares de calidad en el mantenimiento y diagnóstico de estos vehículos. Este conjunto de leyes ayuda a justificar de manera positiva el desarrollo de los vehículos híbridos y eléctricos, además de sustentar el apoyo externo que se tiene para que su desarrollo no se estanque.

La ONU, se pronuncio por medio de un informe de 2022 relacionado a la movilidad eléctrica en países latinos, y menciona que es importante la formación técnica para un correcto manejo [11]. Existe desconocimiento de parte de talleres que existen equipos de diagnóstico especializados como el Megóhmetro y Milióhmetro.Según el manual técnico de Toyota para vehículos híbridos eléctricos (HEV), estas herramientas son imprescindibles para diagnosticar fallas de aislamiento que pueden comprometer tanto la seguridad como el rendimiento del vehículo [5]. Estos factores

afectan directamente al mantenimiento en talleres por el desconocimiento de las herramientas lo que desencadena a un mal diagnóstico y además es primordial implementar para la formación de estudiantes en carreras técnicas automotrices, que como objetivo es el refuerzo por medio de prácticas reales simulando las demandas del mercado real.

La presente investigación aborda estas problemáticas al centrarse en el diagnóstico de sistemas de voltaje elevado en automóviles híbridos y eléctricos, utilizando herramientas, tales como el Megóhmetro junto al Milióhmetro. Según Chen [13], el uso de estas herramientas permite identificar con precisión fallas en el aislamiento, evitando riesgos de cortocircuito y fallas críticas en componentes de alto voltaje.

Además, se prevé que los resultados de esta investigación sirvan como línea base en la construcción de programas educativos más robustos en instituciones técnicas de nuestra institución UTN, mejorando las competencias prácticas de los futuros profesionales del sector Automotriz al ser uno de los principales beneficiarios de la investigación presente los estudiantes de CIAUT-UTN, lo cual les permite formarse en el diagnóstico por medio de equipos especializados y protocolos de medición basados en normas internacionales. Finalmente, esta investigación contribuirá a resolver problemas concretos relacionados con la precisión en la medición de resistencia y aislamiento en sistemas de alta tensión, brindando una base técnica y práctica para mejorar la calidad de la formación técnica [12].

2 CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el último periodo, el impacto ambiental causado por la electromovilidad de los vehículos terrestres de combustión interna se ha convertido en una preocupación global, debido a las altas emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos asociados a este tipo de transporte. Según la Organización Meteorológica Mundial, el calentamiento global ha alcanzado niveles alarmantes, con concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera que superaron el 50% en el 2018 [11].

Las emisiones de CO2 de los vehículos representa al 94% de emisiones generadas por el sector automotriz, además existen otros contaminantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOX) y material particulado representando un 6% adicional de contaminación [12].

Este análisis de ciclo de vida (ACV), es importante en la evaluación de impacto ambiental, considera todas las etapas del ciclo de vida, incluyendo la extracción de materias primas, fabricación, uso y reciclaje. Aunque los vehículos eléctricos presentan grandes beneficios en la fase de uso debido a sus bajas o nulas emisiones, la producción de baterías de ion-litio representa un impacto ambiental significativo. [13].

El objetivo de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26), es la reducción de gases de efecto invernadero mundialmente en 200 países, a pesar que la conferencia proporciona nuevos cimientos como la determinación que todas las ventas de vehículos y furgonetas para el año 2040 emisiones cero además a nivel internacional y para 2035 en los mercados líderes, lo que acelerará la descarbonización del transporte por carretera, que es la actual responsable de alrededor del 10 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero [14].

Por causa de las emisiones globales, el sector automotor ecuatoriano ha avanzado significativamente hacia la movilidad sostenible. En el mercado de vehículos electrificados lograron crecimientos anuales siendo en el año 2021 el 230 %, en el 2022 el 67 % y en el 2023 75 %, respectivamente, alcanzando 12.275 unidades vendidas al cierre de 2023, lo que representó el 9 % de las ventas totales. Este crecimiento posiciona a Ecuador como un líder regional en la adopción de tecnologías limpias, impulsado por incentivos tributarios y el creciente interés por reducir la huella de carbono [9].

2.2 Conceptos y Magnitudes Eléctricas

2.2.1 *Corriente Eléctrica*

La corriente eléctrica constituye el fenómeno fundamental para el análisis de los sistemas eléctricos en la tecnología automotriz. Se define operacionalmente como el movimiento direccional de electrones a través de un material que posee conductividad eléctrica. La **Figura 1** ilustra los dos tipos de corriente eléctrica, el voltaje que tiene la intensidad constante es la corriente continua a diferencia de la alterna que su intensidad o voltaje oscilan.

Físicamente, el sentido real implica que los electrones viajan del polo negativo al positivo. Sin embargo, por pura costumbre histórica y facilidad de cálculo, los técnicos adoptaron el llamado "sentido convencional", que funciona exactamente al revés: del positivo al negativo. La energía nace en el borne positivo de la batería, alimenta a los diferentes módulos o accesorios de consumo, y cierra el circuito al aterrizar en la masa o negativo del carro.

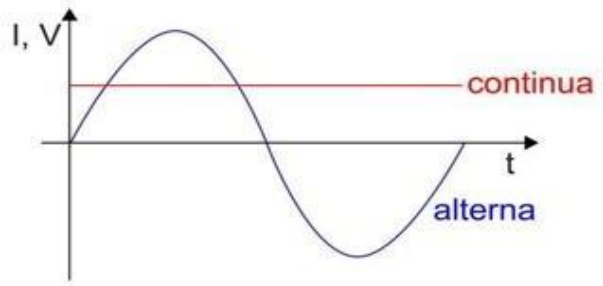


Figura 1 Corriente Continua – Corriente Alterna
(Tomado de Hard Zone Electronics [13])

2.2.2 *Tensión*

La tensión o voltaje se aclara como la diferencia de energía potencial entre dos puntos dentro de un circuito eléctrico. Esta diferencia surge porque un punto posee mayor carga que otro, lo que genera un flujo de electricidad. Se mide en voltios (V), una unidad que representa la cantidad de energía potencial capaz de compartir un joule de energía por cada coulomb de carga que circula a través del sistema. El término "voltio" fue nombrado en honor al físico italiano Alessandro Volta, quien desarrolló la primera batería química. En ecuaciones y esquemas eléctricos, el voltaje se simboliza con la letra "V"[14].

En función como se comporta la tensión, hay de dos tipos básicos de corriente: la Corriente Continua (CC) y la Corriente Alterna (CA). Una CC es aquella en que el valor de la tensión siempre es el mismo. Una CA es aquella en que el valor de la tensión va oscilando repetidamente de una forma sinusoidal entre dos valores extremos, uno positivo y el otro negativo [15].

2.2.3 *Intensidad*

La intensidad de corriente eléctrica es una magnitud fundamental que describe el flujo de carga eléctrica a través de un conductor en la unidad de tiempo. Se define como la cantidad de electrones o más precisamente, la cantidad de carga que atraviesa una sección del circuito en un segundo, y

su unidad de medida es el amperio. Un Amperio (A) equivale al paso de 1 coulomb de carga por segundo, lo que corresponde aproximadamente a 6.24×10^{18} electrones desplazándose a través de un punto del circuito. La intensidad depende directamente de la diferencia de potencial aplicada y de las características eléctricas del conductor. En formulaciones, diagramas y análisis de circuitos, la corriente se representa con la letra "I" [15].

En términos eléctricos, esto significa que la corriente es más baja cuando hay mayor resistencia al paso de la carga. Además, la intensidad se mide con un amperímetro y este se debe conectar en serie [14].

2.2.4 *Resistencia*

Todo material se opone, en mayor o menor medida, al paso de la electricidad; a esta reacción natural la conocemos como resistencia eléctrica. Este valor no es estático, ya que cambia drásticamente dependiendo de la temperatura, las medidas del conductor y el tipo de material del que hablemos. En la práctica, si un componente tiene mucha resistencia, actúa como un freno para los electrones y baja la intensidad de la corriente. Si tiene poca, la energía fluye sin problemas. Por eso, a la hora de diagnosticar fallos, medir este parámetro se vuelve obligatorio para saber si las piezas están sanas o si el circuito presenta problemas [14].

La resistencia eléctrica se mide en ohm (**Ω**) con un óhmetro, para realizar esta medida se debe desconectar el elemento a medir del circuito y no puede haber corrientes externas que perturben la medida, además, es importante saber que existen diferentes tipos resistencia esto depende del material y la temperatura que tenga el elemento llamados NTC Y PTC.

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad \textbf{Ecuación 1}$$

Donde:

R = Valor de la resistencia eléctrica en ohmios

ρ = Resistividad en ohm-metro (Ωm)

L= longitud de material en metros

A = área transversal medidas en metro cuadrado.

2.2.5 *Aislamiento*

El sistema de aislamiento en los motores eléctricos de inducción está compuesto por materiales con baja capacidad de conducción eléctrica y el campo magnético. Su función principal es garantizar la seguridad, porque separa los conductores entre sí para prevenir cortocircuitos y protege a los operarios de posibles descargas eléctricas al mantenerlos alejados de las partes con tensión. Además, el aislamiento debe ser eficiente para evitar el contacto con la tierra, asegurando una barrera de protección adicional. Más allá de la seguridad, el aislamiento es fundamental para el funcionamiento del motor, sin él su flujo de corriente a través de los devanados y la interacción entre los campos electromagnéticos no podrían producirse, lo que impediría que el motor realice su trabajo de manera efectiva [16].

El muro aislante cumple la función de prevenir los cortocircuitos a tierra, siendo el componente aislante de mayor grosor, al separar la bobina del exterior. Debe ser capaz de soportar los voltajes correspondientes al nivel de aislamiento del motor, es crucial tener una alta resistencia en estos circuitos de altos voltajes. Para conocer esta resistencia necesitamos sacar datos con una herramienta de medición, se debe realizar tal como se muestra en la **Figura 2**. En cuanto al aislamiento entre espiras o conductores, cada espira está compuesta por conductores individuales, por lo que es necesario un aislamiento efectivo entre ellas para evitar cortocircuitos. Este

aislamiento debe resistir el voltaje entre las espiras, y su función primordial es garantizar la separación eléctrica adecuada.

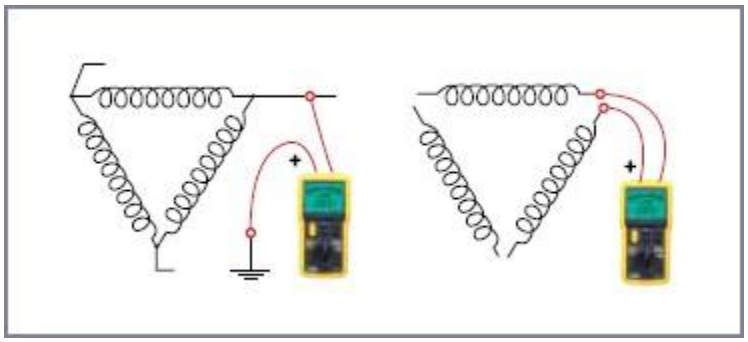


Figura 2 Medición de Aislamiento
(Tomado de Chauvin [17])

El sistema aislante se conforma por tres elementos: material aislante, estructura de soporte y aglomerante. El material aislante más común es la mica, que se emplea en láminas o en forma de papel compuesto por partículas de mica. La fibra de vidrio o el poliéster se utilizan como material de soporte estructural, mientras que las resinas sintéticas epoxi se emplean como aglomerantes. La combinación de estos materiales conforma el sistema aislante. Para las bobinas, existen diversos tipos de encintado, pero el más efectivo es el uso de cintas porosas. Una vez envuelta la bobina, se procede al proceso de impregnación, que consiste en eliminar la humedad de la bobina mediante calentamiento, y luego sumergirla en resina de impregnación bajo condiciones de vacío. Esta técnica se presuriza y mantiene durante un tiempo determinado [18].

2.3 Almacenamiento de Energía

Una batería, o acumulador electroquímico, es un dispositivo capaz de transformar energía química en energía eléctrica mediante un proceso de óxido-reducción (redox) reversible.

La estructura fundamental de una celda galvánica se compone de:

- Un Cátodo (polo positivo durante la descarga).
- Un Ánodo (polo negativo durante la descarga).
- Un Electrolito (puede ser líquido, gel o sólido), que es el medio iónico que permite el flujo de carga internamente.

El funcionamiento se basa en que las reacciones químicas que ocurren en las placas liberan electrones. Como se ilustra en la **Figura 3**, para que se establezca la reacción y se produzca la corriente eléctrica, los electrones deben circular externamente a través de un circuito eléctrico de carga. Este flujo sostenido de electrones representa la transferencia de energía del sistema de almacenamiento al circuito de alta tensión del vehículo.

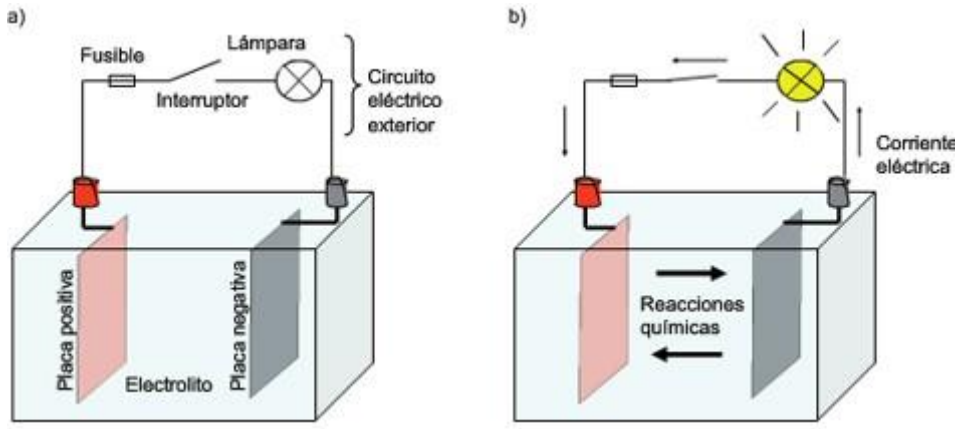


Figura 3 Proceso de transformación de energía eléctrica en química
(Tomado de Steemit [18])

2.3.1 *Tipos de Baterías HV*

Las baterías de alta tensión (HV) utilizadas en vehículos híbridos y eléctricos pueden clasificarse en varios tipos según su composición en la parte química, eléctrica, rendimiento, aplicaciones y coste. La tabla 1, compara diferentes tipos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos e híbridos,

destacando sus características técnicas clave, las baterías más principales son: plomo-acido, níquel-cadmio, niquel-hidruro metálico, ión-lítio y ión-polimero.

Tabla 1 Tipos de baterías

Tipo de Batería	Voltaje	Densidad Energética (Wh/kg)	Potencia Específica (W/kg)	Ciclos de Vida	Tiempo de Recarga (0-80%)	Intensidad (Ah)	Resistencia (mΩ)	SOC (%)	SOH (%)	C-Rate	Aplicaciones	$/kWh
Níquel-Metal Hidruro (Ni-MH)	200V - 300V	60 - 120	200 - 1000	150,000 - 300,000	30 min – 2 horas	10 - 50	20 - 100	20 - 80	70 - 100	0,5 - 1	HEV (híbridos convencionales)	**250**
Iones de Litio (Li-Ion)	200V - 800V	150 - 250	250 - 3000	1,000 - 3,000	30 min – 8 horas	50 - 300	5 - 20	10 - 90	70 - 100	1 - 3	HEV, PHEV, BEV, REEV	**100**
Polímero de Litio (Li-Po)	200V - 400V	180 - 250	500 - 1500	500 - 2,000	30 min – 4 horas	100 - 400	3 - 15	10 - 90	70 - 100	2 - 5	BEV deportivos y alto rendimiento	**200**
Litio-Ferro fosfato ($LiFePO_4$)	300V - 700V	90 - 160	300 - 2000	2,000 - 7,000	40 min – 2 horas	50 - 250	10 - 30	10 - 90	70 - 100	1 - 2	PHEV, BEV de rango medio	**90**

Las baterías de iones de litio (Li-Ion) son las más utilizadas en vehículos eléctricos e híbridos por su alta eficiencia, durabilidad y peso como se expresa en la **Figura 4**. También se emplean baterías de níquel-metal hidruro (Ni-MH), aunque con menor rendimiento. Estos sistemas incorporan protecciones térmicas y electrónicas para garantizar la seguridad. Las nuevas tecnologías, como las baterías de estado sólido, buscan mejorar la autonomía, la recarga y la seguridad [19].

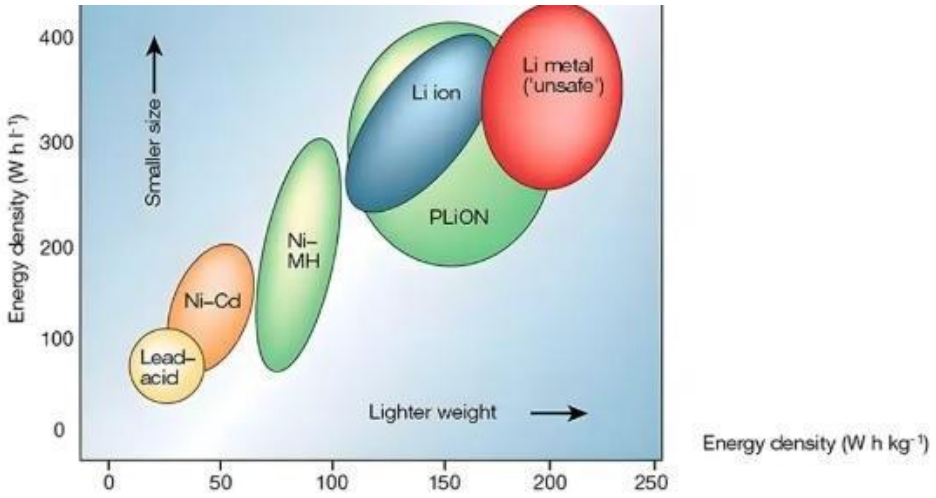


Figura 4 Densidad energética de batería de alta tensión (HV)
(Tomado de Reserchgate Densidad de energía [20])

2.4 Máquinas Eléctricas

2.4.1 *Principio de Funcionamiento*

El funcionamiento de un motor eléctrico lleva su fundamentación en los principios de las leyes electromagnéticas sobre la interacción entre campos magnéticos, la cual se menciona que si existe dos campos magnéticos del mismo signo se repelen y por lo contrario dos campos magnéticos diferentes se atraen, con esta dos fuerzas actuando entre si produce una fuerza sobre el imán fijo hasta alinearse con el imán móvil, para completar su funcionamiento completo es necesario que

unos de los imanes permanentes sea un electroimán este produce el cambio de polaridad del campo magnético[15].

Unos de los motores más utilizados en la actualidad son los de corriente CA, poque han demostrado mayor eficiencia al momento de realizar un trabajo unos de los motores son los: asíncronos síncronos y de reluctancia. En la **Figura 5**, ilustra los diferentes motores con corriente ya sea CA O CC.

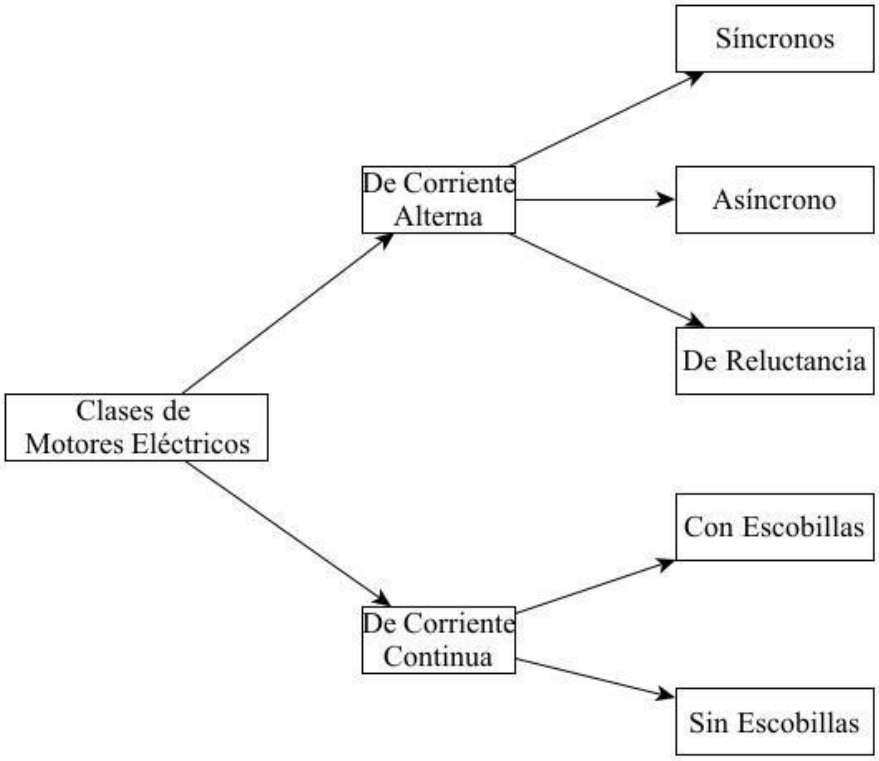


Figura 5 Clasificación de motores eléctricos
(Tomado de Universidad Nacional Autónoma de México [21].)

2.4.2 *Motor de Corriente Continua*

Se basa fundamentalmente de inducción electromagnética y sus componentes: rotor y estator, el estator va en el bobinado y genera el campo magnético en la parte fija, mientras que el rotor central gira solidario al eje, su funcionamiento con CC consta en generar el campo magnético fijo y crear

otro campo magnético en el rotor. Las escobillas son necesarias para cambiar el sentido de giro se menciona eje cuando el polo del imán rotor está cerca del polo fijo opuesto del estator, el imán del rotor debe volver a girar atraído por el estator. Entonces las escobillas hacen la parte mecánica para que el rotor nunca se junte al estator y consiga el trabajo completo [15].

Características: media-alta densidad de potencia, alta capacidad sobrecargar/par arranque baja eficiencia, bajo nivel de ruido, robustez mecánica, baja eficiencia térmica y costo elevado.

Una variante es el motor de corriente continua sin escobillas su característica principal es su fácil mantenimiento al no traer escobillas y menos electrónica, su funcionamiento se genera un electroimán a partir de la corriente inyectada en el devanado del estator, que será perseguido por el imán del rotor. La disposición del bobinado del rotor con ayuda de un sensor se posición es lo principal para conseguir un trabajo completo [22].

