

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**NORMAS Y PRUEBAS DE AISLAMIENTO
EN EQUIPO DE ALTA TENSION**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la
Facultad de Ingeniería

Por

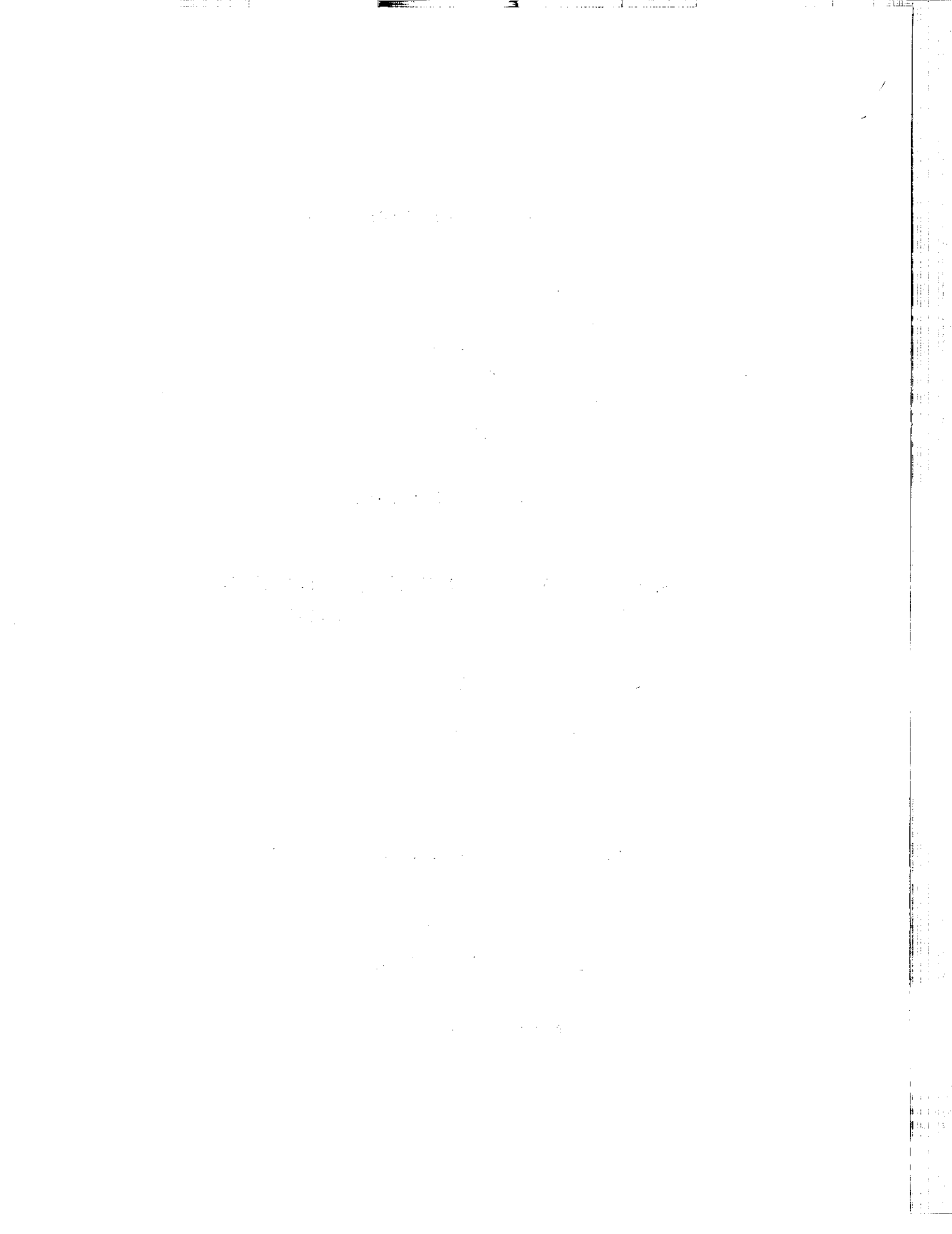
MARITZA DEL ROSARIO SANCHEZ LOPEZ

Al conferirle el Título de

INGENIERO ELECTRICISTA

Guatemala, octubre de 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



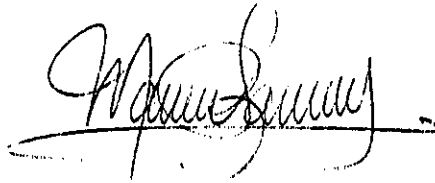
08
TL3875)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

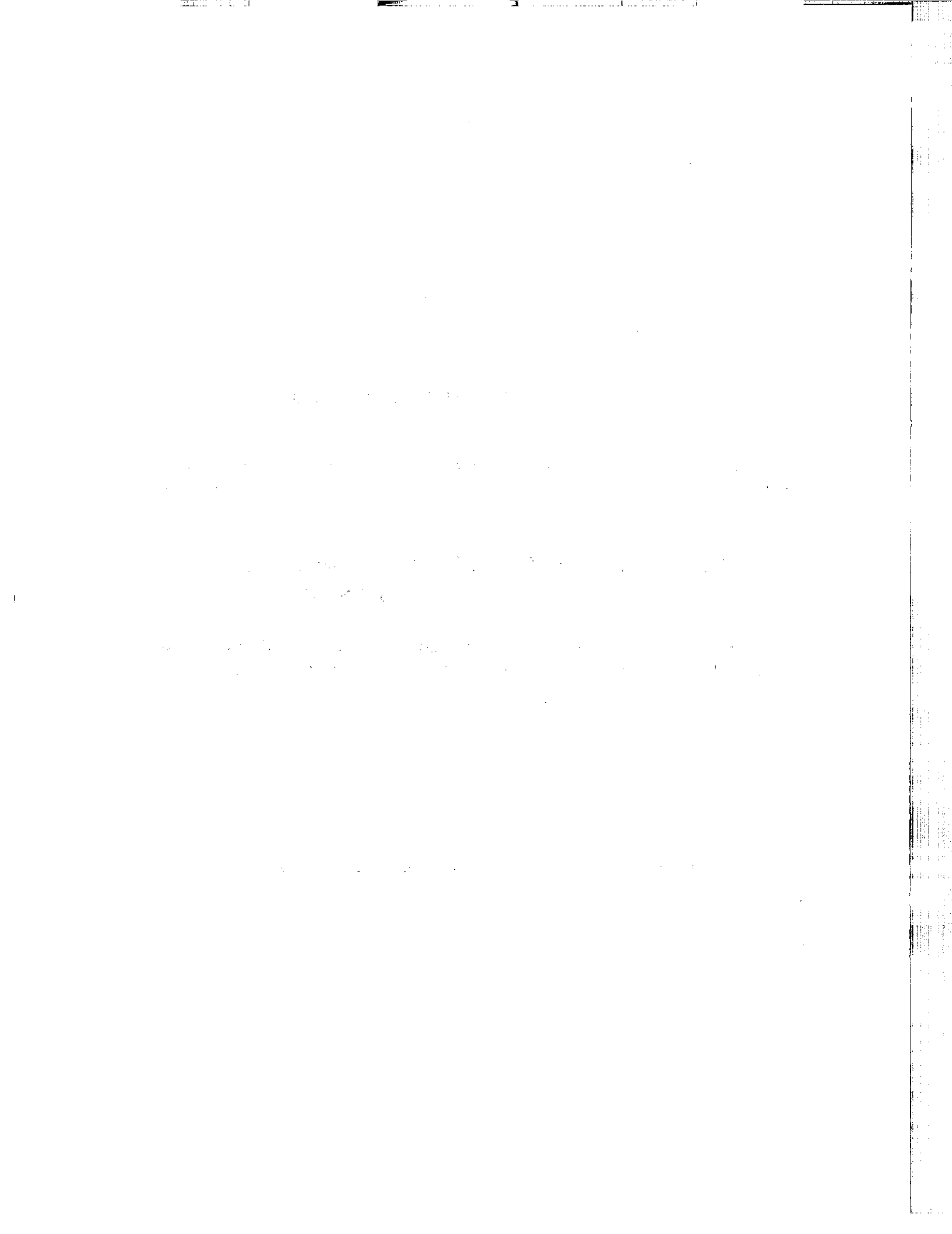
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**NORMAS Y PRUEBAS DE AISLAMIENTO
EN EQUIPO DE ALTA TENSION**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 15 de abril de 1,996 , Ref. EIME.095.96.



MARITZA DEL ROSARIO SANCHEZ LOPEZ



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL 1o. Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2o. Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o. Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o. Br. Fernando Waldemar de León Contreras
VOCAL 5o. Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López

**TRIBUNAL QUE EFECTUO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO: Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR: Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR: Ing. Carlos Fernando Rodas
EXAMINADOR: Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras
SECRETARIO: Ing. Francisco Javier González López



Guatemala,
13 de agosto de 1996

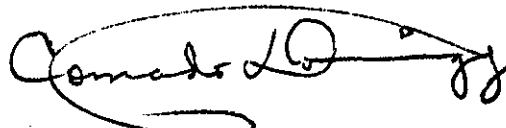
Ing. Angel J. García Martínez
Coordinador del Area de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

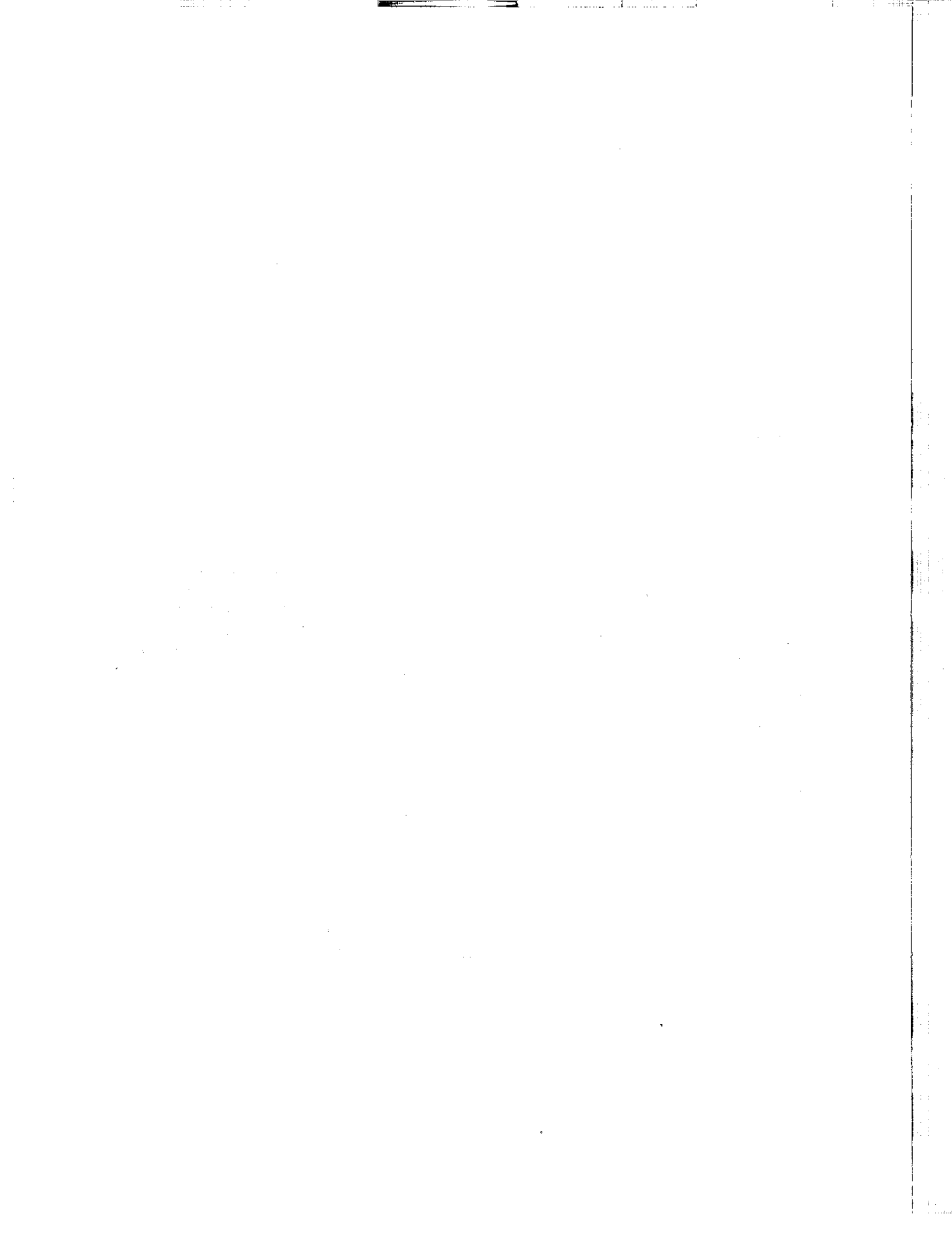
De la manera más atenta me dirijo a usted para informarle que, conjuntamente con la señorita Maritza del Rosario Sánchez López, he revisado el trabajo de tesis titulado **NORMAS Y PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN EQUIPO DE ALTA TENSION**, considerando que dicha investigación cumple con los objetivos planteados y que fue realizado con responsabilidad, doy mi aprobación para que sea considerado por usted.

El autor de esta tesis y el asesor se hacen responsables del contenido y conclusión de la misma.

Atentamente,



CONRADO ADOLFO GUINEA DOMINGUEZ
Ingeniero Electricista
Colegiado 1870





FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 19 de septiembre de 1,996

Señor Director
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director.

Me permito sugerir para su aprobación el trabajo de tesis desarrollado por la señorita Maritza del Rosario Sánchez López, titulado: Normas y pruebas de aislamiento en alta tensión, ya que considero que cumple los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Angel J. García Martínez
Coordinador Area de Potencia

AJGM/sdem.






FACULTAD DE INGENIERIA

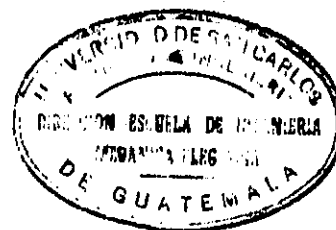
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis de la estudiante Maritza del Rosario Sánchez López, titulada: Normas y pruebas de aislamiento en alta tensión, procede a la autorización del mismo.


Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Director

Guatemala, 24 de septiembre de 1,996.







FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Normas y pruebas de aislamiento en alta tensión, de la estudiante Maritza del Rosario Sánchez López, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 30 de septiembre de 1,996.





TESIS QUE DEDICO

A Nuestro Padre Celestial

A MIS PADRES

Miguel A. Sánchez G.
Ma. del Rosario de Sánchez

A MIS HERMANOS

Miguel A. Sánchez L.
Alejandro Sánchez L.
Lidia Elena Sánchez L.

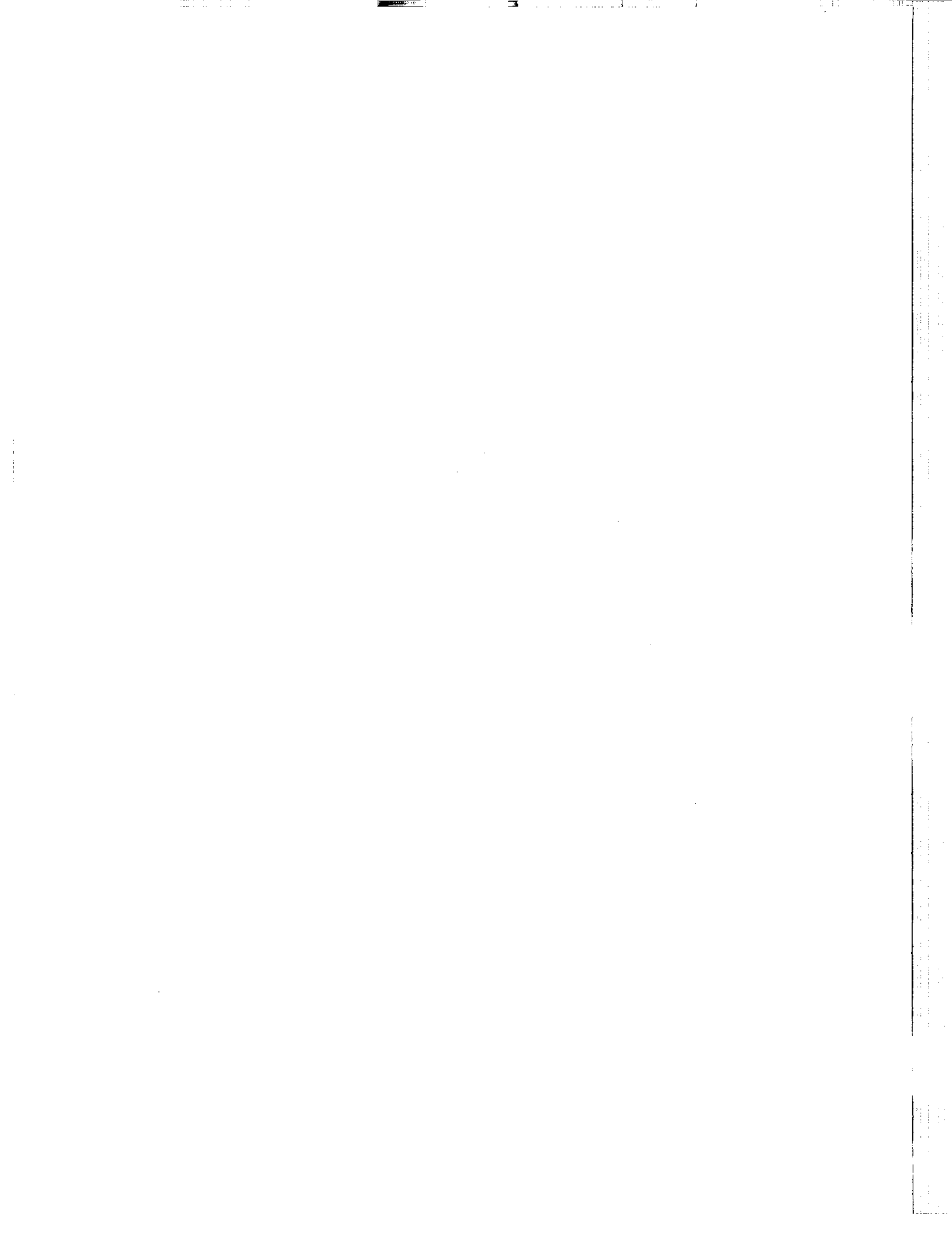
A MI NOVIO

José Manuel Carrillo A.

A TODOS MIS AMIGOS



**NORMAS Y PRUEBAS DE
AISLAMIENTO
EN EQUIPO DE ALTA TENSION**



INDICE

	Páginas
Glosario	i-ii
Introducción	iii-iv
Objetivos generales	v
CAPITULO I: TEORIA GENERAL DE MATERIALES AISLANTES	1-5
1.1 Sistemas de aislamiento	
1.2 Características de materiales aislantes básicos	
1.3 Clasificación de sistemas de aislamiento	
CAPITULO II: GENERALIDADES DE LAS PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE	6-15
2.1 Pruebas CA vrs. pruebas CD	
2.2 Pruebas de alto voltaje vrs. pruebas de medio voltaje	
2.3 Ley de Ohm y resistencia de aislamiento	
2.4 Corrientes dependientes del tiempo, presentes en la prueba del aislamiento	
2.5 Capacitancia del equipo a probar	
2.6 Pruebas de alto voltaje de corriente directa	
2.7 Efectos de la temperatura	
CAPITULO III: PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE CON CORRIENTE DIRECTA	
3.1 LA PRUEBA DE COMPROBACION	16-19
3.1.1 Cómo realizar la prueba de comprobación	

Páginas

- 3.1.2 Procedimientos que se deben seguir después de realizada la prueba de comprobación
- 3.1.3 Interpretación de resultados
- 3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO **20-25**
 - 3.2.1 Cómo realizar la prueba de resistencia de aislamiento
 - 3.2.2 Procedimientos que se deben seguir después de realizada la prueba de resistencia de aislamiento
 - 3.2.3 Corrigiendo la medición para considerar variaciones de temperatura
 - 3.2.4 Interpretación de información obtenida
- 3.3 LA PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION **26-31**
 - 3.3.1 Cómo realizar la prueba de índice de polarización
 - 3.3.2 Procedimientos que se deben seguir después de realizada la prueba de índice de polarización
 - 3.3.3 Interpretación de información obtenida
- 3.4 LA PRUEBA DE PASOS O ETAPAS DE VOLTAJE **32-37**
 - 3.4.1 Cómo realizar la prueba de pasos de voltaje

Páginas

3.4.2	Procedimientos posteriores a la prueba de pasos de voltaje	
3.4.3	Interpretación de información obtenida	
Apéndice A		38
Apéndice B		39
Apéndice C		40
CAPITULO IV:	NORMAS QUE RIGEN LAS PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA	41-62
4.1	Clases de aislamiento	
4.2	Cables	
4.3	Máquinas rotativas	
4.4	Transformadores	
4.5	Equipo de seccionamiento	
4.6	Ducto barras	
Anexo A		
Anexo B		
CAPITULO V:	PRUEBAS DE CAMPO	63-97
	Introducción	
5.1	Transformadores	
5.2	Ductos barras, barras y separadores	
5.3	Interruptor	
5.4	Cables	
5.5	Generador	
5.6	Bushings	

	Páginas
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98-102
Anexos	103-113
Bibliografía	114-115

GLOSARIO

Aislamiento eléctrico

Cualquier sustancia que presenta una conductividad tan baja que el flujo de corriente através de ella puede despreciarse. El flujo de corriente a través del aislamiento es llamado "corriente de fuga". La cantidad de corriente, que puede ser tolerada, determina que los materiales puedan ser utilizados como materiales aislantes.

Dieléctrico

Medio que tiene la propiedad de que la energía requerida para establecer un campo eléctrico, se puede recuperar parcialmente o en su totalidad como energía eléctrica. El establecimiento del campo es acompañado por corrientes de desplazamiento o carga.

Absorción dieléctrica

Propiedad de un dieléctrico imperfecto, por la cual se da una acumulación de cargas eléctricas dentro del cuerpo del material cuando éste es puesto en un campo eléctrico

Esfuerzo dieléctrico

Es el esfuerzo dieléctrico de un material aislante; es el gradiente de voltaje al que ocurre una falla eléctrica

Resistencia

Propiedad de un circuito eléctrico o de cualquier sustancia que puede ser usada como parte de un circuito eléctrico que determina, para cierta corriente dada, el rango promedio al cual la energía es convertida en calor.

Propiedad que presentan algunos materiales de oponer se al flujo de corriente a través de ellos.

Capacitancia

Medida de la cantidad de energía eléctrica que puede ser almacenada por un dieléctrico que se encuentra colocado entre dos placas con cargas eléctricas opuestas y sometidas a determinado potencial.

BIL (NBI, Nivel Básico de Impulso)

Resistencia de aislamiento que debe tener un equipo eléctrico para soportar sobretensiones. Su valor se establece en función de la tensión nominal de operación, de normas correspondientes y de los niveles de sobretensiones existentes en el sistema donde opera el equipo.

INTRODUCCION

A continuación, se procede a describir el trabajo de investigación **NORMAS Y PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN ALTA TENSION**. Con este trabajo, se busca dar soporte técnico a profesionales y técnicos que se encuentran trabajando constantemente con equipos de alta tensión, y que desean en determinado momento conocer bajo qué condiciones opera o será puesto en servicio el equipo.

Los lineamientos que se deben seguir en las pruebas de aislamiento de alto voltaje de corriente directa, que aquí se describen, no intentan reemplazar los manuales de los equipos suministrados por los fabricantes de equipos de prueba de aislamiento de alto voltaje. Este trabajo busca proveer de *información general útil* acerca de procedimientos de prueba que pueden ser usados como complemento de los manuales de instrucción del equipo.

Se describen, primeramente, las generalidades de los materiales aislantes frecuentemente utilizados en equipo de alta tensión; se hace mención de algunas de las normas que rigen las pruebas que se realizan al aislamiento haciendo énfasis siempre en equipo de alta tensión; se describen diferentes tipos de pruebas a las que puede ser sometido un aislamiento y finalmente se incluyen pruebas realizadas en el campo a determinado equipo de alta tensión. Se incluyen memorias de resultados de las pruebas realizadas, conclusiones y recomendaciones.

A pesar de que este trabajo da lineamientos de cómo realizar las pruebas y alguna referencia de su interpretación, no existen reglas generales para la interpretación de los resultados obtenidos; los significados varían con los diferentes tipos de aparatos y con la experiencia de quien realiza la prueba. La información de la prueba es una guía a la cual se debe añadir otra información, tal como:

- Historial previo del aparato; este registro de información permite establecer una *tendencia* en el comportamiento y condición del aislamiento a través del tiempo
- Resultados de una cuidadosa inspección visual
- Comparación con otros aparatos similares
- Recomendaciones de fabricantes
- Otras especificaciones que puedan ser relevantes

El evaluar información puede permitir tomar decisiones, tales como:

- Regresar el aparato a servicio hasta la próxima rutina de mantenimiento y prueba
- Regresar el aparato a servicio pero realizar reparaciones o reemplazos tan pronto como sea conveniente
- Reparar y/o limpiar y secar el aparato y repetir la prueba
- Reemplazar el aparato

Aunque se requiere por supuesto de una ilimitada cantidad de información adicional disponible en pruebas de alto voltaje, se espera que este trabajo de investigación proporcione una idea de los lineamientos que se deben seguir en las técnicas de pruebas de alto voltaje. Para mayor información, consultar la lista de referencias bibliográficas que se encuentran al final de este trabajo.

OBJETIVOS GENERALES

- a.- Conocer algunas normas y procedimientos de pruebas de aislamiento que se pueden realizar a un equipo en alta tensión, para determinar su condición antes de ser energizado o para continuar en servicio

- b.- Dar soporte técnico para verificar si una falla ocurrida en el equipo de alta tensión se debió a un aislamiento dañado o a otra causa



CAPITULO 1

**TEORIA GENERAL DE
MATERIALES AISLANTES**



CAPITULO I

TEORIA GENERAL DE MATERIALES AISLANTES

Cada cable eléctrico, motor, generador, interruptor, transformador, etc. que se usa comúnmente en el campo de la electricidad, está cubierto o soportado con alguna forma de aislamiento eléctrico.

El mantenimiento de los aparatos eléctricos, es principalmente el mantenimiento del aislamiento. Por ejemplo, los reguladores, instrumentos y circuitos de interruptores, solamente requieren ajustes, y pueden seguir en operación hasta que se programe un paro para hacer reparaciones o reemplazos. Cuando el aislamiento falla, inmediatamente se para todo; lo último que puede esperarse que ocurra es que el aislamiento falle.

1.1 SISTEMAS DE AISLAMIENTO

El envejecimiento del aislamiento aumenta su vulnerabilidad a diversos factores degradadores.

El aislamiento eléctrico de un equipo está hecho de diferentes componentes seleccionados para resistir un extensa gama de diferentes esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos que ocurren en diferentes partes del aparato. El tiempo que un sistema de aislamiento estará en servicio dependerá de la efectividad del soporte físico del aislamiento, de la severidad de las fuerzas que actúan en él, así como de los materiales y el ambiente en que éste está trabajando. La duración de la vida útil del sistema de aislamiento depende, además, de la forma en que sus componentes individuales son dispuestos, su interacción, la contribución de cada componente a la integridad eléctrica y mecánica del sistema, y a la forma en que el equipo esté diseñado, fabricado y es usado.

FUNCIONES DE LOS MATERIALES AISLANTES

Los materiales aislantes sólidos tienen dos propiedades:

- a.- Tienen la habilidad de resistir esfuerzos mecánicos o eléctricos debidos a los voltajes que se trabajan
- b.- Son conductores pobres de corriente

Consecuentemente, un sistema de aislamiento práctico deberá contener materiales que tengan las siguientes propiedades:

- a.- La habilidad de resistir altos voltajes que se presenten al estar trabajando en servicio normal (esfuerzos dieléctricos). Estos incluyen los voltajes de impulso así como los voltajes transitorios
- b.- La habilidad de resistir esfuerzos mecánicos y térmicos (calor), los cuáles se hacen presentes al darse un cortocircuito
- c.- La habilidad de prevenir la acumulación excesiva de calor (transferencia de calor)
- d.- Que mientras se les dé un mantenimiento adecuado, tengan la habilidad de mantener sus características para un período de tiempo aceptable

El deterioro del aislamiento esta relacionado con la pérdida de su resistencia a esfuerzos dieléctricos, mecánicos o a pruebas de impulso.

