



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TEMA:** “APLICACIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS CON VOLTAJE NOMINAL HASTA 15 KV Y EL ANÁLISIS RESPECTIVO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO”.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA ESPECIALIDAD EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

**POSTULANTES:**

LUIS FRANKLIN CASA CHANCUSIG

MANUEL GUILLERMO QUINATO A TOAPANTA

**DIRECTOR DE TESIS:**

ING. KLÉVER MAYORGA

**LATACUNGA: ENERO 2012**

## **RESPONSABILIDAD Y AUTORIA**

Los criterios descritos en el presente trabajo de investigación, con el tema:  
APLICACIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS  
ELÉCTRICAS ROTATIVAS CON VOLTAJE NOMINAL HASTA 15 KV Y EL  
ANÁLISIS RESPECTIVO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS  
EN EL SISTEMA ELÉCTRICO.

Los autores, por lo tanto asumen la responsabilidad de la misma.

QuinatoaToapata Manuel Guillermo      Casa Chancusig Luis Franklin

0501884209

0502780893

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de Director de Tesis sobre el tema “APLICACIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS CON VOLTAJE NOMINAL HASTA 15 KV Y EL ANÁLISIS RESPECTIVO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO”, de autoría de los señores QuinatoaToapanta Manuel Guillermo y Casa Chancusig Luis Franklin, postulantes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas especialidad Ingeniería Eléctrica considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado, que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Enero del 2012

ING. KLEVER MAYORGA

DIRECTOR DE TESIS

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a la vida que me ha dado tanto dice una canción, iniciaré agradeciendo a la vida que me permitió llegar a escribir estas líneas con mi salud completa, y mi familia apoyándome como lo hicieron a lo largo de estos años, para que pueda culminar con éxito el objetivo que un día me propuse, a mis padres, mis hijos y esposa que siempre me apoyaron durante esta etapa de mi vida, siempre fueron, son y serán mi fuente de energía e inspiración para ser cada día mejor y superarme todos los días de mi vida.*

*Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia y compañeros de estudio que ahora son amigos con los que transitamos este camino durante los años de preparación.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, autoridades, maestras y maestros de la unidad académica de ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, quienes entregaron además de sus conocimientos sin reserva una amistad sincera; en especial a mi tutor, ya que con su apoyo se llegó a feliz término el presente trabajo, dejando un aporte ilustrativo y científico para las futuras generaciones.*

*Manuel*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por llevarme a su lado a lo largo de esta vida siempre llenándome de alegría y gozo.*

*A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.*

*A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.*

*A mi director de tesis, a todas y cada una de las personas que participaron en la investigación realizada, ya que invirtieron su tiempo y conocimientos para ayudarme a completar nuestro proyecto de tesis.*

*Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que sin esperar nada a cambio compartiendo pláticas, conocimientos y diversión. A todos aquellos que durante los cinco años que duró este sueño lograron convertirlo en una realidad.*

*Luis*

## *DEDICATORIA*

*El presente trabajo va dedicado a mis hijos, porque creo que el ejemplo es la mejor forma de educarlos, para que siempre tengan en cuenta que todo lo que se propongan en la vida lo podrán lograr si trabajan fuerte y continuamente, sigan adelante, para que mis éxitos de hoy sean los suyos mañana y siempre. Los amo mucho.*

*También dedico este trabajo a mis padres, esposa, hermanos y estudiantes de la Institución a la que muy orgullosamente pertenezco y a todas las personas que muestran interés en conocer sobre pruebas de aislamientos, máquinas eléctricas y todo lo que se puede encontrar en el mismo.*

*Manuel*

## *DEDICATORIA*

*Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.*

*También dedico este proyecto a mis hermanos y hermanas porque buscaran el mejor camino en la vida para cumplir sus sueños y metas propuestas. Y todas las personas que nos han brindado su apoyo para la realización de este proyecto.*

*Luis*

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Portada.....	I
Autoría.....	II
Aval.....	III
Agradecimiento.....	IV
Agradecimiento.....	V
Dedicatoria.....	VI
Dedicatoria.....	VII
Resumen.....	IX
Abstract.....	X



## RESUMEN

TEMA: “APLICACIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS CON VOLTAJE NOMINAL HASTA 15 KV Y EL ANÁLISIS RESPECTIVO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO”

AUTORES:

Luis Franklin Casa Chancusig

Manuel Guillermo QuinatoaToapanta

TUTOR:

Ing. Klever Mayorga

El presente proyecto se ejecutó con éxito ya que es necesario para mantener una buena confiabilidad de la maquinas eléctricas rotativas como son: generadores térmicos y motores las que sean tomado para las pruebas respectivas. Las pruebas de nivel de aislamiento en las máquinas eléctricas ayudan a comprender y a realizar un análisis del estado en el que se encuentran los aislamientos en las condiciones normales de operación de esta manera se realiza las graficaciones de los resultados pudiendo observar las tendencias del nivel de aislamiento como actúa el envejecimiento con relación al tiempo.

Mediante el equipo comprobador de aislamiento se realizaron diferentes pruebas como son: prueba de descarga dieléctrica, prueba de resistencia de aislamiento, prueba de índice de polarización y la prueba de pasos voltaje, de esta manera se logra establecer las condiciones del aislamiento delamáquina y se realiza una evaluación para determinar si se realiza mantenimientos en una determinada frecuencia buscando eliminar los factores de incidencia sobre los aislantes.

La adquisición de todos los elementos se lo realizó tomando en cuenta la factibilidad del proyecto y las necesidades de los estudiantes para desarrollar un correcto aprendizaje técnico-practico, logrando obtener los resultados esperados para cumplir con las expectativas planteadas

## ABSTRACT

“APPLICATION TESTS OF ELECTRICAL INSULATION FOR ROTATING MACHINES WITH NOMINAL VOLTAGE UNTIL 15 KV AND RESPECTIVE ANALYSIS OF THE RESULTS THROUGH THE GRAPHIC FROM IN THE ELECTRICAL SYSTEM”

AUTHORS:

Luis Franklin Casa Chancusig

Manuel Guillermo QuinatoaToapanta

TUTOR:

Ing. KleverMayorga

The present project was successful at last. It is necessary to keep the rotating machines in good safety such as: thermal and hydraulic generators those that are taken for the respective tests. The tests that we carry out in the generators help us to understand and performing an analysis which is the state of insulations under the normal conditions of operation thus we bring the results in graphic form being able to note the changes of insulation level like the aging acts with relationship at the time.

By means of the team insulation prove they were applied different tests such as: resistance insulation discharge dielectric test, polarization index test and the voltage test. So we could establish the conditions insulation of the generator and is collected data to determine if it keeps maintenances in a certain frequency seeking to eliminate the factors of incidence over insulator ones.

The elements was carried out to take into account the feasibility project and the students necessities to develop the truth technical learning practice, being able to get better results to fulfill with the objective.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I .....	XIX
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	XIX
1.1. ANTECEDENTES .....	XIX
1.2. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS .....	XXI
1.2.1. Tipos de máquinas eléctricas .....	XXI
1.3. EL AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	XXII
1.3.1. Grupos de Aislamiento en Máquinas Eléctricas .....	XXIII
1.3.2. El Mantenimiento Preventivo de los Aislamientos Eléctricos .....	XXIII
1.4. AISLANTE ELÉCTRICO .....	XXIV
1.4.1. Clasificación Térmica de los Aislamientos.....	XXV
1.5. TIPOS DE AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS.....	XXVIII
1.5.1. Aislantes Sólidos .....	XXVIII
1.5.2. Aislantes Líquidos .....	XXVIII
1.5.3. Aislantes Gaseosos .....	XXIX
1.6. AISLANTES USADOS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS. ....	XXX
1.6.1. Film de poliéster (Mylar) .....	XXX
1.6.2. Pressphan - Mylar (PM) .....	XXX
1.6.3. Dacron - Mylar - Dacron - (Blanco) .....	XXXI
1.6.4. Dacron - Mylar - Dacron (Rosa) .....	XXXI
1.6.5. Nomex - Mylar - Nomex - (NMN) .....	XXXII
1.7. FACTORES QUE AFECTAN EL AISLAMIENTO .....	XXXII
1.7.1. Fatiga eléctrica.....	XXXIII
1.7.2. Fatiga mecánica .....	XXXV
1.7.3. Fatiga térmica .....	XXXV
1.7.3.1. Ataque químico .....	XXXVI
1.7.4. Contaminación ambiental.....	XXXVI
1.8. COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA .....	XXXVI
1.8.1. Corriente de carga capacitiva .....	XXXVI
1.8.2. Corriente de absorción o polarización.....	XXXVI
1.8.3. Corriente de fuga superficial .....	XXXVIII
1.8.4. Corriente de conducción .....	XXXIX
1.9. TIPOS DE PRUEBAS .....	XL
1.10. PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO DEL AISLAMIENTO.....	XLII
1.10.1. Prueba de lectura puntual (IR).....	XLIII
1.10.2. Prueba índice de Polarización (PI) .....	XLIV
1.10.3. Prueba de Pasos de Voltaje (SV) .....	XLV

1.10.4. Prueba de Descarga Dieléctrica (DD).....	XLVI
1.11. PRUEBAS DIFERENTES PARA PROBLEMAS DIFERENTES	
XLVII	
1.12. EFECTOS DE LA TEMPERATURA.....	XLVIII
CAPÍTULO II.....	LI
REPRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	LI
2.1. PRESENTACIÓN.....	LI
2.2. METODOLOGÍA UTILIZADA.....	LII
2.3. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS.....	LII
2.3.1. Generadores.....	LII
2.3.2. Motores.....	LIII
2.3.3. Características generales.....	LIII
2.4. PRUEBAS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	LVI
2.4.1. Prueba de resistencia de aislamiento 'IR'.....	LVIII
2.4.2. Prueba de índice de polarización 'PI'.....	LXIV
2.4.3. Prueba de pasos de voltaje 'SV'.....	LXX
2.4.4. Prueba de descarga dieléctrica 'DD'.....	LXXIV
CAPÍTULO III.....	LXXX
PROPUESTA.....	LXXX
3.1. PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	LXXXI
3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	LXXXII
3.3. OBJETIVOS.....	LXXXIII
3.3.1. Objetivo General.....	LXXXIII
3.3.2. Objetivos Específicos.....	LXXXIII
3.4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	LXXXIV
3.5. APOYO TÉCNICO.....	XCIII
3.6. AHORRO ECONÓMICO.....	XCIII
3.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	XCIII
3.8. FACTIBILIDAD.....	XCIII
3.9. CONCLUSIONES.....	XCIV
3.10. RECOMENDACIONES.....	XCIV
BIBLIOGRAFÍA.....	XCIV
ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1.....	XXII
TIPOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.....	XXII
CUADRO N° 2.....	XXVI
CLASE TÉRMICA DE LOS AISLAMIENTOS.....	XXVI
CUADRO N° 3.....	LIII

<b>DATOS DE PLACA GENERADOR.....</b>	<b>LIII</b>
<b>CUADRO N° 4 .....</b>	<b>LV</b>
<b>DATOS DE PLACA DEL MOTOR.....</b>	<b>LV</b>
<b>CUADRO N° 5 .....</b>	<b>LIX</b>
<b>VOLTAJES RECOMENDADOS DURANTE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO .....</b>	<b>LIX</b>
<b>CUADRO N° 6 .....</b>	<b>LX</b>
<b>VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 40 ° C.....</b>	<b>LX</b>
<b>CUADRO N° 7 .....</b>	<b>LXI</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA IR .....</b>	<b>LXII</b>
<b>CUADRO N° 8 .....</b>	<b>LXIII</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA IR.....</b>	<b>LXIII</b>
<b>CUADRO N° 9 .....</b>	<b>LXVI</b>
<b>VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN .....</b>	<b>LXVI</b>
<b>CUADRO N° 10.....</b>	<b>LXVII</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI).....</b>	<b>LXVII</b>
<b>CUADRO N° 11.....</b>	<b>LXVIII</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) .....</b>	<b>LXVIII</b>
<b>CUADRO N° 12.....</b>	<b>LXXI</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE (SV).....</b>	<b>LXXI</b>
<b>CUADRO N° 13.....</b>	<b>LXXII</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE (SV).....</b>	<b>LXXII</b>
<b>CUADRO N° 14.....</b>	<b>LXXV</b>
<b>VALORES DE DESCARGA DIELECTRICA .....</b>	<b>LXXV</b>
<b>CUADRO N° 15.....</b>	<b>LXXVI</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA DESCARGA DIELECTRICA (DD) .....</b>	<b>LXXVI</b>
<b>CUADRO N° 16.....</b>	<b>LXXVII</b>
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA DESCARGA DIELECTRICA (DD).....</b>	<b>LXXVII</b>
<b>CUADRO N° 17.....</b>	<b>LXXXIV</b>
<b>DATOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN GENERADOR .....</b>	<b>LXXXIV</b>

CUADRO N° 18.....	LXXXV
DATOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN MOTOR .....	LXXXV
CUADRO N° 19.....	LXXXVII
DATOS DE PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) EN GENERADOR .....	LXXXVII
CUADRO N° 20.....	LXXXVIII
DATOS DE PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN MOTOR .....	LXXXVIII
CUADRO N° 21.....	LXXXIX
DATOS DE PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN GENERADOR .....	LXXXIX
CUADRO N° 22.....	XC
DATOS DE PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN MOTOR .....	XC
CUADRO N° 23.....	XCI
DATOS DE PRUEBA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN GENERADOR .....	XCI
CUADRO N° 24.....	XCII
DATOS DE PRUEBA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN MOTOR .....	XCII

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1 .....	XXXVII
ALINEACION DE MOLECULAS POLARIZADAS .....	XXXVIII
GRÁFICO N° 2 .....	XXXIX
COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA .....	XXXIX
GRÁFICO N° 3 .....	LIV
GENERADOR TERMICO.....	LIV
GRÁFICO N° 4 .....	LVI
MOTOR TRIFÁSICO .....	LVI
GRÁFICO N° 5 .....	LVIII
TIPOS DE CORRIENTES PARA UN AISLAMIENTO. ....	LVIII

<b>GRÁFICO N° 6</b> .....	<b>LXII</b>
<b>COMPARACIÓN RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN</b>	
<b>GENERADOR</b> .....	<b>LXII</b>
<b>GRÁFICO N° 7</b> .....	<b>LXIII</b>
<b>COMPARACIÓN RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN MOTOR</b>	
.....	<b>LXIII</b>
<b>GRÁFICO N° 8</b> .....	<b>LXV</b>
<b>MEDICIONES TÍPICAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE</b>	
<b>TRES MÁQUINAS DIFERENTES</b> .....	
	<b>LXV</b>
<b>GRÁFICO N° 9</b> .....	<b>LXVII</b>
<b>COMPARACIÓN DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) DEL</b>	
<b>AISLAMIENTO EN GENERADOR</b> .....	
	<b>LXVII</b>
<b>GRÁFICO N° 10</b> .....	<b>LXIX</b>
<b>COMPARACIÓN DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) DEL</b>	
<b>AISLAMIENTO EN MOTOR</b> .....	
	<b>LXIX</b>
<b>GRÁFICO N° 11</b> .....	<b>LXX</b>
<b>MÁQUINA INUNDADA Y SUCIA (INFERIOR) Y DESPUÉS DE</b>	
<b>LIMPIARLA Y SECARLA (SUPERIOR).</b> .....	
	<b>LXX</b>
<b>GRÁFICO N° 12</b> .....	<b>LXXI</b>
<b>COMPARACIÓN DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN GENERADOR</b>	
.....	<b>LXXI</b>
<b>GRÁFICO N° 13</b> .....	<b>LXXIII</b>
<b>COMPARACIÓN DE PASOS DE VOLTAJE (SV) DEL AISLAMIENTO</b>	
<b>EN MOTOR</b> .....	
	<b>LXXIII</b>
<b>GRÁFICO N° 14</b> .....	<b>LXXVI</b>
<b>COMPARACIÓN DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) DEL</b>	
<b>AISLAMIENTO EN GENERADOR</b> .....	
	<b>LXXVI</b>
<b>GRÁFICO N° 15</b> .....	<b>LXXVIII</b>
<b>COMPARACIÓN DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) DEL</b>	
<b>AISLAMIENTO EN MOTOR</b> .....	
	<b>LXXVIII</b>
<b>GRÁFICO N° 16</b> .....	<b>LXXXIV</b>

TENDENCIA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR .....	LXXXIV
GRÁFICO N° 17 .....	LXXXVI
TENDENCIA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR.....	LXXXVI
GRÁFICO N° 18 .....	LXXXVII
TENDENCIA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR .....	LXXXVII
GRÁFICO N° 19 .....	LXXXVIII
TENDENCIA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR .....	LXXXVIII
GRÁFICO N° 20 .....	LXXXIX
TENDENCIA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR .....	LXXXIX
GRÁFICO N° 21 .....	XC
TENDENCIA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR .....	XC
GRÁFICO N° 22 .....	XCI
TENDENCIA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR .....	XCI
GRÁFICO N° 23 .....	XCII
TENDENCIA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR .....	XCII



# INTRODUCCIÓN

Las pruebas de nivel de aislamiento en un programa preventivo de cualquier máquina o equipo eléctrico ayuda a que las fallas no se presenten en las instalaciones eléctricas sorpresivamente, lo que generaría inconvenientes y costos en recursos y tiempo. Si se considera pruebas de diagnóstico de aislamiento en máquinas eléctricas en un programa de mantenimiento preventivo, es posible planear el mantenimiento o el reemplazo de la máquina ante la posible falla en el momento en que la línea este inactiva.

Generalmente la resistencia del aislamiento de cualquier máquina eléctrica se reduce gradualmente, lo que permite una advertencia suficiente si se realiza pruebas periódicamente. Estas verificaciones regulares permiten disponer de las partes defectuosas antes que falle el servicio.

Si la degradación avanzada en los aislamientos no se detecta, existe mayor posibilidad de corto circuito y con la posibilidad de accidentes para el personal, la vida útil del equipo eléctrico se reduce y las instalaciones pueden enfrentarse a paros no programados y caros.

Se realizará análisis del sistema de aislamiento en máquinas eléctricas que se encuentran en operación en la EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A. (EEASA) y AGLOMERADOS COTOPAXI S.A. se grafica los resultados corregidos por efecto de temperatura y compara con resultados medidos en bobinas nuevas, dichos valores de aislamiento se grafican para un análisis de tendencia rápido y confiable de la máquina.