2.4.2.1 Motores Eléctricos de CC con Escobillas.

Este tipo de motores tienen los mismos principios que los motores mencionados anteriormente, formado el estator acompañado de su conjunto de bobinas alimentadas por corriente continua.

El estator está formado por unas escobillas fijas en su estructura y un cilindro móvil con unas placas llamadas delgas que su función es cuando está en movimiento estas friccionan con las escobillas permitiendo el paso de corriente hacia el bobinado interior para interactuar con el campo magnético del estator, al surgir esta interacción se provoca un giro del rotor, acompañado del trabajo de las delgas que provoca que la corriente fluya en diferente sentido cambiando el ángulo para un giro completo del rotor [23].

2.4.2.2 Motores Eléctricos de CC sin Escobillas.

Se caracteriza por tener la misma estructura a los motores de corriente alterna síncronos se diferencian el tipo de corriente que usan para su trabajo. Por lo tanto, un motor de CC sin escobillas se constituye del rotor con imanes permanentes y el estator con sus bobinas alimentadas por corriente continua [24].

2.4.3 *Motor de Corriente Alterna*

2.4.3.1 Motores Eléctricos Síncronos.

El Motor Síncrono de Imanes Permanentes (PMSM), a menudo referido en la literatura como Motor Eléctrico de Imán Permanente, constituye la arquitectura predominante en los sistemas de propulsión de vehículos eléctricos e híbridos. Su principio de funcionamiento se basa en la interacción electromagnética del campo magnético del estator interactuando con los imanes permanentes del rotor, se caracterizan por su eficiencia en bajas velocidades.

Al inyectar corriente alterna trifásica en los devanados del estator, se induce un Campo Magnético Rotatorio (CMR). Este CMR establece un par de fuerzas de atracción y repulsión magnética con los polos del Imán Permanente del rotor, forzándolo a rotar.

La estructura representada en la **Figura 6** ilustra como el motor se divide en dos conjuntos principales:

- Conjunto Móvil (Rotor): Compuesto por un eje que sirve de soporte para el núcleo ferromagnético cilíndrico, donde se integran los imanes permanentes que generan el campo magnético del rotor.

- Conjunto Estático (Estator): Consta del armazón y tres devanados o bobinas trifásicas (denominadas U, V, y W) alimentadas por el inversor de alta tensión, cuya función es generar el Campo Magnético Rotatorio [24].

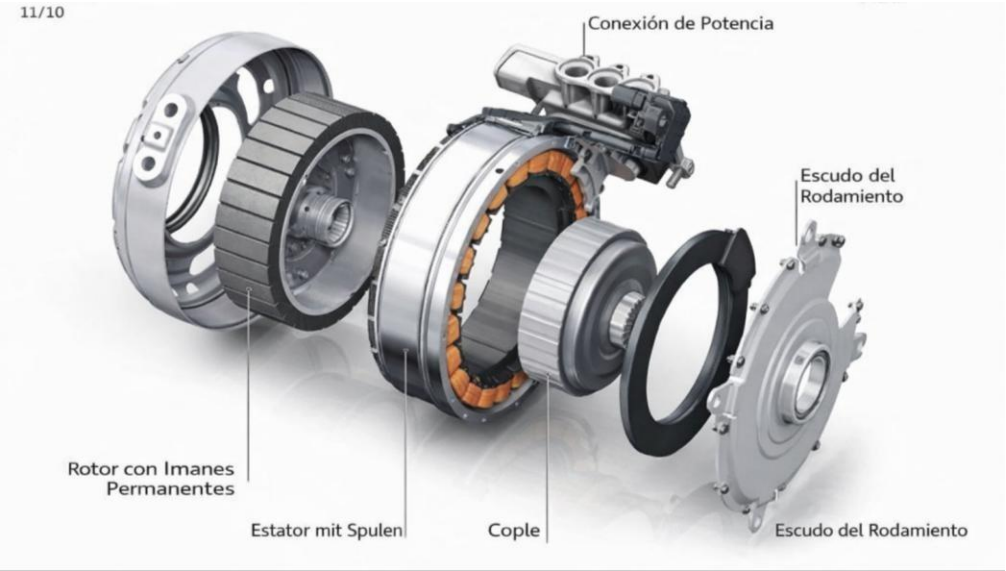


Figura 6 Despiece Motor Síncrono
(Tomado de Espíritu Racer [25].)

2.4.3.2 Motores Eléctricos Asíncronos.

Este tipo de motores se diferencia por no tener imanes permanentes, basa su funcionamiento en las leyes de inducción de Faraday, su estructura se representa en:

- El rotor formado por un circuito eléctrico y dos anillos unidos entre sí para formar una jaula.
- El estator cuyo trabajo es recibir una corriente eléctrica alterna para generar un campo magnético.

Los motores de inducción son motores asíncronos y funcionan a una velocidad que no coincide

directamente con la frecuencia de la corriente eléctrica que circula por sus devanados del estator. Este ligero desajuste, o "deslizamiento", entre la velocidad del motor y la frecuencia de la corriente es lo que diferencia a los motores asíncronos de los síncronos.

La **Figura 7**, muestra una representación esquemática del principio de operación de un motor asíncrono trifásico, destacando la formación del campo magnético giratorio en el estator. En la periferia interna del motor se observan las bobinas distribuidas por fases (A, B y C), identificadas mediante diferentes colores. Cada fase es alimentada con corriente alterna desfasada 120°, lo que produce un conjunto de campos magnéticos pulsantes que, combinados, generan un campo magnético resultante en rotación [26].

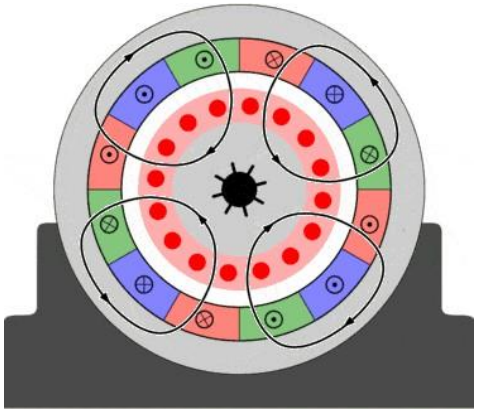


Figura 7 Motor Asíncrono
(Tomado de Automoción [27].)

2.4.3.3 Motores Eléctricos de Reluctancia.

Tiene como base tomar la importancia el tipo de material ya que así se conoce la reluctancia de este material, por lo tanto, los materiales que permiten el paso del magnetismo fácilmente se conocen que tiene baja reluctancia, al contrario, un material que retiene el paso al campo magnético tiene mayor reluctancia.

Los motores de reluctancia se basan en estos principios, por lo tanto, un motor de reluctancia necesita trabajar con materiales ferromagnéticos de reluctancia baja e importante no tener magnetismo cuando está en reposo.

La **Figura 8** es un esquema grafico que es un apoyo para representar como el rotor está formado por alabes que son los cuales interaccionan con el campo magnético que se forma en el estator, formando así una interacción entre ellos lo que provoca que los campos magnéticos del estator que tienen variación de intensidad junto a los alabes se van alineando para mejorar el flujo magnético entre las bobinas para provocar el giro del rotor [26].

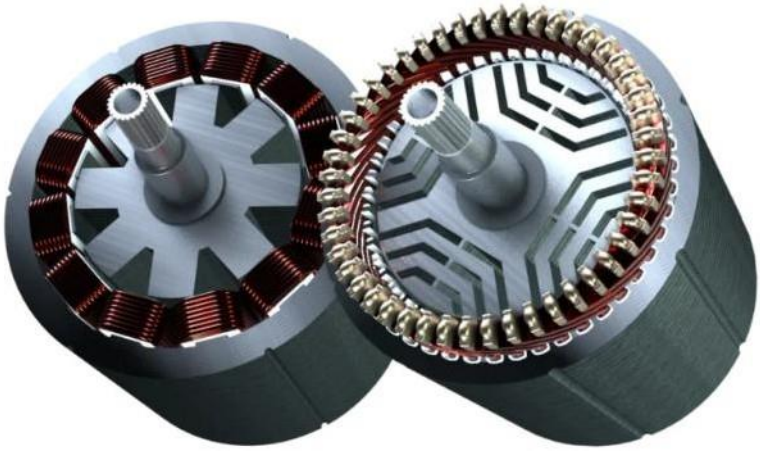


Figura 8 Motor eléctricos de reluctancia
(Tomado de Oswos [28].)

2.5 Arquitectura Vehículos Híbridos y Eléctricos

Los Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV) se diseñan a partir de la conexión entre sus componentes, lo que define cómo fluye la energía y cómo se controla. Inicialmente, se clasificaban en dos tipos de arquitectura: serie y paralelo. Como indica la **Figura 9**. Sin embargo, con los

avances tecnológicos, surgieron modelos que no encajaban en estas categorías, dando lugar a una nueva clasificación que incluye híbridos en serie, en paralelo, serie-paralelo y complejos.

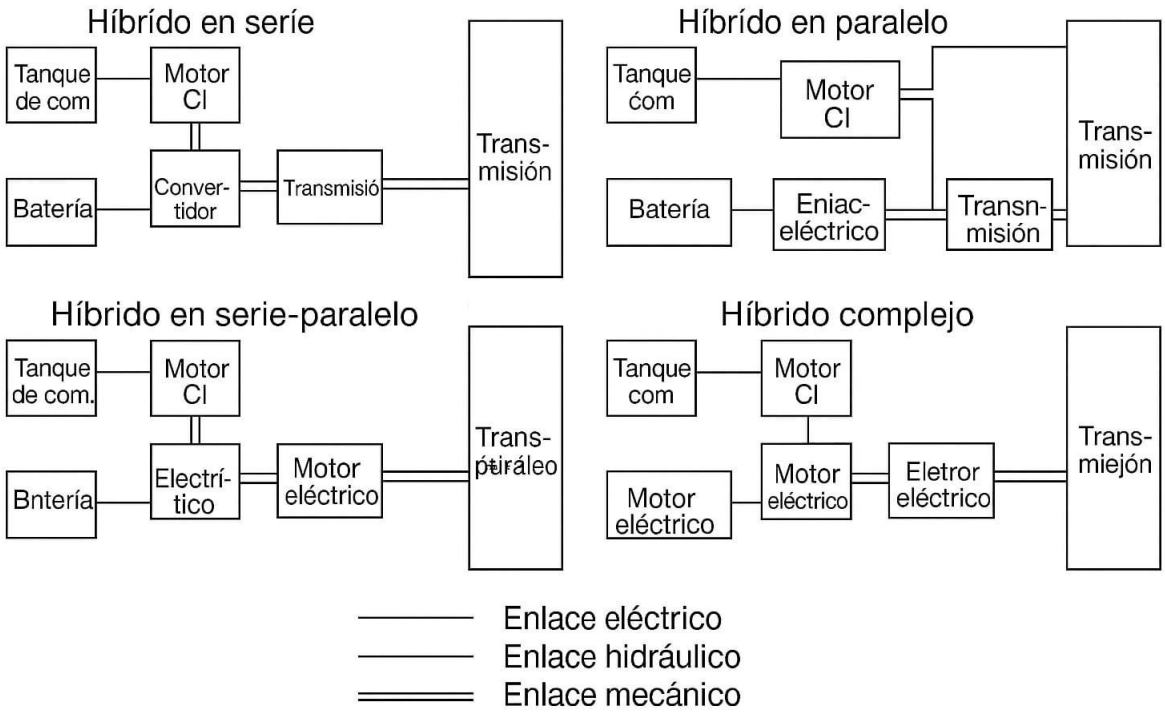


Figura 9 Arquitectura básica del tren motriz HEV: diseño en serie vs. diseño en paralelo (Tomado de Mehrdad Ehsani [29].)

2.5.1 *Tipología de Vehículos Eléctricos*

Los vehículos híbridos integran un motor de combustión interna y uno o más motores eléctricos para mejorar el rendimiento y reducir el consumo de combustible. El motor de combustión se activa en situaciones de alta demanda energética, mientras que el motor eléctrico funciona en condiciones de baja velocidad o conducción eficiente, como en el tráfico urbano. La Unidad de Control Electrónico (ECU) coordina ambos sistemas para optimizar su funcionamiento [30].

Esta tecnología, clasificada según la forma en que combina sus fuentes de energía como muestra la **Figura 10**, busca maximizar la eficiencia energética, reducir el uso de combustibles fósiles y

minimizar las emisiones contaminantes, posicionando a los vehículos híbridos como una alternativa más ecológica frente a los autos convencionales [31].

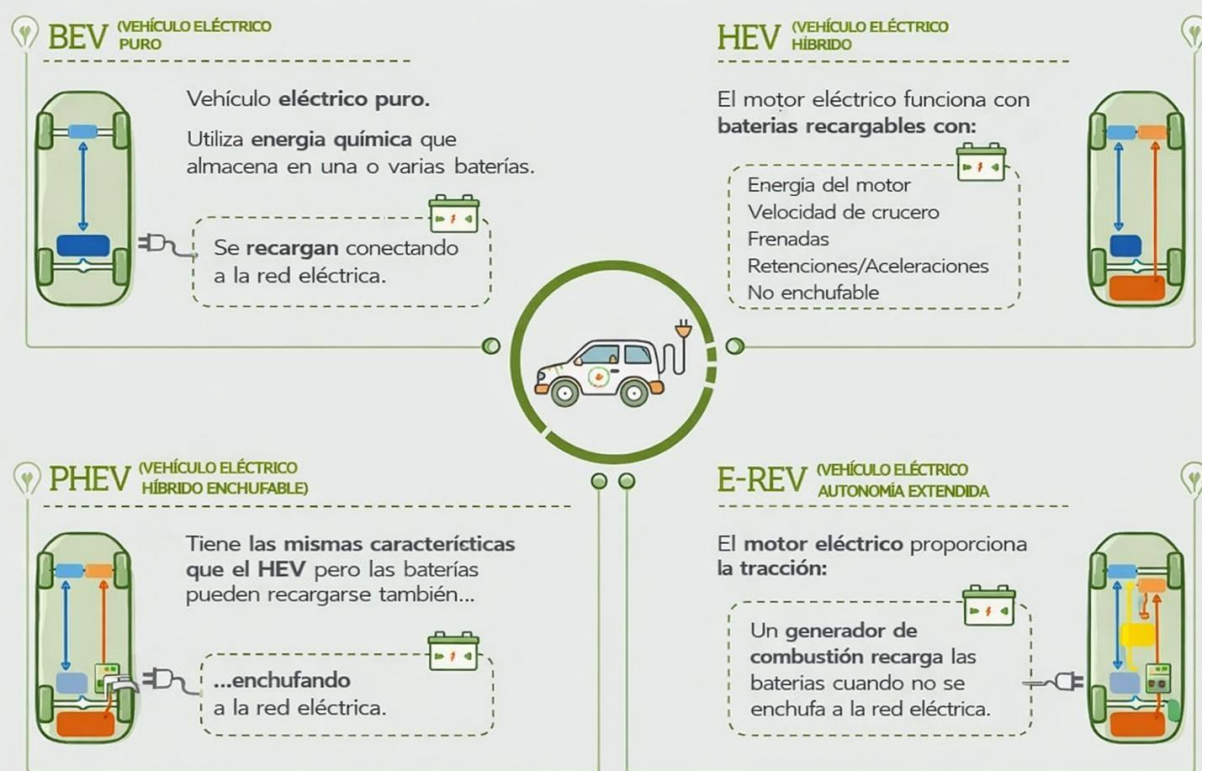


Figura 10 Tipología de Vehículos Eléctricos
(Tomado de Iberdrola [32]**.)**

En la Tabla 2 demuestra las diferentes clasificaciones de vehículos, como su descripción, fuentes de energía y nivel de electrificación por lo cual existen 8 tipos que son fundamental para entender los grados de electrificación.

Tabla 2 Tabla resumen con la clasificación ISO de los diferentes grados de electrificación

Clasificación	Descripción	Fuente de energía principal	Nivel de electrificación
Microhíbrido	Utiliza un sistema Start-Stop y frenado regenerativo, sin propulsión eléctrica.	Combustibles fósiles y recuperación de energía.	Baja electrificación (12V - 24V).
Mild Hybrid (MHEV)	Motor eléctrico apoya al de combustión, pero no impulsa el vehículo de forma independiente.	Combustibles fósiles con asistencia eléctrica.	Electrificación ligera (48V - 160V).
Vehículo Híbrido (HEV)	Integra un motor de combustión interna junto con un motor eléctrico. No se enchufa.	Combustibles fósiles y energía recuperada del frenado.	Electrificación parcial (200V - 300V).
Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV)	Híbrido con baterías más grandes que pueden recargarse mediante conexión a la red eléctrica.	Combustibles fósiles y electricidad de red.	Electrificación intermedia (300V - 400V).
Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV)	Funciona principalmente con electricidad, pero cuenta con un generador de combustión para extender la autonomía.	Electricidad con apoyo de un motor de combustión.	Electrificación avanzada (300V - 400V).
Vehículo Eléctrico de Batería (BEV)	Funciona exclusivamente con electricidad almacenada en baterías recargables.	Electricidad de la red o regeneración.	Totalmente eléctrico (400V - 800V).
Vehículo de Celdas de Combustible (FCEV)	Utiliza hidrógeno para generar electricidad mediante celdas de combustible.	Hidrógeno y electricidad generada internamente.	Totalmente eléctrico (400V - 800V).

Esta clasificación sigue los estándares internacionales, como la ISO 6469, para definir los niveles de electrificación y la fuente de energía de cada tipo de vehículo [33].

2.6 Convertidores de Potencia

El inversor es un componente clave en un vehículo híbrido, ya que integra varios elementos eléctricos y electrónicos, como el PMA, BOOSTER, rectificador e inversor, todos controlados por la unidad del sistema ECU HV. Su función principal es convertir la corriente continua en alterna, o viceversa, suministrando energía a los motores generadores en las transmisiones delantera y trasera [34].

En la **Figura 11** indica todas las partes que conforma un inversor, uno de eso elementos es el sistema de elevación de tensión, también conocido como reactor, es un componente esencial en el funcionamiento del inversor. Este mecanismo incluye un Módulo de Integración Integrado (IPM), el cual incorpora transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) encargados de gestionar la conmutación, además de un reactor cuya función principal es almacenar la energía [35].

Otro de los componentes que forma parte del inversor es el convertidor de corriente, conocido como LDC, cuya función es proporcionar energía a los sistemas auxiliares del vehículo, como las luces, el sistema de audio y el aire acondicionado (excepto el compresor del A/C), además de alimentar las unidades de control. electrónico (ECU). Opera con un sistema de 12 V CC. Dado que el generador del THS-II produce una tensión nominal de 201,6 V CC, el convertidor reduce esta tensión a 12 V CC para cargar la batería auxiliar [36].

Dentro del módulo del inversor encontramos dos elementos clave: uno dedicado exclusivamente al aire acondicionado (A/C) y un rectificador de corriente. Juntos se encargan de darle vida al compresor eléctrico y, de paso, facilitan la carga de la batería de alto voltaje (HV). Para que el compresor funcione correctamente, este sistema toma los 201,6 V de corriente continua que entrega la batería y los convierte a 201,6 V, pero en corriente alterna. [37].

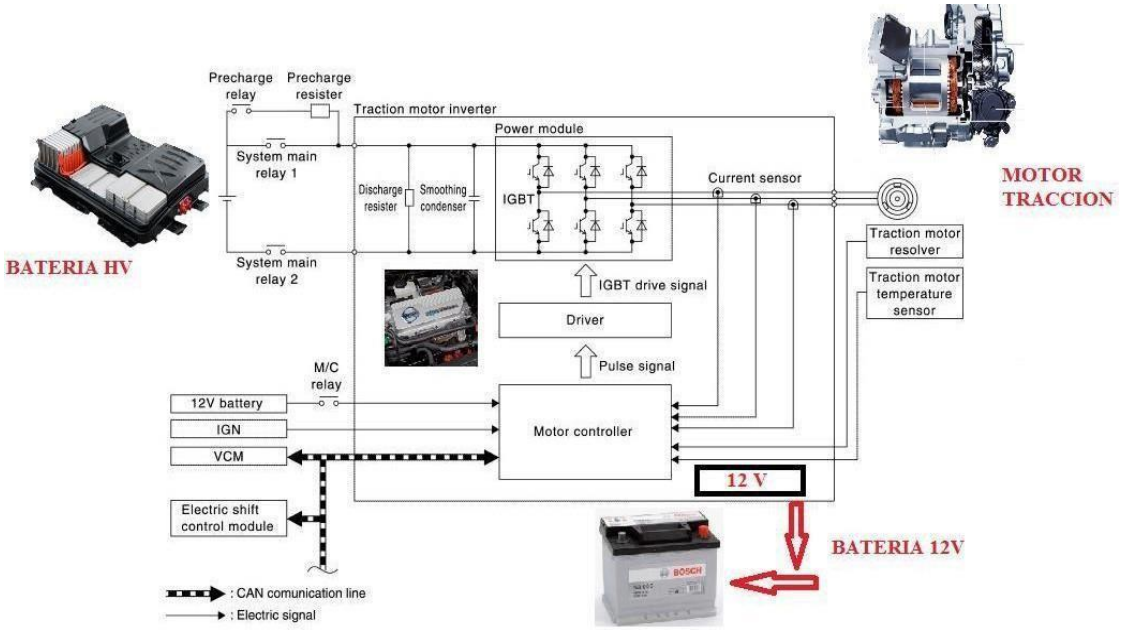


Figura 11 Unidad de control. Inversor
(Tomado de LEPQUER [38].)

El inversor en vehículos eléctricos es esencial para convertir la corriente continua (DC) de las baterías en corriente alterna (AC) que usan los motores. Regula la frecuencia y amplitud de la AC para optimizar rendimiento, eficiencia, aceleración y frenado regenerativo, aumentando así la autonomía y sostenibilidad del vehículo [39].

2.7 Equipos de Diagnóstico Eléctrico

2.7.1 *Seguridad*

Los vehículos híbridos y eléctricos requieren cumplir estrictas normas de seguridad en su mantenimiento y reparación para proteger a los técnicos y garantizar una correcta gestión de los sistemas de alta tensión, para complementar esta seguridad existen categorías de seguridad para trabajos con sistema eléctricos.

2.7.1.1 Categoría de Seguridad Eléctrica (CAT)

CAT es un sistema de clasificación utilizado para identificar el nivel de protección de los equipos y herramientas utilizadas en trabajos con sistemas eléctricos basados en la norma IEC 61010, en la tabla 3 tenemos la clasificación de categorías.