1.2 CARACTERISTICAS DE MATERIALES AISLANTES BASICOS

Celulosa

EL aislamiento a base de celulosa y el aceite de naturaleza mineral siguen siendo los sistemas de aislamiento eléctricos y mecánicos más fuertes, principalmente en el campo de los transformadores.

Algunas de las características y beneficios del uso de materiales de fibra de papel (celulosa) en los sistemas de aislamiento son:

- Disponibilidad y bajo costo
- La facilidad con que puede ser aplicados
- Flexibilidad y simplicidad en el manejo y maleabilidad cuando la temperatura de trabajo no es muy alta
- Resistencia moderada
- Facilidad de absorción

Los aislamientos a base de celulosa raramente son utilizados sin un secado inicial y una impregnación con un segundo material aislante. La capacidad de impregnación es básica para que el sistema de aislamiento sea efectivo. Algunas razones para utilizar estos segundos materiales son:

- Mantener alta estabilidad dieléctrica y química (consolidación mecánica) con componentes de fibra húmedos
- Sellar los materiales de celulosa para evitar la absorción de humedad
- Llenar vacíos evitando que aparezcan bolsas de aire en el aislamiento de alta tensión que pudieran ser causa de una falla dieléctrica
- Prevenir el contacto con oxígeno

CRITERIOS PARA SELECCIONAR AISLAMIENTOS DE PAPEL:

Los factores más determinantes son:

- Resistencia mecánica: los fabricantes han considerado que un buen factor para determinar el deterioro del aislamiento es la medición de resistencia mecánica; aunque están en desacuerdo que ésta sea el mejor criterio que se tenga para evaluar la resistencia (estabilidad térmica) de un papel aislante
- Densidad (solidez)
- Impermeabilidad y porosidad
- Uniformidad: la resistencia mecánica dependerá del tipo de fibra
- Características eléctricas: bajas pérdidas dieléctricas y un factor de potencia bajo

Fibras de vidrio:

Los paños y cintas de fibra de vidrio son ampliamente usados en aislamientos eléctricos especialmente en aplicaciones de alta temperatura.

Los aislamientos de fibra de vidrio, ofrecen sobresalientes ventajas en sus características eléctricas, entre ellas su alta resistencia de aislamiento, además tienen alta resistencia térmica y química, buena elasticidad, etc.

La fibra de vidrio tiene una resistencia abrasiva pobre. El uso de barnices puede incrementar esta resistencia.

Textiles y telas sintéticas:

Térmicamente, estos materiales quedan clasificados entre las fabricaciones de vidrio y de celulosa y dependen del material recubridor o impregnante más que de sus propias características de su esperanza de vida.

Esta clasificación incluye poliéster y nylons aromáticos. Estos materiales se caracterizan por una alta estabilidad térmica, resistencia a los solventes y la carencia de fusibilidad. Estos materiales son usados en ranuras, cintas de conductores y capas de aislamientos de transformadores.

Mica:

La mica es extraída en forma de grandes cristales. Este material se trabaja fácilmente en fuertes láminas. Sus características eléctricas: alto esfuerzo dieléctrico, alta resistencia de aislamiento, bajas pérdidas dieléctricas o factor de potencia (2% a 5%), excelente flexibilidad, etc.

Plásticos laminados:

Los plásticos rígidos laminados hechos de resinas impregnados de fibra, cintas, papel o filamentos de vidrio y filamentos de poliéster son usados como materiales aislantes. Entre sus características eléctricas tenemos su alta resistencia de aislamiento, alta resistencia a esfuerzos dieléctricos, un índice de absorción de humedad bajo, etc.

Resinas sintéticas:

Usadas en la fabricación de barnices. Las funciones de los barnices aislantes es proteger la fibra del aislamiento (papel, madera, etc.) de esfuerzos mecánicos o humedad, además de incrementar la transferencia de calor.

Barnices y resinas solventes:

Los barnices aislantes y las resinas solventes son ampliamente usadas en el mantenimiento de equipo eléctrico. Entre sus principales funciones están:

- Incrementa la vida de otros materiales aislantes
- Buenas características térmicas y eléctricas en comparación a otros componentes aislantes
- Protege el aislamiento y los devanados contra humedad y otro tipo de contaminación
- Mejora la disipación de calor llenando los vacíos
- Provee de áreas más fáciles de limpiar

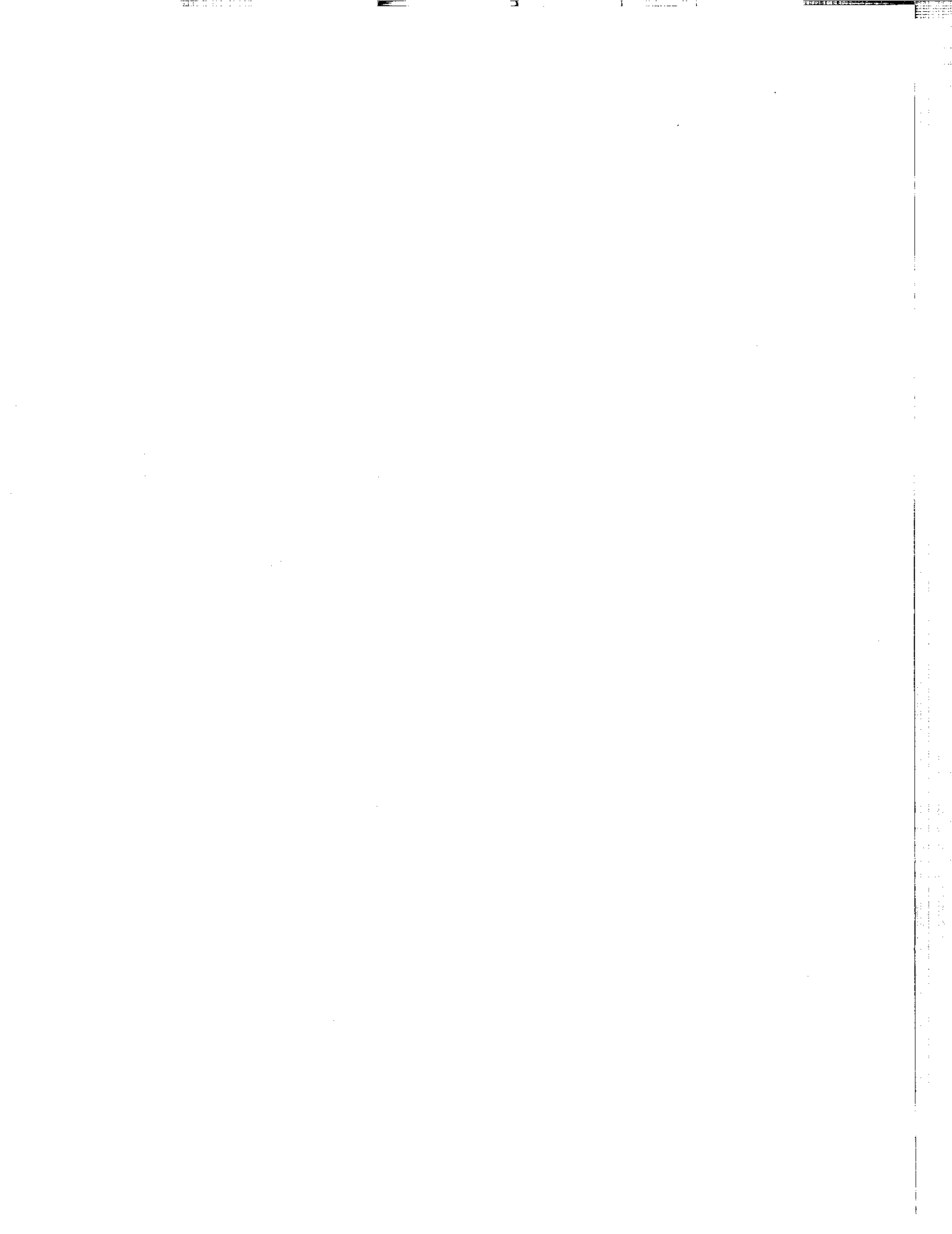
Además de los materiales descritos, existen materiales aislantes líquidos, de los cuales no se hará mención alguna, por haber sido estudiados específicamente en trabajos de tesis anteriores.¹⁾

1.3 CLASIFICACION DE SISTEMAS DE AISLAMIENTO

Un sistema de aislamiento es una reunión de materiales aislantes en asociación con conductores y partes estructurales de soporte de un equipo. Los sistemas de aislamiento son divididos en clases de acuerdo con la resistencia térmica que presentan a diferentes temperaturas. Consultar normas ANSI C50.32 1976.

Los sistemas de aislamiento son clasificados como sigue: clase A, clase B, clase F, clase H, etc. Un determinado sistema de aislamiento es aquel que por experiencia o por pruebas realizadas puede mostrar tener una resistencia térmica adecuada cuando opera a una temperatura límite correspondiente a esta clase de aislamiento; esta temperatura se especifica en tablas estándares.

1) RIVERA CANEK, Francisco Javier. Características Eléctricas y procesos regenerativos de aceites dieléctricos para equipo eléctrico de potencia. (tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos) Guatemala, 1990.



CAPITULO 2

**GENERALIDADES DE LAS
PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE**



CAPITULO II

GENERALIDADES DE LAS PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE

En este capítulo, se encontrará información que ayudará a decidir:

- Cuándo es mejor usar una prueba de alto voltaje de corriente alterna, que una prueba de alto voltaje de corriente directa
- Cuándo es mejor usar una prueba de alto voltaje de corriente directa, que una de medio voltaje siempre con corriente directa
- Cuál de las pruebas de alto voltaje de corriente directa es la apropiada para el equipo que se desea someter a prueba

Además, se describen conceptos que están directamente relacionados con las pruebas de alto voltaje de corriente directa.

2.1 PRUEBAS C-A versus PRUEBAS C-D

Se debe conocer la diferencia entre pruebas de CA y las pruebas de CD. Una de las diferencias, que se puede encontrar, es que al realizar pruebas con CD, aunque la corriente de conducción o de fuga es la que da la información que realmente se necesita, se hacen presentes varias corrientes; similares corrientes se obtienen con las pruebas de CA, aunque aquí la corriente de carga es mayor y es permanente, y la corriente de fuga es relativamente menor.

Las pruebas con CA son usadas frecuentemente para pruebas de alto potencial. En estas pruebas, el voltaje es elevado a cierto punto específico para ver si el aislamiento puede mantenerse a ese voltaje en particular sin presentar daño. Este tipo de prueba puede ayudar a determinar si se continúa trabajando bajo las condiciones que se tienen o si se hacen algunos cambios. Otra diferencia es que estas pruebas con CA pueden causar deterioro en el aislamiento, en contraste con las pruebas de CD que son básicamente no destructivas.

Si se ha realizado una prueba de voltaje de CA y se quiere usar una prueba de CD como alternativa, para obtener resultados equivalentes, se necesitará elevar al máximo el voltaje CD de la prueba.

Cuando se hacen pruebas de CA y se hace llegar el voltaje hacia el valor seleccionado, el equipo pasa o no pasa la prueba. Con las pruebas de CD, se obtiene un panorama más cualitativo que con las pruebas anteriores, ya que se puede medir la corriente de fuga mientras se eleva el voltaje y obtener valores específicos de resistencia de aislamiento.

Conforme el tamaño del equipo aumenta, existen además marcadas ventajas de las pruebas de CD sobre las pruebas de CA. Con las pruebas de CA mientras más se aumenta el voltaje, el costo y el equipo utilizado se incrementa mucho más rápido que el equipo necesario para pruebas de CD. Ello se debe a que el equipo de pruebas de CA debe suministrar la corriente de carga, que en máquinas grandes, llega a ser y permanece alta. En pruebas de CD, esta corriente cae rápidamente después del período inicial de carga.

Los equipos de prueba de CD son empleados casi exclusivamente para mantenimientos de alto voltaje y pruebas de campo por las siguientes razones:

1. Bajo costo
2. Peso ligero
3. Tamaño pequeño
4. No destructivos
5. Mejor información en calidad y cantidad

2.2 PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE CD vrs. PRUEBAS DE MEDIO VOLTAJE CD

Existen dos métodos comunes de probar el aislamiento con equipo de alto voltaje: pruebas de alto voltaje con corriente directa, las cuales miden la corriente que fluye a través del aislamiento a 5,000 voltios y arriba de este valor, y las pruebas de medio voltaje que miden la resistencia de aislamiento hasta de los 5,000 voltios (usando un medidor de aislamiento)

La prueba de alto voltaje de CD es superior a la prueba de medio voltaje porque esta prueba fuerza el aislamiento arriba del voltaje de trabajo, y da mayor información acerca de la condición actual del aislamiento y ayudando a predecir problemas antes de que ocurra una falla. Cuando se realiza una prueba de alto voltaje con CD, se pueden determinar con más confiabilidad las condiciones en que se encuentra el equipo. Estas pruebas son más complicadas de realizar, por lo que cuestan más que las pruebas de medio voltaje.

Las pruebas de medio voltaje usualmente prueban el aislamiento a un nivel más bajo que el voltaje de trabajo, por lo que no pueden detectar algunos problemas con el aislamiento.

El estar consciente de la importancia y consecuencias que pueden darse al presentarse una falla en el equipo estando éste en servicio, permitirá discernir si usar una prueba de alto voltaje o una de medio voltaje. Una ventaja de las pruebas de medio voltaje es que son fáciles de realizar y menos costosas que las de alto voltaje.

2.3 LEY DE OHM Y RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La ley de Ohm es usada para mostrar la relación entre la corriente, voltaje y resistencia:

$$I = V/R \text{ (o } V = I \cdot R \text{ o } R = V/I) \quad (2.1)$$

donde: I= corriente en amperios
 V= voltaje en voltios
 R= resistencia en ohmios

Si se conoce el voltaje aplicado y la corriente medida en el equipo de pruebas, se puede calcular la resistencia de aislamiento.

La lectura de corriente obtenida del equipo de pruebas generalmente estará en microamperios. Entonces, si se tiene la lectura de voltaje en voltios, la medición de resistencia de aislamiento será:

$$\text{Resistencia de aislamiento} = \frac{\text{Lectura del voltímetro}}{\text{Lectura del medidor de corriente}} \quad (2.2)$$

donde:
La resistencia de aislamiento estará en Megaohms
Voltaje medido en voltios
Lectura de corriente en micro-amperios

2.4 CORRIENTES DEPENDIENTES DEL TIEMPO PRESENTES EN LA PRUEBA DEL AISLAMIENTO

Cuando se prueban algunos tipos de equipos, las corrientes dependientes del tiempo hacen que las lecturas del medidor

cambien a lo largo de un período de tiempo, haciendo imposible obtener una lectura exacta en un período de tiempo razonable. Este problema puede ser solucionado utilizando una prueba, que no dependa de una lectura individual. Antes de que se hable sobre las pruebas, es necesario explicar las corrientes dependientes del tiempo que se presentan al realizar pruebas de aislamiento.

Referirse a la figura (1).

LA CORRIENTE TOTAL (A) es el valor que se leerá en el medidor del equipo de pruebas. La corriente total es una composición de tres corrientes: la corriente de fuga (B), la corriente capacitiva (C) y la corriente de absorción (D).

LA CORRIENTE DE FUGA (B) rápidamente alcanza un valor constante y luego no cambia. La resistencia de los materiales aislantes no es infinita, por lo que existe una corriente permitida en ellos que no cambia sus características de material aislante. **ESTA ES LA CORRIENTE QUE SE DESEA MEDIR.**

LA CORRIENTE CAPACITIVA (C) es causada por la carga de la capacitancia de la unidad bajo prueba. Corriente que empieza en un valor alto y posteriormente disminuye casi a cero.

LA CORRIENTE DE ABSORCION (D) es la corriente que es absorbida por el aislamiento cuando ocurren algunos cambios en la estructura molecular de algunos materiales. Esta perdura por un período de tiempo variable. En algunos casos, esta cae a cero en algunos segundos, pero en otros ésta puede permanecer por horas.

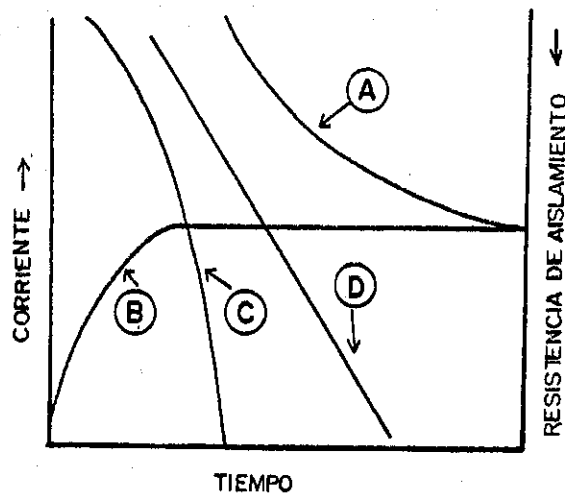


FIGURA 1

LAS CORRIENTES DEPENDIENTES DEL TIEMPO PRESENTES AL REALIZAR PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE CON CORRIENTE DIRECTA

Cuando la corriente capacitiva (C) y la corriente de absorción (D) han caído casi a cero, la corriente total y la corriente de fuga son la misma.

Debido a que sólo se puede medir la corriente total en el medidor, la corriente de fuga no se puede medir hasta que la corriente capacitiva y la corriente de absorción hayan caído. En otras palabras, sólo se puede medir la verdadera corriente de fuga cuando la lectura del medidor llega a ser constante.

Las corrientes dependientes del tiempo causan problemas cuando se está midiendo el aislamiento en equipo de alta capacitancia. Estas corrientes no son significativas en equipos de baja capacitancia. Es por esta razón, que se usan diferentes métodos de prueba para equipos de alta y baja capacitancia. Lo descrito anteriormente hace necesario que se conozca la capacitancia aproximada del equipo al que le va a hacer la prueba.

2.5 CAPACITANCIA DEL EQUIPO QUE SE VA PROBAR

BAJAS CAPACITANCIAS

Si se está probando equipo de baja capacitancia, la corriente capacitiva y la de absorción, ambas corrientes dependientes del tiempo, probablemente decaigan a cero rápidamente. En equipo de baja capacitancia, se puede medir la verdadera resistencia de aislamiento con una prueba simple de aislamiento, ya que la lectura del medidor llegará a ser constante casi inmediatamente.

Los sistemas de barras de alto voltaje e interruptores son algunos ejemplos de equipo de baja capacitancia.

ALTA CAPACITANCIA

Equipos grandes con sistemas de aislamiento complejos (generadores grandes, longitudes de cable grandes, motores, etc.), son equipo de alta capacitancia. Con esta clase de aparatos, especialmente cuando tienen sistemas de aislamientos basados en papel, hule o aislamiento (EPR), la corriente capacitiva permanecerá un gran período de tiempo y la corriente de absorción puede continuar por horas. En estos casos, no se podrá obtener una lectura de medidor constante o usar una prueba simple de aislamiento. En lugar de ello, se recomienda usar una prueba que establezca una tendencia entre lecturas, tal como la prueba de índice de polarización o la prueba de pasos de voltaje, descritas en el capítulo 3 de este trabajo.

Si no se tiene seguridad de la capacitancia del equipo bajo prueba y esta unidad está disponible para realizarle una prueba de aislamiento simple, una forma rápida de averiguar si existe un problema, es realizar una prueba de aislamiento a mediano voltaje (500 a 5,000 voltios) con un Megger de aislamiento. Si esta prueba da una lectura constante en un minuto o menos, entonces las corrientes dependientes del tiempo no serán un problema en la prueba de alto voltaje.

Si la prueba de mediano voltaje toma mucho más tiempo que un minuto para estabilizarse, se tendrá que seguir con la prueba hasta obtener una lectura que sea constante o se realizará una prueba de alto voltaje, tal como la prueba de índice de polarización o como la prueba de pasos de voltaje, referirse al capítulo 3 de este trabajo.

Después de hacer la prueba, dejar cortocircuitado el equipo que se midió de 5 a 10 veces el tiempo que haya sido aplicado el voltaje de prueba ¹⁾. La corriente de absorción, corriente D en la figura 1, es reversible. La energía absorbida por la polarización que se da en la estructura molecular del dieléctrico, es la que causa que el voltaje reaparezca en los electrodos o platos del dieléctrico después de que la energía almacenada, resultante de la capacitancia del dieléctrico ha sido disipada por un cortocircuito y el cortocircuito ha sido removido.

- 1) Ver recomendaciones de tiempos de aterrizaje en la norma ANSI/IEEE Std. 95-1977

2.6 PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA

Se podrá escoger entre algunos de los siguientes cuatro métodos de prueba. Cada prueba se describe con detalle en capítulos posteriores.

...LA PRUEBA DE COMPROBACION...

En esta prueba, simplemente se conecta el equipo de medición al aislamiento que se desea probar, se aplica el voltaje de prueba y se monitorea la lectura de salida del equipo de medición. La prueba de comprobación indica la condición del aislamiento bajo altas condiciones de esfuerzos; esto es mientras se realiza la prueba, pero no provee información o datos de diagnóstico que puedan ser almacenados para futuras pruebas. Esta prueba es fácil y rápida de ejecutar.

...LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO...

La prueba de resistencia de aislamiento consiste en aplicar un determinado voltaje de prueba y tomar sucesivas lecturas a específicos intervalos de tiempo y observar la tendencia del comportamiento del aislamiento. Esta prueba puede ser empleada en equipo con baja capacitancia. Si el voltaje de prueba está por encima del voltaje normal de trabajo, la prueba de resistencia de aislamiento es similar a la prueba de comprobación, excepto que esta prueba, da un valor de resistencia que puede ser usado para comparar resultados con pruebas que se realicen en un futuro.

...LA PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION...

La prueba de índice de polarización se utiliza para probar el aislamiento en equipo de alta capacitancia. En esta prueba, se aplica el voltaje de prueba y se mide la relación de resistencia entre dos lecturas tomadas al inicio y final de un intervalo de diez minutos. Es decir, se toman lecturas al minuto 1 y al minuto 10. Estas mediciones pueden ser hechas antes de que la corriente dependiente del tiempo decaiga.

Debido a que en los equipos de baja capacitancia las corrientes dependientes del tiempo decaen casi inmediatamente; las lecturas obtenidas en la prueba de índice de polarización no son significativas ya que serán casi las mismas y la relación será aproximadamente igual a 1.

...LA PRUEBA DE PASOS O ETAPAS DE VOLTAJE...

La prueba de pasos de voltaje es la mejor manera de probar el aislamiento en equipo de alta capacitancia. Esta prueba es similar a la prueba de índice de polarización con la diferencia de que se toman varias mediciones en el intervalo de tiempo en que se realiza la prueba y el voltaje aplicado es diferente en cada subintervalo, va en aumento. Estas lecturas pueden ser ploteadas en papel gráfico para obtener una curva de resistencia de aislamiento o de mediciones de la corriente de fuga (ANSI/IEEE Std. 95-1977). Es por esta razón, que esta prueba tiende a convertirse en un mejor registro para hacer comparaciones de pruebas que se realicen en el futuro. Se requiere de considerables cuidados en su aplicación para obtener buenos resultados.

La prueba de pasos de voltaje, así como el índice de polarización, no son las pruebas más adecuadas para trabajar con equipo de baja capacitancia, ya que las lecturas que se toman en cada intervalo serán casi las mismas, y no se podrá establecer una curva.

Anotaciones importantes:

Quando se está probando aparatos trifásicos, se tienen dos opciones:

- 1.- Se pueden conectar las tres terminales de línea juntas y tratar el equipo bajo prueba como si fuera un equipo monofásico
- 2.- Se puede probar cada fase a tierra y trabajar como si fueran tres pruebas separadas

De estas dos opciones, la mejor es probar cada fase separadamente, ya que así se puede comparar los resultados obtenidos de cada prueba (ANSI/IEEE Std.95-1977 y ANSI/IEEE Std. 400-1980). En un buen aislamiento, las lecturas de las tres pruebas deben registrar valores similares. Deterioros en el aislamiento, es decir, que las existencias de puntos débiles, hacen que los resultados de cada prueba realizada en las tres fases sean diferentes.

Algunos tipos de deterioros en el aislamiento (por ejemplo, humedad o contaminación) pueden afectar de igual manera las tres fases, pero una amplia variación en las lecturas de las tres fases es siempre una causa para preocuparse.

Después de ser instalado el equipo o de habersele realizado un mantenimiento de rutina, es recomendable someterlo a pruebas de alto voltaje para verificar que el aislamiento del equipo se encuentra en condiciones de ser puesto en operación o de continuar en servicio.

Si se realizan pruebas rutinariamente y se mantiene un registro de los resultados obtenidos, se podrá mantener una guía de la condición actual y deterioro del aislamiento del equipo sometido a prueba. Debe hacerse un balance entre el costo que conlleva realizar estas pruebas periódicamente y las pérdidas que se pueden tener al momento de que el equipo falle y se saque de operación.

2.7 EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de los materiales aislantes disminuye notablemente con el incremento de la temperatura. Sin embargo, las pruebas descritas donde se relaciona tiempo, resistencia y voltaje son relativamente independientes de los efectos de la temperatura, que permiten obtener valores relativos al realizarse las pruebas.

Si se desean hacer comparaciones entre lecturas obtenidas, se tendrán que corregir las lecturas a una temperatura base, 20°C, o tomar todas las lecturas casi a una misma temperatura. Aquí se incluyen algunas guías generales para considerar correcciones por efectos de la temperatura.

Una regla empírica enuncia que por cada incremento de 10°C sobre la temperatura de referencia, se debe dividir la resistencia de referencia entre dos, o por cada 10°C de disminución, se debe duplicar la resistencia que se tenga a la temperatura de referencia para tomar ese valor como referencia del valor que se espera obtener en la medición. Por ejemplo, una resistencia de 2 megohms a 20°C se reduce a 1/2 megohm a 40°C.

Cada tipo de material aislante tendrá un diferente grado de cambio de resistencia con la temperatura. Se han desarrollado factores que permiten simplificar las correcciones de los valores de resistencia por efectos de la temperatura. La tabla I incluye algunos factores aplicables a equipo rotatorio, transformadores y cables. Para usar esta tabla, se debe multiplicar la lectura obtenida por el factor correspondiente a la temperatura a la cual se efectuó la medición.

Por ejemplo, asumir que se tiene un motor con aislamiento clase A y que obtiene una lectura de 2 megohms a la temperatura (en los devanados) de 104°F (40°C). De la tabla I, se lee a través de 104°F a la siguiente columna (para clase A) para obtener el factor de corrección de 4.80. Su valor corregido de resistencia es entonces:

$$\begin{array}{rcl}
 2.0 \text{ megohms} & \times & 4.80 & = & 9.6 \text{ megohms} \\
 \text{(lectura a } 104^{\circ}\text{F)} & & \text{(Factor de} & & \text{(lectura corregida para} \\
 & & \text{corrección para} & & \text{68}^{\circ}\text{F o } 20^{\circ}\text{C)} \\
 & & \text{Aislamiento clase} & & \\
 & & \text{A a } 104^{\circ}\text{F)} & &
 \end{array}$$

Nótese que la resistencia es casi 5 veces más grande a 68°F (20°C), que la lectura obtenida a 104°F.

La temperatura de referencia para el cable es 60°F (15.6°C), el punto más importante es ser consistente y corregir las lecturas a la misma temperatura base.