La presente investigación está distribuida de la siguiente manera:

En el Capítulo I se da a conocer los aislamientos, tipos de aislamientos, factores que afectan al envejecimiento del aislante, máquinas eléctricas rotativas, pruebas de DIAGNÓSTICO, voltajes de prueba y niveles de aislamiento recomendados.

En el Capítulo II se realiza pruebas de diagnóstico a máquinas eléctricas de la Empresa Eléctrica Ambato (EEASA) y AGLOMERADOS COTOPAXI S.A. con los datos obtenidos se realizará cuadros estadísticos, se analizará e interpretará la información recopilada por medio de pruebas de campo además se comparan los resultados con valores de nivel de aislamiento de bobinas nuevas para analizar la tendencia de envejecimiento del aislamiento. En el Capítulo III se plantea la propuesta de decisiones y recomendaciones para reducir el deterioro acelerado del aislamiento y mantener los valores recomendados para una confiable operación de las máquinas.

**CAPÍTULO I**

**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

## 1.1. ANTECEDENTES

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

Pueden aparecer en el aislamiento agujeros pequeños y grietas, o la humedad y materiales extraños pueden penetrar la superficie. Estos contaminantes se ionizan fácilmente bajo el efecto de un voltaje aplicado y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la corriente de fuga superficial que aumenta en comparación con superficies sin contaminar.

Una vez que ha comenzado la degradación del aislamiento, los diferentes iniciadores tienden a asistirse entre ellos para aumentar la rapidez de declinación.

Un buen aislamiento es el que no se deteriora al aumentar el voltaje y por ende, la corriente, obteniéndose una resistencia alta, la cual se debe mantener en el tiempo. Esto se visualiza al realizar mediciones periódicas y estudiando la tendencia que provoca que un aislamiento se deteriore. La diferencia de los distintos materiales es que los aislantes son materiales que presentan gran resistencia a que las cargas que lo forman se desplacen.

Los materiales aislantes tienen la función de evitar el contacto entre las diferentes partes conductoras y proteger a las personas frente a las tensiones eléctricas. El voltaje hace que la electricidad fluya a lo largo de los alambres de cobre, mientras

que el aislamiento que cubre dichos alambres ejercen una resistencia al paso de corriente, que es mucho menor a lo largo del alambre.

Es importante tener presente que ningún aislamiento es perfecto (su resistencia no es infinita), de modo que cierta cantidad de electricidad fluye a lo largo del aislamiento a través de la tierra. Esta corriente puede ser de millonésima de amperio, se debe medir con un buen instrumento de prueba de aislamiento, como el mega-óhmetro, popularmente conocido como "Megger".

## **1.2. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS**

Una máquina eléctrica es un dispositivo que transforma la energía cinética en otra energía, o bien, en energía potencial pasando esta energía por una etapa de almacenamiento en un campo magnético. Se clasifican en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores.

Los generadores transforman energía mecánica en eléctrica, mientras que los motores transforman la energía eléctrica en mecánica haciendo girar un eje. El motor se puede clasificar en motor de corriente continua o motor de corriente alterna. Los transformadores y convertidores conservan la forma de la energía pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica tiene un circuito magnético y dos circuitos eléctricos. Normalmente uno de los circuitos eléctricos se llama excitación, porque al ser recorrido por una corriente eléctrica produce los amper-vueltas necesarios para crear el flujo en el conjunto de la máquina.

Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en rotativas y estáticas. Las máquinas rotativas están provistas de partes giratorias, como las dinamos, alternadores, motores. Las máquinas estáticas no disponen de partes móviles, como los transformadores.

En las máquinas rotativas hay una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. Normalmente el rotor gira en el interior del estator. Al espacio de aire existente entre ambos se le denomina entrehierro.

### 1.2.1. Tipos de máquinas eléctricas

**CUADRO N° 1**

#### **TIPOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

<b>Máquinas eléctricas</b>			
Corriente	Máquinas rotatorias		Máquinas estáticas
Corriente alterna monofásica y trifásica	Síncronas	Generador Motor Compensador	Transformador Regulador de inducción Variador de fase Ciclo convertidor
	Asíncronas	Motor Generador Compensador	
	Conmutadas	Motor monofásico en serie Convertidor de frecuencia	
Corriente continua	Conmutadas	Generador Motor Compensador	Troceador
AC DC	Conmutadas	Motor universal Convertidor	Rectificador Inversor

**FUENTE:** [es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento eléctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_eléctrico)

**Recopilado por:** Los Tesistas.

### **1.3. EL AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

Las pruebas de nivel de aislamiento ayudan en el descubrimiento temprano de posibles fallas en la máquina eléctrica.

La mayoría de las fallas eléctricas se causan por una combinación de los picos de voltaje que ocurren a la salida y el deterioro normal. El problema empieza a menudo como un pequeño corto circuito de espira-espira que irá en el futuro conectando con tierra.

Antes de tomar una decisión sobre qué tipos de pruebas hacer en las máquinas eléctricas para predecir las fallas, debemos entender que hace que estas fallas ocurran. Es importante entender los diferentes grupos de aislamiento, el proceso de envejecimiento del aislamiento, y revisar las diferentes fallas típicas.

#### **1.3.1. Grupos de Aislamiento en Máquinas Eléctricas**

El sistema de aislamiento de una máquina consiste en el aislamiento de tierra-bobinado, el aislamiento de fase-fase y el aislamiento de espira-espira. En una máquina eléctrica el aislamiento de tierra-bobinado es el papel aislante de ranura que protege el cobre con respecto a tierra. El aislamiento de fase-fase es una hoja de papel aislante entre las fases. El aislamiento de espira-espira, es el esmalte en el cobre o el esmalte y cinta encontrado en las bobinas.

Para probar el sistema de aislamiento total deben realizarse varias pruebas. El aislamiento de tierra-bobinado puede probarse con un mega-ohmetro para determinar el valor de resistencia del aislamiento, una prueba de índice de polarización para evaluar la elasticidad del aislamiento, y pasos de voltaje para probar la fuerza dieléctrica del aislamiento. El aislamiento de fase-fase también puede probarse con algunas de las mismas pruebas arriba indicadas si la máquina está completamente desconectada.

#### **1.3.2. El Mantenimiento Preventivo de los Aislamientos Eléctricos**

Generalmente la resistencia del aislamiento se reduce gradualmente, lo que permite una advertencia suficiente si se prueba periódicamente. Estas verificaciones regulares permiten el reacondicionamiento planeado antes que falle el servicio o una condición de quemado de la máquina.

Considerando pruebas de diagnóstico del aislamiento en el programa de mantenimiento preventivo es posible planear el mantenimiento o el reemplazo de la máquina con falla en el momento en que la línea está inactiva y minimizar los costos.

Si la degradación del aislamiento no se detecta, existe mayor posibilidad de choque eléctrico y aún de accidentes para el personal; hay mayor posibilidad de incendio producido eléctricamente; la vida útil del equipo eléctrico se puede reducir y las instalaciones pueden enfrentarse a paros no programados y caros.

La medición de la calidad del aislamiento es una parte crucial de cualquier programa de mantenimiento puesto que ayuda a predecir y prevenir el paro del equipo eléctrico.

Los probadores de diagnóstico tienen salida de voltaje de 5 o 10 KV.; estos voltajes son adecuados para probar las máquinas, cables, transformadores, etc. de medio voltaje.

#### **1.4. AISLANTE ELÉCTRICO**

Todo material que cubre y resiste el paso de la corriente eléctrica para mantenerla en su trayectoria a lo largo del conductor ya sea una instalación, un motor, generador, cable, interruptor o cualquier cosa que transporte energía eléctrica.



La vida útil de las máquinas eléctricas está directamente relacionada con el envejecimiento del sistema de aislamiento eléctrico, este sistema tiende a envejecer por uno o más de los siguientes factores:

**Depósito químico.-** Derrames de aceite, grasa o cualquier tipo de químico en los bobinados causa el deterioro del aislamiento (Contaminación).

**Vibración.-** El movimiento dentro de los bobinados o la máquina que lleva el sistema de aislamiento daña los materiales aislantes (Mecánico).

**Temperatura.-** Calor excesivo causa daño acelerado del sistema de aislamiento (El envejecimiento térmico temprano).

**Picos de Voltaje altos o bajos.-** El encendido, apagado y los armónicos provocan cambios en el aislamiento. (Fallas del sistema).

**Deterioro lento.-** Todo aislamiento se desgasta, es la vida natural a través del funcionamiento normal (El envejecimiento térmico normal).

Estos factores, son los más importantes en el análisis del sistema de aislamiento de máquinas eléctricas.

Los aislantes se fabrican para soportar fatigas por un periodo de años que es la vida normal de trabajo, la fatiga reiterada del sistema de aislamiento puede llevar a un incremento en el proceso natural de envejecimiento que reducirá drásticamente la vida útil de la máquina, entonces se debe realizar pruebas periódicamente para analizar el proceso de envejecimiento e identificar si los efectos se pueden corregir.

Los objetivos de las pruebas de diagnóstico son:

- Analizar el envejecimiento del sistema de aislamiento.

- Identificar la causa de este envejecimiento.
- Tomar decisiones para evitar el deterioro acelerado del aislamiento.

#### 1.4.1. Clasificación Térmica de los Aislamientos

**CUADRO N° 2**

**CLASE TÉRMICA DE LOS AISLAMIENTOS**

CLASE DE AISLAMIENTO	MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN		TEMPERATURA MÁXIMA DE EMPLEO (°C)
	MATERIAL AISLANTE	MEDIO AGLOMERANTE O IMPREGNANTE	
E	- Esmaltes de acetato de polivinilo, poliuretano. - Aglomerado con celulosa.	- Melamina con formaldehído. - Fenol con formaldehído.	120 °C
B	- Fibras de vidrio. - Productos de mica. - Esmaltes de politereftalatos - Films de policarbonato.	- Goma laca - Compuestos asfálticos o bituminosos. - Resinas alquídicas. - Resinas poliéster. - Melamina y formaldehído.	130 °C
F	- Fibras de vidrio. - Productos de mica. - Esmaltes de poliamidas aromáticas. - Films de poliéster-imida.	- Resinas epoxi. - Resinas de poliuretano. - Resinas de silicona.	155 °C
H	- Fibras de vidrio - Films de poliamidas aromáticas y de poliamidas. - Politetrafluoroetileno. - Caucho silicona	- Resinas de silicona	180 °C
C	- Porcelana, mica, cuarzo, vidrio u otro material cerámico. - Politetrafluoroetileno.	- Resinas de silicona cuando sea preciso.	> 180 °C

**FUENTE:** es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento eléctrico

Recopilado por: Los Tesistas.

La norma establece la clasificación de los materiales aislantes utilizados en máquinas y aparatos eléctricos, en base a la temperatura de trabajo que pueden soportar permanentemente en condiciones normales de operación.

Las clases de materiales aislantes y las temperaturas límite que se atribuyen, son las siguientes:

**1.4.1.1. Clase E -120° C.**

Es la clase de aislamiento que comprende materiales o combinación de los mismos tales como: cartón, papel y productos de papel térmicamente estabilizados, convenientemente impregnados, revestidos o sumergidos en líquidos dieléctricos como un aceite aislante. Pueden ser incluidos en esta clase otros materiales o combinación de los mismos si por medio de ensayos se demuestra que pueden ser capaces de soportar satisfactoriamente la temperatura de 120 °C.

**1.4.1.2. Clase B -130° C.**

Es la clase de aislamiento que comprende materiales o combinación de los mismos tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con un aglomerante, impregnante o revestimiento adecuados. Pueden ser incluidos en esta clase, otros materiales o combinación de los mismos, no necesariamente inorgánicos, si por medio de ensayos se demuestra que pueden ser capaces de soportar satisfactoriamente la temperatura de 130°C.

**1.4.1.3. Clase F -155° C.**

Es la clase de aislamiento que comprende materiales o combinación de los mismos tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con un aglomerante, impregnante o revestimiento adecuados. Pueden ser incluidos en esta clase, otros materiales o combinación de los mismos no necesariamente inorgánicos, si por medio de ensayos se demuestra que son capaces de soportar satisfactoriamente, la temperatura de 155°C.

#### **1.4.1.4. Clase H -180° C.**

Es la clase de aislamiento que comprende materiales tales como: elastómeros de silicona y combinación de materiales tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con un conveniente aglomerante, impregnante o revestimiento como: resinas de siliconas. Pueden ser incluidos en esta clase otros materiales o combinación de los mismos, si por medio de ensayos se demuestra que son capaces de soportar satisfactoriamente la temperatura de 180°C.

#### **1.4.1.5. Clase C más de 180° C.**

Es la clase de aislamiento que comprende los materiales o combinación de los mismos tales como: mica, porcelana, vidrio, cuarzo y asbestos, con o sin aglutinantes inorgánicos. Al igual que en las otras clases podrán ser incluidos en ésta clase, otros materiales, si por medio de ensayos adecuados demuestran ser capaces de soportar satisfactoriamente temperaturas mayores de 180°C.

### **1.5. TIPOS DE AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS**

Los aislantes se dividen igual que los conductores en sólidos, líquidos y gaseosos. Presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta  $2,5 \times 10^24$  veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre.

#### **1.5.1. Aislantes Sólidos**

En los sistemas de aislación de transformadores, generadores y motores destacan papeles y cintas sintéticas que se utilizan para envolver los conductores magnéticos de los bobinados. Tienen excelentes propiedades dieléctricas y buena adherencia sobre los alambres magnéticos.

Un buen aislante entre vueltas de las bobinas de transformadores es el cartón prensado o pressboard, el cual da forma a estructuras de aislación rígidas.

### **1.5.2. Aislantes Líquidos**

Las propiedades físicas de los dieléctricos líquidos como por ejemplo: peso específico, conductibilidad térmica, calor específico, constante dieléctrica, viscosidad, dependen de su naturaleza, es decir de la composición química, pero su rigidez dieléctrica, además está ligada a factores externos como por ejemplo: impureza en suspensión, en solución, humedad, etc., que, generalmente, reducen su valor, degradando la característica importante.

Los fluidos o líquidos dieléctricos cumplen doble función, aislar los bobinados en los transformadores y disipar el calor del interior de estos equipos.

El líquido dieléctrico más empleado es el aceite mineral.

Fluidos dieléctricos sintéticos, (hidrocarburos) con alto punto de inflamación. El líquido aislante sintético más utilizado desde principios de la década de 1930 hasta fines de los 70's fue el Ascarel o PCB (Contaminante, Organico, Persistente), que dejo de usarse por ser muy contaminante.

Se prohíbe el Uso del " Ascarel", según decreto de la Superintendencia Exenta N° 6110, del 03 de Septiembre de 1982.

Entre los nuevos líquidos sintéticos destacan las siliconas y los poly-alfa-olefines. Tienen un alto costo, eso dificulta su masificación.

### **1.5.3. Aislantes Gaseosos**

Los gases aislantes más utilizados en los transformadores son el aire y el nitrógeno, este último a presiones de 1 atmósfera. Estos transformadores son generalmente de construcción sellada. El aire y otros gases tienen elevadísima resistividad y están prácticamente exentos de pérdidas dieléctricas.

El SF6 (hexafluoruro de azufre) es otro gas aislante que se caracteriza por ser incoloro, inodoro, no tóxico, química y fisiológicamente inerte, no corrosivo no inflamable y no contaminante. Por sus características dieléctricas es ideal como medio aislante, tiene una rigidez dieléctrica muy elevada, tanto a la frecuencia industrial como a impulso, gracias a su particular característica de gas electronegativo. Con la captura de los electrones libres la molécula de SF6 se transforma en iones negativos pesados, y por lo tanto poco móviles. La rigidez dieléctrica del SF6 a la frecuencia industrial es por lo menos dos veces y media la del aire a la presión de 5 kg/cm<sup>2</sup>, condición que permite lograr un alto nivel de aislamiento con presiones relativamente bajas, lo cual implica sistemas de contención simples y de completa confiabilidad. Este gas tiene menor capacidad de disipación de calor que el aceite mineral, situación que se puede mejorar aumentando la presión del SF6 en el tanque del transformador.

## **1.6. AISLANTES USADOS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS.**

### **1.6.1. Film de poliéster (Mylar)**

Aislamiento clase B.

Polímero derivado de la condensación reaccionada del etilenglicol y el ácido tereftálico obteniéndose el teraftalato de polietileno, que es con el que se hace el film. A temperaturas comprendidas entre -60° y 130° C mantiene sin alteraciones sus características de suministro. Muy utilizado en la industria eléctrica al permitir reducir espesores del aislamiento. Utilizado para aislar ranuras de estatores e inducidos, aislar entre fases y bobinas de motores, condensadores, reactancias.

Forma de suministro: espesor de 0,125 - 0,19 - 0,25 - 0,35 mm. Ancho de bobinas 960 mm 50 kg. mini bobinas de 5 kg.

### **1.6.2. Pressphan - Mylar (PM)**

Aislamiento clase B

El laminado flexible PM, está compuesto a base de un soporte de papel dieléctrico pressphan en una cara, y un film de poliéster, obteniéndose un excelente aislante eléctrico de alta rigidez dieléctrica y elevada resistencia mecánica, soportando temperaturas de hasta 130° C.. Utilizado principalmente como aislante de ranura y entre fases de motores.

Forma de suministro: espesor 0,15 - 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,35 mm. Ancho de bobina 600 mm 25 kg. mini bobinas 600 mm 10 kg.

### **1.6.3. Dacron - Mylar - Dacron - (Blanco)**

Aislamiento clase B-F.

Es un laminado flexible compuesto por un film de poliéster recubierto por ambas caras por un filtro de poliéster sin impregnar. Aislante que por sus componentes presenta unas excelentes propiedades de absorción de barnices y resinas de impregnación, así como una buena estabilidad térmica a 130° C. En su suministro, las características térmicas del DMD Blanco corresponden a una clase B mejorada pero que instalado en la máquina y convenientemente impregnada con barnices, puede ser utilizado para el aislamiento de devanados de clase térmica F. De fácil aplicación por su gran flexibilidad y deslizamiento, es utilizado como fondo de ranura y cierre, en la fabricación y reparación de motores eléctricos de baja tensión.

Forma de suministro: espesor 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,35 mm. Ancho de bobina 960 mm. 50Kg. mini bobinas - ancho 500 mm 10 kg.

