



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS DE CONTROL, CONEXIÓN,
SEGURIDAD Y ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA EL
LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE DE LA ESPEL.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECÁNICO**

JUAN PABLO GUAYTA GUAITA

MARÍA AUGUSTA GUERRERO SARZOSA

Latacunga, Octubre 2009

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDADES

El proyecto de grado denominado **IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS DE CONTROL, CONEXIÓN, SEGURIDAD Y ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE DE LA ESPEL**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Octubre del 2009.

JUAN PABLO GUAYTA GUAITA

C.I 050297882-8

MARÍA AUGUSTA GUERRERO SARZOSA

C.I 050305647-5

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Juan Pablo Guayta Guaita y María Augusta Guerrero Sarzosa, en pleno uso de nuestras facultadas AUTORIZAMOS a la Escuela Politécnica del Ejercito la publicación en la biblioteca virtual de la institución el proyecto de grado con el tema **IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS DE CONTROL, CONEXIÓN, SEGURIDAD Y ELABORACIÓN DE GUÍAS PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE DE LA ESPEL**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y auditoria.

JUAN PABLO GUAYTA GUAITA

C.I 050297882-8

MARÍA AUGUSTA GUERRERO SARZOSA

C.I 050305647-5

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Juan Pablo Guayta Guaita y la Srta. María Augusta Guerrero Sarzosa, bajo nuestra supervisión.

Ing. Washington Freire
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Hernán Iturralde
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Politécnica del Ejército y a todos mis profesores los cuales en toda mi carrera universitaria se dedicaron a impartirme valiosos conocimientos, en especial al Ing. Washington Freire, Ing. Hernán Iturralde, Ing. Mario Jiménez y a mi compañera de tesis María Augusta Guerrero ya que sin su apoyo el éxito de este proyecto no habría sido satisfactorio.

Juan Pablo

A Dios y a mí querida Familia porque son ellos los verdaderos merecedores de este logro, gracias por su apoyo incondicional.

A los Ingenieros Washington Freire, Hernán Iturralde, Mario Jiménez por tomarse el tiempo para guiarnos y aconsejarnos durante el proyecto con la mejor disposición.

A mi compañero y gran amigo Juan Pablo Guayta por todo el apoyo que me ha brindado durante todo este tiempo.

María Augusta

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres y hermanos que me brindaron un apoyo incondicional para realizar y alcanzar mis metas.

Juan Pablo

Quiero dedicar este trabajo a mi mami Mayra y a mi abuelita Beatriz por su apoyo incondicional en todo momento, de la misma manera a Lina, Maribel, Alejandra, Juliana y Edwin por apoyarme, motivarme y sobre todo por creer en mí ayudándome a cumplir esta meta.

María Augusta

INDICE GENERAL

CAPITULO I	-1-
1.1 INTRODUCCIÓN	-1-
1.3 GENERALIDADES	-2-
1.4 NIVEL DE AISLAMIENTO BÁSICO AL IMPULSO (BIL)	-3-
1.5 AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN	-3-
1.5.1 AUTO-REGENERADOS.....	-3-
1.5.2 NO AUTO-REGENERADAS.....	-4-
1.6 DEGRADACIÓN AISLAMIENTO	-4-
1.6.1 FATIGA ELÉCTRICA.....	-4-
1.6.2 FATIGA MECÁNICA.....	-4-
1.6.3 ATAQUE QUÍMICO	-4-
1.6.4 FATIGA TÉRMICA	-4-
1.6.5 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	-5-
1.7 CABLES AISLADOS	-5-
1.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES	-6-
1.7.2 COMPONENTES DE UN CABLE ELÉCTRICO AISLADO.....	-7-
1.7.3 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	-14-
1.7.4 RESISTENCIA DE CONDUCTORES	-14-
1.7.5 CAPACIDAD	-14-
1.7.6 ENSAYOS DE TENSIÓN	-14-
1.8 AISLAMIENTOS EN TRANSFORMADORES	-14-
1.9 PRUEBAS A TRANSFORMADORES	-14-
1.9.1 SOPORTE DE VOLTAJE DE BAJA FRECUENCIA.....	-15-
1.9.2 DETECCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES EN EL AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR	-16-
1.9.3 ENSAYOS DE IMPULSO	-16-
1.9.4 SOPORTE DE ONDA COMPLETA	-17-
1.9.5 ENSAYOS DE APLICACIÓN DE POTENCIAL.....	-17-
1.9.6 SOPORTE DE ONDA INTERRUMPIDA.....	-18-
1.9.7 SOPORTE DE FRENTE DE ONDA.....	-18-
1.9.8 MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.....	-19-
1.9.9 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO	-19-

1.9.10	RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.....	-20-
1.9.11	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS.....	-20-
1.10	ENSAYOS EN ACEITE DIELECTRICO	-24-
1.10.1	ACEITE DIELECTRICO.....	-24-
1.10.2	VIDA ÚTIL DE UN ACEITE AISLANTE	-24-
1.10.3	RIGIDEZ DIELECTRICA	-24-
1.10.4	ENSAYOS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DEL ACEITE	-25-
1.10.5	NUMERO DE NEUTRALIZACIONES	-26-
1.10.6	TENSIÓN INTERFACIAL	-26-
1.10.7	ÍNDICE DE CALIDAD.....	-27-
1.10.8	CONTENIDO DE AGUA.....	-27-
1.10.9	SEDIMENTOS Y LODOS PRECIPITABLES	-27-
1.10.10	RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA	-27-
1.10.11	CONTENIDO DE INHIBIDOR (PARA ACEITES INHIBIDOS).....	-28-
1.10.12	COLOR	-28-
1.10.13	ASPECTO	-28-
1.10.14	ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN.....	-28-
1.10.15	PUNTO DE INFLAMACIÓN.....	-28-
1.10.16	PUNTO DE ESCURRIMIENTO	-29-
1.10.17	DENSIDAD.....	-29-
1.10.18	VISCOSIDAD	-29-
1.10.19	DETECCIÓN DE GASES DISUELTOS EN EL ACEITE	-29-
1.11	ENSAYO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	-30-
1.11.1	PUESTA A TIERRA.....	-30-
1.11.2	EL SUELO.....	-30-
1.11.3	LA RESISTIVIDAD	-30-
1.11.4	RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	-30-
1.11.5	TIERRA DE REFERENCIA (SEN).....	-31-
1.11.6	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO	-31-
1.11.7	COMPOSICIÓN DEL TERRENO	-31-
1.12	ENSAYOS HI-POT.....	-32-
1.12.1	ENSAYO HI-POT CON CORRIENTE ALTERNA.....	-33-
1.12.2	ENSAYO HI-POT CON CORRIENTE CONTINUA.	-33-

1.13	ENSAYOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA AISLANTE DE MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS.....	-33-
1.13.1	ENSAYOS CON TENSIÓN CONTINUA.....	-33-
1.13.2	ENSAYOS DE SOBRETENSIÓN.....	-34-
1.13.3	ENSAYOS DE ONDAS DE CHOQUE.....	-34-
1.13.4	ENSAYOS DE TANGENTE DE DELTA.....	-35-
1.13.5	ENSAYOS DE DESCARGAS PARCIALES.....	-35-
1.13.6	PRUEBA DE CD PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL ESTATOR.....	-36-
1.14	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LABORATORIO.....	-37-
1.15	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS.....	-38-
1.15.1	TETTEX TTR 2795.....	-38-
1.15.2	MICROHMETRO MODELO 6250.....	-40-
1.15.3	MEGAOHMETRO MODELO 5070.....	-42-
1.15.4	MEDIDOR DIGITAL DE RESISTENCIA A TIERRA 4620 Y 4630.....	-44-
1.15.5	ESPINTERÓMETRO.....	-45-
1.15.6	HIGH VOLTAGE 8000 SERIES.....	-46-
1.15.7	MOTOR TESTER, MODELO 6000, MARCA SAMATIC.....	-48-
1.16	JAULA DE FARADAY.....	-49-
1.17	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA.....	-50-
1.17.1	NORMALIZACIÓN.....	-50-
1.17.2	OBJETO DE NORMALIZACIÓN.....	-50-
1.17.3	OBJETIVOS DE LA NORMALIZACIÓN.....	-50-
1.18	NORMATIVA PARA ENSAYOS ELÉCTRICOS.....	-50-
1.18.1	DOCUMENTOS NORMALIZADOS A IMPLEMENTAR.....	-50-
1.19	DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE NORMAS.....	-51-
CAPITULO II		-53-
2.1	GENERALIDADES.....	-53-
2.2	APLICACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS NTE INEN, IEEE, ASTM.....	-54-
2.3	CERTIFICACIÓN CALIBRACIÓN DE EQUIPOS.....	-54-
2.4	GUÍAS DE PRÁCTICA PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE.....	-55-
2.4.1	OBJETIVO.....	-55-
2.4.2	ALCANCE.....	-55-
2.4.3	PROCESOS PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE.....	-55-

2.5	MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS	-56-
2.5.1	TEMA	-57-
2.5.2	OBJETIVO.....	-57-
2.5.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-57-
2.5.4	NORMAS DE REFERENCIA	-58-
2.5.5	NORMAS DE SEGURIDAD.....	-59-
2.5.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-59-
2.5.7	PROCEDIMIENTO	-60-
2.5.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-65-
2.5.9	CUESTIONARIO	-66-
2.6	MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	-67-
2.6.1	TEMA	-68-
2.6.2	OBJETIVO.....	-68-
2.6.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-68-
2.6.4	NORMAS DE REFERENCIA	-69-
2.6.5	NORMATIVA DE SEGURIDAD	-69-
2.6.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-70-
2.6.7	PROCEDIMIENTO	-70-
2.6.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-74-
2.6.9	CUESTIONARIO	-76-
2.7	DETERMINACIÓN DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE	-77-
2.7.1	TEMA	-78-
2.7.2	OBJETIVO.....	-78-
2.7.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-78-
2.7.4	NORMAS DE REFERENCIA	-79-
2.7.5	NORMATIVA DE SEGURIDAD	-79-
2.7.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-80-
2.7.7	PROCEDIMIENTO	-80-
2.7.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-82-
2.7.9	CUESTIONARIO	-83-
2.8	MEDICIÓN DE TENSIÓN DE CORTO CIRCUITO Y VACIO EN TRASFORMADORES MONOFÁSICOS.....	-84-
2.8.1	TEMA	-85-
2.8.2	OBJETIVO.....	-85-

2.8.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-85-
2.8.4	NORMAS DE REFERENCIA	-88-
2.8.5	NORMATIVA DE SEGURIDAD	-88-
2.8.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-89-
2.8.7	PROCEDIMIENTO	-89-
2.8.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-91-
2.8.9	CUESTIONARIO	-93-
2.9	MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	-94-
2.9.1	TEMA	-95-
2.9.2	OBJETIVO.....	-95-
2.9.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-95-
2.9.4	NORMAS DE REFERENCIA	-95-
2.9.5	NORMATIVA DE SEGURIDAD	-96-
2.9.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-96-
2.9.7	PROCEDIMIENTO	-96-
2.9.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-98-
2.9.9	CUESTIONARIO	-99-
2.10	ENSAYO DC HI-POT PARA CABLES AISLADOS.....	-100-
2.10.1	TEMA	-101-
2.10.2	OBJETIVO.....	-101-
2.10.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-101-
2.10.4	NORMA DE REFERENCIA	-102-
2.10.5	NORMATIVA DE SEGURIDAD	-102-
2.10.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-103-
2.10.7	PROCEDIMIENTO	-103-
2.10.8	RESULTADOS	-109-
2.10.9	CUESTIONARIO	-109-
2.11	PRUEBAS PARA MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS	-110-
2.11.1	TEMA	-111-
2.11.2	OBJETIVO.....	-111-
2.11.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-111-
2.11.4	NORMA DE REFERENCIA	-112-
2.11.5	REGLAS DE SEGURIDAD.....	-112-
2.11.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-113-

2.11.7	PROCEDIMIENTO	-113-
2.11.9	CUESTIONARIO	-121-
2.12	MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO Y PUESTA A TIERRA.....	-122-
2.12.1	TEMA	-123-
2.12.2	OBJETIVO.....	-123-
2.12.3	FUNDAMENTO TEÓRICO	-123-
2.12.4	NORMAS DE REFERENCIA.....	-124-
2.12.5	SEGURIDAD	-125-
2.12.6	MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR.....	-125-
2.12.7	PROCEDIMIENTO	-125-
2.12.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	-129-
2.12.9	CUESTIONARIO	-131-
CAPITULO III		-132-
3.1	GENERALIDADES.....	-132-
3.2	BENEFICIOS	-132-
3.3	REQUISITOS DE LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025	-133-
3.3.1	DE LA ORGANIZACIÓN.....	-133-
3.3.2	DEL SISTEMA DE CALIDAD.....	-133-
3.3.3	CONTROL DE DOCUMENTOS	-133-
3.3.4	CONTROL DE REGISTROS	-133-
3.3.5	AUDITORÍAS INTERNAS.....	-134-
3.3.6	PERSONAL.....	-134-
3.3.7	INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES.....	-134-
3.3.8	MÉTODOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN	-135-
3.3.9	EQUIPOS.....	-135-
3.3.10	TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN	-135-
3.3.11	MANEJO DE ELEMENTOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN.....	-135-
3.3.12	REPORTE DE RESULTADOS	-136-
3.4	ESTUDIO TÉCNICO DEL LABORATORIO PERTINENTE A LAS OPERACIONES	-136-
3.5	PROCEDIMIENTO PARA LA FIRMA DEL CONVENIO DE ASISTENCIA TÉCNICA.....	-140-

CAPÍTULO IV	-141-
4.1 CONCLUSIONES	-141-
4.2 RECOMENDACIONES	-143-
BIBLIOGRAFÍA	-145-

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de cables eléctricos para el transporte de energía, atendiendo a su tensión de servicio.....	-5-
Tabla 1.2 Clasificación de cables eléctricos según su construcción	-6-
Tabla 1.3 Características del Cobre y del Aluminio	-7-
Tabla 1.4. Materiales aislantes más comúnmente utilizados	-9-
Tabla 1.5 Principales características de los aislamientos secos más utilizados.....	-10-
Tabla 1.6 Características de los Materiales para Chaqueta.....	-14-
Tabla 1.7 Clase térmica de aislamiento.....	-15-
Tabla 1.8 Tensiones de prueba establecidos por el IEEE para transformadores sumergidos en aceite de acuerdo con el nivel de aislamiento	-18-
Tabla 1.9 Valores mínimos de aislamiento recomendado en transformadores sumergidos en aceite	-20-
Tabla 1.10 Valores característicos de los aceites aislantes.....	-26-
Tabla 1.11 Clasificación del terreno por su característica de resistividad	-31-
Tabla 1.12. Naturaleza del terreno con el valor medido de la resistividad	-31-
Tabla 1.13 Valores típicos según la naturaleza del suelo	-32-
Tabla 1.14 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TETTEX	-39-
Tabla 1.15 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MICROHMETRO.....	-41-
Tabla 1.16 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MEGAOHMETRO	-42-
Tabla 1.17 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TELUROMETRO.....	-44-
Tabla 1.18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPINTERÓMETRO.....	-46-
Tabla 1.19 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HI-POT.....	-47-
Tabla 1.20 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR TESTER.....	-48-
Tabla 2.1 Temperatura de Referencia.....	-61-
Tabla 2.2 Valores de alpha para diferentes metales.....	-62-
Tabla 2.3 Conexión para bobinado monofásico de un bushing	-62-
Tabla 2.4 Conexión para bobinado monofásico de doble bushing.....	-63-
Tabla 2.5 Conexión para bobinado trifásico en estrella con neutro.....	-63-
Tabla 2.6 Conexión para bobinado trifásico en estrella sin neutro en el primario	-63-
Tabla 2.7 Conexión para bobinado trifásico en delta-delta	-64-
Tabla 2.8 Rigidez dieléctrica – NORMA ASTM.....	-81-
Tabla 2.9 Criterios para evaluar condiciones de aceite	-82-
Tabla 2.10 Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA	-92-
Tabla 2.11 Transformadores monofásicos de 15 a 333 Kva.....	-92-

Tabla 2.12 Valores reales de perdidas por histéresis	-93-
Tabla 2.13 Tensión aplicada para cables con aislamiento seco tipos XLPE o EPR para tensiones de servicio de hasta 66 kV	-106-
Tabla 2.14 Tensión aplicada para cables con Papel Impregnado, series PP para tensiones de servicio de hasta 66 kV.	-106-
Tabla 2.15 Clase térmica de materiales aislantes IEEE	-120-
Tabla 2.16 Estado del aislante según el índice de polarización.....	-120-
Tabla 2. 17 a) Para tierra homogénea y un electrodo de 1".....	-127-
Tabla 2.18 Factor para varias baras.....	-128-
Tabla 2.19 Valores para sistema de electrodos múltiples.....	-129-
Tabla 2.20 Valores de resistencia a tierra	-131-
Tabla 3.1 Estudio comparativo ISO 17025	-139-

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 a) Cable monopolar para media tensión pantalla en cinta, b) Cable monopolar para media tensión pantalla en hilos, c) Cable tríplex para media tensión pantalla en cinta, d) Cable tripolar para media tensión pantalla en cinta.	-7-
Figura 1.2 Distribución del Campo Eléctrico para un Cable Recubierto con Blindaje Semiconductor.	-8-
Figura 1.3 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Cinta de Cobre.	-11-
Figura 1.4 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Neutro Concéntrico.	-12-
Figura 1.5 Representación de una onda de impulso completa.	-17-
Figura 1.6 Circuito utilizado para efectuar la medición de caída de tensión.	-21-
Figura 1.7 Circuito utilizado para efectuar la medición por el método del puente.	-22-
Figura 1.8 Diagrama de conexiones para la prueba de hierro o núcleo.	-23-
Figura 1.9 Diagrama de conexiones para la ejecución de la prueba de corto circuito.	-24-
Figura 1.10 Copa estandar para la prueba de rigidez dielectrica.	-25-
Figura 1.11 Corrientes al aplicar un escalón de tensión al circuito aislante:(a) Corriente de dispersión, (b) Corriente a través del dieléctrico.	-33-
Figura 1.12 Conexión para la medida de corrientes en ensayos de sobretensión: Corriente total ($nA1$) y corriente de fuga a las otras dos fases ($nA2$).	-34-
Figura 1.13 Modelo de dos espiras de una bobina con parámetros distribuidos.	-35-
Figura 1.14 Circuito equivalente serie del condensador real.	-35-
Figura 1.15 Esquema básico de ensayo de descargas parciales.	-36-
Figura 1.16 Circuito básico para la prueba de cd de resistencia.	-37-
Figura 1.17 TETTEX TTR 2795.	-38-
Figura 1.18 MICROHMETRO 6250.	-40-
Figura 1.19 MEGAOHMETRO 5070.	-42-
Figura 1.20 TELUROMETRO 4620-4630.	-44-
Figura 1.21 Espinterómetro.	-45-
Figura 1.22 HI-POT.	-46-
Figura 1.23 MOTOR TESTER.	-48-
Figura 2.1 Diagrama del sistema de medición del Microhmetro.	-57-
Figura 2.2 Circuito básico para la prueba de CD de resistencia.	-58-
Figura 2.3 Conexión en estrella, la resistencia por fase será $\frac{1}{2}$ de la medida entre los terminales.	-64-
Figura 2.4 Conexión en delta, la resistencia por fase será $\frac{3}{2}$ de la medida entre los terminales.	-65-

Figura 2.5 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.	-71-
Figura 2.6 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque.	-71-
Figura 2.7 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.	-72-
Figura 2.8 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Tanque.	-72-
Figura 2.9 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque.	-72-
Figura 2.10 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.	-73-
Figura 2.11 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Tanque.	-73-
Figura 2.12 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque.	-74-
Figura 2.13 Diagrama explicativo para el ensayo de rigidez dieléctrica del aceite.	-78-
Figura 2.14 Esquema básico de conexión en la prueba de corto circuito.	-85-
Figura 2.15 Esquema básico de conexión en la prueba de circuito abierto.	-87-
Figura 2.16 Conexión del transformador en corto circuito.	-90-
Figura 2.17 Conexión del transformador en circuito abierto.	-91-
Figura 2.18 Variación de la corriente fuga con el tiempo.	-102-
Figura 2.19 Conexión de los módulos en polaridad negativa.	-104-
Figura 2.20 Conexión del equipo para realizar la prueba efecto corona.	-104-
Figura 2.21 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Cinta de Cobre.	- 107-
Figura 2.22 Conexión del equipo para realizar la prueba de aislamiento de cable.	-108-
Figura 2.23 Conexión para la Prueba de Armadura.	-119-
Figura 2.24 Principio de funcionamiento método 62%.	-124-
Figura 2.25 Conexión por el método de los 4 puntos.	-126-
Figura 2.26 Conexión por el método del 62 %.	-127-
Figura 2.27 Sistema de electrodos múltiples.	-128-
Figura 2.28 Área de resistencia efectiva sobrepuesta.	-130-
Figura 2.29 Área de resistencia efectiva correcta.	-130-

ANEXOS

ANEXO 1: Procesos

ANEXO 2: Certificados de Calibración

ANEXO 3: Hoja de datos y Protocolos de prueba

ANEXO 4: Norma de Seguridad

ANEXO 5: Normas

PROLOGO

La creación de un Laboratorio de Alto Voltaje para realizar pruebas y ensayos implica tener un conocimiento del funcionamiento, operación, pruebas y mantenimiento de transformadores, motores, cables y sistemas de puestas a tierra, así como operar equipos, realizar conexiones entre equipos de prueba y equipos bajo ensayo, aplicar conductas de seguridad indispensables, ejecutar las practicas y ensayos bajo procedimientos técnicos normalizados, comparar los resultados obtenidos con valores de referencia estandarizados y para lograr estos propósitos se ha hecho necesario implementar en el Laboratorio las normas INEN e IEEE.

En el Capítulo I, consta de los fundamentos teóricos, la información sobre la normativa técnica, las mediciones, pruebas y ensayos que se realizan a transformadores, motores, cables y sistemas de puestas a tierra y los métodos apropiados para la ejecución de las mismas.

El Capitulo II, es un Manual de prácticas donde se han incluido hasta donde es posible información actualizada, que permite determinar las pruebas y ensayos que se pueden realizar con los equipos que se disponen y la selección de las normas a implementar para la ejecución de los ensayos, de tal forma que el contenido resulte de utilidad para estudiantes y profesionales que trabajen dentro del laboratorio.

El Capítulo III, es el estudio previo a la acreditación de la Norma Internacional ISO 17025, para que el Laboratorio de Alto Voltaje sea competitivo prestando servicio a nivel industrial.

En el Capítulo IV, se realizaron las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante la realización de este proyecto.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos como Transformadores Distribución, Motores, Cables aislados de media y alta tensión es una tarea sistemática que realizan las empresas eléctricas así como la industria en general que cuenta con este tipo de dispositivos, tiene la finalidad de mantener en condiciones de operación óptimas los equipos como de identificar posibles condiciones de operación críticas, presentadas éstas incluso como fallas insipientes en los equipos, una detección oportuna de las mismas para su corrección mediante un mantenimiento preventivo previo a una posible falla franca en el equipo, de ahí que sea conveniente la realización de programas de inspección y ensayos que aseguren que el sistema se mantiene en condiciones satisfactorias; utilizando las herramientas necesarias y adecuadas.

El Laboratorio de Alto Voltaje cuenta con equipos especializados para la detección oportuna de la degradación de aislamientos en transformadores, motores, cables. La detección oportuna de los niveles de degradación de las diferentes maquinas eléctricas ha permitido a la industria garantizar la corrección oportuna de los mismos evitando altos costos de reparación así como de posibles paros en sus líneas de producción que a su vez se traducen en pérdidas económicas importantes.

1.2 ANTECEDENTES

La Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga al ser una institución líder en el Sistema Nacional de Educación Superior, formando profesionales e investigadores de excelencia, creativos, humanistas, con capacidad de liderazgo, pensamiento crítico y alta conciencia ciudadana, contempla en su ideología que los estudiantes elaboren proyectos investigativos en los cuales se pongan de

manifiesto los conocimientos adquiridos, además del complemento ideal de los laboratorios y el recurso humano calificado con el que cuenta la Escuela.

El Departamento de Eléctrica y Electrónica a través de la Carrera de Ingeniería Electromecánica contempla como objetivo el desarrollo de nuevos planes investigativos que tengan como finalidad el ser un aporte para la colectividad, el propósito de nuestro tema de proyecto está orientado a que los futuros profesionales de la Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga, se familiaricen con el uso de la tecnología que brinda el laboratorio, aplicando criterios y normas técnicas que son indispensables para utilizar correctamente los equipos y realizar prácticas con resultados confiables.

La provisión de energía eléctrica segura se establece como un factor crítico, que representa hoy el gran desafío para los técnicos involucrados en el mantenimiento de transformadores, motores, cables, etc. nuevas técnicas son necesarias, junto al empleo de equipos y procedimientos adecuados sin los cuales no es posible ya resolver los problemas que se presentan dentro de la ingeniería eléctrica en la actualidad.

El laboratorio de Alto Voltaje fue adquirido con el propósito de realizar prácticas en transformadores, motores, cables, etc. Para emitir un diagnóstico de su funcionamiento pero es necesario la implementación de normas y certificación de equipos, que permitan garantizar cada uno de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

1.3 GENERALIDADES

El aislamiento de todo equipo eléctrico debe soportar el voltaje continuo a la frecuencia nominal por muchos años bajo una variedad de condiciones externas. Para asegurar un largo término de integridad del sistema, este naturalmente es diseñado para soportar voltajes más altos que el del nivel normal del sistema. No es sin embargo económicamente factible, construir sistemas o equipos que soporten voltajes tan altos que estén asociados con los sobrevoltajes transitorios.

El nivel de aislamiento de los aparatos de distribución es diseñado para soportar voltajes algo más altos que el normal. Este método de protección trabaja bien

hasta cierto punto, pronto alcanza un momento en que el aumento de costo es añadir un más alto BIL no es económicamente factible.

La comprensión de la Ley de Ohm, que se enuncia en la ecuación siguiente, es la clave para entender la prueba de aislamiento:

$$E = I \times R \quad (1.1)$$

Donde:

E = voltaje en volts

I = tensión en amperímetros

R = resistencia en ohm

Para una resistencia dada, a mayor voltaje, mayor corriente. Alternativamente, a menor resistencia del alambre, mayor es la corriente que fluye con el mismo voltaje.

Ningún aislamiento es perfecto no tiene resistencia infinita, por lo que algo de la corriente fluye por el aislamiento o a través de él a tierra. Tal corriente puede ser muy pequeña para fines prácticos pero es la base del equipo de prueba de aislamiento.

Un buen aislamiento significa una resistencia relativamente alta al flujo de la corriente. Cuando se usa para describir un material aislante es la capacidad para mantener una resistencia alta.

1.4 NIVEL DE AISLAMIENTO BÁSICO AL IMPULSO (BIL)

Es el valor de voltaje que el aislamiento puede soportar repetidamente sin que se presente la descarga disruptiva.

1.5 AISLAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE DISTRIBUCIÓN

1.5.1 AUTO-REGENERADOS

Son materiales como el aire y la porcelana cuyas propiedades de aislamiento son completamente restituidos después de una descarga disruptiva de contorno.

1.5.2 NO AUTO-REGENERADAS

Son materiales que muestran daños y pérdidas en sus propiedades después del contorno como el aceite dieléctrico, papel kraft, hexafluoruro de azufre.

1.6 DEGRADACIÓN AISLAMIENTO

Existen cinco causas básicas para la degradación del aislamiento. Ellas interactúan una con otra y ocasionan una espiral gradual de declinación en la calidad del aislamiento.

1.6.1 FATIGA ELÉCTRICA

El aislamiento se diseña para una aplicación particular. Los sobre voltajes y los bajos voltajes ocasionan fatiga anormal dentro del aislamiento que puede conducir a agrietamiento y laminación del propio aislamiento.

1.6.2 FATIGA MECÁNICA

Los daños mecánicos, tales como golpear un cable cuando se excava una trinchera, son bastante obvios pero la fatiga mecánica también puede ocurrir por operar una máquina fuera de balance o por paros y arranques frecuentes. La vibración resultante al operar la máquina puede ocasionar defectos dentro del aislamiento.

1.6.3 ATAQUE QUÍMICO

Aunque es de esperarse la afectación del aislamiento por vapores corrosivos, la suciedad y el aceite pueden reducir la efectividad del aislamiento.

1.6.4 FATIGA TÉRMICA

La operación de una maquinaria en condiciones excesivamente calientes o frías ocasionará sobre expansión o sobre contracción del aislamiento que darán lugar a grietas y fallas.

Sin embargo, también se incurre en fatigas térmicas cada vez que la máquina se arranca o se para. A menos que la maquinaria esté diseñada para uso intermitente, cada paro y cada arranque afectarán adversamente el proceso de envejecimiento del aislamiento.

1.6.5 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación ambiental abarca una multitud de agentes que van desde la humedad por procesos hasta la humedad de un día húmedo y caluroso; también el ataque de roedores que roen su camino en el aislamiento o la influencia de los rayos UV.

El aislamiento comienza a degradarse tan pronto como se pone en servicio. El aislamiento de cualquier aplicación dada se diseña para proporcionar buen servicio durante muchos años en condiciones normales de operación. Sin embargo, las condiciones anormales pueden tener un efecto dañino que, si se deja sin atención, acelerará la rapidez de degradación y finalmente ocasionará una falla en el aislamiento. Se considera que el aislamiento ha fallado si no evita adecuadamente que la corriente eléctrica fluya por trayectorias indeseadas. Ello incluye el flujo de corriente a través de las superficies exterior o interior del aislamiento corriente de fuga superficial, a través del cuerpo del aislamiento, corriente de conducción o por otras razones distintas.

1.7 CABLES AISLADOS

Un cable eléctrico es un elemento destinado a transportar energía eléctrica con la mayor eficiencia posible, la mayor eficiencia viene unida a la optimización de las pérdidas en el transporte. La posibilidad de reducir las pérdidas aumentando la tensión de la corriente transportada.

Clasificación de los cables para el transporte de energía se puede efectuar atendiendo a su tensión de servicio:

TENSIÓN DE SERVICIO	NIVEL DE VOLTAJE
Cables de muy baja tensión	Hasta 50 V
Cables de baja tensión	Hasta 1000V
Cables de media tensión	Hasta 30kV
Cables de alta tensión	Hasta 66kV
Cables de muy alta tensión	Por encima de los 66kV

Tabla 1.1 Clasificación de cables eléctricos para el transporte de energía, atendiendo a su tensión de servicio.