Tabla 3 Clasificación de Seguridad en Equipos de Medición

Categoría (Norma IEC 61010-1)	Nivel de Protección	Aplicaciones Comunes	Nivel de Riesgo y Energía	Voltaje Máximo Transitorio
CAT I	Protección básica contra bajas sobretensiones	Circuitos electrónicos, dispositivos de baja energía	Riesgo mínimo. Medición de baja tensión y señales electrónicas protegidas.	Hasta 600V
CAT II	Protección en equipos conectados a la red eléctrica	Electrodomésticos, herramientas eléctricas, enchufes	Bajo riesgo de picos, aunque pueden ocurrir sobretensiones transitorias.	Hasta 4 kV
CAT III	Protección en instalaciones fijas y sistemas de distribución	Tableros eléctricos, motores industriales, sistemas de alta tensión en vehículos híbridos y eléctricos	Alto riesgo de sobretensiones transitorias y alta energía de cortocircuito.	Hasta 6 kV
CAT IV	Máxima protección contra sobretensiones extremas	Acometidas eléctricas, transformadores, líneas de distribución	Riesgo más alto de picos de tensión y fallas de la red eléctrica.	Hasta 8 kV

*C*ertificación en seguridad de técnicos y profesionales que trabajan con sistemas eléctricos de alto riesgo [40].

2.7.2 *Multímetro CAT II*

La seguridad operativa constituye el criterio fundamental al interactuar con los sistemas de alta tensión (HV) en vehículos eléctricos e híbridos. Por ello, el protocolo de diagnóstico exige la utilización de un multímetro digital certificado, diseñado específicamente para soportar los

elevados niveles de tensión presentes en estos sistemas de propulsión como se en el multímetro de la **Figura 12**.

El instrumento debe adherirse rigurosamente a la normativa internacional IEC 61010, la cual establece los requisitos de seguridad que garantizan la protección del técnico ante picos transitorios de tensión o descargas disruptivas. Como se ilustra en la Tabla 4, el equipo adecuado debe poseer una Categoría de Sobretensión (CAT) mínima de CAT III 1000V o CAT IV 600V [33]. Estas clasificaciones aseguran el aislamiento galvánico y la robustez dieléctrica del circuito interno del multímetro en entornos de alta energía, además debe cumplir con la característica técnica de mantener su capacidad funcional en mediciones tanto en DC como en AC [41].



Figura 12 Multímetro
(Tomado de FLUKE [43].)

Tabla 4 Datos multímetro

Especificaciones	Descripción
Voltaje Max.	600V
Protección contra sobrecargas	Voltaje de pico de 6kV conforme a la norma IEC61010-1
Pantalla	600 recuentos Fz:4xsegundo
Temperatura de trabajo	-10°C A +50°C
Tipo de batería	9 voltios alcalina
Duración batería	Valor típico de 400 horas

Tomado de FLUKE [43].

2.7.3 *Osciloscopios Automotrices*

El osciloscopio automotriz es un instrumento fundamental para el diagnóstico avanzado, dado que permite el análisis en el dominio del tiempo de los parámetros eléctricos y electrónicos del vehículo. Su capacidad esencial radica en la visualización gráfica de la forma de onda de la señal como se demuestra en la **Figura 13**, una característica crucial para interpretar el comportamiento dinámico de los componentes bajo condiciones operacionales.

La interpretación de estas características facilita la identificación de fenómenos transitorios, fluctuaciones anómalas de tensión, intermitencias o fallos de sincronización en sistemas clave, como los de ignición, los actuadores y los sensores de posición. En consecuencia, el osciloscopio permite evaluar con precisión la integridad y la conformidad de la señal de los componentes electrónicos.

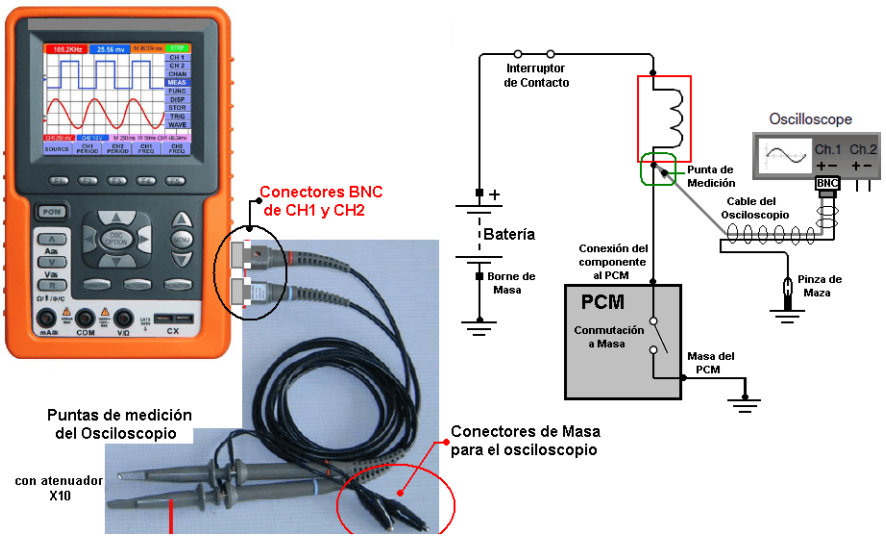


Figura 13 Osciloscopio, componentes y conexión
(Tomado de Autosoporte [43].)

La tabla 5 resume los parámetros críticos de la señal que pueden ser validados mediante este instrumento, tales como los niveles de voltaje pico a pico, la frecuencia, el ciclo de trabajo (duty cycle) y el tiempo de subida o bajada de la señal.

Tabla 5 Osciloscopio Pico-Scope 4000

Especificaciones	Pico-Scope 4000
Resolución	12 bits
Ancho de banda	20 MHz
Canales	2
Velocidad de muestreo	80 MS/s
Tamaño de búfer	16-32 M muestras
Entradas	1 M Ω impedancia
Rangos de tensión	± 500 V, ± 20V, ± 10V, ± 500 mV ± 200 mV, ± 100 mV, ± 50Mv.

Tomado de J. Bronks [44]

2.7.4 *Escáner Automotriz*

Es una herramienta indispensable en el diagnóstico de vehículos modernos, esencial para la identificación y resolución de problemas electrónicos. Estos equipos se enlazan al puerto de diagnóstico a bordo (OBD-II) del vehículo, facilitando la comunicación directa con las unidades de control. electrónico (ECU). En la **Figura 14** muestra un escáner automotriz, estos son capaces de leer y borrar códigos de diagnóstico de fallos (DTCs), monitorear datos en tiempo real provenientes de diversos sensores y sistemas, y realizar pruebas funcionales que evalúan el desempeño de componentes específicos [45].



Figura 14 Escáner Automotriz
(Tomado de Automotriz Escáner [46].)

El uso adecuado de un escáner automotriz permite a los técnicos identificar fallas de manera temprana, interpretar los datos con precisión y aplicar soluciones efectivas, lo que resulta clave para garantizar la seguridad y el óptimo desempeño del vehículo. Este análisis subraya la

relevancia de los escáneres en el diagnóstico automotriz, resaltando su impacto en la optimización de la eficiencia operativa y la disminución del tiempo de inactividad en los vehículos actuales. En la siguiente Tabla 6 se puede mostrar las características que deben cumplir los escáneres automotrices.

Tabla 6 Osciloscopio Launch X431 ProS V5

Equipo	**Launch X431 ProS V5**
Procesador Principal	Quad-core 2,0 GHz
Memoria	4 GB RAM + 64 GB Almacenamiento
Pantalla (Táctil)	8 pulgadas IPS HD (1820 x 800)
Sistema Operativo	Android 10
Batería	7000 mAh, Recargable
Conectividad	Wi-Fi 2,4/5GHz, Bluetooth, USB Tipo C
Software de Diagnóstico	Diagnóstico Inteligente (Cobertura +100 Marcas)

(Tomado de Automotriz Escáner [46].)

2.7.5 *Megóhmetro*

El Megóhmetro es un instrumento especializado en la medición de resistencias de aislamiento, con una capacidad de detección de hasta 8 GΩ y tensiones auxiliares ajustables de 250V, 500V y 1000V relacionando con la descripción de la Tabla 7. Asimismo, es capaz de medir resistencias de hasta 2 kΩ, lo que lo hace útil para pruebas de aislamiento y continuidad eléctrica. Este dispositivo incluye un comprobador de continuidad con señal acústica, facilitando la verificación rápida de circuitos. [47].

Tabla 7 Especificaciones Megóhmetro PCE-IT111

Característica	Especificación Recomendada
Rango de Medición	1 MΩ hasta 10 GΩ o más (modelos avanzados > 100 GΩ)
Voltaje de Prueba	250V, 500V, 1000V, 2500V, 5000V (según la aplicación)
Precisión	±5% estándar, modelos avanzados ±1%
Categoría de Seguridad	CAT III 600V o CAT IV 1000V (según norma IEC 61010)
Funciones Adicionales	Medición de corriente de fuga, PI, DAR, almacenamiento de datos
Conectividad	Modelos con USB, Bluetooth o memoria interna para registro de mediciones
Protección y Durabilidad	Resistencia a impactos, polvo y humedad (mínimo IP54)

(Tomado de PCE instruments [48].)

Además, es crucial utilizar EPP y asegurarse de que el entorno de trabajo esté seco y libre de elementos conductores. Se recomienda emplear un Megóhmetro con categoría de seguridad CAT III o CAT IV, según la norma IEC 61010, para garantizar su resistencia a sobretensiones. En la siguiente **Figura 15** se puede visualizar un Megóhmetro. Como seguridad, nunca se debe tocar directamente los cables de prueba mientras el equipo está en funcionamiento, y siempre se debe seguir el protocolo del fabricante para evitar daños en el dispositivo y posibles accidentes [47].



Figura 15 Megóhmetro
(Tomado de Hioki [49].)

2.7.6 *Milióhmetro*

El medidor de aislamiento Modelo LT-MO2001 es un instrumento de alta precisión diseñado para la medición efectiva de resistencias bajas, garantizando una evaluación confiable en diversas aplicaciones eléctricas y electrónicas, en la **Figura 16** se observa una mili óhmetro con su conexión "Kelvin".



Figura 16 Milióhmetro Modelo LT-MO2001
(Tomado de Twilight [50].)

Las características presentadas en la Tabla 8 conjunto a la nueva tecnología avanzada permite medir con precisión la resistencia en motores eléctricos, transformadores y circuitos impresos (PCB), asegurando el correcto funcionamiento y la seguridad de los sistemas eléctricos.

Tabla 8 Especificaciones Milióhmetro PCE-MO 2001

Especificación	Descripción
Rango de medición	Desde 1 μΩ hasta 200 Ω (según el modelo)
Método de medición	Cuatro hilos (Kelvin) para eliminar errores de cableado
Precisión	±0,1% a ±0,5%, dependiendo del rango y modelo
Resolución	Hasta 0.1 μΩ en modelos de alta precisión
Corriente de prueba	Desde 1 mA hasta 10 A (ajustable según aplicación)
Pantalla	LCD retroiluminada con indicación de valores y estado de batería
Fuente de alimentación	Batería recargable o alimentación externa de 220V AC
Normativas de seguridad	CAT III 600V / CAT IV 300V - IEC 61010
Modos de medición	Continuo, comparación y detección de contactos defectuosos
Funciones adicionales	Filtro de ruido, compensación de temperatura, memoria interna
Interfaz de conexión	USB, Bluetooth o RS-232 para transferencia de datos (según modelo)
Aplicaciones típicas	Pruebas en motores, transformadores, barras de distribución, sistemas de puesta a tierra

(Tomado de: PCE instruments [51].)

2.8 Normativa IEC 61010

El objetivo de la norma IEC 61010 es realizar un análisis de la validación de los equipos de diagnóstico manteniendo como prioridad la seguridad propia del personal y evitar que el equipo falle rotundamente en el diagnóstico, se debe comprobar que el equipo cumple con el protocolo de validación[52].

Para cumplir el propósito de la validación la norma recomienda realizar como primera fase tenemos la verificación documental que consiste constatar su conformidad legal y ficha técnica, como segunda fase consiste en verificar la integridad física y mecánica de los equipos de diagnóstico, y la última fase es indispensable verificar el rango de resolución, tomando como base una resistencia conocida además de agregar el porcentaje de tolerancia propia del equipo.

2.9 Normativa Nema MG1

El principal objetivo de la normativa mencionada es establecer un lineamiento organizado para realizar una correcta metodología de diagnóstico en los embobinados frente al paso de la corriente, manteniendo como prioridad la seguridad propia del personal antes que las mediciones. Como primer punto antes de las mediciones se debe seguir el protocolo de descarga de la maqueta de trabajo y verificación de energía residual, asegurando la energía “cero”, realizamos el siguiente protocolo de conexión del equipo de diagnóstico con la maqueta de trabajo, se procede hacer el test de resistencia de los devanados con el rango adecuado[53].

La normativa menciona como característica principal al realizar el diagnóstico de los devanados del motor, la resistencia medida entre las fases debe ser idéntica manteniendo como criterio optimo un desbalance de 1%, mayor de 2% y 3 %, se establece que existe un desbalance de las bases, lo

cual el criterio delimita a un problema como un cortocircuito entre las espiras de las fases del motor.

2.10 Normativa IEEE std. 43

Para realizar un diagnóstico de una falla de aislamiento en un sistema de alta tensión debemos guiarnos en los fundamentos de la norma IEEE 43, el cual como objetivo principal va continuar siendo la seguridad propia del personal de diagnóstico, antes que las el diagnóstico siguiendo el protocolo de descarga y la verificación de energía residual, elegimos el rango de tensión adecuado dependiendo del rango del vehículo y el equipo de diagnóstico, elevando el voltaje para forzar al material aislante a un rango elevado lo cual ayuda a encontrar fugas de corriente[54].

Como resistencia estándar de aceptación de resistencia de aislamiento entre fases y carcasa recomienda que no puede ser menor que 100 MΩ o variaciones bruscas de resistencia entre los devanados, se considerando valores inferiores a una falla en su aislamiento.

3 CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

La **Figura 17** muestras el flujograma de esta investigación que es de carácter cuantitativo-aplicado. El estudio se estructura en tres fases fundamentales para asegurar la validez de los resultados. Como proceso inicial se empieza a determinar las variables de estudio donde se establecen las referencias normativas de seguridad y diagnóstico, para la siguiente fase de la selección de equipos se compara los mismos bajo características como disponibilidad, rango, batería, entre otro.

La investigación inició con los Ensayos Piloto, una revisión preliminar necesaria para definir cómo se abordaría el diagnóstico. Después, mediante los Ensayos Válidos, se contrastó la información obtenida contra los valores normativos de la industria. Todo este proceso dio como resultado la creación del protocolo preventivo, cumpliendo así con las metas del proyecto.

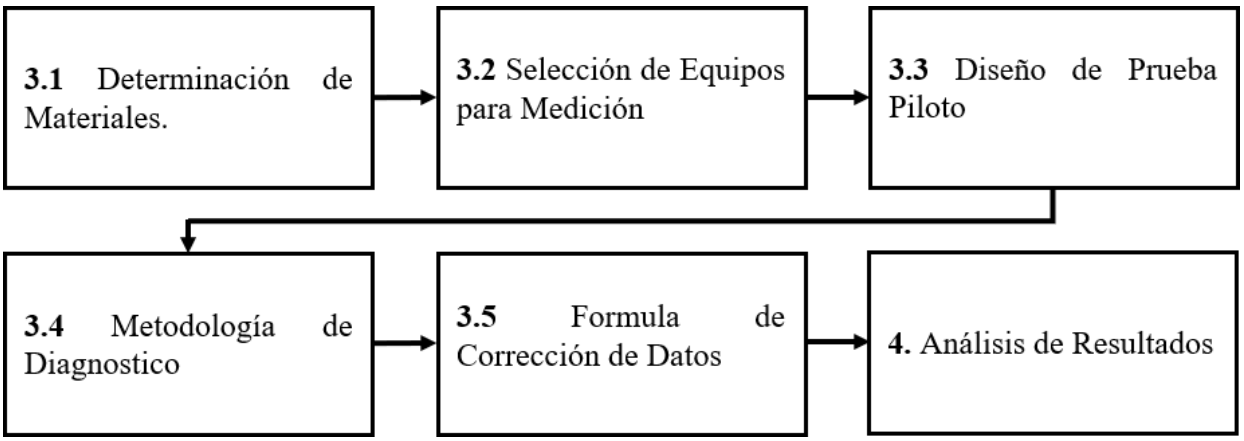


Figura 17 Diagrama de flujo de actividades del proyecto de Titulación

(Autoría Propia)

3.1 Determinación de Materiales

Las variables de estudio se orientan al análisis del sistema de alta tensión de los motores-generadores MG1 y MG2 en HV, considerando como parámetros fundamentales la resistencia de aislamiento y la resistencia óhmica de sus devanados. Estas variables permiten evaluar la integridad eléctrica y la condición operativa de ambos componentes mediante mediciones realizadas con Megóhmetro y Milióhmetro. Su determinación se sustenta en criterios técnicos y normativos, posibilitando la identificación de degradación del aislamiento, desbalances de fase o posibles fallas eléctricas que comprometan el desempeño del sistema híbrido.

3.2 Selección de los Equipos de Diagnostico

La selección de los equipos se basó en el requerimiento de evaluar integralmente los dos parámetros críticos que definen la integridad de un sistema HV: la resistencia de aislamiento y la resistencia del conductor. Para ello, se especificó el uso concurrente del Megóhmetro y el Milióhmetro.

En el contexto automotriz, este análisis es crítico para detectar fallos de aislamiento (fugas a tierra) entre el sistema HV y el chasis, requisito ineludible de la seguridad operativa y parámetro clave para el mantenimiento predictivo [55].

La selección de los componentes electromecánicos es clave para garantizar la idoneidad técnica y el rendimiento óptimo de los equipos en el entorno operativo del vehículo, se estableció un sistema de ponderación cualitativa, la cual se presenta en la Tabla 9, cada característica relevante fue sometida a una escala de valoración ordinal en un rango de 1 a 5, donde la puntuación de 5 representa el criterio de desempeño óptimo o la máxima adecuación técnica para la aplicación específica del proyecto.

Tabla 9 Datos del diagrama radial

Equipo	Rango Max	Precisión	Batería	Robusto	Extras	Disponibilidad	$ Costo
Megóhmetro 1	4	4	3	4	5	5	4
Megóhmetro 2	4	4	4	3	4	3	3
Milióhmetro 1	3	4	5	4	5	5	4
Milióhmetro 2	4	4	5	4	5	1	2

(Autoría Propia)

En la **Figura 18**, el diagrama radial permite analizar y contrastar los equipos. Al evaluar la superficie de cada polígono, se evidencia que, aunque el Megóhmetro 2 destaca en precisión y rango, el Megóhmetro 1 presenta un balance superior en robustez, costo y disponibilidad. Esta comparativa fundamenta la selección del equipo más idóneo para las exigencias operativas y presupuestarias del entorno educativo.

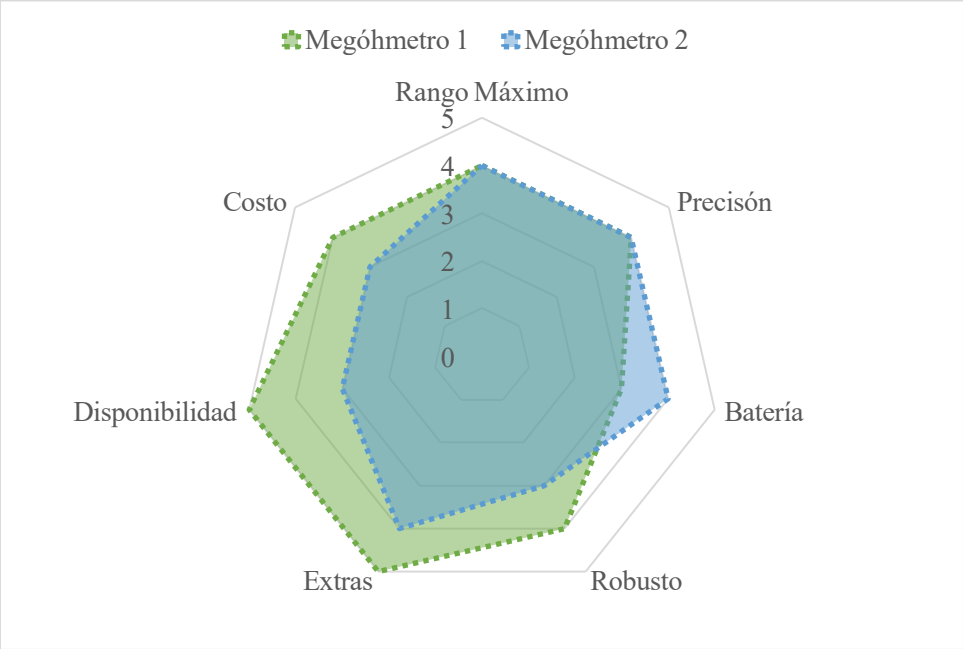


Figura 18 Diagrama radial Megóhmetro
(Autoría Propia)

De igual manera se desarrolló la comparación que representa al equipo de diagnóstico Milióhmetro en la **Figura 19**, se considera que el equipo representado por el color verde representa al Milióhmetro 1 es la mejor opción, ya que al reunir las variables representa variables más equilibradas como aspectos de extras, costo y robustes que es importante para el uso en el ámbito educativo o talleres.