#### **1.6.4. Dacron - Mylar - Dacron (Rosa)**

Aislamiento clase F.

Constituido por un film de poliéster adherido por ambas caras a dos láminas de fibras de poliéster no tejido e impregnadas con resina epoxi. Al estar el complejo saturado por la resina epoxi, su poder absorbente queda reducido pero presenta la ventaja de estabilizar térmicamente el film de poliéster y disminuir su contracción cuando es sometido a temperatura. Es adecuado para el aislamiento de devanados clase F. Igualmente utilizado como el DMD Blanco, para fondo de ranura y cierre para reparación de motores.

Forma de suministro: espesor 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,35 mm. Ancho de bobina 960 mm. 50 Kg. mini bobinas - ancho 500 mm. 10 Kg.

#### **1.6.5. Nomex - Mylar - Nomex - (NMN)**

Aislamiento clase F.

Complejo formado por un film de poliéster adherido a 2 láminas de aramida (Poliamida aromático) NOMEX T-416 de 0,005 mm. Mediante una resina preparada para esta aplicación, con propiedades electro-térmicas elevadas. Los materiales que lo constituyen y su proceso de fabricación en caliente permiten que el NMN ofrezca características elevadas, más que el resto de complejos significándolo como el más idóneo para ser utilizado en el aislamiento de devanados que puedan estar sometidos a elevadas temperaturas de trabajo. Su clasificación térmica, por encima de las exigencias de la clase F, permite utilizarse para el aislamiento de máquinas eléctricas de clase H, si todo el conjunto es impregnado con un barniz o resina de esta clasificación.

Forma de suministro = 0,15 - 0,20 - 0,25 - 0,30 - 0,35 mm. Ancho de bobina 960 mm. 50 kg. mini bobinas 960 mm. 5 kg.



## **1.7. FACTORES QUE AFECTAN EL AISLAMIENTO**

Cuando una máquina es nueva la fuerza del dieléctrico del sistema de aislamiento es muy alta, está en la mejor forma. En una máquina típica de 4160 V. la fuerza de aislamiento está por encima de 34 KV. con el tiempo el aislamiento se deteriora debido al proceso de envejecimiento térmico normal. Acelera este proceso la contaminación y la tensión mecánica que causa un deterioro más rápido. Esto continúa hasta que finalmente el aislamiento se deteriora a un nivel que es afectado por los picos de voltaje.

Los fabricantes de alambre, cable, motores, etc., han mejorado continuamente sus aislamientos para los servicios de la industria. A pesar de todo, aún hoy en día, el aislamiento está sujeto a muchos efectos que pueden ocasionar que falle daños mecánicos, vibraciones, calor o frío excesivo, suciedad, aceite, vapores corrosivos, humedad de los procesos, o simplemente la humedad de un día nublado.

En distintos grados, estos enemigos del aislamiento están trabajando con el paso del tiempo, combinado con el esfuerzo eléctrico que existe. Conforme se desarrollan picaduras o grietas, la humedad y las materias extrañas penetran en la superficie del aislamiento y proporcionan una trayectoria de baja resistencia para la fuga de corriente. Cuando inician, los distintos enemigos tienden a ayudarse entre sí y permiten atravesar una corriente excesiva por el aislamiento.

A veces la caída de la resistencia del aislamiento es súbita, cómo cuando el equipo falla. Generalmente cae gradualmente, lo que da una advertencia suficiente si se realiza pruebas periódicamente. Estas pruebas permiten el reacondicionamiento planeado antes de que falle la máquina. Si no se hacen pruebas, una máquina eléctrica con poco aislamiento, puede ser peligrosa cuando se aplica voltaje y se toca, también puede estar sujeta a quemarse.

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

### **1.7.1. Fatiga eléctrica**

El aislamiento se diseña para una aplicación particular. Los sobre voltajes y los bajos voltajes ocasionan fatiga anormal dentro del aislamiento que puede conducir a agrietamiento y laminación del propio aislamiento, estudios muestran que estos eventos empiezan como un corto circuito espira-espira causados por los picos de voltaje debido al encendido y apagado. Estos estudios fechan de 1936. Las medidas de estas ondas empezaron ya en 1960, se observan picos de 0.5 microsegundo a 5 veces el voltaje.

Estas ondas se originan por una variedad de fuentes. La causa más común y principal de avería del aislamiento entre espiras se da debido a los incrementos repentinos de voltaje. Estos cambios en las ondas pueden ocurrir cuando se abren y cierran contactos.

El accionamiento de motores eléctricos de inducción por convertidores estáticos de frecuencia (variadores de frecuencia) es una solución relativamente nueva, pero, ya ampliamente utilizada en la industria pero la máquina está sometida a tensiones armónicas.

#### ***1.7.1.1. Armónicas que Afectan el Desempeño del Motor***

El motor de inducción sometido a una tensión proveniente de un convertidor de frecuencia, está sujeto a tensiones armónicas (componentes de frecuencia arriba de la frecuencia fundamental). Dependiendo de la modulación empleada, la frecuencia de conmutación y de otras particularidades del control, el motor podrá presentar incremento de perdidas y temperatura, incremento de niveles de vibración, ruido y perdidas de eficiencia.

El motor soporta una tensión de modulación por ancho de pulsos (PWM siglas en inglés de pulse-width modulation) y una corriente prácticamente senoidal, por tanto, las armónicas de mayor amplitud en el motor son de tensión.

Los motores de inducción pueden presentar una elevación de temperatura cuando son alimentados por convertidores que cuando son alimentados con tensión senoidal. Esta elevación de temperatura es derivada del incremento de pérdidas del motor, en función de las componentes de alta frecuencia de la señal PWM, aliada a la frecuentemente reducida transferencia de calor decurrente de la variación de velocidad.

#### ***1.7.1.2. Influencia del Convertidor en el Sistema Aislante del Motor***

Las elevadas frecuencias de conmutación de los transistores bipolar de puerta aislada (IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor) empleadas en los convertidores actuales provocan consecuencias no deseadas, tales como el aumento de la emisión electromagnética y la incidencia de picos de tensión, en los terminales de los motores alimentados por convertidores. Dependiendo de las características de control y de la modulación PWM adoptada, cuando estos convertidores son utilizados en un motor de inducción de jaula, los pulsos, en combinación con las impedancias del cable y del motor, pueden generar de manera repetitiva sobretensiones en los terminales del motor. Estos pulsos reducen la vida del motor por la degradación de su sistema de aislamiento.

#### **1.7.2. Fatiga mecánica**

La fatiga mecánica puede ocurrir por operar una máquina fuera de balance o por paros y arranques frecuentes. La vibración al operar la máquina puede ocasionar defectos dentro del aislamiento. La abrasión mecánica del bobinado es otro mecanismo de deterioro que opera en el aislamiento del motor. La acción de las fuerzas magnéticas causa cambios entre los componentes. Los campos magnéticos cambian 120 veces por segundo apretando el bobinado en cada

cambio. Los estudios muestran que este movimiento entre el bobinado y el aislamiento, puede llevar el 17% de fallas.

### **1.7.3. Fatiga térmica**

La operación de una máquina en condiciones excesivamente calientes o frías ocasiona sobre expansión o sobre contracción del aislamiento que da lugar a grietas y fallas.

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

#### **1.7.3.1. Ataque químico**

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

### **1.7.4. Contaminación ambiental**

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

## **1.8. COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA**

Si se aplica un voltaje de prueba a través de una pieza de aislamiento, luego por medición de la corriente resultante y aplicando la Ley de Ohm, se puede calcular la resistencia de aislamiento. Desdichadamente, fluye más de una corriente, que tiende a complicar las cosas.

### **1.8.1. Corriente de carga capacitiva**

Es la corriente requerida para cargar la capacitancia del aislamiento que se está probando. Esta corriente inicialmente es grande pero su vida es relativamente corta, cae exponencialmente a un valor cercano a cero conforme el objeto bajo prueba se carga. El material aislante se carga del mismo modo que el dieléctrico de un capacitor.

### **1.8.2. Corriente de absorción o polarización**

La corriente de absorción está compuesta realmente hasta por tres componentes, que decaen con un índice de decrecimiento a un valor cercano a cero en un periodo de varios minutos.

La primera es ocasionada por una deriva general de electrones libres a través del aislamiento bajo el efecto del campo eléctrico.

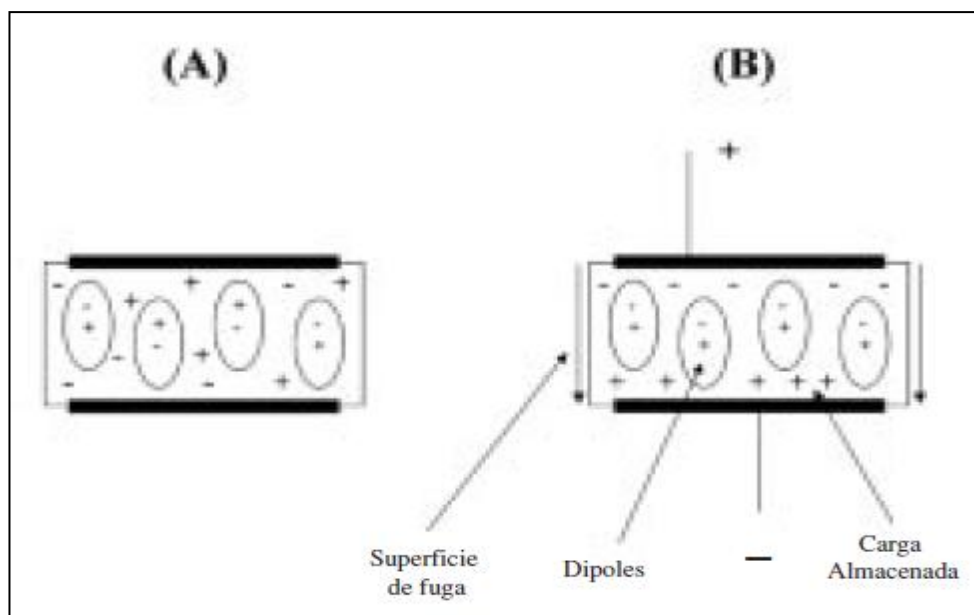
La segunda es ocasionada por distorsión molecular por la que el campo eléctrico impuesto distorsiona la carga negativa de las capas de electrones que circulan alrededor del núcleo hacia el voltaje positivo.

La tercera se debe a la alineación de moléculas polarizadas dentro del campo eléctrico aplicado. Esta alineación es casi aleatoria en un estado neutro, pero cuando se aplica un campo eléctrico, estas moléculas polarizadas se alinean con el campo a un mayor o menor grado.

Las tres corrientes se consideran generalmente juntas como una sola corriente y son afectadas por el tipo y las condiciones del material de unión usado en el aislamiento. Aunque la corriente de absorción se aproxima a cero, el proceso toma mucho más tiempo que con corriente capacitiva.

## GRÁFICO N° 1

### ALINEACION DE MOLECULAS POLARIZADAS



FUENTE: [www.megger.com](http://www.megger.com)

Recopilado por: Los Tesistas

La polarización de orientación se incrementa con la presencia de humedad absorbida puesto que los materiales contaminados están más polarizados. Esto incrementa el grado de polarización.

La despolimerización del aislamiento también lleva a un incremento en la corriente de absorción.

No todos los materiales poseen las tres componentes y, por cierto, los materiales tales como el polietileno, exhiben poca, si alguna, absorción por polarización.

### 1.8.3. Corriente de fuga superficial

La corriente de fuga superficial se presenta porque la superficie del aislamiento está contaminada con humedad o con sales. La corriente es constante con el tiempo y depende del grado de ionización presente, que depende a la vez de la

temperatura. Con frecuencia se ignora como corriente separada y se incluye con la corriente de conducción como la corriente de fuga total.

#### 1.8.4. Corriente de conducción

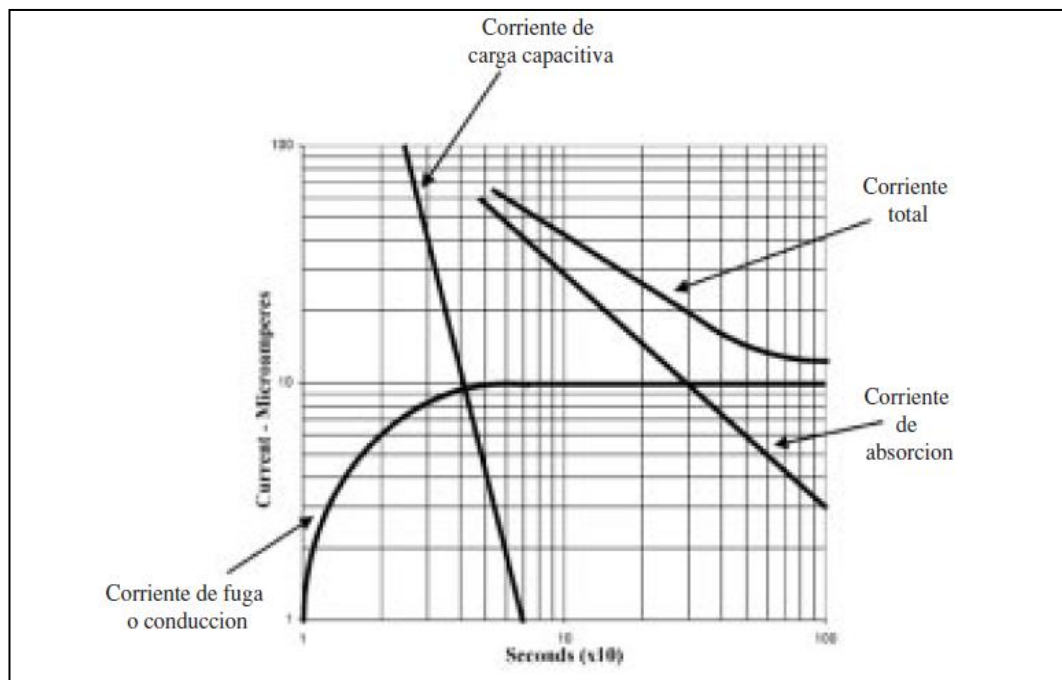
La corriente de conducción es estable a través del aislamiento y generalmente se representa por un resistor de valor muy alto en paralelo con la capacitancia del aislamiento.

Es una componente de la corriente de fuga, que es la corriente que se medirá cuando el aislamiento está totalmente cargado y tiene lugar la absorción plena.

La gráfica siguiente muestra la naturaleza de cada una de las componentes de corriente con respecto al tiempo.

### GRÁFICO N° 2

#### COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE PRUEBA



FUENTE: [www.megger.com](http://www.megger.com)  
Recopilado por: Los Tesistas

La corriente total es la suma de estas componentes. (La corriente de fuga se muestra como una corriente). Esta corriente es la que puede medirse directamente por medio de un micro amperímetro o, en términos de mega-ohm, a un voltaje particular por medio de un probador de aislamiento.

La corriente de carga desaparece relativamente rápido conforme se carga el equipo bajo prueba. Las unidades grandes con más capacitancia tomarán más tiempo para cargarse. Esta corriente almacena energía y, por razones de seguridad, debe descargarse después de la prueba. Afortunadamente, la descarga de esta energía tiene lugar relativamente rápido.

Durante la prueba, la corriente de absorción decrece con una rapidez relativamente baja, según la naturaleza del aislamiento. Esta energía almacenada, también, debe liberarse al final de la prueba, y requiere mucho más tiempo para descargarse que la corriente de carga de la capacitancia.

## **1.9. TIPOS DE PRUEBAS**

El aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir esas fatigas por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento.

La fatiga anormal puede llevar a un incremento de este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida de trabajo del aislamiento.

Por esta razón se debe realizar pruebas regularmente para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no.

Los propósitos de las pruebas de diagnóstico son:

- Identificar el incremento de envejecimiento.



- Identificar la causa de este envejecimiento.
- Identificar, si es posible, las acciones más adecuadas para corregir esta situación.

En su forma más simple, las pruebas de diagnóstico toman la forma de una “prueba puntual (spot)”. Esta es la clase de prueba que se aplica generalmente a los circuitos de bajo voltaje donde el costo de una falla es bajo y el equipo se puede reemplazarse fácilmente y sin grandes desembolsos. Puesto que el equipo que se está probando es de bajo voltaje, estas pruebas se realizan generalmente con un voltaje de prueba de 500 o 1000 V. Si se registran las lecturas de resistencia de aislamiento y se comparan con las lecturas registradas anteriormente es posible ver una tendencia y decidir las acciones de mantenimiento o reparación.

Las pruebas de diagnóstico de aislamiento para voltajes arriba de 1 KV corresponden a un área menos familiar para mucha gente del personal de mantenimiento eléctrico. Los propósitos del presente trabajo, por tanto, son:

- Familiarizar al lector con la realización de diagnóstico de resistencia de aislamiento.
- Proporcionar los lineamientos para evaluar los resultados de esas pruebas de diagnóstico de resistencia de aislamiento.
- Presentar los beneficios de pruebas multi-voltaje a voltajes más altos.

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

$$E = I \times R$$

Donde:

$E$  = Voltaje en volts

$I$  = Corriente en amperios

$R$  = Resistencia en ohm.

Para una resistencia dada, a mayor voltaje, mayor corriente.

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

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

Entonces, un aislamiento bueno significa una resistencia relativamente alta al flujo de la corriente. Cuando se usa para describir un material aislante, “bueno” también significa “la capacidad para mantener una resistencia alta”. La medición de la resistencia puede decir que tan “bueno” es el aislamiento.

## **1.10. PRUEBAS DE DIAGNÓSTICO DEL AISLAMIENTO.**

Las pruebas de aislamiento de diagnóstico estimulan eléctricamente el aislamiento y miden la respuesta. Según la respuesta, se pueden sacar algunas conclusiones sobre las condiciones del aislamiento.

Aquí se considerarán las pruebas que se pueden realizar con un probador de aislamiento de cd. estas son:

- Pruebas puntuales de tendencia (IR)

- Índice de polarización (PI)
- Pasos de Voltaje (SV)
- Descarga dieléctrica (DD)

Cada prueba da un panorama diferente, sobre las condiciones del aislamiento; el panorama completo está disponible cuando se han completado todas las pruebas requeridas.