1.7.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CABLES

Los cables se clasifican atendiendo a su constitución, al número que lo forman y al tipo de aislamiento.

Clasificación de los conductores eléctricos de acuerdo a sus condiciones de servicio o a las aplicaciones específicas a las que se destinan los distintos cables:

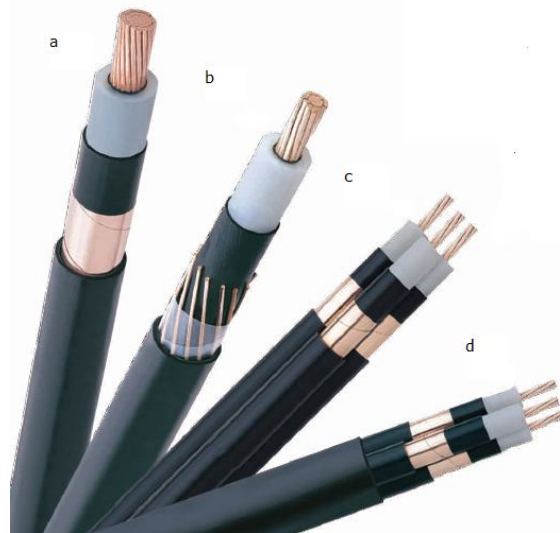
- Cables para redes de distribución de energía, urbana o interurbanas.

- Cables para instalaciones en el interior de edificios.
- Cables de señalización, telefonía, radiofrecuencia, etc.
- Cables para aplicaciones específicas tales como: minas, construcción naval, ferrocarriles, etc.

Clasificación	Tipo		
Por el material conductor	Cobre	Duro/recocido	
	Aluminio	Duro/semiduro	
Por su constitución	Hilos	Una sola alma	Varios hilos o cordones aislados entre si
	Cordones	Varios hilos	
	Cables	Rígidos Flexibles	
Por su número	Sencillos (Unipolares)		
	Múltiples (Multipolares)	Planos Cilíndricos Sectoriales	
Por su aislamiento	Aislados	Secos	Barniz Goma
		Termoplásticos	Policloruro de vinilo PVC Polietileno PE Polietileno reticulado XLPE
		Elastómero	Neopreno (como cubierta) Etileno propileno EPR Butil Silicona
		Minerales	Oxido de magnesio
		Impregnados	Papel mezcla normal Papel mezcla no escurriente
	Desnudos		

Ref. Toledano- Sanz

Tabla 1.2 Clasificación de cables eléctricos según su construcción.



Ref. CENTELSA

Figura 1.1 a) Cable monopolar para media tensión pantalla en cinta, b) Cable monopolar para media tensión pantalla en hilos, c) Cable triplex para media tensión pantalla en cinta, d) Cable tripolar para media tensión pantalla en cinta.

1.7.2 COMPONENTES DE UN CABLE ELÉCTRICO AISLADO

1.7.2.1 Material conductor

El conductor en un cable para Media o Alta Tensión o en un conjunto de cables, es la de transportar energía eléctrica. Los materiales usualmente utilizados son el cobre y bajo condiciones especiales de instalación se emplea el aluminio. La tabla 1.3 muestra algunas de las características más importantes del cobre y del aluminio que se emplean en los cables para Media Tensión.

PROPIEDADES		COBRE SUAVE	ALUMINIO 1350
Densidad	g/cm ³	8,89	2,705
Resistividad	Ω - mm ² /km	17,241	28,172
Conductividad	(%IACS)	100,0	61,2
Tensión de Rotura	MPa	220	155 - 200
Elongación a Rotura	%	25 - 30	1,4 - 2,3
Norma ASTM (NTC)		B3 (359)	B230 (360)
Resistencia a la Corrosión		Excelente	Buena

Ref. CENTELSA

Tabla 1.3 Características del Cobre y del Aluminio.

1.7.2.2 Blindaje del conductor

Esta capa de material se encuentra en contacto directo con el conductor, está conformado por un material termoestable (generalmente Polietileno con característica semiconductor) que se encarga de recubrir al conductor cableado, penetrando en los intersticios entre los hilos de la capa exterior del conductor para darle una forma circular al mismo. Esta capa de material también es conocida como Primera Capa Semiconductor.

Este primer material semiconductor se encarga de que el campo eléctrico sea radial a partir de su superficie, evitando concentraciones puntuales de campo, obteniéndose así una superficie equipotencial (equilibrio de cargas eléctricas) alrededor de esta primera capa. Si se aplicara el aislamiento directamente sobre el conductor sin el material semiconductor, éste sufriría los efectos del elevado campo eléctrico en los intersticios del conductor, lo cual no es un efecto deseable en el aislamiento, pues disminuiría la capacidad del mismo. La figura 1.2 muestra la distribución del campo eléctrico para un cable recubierto con el blindaje semiconductor.

Material termoplástico es aquel que se dilata o se contrae con el aumento y disminución de la temperatura, respectivamente, mientras que un material termoestable no presenta esta característica o la presenta de forma muy reducida

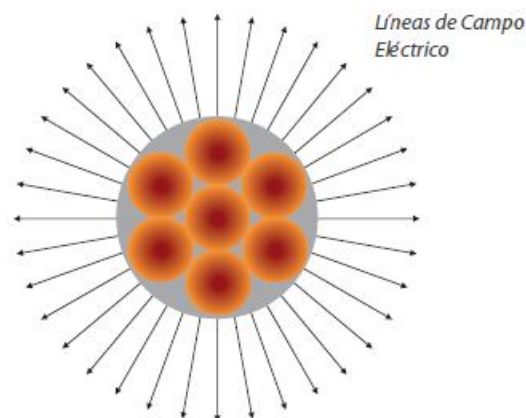


Figura 1.2 Distribución del Campo Eléctrico para un Cable Recubierto con Blindaje Semiconductor

1.7.2.3 Material Aislante

El material aislante es aquel que debido a los electrones de sus átomos están fuertemente ligados a sus núcleos, no permiten su fácil desplazamiento y por tanto el paso de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo.

Material aislante	Tensión mas alta KV	Temperatura máxima de servicio cortocircuito □ C	
Aislamiento de papel:			
Impregnado <<no migrante >>.....	66	80	160
Aceite fluido.....	750	90	250
Aislamiento seco:			
a) Termoestables:	11	75	200
Goma SBR.....	150	90	250
Goma EPR.....	1	200	300
Goma silicona.....	250	90	250
Polietileno reticulado (XLPE).....			
b) Termoplásticos:	6	70	160
Policloruro de vinilo.....			

Ref. Llorente Antón

Tabla 1.4. Materiales aislantes más comúnmente utilizados.

En las líneas para Media Tensión aéreas, el elemento aislante empleado es comúnmente el aire, sin embargo, para estos casos se requiere de una separación entre fases e incluso el neutro de acuerdo con las características del sistema. En los cables para Media Tensión los niveles de voltaje y los espacios reducidos que se manejan hacen necesaria la presencia de un medio aislante que sea capaz de brindar la rigidez necesaria contra las fugas de corriente, fallas entre fases (neutro) del sistema y que pueda confinar el campo eléctrico producido por el conductor al interior de él mismo.

En principio, las propiedades de los aislamientos usados en los cables para Media Tensión cumplen con todos los requisitos para su correcto desempeño. Sin

embargo, existen características tanto eléctricas como mecánicas que destacan uno u otro tipo de material.

El Polietileno de cadena cruzada o XLPE (Cross-Linked Polyethylene) es el tipo de material de aislamiento más usado en los cables para Media Tensión. El Caucho de Etileno Propileno o EPR (Ethylene Propylene Rubber) es usado en menor proporción; ambos son materiales a los cuales se les aplica el proceso de reticulación (vulcanización), por medio del cual se logra que los materiales adquieran características termoestables. La tabla 3 muestra las características más importantes de ambos materiales.

En la industria del cable, de acuerdo a las características específicas del servicio que han de prestar los cables, se utiliza una gran variedad de materiales aislantes. De entre ellos, se han seleccionado los más utilizados, indicando las tensiones máximas a que se han empleado y las temperaturas máximas de servicio y de corto circuito que admiten.

Tipo de instalación	Propiedad destacada	EPR	PVC	XLP
Intemperie	Resistencia al ozono	E	B	B
Sobrecargas y C.C.	Resist. altas temperaturas	E	R	E
Ambientes húmedos	Resist. al agua	E	B	R
Zonas muy frías	Resist. al frío	B	R	B
Peligro de incendio	Resist. al fuego	R	R	M
Servicios móviles	Flexibilidad	B	R	M
Media y alta tensión	Descargas parciales	E	E	B
Grandes redes A.T.	Factor de potencia	B	M	E

Ref. Llorente Antón

Tabla 1.5 Principales características de los aislamientos secos más utilizados
SBR – Goma natural.

EPR – Goma etileno-propileno.

PVC – Cloruro de polivileno.

XLPE – Polietileno reticulado.

E = excelente; B = bueno; R = regular; M = malo.

1.7.2.4 Blindaje del aislamiento

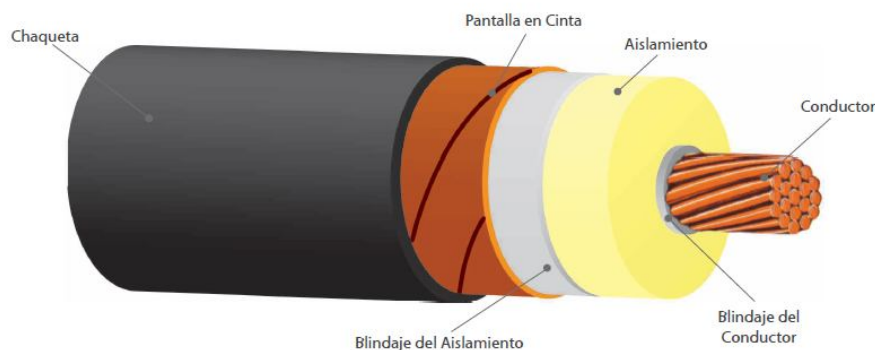
Este blindaje es una capa de material que recubre al aislamiento, y está hecha de Polietileno semiconductor. Su objetivo es permitir el confinamiento homogéneo de las líneas del campo eléctrico al interior del aislamiento; esta es una función complementaria a la de la primera capa semiconductora que recubre al conductor. Esta capa de material también es conocida comúnmente como Segunda Capa Semiconductora. De acuerdo con las prácticas de instalación, este material puede estar firmemente adherido al aislamiento o puede ser de fácil remoción, siendo este último caso el más usado por las empresas distribuidoras de energía.

1.7.2.5 Apantallamiento

El apantallamiento es un elemento metálico no magnético que se coloca sobre el blindaje del aislamiento con el fin de complementar las funciones de este último y permitir el proceso de puesta a tierra. Por otra parte, cuando se requiere manejar corrientes de neutro, se adiciona área de cobre y entonces la pantalla sirve adicionalmente como conductor de neutro. El elemento metálico está hecho de cobre y puede presentarse en las tres configuraciones siguientes:

- **Pantalla en cinta de cobre**

Consiste en una pantalla de cinta de cobre que se aplica de forma helicoidal sobre el blindaje del aislamiento recubriéndolo en su totalidad traslapado o en forma parcial abierta.



Ref. CENTELSA

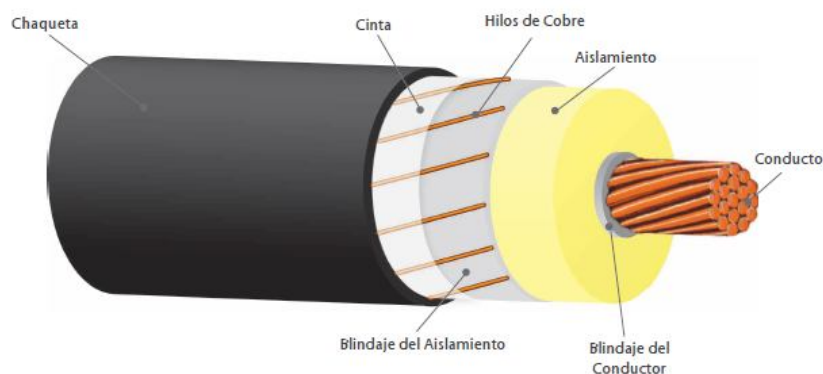
Figura 1.3 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Cinta de Cobre

- **Pantalla en hilos de cobre**

La pantalla en hilos de cobre, como su nombre lo indica está conformada por una cantidad de hilos de cobre distribuidos uniformemente sobre el blindaje del aislamiento. Básicamente el conjunto total de hilos debe superar un área mínima requerida por la normas de fabricación. De acuerdo al perímetro del cable aislado dependerá la cantidad de hilos que se colocarán como pantalla.

- **Pantalla neutro concéntrico**

Este tipo de pantalla corresponde a un conjunto de hilos de cobre que además de ejecutar la función de blindaje actúan como conductor de neutro en el sistema. De acuerdo a la configuración eléctrica del mismo, se poseen diferentes alternativas para el neutro, uno de los más utilizados en sistemas trifásicos es el Neutro Concéntrico al 33% que significa que los hilos de la pantalla suman un área equivalente a 1/3 (un tercio) del área del conductor de fase y que en conjunto con las dos fases restantes del sistema suma un área de neutro equivalente al área de la sección transversal del conductor de fase. Para sistemas monofásicos suele utilizarse el Neutro Concéntrico 100% que significa que los hilos de la pantalla suman un área equivalente al área de la sección transversal del conductor.



Ref. CENTELSA

Figura 1.4 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Neutro Concéntrico

Es importante tener presente la capacidad de corriente de corto circuito del apantallamiento, de la misma forma en la que se tiene en cuenta la capacidad de corriente de corto circuito para el conductor. Esta capacidad viene dada por el contenido de cobre y los materiales que están en contacto directo con la pantalla.

En condiciones de corto circuito la temperatura del material del apantallamiento o de la chaqueta (materiales que eventualmente estarán en contacto con la pantalla metálica) puede crecer rápidamente debido a los niveles de corriente que se alcanzan en la falla y dado que estos materiales tienen una temperatura límite, ésta no debe ser sobrepasada so pena de daños irreversibles en el cable.

1.7.2.6 Chaqueta

La chaqueta es el elemento que recubre el cable y que quedará finalmente expuesto al medio, por tal motivo, el material de la chaqueta debe cumplir con los siguientes aspectos:

- **Resistencia a la humedad**

Asociada con la capacidad del material para impedir la penetración de la humedad al interior del cable para Media Tensión.

- **Comportamiento frente a la llama**

Es importante en aquellas instalaciones donde el cable estará instalado en bandejas o en ambientes de posible conflagración.

- **Resistencia a los rayos UV**

Es importante en aquellas instalaciones en donde el cable recibirá la radiación solar de forma directa o en intervalos de tiempo extendidos.

- **Resistencia al impacto y abrasión**

Es importante para aquellos ambientes en los cuales el cable para Media Tensión se expone a posibles impactos, deformaciones o rozamientos inherentes al proceso para el cual prestan servicio. Dependiendo de la instalación puede requerir armaduras o elementos mecánicos de protección.

- **Resistencia a los hidrocarburos**

Describe el comportamiento del material de la chaqueta frente a la acción de agentes externos como los compuestos derivados del petróleo (gasolina, cetonas, etc.) que pueden estar presentes dependiendo del sitio de instalación.

La tabla 1.6 presenta el comparativo entre los diferentes materiales empleados en la fabricación de la chaqueta de los cables para Media Tensión:

Propiedades	PVC	PE
Eléctricas	B	E
Flamabilidad	MB	R
Flexibilidad	E	B
Bloqueo Humedad	B	E
Resistencia al Agua	MB	E
Resistencia a la Abrasión	MB	MB
Resistencia a los Hidrocarburos	MB	MB
E: Excelente MB: Muy Bueno B: Bueno R: Regular D: Deficiente		

Ref. CENTELSA

Tabla 1.6 Características de los Materiales para Chaqueta

1.7.3 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Para la medición de la resistencia de aislamiento se utiliza un megger, conectando la borna positiva al conductor a medir y la borna negativa a la pantalla del cable.

1.7.4 RESISTENCIA DE CONDUCTORES

Se verificará la continuidad de los conductores y se medirá su resistencia óhmica. La resistencia se referirá a la de 1 km de cable a la temperatura de 20 °C.

1.7.5 CAPACIDAD

La capacidad del cable se mide de forma semejante a como se mide la resistencia de aislamiento, esto es cables de campo eléctrico no radial, la capacidad del cable permitirá determinar la constante dieléctrica del aislamiento, según la naturaleza del aislante, así como prever la duración del ensayo de tensión.

1.7.6 ENSAYOS DE TENSIÓN

Se efectuará a temperatura ambiente aplicando una tensión continua o alterna. La paulatina elevación de la tensión aplicada al cable cuando se utilice corriente continua se efectuará de tal manera que no exceda del 75% de la corriente de carga del equipo.

1.8 AISLAMIENTOS EN TRANSFORMADORES

Los transformadores dependen del comportamiento de sus aislamientos para las condiciones normales de operación tabla 1.7.

Clase térmica del aislamiento	Calentamiento ° C
A	60
A _o	65
E	75
B	80
F	100
H	125
	150

Tabla 1.7 Clase térmica de aislamiento

Permiten diseñar para elevaciones de temperatura de 150 °C cuando está operando el transformador a una temperatura ambiental de 40 °C, los materiales aislantes de clase H consisten de materiales tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, elastómeros y silicones o resinas a base de estos.

1.9 PRUEBAS A TRANSFORMADORES

Un transformador es probado para homologar de que ha sido adecuadamente diseñado y construido a fin de soportar la carga solicitada, y que, al mismo tiempo resista todas las situaciones peligrosas a las que este expuesto en operación durante un periodo de tiempo.

Las otras pruebas que se hacen a los transformadores son las denominadas de mantenimiento y que por lo general se efectúan en sitio, es decir, en el mismo lugar donde se encuentran conectados los transformadores en subestación, dentro de las instalaciones eléctricas, generalmente este tipo de pruebas determina en primer término el estado de los aislamientos y se hacen con equipo de tipo portátil la mayoría de las veces.

1.9.1 SOPORTE DE VOLTAJE DE BAJA FRECUENCIA

Es una prueba de voltaje de impulso dependiendo de la industria estándar se requiere del aislamiento del equipo la prueba de soporte de voltaje a baja frecuencia 60 Hz con voltajes más grandes que el máximo de operación normal. La prueba generalmente consiste de un minuto de aplicación de un voltaje de 60Hz en condiciones secas y de 10 segundos de aplicación de un voltaje más bajo en condiciones húmedas.

1.9.2 DETECCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES EN EL AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

Las descargas parciales en la aislación de transformadores pueden detectarse por medio de los siguientes métodos:

- Métodos eléctricos
- Métodos químicos
- Métodos acústicos

Los métodos eléctricos se llevan a cabo midiendo las descargas parciales por medio de detectores convencionales. Esta técnica tiene el inconveniente de perder sensibilidad en mediciones en terreno debido a la alta interferencia electromagnética derivada del sistema eléctrico.

Los métodos químicos aprovechan la información entregada por los gases que aparecen en el aceite del transformador, no obstante, estas técnicas no permiten detectar la presencia de descargas incipientes en el aislamiento del transformador debido a que se produce un gran retardo entre el inicio de la fuente de descargas parciales y la evolución de gas suficiente que delate la presencia de estas.

Las técnicas acústicas detectan la actividad de descargas parciales por medio de sensores que se instalan en el tanque del transformador. Estos métodos además de medir la magnitud de las descargas pueden entregar la ubicación física de las fuentes de descargas parciales.

1.9.3 ENSAYOS DE IMPULSO

Estas pruebas se realizan en laboratorio y constituyen ensayos ejecutados por los fabricantes durante el proceso de aceptación del equipo. Los ensayos de impulso permiten determinar si el aislamiento del transformador es capaz de soportar esfuerzos eléctricos asociados a descargas atmosféricas y sobretensiones de maniobra. Lo anterior se consigue aplicando a la aislación del transformador ondas de tensión de impulso normalizadas de alta tensión (cuya duración es del orden de los microsegundos) que tratan de simular los sobrevoltajes asociados a rayos o a interrupciones en el sistema eléctrico. Si la aislación del transformador no sufre ruptura luego de la ejecución de estos ensayos se dice que el equipo ha superado la prueba de impulso. En base a muchas experiencias y años de estudio de determino que estas descargas son de corta duración, desde el punto que

inicia hasta que llega a su valor máximo tarda un tiempo de 1 a 20 μs , y el tiempo en que su valor desciende a cero es del orden de 10 a 90 μs .

De acuerdo con estos valores, un comité de NEMA, en coordinación de aislamiento, emitió un reporte especificando los niveles básicos de aislamiento. Estos niveles se establecieron tomando como patrón una onda de 1,2 /50 μs , donde 1,2 es el tiempo en μs que tarda una onda normalizada en llegar a su valor de cresta y 50 μs es el tiempo en que la onda decae a la mitad de su valor máximo a partir de su origen. Las partes de la onda descrita anteriormente se ilustran en la figura 1.5.

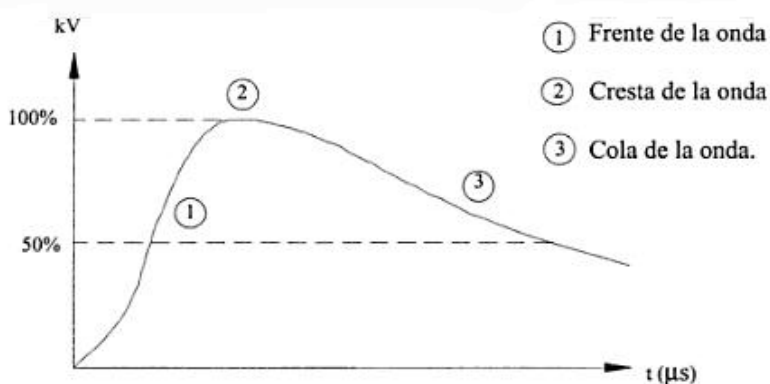


Figura 1.5 Representación de una onda de impulso completa.

1.9.4 SOPORTE DE ONDA COMPLETA

Ensayo de impulso de sobretensión con una forma de onda estándar para todo tipo de aislamiento de 1,2 x 50 microsegundos con un gradual decaimiento continuo a cero en la cola de la onda. El valor de cresta es frecuentemente referido como el BIL.

1.9.5 ENSAYOS DE APLICACIÓN DE POTENCIAL

Los ensayos de alto potencial consisten en la aplicación de tensiones, a frecuencia industrial, de magnitud superior a los valores nominales del transformador. Estas pruebas permiten verificar la condición del aislamiento en lo que respecta a su capacidad para soportar sobrevoltajes a frecuencia de operación, o a mayor frecuencia en el caso de la prueba de potencial inducido.

Entre los ensayos de alto potencial se distinguen:

- Ensayo de potencial aplicado
- Ensayo de potencial inducido

El ensayo de potencial aplicado consiste en someter a la aislación del transformador a una sobretensión a frecuencia industrial (de valor normalizado) durante 1 minuto, y chequea el aislamiento entre los bobinados entre sí y con respecto a tierra. El ensayo de potencial inducido se lleva a cabo para verificar las condiciones del aislamiento entre vueltas en cada una de las bobinas y se realiza a frecuencias del orden de los 120 Hz para no saturar el núcleo del transformador.

1.9.6 SOPORTE DE ONDA INTERRUMPIDA

Un ensayo de voltaje aplicado que comienza con una onda básica 1,2 x 50 microsegundos pero es chopped interrumpida por el salto de chispa de un espacio de aire maniobrado adecuadamente cerca o después de la cresta.

1.9.7 SOPORTE DE FRENTE DE ONDA

Una prueba de voltaje aplicado con una velocidad de crecimiento especificada y es interrumpida junto a un tiempo específico antes que la onda normal llegue a la cresta, generalmente la mitad de un microsegundo.

Tensiones de prueba de acuerdo al nivel de aislamiento			
Clase de aislamiento KV	Tensión de prueba (Valor eficaz) KV	Clase de aislamiento KV	Tensión de prueba (valor eficaz) KV
1,2	10	161	325
2.5	15	196	395
5	19	215	430
8,7	26	230	460
15	34	315	630
18	40	345	690
25	50	375	750
34,5	70	400	800
46	95	430	860
69	140	460	920
92	185	490	980
115	230	520	1040
138	275	545	1090

Tabla 1.8 Tensiones de prueba establecidos por el IEEE para transformadores sumergidos en aceite de acuerdo con el nivel de aislamiento.

1.9.8 MEDICIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

El factor de potencia de un aislamiento se define como la relación de la potencia en Vatios disipada por el material y el producto de la tensión senoidal eficaz por la corriente en Vatios- Amperios.

Este ensayo es sensible a prueba de agua y productos de oxidación generados por el aceite que se depositan en los espacios reticulares del tejido fibroso del aislamiento solido a base de celulosa facilitando caminos a las corrientes de fuga aumentando los vatios de disipación generando calor y perdidas dieléctricas como consecuencias casi totalmente del fenómeno de absorción dieléctrica.

El valor ideal debe estar por debajo de 0,5% a 20 °C valor de referencia que tiende a bajar según los avances que se vayan teniendo en los materiales aislantes.

Para realizar la prueba se debe tomar en cuenta aspectos como:

- Tipo de equipo bajo ensayo
- Temperatura del aislamiento
- Temperatura ambiente
- Tensión aplicada

Los valores de medida deben ser corregidos a una temperatura de referencia generalmente 20 °C.

1.9.9 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO

Consiste aplicar un voltaje DC durante un periodo de tiempo determinado al aislamiento bajo ensayo y medir resistencia de aislamiento entre devanados y entre cada devanado y tierra. Se mide en megahomios aplicando voltaje continuo de diferentes valores.

Las lecturas son registradas en tiempos específicos hasta completar el tiempo destinado a la prueba que es de diez minutos. Esta prueba es sensible a la temperatura.

Existen varios criterios para aceptar o rechazar una prueba de resistencia de aislamiento, estos están establecidos por los fabricantes, dependiendo de su experiencia, a continuación se indica los valores de aceptación de fabricantes. Donde son indicativos de buenas condiciones del aislamiento.

Resistencia mínima de aislamiento de un transformador en aceite a 20 ° C 1 minuto y 1000 volts de prueba			
Clase de aislamiento	Megohms	Clases de aislamiento KV	Megohms
1,2	32	92	2480
2,5	68	115	3100
5,0	135	138	3720
8,7	230	161	4350
15,0	410	196	5300
25,0	670	230	6200
34,5	930	287	7750
46,0	1240	345	9300
69,0	1860	-	-

Tabla 1.9 Valores mínimos de aislamiento recomendado en transformadores sumergidos en aceite.

1.9.10 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Mide la relación de transformación entre dos devanados permite identificar cortos entre espiras, daños en el conmutador y posiciones incorrectas de este.

La determinación de la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el secundario, nos determina si la tensión suministrada puede ser transformada fielmente a la tensión deseada.

Matemáticamente la relación de transformación de un transformador se puede expresar como:

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \quad (1.2)$$

Es recomendable realizar las lecturas para todas las posiciones del cambiador de taps para detectar posibles daños en este o falsas posiciones.

La variación de los valores medidos con respecto a los valores esperados según los datos de placa no debe superar el $\pm 0,5\%$. Esta prueba permite además comprobar el grupo de conexión del transformador.

1.9.11 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS

La medición de la resistencia óhmica de los devanados de los transformadores se realiza por el método del voltímetro y el amperímetro. Algunas veces se puede recurrir a los métodos de medición con puentes de medida o por comparación. Por lo que respecta a la valoración de los resultados obtenidos en una medición

de la resistencia óhmica por este método, sobre todo cuando requiere la corrección sistemática de los errores, se debe adoptar un procedimiento general de medición de resistencia óhmica. Existen dos principios básicos de ensayo y ambos utilizan siempre una fuente de corriente continua.

1.9.11.1 Método de la caída de tensión

Consiste en observar la caída de tensión, conociendo la intensidad de corriente que pasa por el devanado cuya resistencia se está determinando por medio de la ley de Ohm.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.3)$$

V= Tensión aplicada en los terminales del devanado en voltios.

I= Intensidad de la corriente que circula por el devanado en amperios.

R= Resistencia del devanado en ohmios.

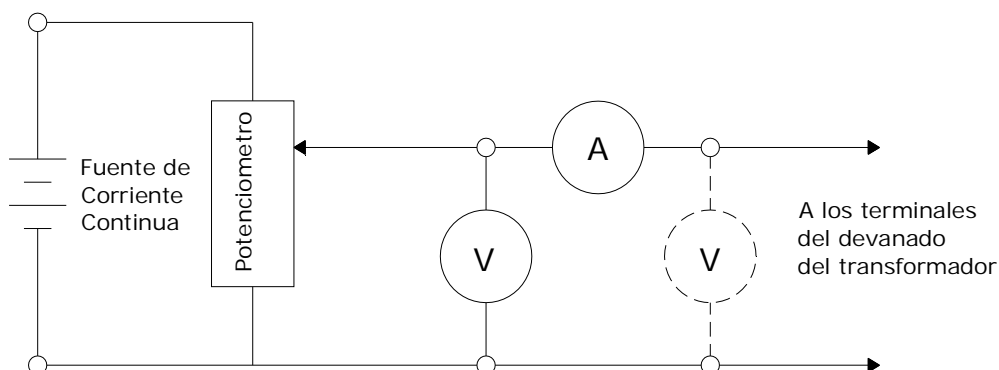


Figura 1.6 Circuito utilizado para efectuar la medición de caída de tensión.

1.9.11.2 Método del puente

La figura 1.7 muestra el esquema de un puente Wheatstone, donde R , R_1 y R_2 son resistencias conocidas y R_x representa la resistencia del devanado al cual se le hace la medida.

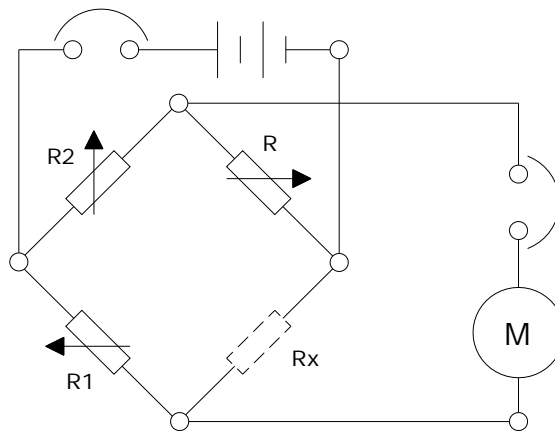


Figura 1.7 Circuito utilizado para efectuar la medición por el método del puente. Para utilizar el puente se ajustan las resistencias hasta que el medidor de corriente M esté en cero, entonces

$$= - \quad (1.4)$$

La comparación se hace directamente con resistencias patrón, cuya exactitud puede ser muy grande.