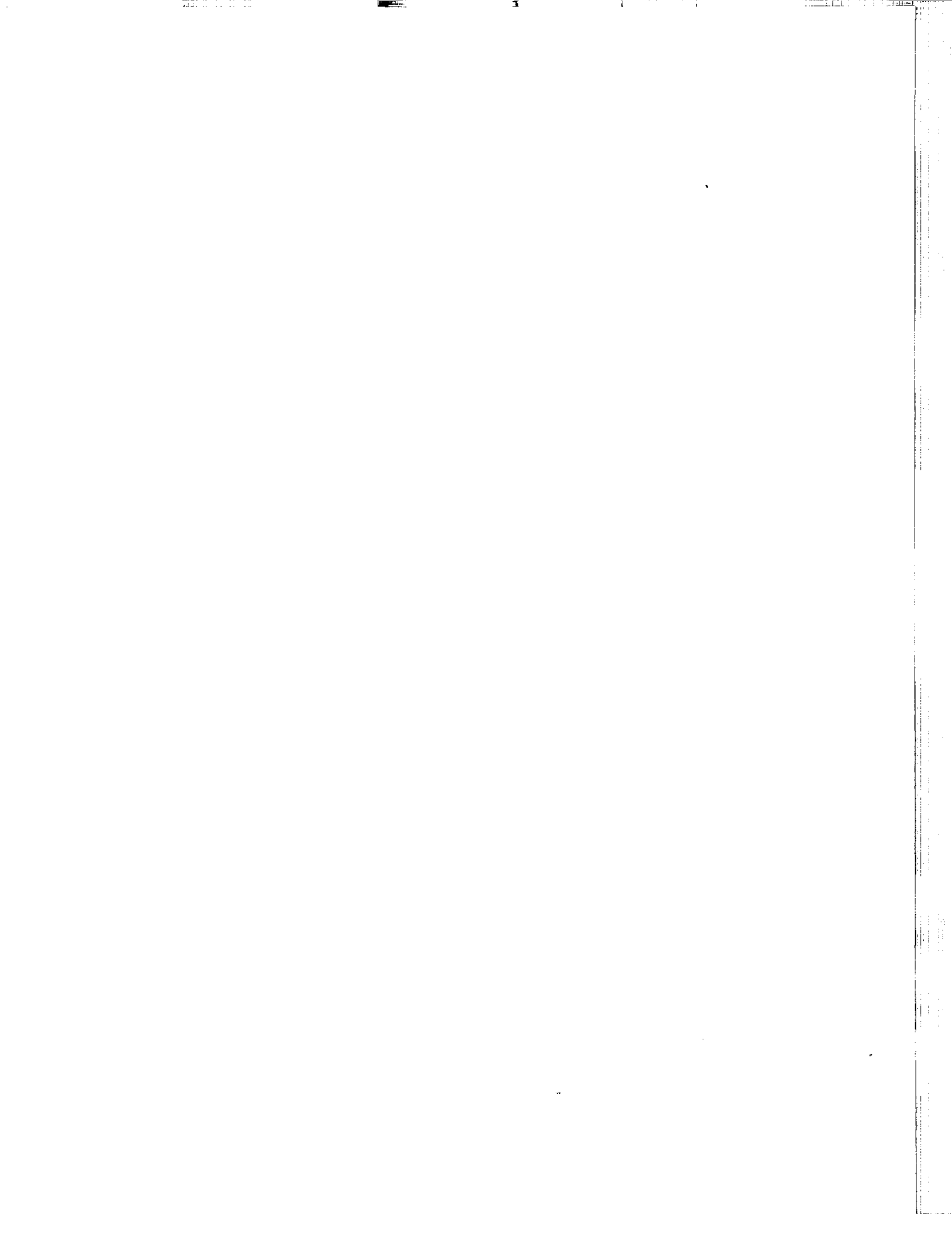
Anotaciones importantes:

- Es importante que al realizar mediciones de corrientes de fuga en pruebas de alto voltajes de CD, se considere la temperatura, ya que ésta tiene efecto directo en la condensación de humedad y suciedad en la superficie del aislamiento. Debido a que la resistencia de aislamiento y la relación de absorción dieléctrica varían con la temperatura, para realizar mediciones más exactas y poder compararlas, se recomienda trabajar a una temperatura constante. Otros factores que afectan las mediciones son: suciedad en los devanados de los equipos sometidos a prueba, barnices, disposición de rotores, etc.

Tabla No.1
FACTORES DE CORRECCION DE TEMPERATURA *

Temperatura oC	oF	Maquinas Rotativas		Trafos. llenos de aceite		Código Natural	Código GR-S	Funcionamiento Natural	Resistencia de calor natural	Resistencia de calor & funcionamiento nat.	Resistencia de ozono natural GR-S	CABLES	
		Clase A	Clase B	Clase B	Clase B							Varnizados	Papel Impregnado
0	32	0.21	0.4C	0.25	0.25	0.12	0.12	0.47	0.42	0.22	0.14	0.10	0.28
5	41	0.31	0.5C	0.36	0.40	0.23	0.23	0.60	0.56	0.37	0.26	0.20	0.43
10	50	0.45	0.63	0.50	0.61	0.46	0.46	0.76	0.73	0.58	0.49	0.43	0.64
15.6	60	0.71	0.81	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	68	1.00	1.0C	1.00	1.47	1.83	1.83	1.24	1.28	1.53	1.75	1.94	1.43
25	77	1.48	1.2E	1.40	2.27	3.67	3.67	1.58	1.68	2.48	3.29	4.08	2.17
30	86	2.20	1.5E	1.98	3.52	7.32	7.32	2.00	2.24	4.03	6.20	8.62	3.20
35	95	3.24	2.0C	2.80	5.45	14.60	14.60	2.55	2.93	6.53	11.65	18.20	4.77
40	104	4.80	2.5C	3.95	8.45	29.20	29.20	3.26	3.85	10.70	25.00	38.50	7.15
45	113	7.10	3.15	5.60	13.10	54.00	54.00	4.15	5.08	17.10	41.40	81.00	10.70
50	122	10.45	3.8E	7.85	20.00	116.00	116.00	5.29	6.72	27.85	78.00	170.00	16.00
55	131	15.50	5.0C	11.20				6.72	8.83	45.00		345.00	24.00
60	140	22.80	6.3C	15.85				8.58	11.62	73.00		775.00	36.00
65	149	34.00	7.9C	22.40					15.40	118.00			
70	148	50.00	10.00	31.75					20.30	193.00			
75	167	74.00	12.60	44.70					26.60	313.00			

* Corregidos a 20 oC para equipo rotatorio y transformadores. 15.6 oC para cables



CAPITULO 3

**PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE
CON CORRIENTE DIRECTA**



CAPITULO III

LA PRUEBA DE COMPROBACION

La prueba de comprobación es una prueba relativamente rápida y barata que sirve para probar equipo de cualquier capacitancia. Los resultados obtenidos permiten establecer si el equipo está o no en condiciones de trabajar.

- Si el aislamiento está en buenas condiciones, el aparato no presentará falla al realizar la prueba de comprobación
- Si el aislamiento se encuentra pobre o débil, el aparato puede presentar falla

Quando se realiza la prueba de comprobación, no es posible:

- Medir la resistencia de aislamiento
- Registrar la información
- Hacer comparaciones con pruebas anteriores

La prueba de comprobación no proporciona información que ayude a predecir una falla futura en el equipo sometido a prueba.

Las instrucciones que se describen para realizar la prueba de comprobación, detallan métodos básicos que deben considerarse al realizar otras pruebas.

3.1 COMO REALIZAR LA PRUEBA DE COMPROBACION

- Aplicar el voltaje de prueba de CD desde cero hasta el valor establecido en un tiempo de 30 a 60 segundos, a través de incrementos uniformes. Esta prueba generalmente se realiza cerca del voltaje normal de trabajo y con una duración de un minuto. El tiempo empieza a contar a partir de que se alcance el valor de voltaje deseado (norma ANSI/IEEE Std.95-1977). Si se desconocen los voltajes a ser aplicados, se debe consultar tablas estándares o al proveedor del equipo
- Incrementar el voltaje muy rápido puede generar irrupciones de voltajes transitorios u oscilaciones que pueden causar esfuerzos innecesarios y posibles fallas del equipo sometido a prueba

- Mantener el voltaje en un período de tiempo de 1 a 10 minutos como establecen generalmente los fabricantes del equipo o los estándares internacionales. Monitorear la lectura de salida del voltímetro. Posteriormente a ello, reducir el voltaje a cero
- Apagar inmediatamente el equipo de pruebas si se tiene un flameo. Los flameos causan una sobrecorriente que puede causar un disparo en el equipo de pruebas. La lectura de corriente del medidor incrementará rápidamente y luego caerá a cero. El voltímetro también disminuirá su lectura a cero. Los flameos son una indicación de que ha ocurrido una falla en el aislamiento.

3.2 PROCEDIMIENTOS A SEGUIR DESPUES DE REALIZADA LA PRUEBA DE COMPROBACION

- Descargar la carga almacenada en el equipo sometido a prueba a través de hacer un aterrizaje efectivo a tierra. Usar un accesorio de descarga correctamente dimensionado u otro equipo de descarga aprobado, y luego aterrizar con una varilla de tierra (ANSI/IEEE Std. 95-1977)
- Dejar siempre el equipo sometido a prueba cortocircuitado de 5 a 10 veces el período de tiempo que haya sido aplicado el voltaje de prueba. La corriente de absorción es reversible. La energía absorbida cuando la corriente es aplicada es almacenada en el dieléctrico; esto hará que aparezca un voltaje a través del equipo sometido a la prueba después que éste ha sido desconectado del alto voltaje, aun cuando se haya cortocircuitado por un período de tiempo corto.
- No tocar o cambiar conexiones hasta que el voltaje del equipo sometido a prueba decaiga a un valor bajo que no represente riesgo alguno.
- Para reducir el tiempo de decaimiento, se debe proveer de una trayectoria paralela de aterrizaje utilizando una varilla de descarga especialmente diseñada.

Una resistencia de trayectoria de descarga de menos de 10 megohms puede causar irrupciones de corriente y oscilaciones de voltaje a altas frecuencias dentro del equipo sometido a prueba (ANSI/IEEE Std.400-1980)

- Cuando el voltaje disminuye debajo de los 20 voltios, se debe usar el gancho de conexión directa a tierra para proveer una trayectoria de baja impedancia a tierra.

Un gancho de aterrizaje directo es más seguro de usar que un relé de protección incorporado dentro del equipo de pruebas. El mal funcionamiento de este relé puede causar aterrizajes prematuros y fallas en su intento de proveer una adecuada conexión a tierra. Estas circunstancias pueden ser peligrosas para el equipo y el personal.

El resistor usado para descargar o aterrizar el equipo debe ser correctamente dimensionado para la capacitancia y voltaje de la prueba.

- Durante la descarga, la corriente fluye en sentido inverso y cambia de polaridad

3.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

- Si el equipo sometido a prueba resiste el voltaje por el período de tiempo recomendado, el aislamiento está en buenas condiciones
- Si el voltaje de prueba causa flameo antes del final del período de tiempo establecido o si el circuito de sobrecorriente del equipo de pruebas se acciona, el aislamiento está en condiciones pobres

Si el flameo ocurre externamente:

1. Revisar o comprobar si se aplicó el voltaje adecuado en la cantidad de tiempo correcta
2. Para disminuir el voltaje y aterrizar los aparatos, considerar los procedimientos que se deben seguir después de realizada la prueba
3. Limpiar las terminales, devanados de motores, puntos de conexión de alto voltaje y otros aislamientos externos antes de realizar la prueba nuevamente
4. Repetir la prueba

Si el flameo ocurre internamente:

1. Comprobar si se aplicó el voltaje adecuado en la cantidad de tiempo correcta
2. Para obtener información adicional que sea útil, consultar el manual de instrucciones del equipo a someter a prueba

3. Realizar una cuidadosa inspección física para localizar señales de daños. Algunas veces se hará necesario desensamblar parte del equipo. Cuando se haya localizado el problema, se debe decidir si se repara el equipo o se reemplaza

Los voltajes usados en la prueba de comprobación intentan ser lo más elevados con el objeto de hacer fallar el aislamiento de aquellos embobinados que tengan factor de seguridad ineficiente, respecto a los voltajes de operación y sobrevoltajes.

Debe observarse que tanto las pruebas de comprobación con CD como las de CA son pruebas de naturaleza empírica y no necesariamente revisan el diseño correcto o el voltaje de falla inherente de un sistema de aislamiento.

La prueba de comprobación sirve para demostrar que el aislamiento podrá resistir sobrevoltajes que se esperan al estar éste en operación, y no para establecer el valor preciso de esfuerzo eléctrico que éste puede soportar. Debido a que el esfuerzo eléctrico ha sido relacionado en algunos casos con el esfuerzo de impulso, una prueba con voltaje CD puede indicar la habilidad del aislamiento para resistir irrupciones o sobrevoltajes de corta duración aproximadamente iguales a los valores de voltaje pico de las pruebas de impulso. Ver tabla No.2 del anexo A y norma ANSI/IEEE 400-1980, donde puede observarse la relación entre las pruebas de impulso y las que se realizan con corriente directa cuando se trabaja con cables. El valor de sobrevoltaje de prueba provee además información del deterioro del aislamiento para un período de operación futuro.

El voltaje directo busca detectar áreas defectuosas en el aislamiento, estableciendo la corriente de fuga en esa área.

3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Cuando existe un aislamiento perfecto, no hay flujo de corriente eléctrica a través del aislamiento a tierra. Debido a que no hay aislamiento con resistencia infinita, habrá siempre alguna fuga de corriente que fluye a través de éste.

Mientras que una pequeña cantidad de corriente a través de un buen aislamiento no es un problema, surgen dificultades cuando el aislamiento empieza a deteriorarse y la corriente de fuga aumenta. La prueba de resistencia de aislamiento mide la resistencia del material aislante al flujo de la corriente de fuga, y permite de esta forma juzgar la condición del aislamiento.

3.2.1 COMO REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

- Medir la temperatura del equipo va a ser probado. Las mediciones de resistencia de aislamiento son alteradas por los cambios en la temperatura del material aislante. Cuando la temperatura se eleva, la resistencia de aislamiento disminuye y viceversa

La mejor forma de obtener resultados consistentes es probar el aislamiento a una temperatura estándar (usualmente 20°C/ 68°F). Debido a que obviamente esto no es posible siempre, se tendrán que corregir las lecturas para una temperatura base. Esto significa que se debe medir la temperatura del equipo bajo prueba.

Existen varias formas de medir la temperatura del equipo bajo pruebas:

- Si el equipo ha estado fuera de servicio por un considerable período de tiempo, la temperatura de éste estará probablemente cerca de la temperatura ambiente por lo que medir la temperatura ambiente será suficiente.
- La mayoría de aparatos llenados con aceite están contruidos con termómetros que registran el promedio de la temperatura del aceite, y ya que el aislamiento estará inmerso en el aceite, estos termómetros darán una buena indicación de la temperatura.
- En otras circunstancias, será necesario usar termómetros tipo contacto o de inmersión para obtener la temperatura. Con motores y generadores, generalmente es posible obtener la

temperatura de los devanados ya sea por contacto o por la medición de la resistencia del devanado. Si la resistencia de del devanado es conocida a temperatura estándar (usualmente de placa o del manual de instrucciones), cualquier variación de resistencia se deberá al coeficiente de temperatura del equipo en cuestión. Por ejemplo, para el cable de cobre, este factor es igual a 0.218% por grado Fahrenheit.

- En algunas circunstancias, la única aproximación es notar la temperatura ambiente y usar el sentido común para decidir cómo varía la temperatura del aparato de la temperatura ambiente. Este método no es muy exacto, pero es un mejor acierto que no tener indicación de la temperatura del aislamiento que va a ser probado.
- Se recomienda aplicar el voltaje de prueba, aumentándolo de cero al voltaje seleccionado en un tiempo de 30 a 60 segundos a través de incrementos uniformes. Las pruebas de resistencia de aislamiento son generalmente realizadas al o cerca del esfuerzo normal de trabajo. Mantener el voltaje de prueba hasta que la lectura llegue a ser constante. Si se desconoce qué voltaje aplicar, se deben consultar tablas estándares o con el fabricante del equipo
- Incrementar el voltaje muy abruptamente puede ocasionar variaciones de voltajes transitorios u oscilaciones que pueden causar esfuerzos innecesarios y posibles fallas del equipo sometido a prueba
- Medir y registrar la lectura de resistencia o la lectura de corriente y el voltaje de prueba, posteriormente se puede reducir el voltaje a cero.
- Si se tiene un flameo, se debe apagar el equipo de pruebas inmediatamente. Los flameos causan un disparo por sobrecorriente o hacen que el circuito de protección del equipo de pruebas se dispare.

3.2.2 PROCEDIMIENTOS A SEGUIR DESPUES DE REALIZADA LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Considerar los procedimientos descritos en la prueba de comprobación.

3.2.3 CORRIGIENDO LA MEDICION PARA CONSIDERAR VARIACIONES DE TEMPERATURA

Si la temperatura del equipo que va a ser probado fue más

alta o baja que 20°C (68°F), se puede hacer una corrección general a 20°C:

- Por cada 10°C arriba de la temperatura base de 20°C, multiplicar por dos la lectura de resistencia para corregir la lectura a la temperatura base
- Por cada 10°C debajo de los 20°C, dividir entre dos la lectura

Esta aproximación no es exacta, pues cada tipo de material aislante reacciona de una forma diferente a los cambios de temperatura porque su coeficiente de temperatura (% porcentaje de variación de resistencia por grado) es diferente. (Consúltese el inciso 2.7)

Para aparatos grandes, es posible averiguar el coeficiente de temperatura con el fabricante del equipo. Si el coeficiente de temperatura no está disponible, valdría la pena que se estableciera, (consúltese apéndice A y norma ANSI/IEEE Std. 43-1974).

3.2.4 INTERPRETACION DE INFORMACION OBTENIDA

Si la lectura de resistencia de aislamiento fue alta, y aumenta o se mantiene constante durante la prueba, el aislamiento está bien. La corriente disminuye mientras la resistencia de aislamiento se incrementa.

Si la lectura de resistencia de aislamiento disminuye durante la prueba, el aislamiento del equipo está probablemente mojado o en malas condiciones.

Si el valor final de lectura es bajo o la corriente está alta, el aislamiento del equipo está bajo.

En algunos casos, una lectura de 1 megaohm puede ser satisfactoria. Otras veces una lectura de menos de 1,000 megaohms puede ser satisfactoria.

Para encontrar el valor correcto de resistencia de aislamiento para el equipo, deberá contar con la información del fabricante, estándares o con experiencias de pruebas realizadas a equipos similares.

Para aparatos trifásicos, es muy útil comparar los resultados obtenidos en las tres fases. Si éstas están trabajando en buenas condiciones o si algún problema las está afectando a todas (humedad, contaminación, etc.), las lecturas deberán ser ligeramente similares. En muchos casos, el deterioro producirá

resultados peores en una fase que en las otras dos (ANSI/IEEE Std.400-1980).

A continuación, se hace mención de algunas reglas empíricas que dan alguna idea de qué esperar en las mediciones de resistencia de aislamientos para cables de 15 kV a 68°F (20°C) en rutas típicas de líneas medias. Se aplicó el voltaje nominal de los cables, 15 kV.

- Cables de polietileno (PLE, XPLE) presentan la corriente de fuga más baja, generalmente menos de 10 microamperios (1,500 megaohms)
- Cables de hule natural o de hule de propetileno etileno (EPR), generalmente presentan corrientes de fuga de menos de 20 microamperios (750 megaohms)
- Cables impregnados de aceite recubiertos de plomo (PLC) generalmente presentan corrientes de fuga de menos de 50 microamperios (300 megaohms)
- Empalmes de cable y terminales podrán incrementar la corriente de fuga, porque ellos proveen de caminos paralelos de fuga adicionales con el equipo bajo prueba
- Equipo de alto voltaje sumergido o lleno de aceite, tienen una extensa variación de corrientes de fuga que dependen del volumen y cantidad de aceite y de los materiales sólidos que son usados

Otro concepto útil para juzgar las lecturas de resistencia en cables o estructuras de barras es la de Megaohm por pie o Megaohm por microfarad de la capacitancia del equipo.

Debido a que la resistencia de aislamiento está relacionada directamente con el largo del cable, es posible expresar un valor por unidad de largo y luego relacionar el resultado de un conocido largo al valor unitario. Por ejemplo, duplicando el largo del cable, tendremos dividido por la mitad la resistencia de aislamiento excepto por los efectos en las terminaciones. La unidad de capacitancia está relacionada también con el largo y puede ser usada en una forma similar.

Si se han obtenido valores bajos en la medición de resistencia de aislamiento:

- Disminuir el voltaje y aterrizar el aparato
- Limpiar el aislamiento, aplicando un moderado calor o secándolo antes de realizar la prueba nuevamente

■ Repetir la prueba

Si la resistencia de aislamiento aún está baja, se debe decidir si reparar o reemplazar el aislamiento o el equipo. Si es necesario, consultar al fabricante o a los servicios de soporte de ingeniería del proveedor del equipo.

Consultar el apéndice B para información sobre la importancia de llevar registros de los resultados de las pruebas realizadas.

VOLTAJES DE PRUEBA DE CD vrs. RANGOS DE EQUIPOS

Para pruebas de voltaje de CD en mantenimientos de rutina, se puede trabajar con los siguientes valores de voltaje:

Rangos de equipo CA	Pruebas de voltaje CD
arriba de 100 voltios	100 y 250 voltios
440 a 550 voltios	500 y 1,000 voltios
2,400 voltios	1,000 a 2,500 voltios o mayores
4,160 voltios y arriba	1,000 a 5,000 voltios o mayores

Los voltajes de pruebas usados para la prueba de comprobación del equipo, son considerablemente mayores que los usados para mantenimientos de rutina. Aunque no hay estándares industriales publicados para los máximos voltajes de CD que van a ser usados con equipo rotatorio, la ecuación que abajo se enuncia es comúnmente usada para determinar los voltajes que se van a usar en la prueba de comprobación.

Voltajes de prueba de comprobación para equipo rotatorio:

James G. Biddle Co., Manual on ELECTRICAL INSULATION TESTING for the practical man. First edition. EEUU: s.l.i., s.i.p.. 1,966

Prueba CA de fábrica = $2 \times$ Voltaje nominal + 1000 V

Prueba de comprobación con CD de equipo a ser instalado = $0.8 \times$ Prueba CA de fábrica $\times 1.6$

Prueba de comprobación con CD de equipo que se encuentra en servicio = $0.6 \times$ Prueba CA de fábrica $\times 1.6$

Ejemplo:

Un motor con 2,400 voltios CA como rango nominal:

Prueba CA de fábrica: $2(2400) + 1,000 = 5,800$ voltios ac

Max. Prueba CD al instalarse: $0.8(5,800)1.6 = 7,424$ voltios cd

Max. Prueba CD después de servicio: $0.6(5,800)1.6 = 5,568$ voltios cd

Voltajes de prueba de comprobación para devanados y cables:

MYERS, Standley D., et.al. A guide to transformer Maintenance. 1st edition, 2nd printing.
EEUU: Editorial S.D.MYERS. 1981.

$$V_{Et} = (2 V_{En} + 1,000) \times 1.6 \times 0.65$$

donde V_{Et} = máximo voltaje de prueba CD
 V_{En} = voltaje nominal
1.6 = factor de conversión de CA a CD
0.65 = factor usado al trabajar con equipo usado

Para recomendaciones específicas sobre los voltajes, que van a ser aplicados a un equipo, se debe consultar al fabricante del equipo.

3.3 PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION

Cuando se está probando equipo de alta capacitancia (motores grandes, generadores o aparatos con complejos sistemas de aislamiento, grandes longitudes de cables), no se podrá obtener una lectura de resistencia de aislamiento constante, hasta que las corrientes dependientes del tiempo hayan casi desaparecido. Esto significa que una prueba de resistencia de aislamiento, como se ha descrito anteriormente, es inapropiada para equipos de alta capacitancia.

Una forma de resolver el problema de las corrientes dependientes del tiempo, es usar una prueba de resistencia de aislamiento, la cual mida la relación entre las lecturas de resistencia de aislamiento tomadas a un minuto y a diez minutos después de aplicado el voltaje. La tendencia indicada por esta relación permitirá juzgar el rango al cual las corrientes de capacitancia y absorción están desapareciendo. Después de considerar las variaciones en diferentes tipos de aislamiento, se podrá evaluar la condición del aislamiento.

Fig. 2

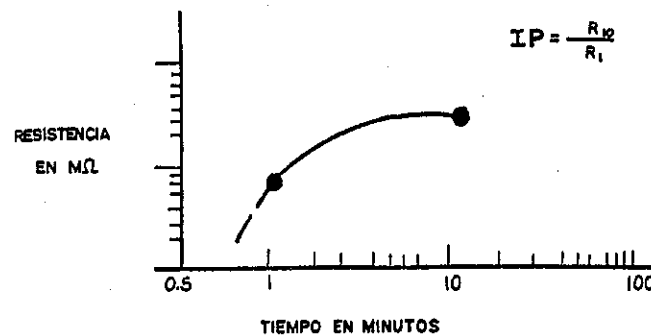


FIGURA 2
PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION

Esta curva es el resultado de graficar las lecturas de resistencia obtenidas cada minuto contenido en el período de aplicación de la prueba.

Existen varias ventajas para realizar una prueba de índice de polarización:

- No se tiene que esperar por una lectura constante en el medidor; se observa más de una tendencia que una lectura individual

- No hay que modificar mediciones para considerar variaciones en la temperatura del equipo que va a ser probado como cuando se está realizando una prueba simple de resistencia de aislamiento
- Para ajustarse a los rangos de voltaje que demanda el equipo, se podrá usar un equipo de pruebas de voltaje medio como un Tester de Medición de aislamiento o equipo de pruebas de alto voltaje
- El índice de polarización dirá si el aislamiento está húmedo o sucio. La humedad y la suciedad tienen el efecto de achatar la curva de índice de polarización (IP), figura 2. Por esta razón, se recomienda especialmente realizar esta prueba si el equipo es antiguo

3.3.1 COMO REALIZAR LA PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION

- Aplicar el voltaje de prueba desde cero hasta el valor establecido en un tiempo de 30 a 60 segundos, a través de incrementos uniformes. Cuando se alcanza el voltaje deseado, se empieza a tomar el tiempo de prueba. Si se desconocen los voltajes a ser aplicados, consúltense tablas estándares o al proveedor del equipo
- Incrementar el voltaje muy abruptamente puede ocasionar irrupciones u oscilaciones que pueden provocar esfuerzos innecesarios y posibles fallas del equipo sometido a prueba
- Un minuto después de aplicado el voltaje, se mide y registra el valor medido
- Diez minutos después de aplicado el voltaje, se mide y registra la resistencia otra vez. (Esto significa un intervalo de 9 minutos entre mediciones). Reducir el voltaje a cero. Si se desea plotear una curva, se pueden registrar las lecturas tomadas en cada minuto

3.3.2 PROCEDIMIENTOS A REALIZAR DESPUES DE REALIZADA LA PRUEBA INDICE DE POLARIZACION

Considerar los procedimientos descritos en la prueba de comprobación.

3.3.3 INTERPRETACION DE INFORMACION

Antes de interpretar la información obtenida en la prueba, debe recordarse el concepto de lo que es absorción dieléctrica,

ya que el índice de polarización se deduce de esta prueba o relación.

La absorción dieléctrica es la propiedad de un dieléctrico no perfecto, por la cual se da una acumulación de cargas eléctricas dentro del cuerpo del material cuando éste interactúa en un campo eléctrico.

Cuando se estudiaron las corrientes dependientes del tiempo que se hacen presentes al realizar pruebas al aislamiento (sección 2.4), se hizo mención de una corriente que se encuentra relacionada con el concepto que se acaba de describir, la *corriente de absorción dieléctrica* y que permite aclarar aún más el comportamiento de un dieléctrico cuando se realiza este tipo de prueba.