#### **1.10.1. Prueba de lectura puntual (IR)**

La prueba de resistencia de aislamiento (IR) es la más antigua y la más ampliamente usada para evaluar la calidad de aislamiento con respecto a tierra. En esta prueba, la estructura del motor se conecta a tierra, y el instrumento de prueba impone un voltaje de dc en los bobinados del motor.

IR prueba que las lecturas son muy sensibles a la temperatura y humedad. Para las lecturas exactas, significativas, las pruebas deben hacerse cuando la máquina ha sido puesta fuera de servicio por un tiempo para haber alcanzado la temperatura atmosférica. Para evitar la condensación, la temperatura debe ser anterior el punto del rocío. Deben corregirse lecturas de IR obtenidas a una temperatura establecida.

La prueba es la más simple de todas las pruebas de aislamiento y la más asociada con los probadores de aislamiento de voltaje más bajo; el voltaje de prueba se aplica por un periodo corto de tiempo (generalmente 60 segundos puesto que usualmente cualquier corriente de carga capacitiva decaerá en este tiempo) y luego se toma una lectura. La lectura se puede comparar con las especificaciones mínimas de la instalación. La resistencia de aislamiento es altamente dependiente de la temperatura y por tanto los resultados deben corregirse a una temperatura

establecida. La clave para hacer válida la prueba consistente con mantener el tiempo, mantener el registro, y la tendencia de los resultados.

La tendencia es mucho más importante que el valor absoluto. Las lecturas de resistencia de aislamiento se deben considerar relativamente más que absolutamente. Como se mencionó, la información importante es la tendencia de las lecturas en un periodo de tiempo, que muestren reducción de resistencia y advertencia de problemas.

Las pruebas periódicas son, por tanto, críticas en el mantenimiento preventivo del equipo eléctrico. El intervalo entre pruebas (mensualmente, semestralmente, anualmente, etc.) depende del tipo, localización e importancia del equipo.

Las pruebas deben hacerse del mismo modo cada vez. También deben hacerse alrededor de la misma temperatura, o debe corregirlas a la misma temperatura.

### **1.10.2. Prueba índice de Polarización (PI)**

Esta prueba de DC diez minutos se realiza a un voltaje de comprobación máximo. Se toma la lectura en mega-ohm en un minuto y a diez minutos para determinar la elasticidad del aislamiento. Cuando un aislante es sometido en un campo eléctrico, las moléculas del aislamiento deben alinearse con ese campo. Si el aislamiento es viejo, duro, y quebradizo, ninguna polarización puede ocurrir.

El índice de Polarización es la resistencia del aislamiento a los diez minutos dividido por la lectura a un minuto. La lectura de los diez minutos debe aumentar por un factor de dos o más dando una "PI" de dos o más. Si el aislamiento es muy quebradizo el índice de polarización será uno o ligeramente más de uno, indicando que ninguna polarización tuvo lugar.

El resultado es un número puro y se puede considerar independiente de la temperatura puesto que la masa térmica del equipo que se está probando

generalmente es grande que el enfriamiento que tiene lugar durante los diez minutos de prueba es despreciable.

Una relación baja indica poco cambio, consecuentemente aislamiento pobre, mientras que una relación alta indica lo opuesto. Las referencias a valores PI típicos son comunes en la literatura, lo que hace que esta prueba sea fácilmente empleada. Sin embargo, hay materiales que exhiben muy poca o ninguna absorción dieléctrica. Llevando a cabo una prueba en esos materiales produciría entonces un resultado muy próximo a 1.

Una prueba como la PI es particularmente útil porque se puede realizar aún en equipos grandes, y produce una evaluación con base en lecturas relativas más que en valores absolutos. El equipo más grande y más nuevo se puede probar fácilmente para producir datos para registro y evaluación de tendencias.

Los valores arriba de 4 indican equipo excelente, que probablemente no sea necesaria ninguna acción dentro del programa de mantenimiento inmediato. Sin embargo, se puede para hacer juicios críticos. Valores de PI arriba de 5 podrían indicar aislamiento quebradizo o agrietado; esto podría ser casi obvio.

Un aumento súbito de PI mayor de 20%, sin haber realizado mantenimiento alguno, debe servir como una advertencia; el aislamiento puede mantener su valor por periodos largos, pero no es posible que los mejore espontáneamente de por sí.

Un beneficio de la prueba PI es que puede proporcionar una indicación de la calidad del aislamiento en diez minutos, en máquinas muy grandes que podrían tomar una hora o más para cargarse totalmente.

### **1.10.3. Prueba de Pasos de Voltaje (SV)**

El aislamiento bueno es resistivo, un incremento en el voltaje de prueba conducirá a un incremento en la corriente mientras la resistencia permanece constante. Cualquier desviación de esto podría significar aislamiento defectuoso. Con voltajes de prueba más bajos, 500 V o 1000 V, es bastante posible que estos defectos no se observen, pero conforme se eleva el voltaje se llega a un punto donde tiene lugar la ionización dentro de las grietas o las cavidades, lo que da por resultado un incremento de la corriente, y por tanto una reducción de la resistencia de aislamiento. No es necesario llegar al voltaje de diseño del aislamiento para que estos defectos se hagan aparentes, puesto que se busca simplemente la ionización en el defecto.

La prueba de Pasos de Voltaje sigue exactamente este principio y puede emplearse útilmente con voltajes que alcanzan 2500 V y más. La prueba de Pasos de Voltaje se puede emplear como una prueba de bajo voltaje o sobre voltaje. Se debe recordar que una prueba de sobre voltaje puede llevar a una falla catastrófica si se rompe el aislamiento debido a que los probadores de voltaje tienen mucha potencia disponible.

Una prueba de bajo voltaje realizada con un probador de aislamiento tiene relativamente poca potencia disponible y por lo tanto es menos probable que resulte una prueba destructiva.

Un procedimiento es incrementar el voltaje en cinco pasos iguales en pasos de un minuto y registrar la resistencia de aislamiento final en cada nivel.

Cualquier reducción marcada de resistencia es una indicación de debilidad.

Si se observa una desviación del 25% en las mediciones de resistencia en el rango de voltajes sucesivos, es indicación de la presencia de humedad u otro contaminante. El daño físico localizado puede revelarse más por ruptura o arqueo. La prueba de Pasos de Voltaje es una prueba repetible, auto-evaluable que, por su corta duración, está libre de influencias extrañas como el efecto de la temperatura.

#### **1.10.4. Prueba de Descarga Dieléctrica (DD)**

La prueba de Descarga Dieléctrica (DD) es un método de prueba relativamente nueva que fue desarrollado por Electricité de France, con base en años de experiencia. La prueba DD mide la corriente que fluye durante la descarga de la muestra bajo prueba. Como tal, no es una prueba de resistencia de aislamiento pura sino más bien un adjunto a las pruebas de aislamiento tradicionales.

La carga que se almacena durante una prueba de aislamiento se descarga automáticamente al final de la prueba cuando los resistores de descarga del probador de aislamiento se intercambian en las terminales.

La rapidez de descarga depende solamente de los resistores de descarga y de la cantidad de carga almacenada en el aislamiento. La carga capacitiva se descarga rápidamente hasta que el voltaje a través del aislamiento se ha reducido casi a cero. En ese momento el efecto de las corrientes de fuga será despreciable. Así, sólo queda la inversión de la absorción dieléctrica. Esto se conoce como reabsorción dieléctrica y es una imagen de espejo de la absorción dieléctrica.

La corriente capacitiva decae rápidamente desde un valor alto con una constante de tiempo relativamente corta (unos cuantos segundos). La corriente de absorción (o reabsorción durante una descarga) siempre comienza a un nivel alto pero tiene una constante de tiempo mucho más larga (hasta muchos minutos). Es ocasionada por los dipolos que hacen aleatoria su alineación dentro del aislamiento y la capa de electrones que regresa a una forma no distorsionada. Esto tiene el efecto de una corriente que fluye si el circuito de descarga todavía está conectado, o un voltaje que reaparece en la muestra si se deja en circuito abierto. Removiendo rápidamente los efectos de las corrientes de fuga y capacitiva permite la posibilidad de interpretar el grado de polarización del aislamiento y relacionarlo con la humedad y otros efectos de la polarización.

## **1.11. PRUEBAS DIFERENTES PARA PROBLEMAS DIFERENTES**

En la literatura anterior, la prueba de Descarga Dieléctrica se puede usar para identificar problemas en aislamientos de una sola capa o de capas múltiples. Otros métodos de prueba podrían no apuntar a problemas sobre este tipo de estructura de aislamiento. En forma similar la prueba de Índice de Polarización es particularmente valiosa en la revelación del ingreso de humedad, aceite y contaminaciones penetrantes similares. Estos contaminantes invasores proporcionan trayectorias convenientes para fugas eléctricas, que dañan el aislamiento circundante y finalmente en forma de “corto”. Este tipo de problemas se revela casi con cualquier voltaje de prueba y aparecerá como una PI característicamente “plana”. La humedad y los contaminantes también disminuirán los valores de las lecturas, pero esto requiere un valor previo para comparación.

Otros problemas parecen como que “pasan” una prueba PI o una prueba simple de lectura puntual (spot) produciendo valores de resistencia altos con un voltaje dado. Tales problemas incluyen daños físicos localizados como agujeros o aislamientos secos y quebradizos en equipos envejecidos. Las pruebas de pasos de voltaje revelan tales problemas. Incrementando el voltaje de prueba las imperfecciones permitirán pasar corriente conforme se apliquen voltajes cada vez más altos, y que se reflejen en una resistencia declinante. El voltaje más alto producirá arcos a través de los pequeños espacios, proporcionando una “advertencia temprana” de un problema. Conforme envejece el equipo, tales espacios pueden estrecharse por acumulación de suciedad y humedad hasta que se produce un corto a tierra.

## **1.12. EFECTOS DE LA TEMPERATURA**

Las variaciones de temperatura tienen un efecto en las lecturas de resistencia de aislamiento. La resistencia cae marcadamente con un incremento en la



temperatura para el mismo aparato. Cada tipo de material aislante tiene un grado diferente de cambio de resistencia con la temperatura. Se han desarrollado tablas de factores de corrección por temperatura para distintos tipos de aparatos eléctricos y pueden adquirirse del fabricante. A falta de estas, se recomienda que uno desarrolle sus propias tablas de factores de corrección registrando dos valores de resistencia para el mismo equipo a dos temperaturas diferentes. Se puede trazar entonces una gráfica de resistencia (en una escala logarítmica) contra temperatura (en una escala lineal). Al graficar se obtiene una línea recta y puede extrapolarse para cualquier temperatura de modo que los factores se pueden leer directamente.

En lugar de datos detallados, la “regla” es que por cada 10° C de incremento en temperatura, la resistencia se reduce a la mitad; o por cada 10° C de disminución de la temperatura, la resistencia se dobla. Por ejemplo, una resistencia de 100 GΩ a 20 ° C se hace 25 GΩ a 40° C.

¿Por qué es importante la corrección por temperatura? Considere el siguiente ejemplo de un motor probado en momentos diferentes del año a temperaturas diferentes (todas dentro de una banda de 15° C).

Para calcular el coeficiente de corrección por temperatura se usa la ecuación siguiente:

$$KT = (0,5)^{(40-T)/10}$$

Donde:

*KT*: Coeficiente de corrección por temperatura.

*T*: Temperatura a la cual se realiza la prueba.

Las lecturas tomadas crean confusión si no se corrigen por temperatura. Cuando se trazan, producen una gráfica que es de uso limitado para determinar una tendencia.

Si los mismos datos se corrigen por temperatura y se trazan, la gráfica comienza a proporcionar un cuadro valioso del deterioro del aislamiento.

La corrección por temperatura es particularmente importante cuando se prueba con mayores voltajes con altos niveles de sensibilidad.

## **CAPÍTULO II**

### **REPRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **2.1. PRESENTACIÓN**

En el presente capítulo se desarrolla un análisis partiendo de los datos obtenidos de pruebas realizadas en máquinas eléctricas de la Empresa Eléctrica Ambato y la

Empresa Aglomerados Cotopaxi previamente corregidos por factor de temperatura y comparados con valores medidos en bobinas nuevas para este tipo de máquinas. Los voltajes de prueba, valores mínimos aceptables de nivel de aislamiento y valor de índice de polarización están en concordancia con la Norma IEEE 43-2000, con los datos obtenidos se verifica la hipótesis planteada mediante un análisis de datos graficados, en los resultados de las pruebas se podrá evidenciar como se encuentra el sistema de aislamiento de las máquinas, se compara con las mediciones realizadas en bobinas nuevas y evalúa si se encuentra en condiciones de operación también se podrá determinar el nivel de aislamiento de dichas máquinas, mediante el análisis se podrá establecer la tendencia de envejecimiento del aislamiento y tomar acciones como mantenimientos preventivos, se aplicara cuatro pruebas y son:, prueba de resistencia de aislamiento, prueba de índice polarización, prueba de pasos de voltaje y prueba de descarga dieléctrica

Los valores obtenidos en las diferentes pruebas realizadas se corrigen por factor de temperatura a 40° C práctica recomendada por la norma IEEE 43-2000. Se establecerá un procedimiento para la realización de pruebas en aislamientos de máquinas eléctricas utilizando un equipo Megger MIT 520/2 (ver anexos) para la realización de pruebas.

## **2.2. METODOLOGÍA UTILIZADA**

Se empleara la técnica de recolección de datos puesto que el procedimiento que se usará para la investigación se tendrá que realizar pruebas en las máquinas eléctricas, toma de datos de las características de las máquinas, datos de las condiciones ambientales (temperatura) y el respectivo registro de cada una de las pruebas que se realicen, esto con el fin de demostrar los objetivos planteados.

## **2.3. MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS**

### **2.3.1. Generadores**

Son máquinas eléctricas rotativas que transforman la energía mecánica o energía térmica en energía eléctrica.

### **2.3.2. Motores**

Máquinas eléctricas rotativas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, se desarrollara en el presente capítulo pruebas de aislamiento en máquinas eléctricas.

### **2.3.3. Características generales**

Se detalla a continuación las características de las máquinas en las que se realiza las pruebas:

### **GENERADOR**

Es un generador térmico de la empresa eléctrica Ambato que se encuentra ubicado en la central térmica Lligua, se muestran a continuación los datos de placa del generador:

## **CUADRO N° 3**

### **DATOS DE PLACA GENERADOR**

<b>Marca:</b>	<b>BLOIT POWER SYSTEMS INC. SYNCHRONOUS MACHINE</b>	
<b>SERIE No</b>	504449-R1	
<b>TYPE/.FR.</b>	TBGZDJ / U-32	
<b>KW</b>	2500	
<b>KVA</b>	3125	
<b>FP</b>	0.80	
<b>INS./AMB.</b>	F/30	°C
<b>PH</b>	3	
<b>HZ</b>	60	
<b>VOLT</b>	2400 / 4160	
<b>AMP.</b>	752 / 434	
<b>PRM</b>	900	
<b>DUTY</b>	CONT.	
<b>FLD.V./A.</b>	100 / 5.5	
<b>TEMP RISE</b>	115	°C
<b>ALTITUDE</b>	2300	METERS.
<b>10% OVERLOAD FOR 2 HRS.</b>		
<b>F.E.BRG.</b>	SKF 22324	
<b>D.E.BRG.</b>		
<b>BPS</b>	BELOIT POWER SYSTEMS INC. 555 LAWTON AVENUE BELOIT, WISCONSIN 53511	
<b>MADE IN USA</b>	1601000	

**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 3

### GENERADOR TERMICO



**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

## **MOTOR**

Es un motor trifásico de la empresa Aglomerados Cotopaxi que se encuentra ubicado en el área del desfibrador de material (madera), se muestran a continuación los datos de placa del motor:

### **CUADRO N° 4**

#### **DATOS DE PLACA DEL MOTOR**

<b>Marca:</b>	<b>ASEA / MBD98</b>
---------------	---------------------

<b>SERIE No</b>	6079087
<b>KW</b>	500
<b>FP</b>	0.80
<b>HZ</b>	60
<b>VOLT</b>	6000
<b>AMP.</b>	60 A
<b>PRM</b>	980
<b>CONEXIÓN</b>	Y

**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

#### **GRÁFICO N° 4**

#### **MOTOR TRIFÁSICO**



**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

#### **2.4. PRUEBAS EN LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.**

Para realizar las pruebas recomendadas, los siguientes términos y definiciones hacen referencia el Diccionario de Términos IEEE.



### **Corriente de absorción (polarización) (IA)**

Corriente que resulta de la derivada de polarización y electrónica molecular, se descompone con el tiempo de aplicación de tensión a un ritmo decreciente desde un valor inicial relativamente alto a casi cero, depende del tipo y estado del material utilizado en el sistema de aislamiento.

### **Corriente de conducción (IG)**

Corriente que es constante en el tiempo, pasa a través de la superficie del aislamiento al conductor, y depende del tipo de material utilizado.

### **Corriente geométrica capacitiva (IC)**

Corriente reversible de magnitud alta y corta duración, exponencialmente disminuye con el tiempo de aplicación de tensión, depende de la resistencia interna del instrumento de medición y la capacidad geométrica de la bobina.

### **Corriente de fuga superficial (IL)**

Una corriente que es constante en el tiempo, existe sobre la superficie de las vueltas finales del devanado del estator o entre los conductores expuestos y el rotor en el aislamiento de los devanados del rotor. La magnitud de la corriente de fuga superficial depende de la temperatura y la cantidad de material conductor, es decir, la humedad o la contaminación en la superficie del aislamiento.

### **Efecto electro-endosmosis**

Un fenómeno observado en ocasiones, en mayores vueltas, en presencia de

humedad, diferentes valores de resistencia de aislamiento se puede obtener cuando la polaridad del probador está invertida.