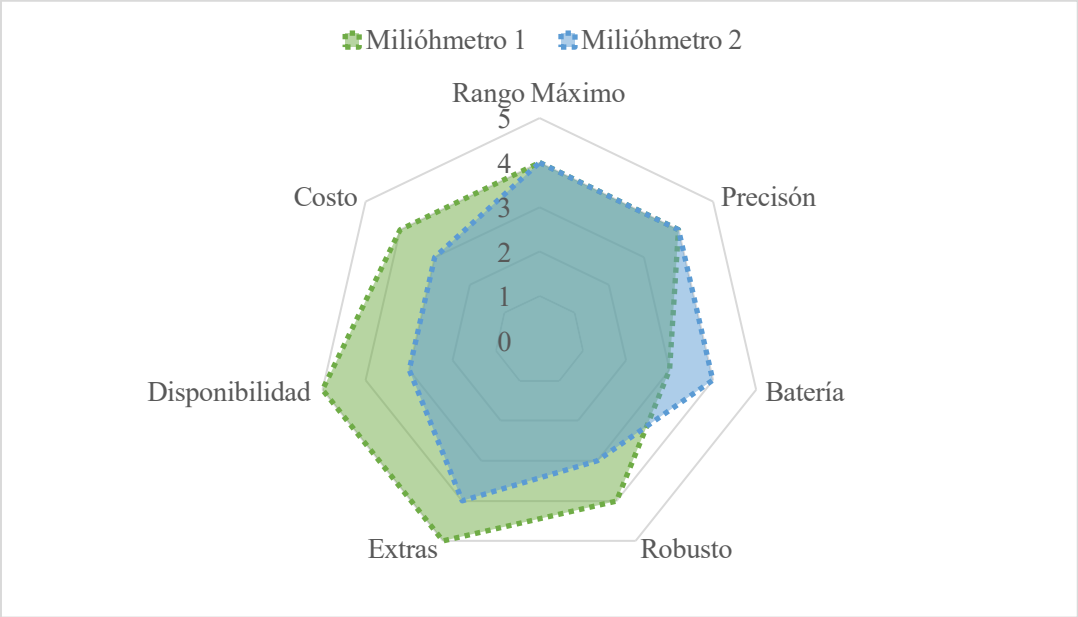


Figura 19 Diagrama radial Milióhmetro
(Autoría Propia)

3.2.1 *Análisis Técnico-Funcional del Megóhmetro 580A*

El Megóhmetro (Modelo 580A) constituye la herramienta de diagnóstico fundamental para evaluar la integridad dieléctrica de los sistemas de alta tensión (HV) en vehículos eléctricos e híbridos descrita en la Tabla 10. Su función primordial es inyectar una tensión de prueba regulada y elevada entre 500V y 1000V DC para medir la Resistencia de Aislamiento.

Tabla 10 Especificación general

Características	Especificación
Voltaje máximo entre cualquier terminal y tierra:	600 V CC o CA ms
Protección por fusible para entradas de conector "mA":	500 mA, 1000 V, RÁPIDO, capacidad mínima de interrupción: 20000 A
Pantalla:	LCD de 3 3/4 dígitos, con una lectura máxima de 3999
Indicación de fuera de rango:	"O.L." se muestra en la pantalla LCD.
Indicación de polaridad negativa:	"-" se muestra automáticamente
Frecuencia de muestreo:	2-3 veces/s
Temperatura de funcionamiento:	0 °C ~ 40 °C, <75 % de humedad relativa
	-30 °C ~ 60 °C, <85 % de humedad relativa
Temperatura de almacenamiento:	Altitud: 0 a 2000 metros
Pilas:	6 pilas AA de 1,5 V o equivalente
Indicación de pila baja:	"☑" se muestra en la pantalla
Dimensiones:	200 x 100 x 56 mm
Peso:	aproximadamente 620 g (incluida la batería)

(Tomado de PCE instruments [51].)

La Tabla 11 presenta la simbología crucial utilizada en la documentación y la interfaz del Equipo 580A Megóhmetro, actuando como un glosario visual para el usuario. Esta tabla define las abreviaturas fundamentales como Corriente Alterna (AC) y para Corriente Continua (DC), además de incluir los íconos estandarizados de seguridad como Voltaje, tierra entre otros.

Tabla 11 Simbología

~ **AC**	**Corriente alterna**
⎓ **DC:**	Corriente continua
	Información de seguridad importante
	Voltaje peligroso
⏚	Tierra
	Fusible
CE	Cumple con directivas europeas
	Doble aislamiento
	Batería baja
	Diodo

(Tomado de: PCE instruments [51].)

3.2.1.1 Instrucciones Generales.

La prueba electrónica se inicia con la activación del instrumento de medición y la selección del parámetro físico que se va a cuantificar (Ohmios, Megohmios, Voltios) mediante el selector de función. Una vez energizado, el dispositivo presenta la interfaz de visualización con los indicadores de rango y las unidades de medida correspondientes a la función elegida. Es fundamental que el técnico configure las funciones auxiliares requeridas para optimizar la toma de datos, tales como la retención de datos (Data Hold) para capturar valores transitorios o el modo

relativo para establecer una referencia de medición base. La correcta configuración de estos parámetros asegura la trazabilidad de la medición y permite la adquisición de datos precisos para el diagnóstico y el posterior análisis cuantitativo [56].

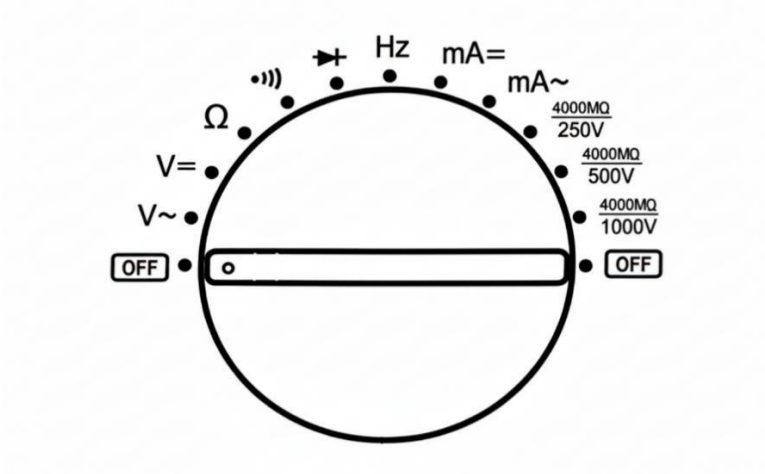


Figura 20 Perrilla de función los rangos
(Tomado de Manual Técnico Equipo 580 A [57].)

A continuación, se expone la tabla 12, la cual define los parámetros técnicos correspondientes a la simbología de la perilla de selección de rango de la **Figura 20**. El documento categoriza las capacidades del instrumento, estableciendo los rangos de operación para variables eléctricas fundamentales y los niveles de inyección de voltaje requeridos para los ensayos.

Tabla 12 Descripción Equipo 580 A

Posición	Función
V~	Tensión AC (0-600V)
V=	Tensión DC (0-600V)
Ω	Resistencia (0Ω-40MΩ)
Φ	Prueba de diodos (muestra "0L" si >2V)
	Continuidad (zumbador <30Ω)

Hz	Frecuencia (1Hz-100kHz)
mA=	Corriente DC (0-400mA)
mA~	Corriente AC (0-400mA)
4000MΩ/ 250V	De 0,1 MΩ a 4000 MΩ y el voltaje de prueba es 250 V.
4000MΩ/ 500V	De 0,1 MΩ a 4000 MΩ y el voltaje de prueba es 500 V.
4000MΩ/1000	De 0,1 MΩ a 4000 MΩ y el voltaje de prueba es 1000 V

(Tomado de Manual Técnico Equipo 580 A)

3.2.1.2 Prueba de Aislamiento.

El Megóhmetro es el instrumento esencial para ejecutar la Prueba de Resistencia de Aislamiento del sistema de Alta Tensión (HV), un diagnóstico crítico que se realiza obligatoriamente una vez confirmado el Estado de Energía Cero (tensión residual 60 VDC). El procedimiento consiste en la inyección controlada de una tensión de prueba de corriente continua (típicamente entre 500V y 1000 V DC) entre el bus HV (tanto positivo como negativo) y la masa o chasis del vehículo. La finalidad es cuantificar la integridad dieléctrica del aislamiento en Megohmios. La obtención de un valor inferior al umbral mínimo establecido por la normativa indica la presencia de una fuga a tierra crítica en el sistema, lo cual requiere una acción correctiva inmediata para restablecer la seguridad funcional del vehículo [56].

El rango y precisión en pruebas de aislamiento se presenta en la tabla 13, que representa los rangos operativos del equipo en los cuales se puede realizar la prueba de aislamiento, todo depende del rango operativo del equipo en el que se va a trabajar.

Tabla 13 Rango y precisión en pruebas de aislamiento

Voltaje de prueba	Rango de Pantalla	Resolución	Corriente de prueba	Precisión
250V	0,1 - 400 M Ω 400 -1000 M Ω 1000-4000M Ω	0,1 M Ω 1M Ω	1Ma@ 250 k Ω	± (5%+5) ± (10% + 5)
500 V	0,1 - 400 M Ω 400 -1000 M Ω 1000-4000M Ω	0,1 M Ω 1M Ω	1Ma @ 500 k Ω	± (5%+5) ± (10% + 5)
1000 V	0,1 - 400M Ω 400 -1000M Ω 1000-4000M Ω	0,1 M Ω 1M Ω	1Ma @ 1M Ω	± (5%+5) ± (10% + 5)

3.2.1.3 Medición de Resistencia de Aislamiento.

La realización de la Prueba de Resistencia de Aislamiento con un Megóhmetro exige la observancia estricta de protocolos de seguridad para mitigar el riesgo inherente a la alta tensión inyectada. Es un requisito mandatorio previo a la prueba confirmar le des energización total del objeto a ensayar, asegurando su aislamiento galvánico y un estado de energía cero. Mientras se esté inyectando el voltaje de prueba, la regla de oro es no tocar por ningún motivo la pieza que estamos midiendo ni las partes metálicas de los cables. Para evitar accidentes y descargas eléctricas inesperadas, las manos del operador siempre deben permanecer por detrás de las guardas de seguridad que tienen las puntas del equipo. Una vez terminada la medición, el proceso exige dos cosas: cortar por completo la energía del circuito y revisar el estado del fusible del instrumento.

Seguir esta rutina no solo nos protege, sino que garantiza que la herramienta siga marcando valores precisos en el futuro [56].

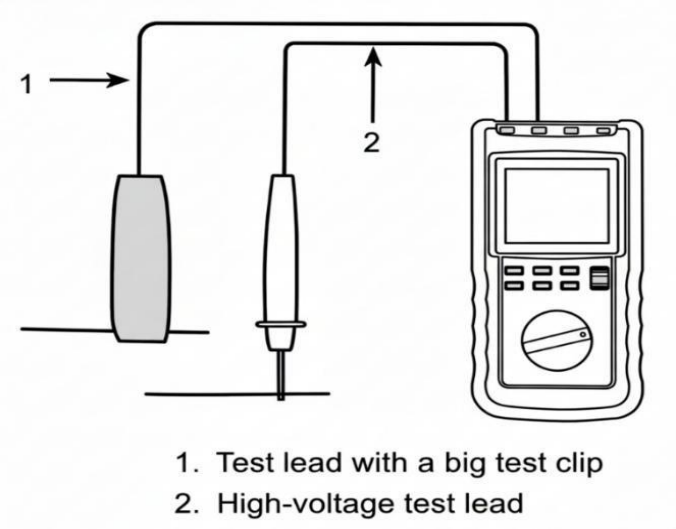


Figura 21 Proceso de medición
(Tomado de: Manual Técnico Equipo 580 A [57].)

Procedimientos:

A. En la sección de "Identificación de Cables de Prueba", inserte el conector del cable de prueba de alto voltaje en el conector "**MΩ**", luego inserte el conector del cable de prueba que tiene una pinza de prueba grande en el conector mA.
B. El cable de prueba del conector "mA" es una línea de tierra. El cable de prueba del conector "**MΩ**" es una línea viva.
C. Ajuste el interruptor de rango a la posición OFF, luego conecte la pinza de prueba grande al punto de prueba del objeto a medir.
D. Elija el voltaje nominal deseado:

Para elegir el voltaje nominal deseado, ajuste el interruptor de rango a la posición de voltaje correspondiente $\frac{4000M\ \Omega}{250\ V}$, $\frac{4000\ M\ \Omega}{500\ V}$, $\frac{4000\ M\ \Omega}{1000\ V}$

1. Toque la punta del cable de prueba de alto voltaje con otro punto de prueba del objeto.
2. Presione el botón **TEST**, la pantalla muestra "TEST" como indicador, el medidor comienza la prueba de resistencia de aislamiento y se está emitiendo alto voltaje a través de los terminales.
3. Lea la lectura en la pantalla. Cuando la resistencia de aislamiento sea inferior a 5MΩ, el zumbador incorporado sonará.

3.2.2 *Análisis Técnico-Funcional del Milióhmetro 580C*

El Milióhmetro (Modelo 580C) es un instrumento de diagnóstico especializado, fundamental para la evaluación de la resistencia de conductores en el rango de miliohms (mOhm). Su función principal en vehículos eléctricos e híbridos es cuantificar con alta precisión la baja resistencia presente en puntos críticos, como en la resistencia de sus devanados esto permite diagnosticar fallos en la resistencia de los devanados de los motores eléctricos[58].

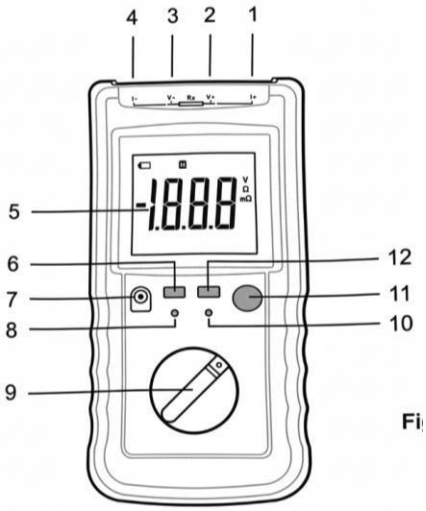


Figura 22 Milióhmetro
(Tomado de Manual Técnico Equipo 580 C [59].)

El Milióhmetro 580 C emplea una arquitectura Kelvin de cuatro terminales para anular la resistencia de contacto, además sus características primordiales como un sistema de calibración mediante ajuste de cero analógico se describe en la Tabla 14 presentada a continuación [59].

Tabla 14 Descripción de la estructura Milióhmetro 580 C.

Indicador	Descripción
Conector "I+" ("I+"Jack):	Conector de entrada para el enchufe del cable de prueba rojo.
Conector "V+" ("V+" Jack):	Conector de entrada para el enchufe del cable de prueba rojo.
Conector "V-" ("V-" Jack):	Conector de entrada para el enchufe del cable de prueba negro.
Conector "I-" ("I-" Jack):	Conector de entrada para el enchufe del cable de prueba negro.
Botón "HOLD":	Captura la pantalla
Conector de Carga (Charging Socket):	Puerto de carga
LED "CHARGING":	Carga de Batería
Interruptor de Rango / Interruptor de Encendido	Selector de rango de tensión deseado
LED "FULL":	Testigo se enciende cuando la batería ha sido cargada completamente.
Perilla de Ajuste de Cero	Calibración del equipo
Botón " $":	Presione este botón " $" para encender la luz de fondo. Presione nuevamente para apagar la luz de fondo.

(Tomado de Manual Técnico Equipo 580 C)

3.2.2.1 Procedimiento de Medición Milióhmetro.

A. Conecte los dos enchufes de los cables de prueba rojos a los conectores “+” y “V+” respectivamente. Luego conecte los dos enchufes de los cables de prueba negros a los conectores respectivamente.
B. Coloque el interruptor de rango en la posición de rango deseada.
C. Conecte las dos pinzas a través de un resistor de cero ohmios. Luego ajuste la perilla de Ajuste de Cero hasta que la pantalla marque cero.
D. Cada vez que cambie el interruptor de rango a otra posición de rango, debe realizar el ajuste de cero antes de la medición.
E. Para medir un resistor desconocido use la medición de tipo de dos puntos indicada en la figura 23.

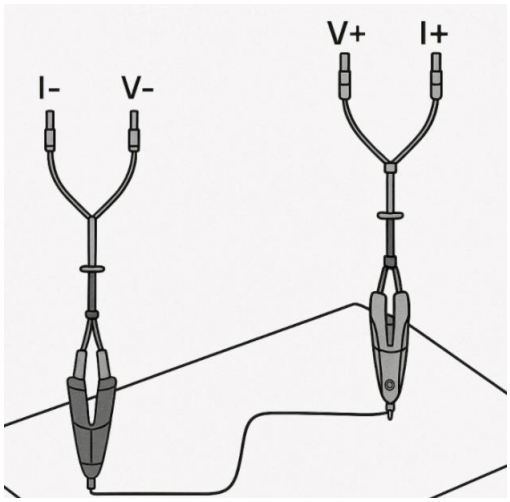


Figura 23 Medición de dos puntos
(Tomado de Manual 580C [50].)

3.3 Diseño de Pruebas Piloto

Se establece la línea base mediante la validación sistemática del equipo y la des-energización del sistema. Esta fase garantiza la fiabilidad operativa y el cumplimiento de los estándares de precisión en los ensayos posteriores.

3.3.1 *Validación de Equipo de Diagnóstico*

El protocolo de validación que se expresa en la **Figura 24**, se fundamenta en la norma IEC 61010-1 para asegurar la mitigación de riesgos críticos. Este criterio es esencial para seleccionar instrumental que garantice la seguridad y fiabilidad en el entorno de medición. [17].



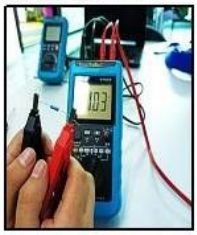
Figura 24 Fases para validación de Equipo según IEC 61010-1

(Autoría Propia)

3.3.1.1 Protocolo de Validación Equipo de Diagnóstico Milióhmetro.

A través de este cuadro presentado en la tabla 15, se examinan detalladamente las condiciones físicas de los componentes aislantes, asegurando que cada elemento cumpla con los estándares.

Tabla 15 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Validación Milióhmetro.

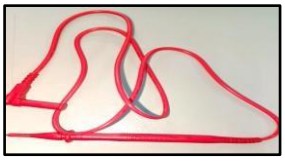
Etapa	Instrucciones	Análisis	Validación
1: Inspección Física 	Revisar pinzas, separador plástico y conexiones. Encender equipo.	Aislamiento limpio e íntegro. Batería cargada (sin parpadear).	Pasa: Todo OK. Falla: Daño físico o "Low Bat".
2: Prueba en Vacío 	Separar pinzas en el aire. Rango más bajo (200 m?).	Pantalla debe mostrar "O.L." o "1" (Infinito).	Pasa: "O.L." fijo. Falla: Lectura inestable.
3: Prueba de Cero 	Unir pinzas (metal con metal) y ajustar perilla a cero.	Valor debe ser 0,0 m? (tolerancia máx. 0,005).	Pasa: 0,0 Falla: >0,100 o inestable.
4: Prueba Patrón 	Medir una resistencia conocida (ej. 100 m?).	El valor debe estar dentro del +/- 5% del patrón.	Pasa: Según etiqueta. Falla: Fuera de rango.

(Autoría Propia)

3.3.1.2 Protocolo de Validación Megóhmetro.

Con el fin de demostrar la seguridad de los equipos, la tabla 16 permite clasificar el estado de los conductores y aplicar pruebas específicas de continuidad y resistencia. Al interpretar los resultados obtenidos frente a los criterios de aceptación y rechazo, se comprueba su eficacia.

Tabla 16 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Validación Megóhmetro

Etapa	Instrucciones Físicas	Análisis	Validación
1: Inspección de Seguridad 	Revisar cables (cortes/grietas) y puntas limpias. Verificar carga de batería.	Silicona íntegra sin cobre expuesto.	**Pasa:** Cables sanos y secos. **Falla:** Grietas o cobre a la vista.
2: Prueba de Aislamiento 	Puntas al aire. Seleccionar **500V o 1000V**. TEST por 5s (no tocar puntas).	Lectura debe ser "O.L." o > 2000 MΩ.	**Pasa:** Infinito/O.L. **Falla:** Valores bajos (ej.500 MΩ)
3: Prueba de Continuidad 	Unir puntas. Seleccionar Continuidad o 250V. Pulsar TEST brevemente.	El valor debe caer a 0.0 MΩ inmediatamente.	**Pasa:** Marca cero. **Falla:** Permanece en "O.L." (cable roto).
4: Prueba Patrón 	Conectar a resistencia patrón (ej. 100 MΩ). TEST a 500V.	El valor debe estar en el rango de +/- 5. (Ej.: 95 - 105 MΩ).	**Pasa:** Coincide con etiqueta. **Falla:** Valor muy diferente.

(Autoría Propia)

3.3.2 Protocolo de seguridad

La **Figura 25** hace referencia al Procedimiento Operativo para la intervención segura y el diagnóstico e instrumentación de los Sistemas de Alta Tensión (HV).