La corriente de absorción dieléctrica es la componente de corriente resultante de la absorción que se da en dieléctricos imperfectos, causada por varias polarizaciones que toman lugar adentro del dieléctrico; la más predominante es del tipo interfacial, que resulta del efecto barrera en los interfases de los materiales dentro de las estructuras que los componen. Una polarización dipolar resultante de las moléculas polares y de las cadenas moleculares se encontrará también al final del espectro de la corriente directa en algunos tipos de aislamiento. Esta es la energía que hace que el voltaje reaparezca en los electrodos o platos del dieléctrico después de que la energía almacenada resultante de la capacitancia ha sido disipada por un cortocircuito y el cortocircuito ha sido removido.

La relación de lecturas de dos resistencias en un período de tiempo corto (30 a 60 segundos) se llama "relación de absorción dieléctrica". Si la relación de lecturas se trabaja con tiempos mayores (1 a 10 minutos) hablamos de Índice de Polarización. (Consúltese tabla al final de esta sección)

- Dividir la segunda lectura tomada al minuto diez entre la primera lectura tomada al minuto uno. Esta división da la relación entre las dos lecturas. *La relación es el índice de polarización (IP)*. Por ejemplo, si la primera lectura es 500 megohms y la segunda es 1,000 megohms, dividir 1,000/500. En este caso, el índice de polarización es 2.0
- Los valores de índice de polarización de menos de 1.0 son siempre una razón para preocuparse
- Valores de 1.0 son satisfactorios para equipo de muy baja capacitancia
- Valores mayores que 1.0 son esperados para equipos de alta capacitancia que tienen un buen aislamiento

Consultar ANSI/IEEE Std. 95-1977.

No hay reglas drásticas para un "buen" índice de polarización. Por esta razón, es importante mantener buenos registros de pruebas pasadas para hacer comparaciones. Se pueden esperar valores de índice de polarización bajos, cuando se está probando:

- Cables cortos blindados
- Devanados de motores pequeños
- Sistemas de barras

En estos casos, el valor máximo de resistencia de aislamiento puede ser obtenido dentro de los 2 ó 3 minutos. Cuando esto ocurre, es usual obtener valores pequeños de índice de polarización que no precisamente indican que el aislamiento está en pobres condiciones.

Si la resistencia de aislamiento incrementa rápidamente durante el inicio, en un tiempo de uno a dos minutos, la condición de aislamiento es probablemente satisfactoria. La relación de índice variará con los diferentes tipos de aislamiento. Algunos valores de reglas empíricas establecen:

- Cables de potencia blindados y devanados de máquinas rotativas con una capacidad mayor que 0.02 microfaradios, típicamente tienen valores de índice de polarización de 1.5 o mayores
- Unidades generadoras antiguas con devanados de estator contruidos con diversas capas de papel tape flexible antes del proceso, pueden tener valores de índice de polarización de 2.5 o mayores
- Unidades generadoras nuevas con sistemas de epóxico hechas por proceso de vacío de las bobinas, generalmente tienen valores de índice de polarización de 2.0 o menos
- Aparatos sumergidos en aceite, así como transformadores generalmente tienen valores de índice de polarización de 1.1. a 1.3
- Superficies conductoras sucias o superficies de cintas húmedas, son una causa frecuente de lecturas de índice de polarización bajas
- En general, para equipos de grandes capacitancias, el índice de polarización es alto y el aislamiento es mejor

Si al realizar la prueba, el valor que se obtiene es insatisfactorio, el problema puede ser causado por superficies de aislamiento mojadas o sucias. Para evitar daños mayores, no se deben realizar pruebas de alto voltaje adicionales, hasta que se haya corregido esta condición.

Recordar que los valores de resistencia de aislamiento medidos deben cumplir con las normas requeridas, para así proceder a calcular el índice de polarización.

Después de seguir los procedimientos que indican cómo disminuir el voltaje y aterrizar los aparatos, se debe o deben:

1. Limpiar y secar las superficies del aislamiento
2. Inspeccionar vestigios de superficies conductoras
3. Repetir la prueba

Si el índice de polarización aún está bajo, ello indica un problema interno con el aislamiento. Probablemente haya humedad en la mayor parte del aislamiento. En casos extraños, puede haber otro tipo de deterioro. Para localizar el problema, inspeccione o revise el aislamiento. Si es necesario, se debe decidir si reparar o reemplazar el equipo. Para mayor información, consúltese al fabricante o a los servicios de ingeniería del proveedor del equipo sometido a prueba.

Tabla 2 - Condición de aislamiento indicado por las relaciones de Absorción Dieléctrica *

Condición del aislamiento	60/30 Relación de + segundos	10/1 relación ++ minutos (Índice de Polarización)
Peligroso	-----	Menor que 1
Pobre	Menor que 1.1	Menor que 1.5
Cuestionable	1.1 a 1.25	1.5 a 2
Valor justo	1.25 a 1.4	2 a 3
Bueno	1.4 a 1.6	3 a 4
Excelente	Arriba de 1.6	Arriba de 4

- * Estos valores deben ser considerados como valores de referencia
- + Para pruebas realizadas con Megger de manivela, consultar concepto de absorción dieléctrica, sección 3.3.3
- ++ Para pruebas realizadas con Megger accionados con energía

James G. Biddle Co., Manual on ELECTRICAL INSULATION TESTING for the practical man. First edition. EEUU: s.l.i., s.i.p.. 1,966

3.4 LA PRUEBA DE PASOS O ETAPAS DE VOLTAJE DE CD

La mejor manera de probar equipo de alta capacitancia es usar una prueba de pasos o etapas de voltaje, ya que ésta provee mayor información acerca de la condición del aislamiento que cualquier otra prueba. Esta prueba permite:

- 1) Medir la corriente a diferentes niveles de voltaje
- 2) Plotear las lecturas en una gráfica y establecer una tendencia o una curva

Añadida a otra información relevante, esta curva:

- a.- Ayudará a predecir problemas futuros
- b.- Advertirá sobre probables fallas inminentes del aislamiento sin causar falla en el equipo sometido a prueba
- c.- Permitirá continuar usando el aparato bajo prueba (que ya se encuentra en servicio), mientras se hacen arreglos para reemplazarlo

Con la prueba de pasos de voltaje, se busca una tendencia en el comportamiento del aislamiento y no una lectura individual.

Para establecer un registro, es posible:

- Realizar por primera vez la prueba de pasos de voltaje, cuando el aparato es nuevo. Si no es posible:
- Tratar de realizar la prueba cuando el equipo está limpio y seco

Un registro detallado y exacto de la información de la primera prueba, dará buenas bases con las cuales se puede juzgar el resultado de pruebas futuras.

Cada vez que se realice nuevamente la prueba, se deberá hacer lo siguiente:

- Usar los mismos voltajes e intervalos de tiempo
- Registrar los resultados utilizando las mismas directrices para trazar la gráfica y la misma clase de papel que se haya utilizando en pruebas anteriores

Lo descrito anteriormente hará más fácil comparar la información y detectar cualquier cambio en la condición de aislamiento.

Para mantener el equipo en operación la mayor cantidad de tiempo, es apropiado repetir la prueba de pasos de voltaje en mantenimientos de rutina programados cada seis meses. Hacer la prueba a intervalos de 1 a 4 años puede ser suficiente para otras aplicaciones.

3.4.1 COMO REALIZAR LA PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE

- Antes de realizar la prueba, se deben conocer los voltajes y el número de pasos que se van a usar. Si no se conocen dichos voltajes, se deben consultar tablas estándares o a los proveedores del equipo. Para establecer los incrementos de voltaje que se van a utilizar en la prueba, divida el máximo voltaje a ser aplicado entre el número de pasos deseado

Por ejemplo: si el máximo voltaje es 10,000 voltios y son usados 5 pasos, cada paso será de 2,000 voltios

El intervalo de tiempo usado dependerá de la capacitancia y sistema de aislamiento del equipo

Es mejor escoger un intervalo de tiempo que dé un valor cambiante de resistencia de aislamiento para cada paso. Si el intervalo es muy extenso, los últimos pasos serán constantes. Experimentación con pruebas de medio voltaje pueden ayudar a establecer un adecuado intervalo de tiempo. Intervalos de 1 minuto son típicamente para un extenso rango de equipos.

- Preparar una hoja de papel gráfico para plotear los resultados después de que la prueba esté completa
- Registrar en papel gráfico el voltaje de CD a tierra equivalente del equipo
- Registrar el máximo voltaje seleccionado para la prueba, de modo que mientras el voltaje es incrementado se tenga una guía de hasta dónde se desea llegar
- Incrementar a un ritmo uniforme el voltaje de salida hasta completar el primer nivel de voltaje seleccionado

Evitar ligeros saltos en los ajustes de los valores de los pasos de voltajes, puesto que ellos interfieren con el cambio exponencial de la corriente y distorsionan la información de las pruebas. Es mejor tener un ligero error en el valor de

voltaje, que hacer un ajuste pequeño después de que el incremento de voltaje esté completo

- Incrementos irregulares de corriente en el intervalo después de elevar el voltaje puede ser el primer signo de una inminente falla del aislamiento. Se debe terminar la prueba en este punto antes de que ocurra una falla completa. Considerar la posibilidad de que el equipo pueda ser retornado para servicio, mientras se programa una reparación o sustitución
- Mantener el voltaje de prueba constante durante el intervalo de tiempo seleccionado
- Registrar la lectura de corriente a un minuto
- Inmediatamente se eleva el voltaje al siguiente nivel de paso siguiendo las mismas precauciones mencionadas en el primer paso. Para evitar resultados erróneos, la lectura de corriente en el medidor debe ser tomada después de pasado el mismo intervalo de tiempo para cada paso
- Continuar con la aplicación de pasos sucesivos, dos, tres o cuantos se deseen hasta alcanzar el voltaje máximo de la prueba. Registrar la lectura de corriente obtenida con cada incremento o paso. Reducir el voltaje a cero
- Apagar inmediatamente el equipo de pruebas si se tiene un flameo. Los flameos pueden provocar disparos por sobrecorriente o accionamientos de circuitos de protección en el equipo de pruebas. La lectura de corriente en el medidor puede incrementar rápidamente y luego caer a cero. La lectura del voltímetro también disminuirá a cero. La presencia de un flameo indicará que ha ocurrido un falla en el aislamiento. Comprobar que se aplicó el voltaje correcto en la cantidad de tiempo adecuada.
- Plotear los puntos que representan el voltaje de salida y las lecturas de corriente del medidor en papel logarítmico (log-log)

Mientras dura el intervalo de tiempo la corriente puede disminuir debido a la reducción de corrientes de carga capacitiva y de absorción. Al inicio de cada paso de voltaje, estas corrientes son altas

- Dibujar la línea que mejor se ajuste entre los puntos ploteados en la gráfica
Consultar normas ANSI/IEEE Std. 400-1980 y Std. 95-1977.

3.4.2 PROCEDIMIENTOS A REALIZAR POSTERIORES A LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE

Considerar los procedimientos que se describen en la prueba de comprobación.

3.4.3 INTERPRETACION DE INFORMACION OBTENIDA

Ver la curva que se ha dibujado en el papel gráfico; recordar que la pendiente de la curva V vrs. I es la resistencia. Si los valores de resistencia de aislamiento incrementan a medida que el voltaje es aumentado y continúan elevándose mientras se excede el voltaje de operación:

- El aislamiento está probablemente muy bueno. Incrementos en la resistencia de aislamiento muestran que las corrientes de fuga son muy pequeñas comparadas a los valores de corriente normales de carga. Esta es la condición preferida cuando se usan intervalos de tiempo cortos en las pruebas.

Si la resistencia de aislamiento permanece casi constante arriba de los valores de voltaje de operación, el aislamiento está probablemente bueno o adecuado. El voltaje alto que es obtenido antes de que ocurra una disminución en la resistencia de aislamiento, podrá interpretarse como el valor hasta el cual nuestro equipo presenta un buen aislamiento.

Si la resistencia de aislamiento permanece casi constante pero disminuye antes de obtener el valor de voltaje de operación:

- Seguir los procedimientos después de realizada la prueba para disminuir el voltaje y aterrizar los aparatos, limpiar y secar la superficie de aislamiento para que no aparezcan corrientes de fuga en las terminaciones.
- Aplicar una terminal de guarda si es apropiado
- Asegurarse de que la distancia entre las superficies de alto voltaje y tierra no estén muy cerca, y que por esta razón causen el efecto corona, (ver apéndice C).
- Repetir la prueba

Si la resistencia de aislamiento todavía disminuye, se está presentando una incipiente falla. Se requiere investigar el problema y hacer reparaciones o reemplazos.

Si la resistencia disminuye con una caída constante mientras el voltaje se incrementa:

- El aislamiento está probablemente húmedo y con superficies sucias

Si al realizar la prueba de pasos de voltaje, no se puede localizar rápidamente una falla, ya sea por observación de un destello de luz (descarga eléctrica) cuando el voltaje es aplicado; para localizar el punto de falla, es práctico usar un voltaje alterno bajo, con una corriente limitada de 6 a 10 A; si esto aún no identifica el punto de falla, entonces el devanado deberá ser fraccionado y sometido a prueba hasta localizar el punto de falla. Después de seguir los procedimientos posteriores de prueba para disminuir el voltaje y aterrizar los aparatos:

- Limpiar el aislamiento. Aplicar un calor moderado para secarlo
- Repetir la prueba
- Si la condición persiste después de secar y limpiar, existe algún otro problema. Hacer reparaciones o reemplazos

Para un diagnóstico real y exacto de la condición del aislamiento, se deberá además considerar otra relevante información:

- Historial previo del aparato para establecer tendencias en el comportamiento del aislamiento
- Resultados de una cuidadosa inspección visual
- Comparación con otro equipo similar
- Recomendaciones de fabricantes
- Otras especificaciones, las cuales pueden ser relevantes

Si habiendo considerado toda la información disponible, se decide que el aislamiento está en **regulares condiciones** con algún deterioro desde la prueba anterior, se podrá además:

- Remover el equipo de servicio y decidir si se repara o reemplaza
- O permitir al equipo continuar en servicio, mientras se hacen arreglos para repararlo o reemplazarlo

Si decide que el aislamiento está en **pobres condiciones**, se deberá:

- Remover el equipo de servicio y decidir si se repara o reemplaza

Consultar al fabricante o a los servicios de soporte de ingeniería del proveedor del equipo si es necesario.

APENDICE A

ESTABLECIENDO COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Si la información sobre el coeficiente de temperatura del equipo bajo prueba no está disponible por parte del fabricante, valdrá la pena que sea establecido por otros métodos. Si es posible, hacer los siguientes cálculos cuando el aparato es nuevo, y si no lo es, realizarlos cuando el equipo esté limpio y seco.

- Seguir las instrucciones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento
- Medir la resistencia de aislamiento a diferentes tiempos cuando la temperatura es diferente (idealmente a o cerca de los 10°C/56°F, 20°C/68°F, 30°C/86°F y 40°C/104°F)
- Plotear estos valores en papel semilogarítmico; plotear la temperatura a lo largo de una escala lineal horizontal y la resistencia a lo largo de una escala logarítmica vertical
- Dibujar la línea que mejor se ajuste entre los puntos ploteados
- Seleccionar una temperatura base (por ejemplo, 20°C) y leer la resistencia registrada a esa temperatura
- Determinar el factor de corrección a cualquier temperatura dividiendo la lectura de resistencia a la temperatura base entre la lectura de resistencia a la temperatura trabajada:

Factor de corrección N:

$$N = \frac{\text{Resistencia a la temperatura base}}{\text{Resistencia a la temperatura actual}}$$

Para corregir la resistencia medida (cualquier temperatura) a la resistencia equivalente con la temperatura base, multiplicar la resistencia medida por el factor de corrección para esa temperatura.

APENDICE B

DOCUMENTANDO SUS RESULTADOS

El uso sistemático de formas y gráficas pueden ser de gran ayuda en documentar resultados. Por ejemplo, los instrumentos marca Biddle pueden suministrar material didáctico especial para registrar resultados. Contactar la fábrica para detalles. Es importante almacenar los valores obtenidos en las pruebas. Este tarea se hace más efectiva cuando se hace uso de un computadora personal. Llevando de esta forma los registros se pueden realizar cálculos así como ajustes de resultados a temperaturas estándares, permitiendo además almacenar información e imprimir reportes.

MANTENIENDO REGISTROS

El mejor método de interpretar resultados es comparar lecturas actuales con un historial de lecturas anteriores, permitiendo de esta forma establecer si se hace necesario reemplazar el equipo o si es suficiente realizar trabajos de mantenimiento y limpieza, mientras se programa una suspensión para hacer las modificaciones necesarias.

Al comparar la información con registros de pruebas anteriores, se podrá detectar una tendencia en el comportamiento de la resistencia de aislamiento.

APENDICE C

EFECTO CORONA

Frecuentemente se puede ver (y escuchar) la incandescencia o brillo y el silbido del efecto corona alrededor del cable de alta tensión y el aislamiento durante el tiempo de lluvia. El efecto corona es una descarga parcial en el campo del alto voltaje que no rompe el vacío entre el alto voltaje y tierra. Las descargas parciales son diferentes a las fallas por flashover o arcos. Las descargas parciales pueden ocurrir en aislamientos sólidos o líquidos. Cuando se habla de efecto corona, se habla de descargas parciales en el aire.

El efecto corona se presenta usualmente en algún punto donde la descarga ha ocurrido debido a la falla de una pequeña área de aislamiento. Esta falla requiere de alguna potencia que sea absorbida de la fuente.

La corriente extra absorbida de la fuente, tiene dos efectos en las mediciones de resistencia de aislamiento. Primero, la corriente extra es registrada por un medidor de salida y consecuentemente da un lectura falsa de corriente alta (o una baja lectura de resistencia de aislamiento). Segundo, la corriente está pulsando y tiende a hacer que el medidor lea incorrectamente, haciendo difícil además el obtener una lectura.

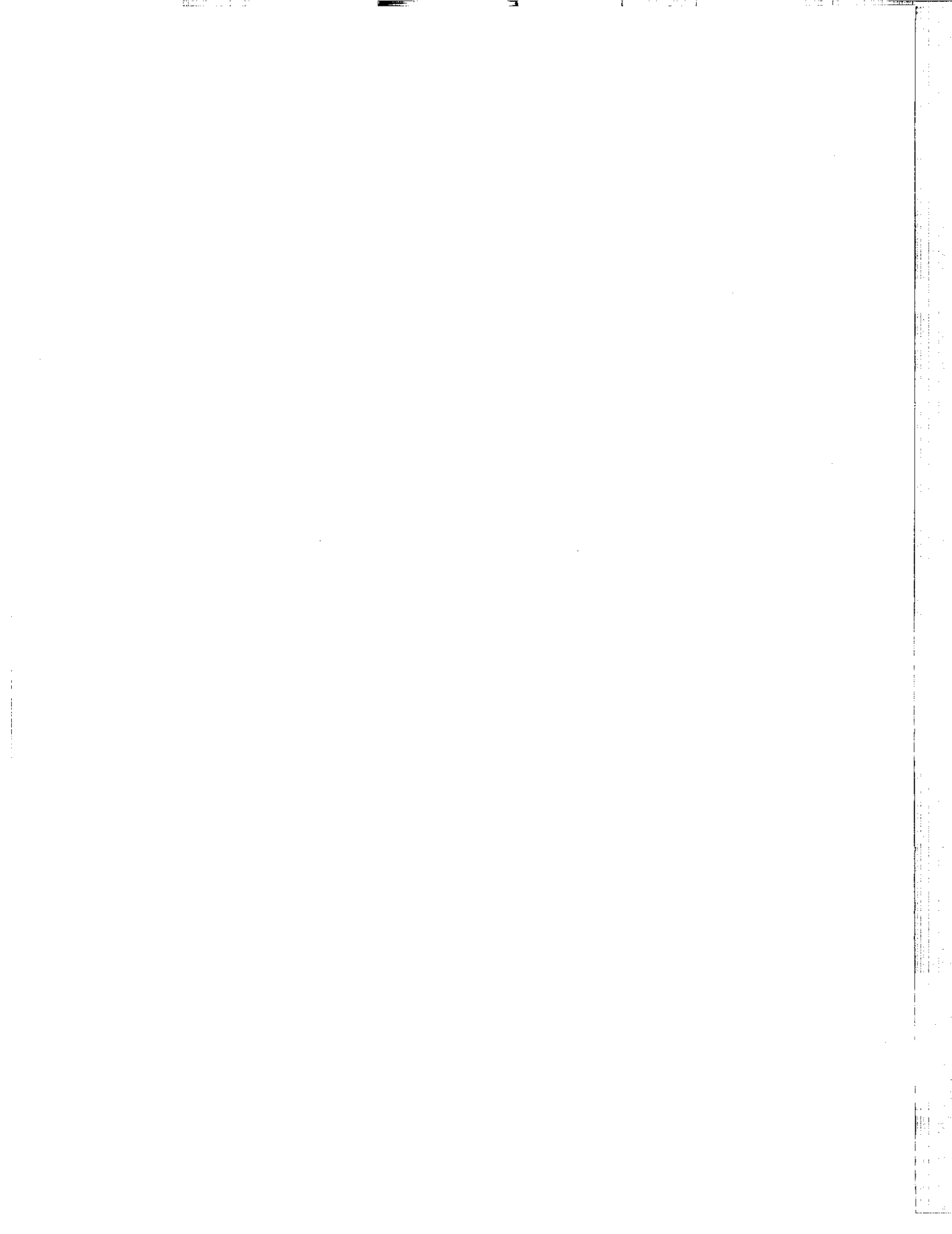
En la práctica, el efecto corona usualmente ocurre en puntos cortantes o en finales de conductores de alto voltaje. Un remedio es aplicar alguna masilla semiconductoras sobre las partes cortantes. Casi cualquier masilla como el sello ducto trabajará. Esto incrementa el radio efectivo de la parte sin reducir grandemente el voltaje de flashover.

Otra solución es amarrar un bolsa plástica encima de la parte a trabajar. Esta técnica rellena el espacio con partículas ionizadas generadas por el efecto corona. Debido a que estas partículas se repelen por ser del mismo signo, incrementan el radio de la parte trabajada. Ellas frecuentemente inflan la bolsa como un globo.



CAPITULO 4

**NORMAS QUE RIGEN
LAS PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE
CON CORRIENTE DIRECTA**



4.1 CLASES DE AISLAMIENTO

NORMA: ANSI C 50.32-1976

ANSI ha definido varias clases de sistemas de aislamiento basados en la máxima temperatura de operación en condiciones normales y ha establecido voltajes de prueba para demostrar la capacidad dieléctrica del sistema de aislamiento. Otras técnicas de pruebas no destructivas han sido desarrolladas para evaluar la capacidad y condición de sistemas de aislamiento.

De las diversas clases de aislamiento, cuatro son las más aplicables a grandes máquinas rotativas. Estas clases son: Clase A, B, F y H. Estas clases de aislamiento son algunas veces designadas como clase 105, 130, 155 y 180 respectivamente, donde los números significan la temperatura de diseño de localización del punto-caliente en grados celcius. La clase A (105°C) y la clase B (130°C) son los rangos de temperatura más frecuentemente aplicados en alternadores.

Clasificación de sistemas de aislamiento según temperatura a la cual trabajan:

Sistema de aislamiento Clase A: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 105°C

Sistema de aislamiento Clase B: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 130°C

Sistema de aislamiento Clase F: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 155°C

Sistema de aislamiento Clase H: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 180°C

Sistema de aislamiento Clase N: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 200°C

Sistema de aislamiento Clase R: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 220°C

Sistema de aislamiento Clase S: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura de 240°C

Sistema de aislamiento Clase C: sistema que utiliza de preferencia materiales con un índice de temperatura arriba de 240°C

4.2 CABLES

**NORMA: VDE 0255, VDE 265 Y VDE 0271
IEC 55-1 Y 55-2**

Para realizar pruebas a cables con tensión continua, se debe considerar la tabla No.1 del anexo A o ecuación indicada en la parte teórica, sección 3.2, Prueba de resistencia de aislamiento.

**NORMA: ANSI/IEEE Std. 400-1980
IEEE Guide for making High-Direct-Voltage Test
on Power Cable Systems in the Field**

Debido a la semejanza que existe entre los esfuerzos a que es sometido un aislamiento cuando se le realizan pruebas con voltaje directo, así como pruebas de impulso, se ha establecido una relación entre los niveles de voltaje directo de prueba y el BIL (Basic Impulse Level), (consúltese tabla No.2, del anexo A). El establecimiento de dicha relación carece de bases científicas.

Para sistemas efectivamente aterrizados y que tienen un BIL reducido, el voltaje de prueba que va a ser aplicado será de preferencia el valor cresta del BIL en lugar del voltaje nominal.

Esta norma se aplica a todos los tipos de sistemas de aislamientos de cables que operan entre el rango de los 2,000 y los 69,000 voltios, preferentemente cables de transmisión o distribución de potencia. No se aplica a cables de comunicación, control, alta frecuencia y otros cables usados para propósitos especiales.

Entre las consideraciones generales que hace mención esta norma y que se deben tomar en cuenta al realizar pruebas, se encuentra la temperatura y las condiciones atmosféricas.

El esfuerzo dieléctrico de algunos aislamientos de cables se reduce al trabajar a altas temperaturas. Bajo estas condiciones, se hace necesario reducir los voltajes de pruebas.

Bajo condiciones de alta humedad, donde es común la condensación en superficies expuestas, la medición de resistencia de aislamiento se ve afectada considerablemente. También afecta la relativa densidad del aire, a alturas mayores de 3300 pies (1,000 Mts.); se requiere de un sobreaislamiento en las terminaciones de los cables para que éstas resistan tanto los voltajes de trabajo, así como los voltajes prescritos para

realizar pruebas al aislamientos. Otro factor que afecta es la contaminación.

METODO DE PRUEBA

Antes de realizar una prueba con alto voltaje de corriente directa, se requiere que todos los componentes sean desenergizados. Todos los extremos finales de los cables, que se someterán a prueba, deben de ser resguardados de contactos accidentales.

Para descargar el cable sometido a la prueba, se deberá usar un resistor con una resistencia no menor de 10,000 ohmios por cada kV de voltaje usado en la prueba.

Antes de aplicar el voltaje de prueba, se debe permitir al cable enfriarse a la temperatura ambiente. El voltaje inicial que va ser aplicado no debe exceder a *1.8 veces el voltaje AC de fase a fase al que opera el cable*. El voltaje de prueba debe ser incrementado uniformemente o en etapas, hasta alcanzar el valor máximo que se desea. Si el incremento es continuo, el rango de incremento debe ser uniforme y no deberá ser más del 100% en 10 s y menor del 100% en 60 s. Si el incremento es por etapas, se sugiere que cada etapa tenga una duración de un minuto. Se sugiere un mínimo de 5 etapas.

El máximo voltaje usado en la prueba podrá ser mantenido por 15 minutos.

Antes de que nuevamente se le realice una prueba al cable, éste deberá haber sido *aterrizado por un periodo de por lo menos cuatro veces la duración de la prueba anterior*.

La prueba se puede realizar a cada fase individualmente o a las tres fases conjuntamente. La comparación de las lecturas de resistencias medidas, considerando los tres conductores de un circuito, es un indicador útil que sirve para establecer condiciones anómalas en el aislamiento de uno o más cables.

Anotaciones
Westinghouse Electrical
Maintenance Hints, Vol.1, chapter 7
Cable Construction and Application

El fabricante de cables podrá suministrar información sobre pruebas, recomendaciones y aplicaciones de voltajes límites para trabajar con cables nuevos o usados.

En muchas ocasiones, los circuitos están constituidos por diferentes clases, tamaños y tipos de cables, que a su vez son suministrados por diversos fabricantes. Es por esta razón que las pruebas que se va a realizar se basan más en los voltajes de operación del cable que en la clase de éste.