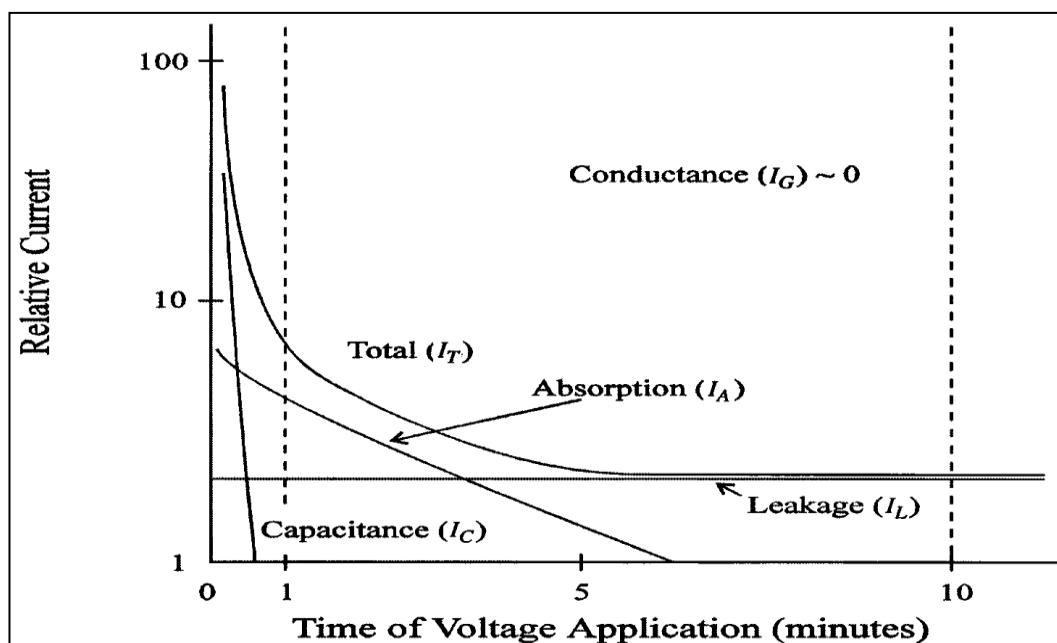
#### **2.4.1. Prueba de resistencia de aislamiento 'IR'**

La capacidad del aislamiento eléctrico de una bobina para resistir a la corriente directa. El cociente de la tensión directa aplicada de polaridad negativa dividida por la corriente a través del aislamiento de la máquina, y se toman en un tiempo determinado corregida a 40 °C. El tiempo de aplicación de tensión suele ser de 1 min (IR1), sin embargo otros tiempos se pueden utilizar. La medición de la resistencia de aislamiento constituye una prueba de tensión continua y deberá limitarse a un valor adecuado para el voltaje de la bobina y la condición de aislamiento básico. Esto es importante en el caso de pequeños, equipos de bajo voltaje, o devanados húmedos. Si la tensión de prueba es muy alta, puede que falle el aislamiento.

Pruebas de resistencia de aislamiento se realizan normalmente con tensión directa de 500 a 10 000 V. Polaridad negativa es preferible para dar cabida al fenómeno de la electro-endosmosis. Directrices para tensiones de prueba se presentan abajo. Las lecturas de resistencia de aislamiento se toman después de aplicar la tensión de prueba durante 1 minuto.

### **GRÁFICO N° 5**

#### **TIPOS DE CORRIENTES PARA UN AISLAMIENTO.**



FUENTE: www.megger.com  
 Recopilado por: Los Tesistas

### CUADRO N° 5

### VOLTAJES RECOMENDADOS DURANTE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

Voltaje nominal de la máquina (V)	Tensión de Prueba (V)
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
>12 000	5000-10000

FUENTE: IEEE 43-2000  
 Recopilado por: Los Tesistas

Tensión de línea a línea de las máquinas trifásicas de corriente alterna, línea a tierra en máquinas de una fase, y tensión nominal directa de máquinas de corriente continua o devanados de campo.

Se recomienda para la medición de resistencia de aislamiento de armadura y devanados de campo en máquinas rotativas de 1 hp, 750 W o más. Se aplica a máquinas síncronas, máquinas de inducción, máquinas de corriente continua, y condensadores síncronos. No se aplica a potencias fraccionarias.

Se describe las características típicas de resistencia del aislamiento de los devanados de la máquina de rotación y cómo estas indican la condición del bobinado. Se recomienda los valores mínimos aceptables de resistencia del aislamiento de CA y CC en devanados de máquinas rotativas.

### CUADRO N° 6

#### VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO A 40 ° C.

Resistencia mínima de aislamiento (MΩ)	EQUIPO BAJO PRUEBA
IR1 min = kV + 1	Para la mayoría de bobinas hechas antes de 1970, todas las bobinas de campo.
IR1 min = 100	Para la mayoría de armaduras de CC y las bobinas de corriente alterna construida después de 1970.
IR1 min = 5	Para la mayoría de las máquinas con bobinas del estator de una calificación inferior a 1 KV

**FUENTE:** IEEE 43-2000

**Recopilado por:** Los Tesistas

NOTAS:

IR1min.- Es la resistencia mínima recomendada en mega-ohm, a 40 °C.

KV.- Es el voltaje nominal de la máquina, en KV rms.

Esta práctica recomendada, se utiliza en conjunción con las siguientes publicaciones.

ASTM D257-99 Método de prueba estándar para resistencia de CC o de la conductancia de los materiales aislantes.

ASTM D1711-99 estándar Terminología relacionada con aislamiento eléctrico.

IEC 60085-1: 1984, Evaluación térmica y clasificación de aislamiento eléctrico.

IEEE Std 56 a 1977 (Reaff 1991), Guía IEEE para el mantenimiento de aislamiento de grande Maquinaria rotativa de corriente alterna (10 000 KVA y mayores).

IEEE Std 67 a 1990 (Reaff 1995), Guía de IEEE para la operación y mantenimiento de generadores de turbina.

IEEE Std. 95-1.977 (Reaff 1991), IEEE Práctica recomendada para el ensayo de aislamiento de Maquinaria de rotación de CA.

IEEE Std 118-1978 (Reaff 1992), IEEE Código de prueba estándar para mediciones de resistencia.

IEEE Std 432-1992 (Reaff 1998), IEEE Guía para el mantenimiento de aislamiento de Máquinas eléctricas rotativas (5 caballos de fuerza a menos de 10 000 caballos de fuerza).

IEEE Std 433-1974 (Reaff 1991), IEEE Práctica recomendada para el ensayo de aislamiento de grandes máquinas rotativas de CA de alta tensión y baja frecuencia.

IEEE Std 434-1973 (Reaff 1991), Guía de IEEE para la evaluación funcional de los sistemas de aislamiento para grandes Máquinas de alta tensión.

## **CUADRO N° 7**

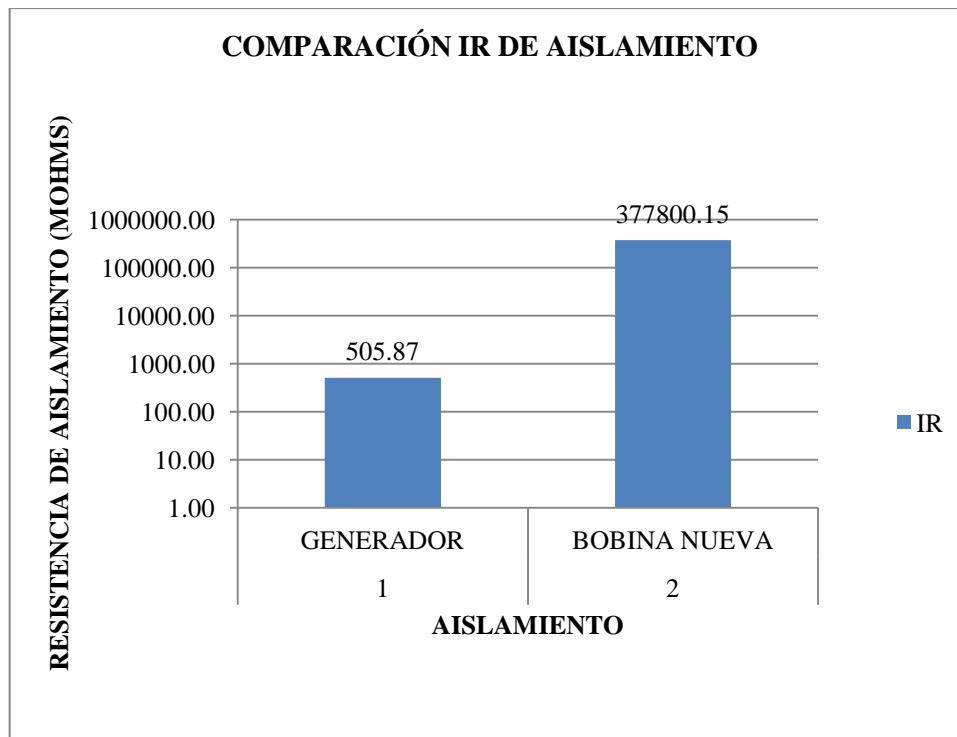
## DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA IR

N°	AISLAMIENTO	PRUEBA DE IR
		VALOR (MΩ)
1	GENERADOR	505,87
2	BOBINA NUEVA	377800,15

FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISITAS

### GRÁFICO N° 6

#### COMPARACIÓN RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN GENERADOR



FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISITAS

#### Análisis e interpretación

El nivel de aislamiento del generador está muy por debajo comparados con los valores medidos en una bobina nueva. Como se menciona en la literatura anteriormente el valor numérico es relativo.

Se debe notar que aun así el valor de resistencia del aislamiento esta sobre el mínimo recomendado por la norma.

La prueba de resistencia de aislamiento es una ventana y con pruebas adicionales se podrá visualizar todo el panorama del estado del aislamiento.

### **CUADRO N° 8**

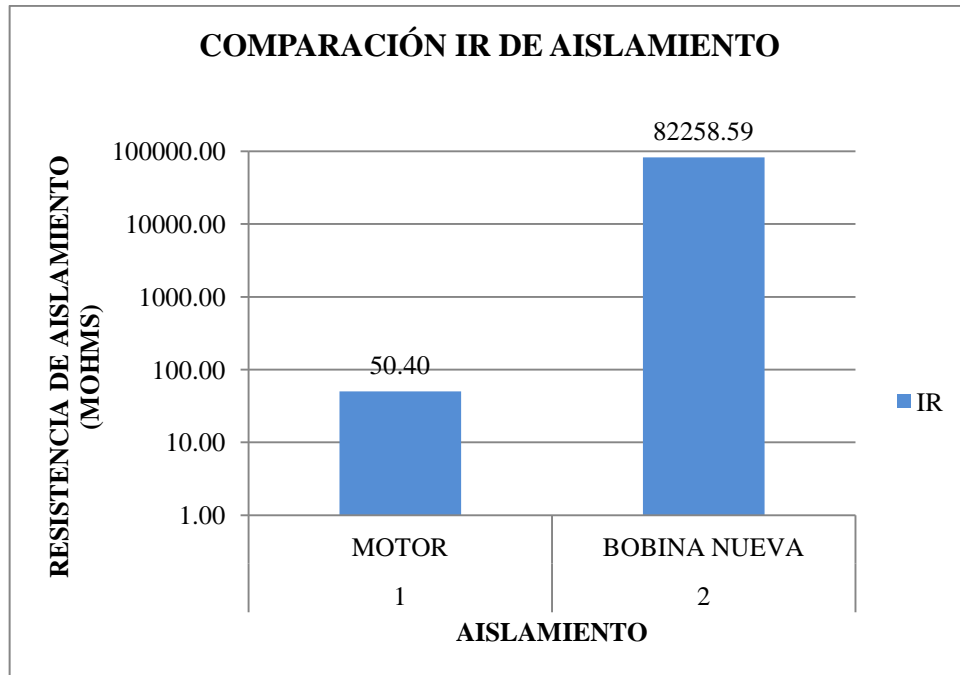
#### **DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA IR**

		<b>PRUEBA DE IR</b>
<b>N°</b>	<b> AISLAMIENTO</b>	<b> VALOR</b>
1	MOTOR	50,40
2	BOBINA NUEVA	82258,59

**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISISTAS

### **GRÁFICO N° 7**

#### **COMPARACIÓN RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN MOTOR**



**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISISTAS

### **Análisis e interpretación**

El nivel de aislamiento del motor está muy por debajo comparados con los valores medidos en una bobina nueva. Como se menciona en la literatura anteriormente el valor numérico es relativo.

Se debe notar que aun así el valor de resistencia del aislamiento esta sobre el mínimo recomendado por la norma.

La prueba de resistencia de aislamiento es una ventana y con pruebas adicionales se podrá visualizar todo el panorama del estado del aislamiento.

#### **2.4.2. Prueba de índice de polarización 'PI'**

La variación en el valor de resistencia del aislamiento con el tiempo. El cociente de la resistencia de aislamiento en el momento (T2), dividido por la resistencia de



aislamiento en el tiempo (T1). Si los tiempos de T2 y T1 no se especifica, se supone que es 10 min y 1 min, respectivamente.

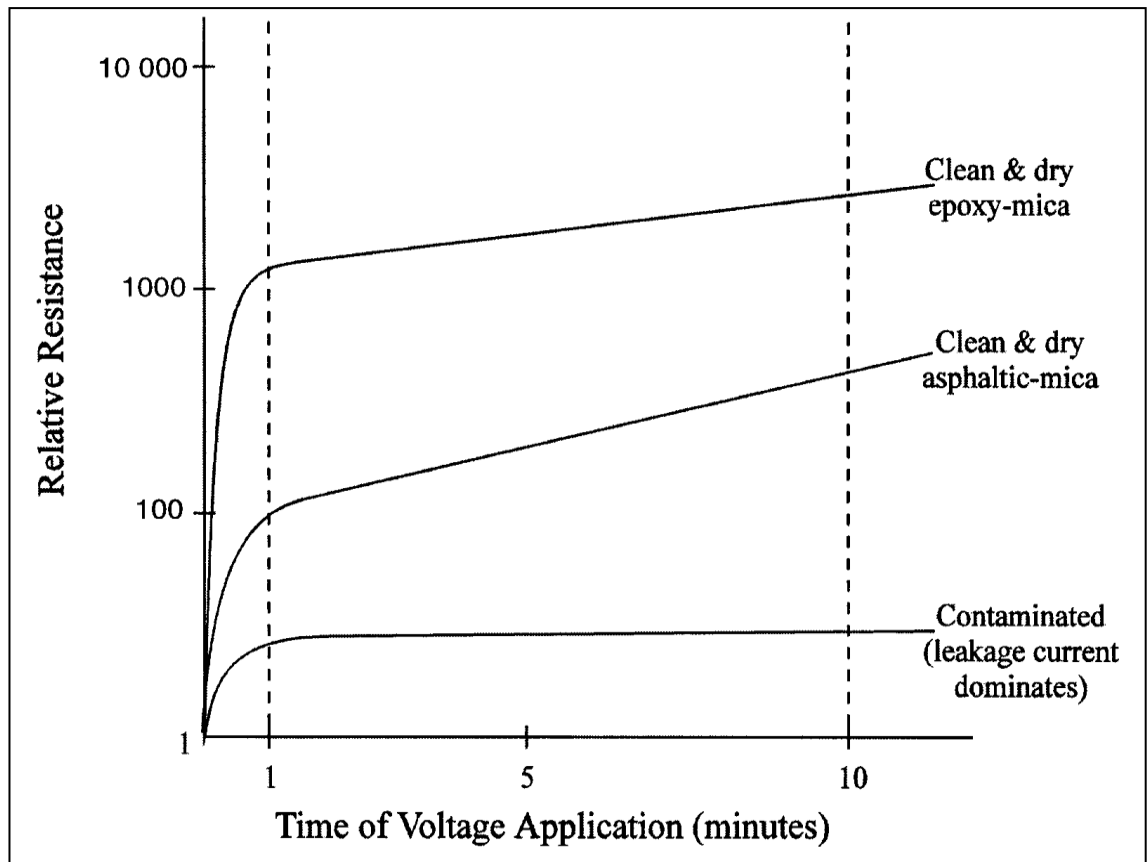
La prueba "PI" es un ejemplo particular de un método tiempo/resistencia, que toma la relación de aislamiento medido a 1 y 10 minutos. Un buen aislamiento por lo general muestra un aumento de la resistencia al cabo de un período de 10 minutos. Las lecturas de aislamiento contaminado son relativamente constantes porque cualquier efecto de la absorción queda enmascarado por corrientes de fuga elevadas.

La resistencia de aislamiento medida por lo general aumenta rápidamente cuando el voltaje se aplica, y luego, se estabiliza a un valor relativamente constante a medida que transcurre el tiempo. Para la mayoría de aislamientos, un valor constante se alcanza en 10-15 min. Los tipos modernos de alambre recubiertos con película, así como la de epoxi-poliéster o mica del estator, puede acercarse a un valor constante de la resistencia de aislamiento en 4 minutos o menos. Si el bobinado está mojado o sucio, un valor estable por lo general se alcanzará en 1 minuto o 2 minutos.

El índice de polarización se define normalmente como el cociente entre el valor de 10 minutos de resistencia (IR10) y el valor de la resistencia de 1 minuto (IR1). El índice de polarización es un indicador de la pendiente de la curva característica y se puede utilizar para evaluar el estado de aislamiento.

## **GRÁFICO N° 8**

### **MEDICIONES TÍPICAS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DE TRES MÁQUINAS DIFERENTES**



FUENTE: [www.megger.com](http://www.megger.com)  
 RECOPIADO POR: LOS TESISITAS

Los valores mínimos recomendados de P.I. para corriente alterna y máquinas de corriente continua se mencionan a continuación. Se basa en la clase térmica de los aislantes y, a excepción de los bobinados de campo sin aislamiento, se aplica a todos los materiales aislantes, independientemente de la aplicación.

### CUADRO N° 9

#### VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN

Clase térmica	Mínimo P.I.
Clase A	1,5
Clase B	2
Clase F	2

Clase H	2
---------	---

**FUENTE:** IEEE 43-2000

**Recopilado por:** Los Tesistas

NOTA: Si la resistencia del aislamiento a un minuto esta encima de 5000 MΩ, el PI calculado puede no ser significativo. En tales casos, la P.I. puede no tenerse en cuenta como una medida de la condición del aislamiento.

Índice de polarización (PI) = R10 min/R1 min.

Tener cuidado de un PI muy alto (mayor de 8) para lino o algodón barnizado, hojas de mica-resina o bobinados para estator asfáltico puede indicar que el aislamiento puede estar en riesgo de fallar. Una inspección física puede ser usada para confirmar si el aislamiento está reseco y quebradizo.