Tanto el método de la caída de voltaje como el del puente pueden tener la misma exactitud cuando se emplean los instrumentos adecuados.

1.9.12 DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN EL HIERRO O NÚCLEO

También conocida como la prueba de vacío en el transformador, tiene como objetivo determinar las pérdidas magnéticas. Esta prueba se desarrolla con uno de los devanados en circuito abierto, en tanto que el otro se alimenta a voltaje nominal. Cuando el transformador está en vacío la corriente que circula por el devanado que se alimenta resulta ser muy pequeña debido a esto en estas condiciones las pérdidas en los devanados se consideran despreciables. Una que produce el flujo en el núcleo y la otra que alimenta las llamadas pérdidas por histéresis y por corrientes circulares.

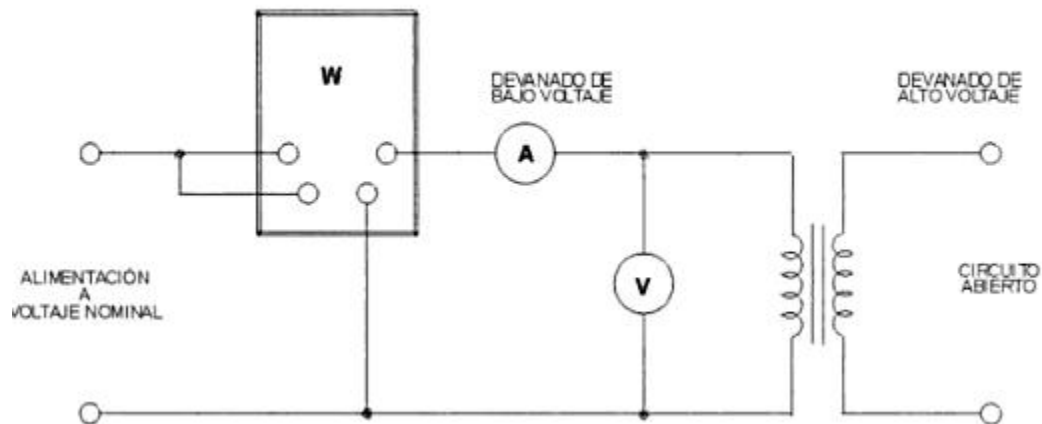


Figura 1.8 Diagrama de conexiones para la prueba de hierro o núcleo.

1.9.13 LA PRUEBA DE CORTO CIRCUITO

Se lleva a cabo para determinar experimentalmente el valor de la impedancia equivalente de un transformador y las pérdidas de los devanados. Como su nombre lo indica, la prueba de corto circuito en un transformador se desarrolla con uno de los devanados conectados en corto circuito, debido a esto, al otro se le aplica durante la prueba un voltaje del 5 % al 15 % del voltaje nominal.

La determinación del valor de las pérdidas adicionales es necesaria para el cálculo del rendimiento. Las pérdidas óhmicas pueden estar exactamente definidas como aquellas debidas al valor de la resistencia de los devanados y a la corriente que circula por ellos, suponiendo que esta uniformemente distribuida sobre todas las secciones de los conductores, como si se tratara de una corriente continua. El valor de las pérdidas óhmicas que es proporcional al valor de la resistencia y al cuadrado de la corriente, varía al cambiar la temperatura, en tanto es independiente del valor de la frecuencia. Las pérdidas adicionales o parasitas dependen de la no uniformidad con la que la corriente alterna se distribuye en la sección de los conductores y son producto del flujo disperso legado a la circulación de la corriente.

Durante la prueba es necesario medir la frecuencia, la tensión de corto circuito, la corriente de corto circuito, la potencia absorbida y la temperatura de los devanados.

Con el fin de obtener resultados confiables, la prueba se debe desarrollar con la máxima rapidez, para evitar calentamiento excesivo en los conductores de los devanados, cuyo valor de resistencia se debe mantener constante durante la prueba.

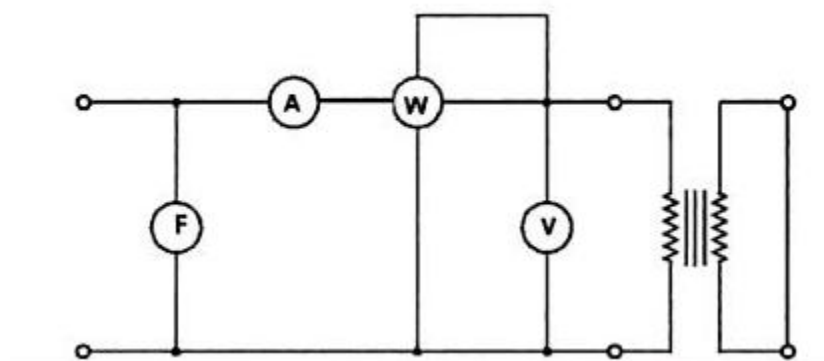


Figura 1.9 Diagrama de conexiones para la ejecución de la prueba de corto circuito.

1.10 ENSAYOS EN ACEITE DIELECTRICO

1.10.1 ACEITE DIELECTRICO

El aceite es una mezcla adecuada de hidrocarburos isoparafínicos, nafténicos y aromáticos con moléculas entre 16 y 22 átomos de carbono; el aceite cumple tres funciones básicas de refrigerante, aislante eléctrico y protector de las partes internas del transformador teniendo a la vez una buena estabilidad a la oxidación y una aceptable tendencia a la gasificación.

1.10.2 VIDA ÚTIL DE UN ACEITE AISLANTE

Se define como el tiempo durante el cual el aceite alcanza un número de neutralizaciones de 3,0 mg KOH/g dependiendo de la cantidad de aire disuelto en el aceite la hidrólisis del agua presente en el equipo la descomposición de la celulosa y de una manera significativa.

1.10.3 RIGIDEZ DIELECTRICA

La determinación de la rigidez dieléctrica del aceite es importante para verificar la capacidad que tiene de soportar esfuerzos dieléctricos sin fallar.

El valor de la rigidez dieléctrica está representado por el voltaje al que se presenta la ruptura dieléctrica del aceite entre electrodos de prueba, bajo ciertas condiciones predeterminadas. Permite también detectar la presencia de agentes

contaminantes como agua, suciedad o algunas partículas conductoras en el aceite.

Para la realización de la prueba se puede usar, en general, cualquier probador de rigidez dieléctrica en el que los elementos que lo constituyen son principalmente el transformador elevador, un voltímetro de medida, el equipo de interrupción y los electrodos dentro de la copa estándar.

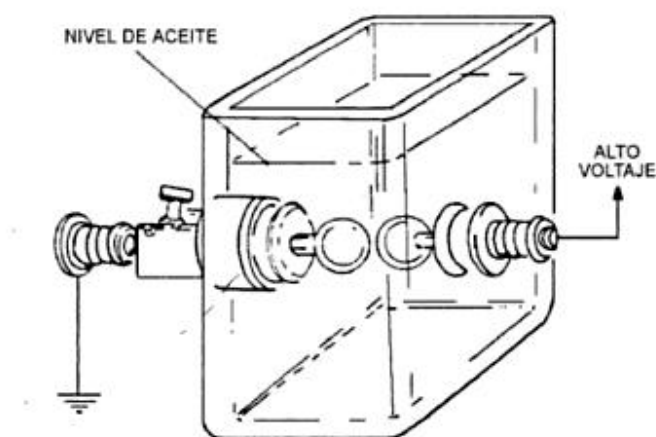


Figura 1.10 Copa estándar para la prueba de rigidez dieléctrica

1.10.4 ENSAYOS PARA VERIFICAR LA CALIDAD DEL ACEITE

Estos ensayos están normalizados por los estándares de la ASTM, y se realizan tomando muestras del fluido para verificar las siguientes características del aceite:

Aceite	Unidad	No inhibido	Inhibido
Características		Valor	
FÍSICAS			
Color	-	0,5	0,5
Punto de inflamación, mínimo	□ C	140	140
Punto de fluidez , máxima	□ C	-30	-30
Densidad, máximo a 20 □ C	g/cm ³	0,895	0,895
Tensión interfacial, mínimo	Nm	40 x 10 ³	40 x 10 ³
Viscosidad cinemática, máximo			
Para transformadores			
a 100 □ C		2,8	2,8
a 40 □ C		11	11
a 0 □ C		70	70
Para interruptores			
a 100 □ C		3,2	3,2
a 40 □ C		15	15
a 0 □ C		120	120
QUÍMICAS			
Azufre corrosivo combinado	-	No	No
Numero de neutralizaciones, máximo	mg/KOH/g	0,03	0,03
Estabilidad a la oxidación acelerada, máximo			
Sedimentación	%	0,3	-
Contenido de agua máximo	ppm	2,4	-
Aditivos	-	35	35
ELÉCTRICAS			
Rigidez dieléctrica	KV	30	30
Tangente del ángulo de perdidas	-	0,05	0,05

Ref. ASTM

Tabla 1.10 Valores característicos de los aceites aislantes

1.10.5 NUMERO DE NEUTRALIZACIONES

El aceite de operación dentro de un transformador sufre un proceso de degradación que se desarrolla por efecto del trabajo, la temperatura y las tensiones eléctricas a las que se a sometido.

1.10.6 TENSIÓN INTERFACIAL

Es medir la afinidad del aceite con el agua debido a la presencia de sustancias polares. Cuando en el aceite dieléctrico que es una sustancia apolar se encuentran disueltos productos polares el aceite aislante aumenta su afinidad con

el agua que también es una sustancia polar, y la solubilidad de un aceite en el agua va a aumentar cuando crece la presencia de dichas sustancias polares.

1.10.7 ÍNDICE DE CALIDAD

Es la relación entre la tensión interfacial y el número de neutralización. Conocido como índice de MYERS.

Debido a que número de neutralizaciones debe ser lo más bajo permisible y la tensión interfacial debe ser el más alto posible, el valor absoluto del índice debe ser el más alto permitido.

1.10.8 CONTENIDO DE AGUA

El agua disuelta afecta a las propiedades dieléctricas del aceite. La solubilidad del agua en el aceite del transformador aumenta en función de la temperatura y del índice de neutralización. Cuando el contenido de agua supera cierto nivel (valor de saturación), el agua no puede permanecer en solución y aparece el agua libre en forma de turbiedad o de gotitas de agua. Invariablemente, el agua libre provoca una disminución de la rigidez dieléctrica y de la resistividad y un aumento del factor de disipación dieléctrica ($\tan \delta$).

1.10.9 SEDIMENTOS Y LODOS PRECIPITABLES

Este ensayo permite hacer la distinción entre los sedimentos y los lodos precipitables. Los materiales sólidos comprenden los productos de degradación o de oxidación insolubles de los materiales aislantes sólidos o líquidos, de fibras de orígenes diversos, de carbón, de óxidos metálicos, etc. que resultan de las condiciones de explotación del equipo.

La presencia de partículas sólidas puede reducir la rigidez dieléctrica del aceite, y además pueden limitar los intercambios térmicos, favoreciendo así la continuación de la degradación de la aislación.

1.10.10 RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA

Estas características son muy sensibles a la presencia en el aceite de sustancias polares solubles, de productos de envejecimiento o de sustancias coloidales. Las variaciones se pueden detectar aún cuando la contaminación es tan pequeña que los métodos químicos no las pueden detectar.

1.10.11 CONTENIDO DE INHIBIDOR (PARA ACEITES INHIBIDOS)

Los aceites inhibidos se degradan más lentamente que los aceites no inhibidos, siempre que el inhibidor activo esté presente y que el aceite tenga una respuesta inhibidora.

El grado de protección proporcionado por el inhibidor de oxidación es una función de la composición del aceite de base y de la concentración del inhibidor. La determinación del contenido residual del inhibidor, en un aceite inhibido envejecido en servicio, permite establecer la velocidad de consumo del inhibidor.

1.10.12 COLOR

El color de un aceite aislante se determina por la luz transmitida y se expresa con un valor numérico obtenido por comparación con una serie de colores normalizados. No es una propiedad importante, pero es bastante útil para una evaluación comparativa. Un índice de color elevado o que evoluciona rápidamente puede indicar una degradación o una contaminación del aceite.

1.10.13 ASPECTO

El aspecto del aceite debe ser límpido, puede tener turbidez o la presencia de sedimentos, indicando la presencia de agua libre, de lodos, de carbón, de fibras, de suciedad, etc.

1.10.14 ESTABILIDAD A LA OXIDACIÓN

Para un aceite-inhibidor dado, el período de inducción es generalmente proporcional al contenido de inhibidor activo y dependiente de la presencia de agentes promotores de oxidación. El ensayo de oxidación para el aceite inhibido nuevo permite medir fácilmente el período de inducción de un aceite por medio de la determinación de la cantidad de ácidos volátiles formados. Este ensayo, aplicado en un aceite usado previamente ensayado, permitirá indicar hasta qué punto se ha reducido el período de inducción.

1.10.15 PUNTO DE INFLAMACIÓN

Un punto de inflamación bajo indica la presencia de sustancias volátiles combustibles en el aceite. La exposición prolongada del aceite a muy altas temperaturas, en condiciones de falla, puede producir suficientes cantidades de hidrocarburos de bajo peso molecular como para causar la disminución del punto de inflamación del aceite.

1.10.16 PUNTO DE ESCURRIMIENTO

El punto de escurrimiento es una medición de la fluidez del aceite a baja temperatura. No existe evidencia alguna que sugiera que dicha propiedad esté afectada por la degradación del aceite. Distintos puntos de escurrimiento pueden normalmente indicar el origen nafténico o parafínico del aceite.

1.10.17 DENSIDAD

La densidad no es un parámetro esencial para definir la calidad de un aceite, pero puede ser útil para definir el tipo de aceite o para detectar las modificaciones importantes de su composición.

1.10.18 VISCOSIDAD

La viscosidad es un parámetro que interviene en la disipación del calor. El envejecimiento y la oxidación del aceite tienden a incrementar la viscosidad, pero el efecto no es perceptible a los niveles de degradación considerados en esta guía. Las mediciones de la viscosidad pueden ser útiles para la identificación del tipo de aceite.

1.10.19 DETECCIÓN DE GASES DISUELTOS EN EL ACEITE

Para la detección de gases disueltos en el aceite, que pueden resultar ser indicios de falla en el aislamiento del transformador, se emplean los siguientes métodos:

- Medición del total de gases combustibles en el aceite
- Análisis de la capa de gas
- Análisis de gases disueltos en el aceite (cromatografía gaseosa)

La técnica que entrega más información es la cromatografía gaseosa la cual permite, a través de sus resultados, determinar el posible tipo de falla presente en el transformador. El método hace posible detectar fallas incipientes derivadas de sobré temperaturas, arcos y descomposición de la celulosa que forma parte del aislamiento sólido del transformador.

Recientemente se han desarrollado métodos cromatográficos que permiten llevar a cabo los diagnósticos en terreno.

Teniendo en cuenta pues es apenas natural que se requiera estar monitoreando cómo va el proceso de oxidación del aceite aislante y para esto requiere realizar periódicamente las pruebas de degradación.

1.11 ENSAYO DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

1.11.1 PUESTA A TIERRA

Las instalaciones de puesta a tierra están constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por líneas de tierra que conectan dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra. La tierra en su conjunto se clasifica propiamente como un conductor y por conveniencia se supone su potencial como cero.

1.11.2 EL SUELO

Llamamos suelo al conjunto de materiales que conforma la superficie de nuestro planeta.

Es el conjunto de materiales que conforman la superficie terrestre (terreno) en contacto directo con la puesta a tierra (P.A.T.). Está compuesto, en su mayor proporción, por diferentes porcentajes de: la roca madre que lo genera, los productos de su composición (regolita), humus, agua y aire, que ocupan sus intersticios libres.

1.11.3 LA RESISTIVIDAD

Es la resistencia específica o unitaria del suelo. Se simboliza con la letra griega ρ (Rho) y se expresa en ohmios por metro ($\Omega.m$).

1.11.4 RESISTIVIDAD DEL SUELO

Resistividad aparente o equivalente de un suelo; es la resistencia eléctrica específica o volumétrica del mismo. Se expresa, en general en ohmios por metro ($\Omega.m$).

Y representa la resistencia que existe entre dos caras opuestas de un cubo de suelo de un metro de arista.

En todas las instalaciones donde se vaya a construir un sistema de puesta a tierra, se realizara previamente un estudio de la resistividad del terreno, se adopta la siguiente clasificación de terreno para efectos de mejoramiento:

Clase de suelo	Suelos	Resistividad $\Omega.m$
A	Blandos ácidos	> 200
B1	Arenosos semisecos	Entre 500 y 1000
B2	Arenosos secos	Entre 1000 y 2000
C1	Rocosos	< 1000
C2	Rocosos	>1000

Ref. Márquez García

Tabla 1.11 Clasificación del terreno por su característica de resistividad.

1.11.5 TIERRA DE REFERENCIA (SEN)

Es un área de terreno, en particular de su superficie, la cual está tan alejada del electrodo dispensor que no existen diferencias de potencial entre dos puntos de ella cuando circula corriente por este.

1.11.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

La composición de la tierra, incluso en un lugar determinado, es muy heterogénea, presentándose capas, bolsas, depósitos, etc., tanto horizontal como verticalmente. Además están afectadas fuertemente por el cambio climático, lluvias y heladas.

Todo ello hace que la resistividad del suelo sea muy variable de un lugar a otro como se muestra en la tabla 1.12.

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad en $\Omega.m$
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

Ref. Márquez García

Tabla 1.12. Naturaleza del terreno con el valor medido de la resistividad

1.11.7 COMPOSICIÓN DEL TERRENO

Para una misma clase de terreno la resistividad puede ser sensiblemente diferente, la tabla 1.13 muestra los valores típicos según la naturaleza del suelo.

Naturaleza del terreno	Resistividad en $\Omega.m$
Terrenos pantanosos	Algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurasico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Grava	3000 a 5000

Ref. Márquez García

Tabla 1.13 Valores típicos según la naturaleza del suelo

1.12 ENSAYOS HI-POT.

Los ensayos hi-pot, o de alto potencial, son aplicados al aislamiento de los distintos equipos eléctricos con el fin de evaluar la condición de la aislación. Este tipo de pruebas es de carácter destructivo, vale decir, el aislamiento del equipo se considerará en buenas condiciones si no sufre ruptura con la aplicación de una prueba hi-pot. La metodología de este tipo de ensayos consiste en aplicar una tensión alterna o continua de magnitud superior al valor nominal de voltaje del equipo, en la aislación a tierra, durante un período de tiempo que, por lo general, varía entre 1 y 30 minutos, dependiendo del equipo eléctrico a probar.

De este modo, para un cable de poder de media tensión el período de prueba es de 15 minutos para ensayo hi-pot con corriente continua y de 30, para uno con corriente alterna.

En el caso de transformadores y máquinas rotatorias este período se reduce a 1 minuto.

1.12.1 ENSAYO HI-POT CON CORRIENTE ALTERNA.

Los ensayos de alto potencial con corriente alterna (AC hi-pot test), consisten en la aplicación de una tensión alterna a frecuencia industrial (50-60 Hz.) al aislamiento de cables, transformadores, máquinas rotatorias y condensadores de potencia.

1.12.2 ENSAYO HI-POT CON CORRIENTE CONTINUA.

El ensayo de alto potencial con corriente continua consiste en la aplicación de tensión continua al aislamiento de cables, transformadores, máquinas rotatorias y condensadores de potencia. La tensión de ensayo es de mayor magnitud que la aplicada en el AC hi-pot test de 1.7 a 3 veces, dependiendo el equipo bajo prueba.

1.13 ENSAYOS PARA EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA AISLANTE DE MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

1.13.1 ENSAYOS CON TENSIÓN CONTINUA

En el bobinado estático de una maquina eléctrica rotativa, el conjunto conductor-aislante-hierro se puede asimilar como un condensador plano en el cual el campo es uniforme. Cuando se aplica un escalón de tensión continua durante un tiempo determinado a este condensador aparece una corriente que consta de dos componentes: una que se establece por caminos de dispersión sobre la superficie del aislante y otra que circula por lo que es el propio cuerpo del aislante.

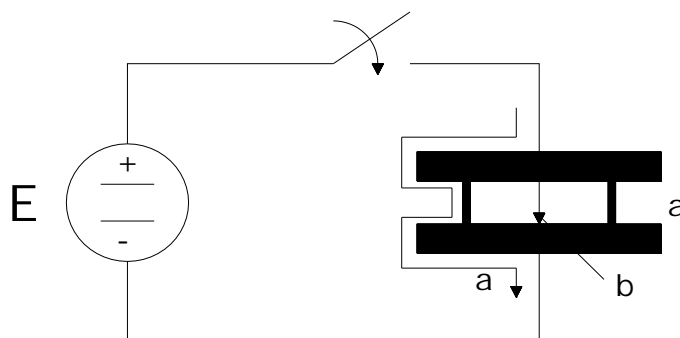


Figura 1.11 Corrientes al aplicar un escalón de tensión al circuito aislante:(a) Corriente de dispersión, (b) Corriente a través del dieléctrico.

Esta tensión aplicada no supera la tensión máxima de trabajo del motor y los parámetros obtenidos son útiles para determinar la condición en la que se encuentra el aislante.

1.13.2 ENSAYOS DE SOBRETENSIÓN

Un ensayo de sobretensión (high potential o hi-pot) consiste en la aplicación deliberada de una tensión, continua o alterna, superior a la nominal del bobinado de la maquina, este ensayo proporciona información acerca de la rigidez dieléctrica del sistema aislante. La rigidez dieléctrica de un material aislante se define como el gradiente de potencial máximo que el material puede soportar sin que se produzca la ruptura. Si el aislamiento soporta esa aplicación de potencial durante un cierto tiempo y no se produce una circulación excepcional alta de corriente de dispersión, se asume que será capaz de soportar sin peligro la tensión normal de funcionamiento.

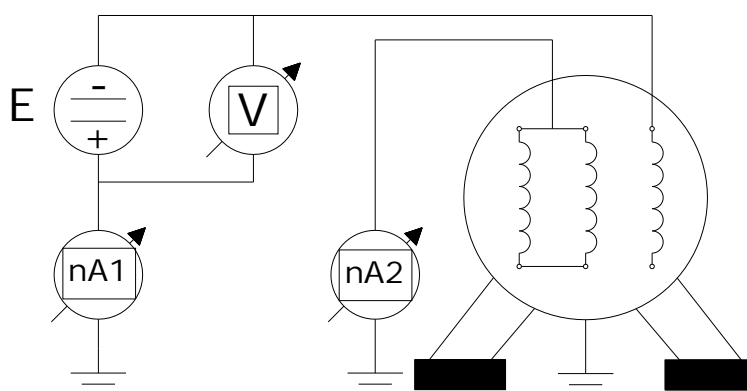


Figura 1.12 Conexión para la medida de corrientes en ensayos de sobretensión: Corriente total ($nA1$) y corriente de fuga a las otras dos fases ($nA2$).

1.13.3 ENSAYOS DE ONDAS DE CHOQUE

Los ensayos de ondas de choque, evalúan la integridad del aislamiento entre espiras, así como la capacidad del aislante a tierra para soportar transitorios de frente de onda abrupto como los que pueden aparecer en servicio. Los ensayos de ondas de choque proporcionan información sobre el estado del aislante que no proporcionan los ensayos de tensión continua ni los de sobre tensión, ya que ninguno de estos dos es sensible a la condición del aislamiento entre espiras.

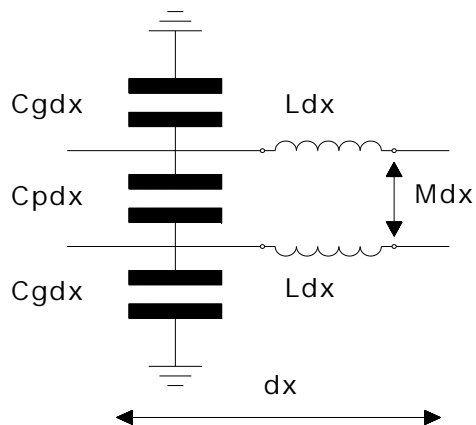


Figura 1.13 Modelo de dos espiras de una bobina con parámetros distribuidos

1.13.4 ENSAYOS DE TANGENTE DE DELTA

Los ensayos de tangente de delta, también llamados de factor de potencia del aislante, son ensayos dieléctricos que se realizan aplicando una tensión alterna, que han permitido determinar la calidad en la fabricación de bobinados, como el estado de estos en maquinas ya en funcionamiento. Este tipo de ensayos son sensibles a la condición interna del aislante y son especialmente aplicables a devanados de motores de alta tensión de cualquier tamaño.

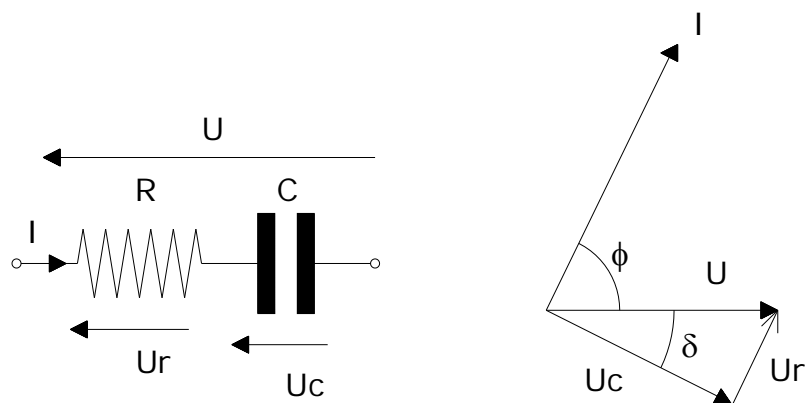


Figura 1.14 Circuito equivalente serie del condensador real.

1.13.5 ENSAYOS DE DESCARGAS PARCIALES

Las descargas parciales se definen como aquellas descargas eléctricas que cortocircuitan solo parcialmente el material aislante entre conductores. Son fenómenos de ionización gaseosa transitoria originados siempre en el seno de un gas presente en el interior de un sistema aislante. Dado que no todo el aislante se halla involucrado en este fenómeno, el resto del material donde no se ha

extendido la actividad de la descarga es capaz de desarrollar su función dieléctrica sin que se produzca la perforación del aislante. Las descargas parciales pueden originarse en el seno de aislamientos sólidos, líquidos o gaseosos.

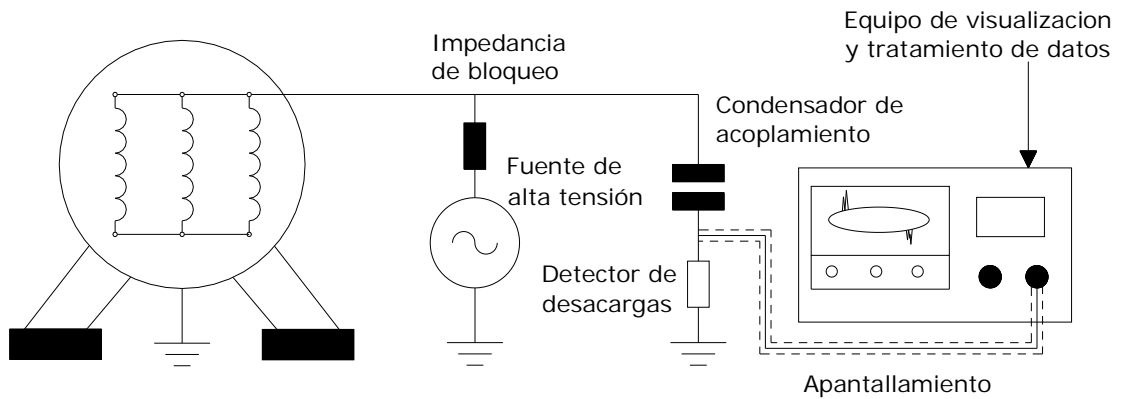


Figura 1.15 Esquema básico de ensayo de descargas parciales.

1.13.6 PRUEBA DE CD PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL ESTATOR

Se aplica voltaje de cd a los devanados del estator de un motor de inducción. Puesto que la corriente es de cd, no hay voltaje inducido en el circuito del rotor y no hay flujo de corriente resultante en el rotor. Además, la reactancia del motor es cero con corriente directa. Por lo tanto, la única cantidad que limita el flujo de corriente en el motor es la resistencia del estator y de esta manera se puede calcular esta resistencia.

En la figura 2 se observa el circuito básico para la prueba de cd. Esta figura muestra una fuente de potencia de cd conectada a dos de los tres terminales de un motor de inducción conectado en Y. para realizar esta prueba, se ajusta la corriente en los devanados del estator a su valor nominal y se mide el voltaje entre los terminales. Se ajusta la corriente en los devanados del estator a su valor nominal en un intento por calentar los devanados a la misma temperatura que tendrán durante la operación normal (la resistencia del devanado está en función de la temperatura).

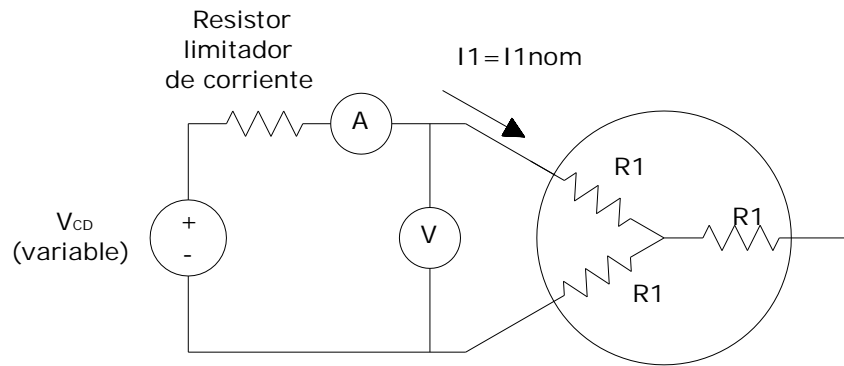


Figura 1.16 Circuito básico para la prueba de cd de resistencia.

La corriente de la figura 1.16 fluye a través de dos de los devanados, por lo que la resistencia total en el camino de la corriente es $2R_1$. Por lo tanto.

$$I_1 = \frac{V}{2R_1} \quad (1.4)$$

$$R_1 = \frac{V}{2I_1} \quad (1.5)$$

Con este valor de R_1 se puede determinar las pérdidas en el cobre del estator en vacío, y se pueden encontrar las pérdidas rotacionales restando la potencia de entrada en vacío y las pérdidas en el cobre del estator.