La tabla que se incluye a continuación contiene información sobre valores de voltajes de pruebas aplicables a diferentes tamaños y voltajes de operación de los cables:

Cable Rango de voltaje	Conductor Tamaño AWG o MCM	Grosor de pared (pulgadas)	Voltaje de prueba* kV CD
600 V	14-9	3/64	11.0
	8-2	4/64	14.5
	1-0000	5/64	18.0
	225-500	6/64	20.5
	525-1000	7/64	24.0
	Arriba de 1000	8/64	27.5
5,000 V	8-0000	10/64	33.5
	225-1000	11/64	37.0
	Arriba de 1000	12/64	40.5

* Para cables nuevos

Para determinar la condición y confiabilidad del cable en instalaciones antiguas y para repeticiones de pruebas, se deben utilizar los siguientes valores de voltajes recomendados:

Voltajes aplicados a circuitos	Voltajes CD recomen- dados (Prueba de comprobación)*
0-1000 V #8 a 500 MCM	10 kV CD
Arriba de los 500 MCM	15 kV CD

* Consultar capítulo 3

**IEEE Recommended Practice
for Electric Power Systems in
Commercial Buildings
Std. 241-1974**

Los procedimientos aquí enunciados son una guía y están sujetos a variaciones.

Debido a que generalmente cuando se habla de que el cable tiene un buena resistencia de aislamiento, se habla de miles y cientos de miles de megohms; la prueba de aislamiento realizada con un megaohmetro dará una indicación muy general de la condición de deterioro del aislamiento del cable usado para alto voltaje. Sin embargo, para cables de mediano voltaje, la prueba realizada con megaohmetro es bastante útil y práctica. Cables de 600 V que tengan un buen aislamiento, podrán resistir un voltaje directo de 20,000 voltios o más, por lo que se recomienda realizar la prueba de resistencia de aislamiento con un megaohmetro de 1,000 V a 2,500 V.

El aislamiento del cable puede resistir por extensos periodos de tiempo la aplicación de un potencial de corriente directa igual al BIL que resiste, sin presentar daño, ANSI/IEEE Std. 400-1980. Si se desconoce el valor del BIL, se deben consultar tablas estándares donde se indica el BIL para los diferentes niveles de voltaje de operación del equipo o consultar directamente a fabricantes. Si se planifica realizar varias pruebas, es mejor realizarlas con voltaje de CD, ya que con la aplicación de voltajes de CA el aislamiento puede sufrir algún deterioro debido al sobrevoltaje y al tiempo de aplicación.

Los voltajes de prueba son generalmente especificados por el fabricante del cable. Las tablas 3 y 4 del anexo A incluyen algunos voltajes de prueba recomendados por IPCEA, Insulated Power Cable Engineers Association, que es una asociación que norma aspectos referentes al trabajo con cables. Algunos fabricantes establecen una relación de 2 a 3 veces el valor efectivo usado en pruebas con CA para determinar los valores de voltajes de CD que van a ser usados en las pruebas (ANSI/IEEE Std. 95-1977 y valores de la tabla No.1 del anexo A).

Los voltajes de prueba usados en fábrica o en el campo deben llenar los siguientes requerimientos:

- 1.- Para evitar daños en un aislamiento que se encuentre en buenas condiciones, deberán aplicarse voltajes de prueba moderados, no tan elevados.

- 2.- Para que la prueba que se va a realizar, realmente proporcione una indicación de una falla incipiente en un mal aislamiento, el voltaje de prueba deberá ser suficientemente alto

Para un cable con un buen aislamiento, la relación de corrientes entre la lectura 5 (máximo voltaje) y la lectura 1 (de inicio de prueba) estará entre 1.25 y 2. Las relaciones obtenidas entre 1 y 1.25 son valores mínimos aceptados; cualquier relación menor que 1 deberá ser considerada como un resultado malo.

4.3 MAQUINAS ROTATIVAS

**NORMA: ANSI/IEEE Std. 95-1977
IEEE Recommended Practice for Insulation
Testing of Large AC Rotating Machinery with
High Direct Voltage**

Esta norma presenta métodos de pruebas de aislamiento con voltajes directos arriba de los 5,000 voltios ¹⁾. Esta norma se aplica a máquinas rotativas de CA grandes, de un rango de 10,000 KVA o mayores que a su vez trabajan con voltajes de 6,000 voltios o más.

Este tipo de prueba se puede realizar a equipo nuevo que aún se encuentre en fábrica, a equipo que ya se encuentra en el campo de aplicación o para realizar pruebas de mantenimiento de rutina a máquinas que han estado en servicio.

Como se mencionó en la norma anterior (ANSI/IEEE Std. 400-1980), las lecturas obtenidas al realizar pruebas de aislamiento se ven afectadas por la temperatura y la humedad.

Si se observa que la suciedad tiene incidencia directa en la obtención de una lectura baja en el aislamiento, se recomienda hacer una limpieza y realizar pruebas antes y después del proceso de limpieza.

La inclusión de elementos externos al equipo o aparato sometido a prueba, puede reducir la sensibilidad de las mediciones de corriente que permitan detectar debilidades en el aislamiento, ya que la inclusión de éstos puede producir

1) Para mediciones de resistencia de aislamiento con voltajes directos abajo de los 5,000 V, ver norma IEEE 43-1974

lecturas erróneas. Si para realizar la prueba no es posible aislar por ejemplo, un transformador lleno de aceite dieléctrico, el máximo voltaje de prueba que se podrá usar, no deberá exceder el voltaje de prueba especificado para ese transformador en las normas correspondientes (ANSI C57.12.90-1973).

Se recomienda que en máquinas rotativas grandes, cada fase sea aislada, y que se le realice la prueba separadamente. Cuando se trata de máquinas pequeñas y de máquinas que tienen un neutro innaccesible, es aconsejable realizar la prueba a todas las fases al mismo tiempo.

Después de realizada una prueba con alto voltaje CD, se recomienda aterrizar el devanado por un mínimo de tiempo igual a cuatro o más veces el período de tiempo acumulado en la prueba y en ningún caso menor que una hora; esto es para asegurar que en el devanado no se acumuló energía significativa. Si el aterrizaje es removido muy rápido podría reaparecer en el devanado, un voltaje que podría alcanzar valores muy altos.

Cuando se realizan pruebas de alto voltaje con CD, para asegurar que la carga absorbida por el dieléctrico no contribuya a una posible perforación del aislamiento, si a una prueba de alto voltaje con CD le va a seguir una prueba con CA, es recomendable duplicar el tiempo de aterrizaje del devanado.

Durante la prueba con alto voltaje con CD, es posible que en bobinas cercanas no aterrizadas, objetos metálicos o superficies semiconductoras barnizadas desarrollen voltajes, los cuales pueden dar golpes o descargas peligrosas. Es por esta razón que mientras se está realizando la prueba, se recomienda que en el área dentro de los 10 pies que rodean las puntas de prueba o los devanados de la máquina bajo prueba, todas las partes dispersas, piezas de equipo, herramientas, etc. que no pueden ser removidas, sean aterrizadas.

El máximo voltaje de CD recomendado para realizar la prueba de etapas o pasos de voltaje es de 1.25 a 1.50 veces el voltaje de prueba CA por un factor de 1.7, es decir:

$$V_{CD \text{ max.}} = V_{AC} \times \text{FACTO 1} \times \text{FACTOR 2}$$

- Factor 1:** factor por el cual hay que multiplicar el voltaje de CA (rms) para encontrar el valor de voltaje de pruebas de CA. Su valor va de 1.25 a 1.50
- Factor 2:** factor de conversión de CA a CD. Su valor es 1.7

El tiempo total de prueba requerido va de 30 a 45 minutos por fase.

Antes de realizar una prueba de alto voltaje de CD, los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de aislamiento o en la prueba de índice de polarización descritas en el capítulo tres, deben estar igual o arriba de los valores mínimos recomendados en la norma ANSI/IEEE Std. 43-1974:

Sistema de aislamiento	Índice de Polarización	Conclusión
CLASE B & F	2*	Aislamiento limpio y seco
CLASE A	1.5*	Aislamiento limpio y seco

* Valores mínimos

Si se obtienen valores más bajos a los indicados en el índice de polarización, se debe detener la prueba y se deben determinar causas por las que se obtuvieron esos valores. Muchas veces, la presencia de humedad y suciedad pueden afectar los devanados y dar como resultado valores bajos en el índice de polarización. Si se ha realizado un proceso de calentamiento, la prueba se debe hacer en frío.

La información obtenida podrá ser ploteada en papel y ser interpretada inmediatamente para buscar alguna indicación de falla. A continuación, se incluyen algunas gráficas que muestran el comportamiento del aislamiento al ser sometido a prueba.

Por ejemplo, para un aislamiento que se encuentra en buenas condiciones, se espera que el ploteo de la corriente versus el voltaje aplicado, produzca una curva uniforme con características de incremento, (ver figura No.1).

Los aparentes incrementos, que a veces se observan en las gráficas, dependerán de la escala utilizada. Cuando no se tiene una desviación abrupta de la curva, probablemente no existe una falla inminente y se puede continuar con la prueba hasta alcanzar el máximo voltaje.

Si se observa alguna desviación en el trazo la curva, está deberá ser vista como una posible advertencia de que se aproxima un voltaje de falla para el aislamiento del devanado, (ver figuras 1 y 2). Esta desviación deberá ser confirmada por mediciones adicionales a uno o más incrementos de voltaje.

las advertencias son obtenidas a un poco menos del 5% abajo del voltaje de falla.

La indicación más usual de aproximación a un voltaje de falla es un acelerado incremento de la corriente con el voltaje. Ver figura No.1. Raramente se encuentra una caída abrupta de corriente de fuga, pero si esto ocurriera arriba del valor pico del voltaje de operación del devanado; esto podrá ser indicación de que se aproxima una falla en el aislamiento. (Ver figura No.2). Algunas de estas caídas abruptas se dan cuando el aislamiento del devanado ha sufrido abrasiones mecánicas, tiene grietas, etc.

Deberán verificarse que las indicaciones de una posible falla en el aislamiento no se deban a efectos corona presentes en conexiones, aislamiento de las puntas de prueba, etc., ya que estos factores afectarían nuestra medición y podrían producir resultados erróneos.

Esta norma recomienda que las pruebas de alto voltaje de CD se realice individualmente a cada fase del devanado. Una objeción que se encuentra para no probar las tres fases al mismo tiempo es que de esta forma sólo se mide el aislamiento a tierra y no se mide el aislamiento entre fases (ANSI/IEEE 43-1974). Las diferencias observadas en la curva característica entre fases y que a su vez no se deban a factores como el efecto corona, temperatura o humedad, son atribuidas generalmente a la condición del aislamiento. Ver figura No.3

Otro método para interpretar los resultados obtenidos de las pruebas, es comparar con curvas de pruebas realizadas anteriormente.

Relación entre el voltaje de prueba CD y CA

La relación entre los voltajes usados en las pruebas de CD y las de CA pueden variar de 1 a 3 (norma para cables IEEE, Std. 241-1974) es decir $1 < \frac{V_{CD}}{V_{CA}} < 3$ En general:

- 1) *Las relaciones más altas ocurren con aislamientos compactos*
- 2) *Relaciones en la región de 1.41 corresponden a condiciones que emulan una abertura o espacio de aire en un campo uniforme (donde el voltaje CD es igual a valor pico del voltaje CA)*

CURVAS DE COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO, CORRIENTE vs VOLTAJE

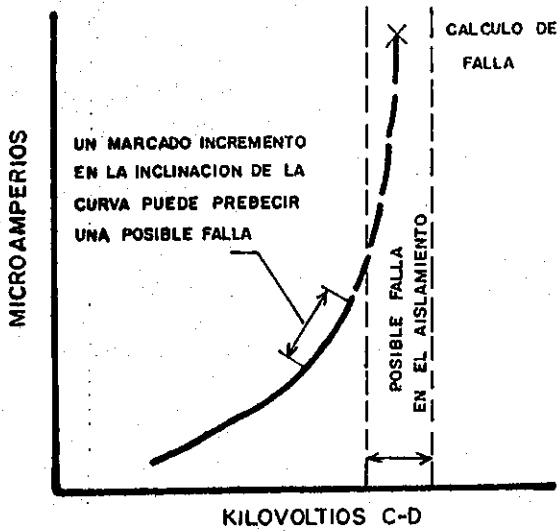


FIGURA 1

DEVANADO EN BUENAS CONDICIONES MOSTRANDO ADVERTENCIA DE FALLA

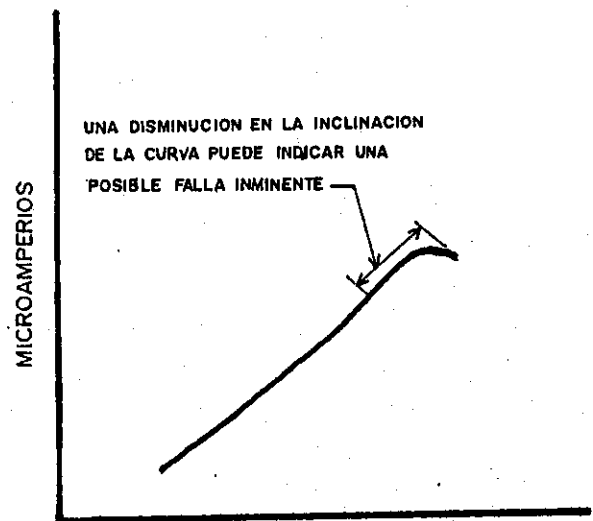


FIGURA 2

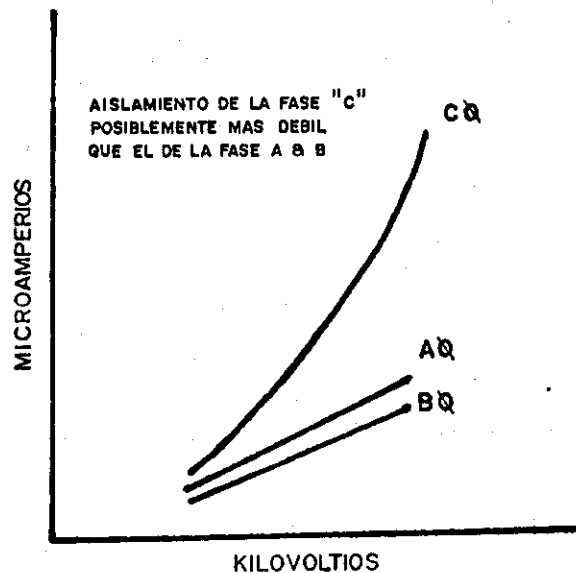


FIGURA 3

PLOTEO DE LA PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE PARA LAS TRES FASES PROBADAS INDIVIDUALMENTE A, B, C

- 3) *Relaciones menores a 1.41 corresponden a fisuras cerradas o abiertas, donde el mantener aplicado un voltaje CD, puede establecer una corriente de fuga considerable pero no destructiva.*
- 4) *Relaciones de 2 a 3 han sido usadas para establecer voltajes de prueba en la industria de cables (comparar con tabla No.1 del anexo A)*

NORMA: ANSI/IEEE Std. 43-1974
IEEE Recommended Practice for Testing
Insulation Resistance of
Rotating Machinery

Esta norma describe los procedimientos recomendados para la medición de resistencia de aislamiento de los devanados de máquinas rotativas de 1 hp, 1 kW o mayores. Esta norma se aplica a máquinas síncronas, máquinas de inducción, máquinas de corriente directa y convertidores síncronos. Se aplica a devanados de armadura y campo. No se aplica a máquinas de potencia fraccionaria.

Esta norma hace referencia a los diferentes tipos de corriente que se hacen presentes en el momento de realizar una prueba de resistencia de aislamiento, estudiadas anteriormente en este trabajo, (sección 2.4).

La resistencia de aislamiento de la mayoría de materiales varía inversamente con la temperatura. Para minimizar el efecto de la temperatura cuando se comparan pruebas de resistencia de aislamiento o cuando se aplica el valor mínimo recomendado para la resistencia de aislamiento, (véase ecuación 2 de esta norma), es importante que el valor obtenido en la prueba sea corregido para una temperatura base igual a 40°C. La corrección descrita se puede realizar utilizando la siguiente ecuación:

$$R_c = K_t \times R_t \quad (1)$$

donde R_c = resistencia de aislamiento
(en megohms) corregida a 40 °C
 R_t = resistencia de aislamiento medida
(en megohms) a una temperatura t
 K_t = coeficiente de temperatura de
resistencia de aislamiento a una
temperatura t . Este valor dependerá de la
temperatura del devanado medido, existen
tablas para calcularlo

El efecto de la temperatura en el índice de polarización es generalmente pequeño, si la temperatura de la máquina no cambia apreciablemente entre el minuto 1 y 10 de lectura, pero cuando la temperatura es alta, las características de temperatura del sistema de aislamiento pueden indicar un índice de polarización reducido, en cuyo caso mediciones debajo de los 40°C son recomendados como chequeo para determinar la condición real del aislamiento.

Para aislamientos en buenas condiciones y enteramente secos, substancialmente se obtendrá la misma resistencia de aislamiento para cualquier potencial de prueba, arriba del valor pico del potencial nominal de trabajo.

Si la resistencia de aislamiento decrece significativamente con un incremento en el voltaje aplicado, esto podrá ser una indicación de imperfecciones o rompimientos en el aislamiento, agravados éstos por la presencia de suciedad, humedad o por cualquier otro fenómeno de deterioro. El cambio en la resistencia es más pronunciado a potenciales considerablemente arriba del potencial de operación.

La medición de resistencia de aislamiento de un devanado normalmente aumentará con la duración de aplicación del potencial directo de prueba.

Los resultados obtenidos en la prueba de índice de polarización, pueden ser útiles en la evaluación de cuán seco se encuentra el devanado, así como para determinar el voltaje de prueba a ser aplicado, ver figura 1 y 2.

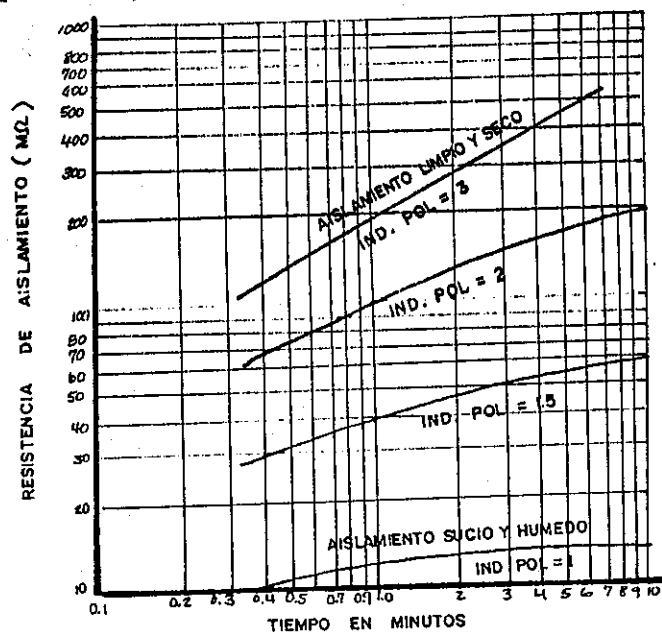


FIGURA 1

VARIACION TÍPICA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO VRS TIEMPO PARA DEVANADOS DE ARMADURA DE CA CON AISLAMIENTO CLASE B

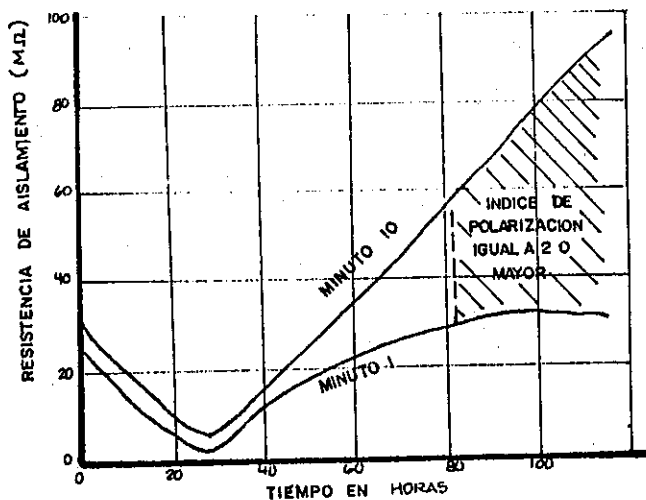


FIGURA 2

CAMBIO DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN EL TIEMPO DURANTE EL PROCESO DE SECADO DE UN DEVANADO DE-AR MADURA DE CA CON AISLAMIENTO CLASE B

TEMPERATURA INICIAL DEL DEVANADO : 25°C
TEMPERATURA FINAL DEL DEVANADO : 75°C.

Conexiones de devanados para pruebas de resistencia de aislamiento:

Cuando sea posible, es recomendable que cada fase sea aislada y probada individualmente y que se desconecte el final neutral de cada devanado de fase. Realizar la prueba individualmente a cada fase, permite hacer una comparación de aislamientos entre fases. Esta comparación es útil en la evaluación de la condición del aislamiento del devanado.

Cuando existe limitación de tiempo, las pruebas se podrán realizar al devanado completo, sin embargo, este procedimiento no es el método más adecuado. Una objeción que existe para hacerle la prueba a todas las fases al mismo tiempo, es que únicamente se prueba el aislamiento a tierra; no hay medición del aislamiento entre fases. El aislamiento de fase a fase es probado (medido) cuando una fase es sometida a la prueba al mismo tiempo que las otras fases son aterrizadas.

Interpretación de resultados:

El valor observado en la resistencia de aislamiento es una guía útil en la evaluación de la condición del devanado de la máquina, aunque no deberá ser considerado como un criterio absoluto, pues tiene varias limitaciones:

- La resistencia de aislamiento de un devanado no está directamente relacionado a su esfuerzo dieléctrico, por lo que es imposible especificar un valor de resistencia de aislamiento, al cual un devanado fallará eléctricamente.
- Devanados con un área de superficie grande, máquinas grandes o lentas (velocidad) y máquinas con conmutadores pueden tener valores de resistencia de aislamiento menores a los valores mínimos recomendados.

Una medición individual de resistencia de aislamiento a un potencial en particular no indica si una materia extraña está concentrada o distribuida a través del devanado.

Curvas típicas de resistencia versus tiempo, ilustran el comportamiento del aislamiento bajo condiciones diferentes (figura 1 y 2). Las curvas ilustran la importancia del índice de polarización.

Dependiendo de la condición del devanado, de la clase de aislamiento y del tipo de máquina, se han obtenido valores de índice de polarización que varían de 1 a 7. Generalmente el aislamiento clase B tiene un índice de polarización mayor que el aislamiento clase A (clases de aislamiento, norma ANSI C50.32-1976).

Si se determina que el valor de índice de polarización obtenido fue bajo debido a la presencia de humedad o suciedad, realizar un proceso de secado y limpieza podría elevar este valor. Cuando se realiza un proceso de secado, la prueba para determinar el índice de polarización se debe realizar al terminar el proceso.

Los valores mínimos recomendados de índice de polarización para máquinas rotativas de corriente CA y CD son:

Clase de aislamiento	Índice de polarización
A	1.5
B	2.0
F	2.0

Aunque no es lo adecuado, es posible que las máquinas trabajen a un valor de resistencia de aislamiento menor que los valores mínimos recomendados.

El valor mínimo de resistencia de aislamiento (R_m) para

máquinas de corriente CA y CD, puede ser determinada utilizando la ecuación No.2

$$R_m = kV + 1 \quad (2)$$

donde R_m = resistencia mínima de aislamiento en megohms, recomendada para el devanado completo de la máquina a 40°C

kV = potencial nominal de terminal a terminal, en kilovoltios rms

La resistencia de aislamiento de una fase de un devanado de armadura trifásico con las otras dos fases aterrizadas es aproximadamente el doble de la resistencia del devanado completo. Por esta razón, cuando las tres fases son sometidas a prueba individualmente, la resistencia observada de cada fase deberá ser dividida por dos para obtener un valor, el cual después de la corrección de temperatura, pueda ser comparado con los valores mínimos recomendados para resistencia de aislamiento total de los tres devanados.

Si cada fase es probada separadamente y en las otras que no están sometidas a la prueba se usan circuitos de guarda, la resistencia observada deberá ser dividida entre tres para obtener un valor, el cual después de la corrección de temperatura, pueda ser comparado con los valores mínimos recomendados para resistencia de aislamiento total de los tres devanados.

Es común que para aislamientos en buenas condiciones, se obtengan lecturas de resistencia de aislamiento de 10 a 100 veces el valor mínimo recomendado por la ecuación 2.

Al realizarle pruebas a máquinas con capacidad de hasta 10,000 kVA o menos, se deberán tener por lo menos los valores mínimos recomendados. Para máquinas mayores, tanto el índice de polarización como la resistencia de aislamiento, deberán registrar valores arriba de los valores mínimos recomendados.

MAQUINAS SINCRONAS

NORMA: ANSI C50.10.1977
American National Standard
General Requirements for
Synchronous Machines

Las máquinas síncronas se clasifican, según su estructura, como máquinas de polos salientes y máquinas de rotor cilíndrico. Además se clasifican según el tipo de enfriamiento en máquinas de enfriamiento indirecto y máquinas con enfriamiento directo.

Sistemas de aislamiento:

Un sistema de aislamiento es una agrupación de materiales aislantes. Los sistemas de aislamiento de los devanados de una máquina síncrona (ya sea campo o armadura) están divididos en tres componentes. Estos componentes son: el aislamiento de la bobina con sus accesorios, los aislamientos de conexión y soporte de devanados y las partes estructurales asociadas.

Los devanados de armadura podrán ser sometidos a prueba con un voltaje alterno, cuyo valor efectivo es 1,000 V más dos veces el voltaje nominal de la máquina:

$$V_{ca} = 2 V_n + 1,000, \text{ donde } V_n = \text{voltaje nominal}$$

Alternativamente, para devanados nominales de 6,000 voltios para arriba y cuando el fabricante y el usuario estén de acuerdo, el voltaje de prueba podrá ser un voltaje directo (CD) de 1.7 veces el valor de voltaje CA (rms). Para información adicional consultar la norma IEEE Std. 95-1977, incluida en este trabajo.

Los devanados de campo podrán ser probados con voltaje CA, cuyo valor efectivo está determinado por el tipo de aplicación como se menciona:

El voltaje de prueba para devanados de campo hasta 500 V incluyendo este valor, deberán usar un voltaje CA cuyo valor efectivo sea diez veces el voltaje nominal de excitación ($V_{ca} = 10 V_n$), pero en ningún caso menor que 1,500 V. Para devanados de rango arriba de 500 V, el valor efectivo del voltaje CA será cuatro mil voltios más dos veces el voltaje nominal de excitación ($2 V_n + 4,000 V$).

MOTORES DE INDUCCION Y GENERADORES

**NORMA: ANSI/IEEE Std. 112-1978
IEEE Standard Test Procedure for
Polyphase Induction Motor and Generators**

Para pruebas de alto voltaje, (ver IEEE Std. 4-1978, Standard Techniques for High-Voltage-Testing).

El potencial de prueba deberá ser aplicado entre cada circuito eléctrico y carcasa; los devanados que no están bajo prueba y las otras partes metálicas deben aterrizarse. Los devanados polifásicos interconectados son considerados como un circuito.

A menos de que se solicite, la prueba de resistencia de aislamiento generalmente no se le realiza a equipo nuevo. Para propósitos de mantenimiento, esta prueba es bastante valiosa. Todos los accesorios como capacitores, pararrayos, transformadores de corriente, etc., los cuales tienen puntas localizadas en las terminales de la máquina, y serán ser desconectadas durante la prueba. Para determinar métodos de prueba, consúltese ANSI/IEEE St.43-1974.