### CUADRO N° 10

#### DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI)

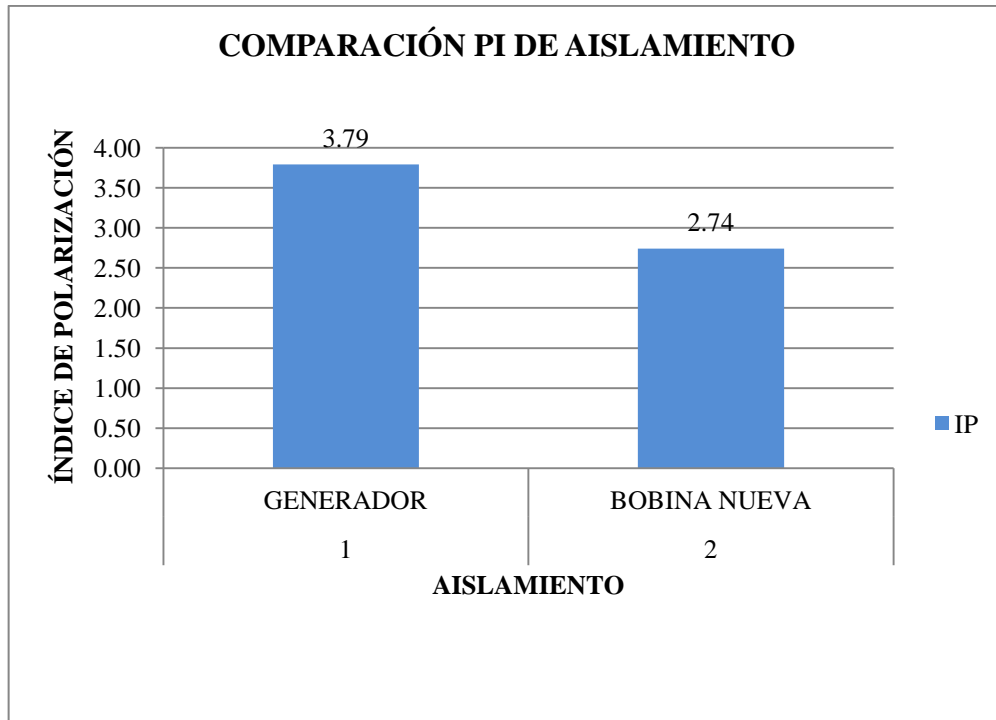
		PRUEBA DE IP
N°	AISLAMIENTO	VALOR
1	GENERADOR	3,79
2	BOBINA NUEVA	2,74

**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA

**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 9

#### COMPARACIÓN DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) DEL AISLAMIENTO EN GENERADOR



**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISITAS

### **Análisis e interpretación**

Comparado el índice de polarización se ve un valor alto en el aislamiento del generador, dicho valor indica que luego de realizar un tratamiento térmico se recuperará de forma favorable.

En la bobina nueva se ve un valor cercano a lo que recomienda la norma como un valor aceptable.

### **CUADRO N° 11**

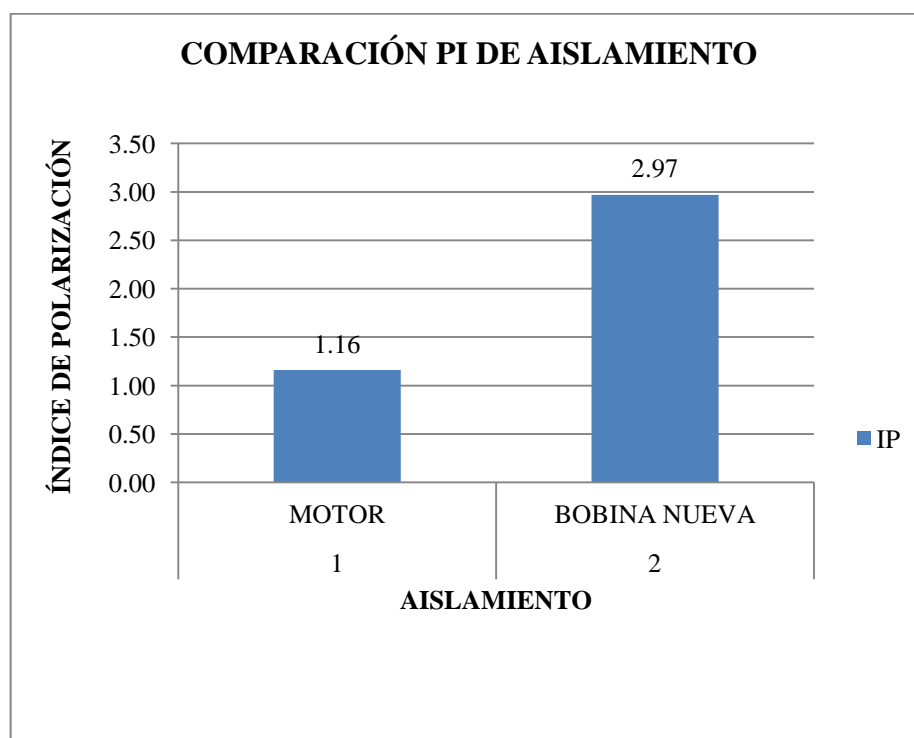
#### **DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI)**

		PRUEBA DE IP
Nº	AISLAMIENTO	VALOR
1	MOTOR	1,16
2	BOBINA NUEVA	2,97

FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 10

#### COMPARACIÓN DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) DEL AISLAMIENTO EN MOTOR



FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### Análisis e interpretación

Comparado el índice de polarización se ve un valor por abajo de lo que recomienda la norma en el aislamiento del motor, dicho valor puede es

cuestionable porque puede interpretarse como un aislamiento que no se polariza porque ha perdido sus propiedades de elasticidad.

En la bobina nueva se ve un valor cercano a lo que recomienda la norma como un valor aceptable.

### **2.4.3. Prueba de pasos de voltaje 'SV'**

Se trata de una prueba basada en el principio que un aislante bueno producirá lecturas idénticas en todos los voltajes, mientras que un aislante sometido a excesiva tensión mostrará valores de aislamiento inferiores a voltajes mayores.

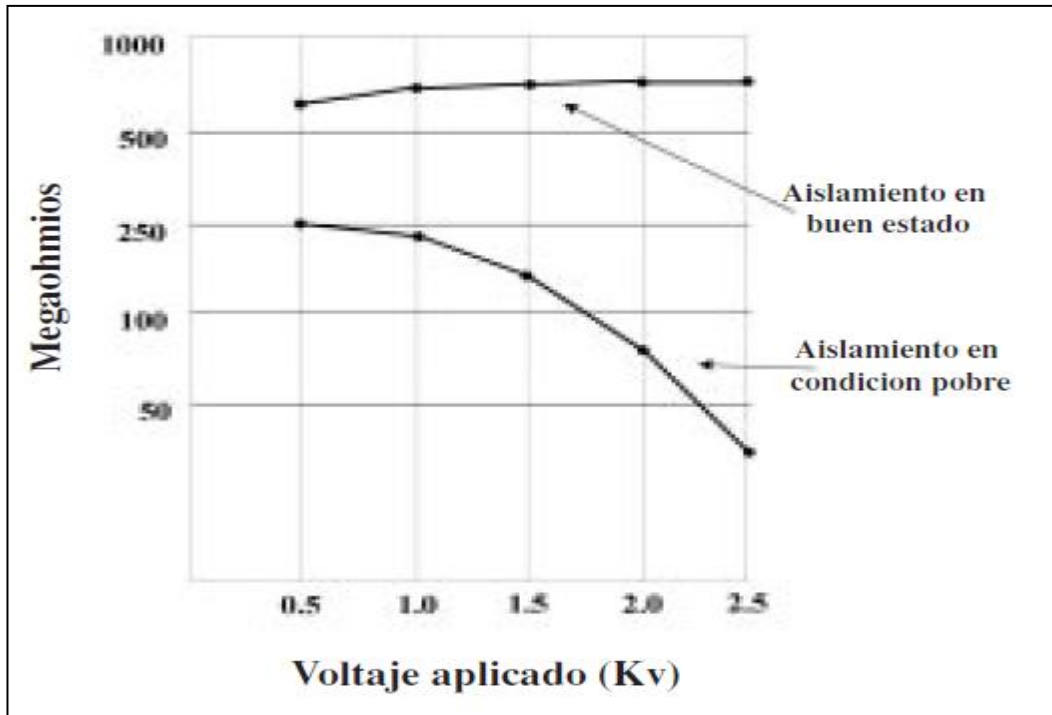
Durante la prueba, el voltaje de prueba aplicado aumenta por pasos de un quinto del valor final de configuración del voltaje de prueba a cada minuto, durante 5 minutos, tomando mediciones sucesivas hasta alcanzar el voltaje final.

A continuación resultados posibles de una prueba de Pasos de Voltaje en una máquina de 500 a 2500 volts y lo que significan:

- Si no hay diferencia apreciable en los valores, el aislamiento está en buenas condiciones.
- Si hay diferencia apreciable en los valores el aislamiento requiere reacondicionamiento minucioso.
- Si el aislamiento falla a 2500 V la máquina es cuestionable; lo más probable es que falle cuando se ponga en servicio aún cuando se haga un intento de reacondicionarlo con base en pruebas de bajo voltaje solamente.

### **GRÁFICO N° 11**

**MÁQUINA INUNDADA Y SUCIA (INFERIOR) Y DESPUÉS DE LIMPIARLA Y SECARLA (SUPERIOR).**



FUENTE: WWW.MEGGER.COM  
 Recopilado por: Los Tesistas.

### CUADRO N° 12

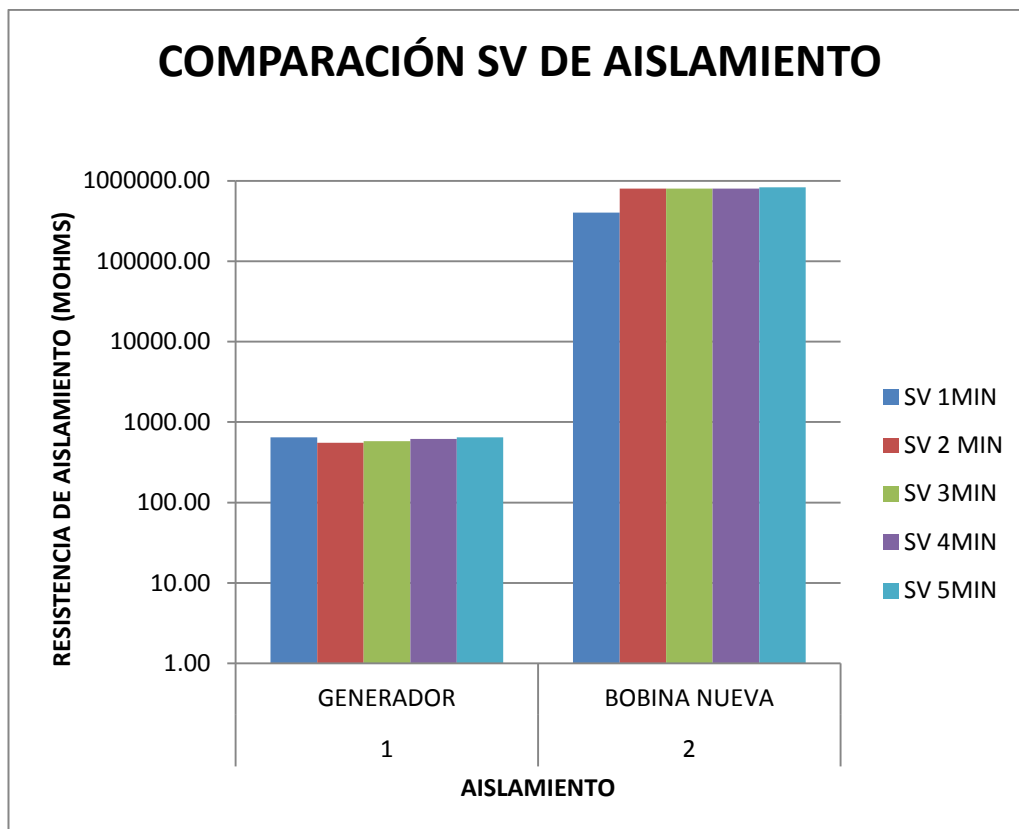
#### DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE (SV)

N°	AISLAMIENTO	PRUEBA DE SV				
		VALOR A 1MIM	VALOR A 2MIM	VALOR A 3MIM	VALOR A 4MIM	VALOR A 5MIM
1	GENERADOR	646,07	551,34	579,76	617,65	649,86
2	BOBINA NUEVA	401915,05	803830,10	803830,10	803830,10	827945,00

FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
 REALIZADO POR: LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 12

#### COMPARACIÓN DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN GENERADOR



**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

#### **Análisis e interpretación**

En la grafica se observa valores de la resistencia del aislamiento que se mantienen en los diferentes pasos de voltaje, esta tendencia indica un aislante que resistirá las variaciones de voltaje.

#### **CUADRO N° 13**

#### **DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE (SV)**

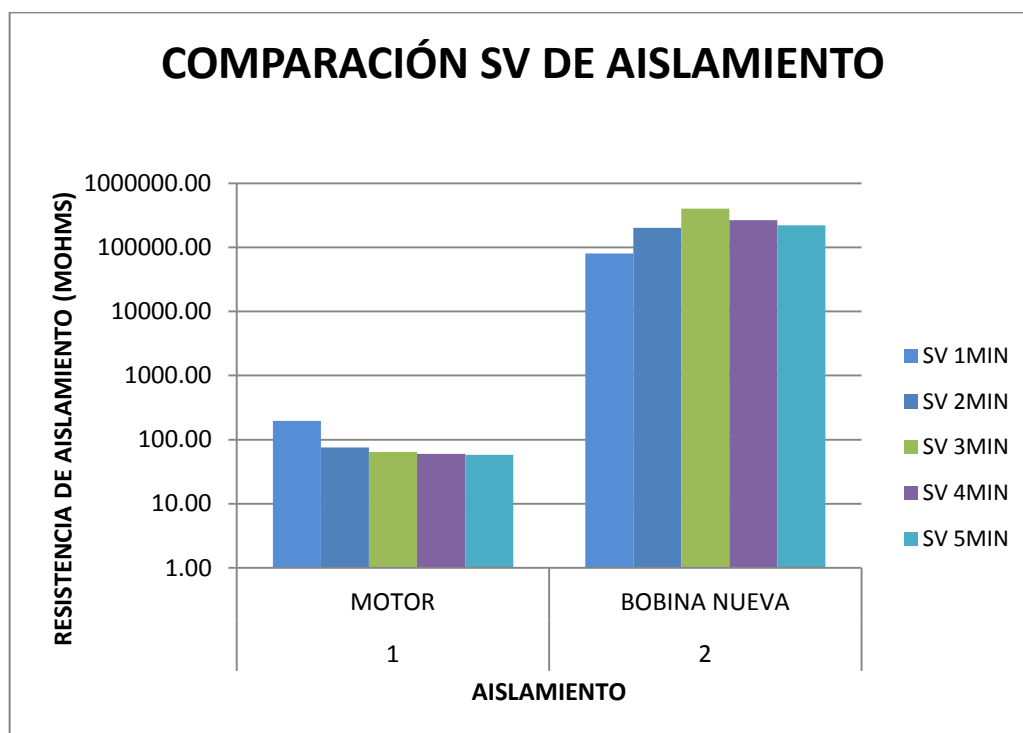


		PRUEBA DE SV				
Nº	AISLAMIENTO	VALOR A 1MIM	VALOR A 2MIM	VALOR A 3MIM	VALOR A 4MIM	VALOR A 5MIM
1	MOTOR	195,15	75,41	64,4179541	60,2497335	57,9761587
2	BOBINA NUEVA	80383,01	200957,524	401915,048	266871,592	219981,503

FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 13

#### COMPARACIÓN DE PASOS DE VOLTAJE (SV) DEL AISLAMIENTO EN MOTOR



FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### Análisis e interpretación

En la grafica se observa valores de resistencia del aislamiento en el motor que van en decrecimiento, lo que indica que el aislamiento puede fallar cuando se ponga en marcha.

En la bobina nueva los valores se mantienen en los diferentes pasos de voltaje, esta tendencia indica un aislante que resistirá las variaciones de voltaje.

#### **2.4.4. Prueba de descarga dieléctrica 'DD'**

Es una prueba de aislamiento que permite evaluar el envejecimiento, deterioro y los defectos de aislamiento. El resultado depende de la característica de descarga, de modo que se prueba la condición interna del aislamiento, en gran medida independiente de cualquier contaminación de la superficie. A la descarga, el componente capacitivo de la corriente de descarga disminuye desde un valor elevado con una constante de tiempo relativamente corto, de unos pocos segundos. El otro componente de la corriente, que comprende la corriente de absorción liberada, disminuye desde un valor con una constante de tiempo relativamente prolongado, de hasta varios minutos. Si este componente de la corriente de descarga es grande la condición de aislamiento es mala.

La prueba "DD" requiere que el dispositivo mida la corriente de descarga 1 minuto después de quitar el voltaje de prueba. En este momento la corriente capacitiva debería ser insignificante en comparación con la corriente de absorción liberada. Al finalizar la prueba, el dispositivo emplea esta medición, junto con el voltaje de prueba y la capacitancia, para producir una cifra de mérito que indique la calidad del aislamiento.

El objeto en prueba se carga primero de 10 a 30 minutos hasta que haya tenido lugar la absorción total. En este tiempo, la capacitancia se carga totalmente y la absorción eléctrica está completa.

Sólo la corriente de fuga continúa fluyendo. En este punto se remueve el voltaje de prueba y el aislamiento se descarga a través de los resistores internos del instrumento para descargar rápidamente la carga capacitiva. Después de 60 segundos de descarga, se mide cualquier flujo de corriente remanente.

Los resultados se introducen en la fórmula siguiente y se calcula un índice.

$$DD = \frac{I \text{ que fluye después de 1 minuto (mA)}}{\text{Voltaje de prueba (V) x Capacitancia (F)}}$$

Donde:

I es la corriente medida, expresada en miliamperios (mA),

V es el voltaje de prueba expresado en voltios (V), y

C es la capacitancia medida expresada en Faradios (F).

La medición es dependiente de la temperatura, por lo que es importante probar a una temperatura de referencia o registrar la temperatura.

Un valor DD bajo indica que la corriente de reabsorción decae rápidamente, y la constante de tiempo es similar. Un valor alto indica que la reabsorción exhibe tiempos de relajación largos, que pueden apuntar hacia un problema.