1.14 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LABORATORIO

En el laboratorio están instalados los siguientes equipos:

- Megaohmmetro 5000V, Modelo 5070, marca AEMC
- Medidor de relación de transformación, Tipo TTR 2795, marca TETTEX
- Microhmetro, Modelo 6250, marca AEMC
- Medidor Rigidez Dieléctrica, Modelo DS14-2584, marca Hipotronics
- Medidor de aislamiento en DC, Modelo 8000, marca Hipotronics
- Teluometro, Modelo 4630, marca AEMC
- Analizador de motores, Modelo 6000, marca Samatic

Para el funcionamiento de estos equipos dentro de los parámetros de seguridad, tiene una malla de puesta a tierra ubicada bajo la superficie del laboratorio.

El área del laboratorio está dividida en dos sectores. La primera funciona como aula taller con capacidad para 12 estudiantes, tres mesas de trabajo. La segunda

parte tiene una jaula de faraday la misma que debe estar puesta a tierra sólidamente, esta jaula mide 6x4 metros de superficie y la altura es de 2,6 metros permitiendo realizar pruebas con seguridad ubicada al fondo del laboratorio.

Para el ingreso de equipos se encuentra una puerta enrollable de 2,9 metros de ancho por 3,20 metros de alto. El ingreso del personal se realiza se hace por una puerta peatonal ubicada en el acceso principal.

En lo que respecta al sistema eléctrico la cometida principal es trifásica de 6 hilos con un tablero de distribución de 100 amperios, conectada al transformador de la ESPEL, el mismo que controla tres circuitos trifásicos independientes a cinco hilos de 20 A cada uno, y cuatro circuitos monofásicos para 8 tomas monofásicas para cargas especiales con tierra aislada y 6 tomas monofásicas polarizadas para uso general controladas por dos circuitos. La iluminación, es con lámparas fluorescentes.

1.15 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS

1.15.1 TETTEX TTR 2795



Figura 1.17 TETTEX TTR 2795

Una medida precisa de la relación de transformación permite detectar errores en el montaje del transformador durante la fabricación, o en los arrollamientos o

alguna de las posiciones durante su vida útil. Información adicional como el error de ángulo o la corriente de excitación ayuda a descubrir problemas adicionales. El instrumento es capaz de detectar de forma automática no solo los vectores de conexión no la propia conexión del transformador si esta no es conocida.

Tensiones de ensayo	1V, 10V, 40V y 100V selección manual o automática			
Corriente de excitación	Max. 1 A (10mA a 1V)			
Pantalla	Pantalla LCD 5,2'' 240x128 retro iluminada			
Memoria	Almacena hasta 100 ensayos completos			
Impresora	Térmica, ancho de papel de 58mm			
Interfaces	Ordenador- RS232C 19200 Baud, 9 polos Cambiador (Tap Changer) – Contacto de 3 polos in/out, libre de potencial			
Temperatura de trabajo	-10°C ...55°C			
Alimentación	95... 240V AC, 50/60Hz max. 1,3 A			
Dimensiones	41cm x 31 cm x 17 cm			
Peso	8,8 Kg sin cables			
Precisión y medida				
Relación	1V	10V	40V	100V
0,8...100	±0,05%	±0,05%	±0,05%	±0,03%
101...1000	±0,15%	±0,05%	±0,05%	±0,05%
1001....1500	-	±0,05%	±0,05%	±0,05%
1501...2000	-	±0,10%	±0,05%	±0,05%
2001...4000	-	±0,20%	±0,05%	±0,05%
4001...13000	-	-	±0,25%	±0,15%
13001...20000	-	-	-	±0,20%
Corriente	Excitación	Resolución	Precisión	
Rango y precisión	0...1A	0,1mA	±1mA	
Angulo	Rango	Resolución	Precisión	
Rango y precisión	±180°	0,05°	±0,05°	

Tabla 1.14 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TETTEX

1.15.2 MICROHMETRO MODELO 6250



Figura 1.18 MICROHMETRO 6250

El Micro- Óhmetro de 10A modelo 6250 es un probador robusto de baja resistencia, las mediciones de resistencia se calculan y se presentan automáticamente considerando el valor de medición, la temperatura ambiente y el coeficiente de temperatura del metal.

Los modos de prueba son para materiales resistivos, materiales inductivos y se realizan medición de resistencia de recubrimientos metálicos, medición de resistencia de bobinados, prueba de uniones mecánicas.

Tabla 1.15 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MICROHMETRO

Rango	5.000 0mΩ	25.000m Ω	250.00m Ω	2500.0 mΩ	25.000 Ω	250.0 0 Ω	2500.0 Ω
Exactitud	0,05% +0,5μ Ω	0,05% +3μΩ	0,05% +30μΩ	0,05% +0,3mΩ	0,05% +3mΩ	0,05% +30m Ω	0,05% +300m Ω
Resolución	0,1 μΩ	1 μΩ	1 μΩ	0,1 mΩ	1 mΩ	1 mΩ	100 mΩ
Corriente de prueba	10A	10A	10A	1A	100mA	10mA	1mA
Modo de medición	A elección inductivo ensayo continuo, resistivo ensayo instantáneo, automático ensayos múltiples						
Tipo de metal	A elección cobre, aluminio u otro metal						
Sensor temperatura	RTD platino 100Ω						
Resolución	0,1 □ C						
Exactitud	±0,5 □ C						
Alarmas	Dos puntos de ajuste 0,0 a 2500.0Ω						
Zumbador	Programable ON-OFF						
Peso	3,69 kg						
Pantalla	Digital						
Interfaces	Terminal remoto						
Temperatura operación	-10°C ...55°C						
Corrección de temperatura	Manual y automática con 0,1 □ de resolución						
Temperatura de referencia	Programable desde -10 □ hasta 130□ C						
Temperatura ambiente	Programable desde -10 □ hasta 130□ C						
Temperatura de almacenaje	-40 □ a 60 □C						
Almacena	1500 resultados prueba						
Alimentación	Baterías NIMH Recargables de 6V						
Vida de la batería	Aproximadamente 5000 ensayos de 10 ^a						
Carga batería	Voltaje de línea 120/240 Vca ± 20%						
Ahorro de energía	Pantalla se apaga de 1,5 a 10 minutos de inactividad						
Dimensiones	270x250x180mm						
Índice de protección	IP 53 caja abierta, IP 64 caja cerrada						
Doble aislamiento	Si						

1.15.3 MEGAOHMETRO MODELO 5070



FIGURA 1.19 MEGAOHMETRO 5070

El Megaohmetro 5070 de 5000 V es un probador robusto de ensayos de aislamiento de lectura instantánea en cables, transformadores, motores.

Tabla 1.16 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MEGAOHMETRO

Tensión de ensayo escalas 500V 1000V 2500V 5000V	30KΩ a 2000GΩ 100KΩ a 4000GΩ 100KΩ a 10000GΩ 300KΩ a 10000GΩ
Tensión de ensayo	Programable 40 a 1000V en pasos de 10V 1000 a 5100V en pasos de 100V Tres voltajes de prueba pueden ser almacenados
Corriente de corto circuito	< 1,6mA ±5%
Precisión 1kΩ a 40GΩ 40GΩ a 10TΩ	±5% de lectura de ±3cts ±15% de lectura de ±10cts
Tensión de selección	En pasos de 10V y de 100V
Medición de corriente de fuga	0,00 nA a 3mA
Duración del ensayo programable	1min a 49 hrs 59 min
Función smooth	Filtrado digital que estabiliza la lectura del

	display
Voltaje de paso automático	3 perfiles cada uno contiene 5 pasos programables de 40 a 5100V Tiempo de espera programable 1 min a 10 hrs por paso
Corrección de temperatura	Operador de temperatura de referencia programable y dispositivo bajo prueba temperatura con corrección automática de temperatura de resistencia
Descarga después del ensayo	Automática
Indicación display de la tensión descarga	Si
Tensión de ensayo	0 a 1000Vca/cc, 1V de resolución
Alimentación	Ocho NiMH baterías recargables Línea de potencia 85 a 256 Vca
Tamaño	270x250x180mm
Almacenaje de lectura	Memoria 128 kB
Puerto comunicación	RS-232
Prueba de voltaje	0 a 1000 V
Peso	4,3 kg
Grado de protección	IP53
Pantalla	Digital
Reporte directo de impresora	Si pre selección
Intervalos de lectura programables	5 s a 15 min
Indicación tensión ensayo	Si
Indicación de tiempo transcurrido	Si
Tiempo real /fecha	Si
Bloquea tensión ensayo	Programable por el usuario
Puerto de comunicación	RS-232
Software de aplicación	Si data View
Operación Mego metro por intermedio de PC	Si
Doble aislamiento	Si

1.15.4 MEDIDOR DIGITAL DE RESISTENCIA A TIERRA 4620 Y 4630



FIGURA 1.20 TELUOMETRO 4620-4630

Este equipo mide la resistividad del terreno, la resistencia de puesta a tierra ejecutando ensayos de tensión de paso y medición de potencial.

Tabla 1.17 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TELUOMETRO

Escala	20Ω	200Ω	2000Ω
Medición	0,00 a 19,99Ω	20,00 a 199,9Ω	200 a 1999Ω
Resolución	10 mΩ	100 mΩ	1Ω
Tensión circuito abierto	< 42V pico	< 42V pico	< 42V pico
Frecuencia medición de resistencia	128 Hz onda cuadrada	128 Hz onda cuadrada	128 Hz onda cuadrada
Prueba de corriente	10mA	1mA	0,1mA
Exactitud	± 2% de lectura ±1ct	± 2% de lectura ±1ct	± 3% de lectura ±3cts
Influencia del electrodo auxiliar	3 KΩ	30 KΩ	50 KΩ
Max Res. En el circuito de corriente			
Max res. En el circuito de tensión	50 KΩ	50 KΩ	50 KΩ
Tiempo de respuesta	Aproximadamente 4 a 8 segundos para una medición estable		
Resistida de voltaje	250 V _{CA} o 100 V _{CC}		

Alimentación	8 baterías tipo C alcalinas	120/230 50/60Hz Baterías recargables
Duración de baterías	›2000 mediciones en 15 segundos indicación batería baja en LCD	
Fusible de protección	0,1A, ›250V, 0,25x 1,25" capacidad de interrupción de 30kA	

1.15.5 ESPINTERÓMETRO



Figura 1.21 Espinterómetro

Los Hipotronics digitales de prueba de aceite dieléctrico están diseñados para probar la tensión de ruptura de los líquidos aislantes utilizados en el campo de alta tensión como aislante y refrigerante en los cables, transformadores, disyuntores de aceite, y aparatos similares. Estas unidades cumplen todos los requisitos de ASTM para la realización de las pruebas descritas en las normas ASTM D877 y D1816.

Las series digitales de prueba de aceite dieléctrico constan de los modelos OC60D y OC90D. Son totalmente automáticos, ofreciendo gamas de voltaje de salida de 0-60 KV y 0-90 KV, respectivamente.

En la tabla 1.18 se enumeran las especificaciones únicas para cada modelo. Tenga en cuenta que las tensiones de salida se indican desde el center-tapped de

los transformadores. Por ejemplo, el OC60D proporciona un máximo rendimiento de 60 KV RMS entre dos casquillos, 30 KV por casquillo a tierra.

Tabla 1.18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESPINTERÓMETRO

MODEL	OUTPOT	METER RANGE (KV ac Scale)	RATE OF RISE
OC-60D	0-60 KV RMS	3 ½ Digit LED Display	500 / 2000 / 3000 VPS (automatic)
OC-90D	0-90 KV RMS	3 ½ Digit LED Display	500 / 2000 / 3000 VPS (automatic)

1.15.6 HIGH VOLTAGE 8000 SERIES



Figura 1.22 HI-POT

Los Hipotronics de la serie 8000PL de Probadores de Aislamiento son unidades plenamente instrumentadas, construidas en módulos para facilitar la operación y mantenimiento. La prueba se compone de un montaje de control, una base de montaje, de uno a cinco de 60 KV de alta tensión con módulos de toroides y placas de adaptación, y una resistencia de alta tensión para actuar como el resultado final de terminación.

Características estándar de la Serie 8000PL incluyen:

- Zero start y entrelazar suministros externos.
- Triple-range voltímetro analógico, salida conectado.
- Five-range multiplicador de corriente con interruptor.
- Polaridad reversible.
- Interruptor inversor momentáneo de corriente para permitir la lectura de las corrientes de purga.
- Ajuste continuo de alta tensión de salida de control.

Tabla 1.19 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HI-POT

	Model Number				
	8060PL	8120PL	8180PL	8240PL	8300PL
Input					
Voltage	120V,60Hz, or 220V, 50/60 Hz				
Current	30A				
Output					
Voltage (KV dc)	60	120	180	240	300
Current (mA)	16 (20@50KV)	8 (10@100KV)	5.5 (7.5@150KV)	4.1 (5@200Kv)	3.3 (4@250KV)
Polarity	Reversible (Manually)				
Ripple	.15% per mA				
Series Resistor	250 K Ω	250 K Ω	500 K Ω	500 K Ω	750 K Ω
Meters					
Voltmeter	0-15/37.5/75 KV (times the number of modules)				
Current Meter	0-5uA (with X1, X10, X100, X1K, X5K multiple controlers)				
Accuracy	+- 2% Full Scale				

1.15.7 MOTOR TESTER, MODELO 6000, MARCA SAMATIC



Figura 1.23 MOTOR TESTER

Cada Probador SAMATIC es Preciso, Completamente Automático, con Selección Automático de Rango, Auto-Calibrado, con un menú de pruebas para escoger.

Tabla 1.20 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR TESTER.

Probador de SOBRETENSIÓN	hasta 15.000 Volts
Probador CC HI-POT	hasta 15.000 Volts
Memoria Interna	Para 12 motores
Software Swimet	Para envío fácil de los resultados de la prueba de la memoria interna del probador a cualquier computador
Índice de Polarización	
Analizador y Trazador de Curvas	
Probador de Resistencia de bobina	
Probador de Armadura	
Comparador de una bobina	
Detector de Barra de Rotor Dañada o Rota	
Probador de Voltaje Ajustable por Incrementos (Steps),	
Mecanismo de Auto Calibración	
Pantalla LCD	
Impresora	
Módulo de Prueba de Armadura con Acoplador Incorporado.	

1.16 JAULA DE FARADAY

Jaula de Faraday, recinto metálico de paredes no necesariamente continuas, que constituye una pantalla eléctrica o electrostática.

Si en el interior de un conductor existieran cargas eléctricas libres, éstas serían arrastradas por el campo eléctrico en dirección perpendicular a las superficies equipotenciales, hasta alcanzar la superficie exterior del conductor. Por tanto, en un conductor en equilibrio, las cargas eléctricas libres no pueden existir más que en la superficie. Por otra parte, si en el interior de un conductor hueco no existe ninguna carga, dentro de dicho conductor el potencial correspondiente será constantemente igual al correspondiente a su superficie, y el campo eléctrico nulo. En consecuencia, bastará rodear un cuerpo con una pantalla metálica unida a tierra para que el campo en el interior sea nulo, por muy intensos que sean los campos eléctricos exteriores. De esta forma los aparatos eléctricos para medidas de precisión pueden ser protegidos contra cualquier perturbación eléctrica externa rodeándolos con una red de conductores, en forma de malla, no necesariamente muy tupida.



Figura 1.24 Jaula de Faraday laboratorio Alto Voltaje

1.17 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA

1.17.1 NORMALIZACIÓN

Es la actividad de establecer, frente a problemas reales o potenciales, disposiciones para uso común y repetido, encaminadas a la obtención del grado óptimo de orden en un contexto dado.

1.17.2 OBJETO DE NORMALIZACIÓN

La expresión "producto, proceso o servicio" ha sido adoptada para abarcar el objeto de normalización en un amplio sentido, y debe ser entendida igualmente para cubrir, por ejemplo, cualquier material, componente, equipo, sistema, interfaz, protocolo, procedimiento, función, método o actividad.

La Normalización puede estar limitada a aspectos particulares de cualquier objeto. Por ejemplo, en el caso de zapatos, los criterios para tamaños y durabilidad podrían ser normalizados separadamente.

1.17.3 OBJETIVOS DE LA NORMALIZACIÓN

La Normalización puede tener uno o más objetivos específicos para hacer un producto, proceso o servicio apto para su uso. Tales objetivos pueden ser, pero no están restringidos a limitación (control) de variedad, utilidad, compatibilidad, intercambiabilidad, salud, seguridad, protección del ambiente, protección del producto, comprensión mutua, rendimiento económico, comercio. Estos pueden superponerse entre sí.

1.18 NORMATIVA PARA ENSAYOS ELÉCTRICOS

Esta norma proporciona términos generales, definiciones y métodos de las pruebas aplicadas en laboratorios a que deben someterse transformadores, motores, cables.

Igualmente está previsto proporcionar una fuente adecuada de formación o de referencia que comprenda brevemente los principios básicos, teóricos y prácticos de la Normalización, Certificación y Acreditación de los laboratorios de ensayos.

1.18.1 DOCUMENTOS NORMALIZADOS A IMPLEMENTAR

Guía de prácticas de Seguridad para alumnos en laboratorios con riesgos eléctricos

NTE INEN 2 110:1998 Transformadores. Definiciones

NTE INEN 2 111:1998 Transformadores. Pruebas Eléctricas.

NTE INEN 2 113:98 Transformadores. Determinación de Pérdidas y Corrientes sin carga.

NTE INEN 2114:2003 Transformadores de distribución Nuevos Monofásicos. Valores de corriente sin carga, Perdidas y voltaje de Cortocircuito.

NTE 2117:1998 Transformadores. Relación de transformación.

NTE INEN 2118:98 Transformadores. Medida de la Resistencia de los Devanados.

NTE INEN 2119:199 Transformadores. Prueba de calentamiento para transformadores sumergidos en aceite con elevación de 65°C de temperatura en los devanados.

NTE 2127:1998 Transformadores. Niveles de aislamiento

NTE INEN 2 133:98 Transformadores. Aceites Aislantes Para Transformadores e interruptores. Requisitos.

UNE 21123 Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos.

IEEE Std 81-1983 IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.

IEEE Std. 43-2000 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.

IEEE Std 112-1996 Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.

ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración

1.19 DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE NORMAS

Este proyecto desea definir la forma, metodología y actividades sobre las cuales el Laboratorio de Alto Voltaje, realizará el control de calidad, la verificación del cumplimiento de normas, especificaciones técnicas y regulaciones vigentes, determinar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos como transformadores, motores, cables, etc. Basándonos en los documentos internos investigativos, normas y regulaciones vigentes. El deseo del mismo modo es

realizar la certificación de calibración de los equipos, determinar la factibilidad de utilización, manteniendo los datos en registros.

El establecer las normas, criterios y procedimientos a llevar a cabo los ensayos de laboratorio para diagnosticar los problemas de los transformadores, motores, cables es la forma más efectiva de demostrar la competencia técnica del laboratorio, mostrando evidencias de la credibilidad de los servicios que realiza, nos sería de gran utilidad puesto que mejorara el desempeño de los equipos eléctricos con la entrega de energía eléctrica segura.

Este proyecto se justifica en la implementación del instructivo de prácticas, elaborar las recomendaciones técnicas para los ensayos, especificando el método, la frecuencia de mantenimiento, brindar la interpretación de los ensayos, además enfocar en el desarrollo, actualización, así como en el control de los equipos ya existentes, lo que ayudara a poner en práctica la iniciativa del estudiante al momento de utilizar este laboratorio.

CAPITULO II

2.1 GENERALIDADES

Actualmente la interrupción del servicio eléctrico generado por un transformador, motor o cables de media y alta tensión, puede ser causa de pérdidas. Los problemas que pueden presentarse son por

- Defectos de fabricación, transporte o instalación.
- Fallas debido a operaciones anormales como sobre tensiones de conmutación, corto circuitos, fallas externas, rayos, etc.
- Fallas debido al envejecimiento del aislamiento.

Por lo tanto es necesario contar con un plan efectivo de mantenimiento que tiene como propósito

- Identificar el incremento del envejecimiento del aislamiento en un transformador, motor y cable.
- Identificar las causas de este envejecimiento
- Proponer las acciones más adecuadas para corregir esta situación

Las pruebas eléctricas son el diagnóstico complementario y necesario para determinar en qué condiciones se encuentra la unidad.

Se deben desarrollar las pruebas necesarias para establecer un criterio de las condiciones del transformador, motor o cable y su aislamiento.

Pruebas al aceite:

- Rigidez dieléctrica

Pruebas eléctricas:

- Relación de transformación
- Resistencia de aislamiento (Puntual, DAR, IP)
- Resistencia a los bobinados.
- Corto circuito
- Vacío

- Hi-pot
- Analizador de motores
- Medición de puestas a tierra

Con estos ensayos los fabricantes necesitan demostrar que cumplen las exigencias de los clientes, los usuarios desean verificar que los equipos cumplan las exigencias, especificaciones técnicas de los equipos.

Cumpliendo con normas y regulaciones nacionales, internacionales o particulares y con los procedimientos, exigencias, criterios, mediciones y recomendaciones para llevar a cabo las pruebas.

2.2 APLICACIÓN DE NORMAS TÉCNICAS NTE INEN, IEEE, ASTM.

INEN, IEEE, ASTM, en concordancia con su rol regulatorio y normativo, destina esfuerzos a desarrollar políticas y estrategias que permitan obtener los beneficios económicos, tecnológicos y ambientales de un uso eficiente de la energía.

Con este propósito se encuentra trabajando coordinadamente con distintas instituciones, para desarrollar instrumentos normativos destinados a promover la eficiencia energética.

En estas normas, se definen un método de medición para obtener parámetros que resultan fundamentales para entregar una adecuada información al consumidor o empresa que necesite esta información.

2.3 CERTIFICACIÓN CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Como apoyo a la labor de medición los equipos del laboratorio de Alto Voltaje fueron trasladados al Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre en la ciudad de Quito, donde existen patrones de calibración y confirmación metrológica de los equipos del laboratorio a ser usados en el campo de prueba.

Los certificados de calibración vigente desde junio del 2009 hasta junio del 2010 expedidos por el Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre es de acuerdo a requerimientos de la norma NTE INEN ISO / IEC 17025; se muestran en el ANEXO 2.

2.4 GUÍAS DE PRÁCTICA PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

2.4.1 OBJETIVO

El objetivo de las presentes “Guías de Práctica para el Laboratorio de Alto Voltaje”, es estandarizar los criterios y procedimientos para llevar a cabo los ensayos de diagnóstico de los transformadores de distribución, motores, cables y puestas a tierra.

2.4.2 ALCANCE

Esta Guía propone las recomendaciones técnicas para los ensayos, especificando el método a utilizar basados en las Normas NTE INEN, IEEE, ASTM asimismo brinda la interpretación de los ensayos.

2.4.3 PROCESOS PARA EL LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE

Es importante establecer los pasos a seguir para cualquier actividad en el laboratorio estos están detallados en el ANEXO 1.



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 1

2.5 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS

Trabajo preparatorio:

¿Para qué sirve la prueba de resistencia de devanados?

¿Porque se debe realizar la prueba con una temperatura de referencia?

¿Cuáles son los principales métodos utilizados para realizar esta prueba?

¿Cuál es la ventaja de utilizar el puente de Kelvin para medir resistencia de devanados?

2.5.1 TEMA

Medición de la resistencia óhmica de los devanados.

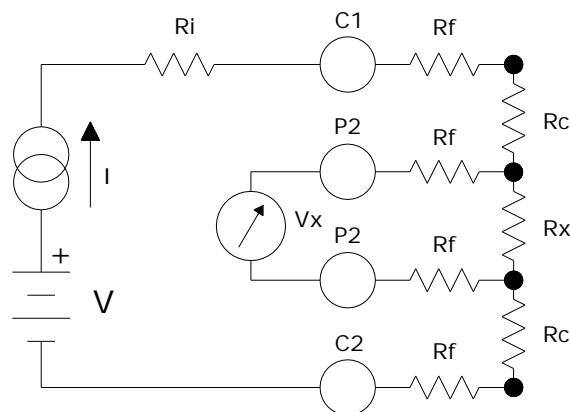
2.5.2 OBJETIVO

Medir la resistencia de los devanados en transformadores y motores.

2.5.3 FUNDAMENTO TEÓRICO:

Esta medición calcula las pérdidas por el efecto Joule (RI^2). Se realiza por temperatura para obtener por comparación de resistencias el calentamiento de los devanados. Con su aplicación se detectan los falsos contactos y espiras en corto circuito al compararse con los datos anteriores en caso de no tenerlos considerarlos como iniciales.

El Microhmetro genera una corriente (I) de la fuente de tensión interna (V). Un voltímetro mide la caída de tensión V_x del puente de Kelvin en los puntos de contacto a la resistencia a medir (R_x) y muestra la medición de la resistencia (R_x) directamente a través de la fórmula $R_x = V_x/I$. El resultado no se ve afectado por las otras resistencias encontradas en el circuito de corriente (R_i , R_f , R_c), mientras la caída de tensión total inducida a través de R_x sigue siendo inferior a la tensión suministrada por la fuente que está entre 5 a 6V. El máximo nivel de resistencia admisible de enlace es $R_f = (V-V_x)/I$. El uso del puente de Kelvin ayuda, ya que eliminan el efecto de la resistencia de los cables (R_f).



R_i = Resistencia interna de la unidad.

R_c = Resistencia de contacto.

R_f = Resistencia de enlace.

R_x = resistencia a ser medida.

Figura 2.1 Diagrama del sistema de medición del Microhmetro.

2.5.3.1 Prueba de CD para determinar la resistencia del estator

Se aplica voltaje de CD a los devanados del estator de un motor de inducción. Puesto que la corriente es de CD, no hay voltaje inducido en el circuito del rotor y no hay flujo de corriente resultante en el rotor. Además, la reactancia del motor es cero con corriente directa. Por lo tanto, la única cantidad que limita el flujo de corriente en el motor es la resistencia del estator y de esta manera se puede calcular esta resistencia.

En la figura 2.2 se observa el circuito básico para la prueba de CD. Esta figura muestra una fuente de potencia de CD conectada a dos de los tres terminales de un motor de inducción conectado en Y. para realizar esta prueba, se ajusta la corriente en los devanados del estator a su valor nominal y se mide el voltaje entre los terminales. Se ajusta la corriente en los devanados del estator a su valor nominal en un intento por calentar los devanados a la misma temperatura que tendrán durante la operación normal (la resistencia del devanado está en función de la temperatura).

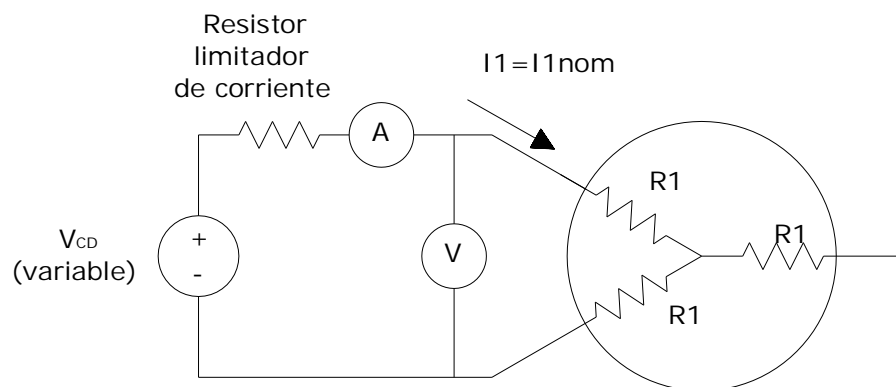


Figura 2.2 Circuito básico para la prueba de CD de resistencia.

2.5.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

NTE INEN 2110:1998 Transformadores. Definiciones.

NTE INEN 2118:98 Transformadores. Medida de la Resistencia de los Devanados.

NTE INEN 2119:1998 Transformadores. Prueba de calentamiento para transformadores sumergidos en aceite con elevación de 65°C de temperatura en los devanados. ANEXO 5

2.5.5 NORMAS DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4.

2.5.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Micro-ohmmeter, Model 6250, marca AEMC
- Transformador (monofásico o trifásico).

2.5.7 PROCEDIMIENTO

2.5.7.1 Preparación del equipo

- a. El transformador a ensayar debe estar totalmente desenergizado y aislado del sistema.

- b. Se debe tener un equilibrio térmico entre el aceite y el bobinado, es necesario que el equipo se mantenga desenergizado mínimo 8 horas antes de realizar la medición.
- c. El área donde se va a ensayar debe estar libre de objetos y el transformador ubicado en el suelo.
- d. Registrar los datos de la placa de características en el Protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- e. Registrar la temperatura ambiente.

- **Transformadores tipo seco**

La temperatura registrada debe ser la lectura promedio de varios termómetros (por lo menos tres) colocados sobre la superficie del devanado.

La resistencia y temperatura del devanado se deben medir simultáneamente. La temperatura del devanado, cuando sea determinada con termómetro, debe ser aproximadamente la del medio ambiente.

- **Transformadores tipo sumergido en aceite**

La temperatura del aceite se registra y la temperatura del devanado se considera igual a la temperatura promedio.

- **Determinación de la elevación de temperatura del aceite**

La temperatura promedio del aceite debe ser tomada como la temperatura en la parte superior del aceite menos la mitad de la diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior de la superficie refrigerante.

$$T_{ma} = T_{sup} - \left(\frac{\quad}{\quad} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

T_{ma} = Temperatura promedio del aceite

T_{sup} = Temperatura del aceite en la parte superior del transformador.

T_{sr} = Temperatura superior de la superficie refrigerante.

T_{ir} = Temperatura inferior de la superficie refrigerante.

La elevación promedio del aceite se da como la diferencia entre la temperatura promedio del aceite y la temperatura ambiente.

$$\Delta T_{ma} = T_{ma} - T_a \quad (2.2)$$

Donde:

ΔT_{ma} = Elevación promedio del aceite.

T_{ma} = Temperatura promedio del aceite.

T_a = Temperatura ambiente.

- f. Debido a la variación de la resistencia óhmica con la temperatura, los valores medidos deben ser referidos a una misma temperatura para efecto de comparación, la temperatura de referencia debe estar de acuerdo con la clase térmica del transformador mostrada a continuación:

Clase térmica del aislamiento	Calentamiento ° C	Temperatura de referencia ° C
A	60	85
A ₀	65	
E	75	
B	80	
F	100	115
H	125	
	150	

Ref. NTE INEN 2 110:98

Tabla 2.1 Temperatura de Referencia

- g. Ingresar el valor de la temperatura de referencia en el equipo dependiendo de la clase de aislamiento del transformador.
- h. Ingresar el coeficiente de temperatura del metal seleccionado.