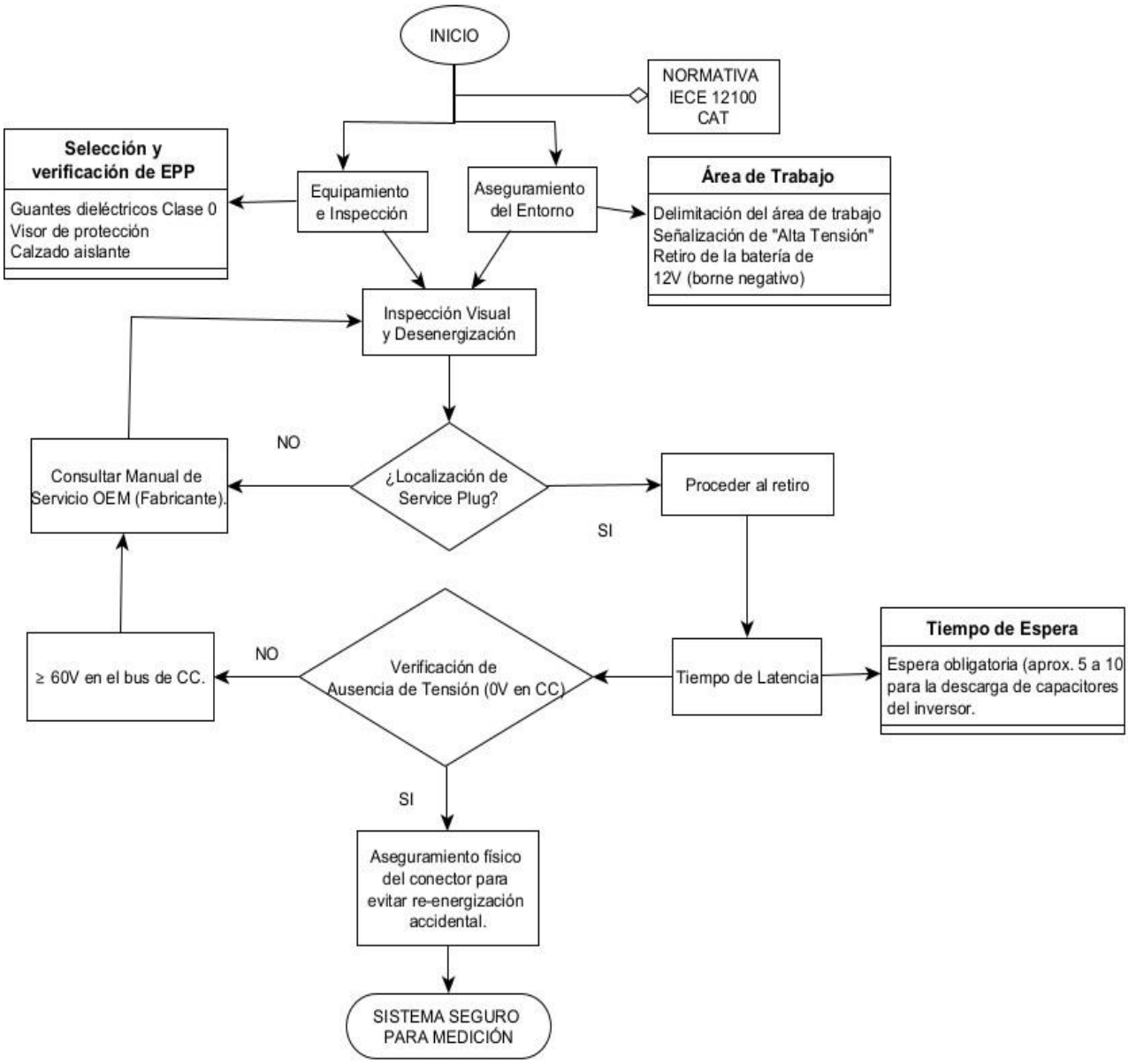
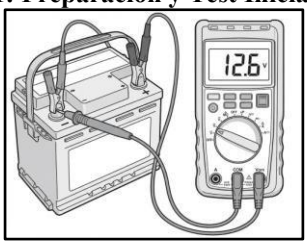
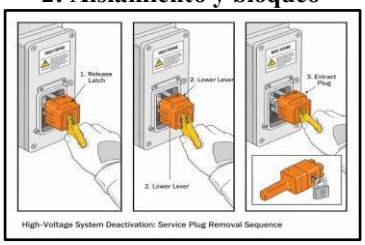
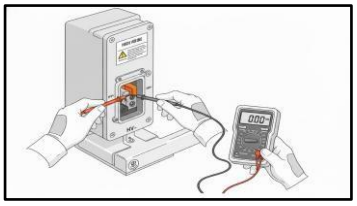
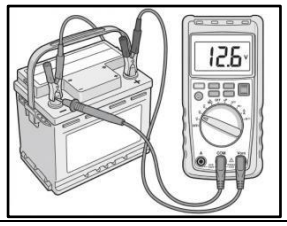


Figura 25 Flujograma del protocolo de seguridad
(Autoría Propia)

En correspondencia con la sistematización detallada en la Tabla 17 y bajo los lineamientos de la normativa IEC 12100, se establece un proceso de desenergización orientado a la mitigación técnica de riesgos [60].

Tabla 17 Descripción de Instrucciones del Protocolo de Descarga

Etapa	Instrucciones Físicas	Análisis	Validación
1: Preparación y Test Inicial 	Colocar EPP. Alejar llave > 5m. Medir batería de 12V.	Verificar que el multímetro marque 12,6 VDC.	Pasa: EPP puesto y multímetro funcional. Falla: Instrumento dañado.
2: Aislamiento y bloqueo 	Extraer el Service Plug y guardarlo o bloquear el puerto.	El conector debe estar físicamente fuera del auto.	Pasa: Plug en tu poder (nadie puede conectar).
3: Disipación de Energía 	Inspección visual. Esperar 10 minutos sin tocar cables naranjas.	Permitir que los capacitores internos se descarguen solos.	Pasa: Tiempo cumplido. Falla: Medición antes de tiempo.
4: Verificación "Cero Voltios" 	Medir entre HV+ / HV- y cada terminal contra el chasis.	El valor debe ser 0.0VDC (máximo permitido < 10V).	Pasa: Lectura 0V. Falla: > 60V (Peligro de descarga).
5: Re-Verificación 	Medir nuevamente la batería de 12 V con el mismo equipo.	Confirmar que el multímetro sigue marcando 12.6 VDC.	Pasa: Zona segura para trabajar. Falla: Error de lectura post-HV.

(Autoría Propia)

3.4 Metodología de Diagnóstico

El despliegue metodológico se fundamenta en una secuencia técnica que inicia con la ejecución mandataria de los protocolos de seguridad de alta tensión, orientados a establecer un estado de Energía Cero mediante procedimientos de bloqueo y etiquetado. Resulta fundamental cumplir con esta etapa para asegurar el área de trabajo. Solo después de realizar la Verificación de Ausencia de Tensión es posible intervenir los componentes del tren motriz, centrando la atención directamente en el Motor/Generador (MG). La prueba principal se enfoca en medir la resistencia de aislamiento; para lograrlo, se debe ajustar el Megóhmetro a una tensión de corriente continua (VCC) que corresponda de manera estricta al voltaje de trabajo del bus de potencia.

El procedimiento se sistematiza mediante la aplicación de un potencial de prueba entre cada terminal de fase (U, V, W) y la masa galvánica del chasis; esta técnica permite evaluar con precisión la integridad dieléctrica de los polímeros aislantes y la estanqueidad eléctrica de los devanados, permitiendo identificar indicios de degradación térmica o fatiga del material que podrían comprometer la operatividad del vehículo [61].

3.4.1 *Proceso de Diagnóstico Megóhmetro*

La fase inicial descrita en la **Figura 26**, demostrado por medio del flujograma el proceso sobre la validación del Protocolo de Seguridad Eléctrica, el cual exige la verificación del Equipo de Protección Personal (EPP) dieléctrico normalizado, seguido a esto se complementa con la aplicación rigurosa del Protocolo de Desconexión y Bloqueo, asegurando el Aislamiento Cero de Energía en el Sistema de Alta Tensión.

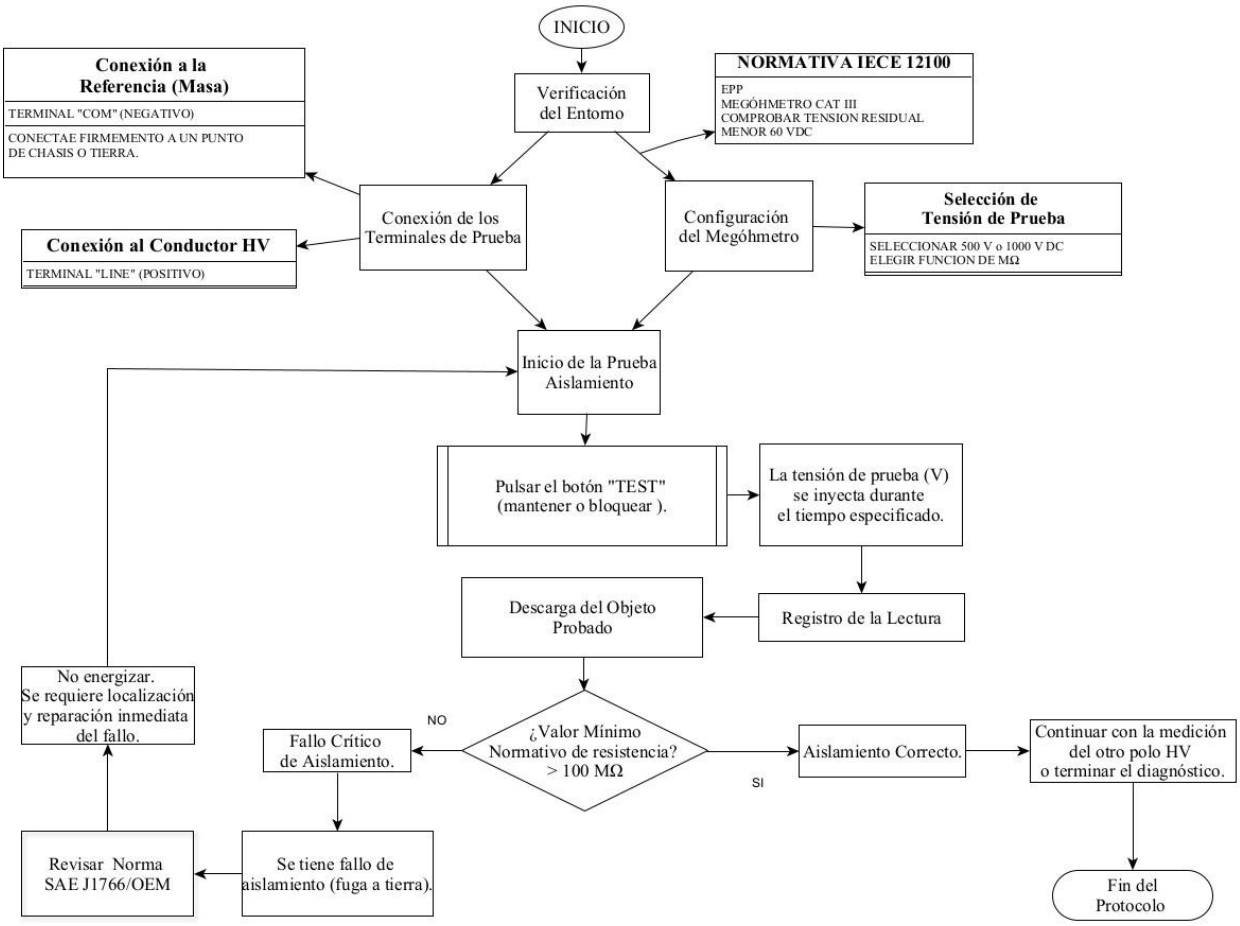
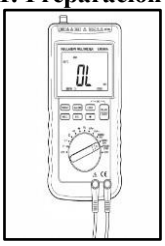
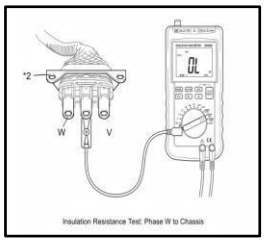


Figura 26 Flujograma procesos de uso Megóhmetro
(Autoría Propia)

Una vez asegurado el entorno, procedemos a seguir la descripción general del diagnóstico con Megóhmetro de la tabla 18, se procede a la configuración y calibración preliminar del Megóhmetro para garantizar la fidelidad de las mediciones, es imprescindible la selección adecuada de la Tensión de Prueba de Corriente Continua (VCC), en los rangos estandarizados disponibles (250 V, 500 V, 1000 V), la cual debe ser directamente proporcional a la Tensión Nominal del componente dieléctrico bajo diagnóstico, conforme a la norma IEEE Std 43. Acto seguido, se establece la conexión polarizada del instrumento: el terminal de Alto Voltaje (HV) se fija al

conductor o devanado a ensayar, y el terminal COMÚN se conecta de forma segura al potencial de tierra de chasis para evaluar la resistencia de aislamiento a tierra [60].

Tabla 18 Descripción Diagnostico con Megóhmetro

Detalle	Acción Principal	Criterio
1. Preparación 	Verificar entorno y EPP. Configurar el equipo a 500V o 1000V DC.	Seguridad: Confirmar 0 VDC en el circuito.
2. Conexión 	Conectar terminal Negro a Masa/Chasis. Conectar terminal Rojo a cada una de las fases.	Asegurar un punto de masa limpio y desnudo.
3. Ejecución 	Pulsar y mantener botón "TEST". Esperar a que se estabilice la lectura de resistencia.	Se está inyectando alto voltaje durante este paso.
4. Seguridad Final 	Registrar la lectura y permitir la Descarga del Objeto Probado.	Precaución: El voltaje debe caer a cero antes de tocar las puntas.
5. Evaluación	Comparar el resultado con manual.	Aprueba: Si el valor es > 1000 MΩ. Rechazo: Si es menor. No energizar el vehículo.

(Tomado del manual de reparación Toyota Prius 2010)

3.4.2 *Proceso de Diagnóstico Milióhmetro*

Manteniendo el protocolo de seguridad pertinente posteriormente, el proceso de la **Figura 23** se implementa la conexión de cuatro terminales, para mediciones de resistencias bajas en los devanados. Se conectan las cuatro pinzas dedicadas I+, I- para la inyección de corriente; V+, V- para la medición de potencial, a los terminales del devanado, garantizando sujeción [61].

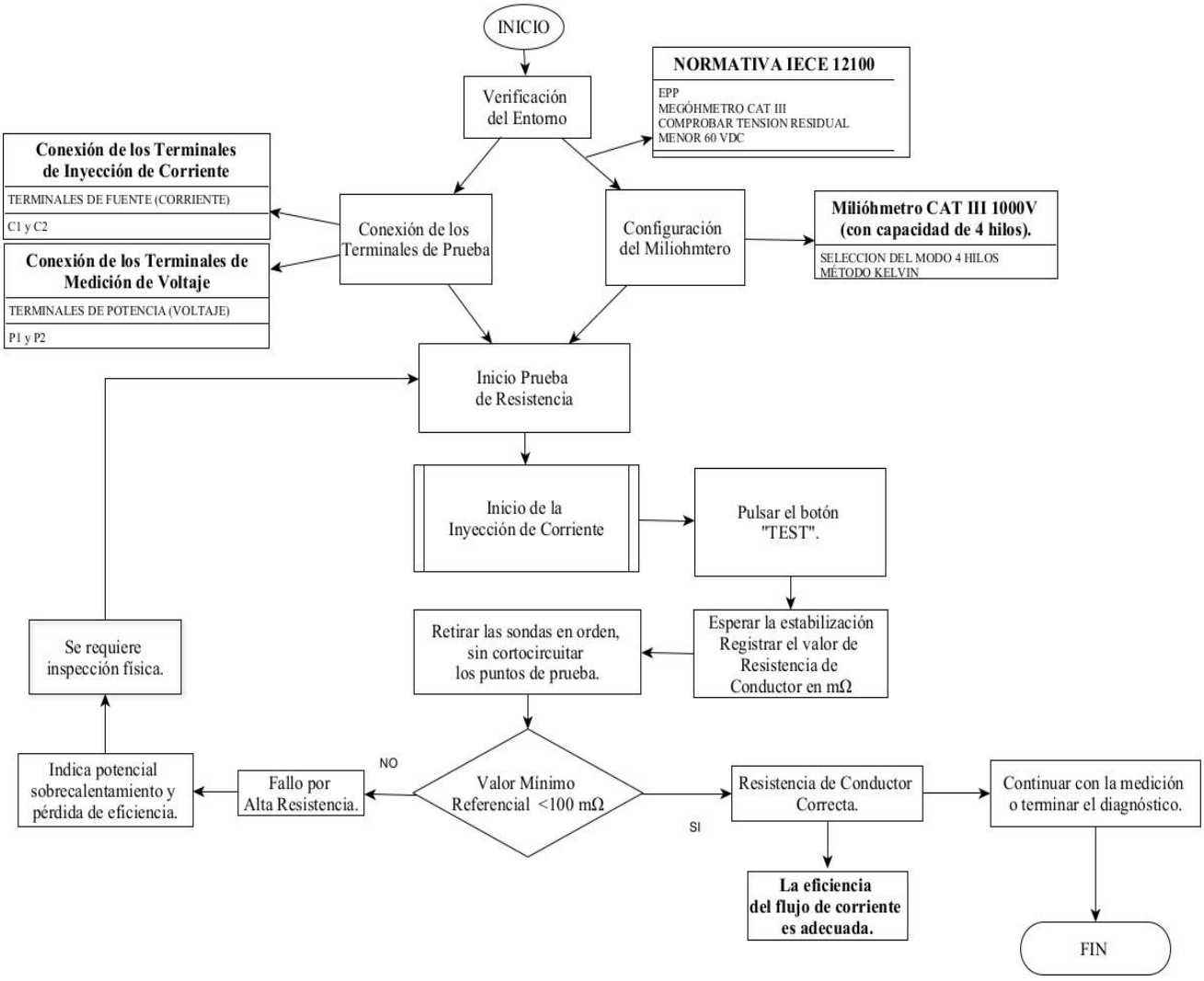


Figura 27 Flujograma proceso de uso Milióhmetro
(Autoría Propia)

La Tabla 19 sistematiza el protocolo de evaluación de baja impedancia, validando la integridad conductiva de los devanados frente a los parámetros de diseño. Este esquema garantiza la detección

precisa de anomalías térmicas y resistivas bajo un entorno de seguridad eléctrica controlada, garantizando la detección de anomalías térmicas bajo un entorno de seguridad eléctrica absoluta.

Tabla 19 Descripción General Diagnostico Milióhmetro

Detalle	Acción Principal	Criterio
1. Preparación 	Verificar entorno y EPP. Seleccionar modo de 4 Hilos (Kelvin) en el equipo.	El circuito debe estar en 0 VDC Absoluto. Los Milióhmetros no soportan voltaje externo.
2. Conexión 	Conectar las 4 puntas: Terminales de Fuente y Terminales de Voltaje entre las fases (u, v, w).	Las pinzas Kelvin deben morder firmemente el conductor.
3. Ejecución 	Pulsar botón "TEST" para iniciar la inyección de corriente. Esperar estabilización y registrar el valor en m Ω.	La medición debe ser estable.
4. Evaluación 	Comparar el resultado con la referencia del fabricante.	Aprueba: Evaluar Porcentaje de Desbalance < 3% Rechaza: Si es mayor. Indica alta resistencia/posible sobrecalentamiento.
5. Retiro 	Retirar las sondas en orden al finalizar la evaluación.	No cortocircuitar las puntas innecesariamente.

(Autoría Propia)

3.5 Fórmulas de Corrección de Datos.

3.5.1 *Corrección Normativa por Temperatura para Aislamiento*

La resistencia de aislamiento es inversamente proporcional a la temperatura, si no se aplica el factor de corrección por temperatura, al realizar un diagnóstico en frío a simple vista da valores óptimos, pero existe una diferencia a otro grado de temperatura de funcionamiento, la corrección evita este sesgo en las mediciones.

$$R_{REF} = R_{MEDIA} \times K_t \quad \ldots (1)$$

Donde:

R_{REF}= Resistencia Corregida, es el valor final del aislamiento, estandarizado corregido a la temperatura de 40°C.

$R_{MEDIA} =$ el valor de M Ω registrado en el campo a 1 min.

$K_t =$ Factor de Corrección IEEE Std43-2013 (Anexo 13)

Para mitigar el sesgo físico de la temperatura, las mediciones se estandarizaron a 40°C empleando los factores de corrección "Kt" mostrado en la tabla 20

3.5.2 *Evaluación de Porcentaje de Error del Equipo*

Se realiza el cálculo del porcentaje de fallo basado en la especificación ± (A % + D) del manual del equipo 580A, la ecuación nos muestra cómo obtener el error absoluto que el instrumento.

$$E_{TOTAL} = \pm [(R_{MEDIA} X \frac{\%ERROR}{100}) + (DÍGITOS)] \quad ..(2)$$

Donde:

$E_{TOTAL} =$ Porcentaje de Error

$(R_{MEDIA} \times \frac{\%\ ERROR}{100})$ = Representa el error proporcional (5%,10%)

$(DÍGITOS \times RESOLUCIÓN) =$ Representa el error fijo "ruido de piso" del instrumento ej. 5 veces la resolución de 0.1 Afecta más a lecturas bajas.

3.5.3 *Ecuación de Corrección por Temperatura en Devanados*

La corrección a 20°C elimina el factor térmico en la medición, permitiendo una comparación técnica válida entre las fases U-V, V-W y W-U. Sin este ajuste, el balance del motor se vería alterado por la variación lineal de la resistencia.

$$R_{REF} = R_{MEDIA} \times [(\frac{T_K + T_{REF}}{T_K + T_{MEDIA}})] \quad ...(3)$$

Donde:

$R_{REF} =$	Resistencia corregida, el valor de resistencia del devanado a 20°C.
$R_{MEDIA} =$	Resistencia Media, el valor en mΩ obtenido de las fases.
$T_K =$	Constante de Temperatura, cobre: 234,5 para aluminio: 225
$T_{REF} =$	Estándar de 20 °C para baja resistencia
$T_{MEDIA} =$	La temperatura del devanado en el momento de la prueba.

3.5.4 *Porcentaje de Desbalance Resistivo*

El diagnóstico se centra en el cálculo del Desbalance, utilizando los valores corregidos referencia de las tres fases.

$$Desbalance(\%) = \frac{(R_{MAX} - R_{AVG})}{R_{AVG}} \times 100 \quad \ldots (4)$$

Donde:

$R_{MAX} - R_{AVG}$ = Resistencia (Máxima – Prom)

NEMA MG-1 Su Desbalance debe ser ≤ 3%

Exceder los límites normados delata fallos en el bobinado o conexiones, anticipando averías mecánicas críticas.

4 CAPITULO IV

Análisis Y Discusión De Resultados

El presente capitulo constituye el registro de datos capturados durante la fase experimental sobre los subsistemas de tracción eléctrica MG1 y MG2, este resultado se fundamenta en un proceso de correlación paramétrica que integra el uso de los equipos Megóhmetro 580A y Milióhmetro 580C y la normalización de las lecturas mediante coeficientes de corrección térmica según la resistividad del material. Bajo este enfoque, se evalúa la integridad galvánica y la rigidez dieléctrica de los devanados y los conductores del bus de potencia, contrastando de manera rigurosa los hallazgos frente a los umbrales de seguridad y estanqueidad eléctrica definidos en los estándares internacionales ISO 6469-3, IEEE Std 43 y SAE J1766.

4.1 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Megóhmetro – MG1

La precisión del Megóhmetro 580A se determinó mediante la fórmula ± (A % + D) especificada en su manual de usuario. Para el análisis del MG1 detallado en la Tabla 20, el Error Total se calculó integrando el error porcentual y el error fijo de dígitos, el cual varía según el rango operativo.

Tabla 20 Datos MG1: Error Total del equipo

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	E% (5%) (MΩ)	E-Dígitos (MΩ)	E-Total (±) (MΩ)
250 V	U-V	64,50	3,22	0,5	3,72
250 V	U-W	69,20	3,46	0,5	3,96
250 V	V-W	66,60	3,33	0,5	3,83
500 V	U-V	49,20	2,46	0,5	2,96
500 V	U-W	44,80	2,24	0,5	2,74
500 V	V-W	46,70	2,33	0,5	2,83
1000 V	U-V	17,90	0,89	0,5	1,39
1000 V	U-W	19,50	0,97	0,5	1,47
1000 V	V-W	19,40	0,97	0,5	1,47

(Autoría Propia)

La Tabla 21 integra la incertidumbre metrológica del Megóhmetro 580A para delimitar los márgenes de confianza de la Resistencia Media. Este análisis define los límites máximos y mínimos reales, asegurando la rigurosidad técnica en el diagnóstico del estado del aislamiento.