Las condiciones típicas de investigación práctica, realizada principalmente en generadores por Electricité de France, llegaron a los valores de mérito de la tabla siguiente:

#### CUADRO N° 14

#### VALORES DE DESCARGA DIELECTRICA

Valor DD	Condiciones del aislamiento
----------	-----------------------------

> 7	Malo
4-7	Pobre
2-4	Cuestionable
< 2	Ok

**FUENTE:** www.megger.com

**ELABORADO POR:** LOS TESISTAS

### CUADRO N° 15

#### DATOS OBTENIDOS EN EL GENERADOR DE LA PRUEBA DESCARGA DIELECTRICA (DD)

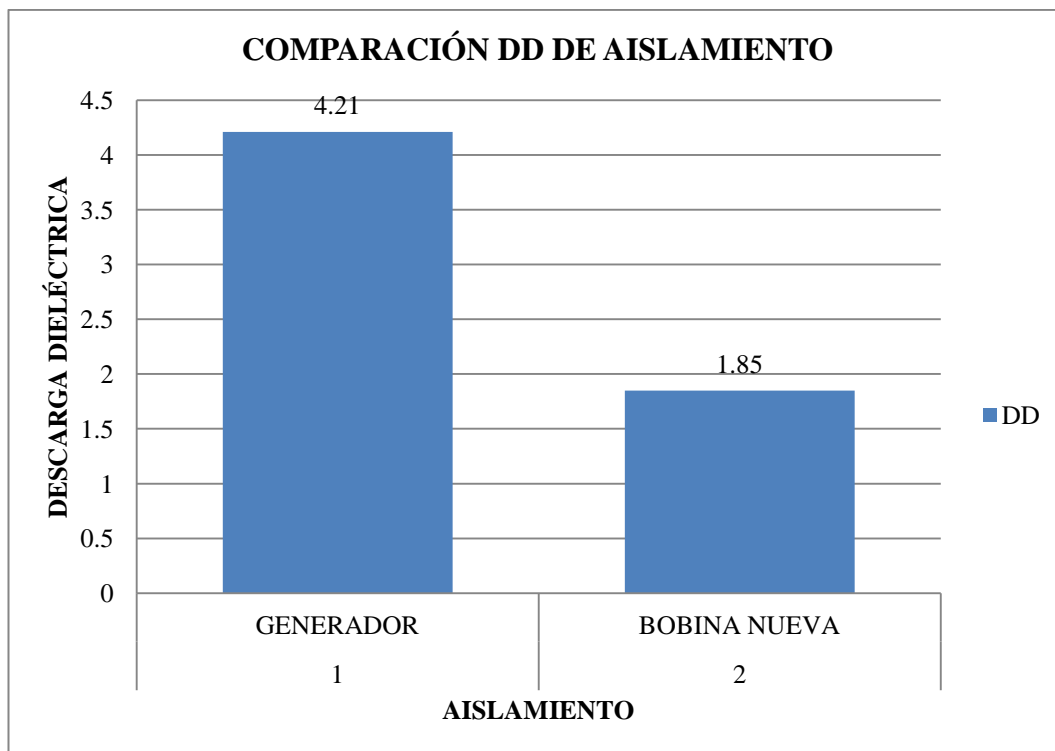
		PRUEBA DE DD
N°	AISLAMIENTO	VALOR
1	GENERADOR	4,21
2	BOBINA NUEVA	1,85

**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA

**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 14

#### COMPARACIÓN DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) DEL AISLAMIENTO EN GENERADOR



**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### **Análisis e interpretación**

La descarga dieléctrica del aislamiento del generador tiene un valor sobre lo recomendado por la norma, como es una imagen de espejo que refleja como el aislamiento regresa a sus características normales, se asume como un aislamiento que falle en un futuro cercano.

El valor de descarga de la bobina nueva indica un aislamiento que se descarga para tomar sus características iniciales.

### **CUADRO N° 16**

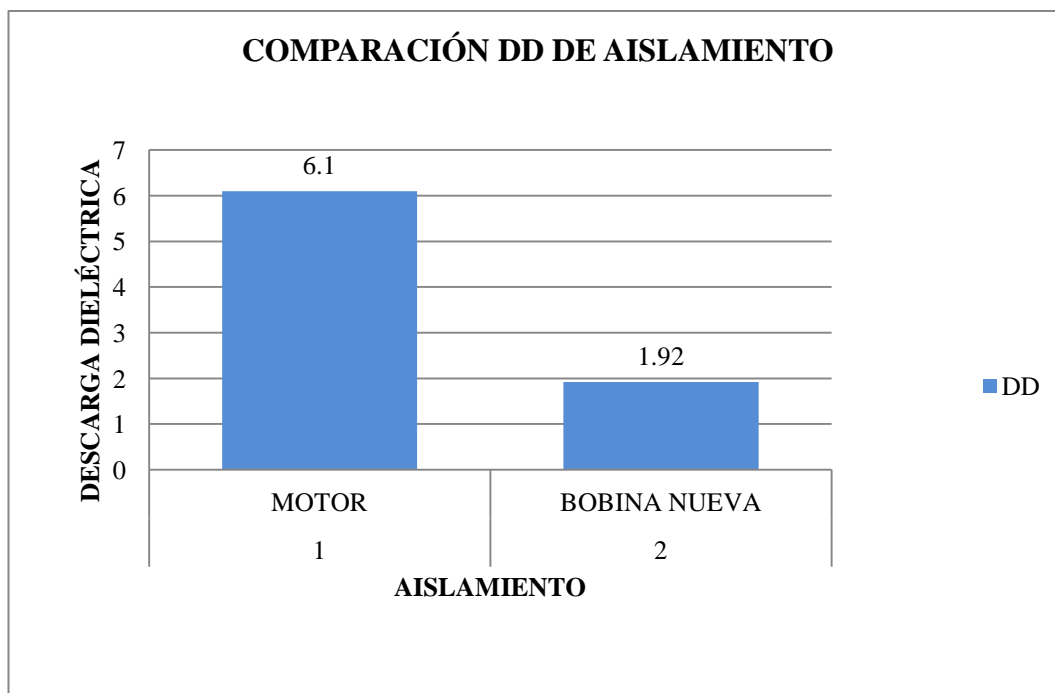
#### **DATOS OBTENIDOS EN EL MOTOR DE LA PRUEBA DESCARGA DIELÉCTRICA (DD)**

		PRUEBA DE DD
Nº	AISLAMIENTO	VALOR
1	MOTOR	6,1
2	BOBINA NUEVA	1,92

FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISISTAS

### GRÁFICO N° 15

#### COMPARACIÓN DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) DEL AISLAMIENTO EN MOTOR



FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISISTAS

#### Análisis e interpretación

La descarga dieléctrica del aislamiento del motor tiene un valor sobre lo recomendado por la norma, como es una imagen de espejo que refleja como el

aislamiento regresa a sus características normales, se asume como un aislamiento que falle en un futuro cercano si no se toman medidas de mantenimiento.

El valor de descarga de la bobina nueva indica un aislamiento que se descarga para tomar sus características iniciales.

## **2.5. Análisis de resultados**

El presente análisis de resultados obtenidos mediante las cuatro pruebas realizadas; prueba de resistencia de aislamiento, prueba de índice de polarización, prueba de pasos de voltaje y prueba de descarga dieléctrica realizadas a máquinas eléctricas, se obtiene datos del nivel de aislamiento en el que se puede evidenciar que el deterioro de los aislantes es inevitable por lo que se debe realizar el mantenimiento de las máquinas.

De acuerdo a las condiciones físicas y el mismo espacio físico en el que se encuentra operando las máquinas cada una de ellas tiene un singular proceso de envejecimiento.

## **2.6. Verificación de hipótesis**

En la verificación de hipótesis se puede establecer que los aislamientos tienen un proceso único de envejecimiento por tal razón se debe tener registros de tendencia de la vida útil para cada máquina.

Si no se realizan pruebas para el aislamiento no se puede predecir una falla porque no se conoce la condición en la que se encuentra dicho sistema de aislamiento.

Adicionalmente es necesario realizar las correcciones por factor de temperatura, para tener los valores a una misma escala, porque no siempre se realizan las pruebas a la misma temperatura, por tanto, no se tiene valores históricos de registro para ver la línea de tendencia de envejecimiento del aislamiento.

## CAPÍTULO III

### **PROPUESTA**



# **APLICACIÓN DE PRUEBAS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS CON VOLTAJE NOMINAL HASTA 15 KV Y EL ANÁLISIS RESPECTIVO DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO.**

## **3.1. PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

Las pruebas de nivel de aislamiento periódicas de cualquier máquina o equipo, ayudan a que las fallas no se presenten sorpresivamente, porque, generaría inconvenientes y posiblemente costosas en recursos y tiempo, por tanto, caras para rectificarlas. Si se considera pruebas de diagnóstico de aislamiento en máquinas eléctricas en un programa de mantenimiento preventivo, es posible planear el mantenimiento o el reemplazo de la máquina ante la posible falla en el momento en que la línea este inactiva y así minimizar los costos.

Generalmente la resistencia del aislamiento de cualquier maquina eléctrica se reduce gradualmente, lo que permite una advertencia suficiente si se realiza pruebas periódicamente. Estas verificaciones regulares permiten disponer de las partes defectuosas antes que falle el servicio.

Si la degradación avanza en los aislamientos y esto no se detecta, existe mayor posibilidad de corto circuito y con la posibilidad de accidentes para el personal, la vida útil del equipo eléctrico se puede reducir y las instalaciones pueden enfrentarse a paros no programados y caros.

Se realiza el análisis de sistemas de aislamiento de máquinas eléctricas que se encuentran en operación se corrige los valores por efecto de temperatura, los valores obtenidos de pruebas de aislamiento mediante la utilización de graficas que toman como referencia para un análisis rápido y confiable de la máquina.

### **3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.**

La presente investigación se realiza por que existen fallas en los sistemas de aislamiento de máquinas eléctricas rotativas, estas fallas ocasionadas estadísticamente son una tercera parte de todas las fallas de las máquinas eléctricas.

El aislamiento es una parte muy importante para la óptima operación de las maquinas eléctricas así como en el tiempo de vida útil de las mismas, el aislamiento de las máquinas eléctricas sufren efectos de deterioro o envejecimiento acelerado cuando están expuestos a diferentes condiciones excesivos tales como ambientales y de trabajo.

Ante estos factores que ocasionan la falla del sistema de aislamiento de la máquina eléctrica, es necesario realizar pruebas eléctricas en los aislamientos de las máquinas, elaborar cuadros y gráficas para analizar el comportamiento del

proceso de envejecimiento del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas a través del tiempo e identificar los efectos para poder corregir.

La evaluación de este proceso de envejecimiento de los aislantes instalados en la máquina ayudará a tomar las decisiones sobre la tendencia de envejecimiento que puede provocar un mal funcionamiento y reducir la vida útil de los equipos así como también a mantener un grado de confiabilidad óptimo.

Las diferentes pruebas eléctricas en los aislamientos de las máquinas eléctricas rotativas se realizarán en la Empresa Eléctrica Ambato y en la Empresa Aglomerados Cotopaxi, la importancia de estas pruebas es que ayudará para una planificación óptima de mantenimiento preventivo y mantener un grado aceptable de confiabilidad en las máquinas eléctricas.

### **3.3. OBJETIVOS**

#### **3.3.1. Objetivo General**

Realizar un análisis del nivel del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas mediante pruebas eléctricas aplicados a sus aislamientos para mejorar el grado de confiabilidad de las maquinas eléctricas.

#### **3.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características de los materiales aislantes dieléctricos para analizar los niveles de deterioro y la vida útil de las máquinas eléctricas.
- Determinar los factores que causa los efectos de un proceso acelerado de deterioro o envejecimiento de los materiales aislantes de las

maquinas eléctricas rotativas en las condiciones normales de operación.

- Establecer los resultados de las pruebas mediante gráficas para realizar un análisis de las condiciones óptimas de operación de las máquinas eléctricas a niveles aceptables de confiabilidad.

### **3.4. Desarrollo de la propuesta**

Se realizara un análisis de la situación actual del aislamiento de las máquinas eléctricas rotativas (generador, motor) para poder determinar una mejor condición de operación manteniendo dentro de los valores aceptables de nivel de aislamiento.

#### **CUADRO N° 17**

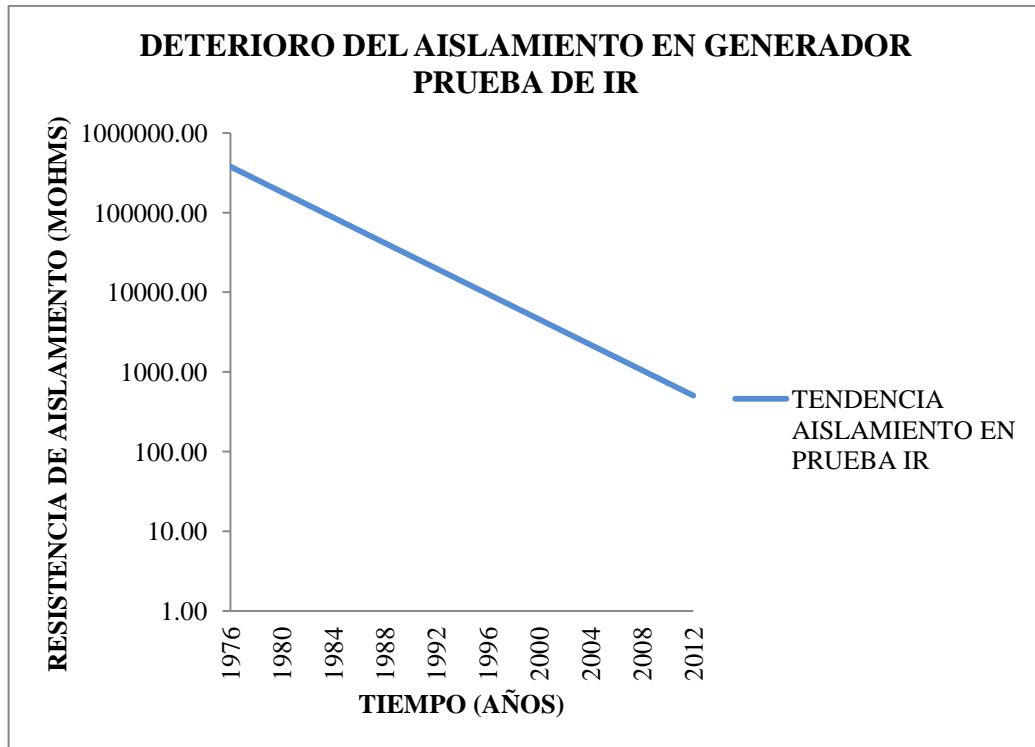
##### **DATOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN GENERADOR**

<b>TIEMPO (AÑOS)</b>	<b>RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MOHMS)</b>
1976	377800,15
2012	505,87

**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

#### **GRÁFICO N° 16**

##### **TENDENCIA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR**



**FUENTE:** CENTRAL TERMICA LLIGUA

**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### Análisis e interpretación

Se puede observar notablemente que existe un deterioro de la resistencia del aislamiento del generador desde el año de fabricación hasta la actualidad esto se debe en una parte al deterioro normal de envejecimiento del aislamiento y la otra parte a la falta de frecuencia de los mantenimientos de los aislantes para poder mantener un valor de aislamiento estable, dentro de los valores establecidos en la norma IEEE-43.

### CUADRO N° 18

#### DATOS DE PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN MOTOR

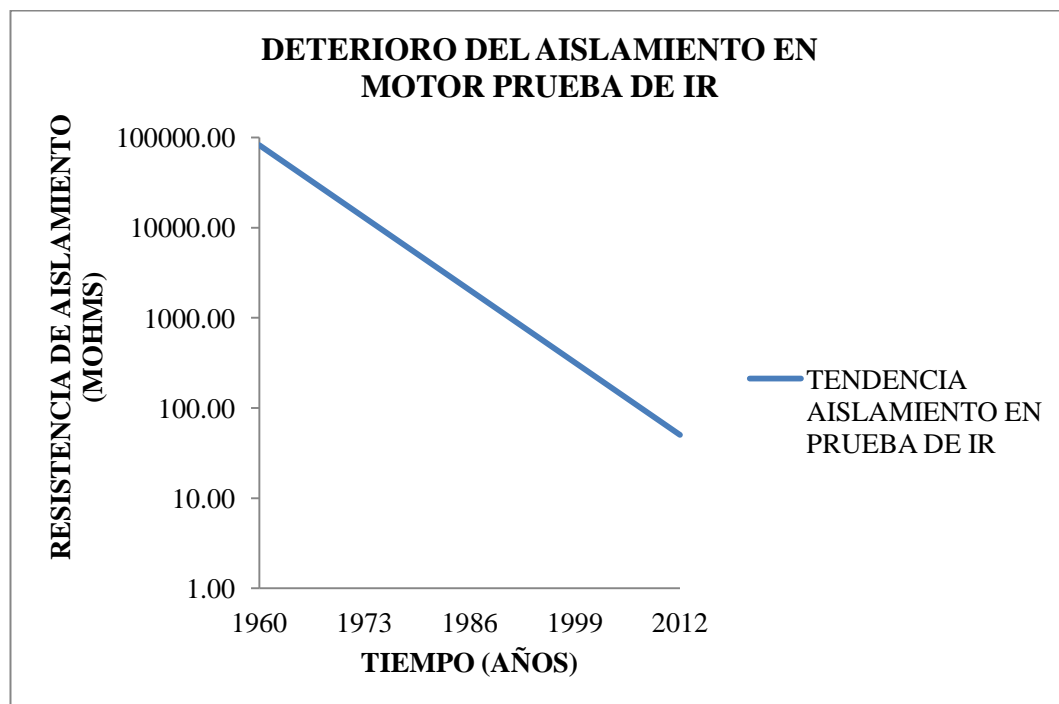
TIEMPO	RESISTENCIA DE
--------	----------------

(AÑOS)	AISLAMIENTO (MOHMS)
1960	82258,59
2012	50,40

**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 17

#### TENDENCIA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IR) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR



**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

#### **Análisis e interpretación**

Podemos ver que la resistencia del aislamiento en el motor tiene una tendencia de deterioro alta desde el año de fabricación hasta la actualidad, el valor de aislamiento en el año 2012 está dentro del rango establecido en la norma IEEE-43. El valor mínimo de aislamiento para este motor es de 12 M-ohm.