TECNICAS ESTANDAR PARA PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE

**NORMA: ANSI/IEEE Std. 4-1978
Standard Techniques for High Voltage-Testing**

Se recomienda que en cualquier prueba de la antes descritas, los voltajes aplicados en las pruebas de resistencia de aislamiento, sean aplicados empezando a un valor suficientemente bajo para prevenir cualquier efecto de sobrevoltaje debido a transitorios de cambios. El voltaje deberá aumentarse paulatinamente para permitir lecturas exactas en los instrumentos, pero a la vez no tan lento que cause esfuerzos innecesarios en el equipo bajo prueba. Esto se cumple si cuando se está arriba del 75% del valor estimado de voltaje final, el incremento de voltaje en cada etapa es del 2% del voltaje de prueba por segundo.

4.4 TRANSFORMADORES

Anotaciones
NORMA ANSI/IEEE C57.94 Y C.57-12.91
y Westinghouse Electrical
Maintenance Hints, Vol.3, chapter 6
Vol.2, chapter 17

Transformadores de distribución tipo secos (no inmersos en aceite)

Las pruebas de aislamiento deberán realizarse cuando el transformador esté listo para ser puesto en operación o cuando se programe realizarle trabajos de mantenimiento. Estas pruebas sirven para asegurar que la unidad bajo prueba está en condiciones de ser puesta en operación o de continuar en servicio. La comparación entre resultados de pruebas anteriores y actuales permiten establecer tendencias en el comportamiento del aislamiento.

Los valores de resistencia mínimos, que a continuación se mencionan, pueden servir de guía si no se tiene acceso al manual de instrucciones del fabricante. Estos valores han sido tomados de la norma ANSI/IEEE C57.94 y son basados en pruebas realizadas de acuerdo con la norma C57-12.91.

Resistencia de aislamiento

Los siguientes valores mínimos pueden ser usados. (1)

Clase de devanado kV*	Resistencia de aislamiento MΩ
1.2	600
2.5	1,000
5.0	1,500
8.7	2,000
15.0	3,000

- * Voltajes de línea a línea
(1) Para transformadores, cuyo aislamiento se encuentre seco, se espera lecturas de 5 a 10 veces los valores mínimos

Para realizar estas pruebas, los megaohmetros deberán operar a 500 voltios o más.

Anotaciones
Westinghouse Electrical
Maintenance Hints, Vol.3, chapter 4
Liquid Immersed Power Transformers

Transformadores de potencia sumergidos en aceite

Comparando los resultados obtenidos en las pruebas de fábrica y los obtenidos en pruebas de resistencia de aislamiento efectuadas en el campo, se podrá establecer si un transformador se encuentra seco, y en condiciones de ser puesto en operación.

Resistencias típicas de aislamientos
a 20°C para varias clases de voltaje
de operación de transformadores en
aceite

Voltajes de L-L	
kV	MΩ
1.2	32
2.5	68
5	135
8.66	230
15	410
25	670
34.5	930
46	1,240
69	1,860

Voltajes de L-L	
kV	MΩ
92	2,480
115	3,100
138	3,720
161	4,350
196	5,300
230	6,200
287	7,750
345	9,300

Anotaciones
Guide to Transformer Maintenance
tomo II*

INDICE DE POLARIZACION Guía para la evaluación de la condición de transformadores	
Condición	Indice de Polarización
Peligrosa	Menos de 1.0
Pobre	1.0 a 1.1
Questionable	1.1 a 1.25
Justo	1.25 a 2.0
Bueno	Arriba de 2.0

MYERS, Standley D., et.al. A guide to transformer Maintenance. 1st edition, 2nd printing.
EEUU: Editorial S.D.MYERS. 1981.

4.5 EQUIPO DE SECCIONAMIENTO

IEEE Recommended Practice
for Electric Power Distribution for
Industrial Plants
Std. 141-1976

El término "equipo de seccionamiento" involucra dispositivos de seccionamiento e interrupción, ya sea aislados o la interacción de éstos con otros equipos de medición, control, protección y regulación.

Los conjuntos de equipo de seccionamiento de potencia son usados en sistemas de potencia de plantas industriales, pero se utilizan esencialmente en líneas de entrada de protección o control a centros de carga, motores, transformadores, centro de motores, paneles y otro equipo secundario de distribución.

Equipo de seccionamiento de tipos específicos, contenidos en

gabinetes son universalmente utilizados en la industria para la distribución de voltaje y para aplicaciones de CA y CD, tanto en ambientes interiores como externos. Estos tipos de equipo se definen como: equipos de seccionamiento con dispositivos removibles, equipos de seccionamiento con interruptores de potencia de bajo voltaje y equipos interrupción. Debido a que frecuentemente el equipo de seccionamiento trabaja en conjunto con los ductos barras, se incluyen información sobre éstas.

Para la realización de pruebas, se deben consultar valores de las tablas 5 y 6 del anexo A.

4.6 DUCTOS BARRAS

IEEE Recommended Practice
for Electric Power Distribution for
Industrial Plants
Std. 141-1976

Todas las instalaciones de sistemas de barras deberán ser sometidas a pruebas de aislamiento. Estas pruebas se podrán realizar con un megaóhmetro o con equipo de alto voltaje con CD. Los resultados obtenidos permiten verificar la inexistencia de corrientes de fuga entre fases y tierra. Los valores que se pueden obtener, al realizar pruebas con un megaóhmetro, dependerán de la construcción del sistema de barras, tipo de aislamiento, tamaño y largo de las barras, y de las condiciones atmosféricas. Para obtener información sobre los valores aceptables y requeridos por las pruebas de aislamiento, consúltese al fabricante del equipo.

Si se usa un megaóhmetro, éste deberá ser especificado para 1,000 V con señal CD. Los voltajes de prueba normales para la prueba con alto potencial son iguales a dos veces el voltaje nominal CA más mil voltios ($2V_n + 1,000$) con una duración igual a un minuto. Debido a que los valores de voltaje que se pueden alcanzar pueden ser voltajes que produzcan efecto corona (Apéndice C) en algunas barras, no se recomienda hacer pruebas continuamente. Como alternativa a estos valores, se puede trabajar con el 120% de dos veces el voltaje nominal más 100 voltios por un tiempo igual a 1 segundo, $1.2 (2V_n + 100)$

Para ductos barras que operan arriba de los 600 V, los estándares contenidos en la norma IEEE Std.27-1974 especifican el voltaje, aislamiento y los niveles de corriente continua y

momentánea que pueden resistir, ver tabla No.7 del anexo A. Los rangos de voltaje son iguales a los valores que corresponden a equipo de seccionamiento contenido en gabinetes.

Para trabajar con ductos barras debajo de los 600 V las pruebas de aislamiento con megaóhmetro se pueden hacer como las descritas para las barras arriba de este valor; las pruebas de alto potencial de corriente directa deberán trabajarse con el 75% de los valores indicados en la tabla No.7 (anexo A) para dichas pruebas.

CAPITULO 5

PRUEBAS DE CAMPO



INTRODUCCION

En este capítulo, se incluyen resultados de pruebas realizadas en la industria guatemalteca a diferentes equipos que intervienen en la alta tensión.

Para la realización de las pruebas que a continuación se describen, se han considerado algunos criterios que se mencionan en la parte teórica del trabajo, así como los adquiridos a través de la práctica y experiencia en realizar pruebas de este tipo.

Aunque no aparecen literalmente descritos, para realizar las pruebas se consideraron los procedimientos y recomendaciones que se describen en la parte teórica del trabajo.

Uno de los métodos más empleados fue el de realizar pruebas utilizando el método de prueba de pasos de voltaje, es decir, en que para alcanzar el voltaje que se deseaba aplicar al aparato, se hicieron incrementos de voltaje a través de etapas que tenían la duración de un minuto. Aunque lo más indicado era someter el equipo a los valores de tensión establecidos por normas que regulan este tipo de prueba, en su mayoría, los voltajes aplicados no fueron los máximos recomendados sino los que los fabricantes y personas que operaban el equipo solicitaron.

En la mayoría de pruebas realizadas en el campo, no fue factible aplicar los voltajes recomendados por las normas, debido a que los fabricantes y proveedores del equipo argumentaron que esas pruebas son realizadas en fábrica y que la garantía del equipo se afecta. Bajo estas indicaciones, se realizó la mayoría de pruebas. En otras ocasiones, basándose en la experiencia que se tiene con estas pruebas, se aplicaron voltajes que se consideraron suficientemente altos para evaluar la condición del aislamiento del equipo.

Cabe hacer mención que aunque se tengan normas que establecen los voltajes a aplicar, en su gran mayoría, no se tiene información sobre los valores de corriente de fuga que se esperan obtener y su interpretación. Esto conlleva a que la persona que realiza la prueba analice y establezca límites para saber hasta que valores considerará la prueba como satisfactoria.

Basándose en resultados de algunas pruebas realizadas anteriormente, al obtener lecturas debajo de determinado valor, se consideró la prueba como satisfactoria. En otras ocasiones, se compararon resultados de pruebas realizadas a equipo nuevo y reparado y se estableció si los lecturas obtenidas eran confiables o no.

Como se mencionó anteriormente, no existen reglas generales que digan cómo hay que interpretar los resultados que se obtienen de cada prueba. En este trabajo, se dan conclusiones generales para cada uno de los casos que se presenta, tratando en todo momento de orientar al usuario de este trabajo para que con su experiencia y resultados de pruebas realizadas anteriormente, compare y saque sus propias conclusiones.

ESPECIFICACIONES DE EQUIPO

Características técnicas e información general del equipo utilizado para realizar las pruebas.

Características eléctricas del DC DIELECTRIC TEST SET:

Catálogo No.: 220124
Serie No.: 19210

Voltaje de entrada
(Para voltaje nominal de línea, monofásica): 120 V (105-130 V)

Voltaje de salida
(Para voltaje CD nominal de línea, variable, polaridad negativa respecto a tierra, con una corriente de salida menor de 1 mA: 0 a 120 kV

Corriente de salida (Máximo valor): 5 mA para 20 minutos
2.5 mA continuos

PROCEDIMIENTO DE OPERACION

A continuación, se describe un procedimiento paso a paso para realizar una prueba. Un operador familiarizado con el arreglo de la prueba y la operación de este equipo puede seguir el procedimiento de operación condensado, que se describe en la tapa del equipo de pruebas.

1. Remover todos los aterrizajes de seguridad de la muestra a ser probada
2. Energizar el equipo de pruebas cerrando el switch principal (MAIN BREAKER). Deberán estar encendidas la luz verde de la lámpara CA y los paneles de los medidores
3. Comenzar el ajuste de rango de corriente a un valor de 5 mA
4. Si es usado, cerrar el switch de seguridad externo (interlock)

5. Poner el control de voltaje a 0 (resetear), luego despresione el HV-ON switch (botón de presión). La luz roja de la lámpara HV ON encenderá

Advertencia

En esta etapa, el equipo de pruebas es capaz de producir alto voltaje en la salida.

6. Avanzar lentamente el control de voltaje, hasta que se lea en el kilovoltímetro el voltaje de salida deseado. Aquí es donde se puede ir incrementando poco a poco el voltaje, e ir tomando lecturas de corriente
7. Mantener el voltaje de prueba por el período de tiempo deseado. La corriente de salida del medidor indica la corriente de fuga de la muestra bajo prueba. Establecer el switch de escala de corriente a la escala deseada
8. Después de mantener el voltaje de prueba por el tiempo establecido, se da vuelta lentamente al control de voltaje hasta cero (resetear) en dirección opuesta al movimiento de las agujas del reloj
9. Despresionar el HV-OFF switch (botón de presión) o abrir el switch de seguridad externo (interlock)
10. Dar suficiente tiempo para que la carga de la muestra bajo prueba sea sangrada; esto es indicado cuando la lectura del kilovoltímetro retorna a cero
11. Apagar el switch principal (MAIN BREAKER). Las luces indicadoras se apagarán

Advertencia !!!

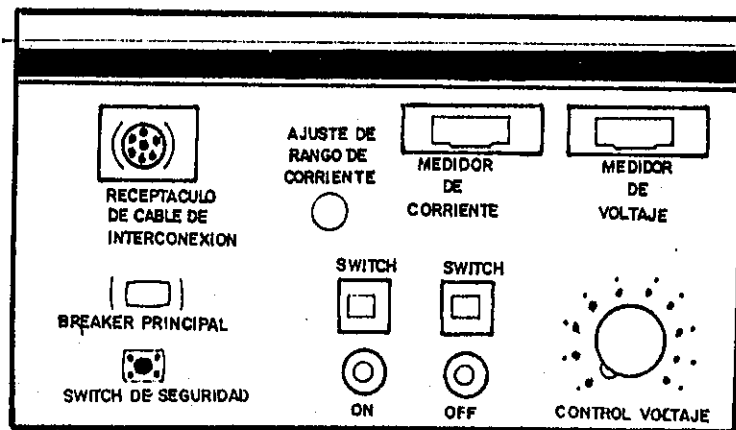
La muestra bajo prueba puede mantener una carga eléctrica letal, aun cuando el equipo de pruebas sea apagado. Descargar a tierra todas las partes vivas de la muestra bajo prueba con una varilla de aterrizaje segura, luego se aterriza sólidamente las partes del equipo de pruebas. Mantener la terminal de alto voltaje de la muestra y el cable de salida de alto voltaje del equipo de pruebas aterrizados todo el tiempo, excepto cuando realmente se estén realizando pruebas.

12. No acercarse a la unidad de alto voltaje, hasta que el cable de salida de alto voltaje del equipo de pruebas haya sido aterrizado.

Precaución

En caso de una emergencia, la energía puede ser interrumpida inmediatamente apagando el switch principal (MAIN BREAKER) o abriendo el switch de seguridad externo (interlock). Este procedimiento se considerará solamente en caso de absoluta necesidad, ya que puede dañar la muestra y el equipo de pruebas.

13. Desconectar los cables del equipo de pruebas en la siguiente secuencia: Primeramente, se desconecta el cable de salida de alto voltaje del equipo sometido a prueba y después del equipo de pruebas, desconectar el cable de alimentación (entrada) y el cable de interconexión, finalmente se desconectan los dos cables de tierra



ESQUEMA DE LA UNIDAD DE CONTROL

5.1 TRANSFORMADORES

PRUEBA 1

Transformador ubicado en la planta térmica LA ALBORADA DE TAMPA en Escuintla, Km. 64 Carretera antigua al Puerto San José y registrado como el transformador No.3

A este transformador se le hicieron pruebas, ya que el ducto-barra que va del generador de 40 MVA a este transformador, que presentó fallas en el aislamiento debidas éstas, al exceso de humedad que se acumuló en todo el sistema del ducto barra.

PLACA DEL TRANSFORMADOR:

Marca: U.S. Transformer
Serie: 13690495
Clase: OA/FA/FA
H.V.: 750 KV BIL
L.V.: 110 KV BIL
Ho. Neutral: 150 KV BIL
Potencia: 36/48/60 MVA
Voltajes: 230,000 GRDY/ 13,800 Delta voltios
Impedancia: 11.8% (36 MVA)
Frecuencia: 60 Hz
Peso: 228,440 Lbs.
Conexión: Ynd1

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)			
DEVANADO	VOLTAJE APLICADO (KV)*	TIEMPO (Min.)	CORRIENTE (μ A)
BAJA TENSION A TIERRA	24	1	5.0
ALTA TENSION A TIERRA	24	1	3.2

Temperatura ambiente: 30°C

Temperatura del equipo: 35°C

* Tiempo de aplicado: 1 minuto

OBSERVACIONES

- Los voltajes aplicados a ambos devanados fueron los valores solicitados por los ingenieros de operación del equipo de la Planta térmica LA ALBORADA DE TAMPA

- A continuación, se hace mención de los valores de voltaje que correspondían aplicar según recomendaciones de fabricantes del medio.

DEVANADO	VOLTAJE CD
Baja tensión a tierra	27 kV
Alta tensión a tierra	442 kV

S. D. Myners, J. J. Kelly, R. H. Parrish,
A guide to transformer Maintenance, printed
 in USA

- Como puede observarse, el voltaje aplicado de alta tensión a tierra es insignificante si lo comparamos con el valor que correspondía aplicar
- Las pruebas se realizaron con el equipo de alto voltaje de CD pero al aplicar voltajes muy bajos, prácticamente se puede decir que se probó el aislamiento a baja tensión

CONCLUSIONES

- El aislamiento de baja tensión del transformador se encuentra bien. Las corrientes de fuga obtenidas fueron pequeñas.
- Para el devanado de baja tensión a tierra, casi se aplicó el voltaje de CD que correspondía
- La prueba realizada al devanado de alta tensión no es significativa por los valores de voltaje aplicados

PRUEBA 2

Transformador ubicado en la planta térmica LA ALBORADA DE TAMPA en Escuintla, Km. 64 Carretera antigua al Puerto San José, registrado como transformador No. 1.

Debido a la disponibilidad del equipo y a que el transformador estaba desenergizado en el momento en que se le realizaron pruebas al otro transformador (prueba 1), a éste se le hicieron pruebas de aislamiento únicamente con Megger; estas fueron únicamente pruebas de rutina.

PLACA DEL TRANSFORMADOR:-

Marca: U.S. Transformer
Serie: 13700495
Clase: OA/FA/FA
H.V.: 750 KV BIL
L.V.: 110 KV BIL
Ho. Neutral: 150 KV BIL
Potencia: 36/48/60 MVA
Voltajes: 230,000 GRDY/ 13,800 Delta voltios
Impedancia: 11.8% (36 MVA)
Frecuencia: 60 Hz
Peso: 228,440 Lbs.
Conexión: Ynd1

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)

FASE: BAJA TENSION A TIERRA

VOLTAJE APLICADO: 1,000 Voltios *

Tiempo de lectura (Minutos)	Resistencia en MΩ
1	500
2	535
3	535
4	535
5	571
6	571
7	607
8	571
9	571
10	642

* Tiempo aplicado: 1 minuto
Temperatura ambiente: 30°C
Temperatura del equipo: 35°C

OBSERVACIONES

- Los ingenieros de operación del equipo de la Planta Térmica LA ALBORADA DE TAMPA sólo solicitaron esta prueba

CONCLUSIONES

- Los valores registrados en la prueba de aislamiento se encuentran dentro de los valores mínimos requeridos por la norma C57.94

PRUEBA 3

Transformador ubicado en la planta MAYATEXIL, carretera a Amatitlán, Km. 30.5

A este transformador se le realizaron pruebas ya que iba a ser puesto en operación.

PLACA DEL TRANSFORMADOR:

Marca: GS Waukesha Electric Systems
Serie: A2381T
Clase: OA/FA
H.V.: 350 KV BIL
L.V.: 110 KV BIL
Ho. Neutral: 110 KV BIL
Potencia: 14/18 MVA
Voltajes: Alta tensión: 69,000 GRDY/ 39,840 voltios
Baja tensión: 13,800 voltios
Impedancia: 10.27% at 69,000-13,800 voltios a 14 MVA
Frecuencia: 60 Hz
Peso: 35,100 Kgs.
Conexión: Ynd1

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION	VOLTAJE APLICADO (V)*	RESISTENCIA (MΩ)
BAJA TENSION A TIERRA	1,000	20,000
ALTA A BAJA TENSION	1,000	20,000
ALTA TENSION A TIERRA	1,000	20,000

Temperatura ambiente: 25°C

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DEVANADO: BAJA TENSION A TIERRA		
TIEMPO (Min.)	VOLTAJE APLICADO (kV)*	CORRIENTE (μ A)
1	2	0.25
2	4	0.70
3	6	0.9
4	8	0.9
5	10	1.0
6	12	1.0
7+	15	1.0
8	15	1.0
9	15	1.0
10	15	0.8

+ Se mantuvo el mismo voltaje durante los tres minutos restantes

DEVANADO: ALTA TENSION A TIERRA		
TIEMPO (Min.)	VOLTAJE APLICADO (kV)*	CORRIENTE (μ A)
1	5	0.6
2	10	1.0
3	15	1.3
4	20	1.4
5	25	1.6
6	30	1.8
7	35	2.0
8	40	16.0
9	45	17.0
10	50	23.0
11	55	28.0
12	60	40.0
13	65	49.0
14	72.5	70.0

* Tiempo aplicado: 1 minuto

OBSERVACIONES

- El fabricante recomendó no aplicar voltajes mayores a los voltajes nominales. Al hacer la consulta, se informó que ya se habían hecho pruebas en fábrica y que por lo tanto para no perder la garantía del equipo, sólo se aplicarían los voltajes nominales
- A continuación, se hace mención de los valores de voltaje que correspondían aplicar, referencia: S. D. Myers, J. J. Kelly, R. H. Parrish, A guide to transformer Maintenance, printed in USA

DEVANADO	VOLTAJE CD
Baja tensión a tierra	37 kV
Alta tensión a tierra	170 kV

CONCLUSIONES

- El aislamiento del transformador se encuentra bien
- Las variaciones de corriente de fuga obtenidas al realizar la prueba se encuentran dentro del comportamiento normal del aislamiento.
- El transformador se encuentra actualmente en operación y trabaja bien hasta la fecha

PRUEBA 4

Transformador ubicado en la subestación de 69 kV, 10/14 MVA perteneciente a la Vidriera Guatemalteca, S.A. ubicada en la Av. Petapa 48-01, zona 12.

A este transformador se le efectuaron pruebas, ya que próximamente será puesto en operación.

PLACA DEL TRANSFORMADOR:

Marca: General Electric
Serie: L247591
Clase: OA/FA
H.V.: 350 KV BIL
L.V.: 75 KV BIL

Potencia: 10/14 MVA
Voltajes: Alta tensión: 66,000 voltios
 Baja tensión: 4,160 Y - 2,400 voltios
Impedancia: 6.8% at 66,000- 4,160Y voltios a 10,000 kVA
Frecuencia: 60 Hz
Peso: 53,300 Lbs.
Conexión: Dyn1

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION	VOLTAJE APLICADO (V)*	RESISTENCIA MΩ
ALTA A BAJA TENSION	1,000	4,000
ALTA TENSION A TIERRA	1,000	4,000
BAJA TENSION A TIERRA	1,000	3,500

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DEVANADO: BAJA TENSION A TIERRA		
TIEMPO (Min.)	VOLTAJE APLICADO (kV)*	CORRIENTE (μA)
1	1	1.5
2	2	2.5
3	3	3.5
4	4	5.0
5	5	6.0

DEVANADO: ALTA TENSION A TIERRA		
TIEMPO (Min.)	VOLTAJE APLICADO (kV)*	CORRIENTE (μ A)
1	5	0.8
2	10	1.5
3	15	2.0
4	20	3.0
5	25	3.5
6	30	4.5
7	35	5.0
8	40	6.5
9	45	8.5
10	50	10.0
11	55	11.5
12	60	14.0
13	65	15.0
14	72.5	20.0

Tiempo de aplicación: 1 minuto
 Temperatura ambiente: 30°C

OBSERVACIONES

- Este transformador tiene cuatro cables 1/0 por fase de 12 m cada uno
- Por experiencia en realizarle pruebas a otros transformadores, algunos descritos anteriormente, sólo se aplicaron voltajes nominales
- A continuación, se hace mención de los valores de voltaje que correspondían aplicar, referencia: S. D. Myers, J. J. Kelly, R. H. Parrish, A guide to transformer Maintenance, printed in USA

DEVANADO	VOLTAJE CD
Baja tensión a tierra	12 kV
Alta tensión a tierra	170 kV

CONCLUSIONES

- El aislamiento de este transformador se encuentra mejor que el del transformador de la prueba 3. Al aplicar los mismos voltajes nominales en alta tensión, se obtuvieron para este transformador (VIGUA) corrientes casi cuatro veces más pequeñas
- Las variaciones de corriente de fuga obtenidas al realizar la prueba se encuentran dentro del comportamiento normal del aislamiento. Sus valores son pequeños

5.2 DUCTOS BARRA Y SEPARADORES

PRUEBA 1

Pruebas realizadas al ducto barra del transformador No.3 de la planta térmica LA ALBORADA DE TAMPA, en Escuintla, Km. 64 Carretera antigua al Pto. de San José. (ver prueba No.1 de transformadores)

Este ducto barra presentó fallas en el aislamiento.

Primeramente se realizaron pruebas con MEGGER tomando lecturas a diferentes tiempos. Posterior a ello, se realizaron pruebas de HI-POT.

Es de hacer notar que se realizaron varias pruebas debido a que había mucha humedad en el aislamiento de las barras así como en sus separadores. Algunos aislamientos fueron cambiados y algunos separadores fueron secados al horno. Como se iba armando la trayectoria del ducto-barra con los cambios mencionados, continuamente se hacían las pruebas para verificar que el aislamiento mejorara.

Características de las barras:

Dimensiones: 150 x 10 mm
Capacidad en amperios por barra: 2,625 A
Voltaje: 13,800 voltios
Barras por fase: 2
Aislamiento exterior de las barras: Manga termocontractil
Los separadores mencionados son de fibra de vidrio

PROCESO DE SECADO Y PRUEBAS:

DIA 04/10/95

Lectura: 10:30 Hrs.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)*	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	600
FASE B a TIERRA	1,000	1,200
FASE C a TIERRA	1,000	1,900

Continuación de cuadro...

FASE A a FASE B	1,000	1,800
FASE A a FASE C	1,000	2,000
FASE B a FASE C	1,000	3,000

Lectura: 14:30 Hrs.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	800
FASE B a TIERRA	1,000	1,800
FASE C a TIERRA	1,000	3,000
FASE A a FASE B	1,000	2,200
FASE A a FASE C	1,000	3,000
FASE B a FASE C	1,000	3,000

Lectura: 16:30 Hrs.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	800
FASE B a TIERRA	1,000	3,500
FASE C a TIERRA	1,000	4,000
FASE A a FASE B	1,000	3,000
FASE A a FASE C	1,000	3,500
FASE B a FASE C	1,000	3,500

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: DUCTO-BARRA/Trafo.3		
TIEMPO (Min)	VOLTAJE * APLICADO (kV)	CORRIENTE (μ A) <i>FASE A a Tierra</i>
1	5	4
2	10	5
3	15	28
4	20	37
5	25	50
<i>FASE B a Tierra</i>		
Primera prueba		
1	5	2.5
2	10	7.0
3	15	> 50.0
Segunda prueba		
1	5	> 50.0
<i>FASE C a Tierra</i>		
1	5	0.3
2	10	3.0
3	15	18.0
4	20	30.0
5	25	50.0

Al observar el comportamiento de la fase B a tierra, se limpiaron las barras y se retiraron y limpiaron los separadores. Posteriormente a esto, se realizaron nuevamente mediciones con el aislamiento ya mejorado:

TIEMPO (Min)	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A) <i>FASE B a tierra</i>
1	10	35
2	15	21
3	20	46

SEPARADORES:

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: SEPARADORES DE DUCTO-BARRA		
	VOLTAJE (kV)	CORRIENTE (µA)
Separadores nuevos (completamente secos)	30	8
Separadores usados (se encontraron humedecidos)	30	30
Medición realizada después de haber sido barnizados y secados al horno:		
Separadores usados	30	8

OBSERVACIONES

- Por comparaciones y experiencias con algunas otras pruebas realizadas, los últimos valores de corrientes de fuga obtenidos en estas pruebas están altos pero a la vez menores que 50µA por lo que pueden considerarse aceptables
- Después de realizado el proceso de secado al horno y de haber barnizado los separadores usados, casi se obtuvieron los mismos valores de corriente de fuga que los medidos en los separadores nuevos que se encontraban completamente secos

DIA 06/10 95

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: DUCTO-BARRA/Trafo.3, fasea a tierra				
TIEMPO (Min)	VOLTAJE* APLICADO (KV)	CORRIENTE (µA)		
		FASE A	FASE B	FASE C
1	5	3.5	0.9	0.1
2	10	13.0	2.2	0.4
3	15	25.0	3.7	1.0
4	20	42.0	7.0	1.8
5	25	60.0	10.0	9.0
6	25	68.0	15.0	11.0

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)			
DESCRIPCION: DUCTO-BARRA/Trafo.3, fasea a fase			
TIEMPO (MIN)	VOLTAJE* APLICADO (kV)	CORRIENTE (μ A)	
		FASE A-B	FASE A-C
1	5	0.85	0.8
2	10	2.0	1.8
3	15	3.3	3.1
4	20	4.9	4.6
5	25	8.5	8.0
6	25	8.0	8.0

Debido a la humedad existente en la atmósfera que rodeaba las barras, se observa en algunos valores medidos, ligeros incrementos de corriente.