Tabla 21 Datos MG1**:** Análisis del rango de resolución

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	E-Total (MΩ)	Resistencia Máxima	Resistencia Mínima
250 V	U-V	64,50	3,72	68,22	60,77
250 V	U-W	69,20	3,96	73,16	65,24
250 V	V-W	66,60	3,83	70,43	62,77
500 V	U-V	49,20	2,96	52,16	46,24
500 V	U-W	44,80	2,74	47,54	42,06
500 V	V-W	46,70	2,83	49,53	43,86
1000 V	U-V	17,90	1,39	19,29	16,50
1000 V	U-W	19,50	1,47	20,97	18,02
1000 V	V-W	19,40	1,47	20,87	17,93

(Autoría Propia)

4.2 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Megóhmetro – MG1

La sección del factor de corrección representado en la tabla 22, presenta el análisis final de la Resistencia de Aislamiento al incorporar la Corrección Normativa por Temperatura. El objetivo principal es estandarizar la R-MEDIA a una temperatura de referencia de 40°C.

Tabla 22 Datos MG1: Resultado aplicado factor de corrección de temperatura

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	Corrección por temperatura
250 V	U-V	68,22	69,59
250 V	U-W	73,16	74,62
250 V	V-W	70,43	71,83
500 V	U-V	52,16	53,20
500 V	U-W	47,54	48,49
500 V	V-W	49,53	50,52
1000 V	U-V	19,29	19.68
1000 V	U-W	20,97	21,39
1000 V	V-W	20,87	21,28

(Autoría Propia)

Los datos mostrados en el apartado de corrección de temperatura es el resultado al aplicar la corrección normativa por temperatura relacionado a la norma IEE st 43 que, como criterio primordial después de la medición con el Megóhmetro, recomienda reunir la información obtenida de las mediciones y aplicar la fórmula de corrección en referencia de 40°C. La variación observada entre las distintas resistencias nos muestra el margen de error que existe entre las medidas reales y corregidas.

4.3 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Milióhmetro – MG1

La tabla 23 de Cálculo del Error Total, representa la validación metrológica de las mediciones de resistencia de devanado obtenidas con el Milióhmetro EM580C. La precisión de este instrumento se rige por la especificación ± (0,5% + 3), ya que las R-MEDIA caen en el rango de baja impedancia. La correcta determinación de Error Total es crucial, pues define el rango real de la Resistencia de Devanado y confirma la fiabilidad del diagnóstico de desbalance entre las fases.

Tabla 23 Datos MG1: Análisis de rango de resolución

Fase (Devanado)	RMEDIA (mΩ)	RMEDIA×0.005) (mΩ)	E-Dígitos (mΩ)	E-Total (±) (mΩ)	Rango Máximo	Rango Mínimo
Fase 1 (U-V)	39,00	0,19	0,03	0,22	39,22	38,77
Fase 2 (U-W)	41,00	0,20	0,03	0,23	41,23	40,76
Fase 3 (V-W)	39,10	0,19	0,03	0,22	39,32	38,87

(Autoría Propia)

4.3.1 *Factor de Corrección por Temperatura Equipo Milióhmetro – MG1*

El propósito de esta corrección es eliminar el sesgo físico de la T- MEDIA y estandarizar el resultado a una temperatura de referencia de 20°C. Este proceso se consigue aplicando la fórmula que relaciona la Resistencia Media, la temperatura de referencia y la constante del material K_{FACTOR} , resultando en la Resistencia Corregida. Al corregir las tres fases, se garantiza que la posterior evaluación del desbalance sea precisa y confiable.

$$K_{FACTOR} = [(\frac{T_K + T_{REF}}{T_K + T_{MEDIA}})] \quad \ldots(5)$$

$$K_{FACTOR} = [(\frac{20°C + 234{,}5}{30°C + 234{,}5})]$$

$$K_{FACTOR} = 0.9622$$

En la tabla 24 podemos observar los datos corregidos por medio de las fórmulas mostradas anteriormente se obtiene el resultado en la casilla R20°C:

Tabla 24 Datos MG1: Factor de corrección de temperatura Milióhmetro

Campo Medido	RMEDIA (m Ω)	TMEDIA	Constante k (Cobre)	Factor K Cond	R 20°C (m Ω)
U-V	39,22	30°C	234,50	0,96	37,74
U-W	41,23	30°C	234,50	0,96	39,67
V-W	39,32	30°C	234,50	0,96	37,83

(Autoría Propia)

4.3.2 *Porcentaje de desbalance – MG1*

La validación del equilibrio eléctrico en el estator de una máquina rotativa requiere una precisión rigurosa en la medición de la resistencia óhmica de sus fases. Sin embargo, dado que los devanados están construidos típicamente de cobre, su resistividad exhibe una dependencia lineal positiva con la temperatura; es decir, la resistencia aumenta conforme se incrementa la temperatura del conductor.

$$\%D = \frac{R_{MAX} - R_{MIN}}{R_{PROM}} \times 100 \quad \ldots(6)$$

$$R_{PROM} = \frac{37{,}74 + 39{,}67 + 37{,}83}{3} = 39{,}47$$

$$\% D = \frac{(39{,}67 + 37{,}74)m\,\Omega}{39{,}47} \times 100$$

$$\% D = 3\,\%$$

Un desbalance del 3% representa a que las fases del devanado se encuentran en una asimetría física significativa en los circuitos internos del estator, 1% representa al porcentaje de desbalance adecuado.

4.4 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Megóhmetro - MG2

A continuación, se presenta en la tabla 25 el desarrollo de la medición del MG2, y la metodología para obtener el Error Total del equipo, el cual combina el Error Porcentual, dependiente de la R-MEDIA y el Error Fijo de Dígitos. Estos parámetros se calculan para cada lectura según el Voltaje de Prueba y el Campo Medido, con esto podemos diagnosticar el estado del sistema de propulsión eléctrica del vehículo y de esta forma determinar el estado del mismo y las posibles sugerencias en el diagnóstico y cambio de elementos.

Tabla 25 Datos MG2: Error Total del equipo

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	E% (5%) (MΩ)	E-Dígitos (MΩ)	E-Total (±) (MΩ)
250 V	U-V	55,40	2,77	0,5	3,27
250 V	U-W	63,10	3,15	0,5	3,65
250 V	V-W	61,50	3,07	0,5	3,57
500 V	U-V	44,30	2,21	0,5	2,71
500 V	U-W	46,30	2,31	0,5	2,81
500 V	V-W	44,30	2,21	0,5	2,71
1000 V	U-V	19,80	0,99	0,5	1,49
1000 V	U-W	21,30	1,06	0,5	1,56
1000 V	V-W	19,20	0,96	0,5	1,46

(Autoría Propia)

La tabla 26 de Análisis de Rango representa la resolución final de las mediciones al incorporar la incertidumbre metrológica del Megóhmetro 580A.

Tabla 26 Datos MG2**:** Análisis del rango de resolución

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	E-Total (MΩ)	Resistencia Máxima	Resistencia Mínima
250 V	U-V	55,40	3,27	58,67	52,13
250 V	U-W	63,10	3,65	66,75	59,44
250 V	V-W	61,50	3,57	65,07	57,92
500 V	U-V	44,30	2,71	47,01	41,58
500 V	U-W	46,30	2,81	49,11	43,48
500 V	V-W	44,30	2,71	47,01	41,58
1000 V	U-V	19,80	1,49	21,29	18,31
1000 V	U-W	21,30	1,56	22,86	19,73
1000 V	V-W	19,20	1,46	20,66	17,74

(Autoría Propia)

4.5 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Megóhmetro – MG2

La sección del factor de corrección representado en la tabla 27, presenta el análisis final de la Resistencia de Aislamiento al incorporar la Corrección Normativa por Temperatura. El objetivo principal es estandarizar la R-MEDIA a una temperatura de referencia de 40°C, eliminando el sesgo físico causado por la T-MEDIA del día.

Tabla 27 Datos MG1: Resultado aplicado factor de corrección de temperatura

Voltaje de Prueba	Campo Medido	RMEDIA (MΩ)	Corrección por temperatura
250 V	U-V	58,67	59,84
250 V	U-W	66,75	68,09
250 V	V-W	65,07	66,37
500 V	U-V	47,01	47,95
500 V	U-W	49,11	50,09
500 V	V-W	47,01	47,95
1000 V	U-V	21,29	21,71
1000 V	U-W	22,86	23,32
1000 V	V-W	20,66	21,07

(Autoría Propia)

4.6 Evaluación del Porcentaje de Error del Equipo Milióhmetro - MG2

La tabla 28 de Cálculo del Error Total, representa la validación metrológica de las mediciones de resistencia de devanado. La precisión de este instrumento se rige por la especificación ± (0,5% + 3), ya que las R-MEDIA caen en el rango de baja impedancia.

Tabla 28 Datos MG1: Análisis de rango de resolución

Fase (Devanado)	RMEDIA (mΩ)	RMEDIA×0.005) (mΩ)	E-Dígitos (mΩ)	E-Total (±) (mΩ)	Rango Máximo	Rango Mínimo
Fase 1 (U-V)	55,70	0,27	0,03	0,30	56,00	55,39
Fase 2 (U-W)	55,70	0,27	0,03	0,30	56,00	55,39
Fase 3 (V-W)	56,10	0,28	0,03	0,31	56,41	55,78

Autoría Propia

La correcta determinación de Error Total es crucial, pues define el rango real de la Resistencia de Devanado y confirma la fiabilidad del diagnóstico de desbalance entre las fases.

4.7 Factor de Corrección por Temperatura Equipo Milióhmetro – MG2

El propósito de esta corrección es eliminar el sesgo físico de la T- MEDIA y estandarizar el resultado a una temperatura de referencia de 20°C. Este proceso se consigue aplicando la fórmula que relaciona la Resistencia Media, la temperatura de referencia y la constante del material K_{FACTOR} , resultando en la Resistencia Corregida. Al corregir las tres fases, se garantiza que la posterior evaluación del desbalance sea precisa y confiable.

$$K_{FACTOR} = [(\frac{T_K + T_{REF}}{T_K + T_{MEDIA}})] \quad \ldots (5)$$

$$K_{FACTOR} = [(\frac{20°C + 234{,}5}{30°C + 234{,}5})]$$

$$K_{FACTOR} = 0{,}9622$$

En la tabla 29 podemos observar los datos corregidos por medio de las fórmulas mostradas anteriormente se obtiene el resultado en la casilla R20°C:

Tabla 29 Datos con factor de corrección de temperatura Milióhmetro

Campo Medido	RMEDIA (m Ω)	TMEDIA	Constante k (Cobre)	Factor K Cond	R 20°C (m Ω)
U-V	56,00	30°C	234,50	0,96	53,89
U-W	56,00	30°C	234,50	0,96	53,89
V-W	56,41	30°C	234,50	0,96	54,27

(Autoría Propia)

4.7.1 *Porcentaje de Desbalance – MG2*

La validación del equilibrio eléctrico en el estator de una máquina rotativa requiere una precisión rigurosa en la medición de la resistencia óhmica de sus fases. Sin embargo, dado que los devanados están construidos típicamente de cobre, su resistividad exhibe una dependencia lineal positiva con la temperatura; es decir, la resistencia aumenta conforme se incrementa la temperatura del conductor.

$$\%D = \frac{R_{MAX} - R_{MIN}}{R_{PROM}} \times 100 \quad \ldots(6)$$

$$R_{PROM} = \frac{53{,}89 + 53{,}89 + 54{,}27}{3} = 54{,}02$$

$$\% D = \frac{(54{,}27 + 54{,}02) m\,\Omega}{54{,}02} \times 100$$

$$\% D = 0{,}5\ \%$$

Se encontró un desbalance de 0.5 % que demuestra en este caso el MG2, se encuentra en el rango aceptable para condiciones operativas.

4.8 Análisis Dinámico de Resistencia de Aislamiento y Continuidad Óhmica

La interpretación de los datos obtenidos durante las pruebas experimentales realizadas en la maqueta MG1, obtenidos mediante la instrumentación de precisión del Megóhmetro (580A) y el Milióhmetro (580C), es un diagnóstico completo de la integridad de los moto-generadores.

Este análisis trasciende la lectura simple, contrastando los valores observados con los umbrales de seguridad establecidos en estándares internacionales como la IEEE Std 43 y NEMA MG-1, transformando así los resultados crudos en un diagnóstico técnico concluyente sobre la aptitud operativa del motor eléctrico.

4.8.1 *Análisis de Resistencia de Aislamiento y Corrientes de Fuga en Sistemas de Alta Tensión: Correlación Térmica y Validación Normativa*

Las pruebas de resistencia de aislamiento se ejecutaron aplicando tensiones escalonadas de 250V, 500V y 1000V DC. Como se evidenció previamente en la etapa de recolección de datos, la mayoría de las mediciones arrojaron un estado de "O.L." (*Over Limit*), lo cual indica que la resistencia óhmica del material aislante supera el rango máximo de detección del equipo (4000 MΩ). Sin embargo, para efectos de análisis crítico, se toman como referencia los valores cuantificables más bajos registrados bajo la tensión de estrés máxima (1000 V), siendo estos:

- Fase U-Tierra: 17,9 M Ω
- Fase V-Tierra: 19,5 M Ω
- Fase W-Tierra: 19,4 M Ω

La norma IEEE 43 establece que el valor mínimo aceptable de resistencia de aislamiento para máquinas rotativas se calcula bajo la premisa de 1 M Ω más 1 M Ω por cada kilovoltio de tensión nominal de la máquina.

$$R_{min} = 1\ M\ \Omega + (0{,}5\ kV\ X\ 1\ M\ \Omega) = 1.5\ M\ \Omega$$

El valor de $1.5\ M\ \Omega$ representa al limete basado en la formula anterior de la norma mencionada. Para un sistema automotriz que opera en rangos típicos de alta tensión (400V - 800V), el umbral de seguridad crítico industrial suele situarse en 100 Ω/Voltios para seguridad personal y 1 M Ω como base operativa funcional. El valor a continuación representa el límite normado.

$$R_{min} = 500V\ X\ 100\ \Omega/V = 5\ M\ \Omega$$

Corregir a 40°C estabiliza el análisis del dieléctrico ante la conducción iónica. Así, se mide con rigor la oposición a las corrientes de fuga, sin que las fluctuaciones térmicas del entorno alteren los resultados.

Tabla 30 Resistencia de Aislamiento Corregida

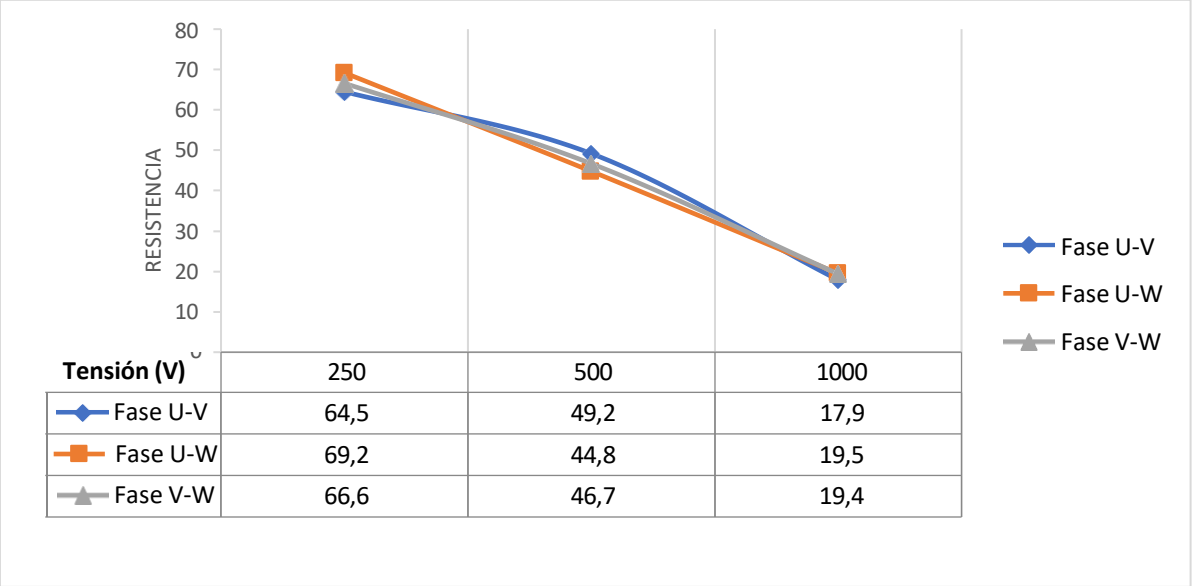
Nivel de Tensión DC	MG1: R40∘C (MΩ)	MG2: R40∘C (MΩ)	Comportamiento Dieléctrico
250 V	65,30	58,60	Zona Óhmica (Alta resistencia)
500 V	45,50	43,50	Descenso moderado
1000 V	17,50	18,70	Caída Abrupta

(Autoría Propia)

4.8.2 *Análisis del Fenómeno de Tensión Escalonada*

De acuerdo con los datos recopilados, se observa una relación inversamente proporcional entre el voltaje aplicado y la resistencia media en todas las fases evaluadas:

- A 250 V: Se registraron los niveles más altos de resistencia, destacando la fase U-W con el valor máximo de 69,2 M Ω
- A 500 V: Se evidencia una reducción moderada en la resistencia, con valores que oscilan entre 44,8 M Ω y 49,2 M Ω
- A 1000 V: La resistencia se desploma hasta su punto más crítico. Todos los registros caen por debajo de los 20 MΩ; por ejemplo, la fase U-V marcó apenas 17,9 MΩ



Tensión (V)	250	500	1000
Fase U-V	64,5	49,2	17,9
Fase U-W	69,2	44,8	19,5
Fase V-W	66,6	46,7	19,4

Figura 28 Variación de Resistencia
(Autoría Propia)

Un dato interesante es que las tres fases se comportan de manera muy parecida en cada nivel de voltaje, lo que nos dice que el aislante no tiene un daño localizado, sino que el desgaste es parejo en todo el motor. Si comparamos estos números con la prueba inicial de 250 V, vemos que la resistencia bajó más de un 70%. Físicamente, esto tiene sentido: al someter el material a un mayor estrés eléctrico, es lógico que ceda un poco y deje pasar más corrientes de fuga.

4.8.3 *Análisis de Validación De Resistencia Conforme Criterios de Aprobación*

A pesar de la caída de resistencia mencionada, se procede a la validación contra el umbral mínimo. Para máquinas con tensión nominal inferior a 1000 V, la norma establece: R_min = 5 MΩ

Tabla 31 Resultados Motor MG1 y MG2

Parámetro de Evaluación	**Resultados Motor MG1**	**Resultados Motor MG2**	**Criterio de Referencia / Análisis**
Valor Crítico Registrado	16,50 MΩ	17,80 MΩ	Valor obtenido bajo máximo estrés eléctrico (1000 V).
Umbral de Seguridad	> 5 MΩ	> 5 MΩ	Cumple con el requisito
Comparativo estado optimo	Integridad Operativa	Integridad Operativa	Un aislamiento nuevo típicamente excede los 100 MΩ.
Clasificación de condición	Pérdida de Propiedades	Perdida de Propiedades	Sus condiciones demuestran contaminación
Recomendación	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Preventivo	Realizar una limpieza completa con material necesario para el trabajo

(Autoría Propia)

4.9 Análisis de la Variación de Resistencia por Temperatura de Trabajo

Al tabular estos datos, buscamos establecer una línea base que permita la posterior aplicación de los factores de corrección térmica (típicamente a 20°C o 25°C según la norma IEEE), garantizando así que la evaluación de la continuidad eléctrica sea técnica, estandarizada y libre de las perturbaciones térmicas propias del entorno operativo del vehículo.

Para validar la estabilidad operativa de los componentes bajo condiciones de estrés real, se realizó un análisis de la resistencia en función de la temperatura de trabajo, dado que la resistividad de los devanados de cobre y la rigidez dieléctrica de los aislantes son magnitudes térmicamente dependientes, las mediciones se capturaron en diversos regímenes calóricos, desde el estado de reposo hasta la temperatura nominal de funcionamiento.

Los resultados de esta progresión se sistematizan en la siguiente Tabla 32, la cual se complementa con gráficas de tendencia y capturas termográficas que permiten visualizar la distribución del calor

en el estator y detectar posibles puntos críticos de fatiga térmica. Este análisis es indispensable para aplicar los coeficientes de corrección necesarios, garantizando que el diagnóstico de aislamiento sea preciso y no se vea sesgado por la carga térmica del motor durante el ensayo.

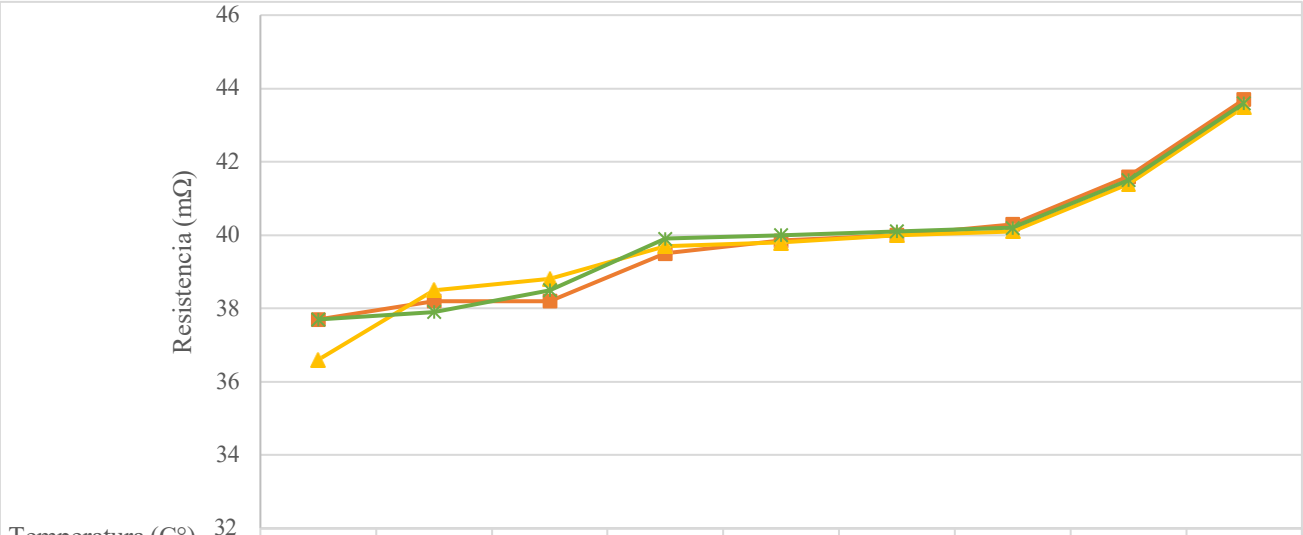
Tabla 32 Capturas termográficas de la distribución del calor

Detalle	Condición Operativa	Procedimiento / Técnica de Medición
	Reposo	Escaneo termográfico superficial en bornes de fase.
	Operación Normal	Captura infrarroja en núcleo del estator.
	Carga Moderada	Medición por contacto en cabezas de bobinado.