Material	Elemento/Aleación	“alpha” X10 ³ por °C
Aluminio	Elemento	4.030
Cobre	Elemento	3.930
Níquel	Elemento	5.866
Hierro	Elemento	5.671
Molibdeno	Elemento	4.579
Tungsteno	Elemento	4.403
Plata	Elemento	3.819
Platino	Elemento	3.729
Oro	Elemento	3.715
Zinc	Elemento	0.847
Acero	Aleación	3.000
Nichrome	Aleación	0.170
Nichrome V	Aleación	0.130

Ref. AEMC INSTRUMENTS, User Manual, Microhmetro, Modelo 6250.

Tabla 2.2 Valores de alpha para diferentes metales.

2.5.7.2 Descripción de la práctica para medir la resistencia de devanados en transformadores.

- a. Limpie todas las superficies de las borneras del transformador antes de conectar el equipo de medida.
 - b. Verifique que exista una sólida conexión entre el equipo de medida y los terminales del transformador a medir.
 - c. Ejecute el ensayo de acuerdo al tipo de conexión de cada bobinado.
- **Bobinado monofásico de un bushing.-** Realice la conexión y medición de acuerdo a la siguiente tabla :

Conexión del instrumento entre
H1 - N
X1 – X2
X2 – X3
X1 – X3

Tabla 2.3 Conexión para bobinado monofásico de un bushing.

- **Bobinado monofásico de doble bushing.-** Realice la conexión y medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Conexión del instrumento entre
H1 - H2
X1 - X2
X2 - X3
X1 - X3

Tabla 2.4 Conexión para bobinado monofásico de doble bushing.

- **Bobinado trifásico estrella- estrella con neutros.-** Realice la conexión y medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Conexión del instrumento entre
H0 - H1
H0 - H2
H0 - H3
H1 - H2
H2 - H3
H3 - H1
X0 - X1
X0 - X2
X0 - X3
X1 - X2
X2 - X3
X3 - X1

Tabla 2.5 Conexión para bobinado trifásico en estrella con neutro.

- **Bobinado trifásico estrella- estrella sin neutro en el primario.-** Realice la conexión y medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Conexión del instrumento entre
H1 - H2
H2 - H3
H3 - H1
X0 - X1
X0 - X2
X0 - X3
X1 - X2
X2 - X3
X3 - X1

Tabla 2.6 Conexión para bobinado trifásico en estrella sin neutro en el primario

- **Bobinado trifásico conectado en delta-delta.-** Realice la conexión y medición de acuerdo a la siguiente tabla.

Conexión del instrumento entre
H1 - H2
H2 - H3
H3 - H1
X1 - X2
X2 - X3
X3 - X1

Tabla 2.7 Conexión para bobinado trifásico en delta-delta.

- Ajuste el interruptor selector de rango para el rango deseado para la prueba. Si la resistencia prevista no se conoce, comience con el rango más alto (2500Ω) y sucesivamente baje el selector de rango hasta encontrar una resolución adecuada.
 - Presione el botón STAR/STOP para iniciar la medición.
 - Registrar los valores de la medición en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
 - Apagar el equipo y limpiarlo.
- 2.5.7.3 Descripción de la práctica para medir resistencia de los devanados en un motor de inducción trifásico.**

- Registrar los datos del motor en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3.
- Realice la conexión y mida las resistencias óhmicas de los devanados de acuerdo al tipo de conexión de cada bobinado como indican las figuras 2.3 y 2.4.

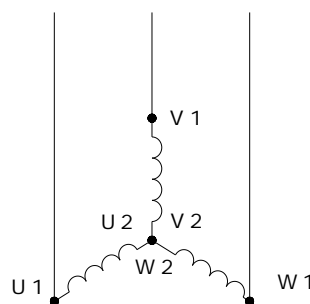


Figura 2.3 Conexión en estrella, la resistencia por fase será $\frac{1}{2}$ de la medida entre los terminales.

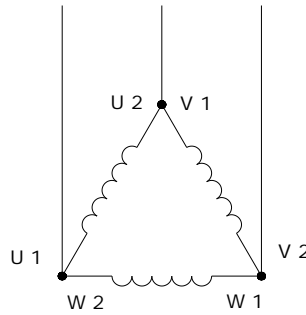


Figura 2.4 Conexión en delta, la resistencia por fase será 3/2 de la medida entre los terminales.

- c. Presione el botón STAR/STOP para iniciar la medición.
- d. Registrar los valores de la medición en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3.
- e. Apagar el equipo y limpiarlo.

2.5.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La medición obtenida para todas las fases no debe diferir entre sí más del 2%. Realice el cálculo para determinar la desviación de medida entre fases.¹

El equipo de medida realiza la compensación de temperatura automáticamente, la resistencia óhmica medida a la temperatura ambiente (T_{amb}) y referida a una temperatura de referencia (T_{ref}) es calculada por la siguiente fórmula:

$$R(T_{ref}) = \frac{(\quad) * (\quad * \quad)}{(\quad * \quad)} \quad (2.3)$$

Donde:

$R(T_{ref})$ = Resistencia referida a una temperatura T.

$R(T_{amb})$ = Valor de la resistencia medida a la temperatura ambiente.

T_{amb} = Temperatura medida por la Pt100 o programada por el operador.

T_{ref} = Temperatura de referencia programada a la cual la medición es compensada.

Alpha = coeficiente de temperatura del metal seleccionado

¹ Referencia Enríquez Harper

2.5.9 CUESTIONARIO

¿Con los resultados obtenidos, como se encuentra la resistencia de los devanados?

¿Cuál es la causa que un devanado de fase tenga menor resistencia?

¿Cuál es la causa que un devanado de fase tenga alta resistencia o resistencia infinita?

¿Porque la temperatura es un factor importante en esta prueba?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 2

2.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Trabajo preparatorio:

¿Qué es la resistencia de aislamiento en un transformador?

¿Para qué sirve la prueba de resistencia de aislamiento?

¿Cuáles son las resistencias de aislamiento a determinar en un transformador?

¿Qué es el DAR y el IP?

2.6.1 TEMA

Prueba de Resistencia de Aislamiento (MEGGER)

2.6.2 OBJETIVO

Medir la resistencia de aislamiento entre bobinados y bobinados individuales a tierra de un transformador.

2.6.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

La medición de la resistencia de aislamiento sirve para tener una idea del estado que se encuentra los aislamientos, y con base en esto, decidir si están en condiciones de soportar los esfuerzos dieléctricos que se originan al aplicar tensiones en prueba o trabajo.

La medición de la resistencia de aislamiento se efectúa por lo general con un aparato denominado Megger, que consta básicamente de una fuente de corriente directa y un indicador en megohms. La capacidad de la fuente de c.d generalmente es baja, ya que la finalidad es ver el estado en que se encuentran un aislamiento; es decir esta es una prueba indicativa no destructiva de tal forma que si un aislamiento esta débil no lo agrave.

Las resistencias de aislamiento a determinar es un transformador, son la resistencia que presenta devanados con respecto a otro y la que presenta un devanado con respecto al núcleo y con respecto al tanque; es decir las lecturas de resistencia de aislamiento que se deben tomar son:

A.T. contra B.T

A.T contra B.T mas tanque a tierra.

A.T mas tanque tierra contra B.T

Con la finalidad de incrementar la exactitud del estado de prueba de los aislamientos de un transformador, y en el caso de que no sea suficiente con la prueba de resistencia de aislamiento se recomienda la prueba de índice de absorción y del índice de polarización.

Índice de absorción es el cociente entre las lecturas de un minuto y 30 segundos.

Índice de polarización es el cociente entre las lecturas de 10 minutos y 1 minuto.

2.6.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

NTE INEN 2110:1998 Transformadores. Definiciones.

NTE 2127:1998 Transformadores. Niveles de aislamiento

ANEXO 5

2.6.5 NORMATIVA DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromee cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4.

2.6.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Megohmmeter 5000V, Model 5070, marca AEMC
- Transformador (monofásico o trifásico).

2.6.7 PROCEDIMIENTO

2.6.7.1 Preparación del equipo

- a. El transformador a meggar debe estar totalmente desenergizado y aislado del sistema.
- b. El área donde se va a ensayar debe estar libre de objetos y el transformador ubicado en el suelo.
- c. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- d. Se debe tener un equilibrio térmico entre el aceite y el bobinado es necesario que el equipo se mantenga desenergizado de 3 a 8 horas.
- e. Registrar la temperatura interna del equipo, temperatura ambiente y la humedad relativa del aire. El ensayo deberá realizarse en condiciones atmosféricas favorables tales como: temperatura ambiente entre 20 ° y 35 °, humedad relativa del aire inferior a 70%. Las lecturas a diferentes temperaturas deben ser corregidas a 20 ° C, la ecuación que permite realizar esta corrección se indica en Análisis de resultados.
- f. En transformadores monofásicos desconectar el Neutro.
- g. Cortocircuitar los terminales de cada bobinado.
- h. Verificar el estado de las borneras para la sujeción de las pinzas; limpiarlas si es necesario.

2.6.7.2 Descripción de la práctica

- a. Conectar el equipo de medida (MEGAOHMMETRO) al transformador, los circuitos de conexión son los siguientes:

Transformador con un bushing.

TRANSFORMADOR BAJO ENSAYO

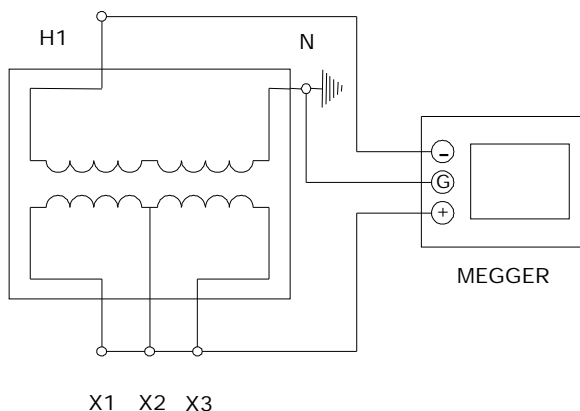


Figura 2.5 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.

TRANSFORMADOR BAJO ENSAYO

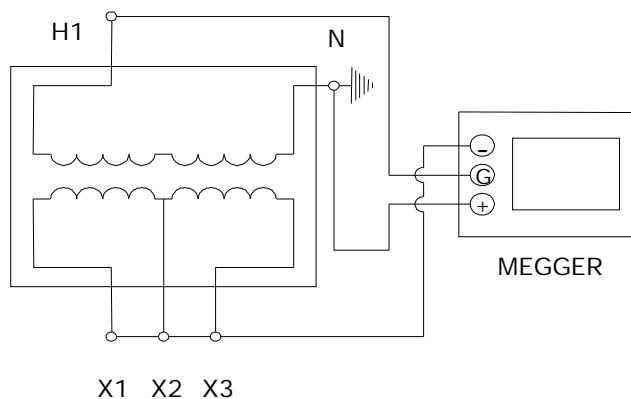


Figura 2.6 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque.

Aplicar V_{DC} entre:

Puntas de prueba	Negativo	Positivo	Voltios aplicar (V)
Bobinados	A.T	B.T	5000
	B.T	TIERRA	1000

Transformador monofásico con doble bushing

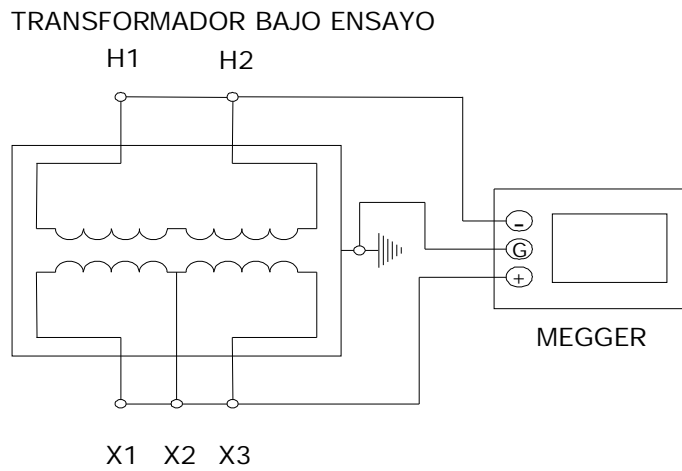


Figura 2.7 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.

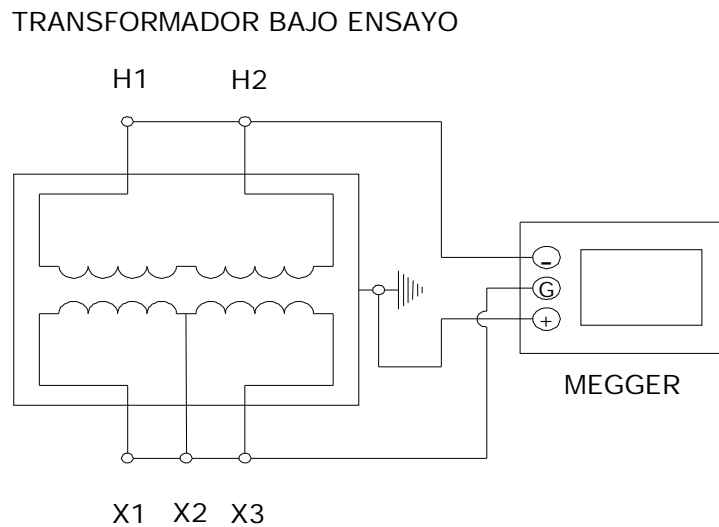


Figura 2.8 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Tanque

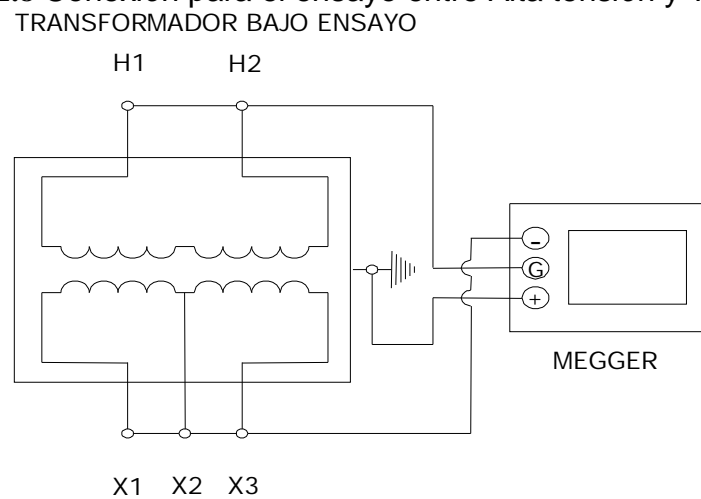


Figura 2.9 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque

Aplicar V_{DC} entre:

Puntas de prueba	Negativo	Positivo	Voltios aplicar (V)
	A.T.	B.T.	5000
Bobinados	A.T.	TANQUE	5000
	B.T.	TANQUE	1000

Transformador trifásico.

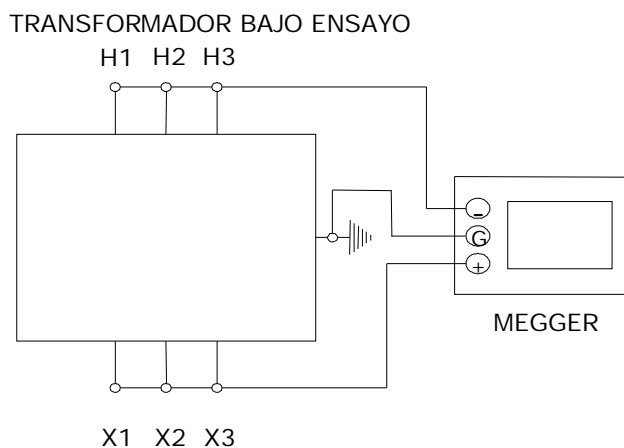


Figura 2.10 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Baja tensión.

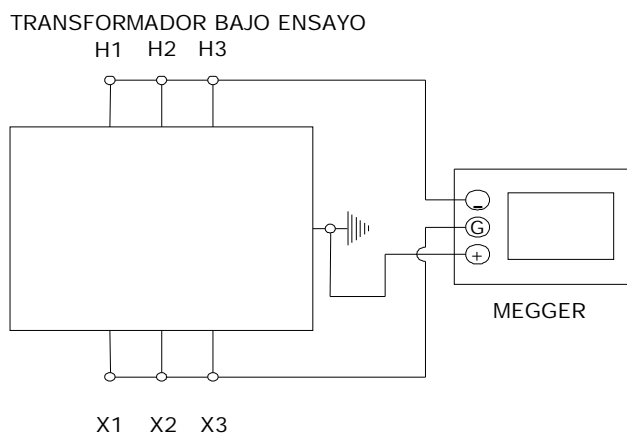


Figura 2.11 Conexión para el ensayo entre Alta tensión y Tanque.

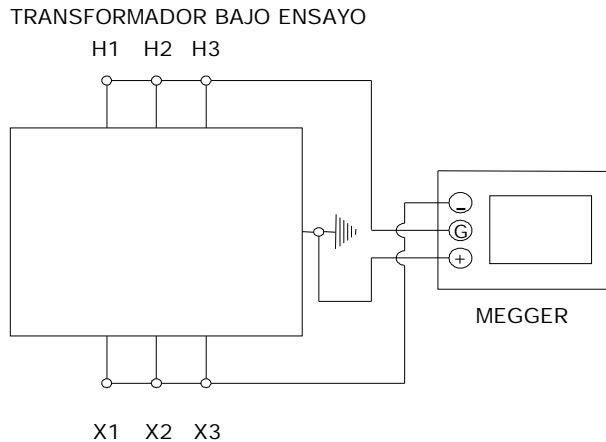


Figura 2.12 Conexión para el ensayo entre Baja tensión y Tanque.
Aplicar V_{DC} entre:

Puntas de prueba	Negativo	Positivo	Voltios aplicar
	A.T.	B.T.	5000
Bobinados	A.T.	TANQUE	5000
	B.T.	TANQUE	1000

- b. Colocar el voltaje de prueba por un periodo de 10 minutos en el equipo.
- c. Tomar las lecturas de resistencia de aislamiento, a 30 segundos ,1 minuto y 10 minutos.
- d. Luego que la prueba sea completada, todos los terminales deben ser aterrizados por un periodo de tiempo de 3 segundos como mínimo para descargar cualquier energía almacenada en los bobinados.
- e. Registrar los resultados en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.

2.6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Las lecturas a diferentes temperaturas, deben ser corregidas a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Realice la corrección de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$= 10 \cdot (\quad) \times M_o \quad (2.4)$$

Donde:

Mf= medida final corregida a la temperatura final $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

0.03= constante promedio del coeficiente de temperatura de resistencia de aislamiento para transformadores sumergidos en aceite clase A.

To= temperatura de prueba.

Tf= temperatura final a ser reflejada la lectura (20 ° C).

Mo= medida inicial a temperatura inicial de prueba.

- **Resistencia de aislamiento**

Un valor mayor a 2000 megahomios debe ser obtenido al cabo de 1 minuto de lectura para considerar un aislamiento aceptable².

- **Índice de polarización (IP)**

Realizar el cálculo del índice de polarización (*ip*), utilizando la siguiente ecuación:

$$= \frac{\text{Resistencia aislamiento a 10 min}}{\text{Resistencia aislamiento a 1 min}} \quad (2.5)$$

Evaluar el índice de polarización para la aceptación, según los siguientes parámetros:

Índice	Condición
< 1	Peligroso
1 a 1.10	Pobre
1.11 a 1.25	Cuestionable
1.26 a 2.0	Aceptable
> 2	Bueno

- **Relación de absorción dieléctrica (DAR)**

Realizar el cálculo del DAR, utilizando la siguiente ecuación:

$$= \frac{\text{Resistencia aislamiento a 1 min}}{\text{Resistencia aislamiento a 30 s}} \quad (2.6)$$

Evaluar el DAR para la aceptación, según los siguientes parámetros:

Índice	Condición
< 1	Peligroso
1 a 1.25	Bueno
1.4 a 1.6	Excelente

² Referencia Enríquez Harper

2.6.9 CUESTIONARIO

¿Cuál es el estado del aislante?

¿Cuáles son las causas que deterioran el aislamiento en un transformador?

¿Cómo se puede mejorar la resistencia de aislamiento en un transformador?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 3

2.7 DETERMINACIÓN DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

Trabajo preparatorio:

¿Qué es y cuál es la función del aceite dieléctrico?

¿Que determina la prueba de rigidez dieléctrica en el aceite?

¿Cuáles son las precauciones que se debe seguir para tomar una muestra de aceite dieléctrico?

¿Qué elementos constituyen el probador de rigidez dieléctrica del aceite?

2.7.1 TEMA

Prueba de Rigidez Dieléctrica

2.7.2 OBJETIVO

Determinar la rigidez dieléctrica del aceite.

2.7.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.7.3.1 Aceite Dieléctrico

El aceite es una mezcla adecuada de hidrocarburos isoparafínicos, nafténicos y aromáticos con moléculas entre 16 y 22 átomos de carbono; el aceite cumple tres funciones básicas de refrigerante, aislante eléctrico y protector de las partes internas del transformador teniendo a la vez una buena estabilidad a la oxidación y una aceptable tendencia a la gasificación.

2.7.3.2 Vida útil de un aceite aislante

Se define como el tiempo durante el cual el aceite alcanza un número de neutralizaciones de 3,0 mg KOH/g dependiendo de la cantidad de aire disuelto en el aceite la hidrólisis del agua presente en el equipo la descomposición de la celulosa y de una manera significativa.

2.7.3.3 Rigidez dieléctrica

La prueba para el aceite se realiza aplicando progresivamente tensión a dos electrodos de bronce de geometría y separación según la norma que se esté aplicando sumergido en el aceite a probar. La tensión se aplica en una rampa específica para cada tipo de norma. La rigidez es útil para el indicio de la presencia de agua, impurezas, fibras celulósicas, y es importante como concepto de seguridad de operación actual del equipo.

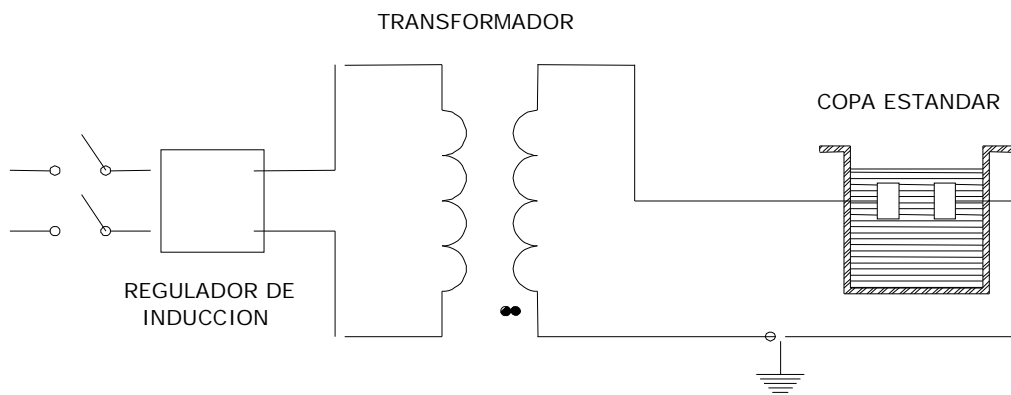


Figura 2.13 Diagrama explicativo para el ensayo de rigidez dieléctrica del aceite

2.7.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

NTE INEN 2133:98 Transformadores. Aceites Aislantes Para Transformadores e interruptores. Requisitos.

ASTM D-1816 Prueba de voltaje de ruptura de aceite dieléctrico de origen de petróleo usando electrodos tipo hongo.

ASTM D-877 Prueba de voltaje de ruptura para líquidos aislantes usando electrodos tipo disco.

ANEXO 5

2.7.5 NORMATIVA DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes de látex, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.

- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4

2.7.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Medidor Rigidez Dieléctrica, Model DS14-2584 marca Hipotronics
- Muestra de aceite dieléctrico.

2.7.7 PROCEDIMIENTO

2.7.7.1 Preparación de la muestra.

- a. Se extraerá 1 litro de aceite.
- b. Registrar los datos del aceite en el protocolo de ensayos del transformador ANEXO 3.
- c. Se debe tener en cuentas las siguientes precauciones cuando se realice la extracción de muestras para la realización de los ensayos:
 - Para evitar la contaminación de la muestra, se debe tener el máximo cuidado con impurezas externas, tales como polvo y humedad.
 - Las manos del operario no deben entrar en contacto con la muestra.
 - Debe tenerse especial cuidado cuando se tomen muestras de aceite que se encuentren a temperatura ambiente, para evitar contaminación por condensación.
 - No se debe tomar una muestra cuando las condiciones de humedad ambiental sean mayores a un 75%.
 - Los recipientes que contengan la muestra deben ser herméticamente cerrados y guardados, y los ensayos no deben llevarse a cabo sobre la muestra mientras su temperatura no sea por lo menos igual a la temperatura ambiente.
 - Únicamente deben utilizarse recipientes de vidrio para tomar las muestras, y preferiblemente con tapones de vidrio. Pueden utilizarse tapas o corchos, pero recubiertos con papel de estaño o aluminio. En ningún caso podrán utilizarse tapones de caucho.
 - No deben utilizarse estopas de algodón ni materiales fibrosos para limpiar los envases o aparatos.
 - Cuando sea necesario extraer una muestra del fondo, el recipiente que contenga el aceite (tambor o tanque) debe permanecer en reposo en el

sitio de muestreo, por lo menos durante 8 horas, pero preferiblemente 24 horas, antes extraerse la muestra.

- El recipiente para la toma de muestra debe enjuagarse con parte del producto por analizar y desocuparse completamente antes de llenarlo con la muestra definitiva.
- Antes de que el tambor o tanque que contenga el aceite, vaya a ser abierto, deben limpiarse su tapa y sus alrededores, para evitar el polvo y la humedad.
- Las muestras que se tomen para determinar los requisitos de estabilidad con respecto a la oxidación, azufre corrosivo y tangente del ángulo de perdidas, deben ser protegidos de la luz en frascos de color ámbar.
- En el caso de los aceites a granel, la muestra se debe tomar luego de que ha dejado correr por la válvula de salida del aceite, una cantidad aproximada de 10 litros.

2.7.7.2 Preparación del equipo

- Escoger la cuba de pruebas con el tipo de electrodos adecuado, semiesférico para el método ASTM D-1816 y tipo disco para el método ASTM D-877; verificar la separación de los electrodos de la cuba de prueba tabla 2.8.

Norma	ASTM D-877	ASTM D-1816
Geometría de los electrodos	DISCOS 25 mm	SEMIESFÉRICOS 36 mm
Separación	2,5 mm	1mm
Rampa	3000 V/s	500 V/s
Alcance en KV	Por debajo de 69 KV	35-50 KV
Sensibilidad a la humedad	En el rango de 30 a 80 PPM o agua libre	Por debajo de 30 PPM
Aplicación recomendada según ASTM	Aceptación aceite nuevo a granel o en tambores	Aceites filtrados, desgasificado y deshidratados antes y después de tratamiento aceites en operación
Sensibilidad a fibras de celulosa	Menos sensible	Mas sensible

Tabla 2.8 Rigidez dieléctrica – NORMA ASTM

- Asegúrese que estén completos todos los datos de donde se va a obtener la muestra de aceite.

2.7.7.3 Descripción de la práctica

- a. Registra la temperatura del ambiente.
- b. Enjuagar la cuba y tapa de pruebas con el aceite a ser probado varias veces, antes de la obtención de la muestra.
- c. Llenar la cuba lentamente hasta un nivel de 4/5 de su capacidad, verificando que cubra el aceite totalmente a los electrodos.
- d. Observar que la muestra no contenga materiales extraños y/o contaminantes sólidos.
- e. Ubicar la cuba correctamente en el Espinterómetro.
- f. Tapar la cuba de tal manera que la muestra no tenga contacto con la intemperie.
- g. La muestra debe reposar en el equipo por lo menos 3 minutos y no más de 5 minutos entre el llenado y la aplicación del voltaje para la primera ruptura y por lo menos un intervalo de 1 minuto antes de la aplicación de voltaje para las siguientes rupturas.
- h. Encender el equipo, una vez que se presiona el botón “star” el voltaje de prueba se aplica hasta la ruptura y se enciende el indicador rojo de “failure”.
- i. Realice 6 rupturas en la muestra y registrar los resultados en el protocolo de ensayo del transformado ANEXO 3.
- j. Calcule el valor promedio de las 5 rupturas.
- k. Apagar el equipo y limpiarlo.

2.7.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ya obtenido el promedio comparamos con la tabla 2.9 y determinamos el estado del aceite:

Método de prueba ASTM	Criterios para evaluar condiciones de aceite en operación
Rigidez dieléctrica	ACEPTABLE ≥ 30 KV
D-877	CUESTIONABLE ENTRE 25 – 29 KV
D-1816	INACEPTABLE < 25

Tabla 2.9 Criterios para evaluar condiciones de aceite.

2.7.9 CUESTIONARIO

¿Cuál es el estado del aceite dieléctrico?

¿Que determina el voltaje de ruptura dieléctrica?

¿La prueba de rigidez dieléctrica por si sola da un diagnostico definitivo del estado del aceite?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 4

2.8 MEDICIÓN DE TENSION DE CORTO CIRCUITO Y VACIO EN TRASFORMADORES MONOFÁSICOS.

Trabajo preparatorio:

¿Qué determina la prueba de cortocircuito?

¿Cómo se realiza la prueba de cortocircuito?

¿Qué determina la prueba de circuito abierto?

¿Cómo se realiza la prueba de circuito abierto?

2.8.1 TEMA

Medición de Cortocircuito y Vacio en transformadores monofásicos.

2.8.2 OBJETIVO:

Realizar la prueba de Cortocircuito y Vacio en un transformador monofásico.

2.8.3 FUNDAMENTO TEÓRICO:

2.8.3.1 Ensayo Cortocircuito

Esta se ha diseñado para determinar las resistencias del devanado y las reactancias de dispersión. La prueba se realizara estableciendo un cortocircuito a través de un devanado de excitación el otro con una fuente de voltaje alterno. El voltaje aplicado se ajusta con cuidado para que cada devanado conduzca una corriente especificada.