Se quitaron las mangas protectoras (aislamiento) en los bushings de baja tensión; se colocaron nuevas mangas y se realizó otra prueba de la fase A a tierra.

TIEMPO (MIN)	VOLTAJE* APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A) <i>FASE A a Tierra</i>
1	25	34

* Tiempo de aplicación: 1 minuto

Estas fueron las últimas pruebas realizadas y con estos valores fue conectado el transformador No. 3.

OBSERVACIONES

- Las mediciones de aislamiento de fase a fase, sólo se le realizaron a la fase A, ya que ésta fue la más húmeda que se encontró al realizar pruebas de fase a tierra. Después del cambio de mangas o forro de aislamiento, los valores de corriente de fuga disminuyeron a la mitad y con esos valores se conectó
- El valor de voltaje aplicado a las barras, 25 kV, fue el valor solicitado por los ingenieros de operación de la planta.

- El voltaje que correspondia aplicar era de 50 kV, según norma de referencia IEEE Std. 27-1974, Tabla No.6 de la sección IV

PRUEBA 2

Pruebas realizadas al ducto barra del transformador No.1, perteneciente a la Planta Térmica LA ALBORADA TAMPA en Escuintla. Primeramente se realizaron pruebas con MEGGER tomando lecturas a diferentes tiempos. Posteriormente, se realizaron pruebas de HI-POT.

Ver características y anotaciones de la prueba No.1 de ductos barras.

PROCESO DE SECADO Y PRUEBAS:

DIA 08/10/95

Lectura: 16:00 Hrs.

Pruebas realizadas con separadores no completos

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	10,000
FASE B a TIERRA	1,000	10,000
FASE C a TIERRA	1,000	10,000
FASE A a FASE B	1,000	Infinita
FASE A a FASE C	1,000	Infinita
FASE B a FASE C	1,000	Infinita

Lectura: 16:00 Hrs.

Pruebas realizadas con MEGGER de 5 kV y con separadores no completos.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	5,000	>10,000
FASE B a TIERRA	5,000	>10,000
FASE C a TIERRA	5,000	>10,000
FASE A a FASE B	5,000	Infinita
FASE A a FASE C	5,000	Infinita
FASE B a FASE C	5,000	Infinita

Lectura: 18:30 Hrs.

Pruebas realizadas con separadores completos.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	2,000
FASE B a TIERRA	1,000	2,000
FASE C a TIERRA	1,000	2,000
FASE A a FASE B	1,000	10,000
FASE A a FASE C	1,000	10,000
FASE B a FASE C	1,000	10,000

DIA 09/10/95

Lectura: 12:35 Hrs.

Pruebas realizadas con separadores completos, después de secar los separadores al horno.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V) *	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A a TIERRA	1,000	10,000
FASE B a TIERRA	1,000	10,000
FASE C a TIERRA	1,000	10,000
FASE A a FASE B	1,000	Infinita
FASE A a FASE C	1,000	Infinita
FASE B a FASE C	1,000	Infinita

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: DUCTO-BARRA/Trafo.1, fasea a tierra				
TIEMPO (Min)	VOLTAJE* APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA)		
		FASE A	FASE B	FASE C
1	5	0.05	0.15	0.1
2	10	0.2	0.30	0.4
3	15	0.5	0.70	0.8
4	20	1.1	3.0	3.5
5	25	3.3	8.0	5.0

OBSERVACIONES

- El valor de voltaje aplicado a las barras, 25 kV, fue el valor solicitado por los ingenieros de operación de la planta

- El voltaje que correspondía aplicar era de 50 kV según norma de referencia IEEE Std. 27-1974, Tabla No.6 de la sección IV
- Los valores de corrientes de fuga obtenidos en las pruebas son menores que los obtenidos para el ducto barra de la prueba No.1

CONCLUSIONES

- El aislamiento de este ducto barra se dejó en mejores condiciones que las encontradas, y en valores de corriente de fuga pequeñas y aceptables

PRUEBA 3

Prueba de aislamiento realizada al sistema de barras para 15 KV, perteneciente a Servicios Generales del País (Edificio Torre del País), ubicado en la 7 Av. 9-43, zona 9.

Estas pruebas se hicieron necesarias, ya que al cerrar los fusibles de 13.8 kV de la instalación para energizar el edificio, hubo una falla en una de las fases. Al hacer el diagnóstico de lo ocurrido y realizar pruebas, se encontró que la causa era un flameo ocurrido porque el sistema de barras se encontraba bastante húmedo. Las pruebas se realizaron después de secar, limpiar y hacer reparaciones en el aislamiento.

Características de las barras:

Descripción: barras principales: 600 A
 Características: barras de aluminio estañadas

Descripción: barras de tierra: 600 A
 Características: barras de cobre platinadas

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)					
DESCRIPCION: DUCTO-BARRA					
TIEMPO (Min)	VOLTAJE* APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)			
		FASE A	FASE B	FASE C	
1	5	0	0	0	
2	10	0.05	0.05	0.05	
3	15	0.3	0.7	2.5	
4	20	1.1	8.0	10.0	
5	25	5.0	25.0	25.0	

* Tiempo de aplicación: 1 minuto

OBSERVACIONES

- El valor de voltaje aplicado a las barras, 25 kV, fue el que se consideró suficiente para evaluar la condición del aislamiento de las barras, después de eliminar la humedad contenida en éstas
- El voltaje que correspondía aplicar era de 50 kV según norma de referencia IEEE Std. 27-1974, Tabla No.6 de la sección IV
- Los valores de corrientes de fuga obtenidos en las pruebas son pequeños y aceptables

CONCLUSIONES

- El aislamiento de este ducto barra se dejó en mejores condiciones que las encontradas. Actualmente se encuentra energizado y no ha presentado problemas hasta la fecha

PRUEBA 4

Prueba realizada al sistema de barras de la subestación de 10/14 MVA, perteneciente a Vidrería Guatemalteca, S. A. ubicada en la Av. Petapa 48-01, zona 12.

Estas pruebas se realizaron, ya que próximamente se pondrá en operación la nueva subestación.

Descripción: barras de 4,160 voltios que alimentan el breaker principal de la subestación

Características: Barras de cobre platinadas

Dimensiones: 1/2"x 6"

Longitud aproximada: 6.40 Metros

Tipo de aislamiento: aislamiento de fábrica impregnado en la barra y capuchones de aislamiento para alto voltaje

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (MΩ)
FASE A	1,000	> 20,000
FASE B	1,000	> 20,000
FASE C	1,000	> 20,000

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)					
DESCRIPCION: BARRAS DE 4,160 VOLTIOS					
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA)			
		Fase: A	B	C	
1	15	0.6	0.65	0.6	

* Tiempo de lectura después de 15 minutos de alcanzar el voltaje máximo deseado

OBSERVACIONES

- El valor de voltaje aplicado a las barras, 15 kV, fue el que se consideró suficiente para evaluar la condición del aislamiento de las barras, ya que éstas eran nuevas y se encontraban completamente secas
- El voltaje que correspondía aplicar era de 27 kV según norma de referencia IEEE Std. 27-1974, tabla No.6 de la sección IV
- Los valores de corrientes de fuga obtenidos en las pruebas son los más pequeños que se obtuvieron en todas las pruebas realizadas a barras

CONCLUSIONES

- El aislamiento de estas barras se encuentra en buenas condiciones

5.3 INTERRUPTOR

Prueba al interruptor del transformador No.3 de la planta térmica LA ALBORADA DE TAMPA, (prueba No.1 de transformadores)

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: INTERRUPTOR		
TIEMPO (Min)	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)
1	5	1.6

5.4 CABLES

PRUEBA 1

Pruebas realizadas en la planta MAYATEXIL, Carretera a Amatitlán, Km. 30.5. Fecha: 27 y 28 de febrero de 1,996

Pruebas realizadas antes de conectar la nueva subestación.

- A) Pruebas a cables PROTOTHEN X para 20 kV, que van del transformador principal (Prueba No.3 de transformadores) a la celda "Station Transformer" (panel de interruptores).

Cables por fase: 4
 Sección: 50 mm²
 Longitud aproximada de cable: 40 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (MΩ)
L1 a tierra	1,000	20,000
L2 a tierra	1,000	20,000
L3 a tierra	1,000	20,000

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: CABLE PARA 20 kV				
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA)		
		L1	L2	L3
1	20	10	25	40
2	20	5	15	38
3	20	0.5	15	38
4	20	0.2	17	38

* Tiempo de lectura cada 5 minutos durante los veinte minutos de prueba

- B) Pruebas a cables PROTOTHEN X para 20 kV, que van del transformador principal (Transformador de prueba No.3) al tablero principal de 13.8 KV

Cables por fase: 1
 Sección: 185 mm²
 Longitud aproximada de cable: ≈ 18 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)			
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (MΩ)	
L1 a tierra	1,000	20,000	
L2 a tierra	1,000	20,000	
L3 a tierra	1,000	20,000	

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)					
DESCRIPCION: CABLE PARA 20 kV					
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA)			
		L1	L2	L3	
1	20	2	1	0.9	
2	20	1	1	0.9	
3	20	1	1	1.7	
4	20	1	1	1.6	

* Tiempo de lectura cada 5 minutos durante los veinte minutos de prueba

- C) Pruebas a cables PROTOTHEN X para 20 kV, que van del seccionador de tierra del generador al panel de resistencias

Cables por fase: 1
 Sección: 50 mm²
 Longitud aproximada de cable: Max. 5 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)			
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (MΩ)	
L1 a tierra	1,000	20,000	

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: CABLE PARA 20 kV		
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA) L1
1	20	0.3
2	20	0.05
3	20	0.05

* Tiempo de lectura cada 5 minutos durante los quince minutos de prueba

D) Pruebas a cables PROTOTHEN X para 20 KV que van del seccionador de tierra al generador

Cables por fase: 1
Sección: 50 mm²
Longitud aproximada de cable: 15 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (MΩ)
L1 a tierra	1,000	20,000

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: CABLE PARA 20 kV		
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μA) L1
1	20	0.4
2	20	0.5
3	20	1.6

* Tiempo de lectura cada 5 minutos durante los quince minutos de prueba

OBSERVACIONES

- Cada incremento de voltaje tiene una duración de un minuto

- El valor de voltaje aplicado a todos los cables, 20 kV, fue el que solicitaron aplicar los fabricantes que suministraron el cable
- El voltaje que correspondía aplicar era de 52 kV, según norma de referencia VDE 0255, (Tabla No.1 de la sección IV).
- Los valores de corrientes de fuga obtenidos en todas las pruebas son menores que 50 μ A y en su mayoría bastante pequeños, por lo que se consideran aceptables

CONCLUSIONES

- El aislamiento de estos cables se encuentra en buenas condiciones
- Actualmente todo este sistema se encuentra energizado

PRUEBA 2

Pruebas realizadas en la planta de CEMENTOS PROGRESO, ubicada en la aldea San Miguel, Sanarate Progreso.

Pruebas realizadas al nuevo sistema que interconecta al generador No.4 de la planta de Cementos Progreso, que ya se encuentra generando.

- A) Pruebas a cable PROTOTHEN X N2XSY para 10 KV, VDE 0276
Cables que van del generador (4) al breaker correspondiente.

Cables por fase: 2

Calibre: 185 mm²

Longitud aproximada del cable: \approx 15 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (M Ω)
L1 a tierra	5,000	∞
L2 a tierra	5,000	∞
L3 a tierra	5,000	∞

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: CABLE PARA 10 kV				
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)		
		L1	L2	L3
1	6	0.05	0.1	0.05

- B) Pruebas a cable PROTOTHEN X N2XSY para 10 KV, VDE 0276
Cables del neutro del generador (4)

Cables por fase: 1

Calibre: 50 mm²

Longitud aproximada del cable: \approx 20 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (M Ω)
Neutro	5,000	∞

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)		
DESCRIPCION: CABLE PARA 10 kV		
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)
		NEUTRO
1	6	0.05

- C) Pruebas a cable PROTOTHEN X N2XSY para 10 KV, VDE 0276
Cables que van del breaker al Feeder 1 del generador (4)

Cables por fase: 5

Calibre: 300 mm²

Longitud aproximada del cable: \approx 300 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (G Ω)
L1 a tierra	5,000	7.5
L2 a tierra	5,000	7.5
L3 a tierra	5,000	7.5

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: CABLE PARA 10 kV DEL FEEDER 1				
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (µA)		
		L1	L2	L3
1	6	1.2	1.4	1.2

- D) Pruebas a cable PROTOTHEN X N2XSY para 10 KV, VDE 0276
 Cables que van del breaker al Feeder 2 del generador (4)
 Cables por fase: 5
 Calibre: 300 mm²
 Longitud aproximada del cable: ≈ 300 m

PRUEBAS DE AISLAMIENTO(MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (GΩ)
L1 a tierra	5,000	7.5
L2 a tierra	5,000	7.5
L3 a tierra	5,000	7

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)				
DESCRIPCION: CABLE PARA 10 kV DEL FEEDER 2				
TIEMPO (Min)*	VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (µA)		
		L1	L2	L3
1	6	1	1	2

- * Tiempo de lectura después de 15 minutos de haber alcanzado el voltaje deseado

OBSERVACIONES

- El valor de voltaje aplicado a todos los cables, 6 kV, fue el que solicitaron aplicar los fabricantes que suministraron el cable

- El voltaje mínimo que correspondía aplicar era de 8 kV y el máximo de 12 kV según norma de referencia VDE 0265, Tabla No.1 de la sección IV
- Los valores de corrientes de fuga obtenidos en todas las pruebas son bastante pequeños y son aceptables

CONCLUSIONES

- El aislamiento de estos cables se encuentra en buenas condiciones
- Actualmente todo este sistema se encuentra energizado

5.5 GENERADOR

PRUEBA 1

PLACA DEL GENERADOR

Alternateur IEC 34 A.C. Generator
 Type LSA 58575-12P Cos ϕ 0.8
 Puissance 4237.6 KW
 Power rating 5297 KVA
 tr/rm RPM 600 60 Hz D
 Masse Y 4,160 V
 Weight 21,500 Kg
 No. 163023-1 IP 23

Prueba de aislamiento al generador (4) perteneciente a la planta de CEMENTOS PROGRESO, en Sanarate Progreso.

Esta prueba se realizó porque este generador iba a ser puesto en operación.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (MEGGER)		
DESCRIPCION FASE	VOLTAJE APLICADO (V)	RESISTENCIA (GΩ)
L1 a TIERRA	5,000	6
L2 a TIERRA	5,000	6
L3 a TIERRA	5,000	10
L1 a L2	5,000	16
L2 a L3	5,000	20
L3 a L1	5,000	20

CONCLUSIONES

- El aislamiento del generador se encuentra en buenas condiciones. y actualmente se encuentra generando

5.6 BUSHINGS

PRUEBA 1

Las pruebas que a continuación se describen fueron realizadas a los bushings de alta tensión del tipo pasa tapa de uno de los generadores del Ingenio Madre Tierra, ubicado carretera a Escuintla, Km. 94.

Estas pruebas se realizaron, ya que se encontró que unos bushings estaban quebrados.

El procedimiento que se siguió para realizar las pruebas:

- A) Reparación de bushings que se encontraban quebrados
- B) Pruebas de Hi-Pot a los bushings reparados
- C) Pruebas de Hi-Pot a bushings nuevos que se tenían disponibles
- * Pruebas hechas de la barra interna de los bushings a tierra

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)			
DESCRIPCION: BUSHINGS REPARADOS			
		VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)
BUSHING	1	22	20
BUSHING	2	22	10
BUSHING	4	22	31

PRUEBAS DE AISLAMIENTO (HI-POT)			
DESCRIPCION: BUSHINGS NUEVOS			
		VOLTAJE APLICADO (KV)	CORRIENTE (μ A)
BUSHING	3	22	0.06
BUSHING	5	22	0.03
BUSHING	6	22	0.07

Tiempo de aplicación: 5 minutos cada prueba
 Temperatura ambiente: 25°C

OBSERVACIONES

- Los valores de voltaje aplicados fueron los que se consideraron adecuados para las pruebas que se van a realizar ya que el voltaje con el que trabaja el generador es de 15 kV en el lado de alta tensión

CONCLUSIONES

- Comparando los resultados de las corrientes medidas en los bushings nuevos y en los reparados que fueron muy grandes, se determinó que la reparación no era confiable y que era necesario cambiar los bushings. El ingenio aceptó la recomendación y los cambió



CAPITULO 6

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- 1.- La prueba de alto voltaje con corriente directa que se realiza al equipo de alta tensión es una de las pruebas que más información revela sobre la condición del aislamiento
- 2.- El llevar registros de las pruebas que se realizan, es decir, un historial del equipo, es un recurso útil que permite establecer tendencias en el comportamiento, en este caso, del aislamiento
- 3.- Algunas de las ventajas entre realizar pruebas de alto voltaje con CD de las que se realizan con CA son:

Menor costo y peso ligero. Esto responde a que al trabajar con CD las corrientes que se hacen presente son de menor duración, y el equipo no tiene que suministrar una gran corriente de carga como sucede al trabajar con CA
Pruebas no destructivas. En contraste con lo que ocurre cuando se aplican altos voltajes con corriente alterna, al realizar estas pruebas, esporádicamente, no daña considerablemente el aislamiento. Al usar CA, los sobrevoltajes aplicados y su tiempo de duración afectan el aislamiento
- 4.- Cuando se realizan pruebas al aislamiento, se hacen presentes varias corrientes dependientes del tiempo, a saber: la corriente capacitiva, la corriente de absorción, la corriente de fuga y la corriente total (suma de las otras tres corrientes)

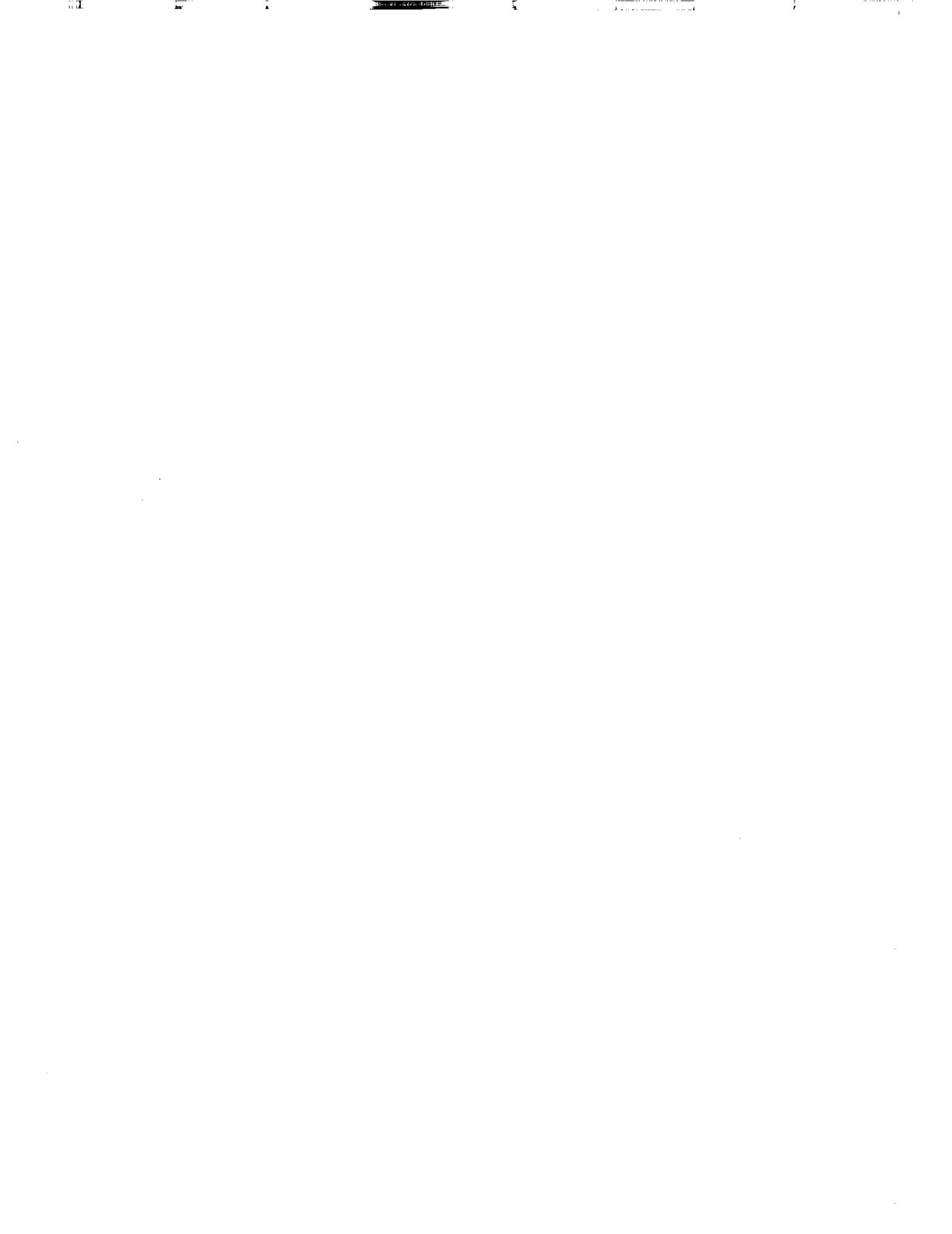
- 5.- La presencia de estas corrientes hace que en muchos casos las lecturas del medidor del equipo no sean constantes en un período de tiempo, de aquí la importancia de realizar pruebas que revelen tendencias en el comportamiento y no lecturas instantáneas
- 6.- Mientras la corriente de absorción y la corriente capacitiva decaen al transcurrir el tiempo, la corriente de fuga alcanza un valor constante y permanece por mayor tiempo, por lo que llega a ser la corriente total que se mide, cuando se realizan pruebas al aislamiento
- 7.- Cuando se realizan pruebas de alto voltaje, es determinante considerar en las mediciones factores como: humedad, temperatura, suciedad, etc.
- 8.- Debido a que el esfuerzo a voltaje directo, a que es sometido el aislamiento, se aproxima al esfuerzo a que es sometido cuando se realizan pruebas de impulso, BIL, hay una relación entre dichas pruebas, se deben consultar normas ANSI/IEEE Std. 400-1980, Std. 241-1974, incluidas en el capítulo IV de este trabajo
- 9.- Si los aterrizajes son removidos muy rápido, pueden reaparecer, en el equipo, voltajes que pueden alcanzar valores muy altos

- 10.- El realizar la prueba de aislamiento a cada fase individualmente permite: comparar resultados para detectar cualquier condición anómala en el aislamiento y conocer aislamientos entre fases, lo cual no es posible si se le realizan a las tres fases al mismo tiempo
- 11.- Las pruebas que se realizan con alto voltaje ya sea con CD o con CA, son pruebas de naturaleza empírica y no necesariamente revisan el correcto diseño o el inherente voltaje de falla de un sistema de aislamiento
- 12.- Una de las limitaciones de las pruebas de alto voltaje con corriente directa es la localización de la falla en el aislamiento
- 13.- En la mayoría de pruebas realizadas en el campo, no fue factible aplicar los voltajes recomendados por las normas descritas en el capítulo IV de este trabajo, debido a que los fabricantes y proveedores del equipo argumentaron que esas pruebas son realizadas en fábrica y que la garantía del equipo se afecta
- 14.- La mayoría de las pruebas se realizaron bajo las indicaciones dadas por los fabricantes y proveedores del equipo que se va a medir. En otras ocasiones, basándose en la experiencia que se tiene con estas pruebas, se aplicaron voltajes que se consideraron suficientemente altos para evaluar la condición del aislamiento del equipo

- 15.- Cabe hacer mención que aunque se tengan normas que establezcan los voltajes que se van a aplicar, en su gran mayoría no se tiene información sobre los valores de corriente de fuga que se espera obtener, y su interpretación. Esto hace que la persona que realiza la prueba analice y establezca límites para saber hasta qué valores considerará la prueba como satisfactoria. Es recomendable que con los datos disponibles de voltaje y corriente medida, se calcule el valor de la resistencia de aislamiento, y se utilice este valor como referencia para establecer tendencias en el comportamiento del aislamiento
- 16.- Basándose en resultados de algunas pruebas realizadas anteriormente, al obtener lecturas debajo de determinado valor, se consideró la prueba como satisfactoria. En otras ocasiones, se compararon resultados de pruebas realizadas a equipo nuevo y reparado, y se estableció si las lecturas obtenidas eran confiables o no
- 17.- En este trabajo, se dan conclusiones generales del trabajo de investigación realizado con la intención de orientar al usuario en este trabajo, para que con su experiencia y conocimientos sobre el tema, compare y utilice su criterio para efectuar este tipo de pruebas

RECOMENDACIONES

- 1.- Es conveniente que para todo equipo se programen pruebas periódicas que permitan conocer bajo que condiciones está operando su aislamiento; esto es para disminuir la posibilidad de que el equipo falle por un mal aislamiento
- 2.- Después de realizar una prueba de alto voltaje con corriente directa, se recomienda aterrizar el equipo cuatro veces el tiempo de duración de la prueba, según las normas ANSI/IEEE Std.400-1980 y Std. 95-1977
- 3.- Si a una prueba de alto voltaje con CD le va a seguir una prueba con CA, se recomienda duplicar el tiempo de aterrizaje, esto es para asegurar que la carga absorbida durante la prueba anterior no contribuya a una perforación en el aislamiento
- 4.- Para aumentar la confiabilidad de las pruebas, se recomienda que todos los accesorios o equipos que rodean al equipo de pruebas y que no desean ser medidos, se desconecten y sean aterrizados
- 5.- La prueba de índice de polarización es una estimación de la condición del aislamiento a voltajes bajos. A veces se recomienda que antes de realizar una prueba de pasos de alto voltaje, se determine el índice de polarización, y si éste es satisfactorio, se continúa con la prueba y se alcanza el valor de voltaje que se desea



ANEXO A

MANUALES DE EQUIPO

La mayoría de fabricantes de equipo y dispositivos eléctricos incluyen en sus manuales de instrucciones información relevante sobre las pruebas y valores característicos generales a las que se puede someter el equipo suministrado. Hay que observar que, en la mayoría de normas y parte teórica de este trabajo de investigación, siempre se ha hecho énfasis sobre la importancia de consultar con el fabricante del equipo antes de someter al equipo a cualquier prueba con alto voltaje de CD.

A continuación, se incluye información de algunos folletos obtenidos:

- A) Instrucciones para la instalación, operación y mantenimiento del Interruptor al Vacío tipo VCP-W, IB. 32-255-1C

Marca: Westinghouse

La integridad o condición del aislamiento principal debe ser chequeado con pruebas de alto voltaje de CA. Los voltajes de prueba dependen del voltaje máximo nominal del interruptor.

Ver tabla:

Interruptores Voltaje nominal (kV)	Voltajes de prueba, rms (kV)
4.76	15
8.25	27
15.00	27
27.00	45

Para realizar la prueba, se cierra el interruptor. Se conecta la punta de alto voltaje del equipo a uno de los polos del interruptor. Se conectan los polos restantes y la carcasa del interruptor a tierra. Se incrementa el voltaje de prueba desde cero hasta el valor deseado. Se mantiene este voltaje durante 1 minuto. Se repite la prueba para los polos restantes. Una buena resistencia a este valor de voltaje, indica un aislamiento satisfactorio.

Si se desean realizar pruebas con CD, hay que asegurarse de que el pico de voltaje no excede el valor pico correspondiente al voltaje de prueba de CA (rms).