(Autoría Propia)

La medición precisa de la resistencia de los devanados es el indicador primario para detectar cortocircuitos entre espiras o problemas en las conexiones soldadas.

La simetría del circuito eléctrico es vital para el rendimiento electromagnético del motor. Para este análisis, se utilizaron los valores de resistencia óhmica corregidos desde los 8°C hasta 40°C. Esta normalización permite comparar las fases bajo una base común de trabajo.



Temperatura (C°)	8	10	13	18	20	25	30	35	40
Fase U-V (mΩ)	37,7	38,2	38,2	39,5	39,85	40	40,3	41,6	43,7
Fase U-W (mΩ)	36,6	38,5	38,8	39,7	39,8	40	40,1	41,4	43,5
Fase V-W (mΩ)	37,7	37,9	38,5	39,9	40	40,1	40,2	41,5	43,6

Figura 29 Resistencia Óhmica - Milióhmetro

(Autoría Propia)

4.9.1 *Análisis de Sensibilidad Térmica*

Con el objetivo de validar la estabilidad del estator bajo condiciones reales de operación, se realizó un análisis de sensibilidad térmica. Este procedimiento consistió en someter al motor a un ciclo de calentamiento controlado de 8 a 40 °C, para registrar la evolución de su resistencia interna. Esta prueba es fundamental en ingeniería mecánica para descartar "puntos calientes" anómalos y asegurar que el cobre del bobinado responde de manera predecible según su coeficiente de dilatación y conductividad térmica.

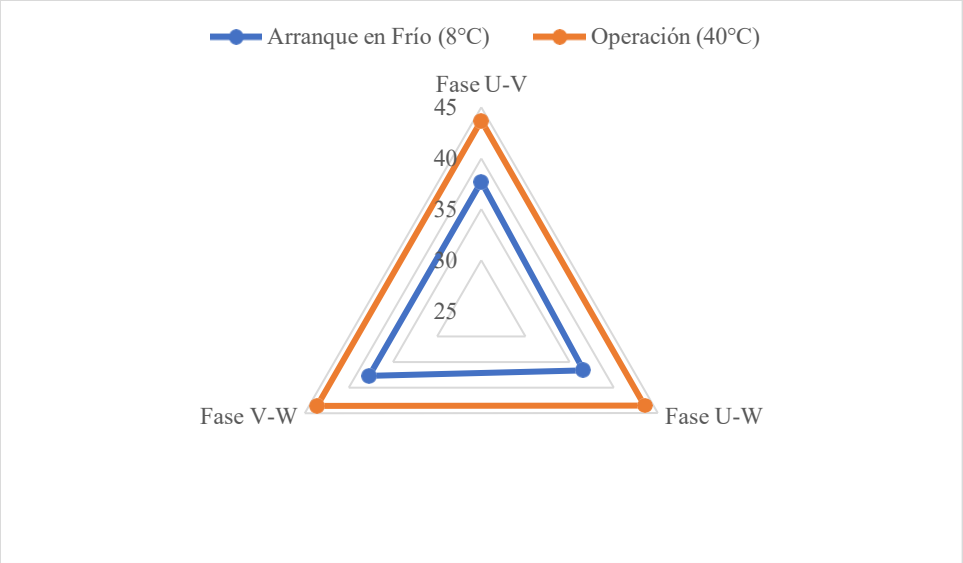


Figura 30 Variación de temperatura

(Autoría propia)

A menor temperatura 8 °C: El material conductor está "estable" y ofrece poca oposición al flujo. Es equivalente a una tubería lisa con bajo coeficiente de fricción. Por eso la resistencia es mínima

A mayor temperatura 40 °C: El calor es una forma de energía que altera las propiedades físicas del conductor. En términos mecánicos, el aumento de temperatura incrementa la "fricción interna" del material al paso de la corriente.

4.9.2 *Análisis de la Variación Absoluta*

La figura expone el cálculo de la variación resistiva absoluta (ΔR) para cada devanado del estator, en el régimen de 40 °C y el estado frío a 8 °C. Este análisis aísla el componente de incremento neto provocado por la carga térmica, permitiendo una evaluación comparativa directa mediante un diagrama de barras que jerarquiza la sensibilidad térmica de las fases U-V, U-W y V-W.

Tabla 33 Análisis de Variación Absoluta

Identificación de Fase	Resistencia Inicial (8°C) [mΩ]	Resistencia Final (40°C) [mΩ]	Variación Absoluta (ΔR) [mΩ]
Fase U-V	37,7	43,7	**6**
Fase U-W	36,6	43,5	**6,9**
Fase V-W	37,7	43,6	**5,9**

(Autoría Propia)

El análisis de las magnitudes diferenciales revela una alta uniformidad en la respuesta del material. Los incrementos de resistencia se mantienen en una banda estrecha, fluctuando apenas entre 5,9 y 6,9 mΩ. Aunque la fase U-W presenta una desviación marginal superior (ΔR = 6,9mΩ), la coherencia global de los datos descarta patologías críticas como desequilibrios de fase severos o puntos calientes resistivos, validando que la expansión térmica y la degradación óhmica ocurren de manera simétrica en toda la estructura del estator.

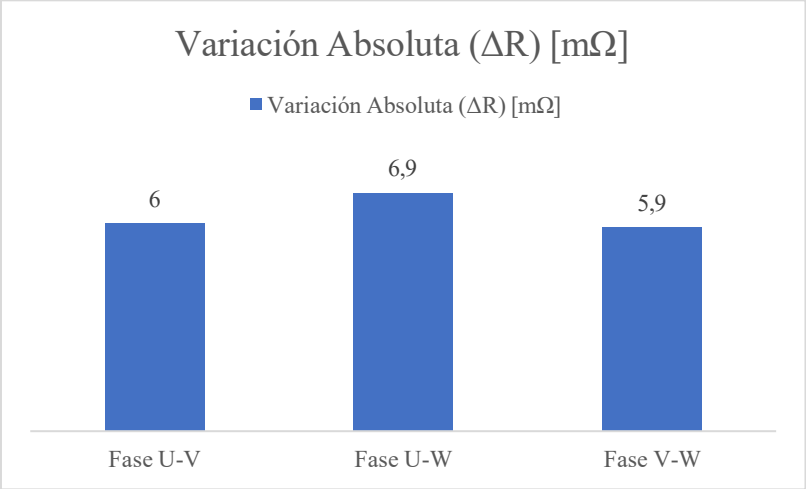


Figura 31 Variación Absoluta

(Autoría Propia)

4.9.3 *Análisis de Validación Experimental*

La figura 32 presenta una validación cruzada de los resultados, contrastando el promedio empírico obtenido en las tres fases frente a la curva característica ideal del cobre recocido. Este modelo gráfico tiene la finalidad de certificar la precisión de la instrumentación, superponiendo los datos de campo sobre la proyección matemática esperada en el intervalo térmico de 8 a 40°C.

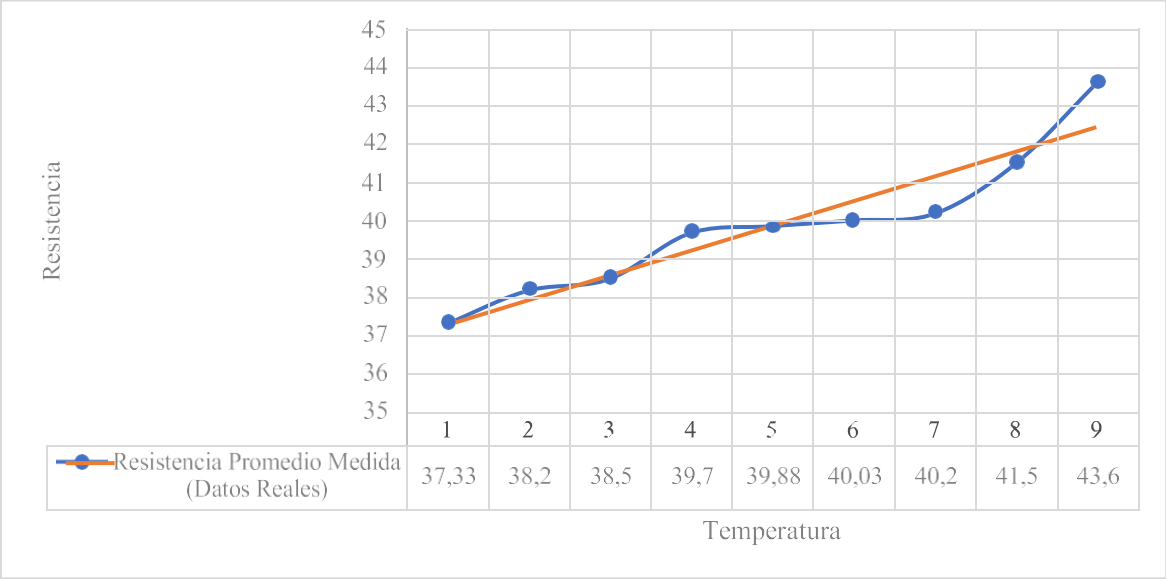


Figura 32 Validación Experimental de Resistencia

(Autoría Propia)

Se observa una alta convergencia entre los marcadores experimentales y la pendiente teórica, lo que ratifica la integridad del conductor. La linealidad de los datos demuestra que el aumento de resistencia obedece estrictamente a la termodinámica del material y no a errores sistemáticos o falsos contactos; las mínimas desviaciones existentes son atribuibles a la incertidumbre natural del equipo de medición, validando así la fiabilidad técnica del ensayo realizado.

4.10 Aislamiento Eléctrico (FALLA)

Verificar la integridad del aislamiento eléctrico (resistencia dieléctrica) entre los devanados de los estatores (MG1 y MG2) y la masa metálica (chasis/carcasa) para determinar si el componente es seguro para ser energizado.

4.10.1 *Datos Obtenidos en Aislamiento*

Las mediciones se realizaron conectando la punta positiva a cada fase del motor y la punta negativa (común) a la carcasa de la transmisión se representan en la siguiente tabla:

Tabla 35 Resultados de Prueba de Aislamiento (Fase a Tierra)

Componente	Punto de Prueba	Valor Medido (aprox.)	Estado de Lectura	Criterio de Evaluación	Resultado
MG2	Fase U - Carcasa	**21,6 MΩ**	Valor Legible	< 100 MΩ (Riesgo)	**FALLO**
MG2	Fase V - Carcasa	**16,4 MΩ**	Valor Legible	< 100 MΩ (Riesgo)	**FALLO**
MG2	Fase W - Carcasa	**20,0 MΩ**	Valor Legible	< 100 MΩ (Riesgo)	**FALLO**
MG1	Fase U - Carcasa	**O.L.** (>4000 MΩ)	Fuera de Rango	> 100 MΩ (Seguro)	**APROBADO**
MG1	Fase V - Carcasa	**O.L.** (>4000 MΩ)	Fuera de Rango	> 100 MΩ (Seguro)	**APROBADO**
MG1	Fase W - Carcasa	**O.L.** (>4000 MΩ)	Fuera de Rango	> 100 MΩ (Seguro)	**APROBADO**

Nota: *O.L. (Over Limit)* indica que la resistencia es infinita para la capacidad del equipo, lo cual es el estado ideal.

La **Figura 33** proporciona una visualización contundente del estado de los componentes, utilizando una escala logarítmica en el eje vertical para poder representar eficazmente la magnitud de la diferencia entre un aislamiento sano y uno comprometido. La línea horizontal roja punteada establece el umbral crítico de seguridad de 100 MΩ.

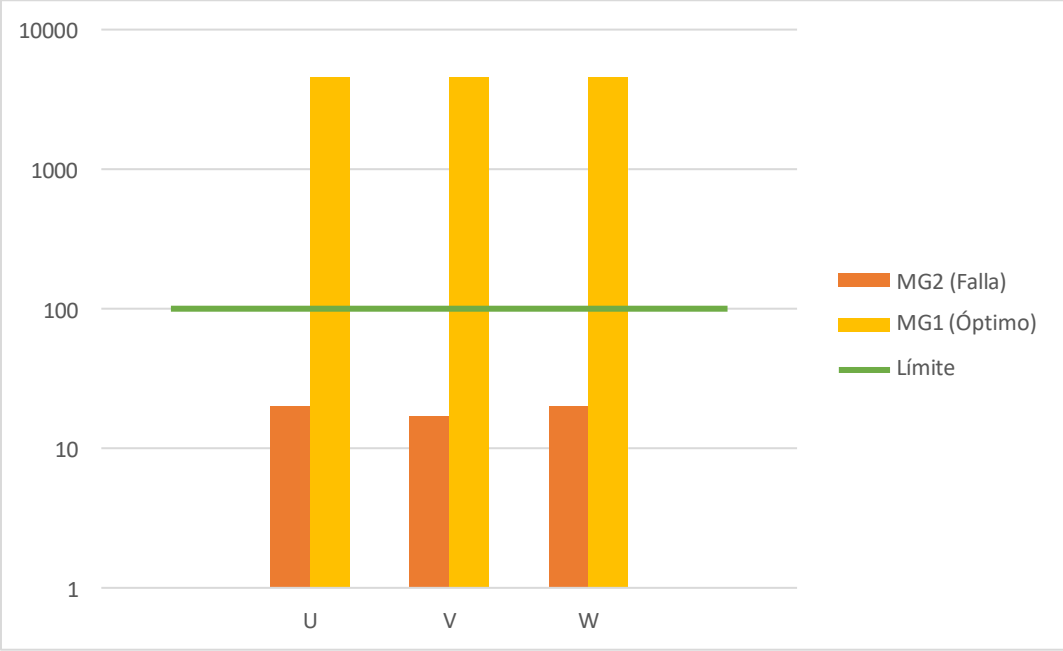


Figura 33 Comparación entre Motores Generadores por Falla de Aislamiento

(Autoría Propia)

El análisis de la gráfica revela que las tres fases del MG2 (barras naranjas a la izquierda**)** se encuentran significativamente por debajo de este umbral de seguridad. Los valores oscilan entre 16.4 MΩ y 21.6 MΩ, lo que indica una fuga de corriente generalizada y sistémica en todo el estator, no aislada en una sola fase.

En contraste absoluto, las barras correspondientes al MG1 (barras amarillas a la derecha) superan ampliamente la línea de límite, alcanzando el valor de saturación del equipo (representado como

4500 MΩ para fines gráficos). Esta comparación visual ratifica que mientras el MG2 mantiene su integridad estructural y eléctrica, el estator del MG1 ha sufrido una degradación severa que lo inhabilita para operar bajo alta tensión.

5 CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante la ficha de validación técnica, se comprobó que los equipos cumplen con la norma técnicas UNE-EN 61010-1. Para asegurar su estado real antes del diagnóstico, se ejecutaron pruebas prácticas de verificación que incluyeron la inspección visual de cables, la puesta a cero y la medición de una resistencia conocida. Esta revisión completa confirmó que los instrumentos no solo tienen la protección adecuada para soportar el voltaje de la batería híbrida de forma segura para el operador, sino que también garantizan la precisión y fiabilidad de los datos medidos.
- Al desarrollar los procedimientos para la medición de resistencia y aislamiento en redes de alta tensión de vehículos híbridos permite establecer metodologías técnicas confiables que mejoran la precisión del diagnóstico eléctrico. La aplicación de herramientas avanzadas, como el Megóhmetro y el Milióhmetro, facilita la detección temprana de fallas relacionadas con degradación del aislamiento, pérdidas de continuidad, conexiones defectuosas y fallas mecánicas.
- Al analizar las especificaciones de los equipos, se determinó que el Milióhmetro tiene una resolución de 0,1 mΩ gracias a su medición a 4 hilos. Por las características propias del equipo supera la capacidad de un multímetro convencional, durante las pruebas, se confirmó que es necesaria para detectar pequeñas variaciones en la resistencia del estator, demostrando que el equipo es apto para este tipo de diagnóstico.

- Se desarrollo mediciones que permitió obtener un diagnóstico preciso del sistema de alta tensión. La prueba de aislamiento mostró que el MG1 registró 16,50 MΩ, valor considerablemente inferior al MG2 (>550 MΩ), localizando la falla en el aislamiento del generador. En sistemas de tracción eléctrica, se consideran aceptables valores superiores a 100 MΩ, siendo óptimos por encima de 500 MΩ; valores menores a 50 MΩ indican pérdida del aislamiento, posible presencia de humedad y fallos mecánicos asociados. Por otra parte, la medición de resistencia del bobinado evidenció una variación promedio de 6,9 mΩ, dentro de rangos normales, lo que confirma el buen estado del cobre. En conjunto, los resultados demuestran que el procedimiento permite diferenciar correctamente una falla de aislamiento de un daño en el bobinado.
- Al evaluar la variación de resistencia por temperatura de trabajo en las fases del estator, se registró un incremento progresivo en las mediciones. Los valores partieron desde un mínimo de 38.6 mΩ en estado de reposo a 8 °C, pasando por un promedio referencial de 40,0 mΩ a 20 °C, hasta alcanzar un máximo de 43,7 mΩ en el régimen de 40 °C. Esta progresión de los datos demostró la sensibilidad del cobre frente al calor operativo del motor. Por consiguiente, se comprobó la necesidad de aplicar factores de corrección térmica para estandarizar las lecturas a 20 °C, garantizando así que el diagnóstico sea preciso y no se vea sesgado por la temperatura en la que se encuentre el vehículo al momento de la prueba.

5.2 RECOMENDACIONES

- Verificar la carga de batería y realizar el ajuste a cero, en base a las pruebas realizadas, se recomienda revisar que los equipos tengan el 100% de batería antes de medir debido a que, si la carga es baja, la inyección de 1000V se vuelve inestable. También se sugiere hacer siempre el "ajuste a cero" uniendo las puntas del Milióhmetro antes de medir, para restar la resistencia de los cables y obtener valores reales en la lectura.
- Limpiar los puntos de contacto es importante limpiar bien los terminales del inversor o limpia contactos antes de conectar las pinzas. Durante las mediciones se comprobó que la suciedad o la grasa en los pernos suman resistencia a la medición y alteran los resultados. Por esto, el contacto debe ser directo entre metales limpios para que el diagnóstico sea confiable.
- Se recomienda que los talleres utilicen los procedimientos de seguridad propuestos en este trabajo como una norma interna. Para neutralizar el peligro de descarga, es obligatorio el empleo de guantes aislantes clase 0 y la desactivación del *jumper*. Esta disciplina operativa es la única forma de prevenir accidentes por arco o contacto directo al manipular el bus de potencia.
- Una evolución natural de esta investigación consiste en extender el protocolo hacia el módulo convertidor CC-CA. La prioridad será integrar pruebas de eficiencia en la conversión de energía y análisis de comportamiento bajo carga, logrando así una metodología integral que abarque tanto la máquina eléctrica como su electrónica de control interna.

6 Referencias Bibliográficas

[1] C. Flores, I. Ponce Monárraez, y I. Pérez Olguin, «Conversión de un Vehículo Kart de Combustion Interna a Eléctrico: Revisión de Literatura y Modelado», nov. 2023, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/376205701_Conversion_de_un_Vehiculo_Kart_de_Combustion_Interna_a_Electrico_Revision_de_Literatura_y_Modelado

[2] C. Parra, «Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de baterías de alta tensión», *Congr. Int. Investig. Académica*, nov. 2023, [En línea]. Disponible en: https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:hKuABZ4OJB8J:scholar.google.com/+%5B2%5D%09C.+Parra,+«Procesos+de+operación,+diagnóstico+y+mantenimiento+de+baterías+de+alta+tensión»,+Universidad+de+las+Fuerzas+Armadas,+Latacunga,+2024.%7D&hl=es&as_sdt=0,5

[3] C. C. R. Paul y E. A. E. David, «TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ».

[4] G. Araya y A. Rámirez, «Comportamiento de los aislamientos sólidos de transformadores de potencia en condiciones ambientales no controladas», *Rev. Tecnol. En Marcha*, vol. 29, n.º 3, jul. 2016, doi: 10.18845/tm.v29i3.2891.

[5] TOYOTA, «Toyota Corolla Hybrid (2024) manual», 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.manual.ec/toyota/corolla-hybrid-2024/manual?p=71

[6] «Reducción de precios en vehículos eléctricos e híbridos valorados en más de $ 35.000 se reflejará en 2022 | Economía | Noticias | El Universo». Accedido: 9 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.eluniverso.com/noticias/economia/reduccion-de-precios-en-vehiculos-electricos-e-hibridos-valorados-en-mas-de-35000-se-reflejara-en-2022-nota/

[7] S. Arias, «Política Nacional de Movilidad Urbana Sostenible».