Puesto que el corto circuito restringe la potencia de salida a cero, la potencia de entrada al transformador es baja. La baja potencia de entrada con la corriente especificada implica que el voltaje aplicado es una fracción pequeña del voltaje especificado. La medición de corriente especificada indica que para mayor seguridad, la prueba debe realizarse en el lado de alto voltaje cortocircuitado el lado de bajo voltaje.

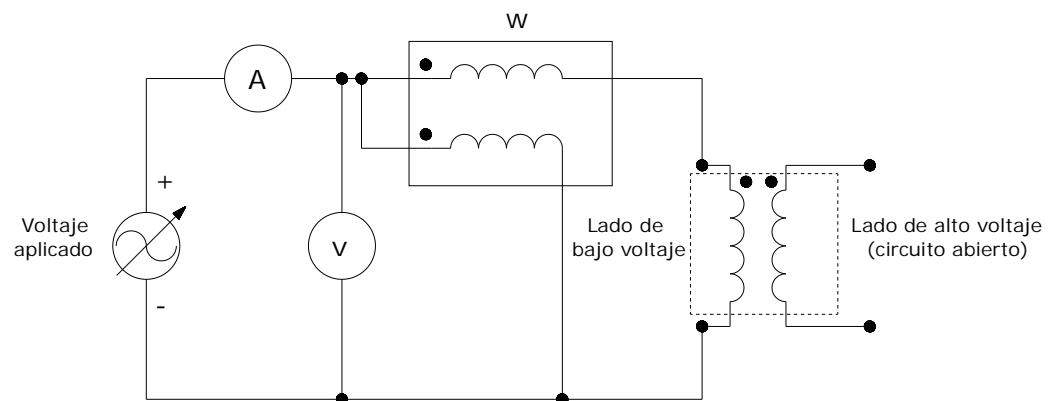


Figura 2.14 Esquema básico de conexión en la prueba de corto circuito.

Como el voltaje aplicado es una fracción pequeña del voltaje especificado tanto la corriente por pérdida en el núcleo como la corriente de magnetización son tan pequeñas que pueden despreciarse. La pérdida en el núcleo es prácticamente igual a cero y la reactancia de magnetización es casi infinita. El vatímetro registra la pérdida en el cobre a plena carga.

Registrar las lecturas del voltímetro, amperímetro y vatímetro, entonces:

$$= \text{---} \quad (2.7)$$

Es la resistencia total de los devanados referida al lado de alto voltaje. La magnitud de la impedancia referida al lado de alto voltaje es

$$= \text{---} \quad (2.8)$$

Por tanto la reactancia de dispersión total de los devanados referida al lado de alto voltaje es

$$h = \overline{h - h} \quad (2.9)$$

2.8.3.2 Prueba de circuito abierto

Se debe dejar abierto un devanado del transformador mientras el otro se excita aplicando el voltaje especificado. Es más seguro realizar en el lado de alto voltaje. Otra razón para realizar a este lado es por disponibilidad de fuentes de bajo voltaje en cualquier instalación para pruebas.

Un componente de la corriente de excitación es el responsable de la pérdida en el núcleo, en tanto que el otro responde por el establecimiento del flujo requerido en el núcleo magnético. A fin de medir estos valores con exactitud debe ajustarse con cuidado el voltaje de la fuente a su valor especificado. Como la única pérdida de potencia es la del núcleo, el vatímetro mide la pérdida del núcleo del transformador.

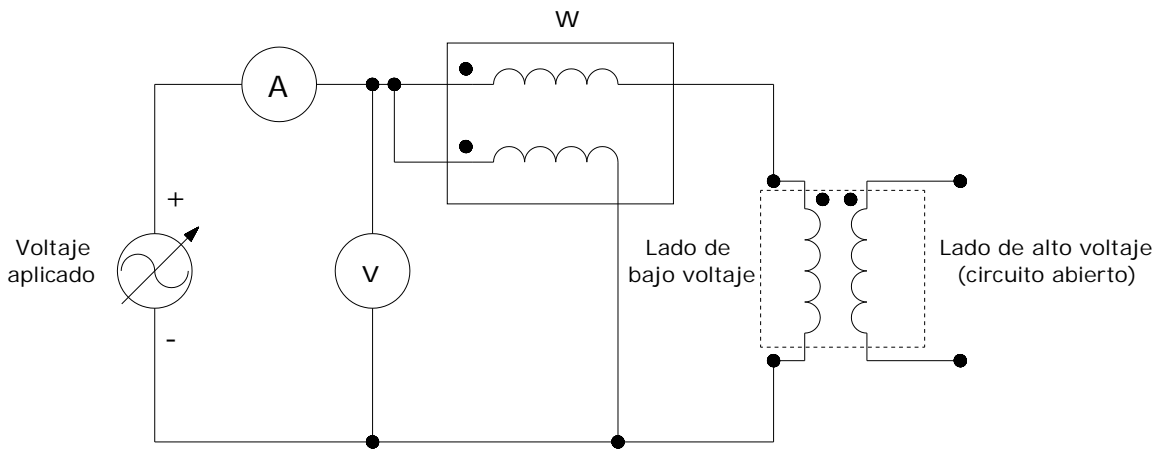


Figura 2.15 Esquema básico de conexión en la prueba de circuito abierto.

La componente de pérdida del núcleo de la corriente de excitación está en fase con el voltaje aplicado, mientras que la corriente de magnetización está en atraso de 90° respecto al voltaje aplicado. Si V es el voltaje especificado que se aplica al lado de bajo voltaje, I es la corriente de excitación tal cual la mide el amperímetro y P es la potencia que registra el vatímetro, entonces se tiene que la potencia aparente sin carga es

$$S_{oc} = V_{oc} I_{oc} \quad (2.10)$$

Las corrientes de pérdida en el núcleo y de magnetización son

$$I_w = I_{oc} \cos \phi \quad (2.11)$$

$$I_m = I_{oc} \sin \phi \quad (2.12)$$

Luego, la resistencia de la pérdida en el núcleo y la reactancia de magnetización observada desde el lado de bajo voltaje son

$$R_w = \frac{P}{I_w^2} = \frac{P}{I_{oc}^2 \cos^2 \phi} \quad (2.13)$$

$$X_m = \frac{V}{I_m} = \frac{V}{I_{oc} \sin \phi} \quad (2.14)$$

$$Z_w = \frac{V}{I_{oc}} = \sqrt{R_w^2 + X_m^2} \quad (2.15)$$

2.8.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

NTE INEN 2 110:98 Transformadores. Definiciones

NTE INEN 2 113:98 Transformadores. Determinación de Pérdidas y Corrientes sin carga.

NTE INEN 2114:2003 Transformadores de distribución Nuevos Monofásicos. Valores de corriente sin carga, Perdidas y voltaje de Cortocircuito.

NTE INEN 2 129:98 Transformadores. Determinación del Voltaje de Cortocircuito.

ANEXO 5

2.8.5 NORMATIVA DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.

- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio

ANEXO 4

2.8.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Fuente variable monofásica.
- Transformador monofásico.

2.8.7 PROCEDIMIENTO

2.8.7.1 Descripción de la práctica para prueba de cortocircuito

- a. El transformador a ensayar debe estar totalmente desenergizado y aislado del sistema.
- b. El área donde se va a ensayar debe estar libre de objetos y el transformador ubicado en el suelo.
- c. Se debe tener un equilibrio térmico entre el aceite y el bobinado es necesario que el equipo se mantenga desenergizado de 3 a 8 horas.
- d. Registrar los datos de la placa en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- e. Registre la temperatura ambiente.
- f. Las lecturas de corriente sin carga (I_0) , pérdidas totales (P_t), perdidas sin carga (P_0) y tensión de corto circuito (U_z) deben referirse a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ la ecuación que permite realizar esta corrección se indica en análisis de resultados.
- g. Desconectar el neutro en el lado de baja tensión.
- h. Cortocircuitar el lado de baja tensión.
- i. Conectar los terminales de alta tensión a la fuente como se muestra en la figura 2.16.

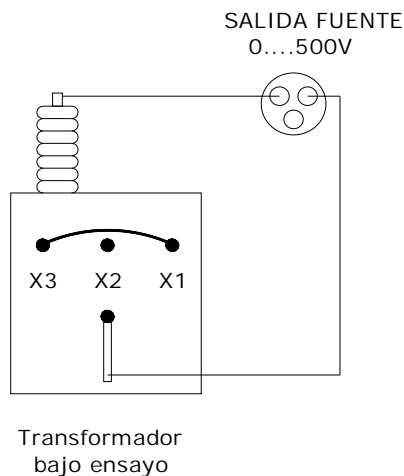


Figura 2.16 Conexión del transformador en corto circuito

- j. Aplicar al devanado primario una tensión a frecuencia nominal, la cual se ajusta para que circule corriente nominal por los devanados.
- k. Registrar los valores obtenidos en la fuente en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.

2.8.7.2 Descripción de la práctica para prueba de vacío.

- a. El transformador a ensayar debe estar totalmente desenergizado y aislado del sistema.
- b. El área donde se va a ensayar debe estar libre de objetos y el transformador ubicado en el suelo.
- c. Se debe tener un equilibrio térmico entre el aceite y el bobinado es necesario que el equipo se mantenga desenergizado de 3 a 8 horas.
- l. Registrar los datos de la placa en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- d. Registre la temperatura ambiente. Las variaciones ordinarias de temperatura no afectan sensiblemente las pérdidas sin carga y por tanto no es necesario hacer correcciones por esta razón.
- e. Desconectar el terminal a tierra en el lado de baja tensión.
- f. Conectar los terminales de baja tensión a la fuente como se muestra en la figura 2.17.

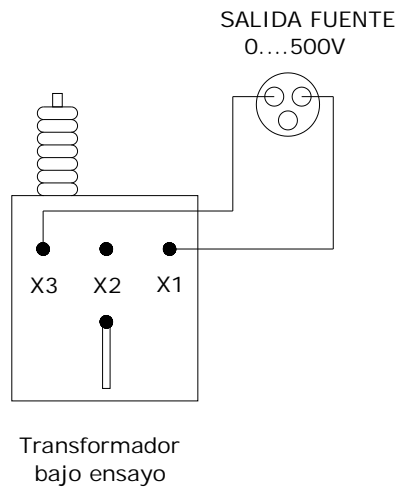


Figura 2.17 Conexión del transformador en circuito abierto.

- g.** Ajustar el voltaje de la fuente hasta el valor nominal del secundario.
- m.** Registrar los valores obtenidos en la fuente en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- h.** .

2.8.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Cuando se desea determinar P_z a una temperatura diferente de la de ensayo, las componentes se determinan así:

$$\dot{P}' = \frac{1 + \dot{P}'_s}{1 + \dot{P}'_r} \quad (2.16)$$

$$\dot{P}' = \frac{1 + \dot{P}'_s}{1 + \dot{P}'_r} \quad (2.17)$$

$$= \dot{P}'_s + \dot{P}'_r \quad (2.18)$$

Donde:

$P_{T'}$ = Pérdidas totales a la temperatura especificada T'

P_s = Pérdidas adicionales a la temperatura T .

P'_r = Pérdidas activas a la temperatura especificada T' .

P'_s = Pérdidas adicionales a la temperatura T' .

P_r = Pérdidas activas a la temperatura T .

T = Temperatura de ensayo en °C.

$T_1 = 234.5^\circ\text{C}$ para el cobre, 225°C para el aluminio

T' = Temperatura a la cual se desean determinar las pérdidas, en $^\circ\text{C}$.

Comparar los valores obtenidos en la práctica con las tablas 2.10 y 2.11.

Clase medio voltaje $\leq 25 \text{ kV}_{f-f}$ / clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}_{f-f}$ referido a 85°C

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_{zn} (%)
3	2,5	21	70	91	3,0
5	2,5	31	91	122	3,0
10	2,5	52	142	194	3,0
15	2,4	68	192	260	3,0
25	2,0	98	289	387	3,0
37,5	2,0	130	403	533	3,0
50	1,9	160	512	672	3,0
75	1,7	214	713	927	3,0
100	1,6	263	897	1 160	3,0
167	1,5	379	1 360	1 739	3,0

Ref. NTE INEN2 114:2003

Tabla 2.10 Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA

Clase medio voltaje $>25 \text{ kV}_{f-f}$ y $\leq 34,5 \text{ kV}_{f-f}$, clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}_{f-f}$ referido a 85°C

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (W)	P_c (W)	P_t (W)	U_z (%)
15	2,4	141	246	387	4,0
25	2,4	185	360	545	4,0
37,5	2,0	229	488	717	4,0
50	2,0	267	606	873	4,0
75	1,9	331	821	1 152	4,0
100	1,7	386	1 019	1 405	4,0
167	1,6	507	1 497	2 004	4,0
250	1,6	628	2 025	2 653	4,0
333	1,6	732	2 510	3 242	4,0

Referencia. NTE INEN2 114:2003

Tabla 2.11 Transformadores monofásicos de 15 a 333 Kva

El valor corregido de las pérdidas totales sin carga del transformador se puede determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$= \frac{\quad}{1 + \quad 2} \quad (2.19)$$

Donde:

P_o = Pérdidas totales sin carga al voltaje V_a corregidas para una onda sinusoidal.

P_m = Pérdidas sin carga medidas en el ensayo.

P_1 = Pérdidas por histéresis, por unidad, referidas a P_m

P_2 = Pérdidas por corrientes parásitas, por unidad, referidas a P_m .

$$= \text{---} \quad (2.20)$$

Donde:

V_r = Voltaje de ensayo medido con el voltímetro de valor eficaz.

V_a = Voltaje sinusoidal eficaz, medido con el voltímetro de un valor promedio.

Se debe utilizar el valor real de pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas, pero a falta de valores relativos, los que se indican en la tabla 2.12 se pueden tomar como típicos.

MATERIAL DEL NÚCLEO	PERDIDAS POR HISTÉRESIS $P_1(P_u)$	PERDIDAS POR CORRIENTES PARÁSITAS
Acero al Silicio laminado en caliente	0,8	0,2
Acero al Silicio no orientado y laminado en frío	0,5	0,5

Tabla 2.12 Valores reales de perdidas por histéresis

2.8.9 CUESTIONARIO

¿Que nos indica perdidas elevadas en la prueba de vacío?

¿Que nos indica perdidas elevadas en la prueba de cortocircuito?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 5

2.9 MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Trabajo preparatorio:

¿Qué es la relación de transformación?

Determine la conexión y relación de transformación para transformadores trifásicos en:

DELTA – DELTA

ESTRELLA- ESTRELLA

DELTA – ESTRELLA

ESTRELLA- DELTA

¿Qué es polaridad sustractiva?

¿Qué es polaridad aditiva?

2.9.1 TEMA

Prueba de Relación de Transformación y verificación de la polaridad.

2.9.2 OBJETIVO

Determinar la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el secundario de un transformador.

2.9.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

La determinación de la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el secundario, nos determina si la tensión suministrada puede ser transformada fielmente a la tensión deseada. Matemáticamente la relación de transformación de un transformador se puede expresar como:

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \quad (2.21)$$

Para determinar de antemano el acoplamiento de un transformador a otros transformadores por ello la medición exacta de la relación de transformación nos indicara la posibilidad de que se originen corrientes circulantes entre los transformadores que se conectan en paralelo.

El T.T.R opera bajo el conocido principio de que cuando dos transformadores tienen nominalmente la misma relación de transformación, se conectan y se excitan en paralelo. Con la más pequeña diferencia en la relación de algunos de ellos, se produce una corriente circulante relativamente grande entre ambos.

Este ensayo es de extrema importancia en la determinación de defectos existentes entre espiras y también durante operaciones o mantenimiento en conmutadores pues da la indicación del cierre de los contadores y la correspondiente relación de tensión. Las pruebas de polaridad sirven para verificar la conexión de un transformador.

2.9.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

NTE INEN 2 117:98 Transformadores. Relación de Transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular.

ANEXO 5

2.9.5 NORMATIVA DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4

2.9.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Medidor de relación de transformación, Tipo TTR 2795, marca TETTEX
- Transformador (monofásico o trifásico).

2.9.7 PROCEDIMIENTO

2.9.7.1 Preparación del equipo

- a. El transformador a ensayar debe estar totalmente desenergizado y aislado del sistema.

- b. El área donde se va a ensayar debe estar libre de objetos y el transformador ubicado en el suelo.
- n. Registrar los datos de la placa en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.
- c. Se debe tener un equilibrio térmico entre el aceite y el bobinado es necesario que el equipo se mantenga desenergizado de 3 a 8 horas.
- d. El ensayo debe realizarse de acuerdo al esquema de conexiones mostrado en la placa de características que identifica al transformador.
- e. Ingresar los datos del transformador al instrumento de medición como se indica a continuación:

HV configuración	Configuración del transformador en el lado de alta para transformadores trifásicos o si es monofásico poner SINGLE.
LV configuración	Configuración del transformador en el lado de baja tensión para trifásicos
Ph desplazamiento	Auto
Test Voltaje	Auto
HV Nominal voltaje	Voltaje del Tap Nominal en el lado de alta tensión
LV Nominal Voltaje	Voltaje del Tap Nominal en el lado de baja tensión
Total Taps	Número total de taps del transformador
Bot Tap Number	Numero de Tap en cual empieza
Nominal Tap Number	Tap nominal
Tap Setup	Seleccionar lado de alto o baja tensión
Max Deviation	0,5%
DUT Serial No	Numero serie del equipo a ensayar
DUT location	Lugar donde se realiza el ensayo
Operator	Nombre del operador

Tabla 2.12 Valores a ingresar en TTR

Descripción de la práctica:

- a) Se debe conectar los terminales del transformador:

MONOFÁSICO

Terminales del transformador		Conexión TTR	
ANSI, IEEE	IEC, VDE	H(Plugs verdes)	X(Plugs blancos)
H1	U	Café	
H0	N	Azul	
X1	u		Café
X0	n		Azul

TRIFÁSICO

Terminales del transformador		Conexión TTR	
ANSI, IEEE	IEC, VDE	H(Plugs verdes)	X(Plugs blancos)
H1	U	Café	
H2	V	Negro	
H3	W	Plomo	
H0	N	Azul	
X1	u		Café
X2	v		Negro
X3	w		Plomo
X0	n		Azul

- b) Si no hay conexión de neutro en el primario el plug H0 queda desconectado y se debe dejarlo aislado de otros puntos de conexión evitando contacto con el personal.
- c) Si no hay conexión de neutro en el secundario el plug X0 debe ser conectado en el plug X1.
- d) Verificar que las conexiones del instrumento estén bien fijadas a los terminales de los bobinados.
- e) El tiempo de prueba depende del transformador al cual estamos ensayando.
- f) Imprimir los resultados y registrar la medición en el protocolo de ensayo del transformador ANEXO 3.

2.9.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Obtenidos los resultados observamos que el equipo nos proporciona la relación entre espiras del primario y el secundario TR calcule la relación de transformación.

$$= \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} \quad (2.22)$$

En los transformadores monofásicos TR = VR.

$$= \frac{V_1}{V_2} \quad (2.23)$$

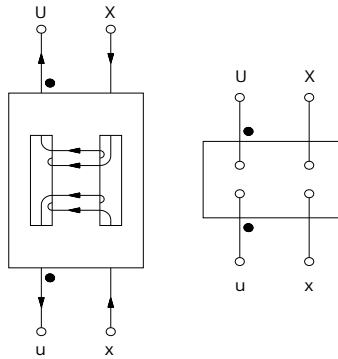
Para transformadores trifásicos el análisis debe realizarse de acuerdo al tipo de conexión mostrado en la placa de identificación del equipo bajo ensayo o sea entre pares de bobinados correspondientes.

El porcentaje de desviación debe estar entre el 0,5 %. Calcule el porcentaje de desviación.

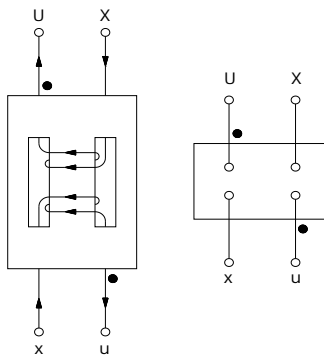
$$= \frac{\quad - \quad}{\quad} 100\% \quad (2.24)$$

Verificación de la Polaridad

Si V1 y V2 están en fase tiene polaridad sustractiva.



Si V1 y V2 están en desfasadas tiene polaridad aditiva.



2.9.9 CUESTIONARIO

¿Que nos indica la medida con una alta desviación en la relación de transformación?

¿Cuál es la utilidad de conocer la polaridad de un transformador?

¿Cuál es la función de los taps en un transformador?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 6

2.10 ENSAYO DC HI-POT PARA CABLES AISLADOS

Trabajo preparatorio:

¿Qué es la prueba dc hi-pot?

Mediante un grafico determine los componentes de un cable eléctrico aislado.

¿Cuál es la función de cada componente de un cable eléctrico aislado?

¿Cuál es la clasificación de los cables eléctricos aislados según su tipo de aislamiento?

2.10.1 TEMA

Ensayos de alto potencial (HI-POT)

2.10.2 OBJETIVO

Determinar el estado de aislamiento en cables y observar el efecto corona.

2.10.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.10.3.1 Ensayos hi-pot

Los ensayos hi-pot, o de alto potencial, son aplicados al aislamiento de los distintos equipos eléctricos con el fin de evaluar la condición de la aislación. Este tipo de pruebas son de carácter destructivo, vale decir, el aislamiento del equipo se considerará en buenas condiciones si no sufre ruptura con la aplicación de una prueba hi-pot. La metodología de este tipo de ensayos consiste en aplicar una tensión alterna o continua de magnitud superior al valor nominal de voltaje del equipo, en la aislación a tierra, durante un período de tiempo que, por lo general, varía entre 1 y 30 minutos, dependiendo del equipo eléctrico a probar.

2.10.3.2 Ensayo hi-pot con corriente continua.

El ensayo de alto potencial con corriente continua consiste en la aplicación de tensión continua al aislamiento de cables, transformadores, máquinas rotatorias y condensadores de potencia.

Cuando se efectúa la prueba de tensión de un cable a corriente continua, la corriente de carga del cable sufre un incremento momentáneo, en cada aumento de la tensión, debido a la carga del cable como condensador, I_c , y a las características de absorción del dieléctrico del cable, I_a . Ambas corrientes decaen, la capacitiva en pocos segundos y la de absorción con más lentitud quedando, por último, una corriente de fuga, I_r , que se suma a las corrientes de fuga de las superficies de los terminales o del efecto corona. Al cable de cierto tiempo, la corriente de fuga total, I_t , se estabiliza como indica la figura.

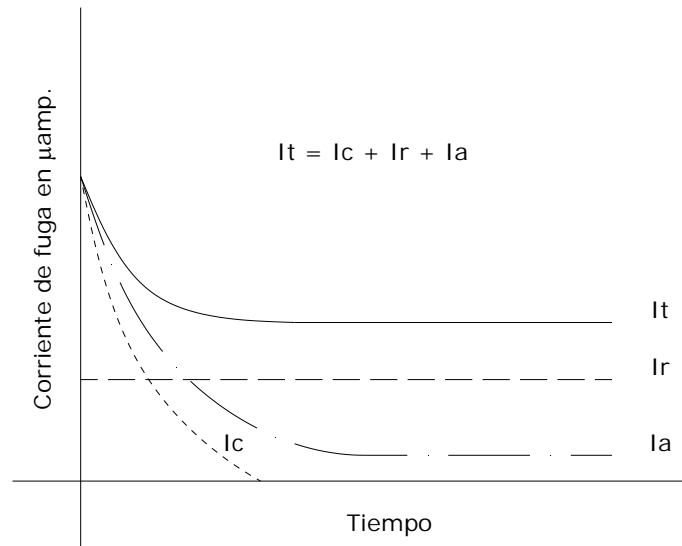


Figura 2.18 Variación de la corriente fuga con el tiempo.

La tensión se aplicará, durante cinco minutos, en los cables unipolares, entre el conductor y la cubierta metálica si la tuviera o entre el conductor medido y todos los demás unidos entre sí y puestos a tierra, en el caso de un cable enterrado. Está en estudio otro método de ensayo, mediante un detector de defectos, para los cables unipolares sin pantalla ni cualquier otro revestimiento metálico.

En los cables Multipolares, la tensión se aplicará, también, durante cinco minutos, entre conductor y pantalla o entre el conductor aislado sometido a ensayo y todos los demás unidos entre sí y a las cubiertas metálicas, si las hay, puestas a tierra.

Si, con la tensión constante, la corriente de fuga tiende a incrementarse, esto es un síntoma de que el aislamiento empieza a ceder en algún punto. Probablemente el proceso continuará hasta que el cable falle, a menos que se reduzca rápidamente la tensión aplicada.

2.10.4 NORMA DE REFERENCIA

UNE 21123 Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos.

ANEXO 5

2.10.5 NORMATIVA DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4

2.10.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Medidor de aislamiento en DC, Modelo 8000, marca Hipotronics.
- Muestra de cable de media tensión.
- Papel picado.

2.10.7 PROCEDIMIENTO

2.10.7.1 Descripción de la práctica para ver el efecto corona.

Preparación del equipo

- a. Energizar el sistema de la jaula de Faraday.
- b. El área donde se va a ensayar debe estar totalmente libre de objetos.
- c. Armar los módulos en la base en polaridad negativa como se muestra en la figura 2.19.

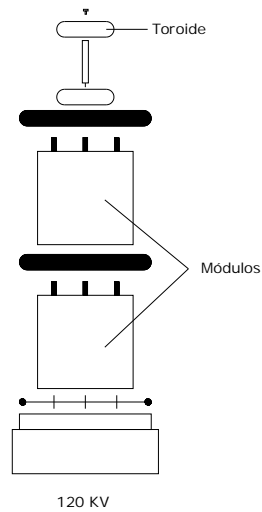


Figura 2.19 Conexión de los módulos en polaridad negativa.

- d. Realizar las conexiones entre los módulos y el equipo como se muestra en la figura 2.20.
- e. Conectar el terminal de tierra del equipo a la malla de tierra.
- f. Conectar a la malla de tierra la resistencia.
- g. Descargar siempre los módulos antes de entrar y salir de la jaula de faraday.
- h. Colocar el papel picado dentro del toroide.

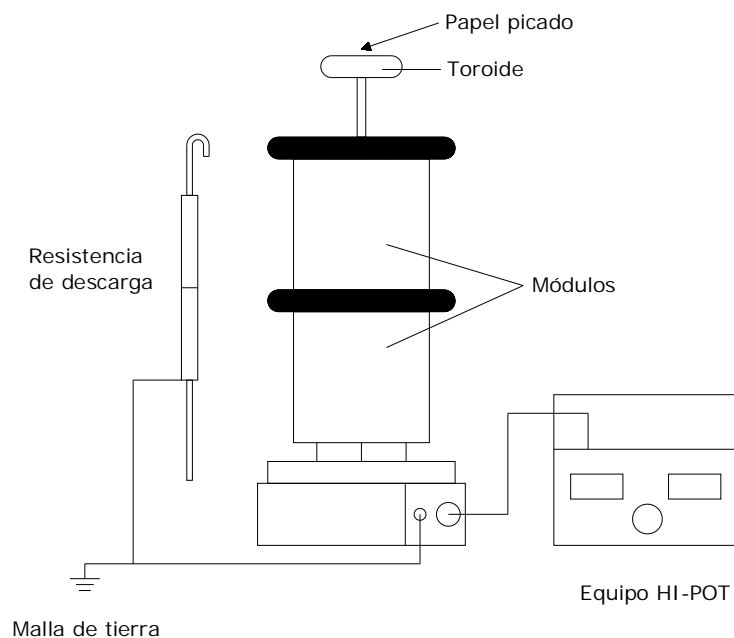


Figura 2.20 Conexión del equipo para realizar la prueba efecto corona

- i. Todo el personal debe abandonar el interior de la jaula y cerrar la puerta.

Descripción de la práctica

- a. Seleccionar en polaridad negativa.
- b. Multiplique la lectura del voltímetro por el numero de módulos en uso (ajustar el rango a 37,5 KV).
- c. Colocar el selector de voltaje en la posición cero (RAISE VOLTAGE).
- d. Encender la fuente de AC (AC POWER)
- e. Encender la fuente de alto voltaje (HIGH VOLTAGE).
- f. Ajustar el rango de corriente, poner en la escala más alta e ir bajando.
- g. Mover el selector lentamente hasta observar cómo se forma el campo y observamos la intensidad del mismo.
- h. Apagar la fuente de alto voltaje (HIGH VOLTAGE).
- i. Apagar la fuente de AC (AC POWER).
- j. Registrar los datos de la ruptura en el protocolo de ensayo del cable ANEXO 3.
- k. Entrar a la jaula y descargar.

2.10.7.2 Descripción de la práctica para el ensayo de ruptura de aislamiento en cables.

Preparación del equipo

- a. Energizar el sistema de la jaula de faraday.
- b. El área donde se va a ensayar debe estar totalmente libre de objetos.
- c. Armar los módulos en la base en polaridad negativa.
- d. Realizar las conexiones entre los módulos y el equipo.

La tensión se aplicará, durante cinco minutos, en los cables unipolares, entre el conductor y la cubierta metálica si la tuviera o entre el conductor medido y todos los demás unidos entre sí y puestos a tierra.

En los cables Multipolares, la tensión se aplicará durante cinco minutos, entre conductor y pantalla o entre el conductor aislado sometido a ensayo y todos los demás unidos entre sí y a las cubiertas metálicas puestas a tierra. Los valores de la tensión de ensayo a frecuencia industrial deben ser de $2,5 U_0 + 2 \text{ kV}$ en el caso de los cables cuya tensión nominal sea inferior o igual a 3,6 kV y de $2,5 U_0$ en el caso de los cables cuya tensión nominal sea superior.

Tensión nominal U _o (KV)	Tensión aplicada en C.A durante 5 min. Para U _o ≤ 30 kV 30 min. Para U _o ≥ 30 kV
1,8	6,5
3,6	11
6	15
8,7	22
12	30
15	38
18	45
26	65
36	90

Tabla 2.13 Tensión aplicada para cables con aislamiento seco tipos XLPE o EPR para tensiones de servicio de hasta 66 kV.

Tensión nominal U _o (KV)	Cables a campo radial	Cable con cintura aislada	
		En trifásico	En monofásico
6	15	25	20
8,7	22	37,5	29,5
12	-	37,5	34
12	30	-	-
15	37,5	-	-
18	45	-	-
26	65	-	-
36	90	-	-

Tabla 2.14 Tensión aplicada para cables con Papel Impregnado, series PP para tensiones de servicio de hasta 66 kV.