## CUADRO N° 19

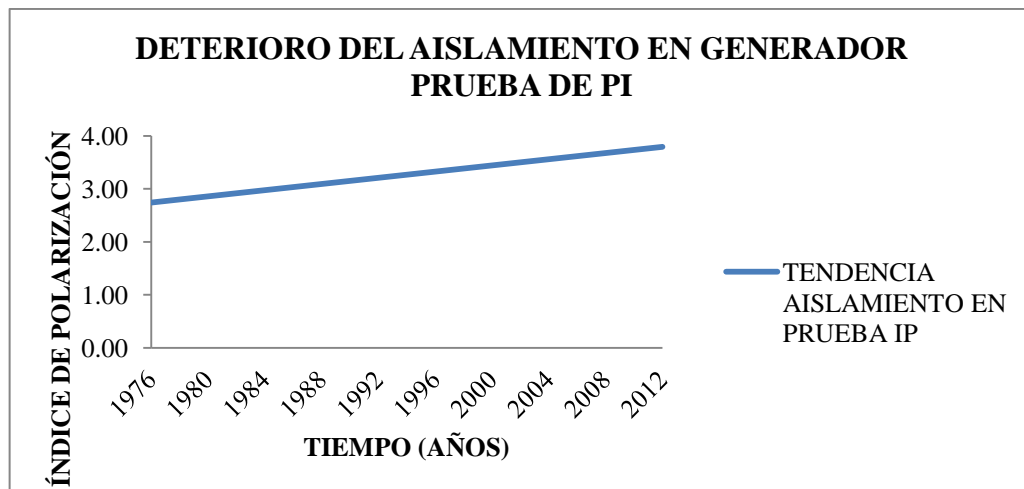
### DATOS DE PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) EN GENERADOR

TIEMPO (AÑOS)	ÍNDICE DE POLARIZACIÓN
1976	2,74
2012	3,79

FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

## GRÁFICO N° 18

### TENDENCIA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR



FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### Análisis e interpretación

Se puede notar en la curva de tendencia que el valor de índice de polarización ha subido de 2.7 a 3.7 comparado con un aislamiento nuevo, el valor de PI en el año 2012 se encuentra en rango de buen estado pero se debería tomar en cuenta que un valor alto de PI puede presentarse en un estado de aislamiento quebradizo.

## CUADRO N° 20

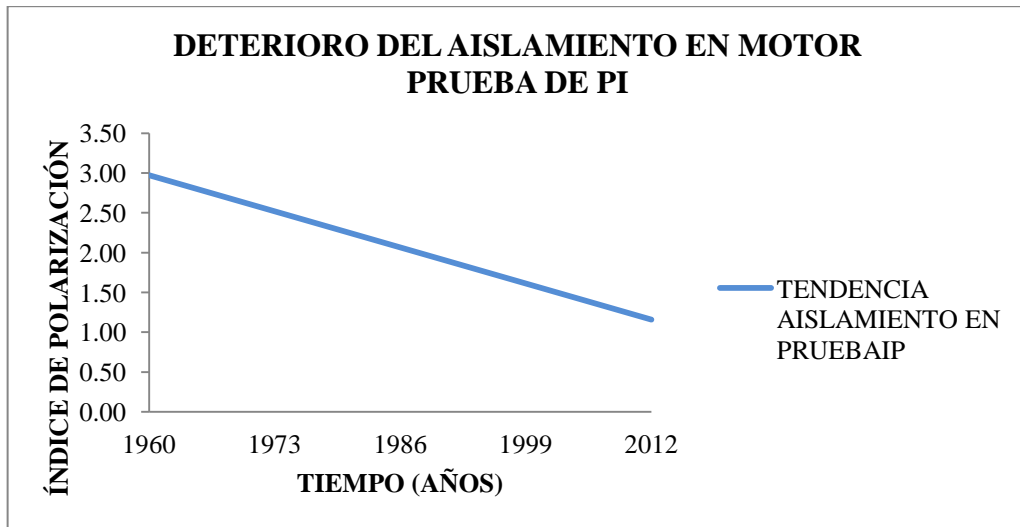
### DATOS DE PRUEBA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN MOTOR

TIEMPO (AÑOS)	ÍNDICE DE POLARIZACIÓN
1960	2,97
2012	1,16

FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISISTAS

## GRÁFICO N° 19

### TENDENCIA DE ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (IP) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR



FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISISTAS

#### **Análisis e interpretación**

En la presente gráfica la tendencia del índice de polarización del motor es baja en el año 2012 comparado con PI en una bobina nueva, el valor de PI 1,16 del motor esta en un rango cuestionable se puede decir que este valor es recuperable con un mantenimiento a los aislantes.



## CUADRO N° 21

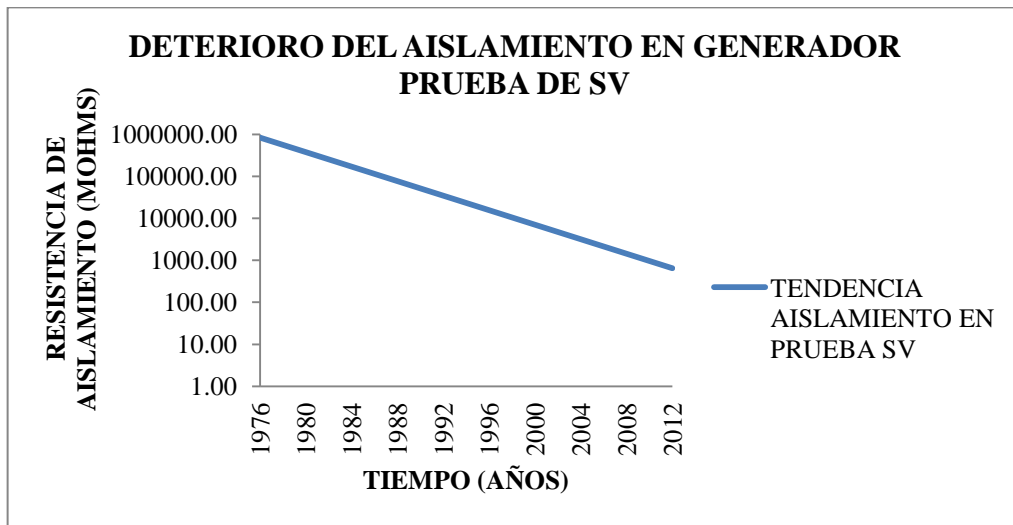
### DATOS DE PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN GENERADOR

TIEMPO (AÑOS)	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MOHMS)
1976	827945,00
2012	649,86

FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

## GRÁFICO N° 20

### TENDENCIA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR



FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### Análisis e interpretación

Se puede ver la tendencia del aislamiento que baja hasta el año 2012, se puede identificar el deterioro del aislamiento en esta prueba observando los valores en cada paso que no exista una variación de resistencia de lo contrario se deberá realizar el mantenimiento, requiere un reacondicionamiento minucioso. Se

recomendaría realizar pruebas con una determinada frecuencia para tener datos más confiables.

**CUADRO N° 22**

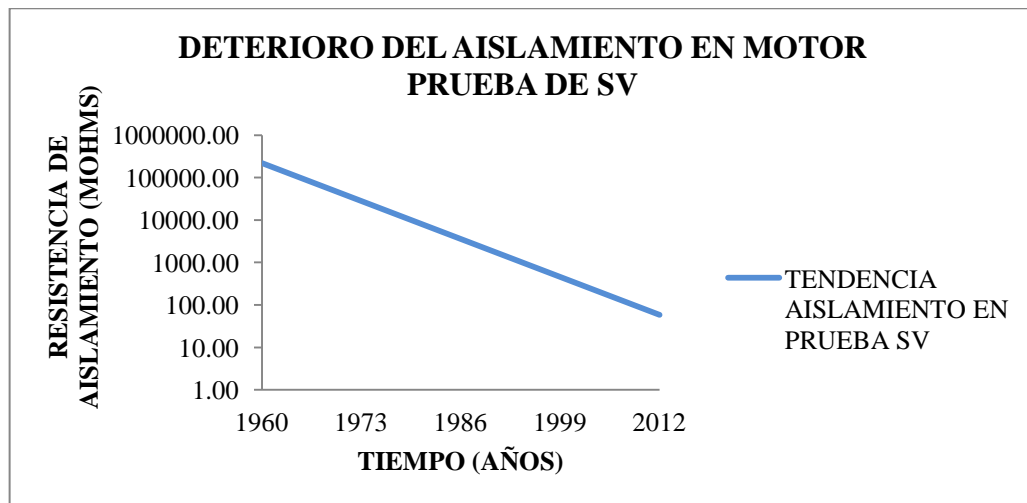
**DATOS DE PRUEBA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN MOTOR**

<b>TIEMPO (AÑOS)</b>	<b>RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MOHMS)</b>
1960	219981,50
2012	57,98

**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

**GRÁFICO N° 21**

**TENDENCIA DE PASOS DE VOLTAJE (SV) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR**



**FUENTE:** EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
**REALIZADO POR:** LOS TESISTAS

**Análisis e interpretación**

Se puede observar la tendencia hacia abajo de la prueba de pasos de voltaje en el motor hasta la actualidad, se recomendaría realizar mantenimientos y pruebas del aislamiento con más frecuencia para mantener una resistencia confiable dentro de los rangos permitidos por la norma.

### CUADRO N° 23

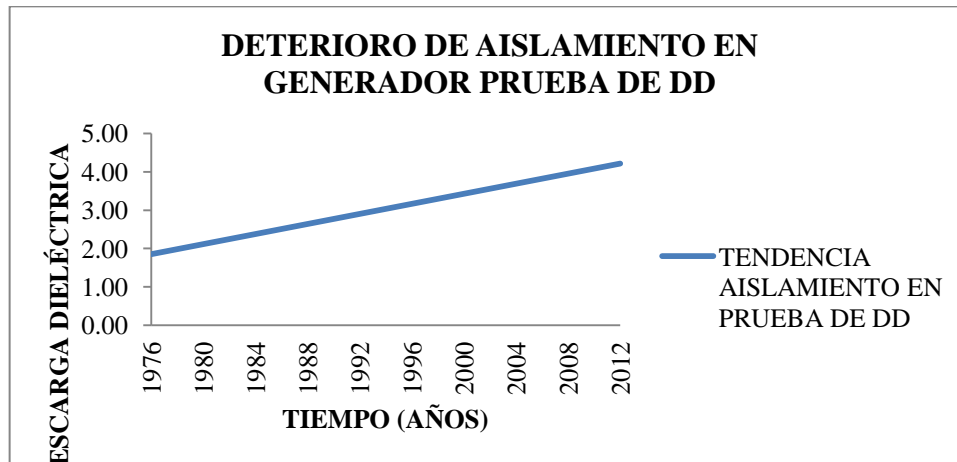
#### DATOS DE PRUEBA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN GENERADOR

TIEMPO (AÑOS)	VALOR DE DESCARGA DIELECTRICA
1976	1,85
2012	4,21

FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

### GRÁFICO N° 22

#### TENDENCIA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN AISLAMIENTO DEL GENERADOR



FUENTE: CENTRAL TERMICA LLIGUA  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### Análisis e interpretación

En esta gráfica la descarga dieléctrica se puede identificar que existe un valor alto el año 2012 este valor esta en un rango de aislamiento pobre se puede recuperar el aislamiento mediante un tratamiento y de esa manera conseguir datos confiables con la prueba de descarga dieléctrica.

## CUADRO N° 24

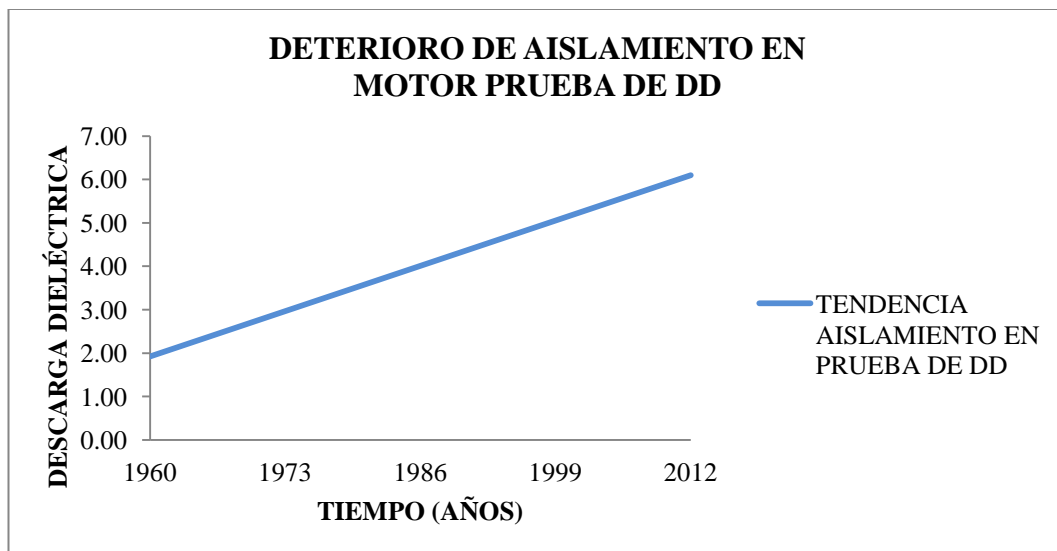
### DATOS DE PRUEBA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN MOTOR

TIEMPO (AÑOS)	VALOR DE DESCARGA DIELECTRICA
1960	1,92
2012	6,10

FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

## GRÁFICO N° 23

### TENDENCIA DE DESCARGA DIELECTRICA (DD) EN AISLAMIENTO DEL MOTOR



FUENTE: EMPRESA AGLOMERADOS COTOPAXI  
REALIZADO POR: LOS TESISTAS

#### **Análisis e interpretación**

En el motor se identifica una tendencia alta en la prueba de descarga dieléctrica esto se debe a las condiciones en las que se encuentra: con humedad en las bobinas, suciedad, etc. En este motor se recomendaría realizar un mantenimiento preventivo para recuperar el aislamiento y poder arrancar el motor. El valor de la

descarga dieléctrica en el año 2012 se encuentra con una tendencia hacia aislamiento malo.

### **3.5. Apoyo técnico.**

Se direcciona con establecer una base de datos con el historial de resultados de las pruebas corregidos por el efecto de temperatura que permite y facilita visualizar el proceso de envejecimiento del aislamiento de la máquina eléctrica.

### **3.6. Ahorro económico.**

Las pruebas de nivel de aislamiento de cualquier máquina o equipo eléctrico ayuda a que las fallas no se presenten en las instalaciones eléctricas sorpresivamente, lo que genera inconvenientes y costosas en recursos y tiempo. Si se considera pruebas de diagnóstico de aislamiento en máquinas eléctricas en un programa de mantenimiento preventivo, es posible planear el mantenimiento o el reemplazo de la máquina ante la posible falla en el momento en que la línea este inactiva.

### **3.7. Alcance de la investigación.**

Realizar pruebas en máquinas eléctricas de la Empresa Eléctrica Ambato y la Empresa Aglomerados Cotopaxi utilizando el equipo MEGGER MIT 520, corregir los valores a 40° C según norma IEEE 43-2000. determinar el estado en el que se encuentra el aislamiento, con la finalidad de iniciar un registro de tendencia del envejecimiento del aislamiento.

### **3.8. Factibilidad.**

Este proyecto es factible porque al disponer de archivos con el historial de mediciones corregidas a una misma temperatura permite visualizar el comportamiento de las propiedades dieléctricas del aislamiento de las distintas máquinas que se realizaron las pruebas, la metodología implementada para este

trabajo puede ser utilizado para otras maquinas únicamente cambiando los valores en las mediciones.

### **3.9. Conclusiones.**

- Las pruebas de resistencia de aislamiento en el motor y generador tienen una tendencia de envejecimiento comparado con un aislamiento nuevo, en el generador el aislamiento esta dentro de las normas IEEE 43-2000 y el motor no se encuentra dentro de las normas.
- Las pruebas de índice de polarización del motor no están dentro del valor establecidos por la norma y el generador se encuentra dentro de los valores establecidos por la norma, los valores de comparación son de acuerdo a la clase térmica del aislamiento. .
- En la prueba de pasos de voltaje las lecturas de resistencia no se encuentran idénticas en cada paso de voltaje, existen fuga de corriente.
- La prueba de descarga dieléctrica en generador y motor nos indica un resultado en un rango de aislamiento pobre determinando así el envejecimiento del aislamiento.

### **3.10. Recomendaciones.**

- Comparar los valores de las pruebas de aislamiento siempre corregidos a 40°C tal como especifica en la norma.

- En los valores de la prueba de índice de polarización mayor de 5 no se puede decir que esta más bueno al contrario se puede decir que se encuentra malo porque puede estar quebradizo el aislamiento.
- Reacondicionar el aislamiento para obtener resultados dentro de los valores recomendados por la norma.
- Una vez terminada la prueba de descarga dieléctrica no desconectar durante un minuto porque toma lecturas de fugas de corriente, no realizar pruebas constantemente en la misma bobina porque se queda cargado eléctricamente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Accionamientos Eléctricos, Tomo I y II. José María Merino Azcárraga. CADEM.

2. Apuntes de Electrónica. Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. 1999.
3. Augusto Jesús Lora Rubiños. Diseño de un generador de impulso de alta tensión basado en las normas ASTM-D 3426 e IEC-60243-3 para ensayos de rigidez dieléctrica de materiales polímeros y sólidos. Año 2008.
4. Christiansen, K.A. and Pederson, A., “An Experimental Study of Impulse Voltage phenomena In A Large AC Motor.”
5. Crawford, D.E., General Electric Company, “Mechanisms of Motor Failures.”
6. Electric Motors and their Controls. Tak Kenjo. Oxford Science Publications.
7. Handbook of Electric Motors. Hamid A. Toliyat GeraldB. Kliman. CRC Press.
8. Kema, N.V., Arnhem the Netherlands, H.G. Tempelaar, “Determining of Transient over Voltages Caused by Switching of High Voltage Motors.”
9. Schump, David E., “Predict Motor Failure with Insulation Testing, “Plant Engineer in Magazine, September, 1996.
10. [www.megger.com](http://www.megger.com).
11. [www.bakerinstrument.com](http://www.bakerinstrument.com).



12. Zotos, Peter A., Member IEEE, Motor Failures Due to Steep Front Switching Surges: The Need for Surge Protection User's Experience, "IEEE Transactions on Industrial Applications, Volume 30, Number 6, Nov/Dec 1