[8] Organizaciones de las Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible: Acción Climática», Informe Anual de Sostenibilidad, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/

[9] «AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador», AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.aeade.net/

[10] Asamblea Nacional del Ecuador, «LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA», en *LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA*. [En línea]. Disponible en: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/20190319-S_R_O_449_19_MARZO_LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf

[11] Organización de las Naciones Unidas, «Movilidad eléctrica en América Latina: Retos y Oportunidades», Informe ONU Medio Ambiente, 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.olade.org/wp-content/uploads/2024/09/Nota-Tecnica-Movilidad-electrica-en-America-Latina-y-el-Caribe-DEFINITIVA.pdf

[12] L. Ibérica, «Diagnosis en el Coche híbrido y eléctrico. PARTE 1 | Launch Ibérica». Accedido: 9 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.launchiberica.com/diagnosis-coches-hibridos-electricos/

[13] R. Alonso, «Corriente continua y alterna: diferencias y ¿cuál utiliza tu PC?», HardZone. Accedido: 30 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hardzone.es/tutoriales/mantenimiento/corriente-continua-alterna-pc/

[14] paguayo, «Voltaje, Corriente, Resistencia, y Ley de Ohm», MCI Educación. Accedido: 7 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://cursos.mcielectronics.cl/2019/06/18/voltaje-corriente-resistencia-y-ley-de-ohm/

[15] J. A. Ros Marín y Ó. Barrera Doblado, «Vehículos eléctrico e híbridos». Carmen Lara Carmona, Madrid España, p. 201, 2015. [En línea]. Disponible en: clientes@paraninfo.es / www.paraninfo.es
[16] A. B. F. Redondo y J. A. A. Daviu, «DETECCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES EN EL SISTEMA AISLANTE DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS COMO TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO».
[17] «aislamiento de motores electricos grafica - Buscar con Google».
[18] «DE ENERGÍA QUÍMICA A ENERGÍA ELÉCTRICA (ELECTROQUÍMICA)», Steemit. Accedido: 30 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://steemit.com/stemespanol/@viannis/de-energia-quimica-a-energia-electrica-electrodinamica
[19] «Bateria HV | PDF | Batería de iones de litio | Electricidad», Scribd. Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/531203319/Bateria-HV
[20] «Figura 3. Densidad de energía gravimétrica y volumétrica para...», ResearchGate. Accedido: 30 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Densidad-de-energia-gravimetrica-y-volumetrica-para-diferentes-tipos-de_fig1_367852636
[21] «Diapositiva 1». Accedido: 30 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.paginaspersonales.unam.mx/files/1470/Presentacion_MOTORES.pdf
[22] «WEG-Guia-de-especificacion-de-Motores-Electricos2.pdf». Accedido: 6 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.agrosistemas.com.ec/images/agro-sistemas/02-cliente/04-archivos/WEG-Guia-de-especificacion-de-Motores-Electricos2.pdf
[23] «MOTORES ASÍNCRONOS Y SÍNCRONOS - General Driver Motor». Accedido: 6 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.generaldrivermotor.com/news-motores/motores-asincronos-y-sincronos/
[24] «¿Cuál es la diferencia entre un motor de CA y un motor de CC?» Accedido: 6 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.magneticinnovations.com/es/faq/cual-es-la-diferencia-entre-los-motores-de-c-a-y-c-c/
[25] «Tipos de motores eléctricos en automóviles actuales», espíritu RACER. Accedido: 10 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://espirituracer.com/reportajes/tipos-de-motores-electricos-en-automoviles-actuales/
[26] J. Tacuri y J. Eduardo, «Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continúa sin escobillas Brushless con 1000 watts de potencia».
[27] C. G. Oliva, «Motor asíncrono: Todo lo que tienes que saber». Accedido: 6 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.autonocion.com/motor-asincrono-funcionamiento/
[28] «Tipos de Motores de reluctancia y Funcionamiento», OSWOS. Accedido: 6 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://oswos.com/es/motor-reluctancia/
[29] «Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles», Routledge & CRC Press. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.routledge.com/Modern-Electric-Hybrid-Electric-and-Fuel-Cell-Vehicles/Ehsani-Gao-Longo-Ebrahimi/p/book/9781498761772
[30] M. Ehsani, Ed., *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. en Power electronics and applications series. Boca Raton: CRC Press, 2005.
[31] management, «Coches híbridos vs. eléctricos: diferencias y ventajas | EVO Mundo». Accedido: 9 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://evomundo.es/coches-hibridos-vs-electricos-diferencias-y-ventajas/
[32] «Access Denied». Accedido: 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/movilidad-electrica/tipos-vehiculos-electricos
[33] «Vehículos eléctricos certificados: ISO 6469 -3 - Software ISO». Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.isotools.us/2013/04/04/vehiculos-electricos-certificados-iso-6469-3/

[34] «Diseño e implemetacion de un controlador para la recarga de una bateria de un vehiculo hibrido aplicando tecnicas de control continuo».
[35] S. S. V. Giovanni y H. D. R. Andrés, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO», *2010*, p. 219.
[36] C. A. M. Pinto, «MAQUETA DEL SISTEMA Y FUNCIONAMIENTO DE UN INVERSOR EN VEHÍCULOS HÍBRIDOS», *2018*, p. 50, may 2018.
[37] J. E. A. Jiménez y M. A. Castillo, «Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios.».
[38] «(PDF) Inversor Integrado Zeta/Ćuk para Aplicações Monofásicas Autônomas». Accedido: 5 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/388036636_Inversor_Integrado_ZetaCuk_para_Aplicacoes_Monofasicas_Autonomas
[39] M. Ehsani, Y. Gao, y A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, Second Edition*. CRC Press, 2017.
[40] >Imprimir página, «¿Qué significan las clasificaciones CAT?» Accedido: 27 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.flir.com.mx/discover/professional-tools/what-do-cat-ratings-mean/
[41] «Multímetro aplicaciones eléctricas RMS CATIII 600V Fluke 114 | Fluke». Accedido: 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fluke.com/es-ec/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-114
[42] «Bosch Automotive Handbook, 10th Edition, "Automotive Diagnostics with Multimeters," Robert Bosch GmbH.»
[43] I. A. Donado, «curso virtual de reparacion de computadoras automotrices». Accedido: 10 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://autosoporte.com/analisis-tecnico-del-uso-del-osciloscopio-automotriz/
[44] J. Bronks, «Manual de usuario del osciloscopio de PC PicoScope serie 4000 para automoción», 2008.
[45] «Goodheart-Willcox. (2021). "Scan Tools." En Automotive Technology: Principles, Diagnosis, and Service (5ª ed.), capítulo 14.»
[46] «Escáner Automotriz Launch X431 Pros V5». Accedido: 10 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.automotrizescaner.com/escaner-automotriz-launch-x431-pros-v5
[47] «Megaohmetro PCE-IT111». Accedido: 27 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-electricidad/megaohmetro-c-360.htm
[48] «megaohmetro-c-360».
[49] «IR4056- 20 HIOKI | Medidor de aislamiento (MegaOhmetro)», RAAD | HIOKI MÉXICO. Accedido: 11 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hioki-raadmexico.com/shop/medidores/medidores-de-aislamiento-megaohmetros/ir4056-20-hioki-medidor-de-aislamiento-megaohmetro/
[50] T. S. A. de C.V, «Twilight S.A de C.V.» Accedido: 11 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://twilight.mx/instrumentos/medidores-de-aislamiento/37/464/lt-mo2001-miliohmetro.html?srsltid=AfmBOooEsozytv_i_85lzDiy1QB9VJ0Rk03z-vNDeiIQDihj0oPAoSH-
[51] «Milliohmmeter PCE-MO 2001 | PCE Instruments». Accedido: 5 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/milliohmmeter-pce-instruments-milliohmmeter-pce-mo-2001-det_52505.htm
[52] «EN 61010-1 2010 Electrical safety for laboratory equipment - General».
[53] «nema.mg-1.2009».

[54] «IEEE Std. 43-2000-inlges».
[55] «¿Cuáles son las diferencias *específicas* entre CAT III y CAT IV? - Página 1». Accedido: 7 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.eevblog.com/forum/testgear/what-are-the-*specific*-differences-between-cat-iii-and-cat-iv/
[56] «¿Cómo usar un megger de aislamiento?» Accedido: 1 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.certicalia.com/blog/como-usar-un-megger-de-aislamiento
[57] «Fault Sniffer 2 & ESG NT2 | Megger». Accedido: 1 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.megger.com/es/ESG_NT2_Fault_Sniffer2?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign={DH|P.Max|Cable|FaultSniffer2|LATAM}&utm_term=&hsa_kw=&gad_source=1&gad_campaignid=22490511546&gbraid=0AAAAA-PNEBg8ClAhaf_9IYrBCHe9OVcUQ&gclid=CjwKCAiAlrXJBhBAEiwA-5pgwqkDXTrwgj_Kog1YImhHNleN_WlWcD5SYwZNWd70B8eX_CMFNExfqhoCN3QQAvD_BwE
[58] Tecneu, «¿Cómo Usar un Multímetro? Funciones, Símbolos y Aplicaciones Prácticas», Tecneu. Accedido: 1 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.tecneu.com/blogs/noticias/como-usar-un-multimetro-funciones-simbolos-y-aplicaciones-practicas
[59] «Milióhmetro Digital EM-580C», Biomars.pe. Accedido: 1 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://biomars.pe/producto/miliohmetro-digital-em-580c/
[60] IEEE, «Práctica recomendada por IEEE para probar la resistencia del aislamiento de maquinaria eléctrica», Comité de Maquinaria Eléctrica, GUIA 43, 2013.
[61] National Electrical Manufacturers Association, *NEMA MG-1: Motors and generators*, NEMA. en 10cfr 431, no. 10cfr 431. usa, 2009.

ANEXOS

ANEXO 1: Cables de prueba de alta tensión

Actividad	Descripción	Imagen
Inspección de los cables de alta tensión del equipo Megóhmetro	Estos cables no deben presentar ninguna fisura que altere en su medición.	

ANEXO 2: Equipo Milióhmetro

Actividad	Descripción	Imagen
Revisión del equipo	Verificamos que el equipo no presente ninguna resistencia residual interna.	

ANEXO 3: Resistencias

Actividad	Descripción	Imagen
Medición de las resistencias conocidas	Estas resistencias sirven para validar el equipo son de 10 MΩ y de 2 mΩ.	

ANEXO 4: Medición de resistencia

Actividad	Descripción	Imagen
Medición de las resistencias conocidas con el equipo miliohmetro	Medición de resistencia conocidas para validar la lectura del equipo.	

ANEXO 5: Medición de resistencia

Actividad	Descripción	Imagen
Medición de las resistencias conocidas con el equipo Megóhmetro	Medición de resistencia conocidas para validar la lectura del equipo.	

ANEXO 6: Proceso de diagnostico

Actividad	Descripción	Imagen
Proceso de diagnóstico con el Milióhmetro y el estator	Medición de resistencia óhmica de los devanados.	

ANEXO 7: Proceso de diagnóstico

Actividad	Descripción	Imagen
Proceso de diagnóstico con el Megóhmetro y el estator	Medición de resistencia de aislamiento de los devanados con la carcasa.	

ANEXO 8: Variación de la temperatura

Actividad	Descripción	Imagen
Jugamos con la temperatura con el estator	Verificamos la reacción de los devanados se comprobó que es directamente proporcional a la temperatura.	

ANEXO 9: Norma NEMA MG1

Actividad	Descripción	Imagen
Revisión y aplicación de la norma NEMA MG1 en motores eléctricos	La norma NEMA MG1 establece los lineamientos técnicos para la fabricación, operación y evaluación de motores eléctricos.	

ANEXO 10: Norma IEC 61010-1

Actividad	Descripción	Imagen
Aplicación de la norma IEC 61010-1 en equipos de medición eléctrica	Establece los requisitos de seguridad para equipos eléctricos de medición, control y uso en laboratorio.	

ANEXO 11: Norma IEEE Std 43

Actividad	Descripción	Imagen
Aplicación de la norma IEEE Std 43 en la medición de resistencia de aislamiento	Establece las prácticas para la medición y evaluación de la resistencia de aislamiento en máquinas eléctricas rotativas.	

ANEXO 12: Tabla factor de corrección de temperatura

Tabla de factor de corrección de temperatura

TMEDIA (°C)	Factor de Corrección (Kt) para RREF=40◦C	TMEDIA (°C)	Factor de Corrección (Kt) para RREF=40◦C
0	12,80	**45**	0,81
5	7,90	**50**	0,60
10	5,00	**55**	0,44
15	3,20	**60**	0,33
20	**2,50**	**65**	0,24
25	1,80	**70**	0,18
30	1,40	**75**	0,13
35	1,15	**80**	0,09
40	**1,02**	**85**	0,06
		90	0,04

(Tomado de IEE Std43-2013)

ANEXO 14: Guía de practica

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

SISTEMAS ELECTRICOS- VEHICULOS ELECTRICOS

1.- TEMA DE LA PRÁCTICA

USO DE MEGAOHMETRO Y MILIOHMETRO

2.- DATOS INFORMATIVOS

# Práctica:	**Semestre:** Octavo	**Período Académico:** Abril-Agos	**Laboratorio/Taller:** Laboratorio de Máquinas Eléctricas – UTN
Docente: Ing.		**Fecha de Ejecución:**	**Fecha de Entrega:**
Estudiante:			

3.- OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar mediciones de resistencia de aislamiento aplicando correctamente el uso del megóhmetro y miliohmetro para evaluar el estado eléctrico de motores y cableados

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

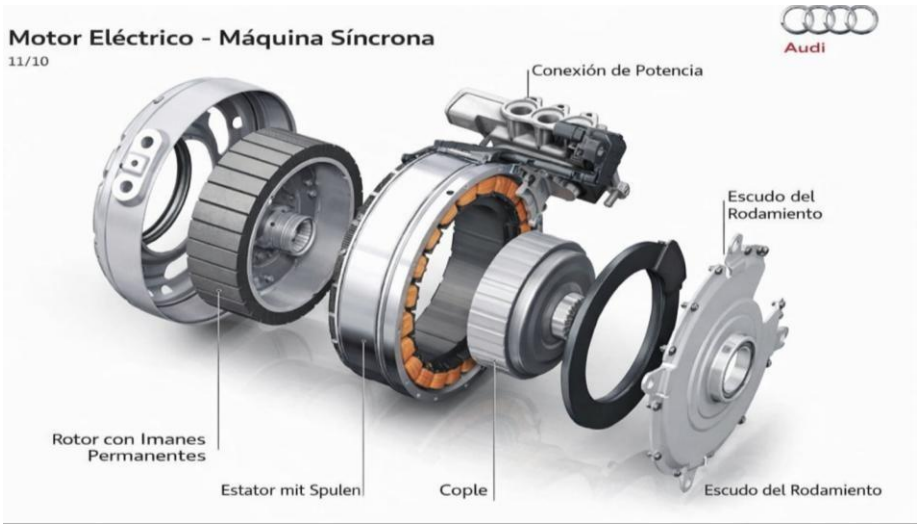
- Aplicar procedimientos seguros durante la medición con megóhmetro.
- Identificar valores correctos y anormales de aislamiento.
- Comprender la importancia del aislamiento en sistemas eléctricos.

4.- EQUIPO REQUERIDO

MATERIALES	EQUIPOS	HERRAMIENTAS
• Guantes dieléctricos • Calzado de seguridad • Mandil • Libreta de apuntes	• Megaohmetro • Miliohmetro	• Multímetro • Destornillador plano • Llaves mixtas • Puntas de prueba

5.- MARCO TEÓRICO

El motor eléctrico es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas, está conformado por un estator y un rotor. Algunos motores eléctricos son reversibles, es decir que tienen arreglos transforma la energía mecánica en eléctrica



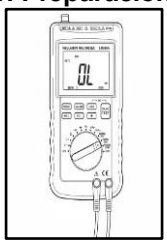
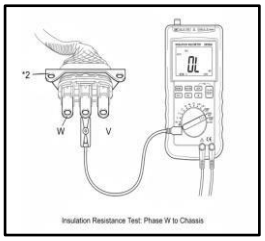
El Megóhmetro es un instrumento destinado a medir la resistencia de aislamiento en cables, motores, bobinas y sistemas eléctricos. Funciona aplicando un alto voltaje (entre 250V y 1000V) para evaluar la capacidad del aislamiento para evitar fugas de corriente.

Un correcto aislamiento ev ta cortocircuitos, electrocución y fallas en equipos eléctricos. Los valores adecuados suelen ser mayores a 1 MΩ en la ma yoría de los motores y cableados.

El Milióhmetro es un instr umento destinado a medir la resistencia baja ya sea de un bobinado, cables, motores y sistema eléctricos. Su funcionamiero es aplicar un voltaje para medir resistencia de (20 mΩ, 200mΩ, 2Ω, 20Ω, 200Ω, 20)0Ω permite eliminar el efecto de las resistencias p arásitas introducidas por los cables d e prueba y los contactos.

Una correcta medición d e estas resistencias bajas para dete ctar fallas en equipos eléctricos. Los valores ade cuados suelen ser mayores 40-50 M LΩ en la mayoría de los motores y cableados

6.- MÉTODO Y PROCEDIl IENTO

Detalle	Acción Principal	Criterio
1. Preparación 	Verificar entorno y EPP. Configurar el equipo a 500V o 1000V DC.	Seguridad: Confirmar 0 VDC en el circuito.
2. Conexión 	Conectar terminal Negro a Masa/Chasis. Conectar terminal Rojo a cada una de las fases.	Asegurar un punto de masa limpio y desnudo.
3. Ejecución 	Pulsar y mantener botón "TEST". Esperar a que se estabilice la lectura de resistencia.	Se está inyectando alto voltaje durante este paso.
4. Seguridad Final 	Registrar la lectura y permitir la Descarga del Objeto Probado.	Precaución: El voltaje debe caer a cero antes de tocar las puntas.
5. Evaluación	Comparar el resultado con manual.	Aprueba: Si el valor es > 1000 MΩ.

Milióhmetro Entre Fases

Detalle	Acción Principal	Criterio
1. Preparación 	Verificar entorno y EPP. Seleccionar modo de 4 Hilos (Kelvin) en el equipo.	El circuito debe estar en 0 VDC Absoluto. Los Milióhmetros no soportan voltaje externo.
2. Conexión 	Conectar las 4 puntas: Terminales de Fuente y Terminales de Voltaje entre las fases (u, v, w).	Las pinzas Kelvin deben morder firmemente el conductor.
3. Ejecución 	Pulsar botón "TEST" para iniciar la inyección de corriente. Esperar estabilización y registrar el valor en m Ω.	La medición debe ser estable.
4. Evaluación 	Comparar el resultado con la referencia del fabricante.	Aprueba: Si el valor es **<** 100 mΩ (según diagrama). Eficiencia adecuada. Rechaza: Si es mayor. Indica alta resistencia/posible sobrecalentamiento.
5. Retiro 	Retirar las sondas en orden al finalizar la evaluación.	No cortocircuitar las puntas innecesariamente.

7.- RESULTADOS Y ANÁLISIS

MEGAOHMETRO

Resistencia U–Tierra: _____MΩ
Resistencia V–Tierra: _____MΩ
Resistencia W–Tierra: _____MΩ

Resistencia U–V: _____MΩ
Resistencia U–W: _____MΩ
Resistencia W–V: _____MΩ

MILIOHMETRO

Resistencia U–V: _____MΩ
Resistencia U–W: _____MΩ
Resistencia W–V: _____MΩ

8.- CUESTIONARIO

¿Cuál es la función de un Megóhmetro?

Es medir la resistencia de aislamiento aplicando un alto voltaje de prueba para evaluar el estado dieléctrico de cables, motores y sistemas de alta tensión.

¿Qué voltaje de prueba se utiliza normalmente en motores pequeños?

Normalmente se utilizan 250 V o 500 V en motores pequeños (baja tensión), dependiendo de la tensión nominal del equipo.

¿Qué valor mínimo se considera aceptable para un aislamiento en buen estado?

- **>**100 MΩ → aceptable
- >500 MΩ → muy buen estado

- <50 MΩ → condición no aceptable (posible degradación del aislamiento)

¿Qué factores pueden disminuir la resistencia de aislamiento?

Humedad y contaminación * Temperatura elevada * Envejecimiento del aislamiento

*Daño mecánico o vibraciones * Aceite, polvo o suciedad

¿Por qué se debe descargar el equipo después de una medición?

Porque el componente queda energizado por carga capacitiva; descargarlo evita descargas eléctricas al técnico y protege el equipo.

¿Por qué se debe encerar el equipo antes de realizar mediciones?

Para eliminar el error de cables y puntas de prueba, garantizando mediciones más precisas

¿Cuál es la función de un Milióhmetro?

El Milióhmetro mide resistencias muy bajas para evaluar continuidad, conexiones, barras conductoras y bobinados con alta precisión.

¿Qué factores nos puede dar datos erróneos al momento de medir una resistencia

Mala conexión de puntas, resistencia de cables de prueba, temperatura del conductor

Oxidación o suciedad en terminales, corrientes parásitas,

No usar medición Kelvin (4 hilos)

¿En qué rango de resistencias trabaja un Milióhmetro y por qué un multímetro convencional no es adecuado para este tipo de mediciones?

El Milióhmetro trabaja típicamente entre μΩ (microhmios) y mΩ (miliohmios).

Un multímetro convencional no es adecuado porque su resolución y corriente de prueba que la resistencia de cables y contactos introduce errores significativos. El Milióhmetro cuatro hilos (Kelvin) para obtener alta precisión.

10.- RECOMENDACIONES

- Verificar la carga de batería y realizar el ajuste a cero, en base a las pruebas realizadas, se recomienda revisar que los equipos tengan el 100% de batería antes de medir debido a que, si la carga es baja, la inyección de 1000V se vuelve inestable. También se sugiere hacer siempre el "ajuste a cero" uniendo las puntas del Milióhmetro antes de medir, para restar la resistencia de los cables y obtener valores reales en la lectura.
- Limpiar los puntos de contacto es importante limpiar bien los terminales del inversor o limpia contactos antes de conectar las pinzas. Durante las mediciones se comprobó que la suciedad o la grasa en los pernos suman resistencia a la medición y alteran los resultados. Por esto, el contacto debe ser directo entre metales limpios para que el diagnóstico sea confiable.

- Se recomienda que los talleres utilicen los procedimientos de seguridad propuestos en este trabajo como una norma interna. El uso de guantes de clase 0 y el bloqueo del jamper son necesarios para proteger al técnico del voltaje del sistema. Seguir los pasos de seguridad ayuda a evitar accidentes eléctricos al momento de hacer el diagnóstico.

11.- ANEXOS

ANEXO 1: Proceso de diagnostico

Actividad	Descripción	Imagen
Proceso de diagnóstico con el Megaohmetro y el estator	Medición de resistencia de aislamiento de los devanados con la carcasa.	

ANEXO 2: Proceso de diagnostico

Actividad	Descripción	Imagen
Proceso de diagnóstico con el Miliohmetro y el estator	Medición de resistencia de aislamiento entre los devanados.	

ANEXO 3: Proceso de calibración de equipos

Actividad	Descripción	Imagen

Proceso de diagnóstico de calibración del Meger y Mili	Se calibra los equipos para que las lecturas salgan sin error.	

ANEXO 4: Proceso de obtención de datos

Actividad	Descripción	Imagen
Proceso de obtención de datos.	En este proceso es crucial para diagnosticar los componentes del motor eléctrico y conocer su estado.	