En el caso de los cables tripolares o de una terna formada por conductores unipolares aislados, si la tensión de ensayo se aplica mediante un transformador trifásico, las tensiones entre las fases deben ser iguales a 1,73 veces las de la tabla anterior.

Cuando se aplique una tensión continua, la tensión de ensayo deberá ser igual a 2,4 veces el valor de la tensión indicada para el ensayo a frecuencia industrial. En todos los casos, la tensión de ensayo debe elevarse poco a poco hasta llegar al valor especificado en un minuto aproximadamente.

Estas tensiones son las especificadas para los ensayos en fábrica. En las pruebas de aceptación en campo, las tensiones aplicadas no deberán exceder del 80 % de las citadas.

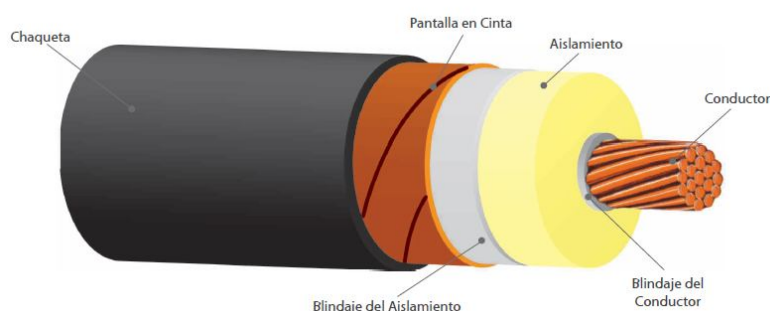
e. Conectar los el terminal de tierra del equipo a la malla de tierra.

Antes de efectuar el ensayo, deberá estar desconectado el cable de todo el equipo eléctrico, descargado a tierra mediante una pértiga aislada para eliminar cualquier vestigio de carga electrostática que pudiera conservar y limpiar todas las superficies de los terminales. En los aisladores de los terminales de porcelana se puede aplicar, sobre estos, una capa de grasa aislante de silicona para reducir la corriente de fuga y evitar la formación de arcos de contorno.

El conductor de tierra se conectará al equipo de prueba, a las pantallas y armaduras metálicas del cable, a la pértiga de tierra del equipo y al sistema de tierras. También deberán ponerse a tierra todos los cables próximos que no se ensayen. Por último, se conectará el conductor de alta del equipo al cable a ensayar. Como se ha indicado, cuando se prueban cables multiconductores sin pantalla, cada conductor deberá ser ensayado por separado, mientras que los conductores restantes deberán estar puestos a tierra.

f. Conectar a la malla de tierra la resistencia.

g. La muestra a ensayar debe ser de 1 metro de longitud.



Referencia. Centelsa

Figura 2.21 Cable para Media Tensión con Apantallamiento en Cinta de Cobre

h. Conectar el cable como se muestra en la figura 2.22.

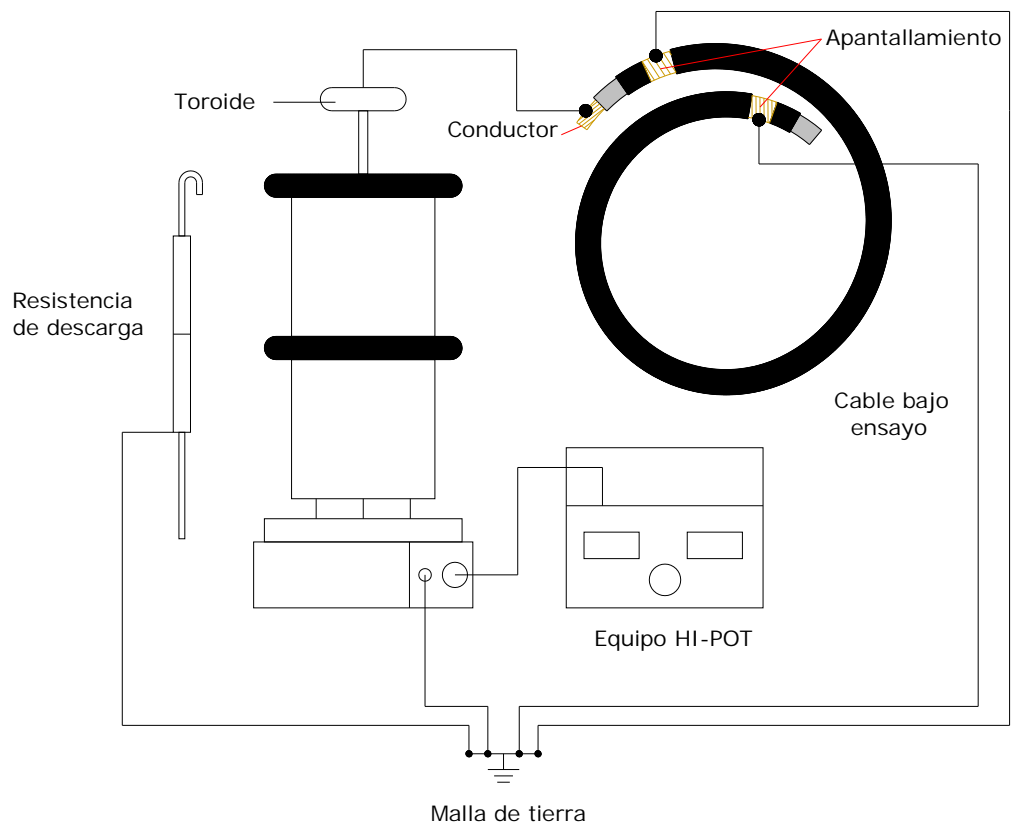


Figura 2.22 Conexión del equipo para realizar la prueba de aislamiento de cable.

- i. El cable no debe tener contacto con nada es recomendable suspenderlo en el aire.
- j. Descargar siempre los módulos antes de entrar y salir de la jaula de faraday.
- k. Todo el personal debe abandonar el interior de la jaula y cerrar la puerta.

Descripción de la práctica

- a. Seleccionar en polaridad negativa.
- b. Multiplique la lectura del voltímetro por el numero de módulos en uso (ajustar el rango a 37,5 KV).
- c. Colocar el selector de voltaje en la posición cero (RAISE VOLTAGE).
- d. Encender la fuente de AC (AC POWER)
- e. Encender la fuente de alto voltaje (HIGH VOLTAGE).
- f. Ajustar el rango de corriente, poner en la escala más alta e ir bajando.
- g. Mover el selector lentamente hasta el nivel de voltaje de prueba (voltaje de ruptura).

Si, en cualquier momento, durante el ensayo, se presenta un incremento violento de la corriente, disparando las protecciones del equipo, probablemente esto se deberá a que el cable se ha perforado o se ha presentado una descarga de contorno en algún terminal. Se puede confirmar la avería intentando aplicar de nuevo la tensión.

Los ensayos de las líneas deben repetirse, por lo menos, con una periodicidad anual, o siempre que se hayan producido en las inmediaciones de la traza del cable trabajos de excavación o se observen asentamientos del terreno, hundimientos o deslizamientos. También se repetirán después de efectuar trabajos de reparación en la línea.

- h.** Se observará que, a medida que la instalación
- i.** Registrar la lectura del voltímetro en la Hoja de datos 3 ANEXO4..
- j.** Apagar la fuente de alto voltaje (HIGH VOLTAGE).
- k.** Apagar la fuente de AC (AC POWER).
- l.** Registrar los datos de la ruptura en el protocolo de ensayo del cable ANEXO 3.
- m.** Entrar a la jaula y descargar.

2.10.8 RESULTADOS:

No debe producirse ninguna perforación del aislamiento cuando se aplica durante 5 minutos una tensión continua de prueba.

2.10.9 CUESTIONARIO

¿Por qué se realiza esta prueba dentro de una jaula de faraday?

¿Por qué se realizan ensayos de sobretensión o HI-POT?

¿Cuáles son los factores que deterioran el aislamiento en un cable?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 6

2.11 PRUEBAS PARA MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Trabajo preparatorio:

¿Cuáles son los tipos y características de los motores trifásicos de inducción?

Determine las conexiones estrella delta para motores trifásicos con 6 y 9 terminales.

Realice una clasificación de los tipos de materiales aislantes con sus principales características utilizadas en motores trifásicos de inducción.

A que se denominan fallas de aislamiento y fallas mecánicas. ¿Cuáles son sus causas?

2.11.1 TEMA:

Pruebas a máquinas eléctricas rotativas. .

2.11.2 OBJETIVO:

Determinar el estado en que se encuentra una maquina eléctrica rotativa.

2.11.3 FUNDAMENTO TEÓRICO:

Los ensayos a motores sirven para evaluar la condición de estas máquinas para la operación, para este análisis es necesario tener en claro que el sistema de aislamiento y la cubierta de la máquina estén en buenas condiciones. El aire, la mica, o cualquier otro material no conductor entre el devanado y tierra proporcionará una resistencia alta de aislamiento, las fallas al final de las vueltas del devanado, un corto interno del devanado gradúan defectos de aislamiento.

Por ello es necesario realizar la prueba del Índice de Polarización (POLARIZATION INDEX). Esta prueba es la relación entre la resistencia de aislamiento medida a 1 minuto y a 10 minutos después de haber aplicado un mismo valor de tensión continua de prueba.

La prueba DC HI-POT proporciona información acerca de la rigidez dieléctrica del sistema aislante. La rigidez dieléctrica de un material aislante se define como el gradiente de potencial máximo que el material puede soportar sin que se produzca la ruptura.

Si el aislamiento soporta la aplicación de una tensión de prueba durante un cierto tiempo y no se produce una circulación muy elevada de corriente de dispersión, se asume que será capaz de soportar sin peligro la tensión normal de funcionamiento.

La prueba de Comparación por Oleaje (SURGE COMPARISON TESTING) es un completo método de control de calidad para los bobinados del motor, permite evaluar y detectar cualquier error de los devanados que puedan existir, los resultados se indican por medio de dos parámetros. La inductancia, la cual es determinada como TURNS. Energía de absorción por espiras en corto, la cual es determinada como QUALITY.

La prueba de Comparación de una bobina (SINGLE COILS COMPARISON TEST) como característica única permite tomar una bobina como referencia arbitraria, y a continuación compara todas las bobinas con esta. La comparación es en busca

de diferencias, y los resultados no sólo muestran las diferencias, sino también determinan cual está en mejor estado.

La prueba de armadura (ARMATURE TESTING) consiste en determinar si la armadura está en buenas o malas condiciones.

2.11.4 NORMA DE REFERENCIA

IEEE std. 43-2000 Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery.

IEEE Std 112-1996 Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.

ANEXO 5

2.11.5 REGLAS DE SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromeo cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.

- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4

2.11.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Motor
- Analizador de motores, Motor Tester modelo 6250, marca Samatic.

2.11.7 PROCEDIMIENTO

2.11.7.1 Descripción de la práctica para el análisis de índice de polarización

El análisis de Índice de Polarización es una prueba que se realiza sobre los 10 minutos.

- Calibrar el analizador antes de la prueba del PI (mire el procedimiento en la sección 8.3 del catalogo). La prueba del PI necesita una alta precisión, debido a que cada instante se busca corrientes muy pequeñas.
- Coloque el selector en la posición DC HI-POT & PI.
- Conecte un puente poniendo en cortocircuito entre todas las tres fases del motor. El conector A se conecta a una fase del motor y el conector de tierra se conecta a la carcasa del motor.
- Ingrese la información del motor.

Presione la tecla # 6 de la pantalla del menú principal.

MENÚ PRINCIPAL

1 = HIPOT	5 = PRINTER	9 = SINGLE COIL
2 = SURGE	6 = NAME PLATE	0 = BROKEN BARS
3 = PI	7 = NEW JOB	DATA BANK = BANK
4 = CALIB	8 = SCORES	

Aparecerá la Pantalla 1.

PANTALLA 1

MOTOR	DATE =
*ASM NO	
HP =	
RPM =	

Presione la tecla * para alternar entre * ASM NO o * ASM YES.

Ingrese la potencia (HP).

Ingrese las RPM's.

Ingrese la fecha (date)

Presione la tecla ESCAPE.

- e. Presione la tecla numérica #3 del menú principal. Aparecerá la Pantalla 2 dando instrucciones como continuar.

PANTALLA 2

PI TEST TAKES 10 MINUTES SET PRINTER ON. SET VOLTAGE = 500 PRESS START. PRESS ESCAPE TO MENU.
--

La prueba debe correrse con 500 voltios (según recomendaciones de IEEE y EASA).

No obstante, el analizador le permite probar a voltajes más altos. Para probar a un voltaje diferente a los 500 voltios, codifique el voltaje que quiere usar.

- f. Presione los botones START simultáneamente.
- g. Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE y presione la tecla numérica # 8 del menú principal.
- h. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3

2.11.7.2 Descripción de la práctica DC HI-POT

- a. De la pantalla del menú principal presione la tecla numérica #7(NEW JOB).

MENU PRINCIPAL

1 = HIPOT	5 = PRINTER	9 = SINGLE COIL
2 = SURGE	6 = NAME PLATE	0 = BROKEN BARS
3 = PI	7 = NEW JOB	DATA BANK = BANK
4 = CALIB	8 = SCORES	

- b. Presione "CLEAR". Todos los resultados del test anterior serán limpiados. Ahora regrese al menú principal.
- c. Ponga el selector en la posición DC HI-POT & PI. Conecte un puente poniendo en cortocircuito entre todas las tres fases del motor. El conector A se conecta a una fase del motor y el conector de tierra se conecta a la carcasa del motor.
- d. Ingrese la información del motor.

Presione la tecla # 6 de la pantalla del menú principal. Aparecerá la Pantalla 2.

PANTALLA 2

MOTOR *ASM NO HP = RPM =	DATE =
-----------------------------------	--------

Presione la tecla * para alternar entre * ASM NO o * ASM YES.

Ingrese la potencia (HP).

Ingrese las RPMs.

Ingrese la fecha (date)

Presione la tecla ESCAPE.

- e. Presione la tecla numérica #1 del menú principal. Aparecerá la pantalla 3.

PANTALLA 3 MENU HI-POTENTIAL

HIPOT	
VOLTS =	MEGOHM =
BEFORE START WRITE REQUIRED VOLTAGE	
PRESS * FOR LONG TEST	
PRESS ESCAPE TO MENU	

- f. De la pantalla HI-POT (pantalla 3), presione la tecla *. Ingresara a la pantalla 4.

PANTALLA 4 THE LONG TEST

HIPOT	
VOLTS =	MEGOHM =
BEFORE START WRITE REQUIRED VOLTAGE	
LONG TEST. TO RAISE VOLTS PRESS FRWRD	
PRESS ESCAPE TO MENU	

- g. Presione los botones START simultáneamente.

- h. Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE.

Presione la tecla numérica # 8 del menú principal.

- i. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3.

2.11.7.3 Descripción de la práctica SURGE COMPARASION TESTING

- a. Ponga el selector en la posición DC HI-POT & PI.

- b. Ingrese la información del motor.

Presione la tecla # 6 de la pantalla del menú principal.

MENU PRINCIPAL

1 = HIPOT	5 = PRINTER	9 = SINGLE COIL
2 = SURGE	6 = NAME PLATE	0 = BROKEN BARS
3 = PI	7 = NEW JOB	DATA BANK = BANK
4 = CALIB	8 = SCORES	

Aparecerá la Pantalla 1.

PANTALLA 1

MOTOR	DATE =
*ASM NO	
HP =	
RPM =	

Presione la tecla * para alternar entre * ASM NO o * ASM YES.

Ingrese la potencia (HP).

Ingrese las RPMs.

Ingrese la fecha (date)

Presione la tecla ESCAPE.

- c. De la pantalla del menú principal presione la tecla numérica #2, aparecerá la pantalla 3.

PANTALLA 3 SURGE SCREEN

SURGE VOLTS	AB =	BC =	AC =
1500			
	WYE	UNASSM	
WRITE VOLTS OR PRESS FWRD TO CONFIRM VOLTAGE			
PRESS * TO CHANGE WYE/DLT			
PRESS. TO CHANGE ASSM/UNASSM			
PRESS ESCAPE TO MENU.			

- d. Si el voltaje desplegado es deseado presione la tecla "FRWRD" para confirmarlo. Para ajustar un nuevo voltaje escriba el valor por medio del teclado y presione "FRWRD".
- e. Presione los botones START simultáneamente. Dentro de dos segundos los resultados del surge test de la primera fase son registrados y son tomados como referencia para las dos fases restantes. Así la fase AB es desplegada siempre como una referencia de 100. Al mismo tiempo, permite desplegar la forma de onda completa.

PANTALLA 4 SURGE SCREEN

SURGE VOLTS	AB =	100	BC =	AC =
1500		100		
WRITE VOLTS OR PRESS FWRD TO CONFIRM VOLTAGE				
PRESS ESCAPE TO MENU.				

- f. Para el oleaje de la siguiente bobina de fase, ponga el selector en la posición BC.

- g. Proceda la prueba presionando los botones START simultáneamente. Los resultados de la fase BC permiten registrarse cerca de BC. Al mismo tiempo completa y permite desplegar las formas de ondas AB y BC.
- h. Cuando termine la prueba, ponga el selector en la posición CA y repita la prueba.
- i. Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE. Presione la tecla numérica # 8 del menú principal.
- l. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3.

CONEXIÓN DEL MOTOR EN DELTA

Cuando el selector esta en el modo AB, presione la tecla STAR (*):

PANTALLA SURGE TEST

SURGE VOLTS	AB =	BC =	CA =
1851			
DELTA UNASSM			
WRITE VOLTS OR PRESS FRWRD TO CONFIRM			
PRESS * TO CHANGE WY/DLT			
PRESS. TO CHANGE ASSM7UNASSM			
PRESS ESCAPE TO MENU			

Si el motor está conectado en delta, y quiere cambiar la conexión.

Presione la tecla STAR * para alternar entre WYE y DELTA.

Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE. Presione la tecla numérica # 8 del menú principal.

2.11.7.4 Descripción de la práctica SINGLE COILS COMPARISON TEST

- a. Ponga el selector en la posición HI-POT & PI.
- b. De la pantalla del menú principal presione la tecla numérica #9. aparecerá la pantalla 2.

MENU PRINCIPAL

1 = HIPOT	5 = PRINTER	9 = SINGLE COIL
2 = SURGE	6 = NAME PLATE	0 = BROKEN BARS
3 = PI	7 = NEW JOB	DATA BANK = BANK
4 = CALIB	8 = SCORES	

PANTALLA 2 SINGLE COILS COMPRARISON

```
T = 100
Q = 100
          VOLTS =      MEGOHMS =
SINGLE COILS. USE LEADS A and B
TO WRITE VOLTS TURN MODE TO HI-POT
PRESS CLEAR FOR NEW FIRST COIL
PRESS. TO CHANGE VIEW
PRESS * FOR CURVE.   PRESS ESCAPE TO MENU
```

- c. El máximo voltaje permitido para el single coil test es de 3000 V. El voltaje mínimo es 500 V.
- d. Ahora ponga el selector en el modo AB Surge, la cual es la única posición para probar single coils.
- e. Presionando CLEAR definirá dos valores de la primera bobina como referencia siendo estos el número de espiras y la calidad, y mostrara cero para T y Q.

PANTALLA 3 SINGLE COILS COMPRARISON

```
T = 0
Q = 0
          VOLTS = 510      MEGOHMS =
SINGLE COILS. USE LEADS A and B
TO WRITE VOLTS TURN MODE TO HI-POT
PRESS CLEAR FOR NEW FIRST COIL
PRESS. TO CHANGE VIEW
PRESS * FOR CURVE.   PRESS ESCAPE TO MENU
```

La letra "T" indica la inductancia por vueltas, y "Q" para la calidad.

- f. Presione simultáneamente los botones START.
 - g. Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE.
Presione la tecla numérica # 8 del menú principal.
 - h. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3
- ### 2.11.7.5 Descripción de la práctica ARMATURE TESTING
- a. Coloque fijamente el BTB alrededor del conmutador de barras y estreche el cinturón de modo que la abertura entre las mandíbulas del lagarto este alrededor de media pulgada.
 - b. Presione el manguito sujetador gris (2) con el brazo del lagarto para apretar el cinturón en esta posición.

- c. Ponga la distancia entre los contactos (4) y (5) a 90 ° o 180 ° dependiendo en la posición original de los cepillos en el motor o generador. Colocar los contactos simétricamente de las mandíbulas del lagarto.
- d. Conecte los dos terminales de prueba (8) y (9) a los conectores del probador señalados A y B.
- e. Conecte el terminal de tierra del probador al cuerpo de la armadura figura 2.23.

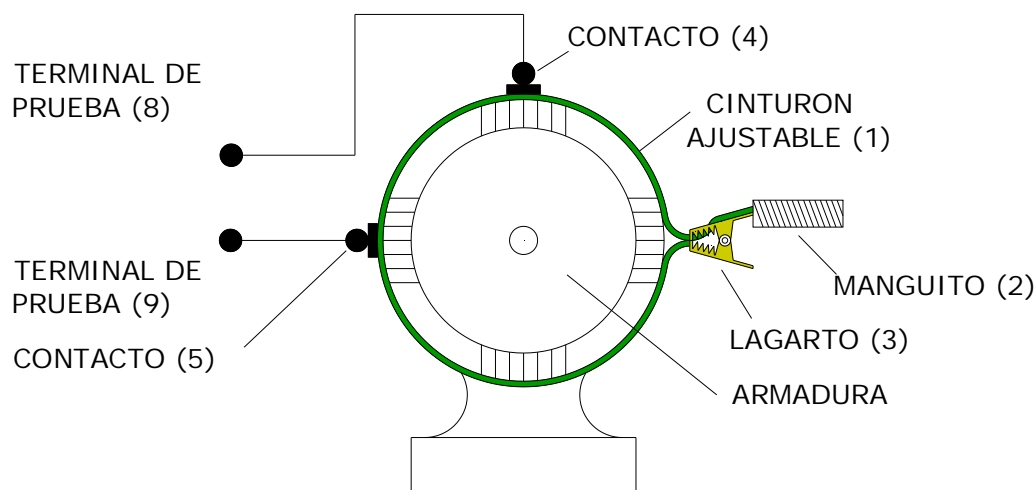


Figura 2.23 Conexión para la Prueba de Armadura.

- f. El probador debe estar en la pantalla de SINGLE COIL. De la pantalla del menú principal presione la tecla numérica #9.

MENU PRINCIPAL

1 = HIPOT	5 = PRINTER	9 = SINGLE COIL
2 = SURGE	6 = NAME PLATE	0 = BROKEN BARS
3 = PI	7 = NEW JOB	DATA BANK = BANK
4 = CALIB	8 = SCORES	

- g. Proceda a ajustar el HI-POT al voltaje conveniente.
- h. Antes de continuar a la prueba de SURGE, ponga el voltaje en un valor bajo que del HI-POT (mínimo debe estar alrededor de 500 V).
- i. Ponga el interruptor en el modo AB para el SURGE test. Presione la tecla amarilla CLR para preparar el probador para la medida de referencia.

SINGLE COILS COMPRARISON

T = 0
 Q = 0
 VOLTS = 510 MEGOHMS =
 SINGLE COILS. USE LEADS A and B
 TO WRITE VOLTS TURN MODE TO HI-POT
 PRESS CLEAR FOR NEW FIRST COIL
 PRESS. TO CHANGE VIEW
 PRESS * FOR CURVE. PRESS ESCAPE TO MENU

- j. Presione los botones START simultáneamente.
- k. Para observar los resultados al terminar la prueba, presione ESCAPE.
 Presione la tecla numérica # 8 del menú principal.
- l. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3

2.11.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- **Índice de polarización**

Los valores mínimos recomendados de la prueba IP para ac y dc en maquinas rotativas se muestran en la tabla 2.15, está basada en la clase térmica de materiales aislantes.

Clase de aislamiento térmico	Valor mínimo del IP
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

Tabla 2.15 Clase térmica de materiales aislantes IEEE.

Con carácter general, los valores de diagnostico utilizados son los de la tabla 2.16.

IP	Estado del aislante
IP ≤ 1,2	Aislante muy débil con corrientes de fuga elevadas por hidratación profunda o fuerte contaminación superficial.
1,2 ≤ IP < 2,5	Aislamiento húmedo o contaminado.
2,5 ≤ IP < 4	Aislamiento seco y limpio.
IP > 4	Aislamiento con buena sequedad y sin contaminación.

Tabla 2.16 Estado del aislante según el índice de polarización.

- **DC HI-POT**

Es aceptable considerar un resultado desde 200MΩ y más elevados como aceptables. En caso de una excesiva corriente de fuga, el probador ha sido construido con un limitador de corriente para evitar daños al motor, y un mecanismo de bloqueo es activado desde los 250 μA.

- **SURGE TEST**

La inductancia es determinada como TURNS.

La energía de absorción por bobinas cortocircuitadas es determinada como QUALITY.

Para uno u otro de estos parámetros se aplica el siguiente cuadro comparativo.

Resultados aceptables están sobre los 90

Resultados deteriorados están bajo los 90

Resultados catastróficos están bajo los 75

En caso, cuando los dos parámetros (T y Q) son afectados, el motor deberá ser juzgado por el peor parámetro. Por ejemplo: TURNS = 90% y QUALITY = 70% nos indica que el motor es evaluado por bajo QUALITY el cual es 70%.

- **SINGLE COILS COMPARISON TEST**

Esta prueba se realiza únicamente para comparar todas las bobinas y determinar cuál de ellas se encuentra en mejor condición.

- **ARMATURE TESTING**

Para determinar si la armadura está en buenas o malas condiciones, se toma como referencia un valor aceptable de T = 100 y Q = 100.

2.11.9 CUESTIONARIO

¿Porque es importante realizar pruebas de aislamiento a una maquina rotativa?

¿Porque es importante conocer el estado de los devanados de la maquina?

¿Cuáles son las consecuencias de tener una carcasa en mal estado?

¿Con los resultados obtenidos emita un criterio sobre el estado en que se encuentra la maquina rotativa?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE ESPEL

TRABAJO PRACTICO

TP LAV 8

2.12 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO Y PUESTA A TIERRA

Trabajo preparatorio:

¿Qué es la resistividad del suelo y como se determina?

¿Qué factores determina que la resistividad del terreno varía ampliamente?

¿Qué es una puesta a tierra y para qué sirve?

Investigue los métodos de medición de puesta a tierra.

2.12.1 TEMA

Medición de la resistividad del suelo

2.12.2 OBJETIVO

Establecer la forma de efectuar la medida de la resistividad del suelo y puestas a tierra.

2.12.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

La medida de resistividad de la tierra tiene el propósito el reconocimiento geofísico debajo de la superficie como ayuda para identificar zonas minerales profundidades y otros fenómenos geológicos.

Una bajada en la resistividad tiene relación con un aumento en actividad corrosiva y así dicta el tratamiento proyectivo a ser usado.

La resistividad de la tierra el factor clave para determinar cuál será la resistencia de un electrodo de toma a tierra y a que profundidad debe ser enterrado para obtener una resistencia de tierra baja. La resistividad de la tierra varía ampliamente a través del mundo y cambia con las estaciones.

2.12.3.1 Medida de la Resistividad de la Tierra, MEDIDA DE LOS 4 PUNTOS

Para la mayoría de aplicaciones el método más preciso el de 4 puntos que requiere la inserción de cuatro electrodos a la misma distancia y en línea en el área de pruebas. La caída de potencial es entonces medida a través de los dos electrodos interiores.

2.12.3.2 Electrodo de tierra

Tierra es definido como una conexión conductora por la que un circuito o equipo es conectado a tierra. La conexión es usada para establecer y mantener lo más preciso posible el potencial de la tierra en el circuito o equipo conectado a él.

2.12.3.3 Medida de la Resistencia de Tierra, MEDIDA DE LOS 3 PUNTOS (MÉTODO 62%)

El objetivo de medir de forma precisa la resistencia a tierra es colocar el electrodo de corriente auxiliar Z suficientemente lejos del electrodo de tierra bajo prueba de manera que el electrodo de potencial auxiliar Y este fuera del área de resistencia efectiva del electrodo de corriente auxiliar. La mejor manera de descubrir si la barra de potencial auxiliar esta fuera de las áreas de resistencia efectiva es moverla entre X y Z y tomar La medida en cada sitio.

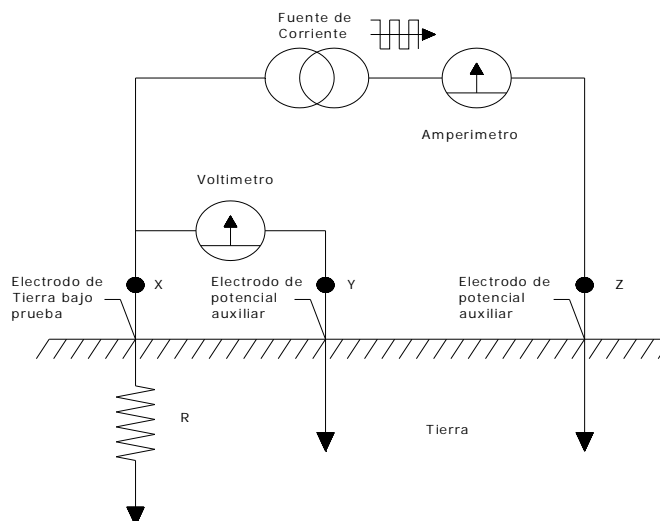


Figura 2.24 Principio de funcionamiento método 62%

2.12.3.4 Distancia entre múltiples barras

Varios electrodos en paralelo proporcionan una resistencia menor al suelo que un solo electrodo. Instalado de alta capacidad requieren una resistencia de toma de tierra baja. Varias barras son usadas para proporcionar esta resistencia.

Una segunda barra no proporciona una resistencia total de la mitad de la de una sola barra a menos que las dos estén varias barras de distancia aparte. Para conseguir la resistencia de toma de tierra coloque varias barras separadas por una barra de distancia en línea, en un círculo, triángulo hueco, o cuadrado.

2.12.3.5 Medida de la Resistencia de electrodos múltiples

Un electrodo enterrado es un medio económico y simple de hacer un buen sistema de toma de tierra, pero algunas veces una sola barra no proporciona una resistencia suficientemente baja, y varios electrodos de tierra serán enterrados y conectados en paralelo con un cable.

En sistema de electrodos múltiples el método del 62% de distancia entre electrodos ya no puede ser aplicado directamente. La distancia entre electrodos auxiliares esta ahora basada en la distancia de cuadrícula máxima.

2.12.4 NORMAS DE REFERENCIA

Las presentes especificaciones están referidas a lo estipulado en las normas:

ANSI/IEEE Std 81-1983 IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.