Para evaluar la condición o entereza del aislamiento, se pueden realizar las siguientes pruebas:

Rango de voltaje nominal del interruptor	Voltajes de prueba	
	CA, 60 Hz	CD
Hasta 17.5 kV, incluyendo este valor	27 kV	40 kV
24 kV y 27 kV	45 kV	45 kV

B) Libro de instrucciones PS-1002, transformadores de potencia para subestaciones

Marca: ABB

Mantenimiento

Después de que un transformador de potencia ha sido debidamente instalado y puesto en operación, éste debe ser sometido a periódicas pruebas e inspecciones.

Estas pruebas deben ser realizadas por el usuario o propietario del equipo para que éste pueda detectar defectos o fallas que se presenten en el mismo, por trabajar bajo condiciones no usuales y para verificar que la operación del transformador está normal.

A continuación, se incluye una tabla con valores de resistencia de aislamiento que pueden ser de utilidad, estas tablas son una guía cuando no se tiene acceso o información disponible de valores de pruebas realizados por el fabricante del equipo.

Resistencia Mínima en aceite a 20°C

Voltaje L-L Clase kV	Megaohms
1.2	32
2.5	68
5	135
8.66	230
15	410
25	670
34.5	930
46	1,240
69	1,860

C) Libro de instrucciones, NT-1002, transformadores con sistemas de seccionamientos

Marca: ABB

Consultar tabla anterior, libro de instrucciones PS-1002

Valores de prueba para el cable

El aislamiento del cable puede ser probado periódicamente cuando éste está conectado al bushing de seccionamiento. Colocar el switch en la posición de abierto antes de realizar la prueba:

Rangos del switch	Voltaje de prueba CD	Tiempo
15 kV	45,000 V	5 minutos
25 kV	65,000 V	5 minutos
35 kV	85,000 V	5 minutos

D) Libro de instrucciones, NT-2000, transformadores con sistemas de seccionamientos llenos con WECOSOL

Resistencia Mínima en aceite a 20°C

Voltaje L-L Clase kV	Megaohms
1.2	15
2.5	20
5.0	25
8.66	25
15.00	30

Valores de prueba para el cable

Consultar datos del libro de instrucciones NT-1002



Tabla No.1

Tensiones de ensayo para instalaciones de cables

Tensión nominal del cable U _o /U KV	Cables de masa según						Cables con aislamiento de plástico (cables PROTODUR según VDE 0271 y 0265 y cables PROTOTHEN)			
	VDE 0255		IEC 55-1 y 55-2		Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico			Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico		Tensión continua de ensayo 1)
	Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico KV	Tensión continua de ensayo 1) KV	Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico KV	Tensión continua de ensayo 1) KV	Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico KV	Tensión continua de ensayo 1) KV	Tensión alterna de ensayo en sistema trifásico KV	Valor mínimo	Valor máximo	
0.6/1	1.15 ³	3.5				3	8		12	
3.5/6	7 ³	21				8	23		33	
5.8/10	11.5 ³	35	17.5 ⁴	33.5 ⁴	17.5 ⁴	10.5 ⁵	36 ⁵		51 ⁵	
8.7/10	17.3	52	15.5	36.5	15.5	21	17.3 ⁶	52 ⁶		
11.6/20	23	70	21	50.5	21	31.5	23 ⁶	70 ⁶		
17.3/30	34.5	105	31.5	76	31.5		34.5 ⁶	105 ⁶		

1) La tensión continua de ensayo no debe ser superior al 90% de la tensión alterna de ensayo (valor cresta) en los terminales

2) VDE 0265 especifica cables para U_o/U=0.6/1 KV soiamente

3) Es conveniente en la práctica aplicar las mismas tensiones que en los cables Protodur. en tanto que los terminales resistan las tensiones nominales de 0.6/1 KV

4) Para cables con campo no radial

5) Para cables con campo radial

6) Basado en VDE 0255

Tabla No.2

Voltajes para pruebas de campo de Cable para voltajes de sistema de hasta 69 KV

Voltaje de sistema kV rms (Fase-Fase)	BIL del sistema kV (pico)	Voltaje de prueba* kV (Voltaje directo, conductor a tierra) Pruebas de Instalación	Voltaje de prueba* kV (Voltaje directo, conductor a tierra) P. de Mantenimiento
2.5	60	25	20
5	75	35	25
8.7	95	40	30
15	110	55	40
25	150	80	60
34.5	200	100	75
46	250	120	90
69	350	170	125

* Mantenerlo por un período de 15 minutos

Notas:

- 1) Voltajes arriba del 70% del BIL del sistema para pruebas de instalación y mantenimiento deben considerarse en consulta con los proveedores del cable y los accesorios
- 2) Cuando el equipo, como transformadores, motores, etc. están conectados al circuito del cable que se va a probar; se deben usar voltajes mas bajos a los valores recomendados para cumplir con las limitaciones impuestas por el equipo conectado

Norma IEEE, IEEE Guide for Making High-Direct-Voltage Test on Power Cable Systems in the Field. Std.400-1,1980

Tabla No.3

VOLTAJES DE PRUEBA DC PARA CABLES
Según especificaciones de la IPCEA (Para cables fabricados antes de 1968)

Tipo de aislamiento	Voltajes de prueba de mantenimiento para Cables				
	Cond. aterrizaje	5 kV	15 kV	25 kV	35 kV
Elastómeros:					
Butilo, base de aceite, EDM, EPDM	Aterrizados	27	47	-----	-----
	No aterrizados	-----	67	-----	-----
Poliétileno					
	Aterrizados	22	40	67	88
	No aterrizados	-----	52	-----	-----

Norma IEEE. IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings, Std. 241-1, 1974

Tabla No.4

VOLTAJES DE PRUEBA DC PARA CABLES
Según especificaciones de la IPCEA (Para cables fabricados en 1968 y después)

Tipo de aislamiento	Nivel de aislamiento (%)	Voltajes de prueba de mantenimiento para Cables							
		5 kV		15 kV		25 kV		35 kV	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Elastómeros:	100	37*	27*	65	49	108	81	-----	-----
Butilo, base de aceite.	133	-----	-----	91	68	-----	-----	-----	-----
Elastómeros:	100	25	19	55	41	80	60	100	75
EPM+, EPDM	133	25	19	65	49	100	75	-----	-----
Polietileno	100	25	19	55	41	80	60	100	75
	133	25	19	65	49	100	75	-----	-----

Nota:

Columna 1: pruebas de instalación, realizadas después de la instalación, antes de ser puestos en servicio

Columna 2: pruebas de mantenimiento, realizadas después de que el cable ha sido puesto en servicio

* Únicamente para cables 225-1000 kcmil. Para cables de menor tamaño trabajar con 10% menos de los valores de prueba especificados, para cables mayores subir un 10%.

+ Estos valores son más bajos en la tabla anterior para la misma clase de cable, porque el aislamiento era más delgado. Por consiguiente, el voltaje de prueba CA es más bajo. El voltaje de prueba CD se especifica como 3 veces el voltaje CA, por lo que son menores que los cables antiguos

Tabla No.5

VOLTAJES NOMINALES Y NIVELES DE AISLAMIENTO PARA EQUIPO DE SECCIONAMIENTO AC
Según IEEE Std. 27-1974

Relaciones de Voltaje (rms)		Niveles de aislamientos (kV)		
Voltaje Nominal	Voltaje Máximo	Voltaje AC que soporta (rms)	Voltaje DC que soporta *	Resistencia a señal de impulso
Equipo de seccionamiento con Interruptores de potencia de bajo voltaje en gabinetes				
Voltios				
240	250	2.2	3.1	-----
480	500	2.2	3.1	-----
600	630	2.2	3.1	-----
Equipo de seccionamiento con dispositivos removibles o desmontables				
kV	kV			
4.16	4.76	19	27	60
7.2	8.25	36	50	95
13.8	15.0	36	50	95
34.5	38.0	80	+	150
Equipo de seccionamiento con interruptor en gabinete				
kV	kV			
4.16	4.76	19	27	60
7.2	8.25	26	37	75
13.8	15.0	36	50	95
14.4	15.5	50	70	110
23.0	25.8	60	+	125
34.5	38.0	80	+	150
Equipo de seccionamiento tipo cubículos para subestación				
kV	kV			
14.4	15.5	50	+	110
34.5	38.0	80	+	150
69.0	72.5	160	+	350

* La columna encabezada con el título Resistencia CD se da únicamente como referencia de valores de voltajes CD equivalentes a los CA que pueden ser utilizados, cuando se requiere realizar pruebas. La presencia de esta columna no implica que las pruebas deban realizarse. El voltaje utilizado en las pruebas deberá ser sostenido por un período de 1 minuto

+ Debido a la presencia de variaciones en el voltaje de distribución cuando se están realizando pruebas con CD, la persona que realiza la prueba debe contactarse con el fabricante para obtener recomendaciones antes de aplicar el voltaje al interruptor

Los transformadores de potencial arriba de los 34.5 kV deberán ser desconectados durante la prueba. (referirse a la norma ANSI C57.13-11968, particularmente la sección 6.8.2).

Tabla No. 6
VOLTAJES NOMINALES PARA DUCTOS BARRAS
Según IEEE Std. 27-1974

Nominal	Voltaje AC (kV rms)		Nivel de aislamiento (kV)		Ambiente húmedo 10 segundos *	Voltaje DC que soporta (Seco) +	Resistencia a señal de impulso
	Máximo	Seco 1 minuto	Seco 1 minuto	Seco 1 minuto			
0.6	0.63	2.2	3.1
4.16	4.76	19.0	27.0	15	60	60	60
13.8	15.00	36.0	50.0	24 (36)	95	95	95
14.4	15.50	50.0	70.0	30 (50)	110	110	110
23.0	25.80	60.0	85.0	40 (60)	150	150	150
34.5	38.00	80.0	--+	70 (80)	200	200	200
69.0	72.50	160.0	--+	140 (160)	350	350	350

Para aplicaciones de barras de fase aislada a generadores, se aplican los siguientes valores: &

Rango kV de generador (rms)	Voltaje AC que soporta		Ambiente húmedo 10 segundos *	Voltaje DC que soporta (Seco) +	Resistencia a señal de impulso
	Seco 1 minuto	Seco 1 minuto			
14.4 a 24	50	50	50	70	110

* Aplicar únicamente a aislamiento de porcelana. Los valores en parentesis se aplican a diseños de "alta creepage"

+ La columna encabezada con el título Resistencia DC se da únicamente como referencia de valores de voltajes DC equivalentes a los AC que pueden ser utilizados cuando se requiere realizar pruebas. La presencia de esta columna no implica que las pruebas deban realizarse. El voltaje utilizado en las pruebas deberá ser sostenido por un período de 1 minuto

+ + Debido a la presencia de variaciones en el voltaje de distribución cuando se están realizando pruebas con CD, la persona que realiza la prueba debe contactarse con el fabricante para obtener recomendaciones, antes de aplicar el voltaje al interruptor

Los transformadores de potencial arriba de los 34.5 kV deberán ser desconectados durante la prueba. referirse a la norma ANSI C57.13-11968, particularmente la sección 6.8.2

& Estos rangos son aplicables a generadores entre el rango de 14.4a 24 kV, los cuales son conectados directamente a los transformadores sin interruptores intermedios y donde se provee de una adecuada protección a fallas. Los rangos de resistencia dieléctrica de las barras son comparables con los valores de resistencia de los generadores

Tabla No.7
Rangos de VOLTAJE, AISLAMIENTO, CORRIENTE CONTINUA Y MOMENTANEA
de DUCTOS BARRAS
Segun IEEE Std. 27-1974

Nominal	Voltaje (kV, rms)	Máximo	Corriente continua (amperios)	Corriente momentánea (kA, asimétrica)	Nivel de resistencia de aislamiento (kV)		
					Voltaje AC que soporta 1 minuto	Voltaje DC que soporta 1 minuto	Impulso
4.16	4.76	1200	19-78	19.0	27.0	60	
13.8	15.00	2000	19-78	36.0	50.0	95	
23.0	25.80	3000	58	60.0	-----	125	
34.5	38.00	-----	58	80.0	-----	150	

ANEXOS



ANEXO B

RECOMENDACIONES AL REALIZAR PRUEBAS DE ALTO VOLTAJE

Los procedimientos preliminares descritos, en esta parte, se aplican a toda clase de equipo y a cualquiera de los varios métodos de prueba. Se recomienda leer y tomar en cuenta las siguientes instrucciones:

a.- Leer cuidadosamente todas las instrucciones de seguridad no tomar riesgos con la propia vida o con la vida de otras personas.

Recordar que el contacto con alto voltaje puede causar la muerte o serios daños

b.- Mantener al personal fuera del área en la cual será realizada la prueba y de los extremos finales de los cables energizados.

Recordar que partes remotas del sistema pueden ser energizadas durante la prueba

c.- Instalar barreras o mantener ciertas distancias entre el área de prueba y los alrededores para evitar el contacto con partes energizadas. Consultar el manual del equipo de prueba para conocer estas distancias

d.- Nunca utilizar equipo destinado para realizar este tipo de pruebas para algún otro propósito

e.- Tener siempre, por lo menos, a dos personas presentes durante la prueba

f.- Conocer con anterioridad que hacer en caso de un golpe accidental

g.- Conocer y aplicar regulaciones de seguridad aplicables a la prueba. Además, referirse al manual suministrado con el equipo de prueba

Antes de realizar la prueba:

1.- Para obtener buena información y estar de acuerdo con las recomendaciones del propietario y fabricante, antes de realizar la prueba:

- Calcular el voltaje de fase a tierra
- Decidir cuál nivel de voltaje de prueba utilizar
- Saber que duración tendrán los intervalos de tiempo que se trabajarán

Cuando se finalice la prueba:

- 2.- Desconectar y aterrizar por algún tiempo el equipo sometido a prueba
- 3.- Nunca acercarse a cualquier conexión de alto voltaje, sin antes aplicar un aterrizaje seguro (ANSI/IEEE Std. 95-1977)

Es recomendable que antes de que se inicie cualquier prueba, y se considere la siguiente información:

A) CALCULO DEL VOLTAJE DE FASE A TIERRA

Cuando se está planeando realizar una prueba, se deberá decidir que nivel de voltaje de prueba se utilizará. Esto significa que primeramente se tendrá que calcular el voltaje de fase a neutro al que someterá el aislamiento durante la prueba.

Durante la prueba de aislamiento de alto voltaje de corriente directa, el voltaje que va a ser aplicado en las pruebas de aislamiento debe ser más alto que el voltaje de CA de fase a tierra (ANSI/IEEE Std. 95-1977).

El voltaje de CA es casi siempre especificado en términos de su valor efectivo (RMS). Para una onda senoidal, la cresta o valor pico es 1.414 veces el valor efectivo (RMS). El voltaje de CD usado en pruebas deberá ser basado en el valor pico de CA, de manera que este voltaje esté relacionado con el máximo esfuerzo que lleva el aislamiento en operación normal con CA.

En el ejemplo anterior, el voltaje efectivo a tierra que tiene la unidad bajo prueba, si tiene un voltaje de 15,000 voltios de fase a fase es de 8,660 voltios, pero su valor pico es 12,246 voltios ($8,660 \times 1.414$). Este es el voltaje, al cual la prueba de alto voltaje con CD es igual al valor pico de voltaje de CA.

El fabricante del equipo puede referir o recomendar algunos voltajes de prueba a trabajar.

Sin embargo, en muchos casos se considerada una práctica adecuada forzar el aislamiento arriba del nivel normal de operación en función de detectar debilidades incipientes en el aislamiento, además de permitir que las variaciones bruscas de

voltaje ocurran en la línea de potencia y sean aplicadas al equipo. Se puede calcular el voltaje normal superior que se va a usar, multiplicando el voltaje de trabajo normal de fase a tierra por algún factor. Los factores varían con el tipo de equipo y la antigüedad del mismo, y pueden variar desde 1.1 a 2 o más altos. Una antigua regla empírica enuncia que para aparatos pequeños y nuevos el voltaje a usar, es dos veces el esfuerzo normal más 1,000 voltios. En equipos antiguos o grandes, un número más bajo es comúnmente usado (ANSI/IEEE Std. 95-1977).

Mantener en mente que la alimentación de energía al equipo de pruebas no es constante y que ello puede causar variaciones de voltaje bruscas. Los estándares internacionales recomiendan una variación del 5% al 15% en operación normal.

B) DURACION DE APLICACION DE LOS VOLTAJES DE PRUEBA

Habiendo seleccionado el voltaje de prueba, se tendrá que decidir cuánto tiempo se aplicará al equipo. Hay que referirse al manual del equipo para considerar las recomendaciones del fabricante o seguir las prácticas recomendadas por estándares internacionales.

LA PRUEBA DE COMPROBACION

Generalmente para la prueba de comprobación, el voltaje es sostenido por un minuto, aunque otros tiempos son especificados ocasionalmente.

LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Se puede sostener el voltaje, hasta obtener una lectura continua o se puede esperar hasta que la lectura exceda algún valor predeterminado, el cuál sea considerado satisfactorio. Esta segunda aproximación no es la mejor, ya que no proporciona información que pueda ser usada para hacer comparaciones en el futuro, su ventaja es que ahorra tiempo.

PRUEBA DE INDICE DE POLARIZACION

El voltaje es generalmente aplicado durante 10 minutos. Se toman lecturas al minuto 1 y 10.

LA PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE

Típicamente, la duración de cada paso de voltaje es de un minuto. Es usual hacer cinco pasos. Para conocer los valores de incremento de voltaje de cada paso dividir el voltaje máximo a

ser aplicado entre el número de pasos deseado. Por ejemplo, si el máximo voltaje es 10,000 voltios y son usados cinco pasos, cada paso deberá ser de 2,000 voltios.

El intervalo de tiempo usado dependerá de la magnitud de la capacitancia y aislamiento del sistema del equipo bajo prueba. Es mejor escoger un intervalo que de para cada paso de voltaje un valor cambiante para la resistencia de aislamiento. Si el intervalo es muy largo, las lecturas de los últimos pasos serán constantes. El realizar pruebas con voltaje medio ayuda a establecer intervalos de tiempo adecuados. Para un amplio rango de equipos, la duración de cada paso es de un minuto.

C) PREPARAR EL EQUIPO A PROBAR

- Para evitar distorsiones en la información obtenida al realizar la prueba, debe asegurarse que el trayecto del circuito en el cual se trabajará está aislado o libre. Para esto:

Desconectar equipo adicional que se encuentre alrededor del equipo a someter a prueba, tal como dispositivos protectores de perturbaciones, transformadores, transductores de monitoreo de temperatura y dispositivos similares, los cuales pueden distorsionar severamente la información de la prueba.

- Asegurarse de que las terminales, devanados de motor y todos los puntos de conexión de alta tensión estén limpios y secos. El rastreo de alto voltaje a tierra, a lo largo de recorridos húmedos y sucios, pueden distorsionar la información de la prueba.

- Asegurarse de que no hay finales cortantes en las terminales, devanados de motor o cualquier punto de conexión de alto voltaje, que produzcan fugas por ionización (efecto corona), las cuales distorsionen la información de la prueba. Esto puede ser eliminado cubriendo los puntos cortantes con masilla eléctrica o bolsas plásticas.

D) REVISION DEL EQUIPO DE ALTO VOLTAJE

- Conocer y aplicar todos los procedimientos de seguridad.
- Recordar siempre aterrizar el equipo y sus componentes antes de realizar una prueba

- Asegurarse que las distancias de la terminal de alto voltaje a tierra son seguras
- Eliminar la superficie de fuga limpiando la superficie del aislamiento
- La ionización por efecto corona puede causar que aparezcan corrientes de fuga si la salida de cable está muy cerca a otros materiales conductores, tales como barras y otros objetos de metal aterrizados

E) CONEXION DE TERMINALES DE GUARDA

El propósito de la terminal de guarda es eliminar el efecto de fuga a través de vías en paralelo con el aislamiento que se desea probar. Típicamente, esta terminal puede estar en la salida del cable del equipo de prueba o sobre la superficie del aislamiento expuesto. La terminal de guarda intercepta corrientes y las conecta a tierra, by-paseando la corriente o resistencia del artículo medidor.

Conexiones de guardas en frío:

Algunos equipos de prueba usan una conexión de guarda en frío. Esto significa que la terminal de guarda es conectada del equipo de prueba a tierra, a través de una impedancia baja por lo que la terminal de guarda que está casi al potencial de tierra, (ver diagrama).

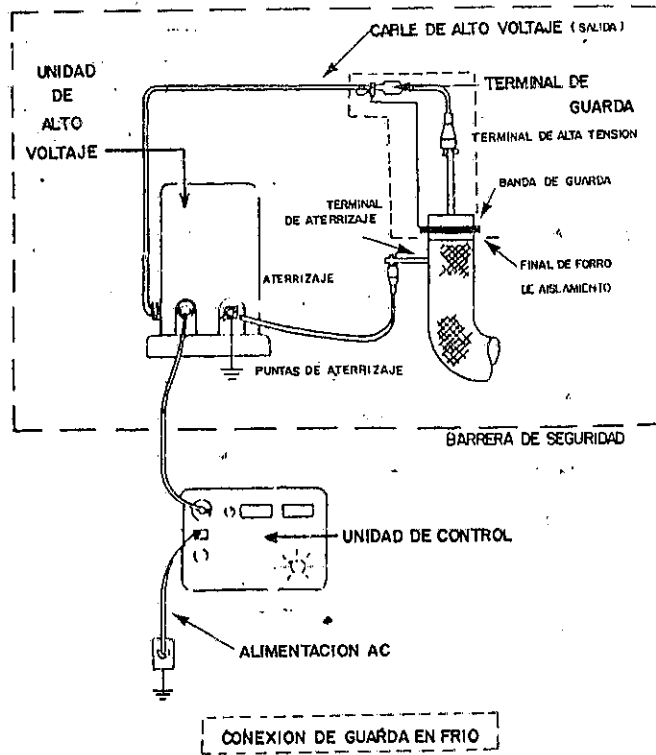
- La terminal de tierra y guarda deben estar espaciadas a la misma distancia de la terminal de alto voltaje para evitar flameos

Conexiones de guarda en caliente:

Algunos tester de aislamiento y algunos otros equipos de prueba usan una conexión de guarda en caliente. En este caso, la conexión de guarda está casi al mismo potencial que la terminal del cable de alto voltaje. Con la terminal de guarda casi al mismo potencial que el voltaje de prueba, no fluirá corriente entre las vías paralelas de guarda.

- Las terminales de guarda en caliente (cerca del alto voltaje) deben estar espaciadas a la misma distancia de tierra que la terminal del cable de alto voltaje para evitar flameos a tierra

- Las terminales de guarda en caliente no se encuentran frecuentemente en los aparatos de prueba de alto voltaje



F) EFECTOS DE IRRUPCIONES TRANSITORIAS DE LA LINEA (RUIDO)

Algunas veces, las lecturas del equipo de pruebas cambian erráticamente tanto, que es imposible tomar una lectura o aun promediar la diferencia entre las altas y bajas oscilaciones.

Lo descrito anteriormente es probablemente causado por corrientes transitorias de la línea de potencia, las cuales se presentan porque la potencia de la línea no mantiene un voltaje constante. La variación de voltaje puede deberse a:

1. Las variaciones causadas por los voltajes de la línea de potencia cambian lentamente sobre un largo período. Los cambios de voltaje, que son lentos, no afectan las pruebas que se están discutiendo debido a que éstas son de una relativa corta duración
2. Los transitorios causados por irrupciones de cambio en el lado de alto voltaje del sistema de distribución de potencia. Estos transitorios varían en intensidad, y algunos son despreciables o insignificantes, pero otros pueden impedir tener lecturas aceptables, ya que al variar la magnitud del voltaje de salida del equipo de pruebas hacen que la resistencia de aislamiento cambie y por ende la de corriente
3. Transitorios en sistemas de bajo voltaje causados por arranques de motores, etc. tienden a ser más prolongados que las irrupciones de cambio, y pueden provocar lecturas de medición de aislamiento no aceptables.

Si el voltaje se eleva, la corriente en el equipo se incrementará. Si el voltaje disminuye, alguna energía almacenada en el equipo sometido a prueba, será descargada de regreso en el equipo de pruebas. Consecuentemente, los transitorios pueden causar que la corriente de salida del equipo de pruebas pueda cambiar en una dirección positiva y negativa.

Si ocurren un gran número de transitorios, ellos pueden hacer casi imposible medir el promedio de la corriente que está siendo tomada del equipo bajo prueba. Esto hará difícil, si no imposible, valuar la calidad de aislamiento.

Los transitorios de línea frecuentemente varían en intensidad y algunas veces son peores que otras. Si se tienen problemas con transitorios, se repite la prueba para ver si la línea mejora o intentar con otra línea, y si ésta está disponible.

Se pueden promediar las oscilaciones en la corriente de salida que se leen en el medidor y asumir que la verdadera corriente podría ser la intermedia entre la lectura más alta y baja.

Para mejores resultados, hay que conectar entre la salida de potencia y el equipo de pruebas, un regulador que suministre voltaje constante en la línea. Esto ayudará a limitar las variaciones. Se recomienda el uso de reguladores adecuados para el equipo de pruebas. Algunos equipos de pruebas incorporan un circuito estabilizador, el cual tiende a promediar las oscilaciones de corriente y da una indicación constante.

La mejor solución es usar un equipo de pruebas de CD totalmente regulado. Este equipo tiene una alta velocidad de respuesta a los cambios de voltaje de línea, y además a cualquier cambio que pueda ocurrir en la corriente de carga. Se podrán obtener lecturas precisas en circunstancias complicadas, a pesar de los transitorios de potencia.

Las prolongadas oscilaciones de la corriente de salida pueden ser debidas a los transitorios de la línea, o pueden ser causadas por irrupciones intermitentes parciales en el equipo bajo prueba. En cuanto al fenómeno de los transitorios, los equipos de pruebas modernos traen protección incorporada para detectar transitorios en la línea de alimentación (sobrevoltajes o voltajes bajos), que en el momento de accionarse sacan de operación al equipo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Manual Westinghouse , WESTINGHOUSE ELECTRICAL MAINTENANCE HINTS. Compiled and Edited by Jhon G. Bishop. EEUU: Editorial Westinghouse Division volume 1, General Maintenance volume 2, Industrial Equipment Maintenance volume 3, Power Apparatus Maintenance s.f.
- 2.- MYERS, Stanley D. et.al. A GUIDE TO TRANSFORMER MAINTENANCE. 1st edition, 2nd printing. EEUU: Editorial S.D. MYERS. 1,981
- 3.- JAMES G. Biddle Co. MANUAL ON ELECTRICAL INSULATION TESTING FOR THE PRACTICAL MAN. First Edition. EEUU: s.l.i., s.p.i. 1,966
- 4.- Text by A. O. Reynolds, in cooperation with the Biddle Instruments Technical Staff. THE LOWDOWN ON HIGH VOLTAGE DC TESTING. First Edition. EEUU: s.l.i, s.p.i. 1,988
- 5.- Normas:
 - IEEE Institute of Electrical & Electronic Engineers
 - IEEE, IEEE Guide for Making High Direct Voltage Test on Power Cable Systems in the Field. Std. 400-1,980
 - IEEE, IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of Large AC Rotating Machinery with High Direct Voltage. Std. 95-1,977
 - IEEE, IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery. Std. 43-1,974
 - IEEE, IEEE Recommended Practice for Electrical Power Distribution for Industrial Plants. Std. 141-1,976
 - IEEE, IEEE Recommended Practice for Electrical Power Systems in Commercial Buildings. Std. 241-1,974

IEEE, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generators. Std. 112-1,978

IEEE, IEEE Standard Techniques for High Voltage Testing. Std. 4-1,978

6.- Norma ANSI/IEEE C 57.94 y C 57.12.91

7.- RIVERA CANEK, Francisco Javier. CARACTERISTICAS ELECTRICAS Y PROCESOS REGENERATIVOS DE ACEITES DIELECTRICOS PARA EQUIPO ELECTRICO DE POTENCIA (tesis: Facultad de Ingenieria, Universidad de San Carlos) Guatemala, 1,990