ANEXO 5

2.12.5 SEGURIDAD

Es importante establecer un programa riguroso para trabajar con electricidad, ésta puede ser peligrosa e incluso fatal para los que no entienden e incumplen las reglas simples de seguridad. Lea, comprenda y discuta las siguientes reglas de seguridad. Determine como se aplican para los equipos que usará.

- Deberán usarse Elementos de Protección Personal **guantes dieléctricos, protectores visuales** cuando lo exija el trabajo a realizarse en equipos energizados.
- Trabajar con **zapatos con suela aislante**, nunca sobre pisos mojados.
- No use anillos en los dedos, prendas en el cuello y antebrazos y llegue al laboratorio de práctica con el cabello ya recogido.
- Mantenga el piso alrededor de su área de trabajo limpio y libre de basuras capaces de producir resbalones o tropezones.
- Nunca tocar equipos energizados, debe considerarse peligroso cualquier tipo de voltaje.
- Una vez que el equipo a ensayar esté conectado, obtenga la aprobación de su profesor antes de iniciar su trabajo.
- El personal deberá encontrarse a distancia prudencial de los conductores.
- No bromea cuando esté trabajando.
- Emplee las herramientas adecuadas y no sustitutos.
- No hable o distraiga a sus compañeros cuando estén trabajando, especialmente si están efectuando conexiones eléctricas y mediciones.
- Trate de trabajar en forma ordenada en el área que se le asigne.
- No puede ingerir bebidas y comida dentro del salón de laboratorio.

ANEXO 4

2.12.6 MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

- Teluometro, Modelo 4630, marca A

2.12.7 PROCEDIMIENTO

2.12.7.1 Descripción de la práctica para medir resistividad del suelo

- a. Identificar el área de terreno a medir.

- b. Conectar los electrodos con el método de los 4 puntos como se indica en la figura 2.25 que requiere la inserción de cuatro electrodos a la misma distancia y en línea en el área de prueba.

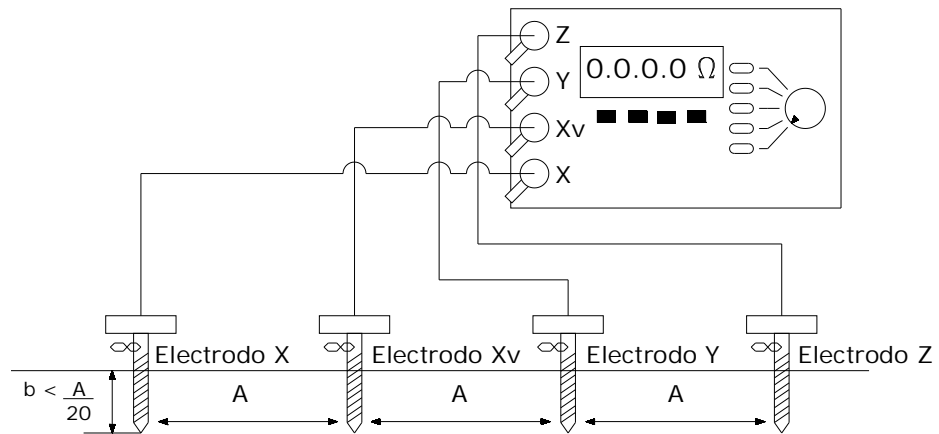


Figura 2.25 Conexión por el método de los 4 puntos

- c. La distancia **A** entre los electrodos debe ser equivalente a la profundidad a la que la resistividad del suelo debe ser determinada.
- d. La profundidad del electrodo debe ser una vigésima parte del espacio entre electrodos.

$$B = A/20 \quad (2.25)$$

Donde:

B= Profundidad del electrodo en centímetros.

A= Distancia entre electrodos en centímetros.

- e. Realizar 5 mediciones de resistencia.
- f. Registrar los datos en el protocolo de ensayo de tierra ANEXO 3.

2.12.7.2 Descripción de la práctica para medir la resistencia de la puesta a tierra

- a. Identificar el electrodo o barra de puesta a tierra a medir.
- b. Desconectar el electrodo de puesta a tierra del sistema.
- c. Conecte el Teluometro a la barra de puesta a tierra como se indica en la figura 2.26, puentee Xv y X.

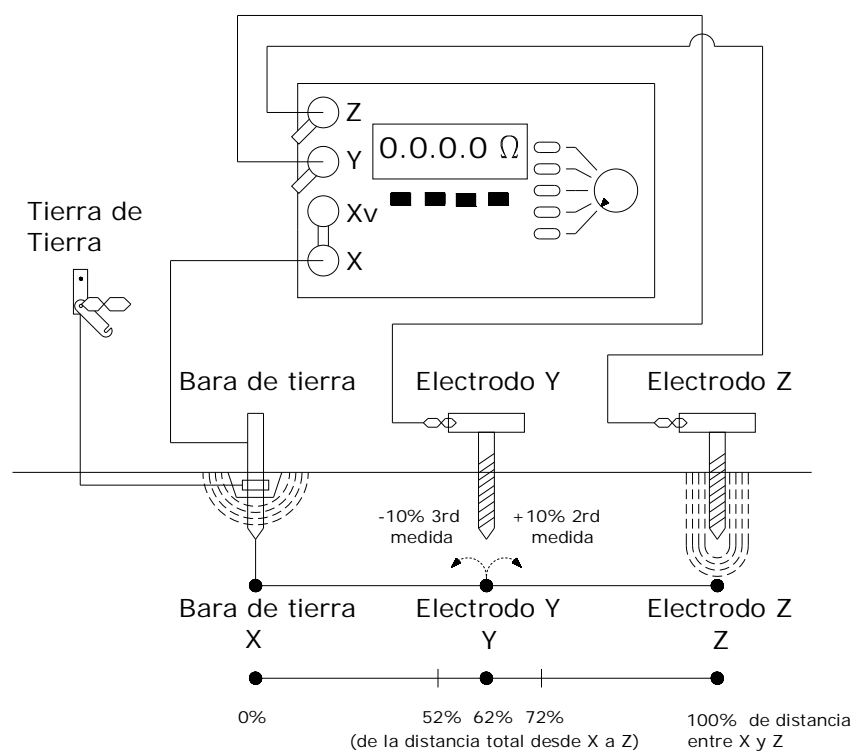


Figura 2.26 Conexión por el método del 62 %

- d. Conectar el electrodo X a la barra de puesta a tierra, el electrodo Z debe conectarse a una distancia aproximada del electrodo X que se determina en la tabla 2.17.

Distancia aproximada a los electrodos auxiliares usando el método 62%		
Profundidad enterrado(ft)	Distancia a Y(ft)	Distancia a Z(ft)
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Tabla 2. 17 a) Para tierra homogénea y un electrodo de 1".

b) Para un diámetro de 1/2 " reduzca la distancia un 10%

c) Para un diámetro de 2" aumente la distancia un 10%

- e. Ir variando el electrodo Y a una distancia que será la decima parte de la distancia entre los electrodos X y Z.

- f. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3, realice el grafico distancia.
- g. Para distancia entre múltiples barras la resistencia equivalente puede ser calculada dividiendo por el número de barras y multiplicando por el factor X que se muestra en la siguiente tabla.

Multiplicando factores para varias barras	
Numero de barras	X
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

Tabla 2.18 Factor para varias barras

2.12.7.3 Descripción de la práctica para medir sistema de electrodos múltiples

- a. Identificar el sistema de electrodos múltiples a medir, determine la distancia máxima de la diagonal del sistema de la malla a tierra.

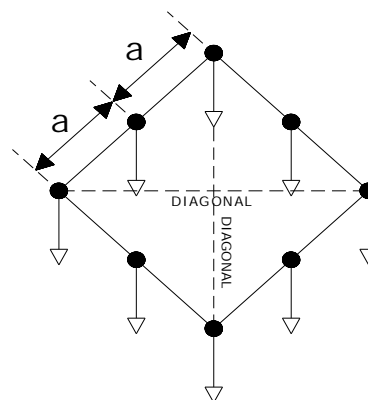


Figura 2.27 Sistema de electrodos múltiples

- b. Desconectar el electrodo de puesta a tierra del sistema.
- c. Conecte el Teluometro a la barra de puesta a tierra como se indica en la figura 2.27, puentee X_v y X .
- d. Conectar el electrodo X a la barra de puesta a tierra, el electrodo Z debe conectarse a una distancia aproximada del electrodo X que se determina en la tabla 2.19.

Sistema de electrodos múltiples		
Distancia de cuad.Max (Pies)	Distancia a Y (Pies)	Distancia a Z(Pies)
6	78	125
8	87	140
10	100	160
12	105	170
14	118	190
16	124	200
18	130	210
20	136	220
30	161	260
40	186	300
50	211	340
60	230	370
80	273	440
100	310	500
120	341	550
140	372	600
160	390	630
180	434	700
200	453	730

Tabla 2.19 Valores para sistema de electrodos múltiples.

- e. Ir variando el electrodo Y a una distancia que será la decima parte de la distancia entre los electrodos X y Z.
- f. Registrar los datos en el protocolo de ensayo del motor ANEXO 3, realice el grafico distancia.

2.12.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resistividad del suelo

- Realizar el cálculo de la resistividad del suelo, utilizando la siguiente ecuación de Wenner:

$$= 2 \quad (2.26)$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo

A= Distancia de los electrodos

R= resistencia medida

Resistencia a tierra

- Si la barra de potencial auxiliar Y está en un área de resistencia efectiva, es decir donde se sobreponen X y Z ver figura 2.28, las lecturas al desplazarse

varían notablemente su valor. Bajo estas condiciones no se puede determinar un valor exacto para la resistencia de tierra.

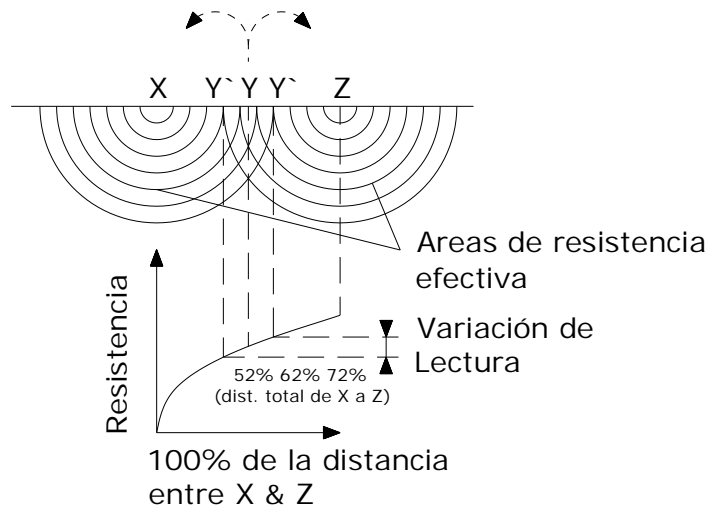


Figura 2.28 Área de resistencia efectiva superpuesta

- Si la barra de potencial auxiliar Y está situada fuera de las áreas de resistencia efectiva ver figura 2.29, cuando Y es movida arriba y abajo la variación de lectura es mínima. Las lecturas tomadas deberán estar relativamente cerca las unas de las otras.

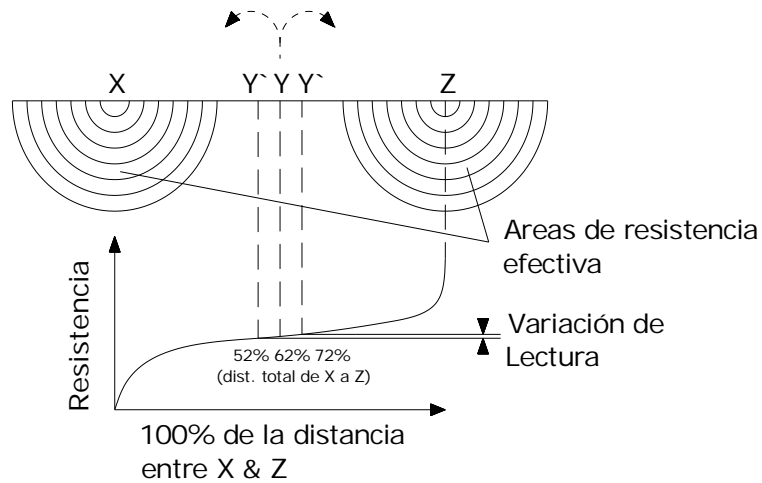


Figura 2.29 Área de resistencia efectiva correcta.

- Analizar el grafico para ver si caen en una región Plateau o área 62%.
- Luego de realizar el análisis de resistencia del suelo según la norma NEC 250-84 los valores que se deben tener en instalaciones debe ser:

Uso	Resistencia del SPAT (Ω)
S. E. Eléctrica Mayor ($V_n > 69 \text{ KV}$)	≤ 1
S. E. Eléctrica Media ($V_n > 34.5 \text{ KV}$)	≤ 2
S. E. Eléctrica Menor ($V_n < 34.5 \text{ KV}$)	$< 3 - 5$
Torres de transmisión	$< 3 - 5$
Sistemas de B. T.	< 25
Telecomunicaciones	< 5
Equipo Medico (Hospitales)	< 5

Referencia. NEC 250-84

Tabla 2.20 Valores de resistencia a tierra

2.12.9 CUESTIONARIO

¿Cómo se puede mejorar la resistividad del suelo?

La resistividad de la tierra es un factor que nos permite determinar:

¿Qué tan baja en resistencia debe ser la tierra?

¿Cuál es el beneficio de tener una buena puesta a tierra?

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

CAPITULO III

3.1 GENERALIDADES

La norma Internacional **ISO/IEC 17025** establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

Esta Norma Internacional es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones. Éstas pueden ser, por ejemplo, los laboratorios de primera, segunda y tercera parte, y los laboratorios en los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos.

Esta Norma Internacional es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración. Cuando un laboratorio no realiza una o varias de las actividades contempladas en esta Norma Internacional, tales como el muestreo o el diseño y desarrollo de nuevos métodos, los requisitos de los apartados correspondientes no se aplican.

3.2 BENEFICIOS

Brinda nuevas oportunidades de mercado, reservado solo para aquellos laboratorios que consiguen demostrar su competencia técnica.

Aumento de la confianza de los clientes en los resultados de los ensayos y calibraciones.

Para obtener la acreditación, el laboratorio debe operar conforme a criterios para la acreditación, los cuales están basados en los requisitos establecidos en la Norma Internacional ISO/IEC 17025.

3.3 REQUISITOS DE LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025

3.3.1 DE LA ORGANIZACIÓN

- Si el laboratorio hace parte de una organización, se deben definir las responsabilidades del personal clave en la organización, a fin de identificar potenciales conflictos de interés.
- Contar con disposiciones que aseguren que su gestión y personal están libres de cualquier presión, que afecte de forma adversa la calidad de su trabajo.

3.3.2 DEL SISTEMA DE CALIDAD

- Los manuales deben describir los procedimientos de gestión y los procedimientos técnicos y la estructura documental del sistema.
- En el manual de calidad se deben definir las funciones y responsabilidades de todos los cargos del laboratorio.
- Debe ser conocido por el personal.

3.3.3 CONTROL DE DOCUMENTOS

- Se debe tener disponible una lista maestra o procedimiento de control de documentos que identifique el estado de revisión actual y la distribución de documentos.
- Los procedimientos adoptados deben asegurar que las ediciones actualizadas de documentos estén disponibles para el funcionamiento efectivo del laboratorio y que estos se revisen y actualicen periódicamente, sacando los obsoletos.

3.3.4 CONTROL DE REGISTROS

El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para el archivo, almacenamiento y disposición de registros de calidad y técnicos.

- Los registros deben ser legibles y almacenados en un ambiente adecuado. Se deben establecer tiempos de retención de registros.
- Llevar los registros en forma segura y confidencial.

3.3.5 AUDITORÍAS INTERNAS

- Se debe tener periódicamente, auditorías internas para verificar el mantenimiento del sistema de calidad.
- Estas deben cubrir tanto el sistema de calidad como los procedimientos técnicos y deben ser realizadas por personal calificado.

REQUISITOS TÉCNICOS

3.3.6 PERSONAL

- Se debe tener un plan de formación y entrenamiento adecuado para asegurar la competencia, con una adecuada supervisión.
- La remuneración no debe ser dependiente del número de calibraciones o ensayos
- Se deben mantener descripciones laborales: perfiles y funciones definidas.
- Debe realizarse monitoreo de desempeño.
- Debe haber autorizaciones para desempeñar actividades de calibración y ensayo.
- Se deben tener actualizadas las hojas de vida.

3.3.7 INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES

- Deben ser adecuadas para las actividades a realizar: fuentes de energía, iluminación, etc.
- Se deben controlar y registrar las condiciones que influyan en los resultados.
- Debe haber separación entre áreas incompatibles.
- Se debe controlar el acceso a las áreas de calibración o ensayo.

3.3.8 MÉTODOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN

- Se deben emplear métodos y procedimientos apropiados para las actividades del alcance.
- Se debe contar con instrucciones sobre el uso y operación de los equipos y disponer de registros de estos (hojas de vida)-
- Todas las instrucciones y procedimientos de ensayo deben estar actualizados y disponibles.

3.3.9 EQUIPOS

- Disponer de los equipos requeridos para su trabajo, con la exactitud y especificaciones pertinentes.
- Deben ser operados por personal autorizado y las instrucciones de uso y mantenimiento deben estar disponibles.
- Deben ser identificados de manera única y tenerse registros de los equipos (hojas de vida).

3.3.10 TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN

- Se debe calibrar todo equipo empleado para ensayos o calibraciones y tenerse un programa y procedimiento para esto.
- Las calibraciones deben ser trazables con el Sistema internacional de unidades.
- Se deben realizar verificaciones intermedias

3.3.11 MANEJO DE ELEMENTOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN

- Se deben tener procedimientos para transporte, recepción, manejo, protección, almacenamiento retención y/o disposición de los elementos para calibración o ensayo.
- Se debe tener un sistema de identificación, que garantice que no haya confusiones.

3.3.12 REPORTE DE RESULTADOS

- Se deben reportar los resultados de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva y de conformidad con las instrucciones del método de ensayo.
- Los certificados e informes, pueden ser impresos o electrónicos.

ANEXO 3

3.4 ESTUDIO TÉCNICO DEL LABORATORIO PERTINENTE A LAS OPERACIONES

NORMA ISO/IEC INTERNACIONAL 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.			
	N O	S I	CUMPLE
4 REQUISITOS RELATIVOS A LA GESTIÓN			
4.1 Organización		X	El laboratorio esta dentro de una institución que brinda todas las garantías de procesos y gestión de calidad. MAPA ESTRATÉGICO RED ORGANIZACIONAL- MACRO SISTEMA ESPE
4.2 Sistema de gestión		X	El laboratorio implementa y mantiene un sistema de gestión apropiado al alcance de sus actividades. El laboratorio documenta sus políticas, sistemas, programas, procedimientos e instrucciones tanto como sea necesario para asegurar la calidad de los resultados de los ensayos. PLAN ESTRATÉGICO -AÉREAS DE GESTIÓN ESTRATÉGICA
4.3 Control de los documentos		X	El laboratorio establece y mantiene procedimientos para el control de todos los documentos que forman parte de su sistema de gestión (generados internamente o de fuentes externas), tales como la reglamentación, las normas y otros documentos normativos, los métodos de ensayo o de calibración, así como

			los dibujos, el software, las especificaciones, las instrucciones y los manuales. MAPA ESTRATÉGICO RED ORGANIZACIONAL-MACRO SISTEMA ESPE
4.4 Revisión de los pedidos, ofertas y contratos.	X		El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para la revisión de los pedidos, las ofertas y los contratos. Las políticas y los procedimientos para estas revisiones, que den por resultado un contrato para la realización de un ensayo o una calibración.
4.5 Subcontratación de ensayos y de calibraciones.	X		Cuando un laboratorio subcontrate un trabajo, ya sea debido a circunstancias no previstas (por ejemplo, carga de trabajo, necesidad de conocimientos técnicos adicionales o incapacidad temporal), o en forma continua (por ejemplo, por subcontratación permanente, convenios con agencias o licencias), se debe encargar este trabajo a un subcontratista competente.
4.6 Compras de servicios y de suministros.	X		El laboratorio debe tener procedimientos para la compra, la recepción y el almacenamiento de los reactivos y materiales consumibles de laboratorio que se necesiten para los ensayos.
4.7 Servicio al cliente.			No está en vigencia.
4.8 Quejas.			No está en vigencia.
4.9 Control de trabajos de ensayos o de calibraciones no conformes.			No está en vigencia.
4.10 Mejora.		X	El laboratorio mejora continuamente la eficacia de su sistema de gestión mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de los datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección. MAPA ESTRATÉGICO RED ORGANIZACIONAL- FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL INTANGIBLE
4.11 Acciones correctivas.	X		El laboratorio debe establecer una política y un procedimiento para la implementación de acciones correctivas cuando se haya identificado un trabajo no conforme o desvíos de las políticas y procedimientos del sistema de gestión o de las operaciones técnicas, y debe designar personas apropiadamente autorizadas para implementarlas.

4.12 Acciones preventivas.		X	Se identifican las mejoras necesarias y las potenciales fuentes de no conformidades. MAPA ESTRATÉGICO RED ORGANIZACIONAL- FORTALECIMIENTO DEL CAPITAL INTANGIBLE
4.13 Control de los registros.		X	El laboratorio mantiene un control de inventarios. MAPA ESTRATÉGICO RED ORGANIZACIONAL-MACRO SISTEMA ESPE
4.14 Auditorías internas.	X		No se ha realizado.
4.15 Revisiones por la dirección.	X		No cumple con todos los requisitos anteriores.
5 REQUISITOS TÉCNICOS			
5.2 Personal.		X	El encargado del laboratorio es un docente calificado y con experiencia, la planificación y alcance del uso del laboratorio es realizada al inicio del semestre. PLAN ESTRATÉGICO - TALENTO HUMANO
5.3 Instalaciones y condiciones ambientales.	X		Controlar y registrar las condiciones ambientales según lo requieran las especificaciones. Se debe prestar especial atención, por ejemplo, a la esterilidad biológica, el polvo, la interferencia electromagnética, la radiación, la humedad, el suministro eléctrico, la temperatura, y a los niveles de ruido y vibración.
5.4 Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos.		X	El laboratorio puede aplicar correctamente los métodos normalizados antes de utilizarlos para los ensayos. PRACTICAS DE LABORATORIO
5.5 Equipos.		X	El laboratorio está provisto con todos los equipos y su software para la medición y el ensayo. Se tiene un programa de calibración para los instrumentos. INVENTARIO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO.
5.6 Trazabilidad de las mediciones.		X	Las calibraciones y las mediciones hechas por el CENTRO DE METROLOGÍA DE LA FUERZA TERRESTRE a nuestros equipos son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN ISO 17025
5.7 Muestreo.	X		El laboratorio debe tener un plan y procedimientos para el muestreo cuando efectúe el muestreo de sustancias, materiales o productos que luego ensaye o calibre. El plan y el procedimiento para el muestreo deben estar disponibles en el lugar donde se realiza el muestreo.

5.8 Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración.	X	El laboratorio debe tener procedimientos para el transporte, la recepción, la manipulación, la protección, el almacenamiento, la conservación o la disposición final de los ítems de ensayo o de calibración, incluidas todas las disposiciones necesarias para proteger la integridad del ítem de ensayo o de calibración, así como los intereses del laboratorio y del cliente. El laboratorio debe tener procedimientos e instalaciones apropiadas para evitar el deterioro, la pérdida o el daño del ítem de ensayo o de calibración durante el almacenamiento, la manipulación y la preparación.
5.9 Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y de calibración.	X	El laboratorio debe tener procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo. Dicho seguimiento debe ser planificado y revisado y puede incluir, entre otros, los elementos siguientes: a) El uso regular de materiales de referencia certificados o un control de la calidad interno utilizando materiales de referencia secundarios; b) La participación en comparaciones interlaboratorios o programas de ensayos de aptitud; c) La repetición de ensayos o calibraciones utilizando el mismo método o métodos diferentes;
5.10 Informe de los resultados.	X	Las desviaciones, adiciones o exclusiones del método de ensayo e información sobre condiciones de ensayo específicas, tales como las condiciones ambientales. Cuando se incluyan opiniones e interpretaciones, el laboratorio debe asentar por escrito las bases que respaldan dichas opiniones e interpretaciones. Las opiniones e interpretaciones deben estar claramente identificadas como tales en un informe de ensayo. HOJAS DE DATOS GUÍAS DE PRACTICA

Tabla 3.1 Estudio comparativo ISO 17025

3.5 PROCEDIMIENTO PARA LA FIRMA DEL CONVENIO DE ASISTENCIA TÉCNICA

Luego de cumplir con todo lo requerido en la norma la persona natural o jurídica responsable del laboratorio debe enviar una comunicación escrita dirigida al Director General del INEN, solicitando la firma de un convenio de asistencia técnica para la implantación de la Norma ISO/IEC 17025 en el laboratorio.

Ante la recepción de la solicitud, la Dirección de Desarrollo y Certificación de la Calidad, procederá a la evaluación y aprobación de la solicitud.

El INEN firmará el Convenio de Asistencia Técnica, con el laboratorio al que pertenezca el laboratorio, formalizando los derechos y obligaciones de las partes involucradas en el Convenio.

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Se logró implementar las normas NTE INEN e IEEE al laboratorio de alto voltaje de la ESPE-L de las cuales se obtuvo la forma, metodología y actividades sobre las cuales el Laboratorio, realizará las pruebas eléctricas a transformadores, motores, cables y puestas a tierra.
- Se realizó el manual de prácticas, de manera que su uso sea didáctico y práctico.
- Las pruebas eléctricas se realizan con el propósito de confirmar que los transformadores, motores y cables han sido diseñados y construidos apropiadamente y puede soportar las condiciones de trabajo a las que estará sometido durante su funcionamiento normal.
- Las pruebas que se pueden realizar en el laboratorio son Resistencia de devanados, Resistencia de aislamiento, Rigidez dieléctrica del aceite, Pruebas de corto y vacío, Relación de transformación, Pruebas a máquinas eléctricas rotativas, Pruebas a cables eléctricos aislados, Pruebas de sistemas de puesta a tierra.
- Se realizó la certificación de calibración de los equipos en el Centro de metrología de la Fuerza Terrestre.
- Se implementó carteles informativos de seguridad básica para el laboratorio de acuerdo a los riesgos eléctricos que implica el mismo, teniendo como base la seguridad del personal.
- No existe un valor de referencia que determine cuál sea la resistencia que deben tener los devanados de transformadores y motores, razón por lo cual se tomó como referencia de variación entre devanados del 2%.

- No se ha encontrado un valor de referencia específico del aislamiento que debe tener un transformador, por lo que se adoptó un valor de 2000 MΩ recomendado por los fabricantes.
- Las pruebas de cortocircuito y vacío deben realizarse con transformadores cuya potencia sea mayor de 15 KVA para obtener mejor confiabilidad en los resultados.
- Un resultado del Índice de Polarización mayor a 500 de la prueba a un motor se considera que tiene un aislamiento aceptable.
- El estudio del Laboratorio de alto voltaje, bajo la norma **ISO/IEC INTERNACIONAL 17025** nos reveló que no reúne con todos los requisitos para la acreditación y certificación de pruebas.
- Se elaboraron trabajos preparatorios, procesos que contiene los diagramas de conexión y los pasos para ejecutar la prueba., cuestionarios y hojas de datos donde los alumnos deban investigar, interpretar y emitir criterios de todos los conocimientos adquiridos, sobre pruebas y ensayos de alto voltaje a transformadores, motores, cables y puestas a tierra, así como también extender las aplicaciones sobre esta materia.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la institución facilite la adquisición de equipos de ensayo para utilizarlos en forma continua en la ejecución de cualquier ensayo o prueba en el laboratorio de alto voltaje.
- El laboratorio de alto voltaje se implemento con el propósito que sea una herramienta didáctica para los estudiantes, por lo que se recomienda darle un uso adecuado respetando las normas que exige el manejo de un laboratorio de este tipo de aplicación y riesgo, seguir el manual de prácticas creado en este proyecto.
- Enviar los equipos anualmente al Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre para su calibración.
- No operar los equipos sin la obligada supervisión y autorización del docente encargado.
- Se recomienda que el personal encargado del laboratorio tenga conocimientos en primeros auxilios y mantenga el laboratorio bajo normas de seguridad.
- Es necesario que en el laboratorio se delimite claramente las zonas de trabajo de cada ensayo, se cree una zona de almacenamiento de los equipos a ensayar, una zona de descarga, tenga materiales necesarios para cada prueba, adquiera herramientas necesarias para la ejecución de cada práctica evitando la utilización de sustitutos y adquiera equipos de seguridad contra incendios.
- Adquirir los equipos para medir la temperatura y humedad relativa necesaria para una correcta realización de las pruebas, ya que estas variables influyen directamente en los resultados obtenidos.
- Los resultados obtenidos de los ensayos en el laboratorio de alto voltaje deben ser comparados con los valores que se establecen en la norma, para tener un criterio del estado en que se encuentran transformadores, motores y cables.

- Es recomendable sumar a este laboratorio equipos de Prueba de impulso, AC HI-POT, Factor de Potencia y material necesario para realizar pruebas a equipos de seguridad personal.
- Debido a que las pruebas de alto voltaje es una tecnología que está en auge en por las exigencias de la industria, es necesario que los estudiantes de la ESPE cuenten con los instrumentos necesarios para obtener un amplio conocimiento sobre este tema por lo que los responsables de este laboratorio y docentes con materias a fin deberán insistir en el equipamiento del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

Casas Ospina Fabio, "Tierras soporte de la seguridad eléctrica", Tercera edición, Incotec, Bogotá, 2005.

Llorente Antón Manuel, "Cables Eléctricos Aislados", Primera Edición, Paraninfo, Madrid, 1994.

Márquez García Rogelio, "La puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el R.A.T", Primera Edición, Alfaomega, México, 1999.

Toledano Gasca José Carlos," Instalaciones eléctricas de enlace y centros de transformación", Primera Edición, Paraninfo, Madrid, 1999.

Varios ,"Técnicas para el mantenimiento y diagnostico de maquinas eléctricas rotativas ", Primera Edición, Marcombo, Barcelona, 1998.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE-std 112-1996, Primera edición.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE-std 43-2000, Primera edición

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, IEEE-std 81-1983, Primera edición.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, ISO-IEC 17025, Segunda edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2110:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2111:2003 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2113:1998 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2114:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2117:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2118:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2119:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2127:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2129:98 , Primera edición

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE-INEN 2133:98 , Primera edición

UNE 21123, Primera edición.