

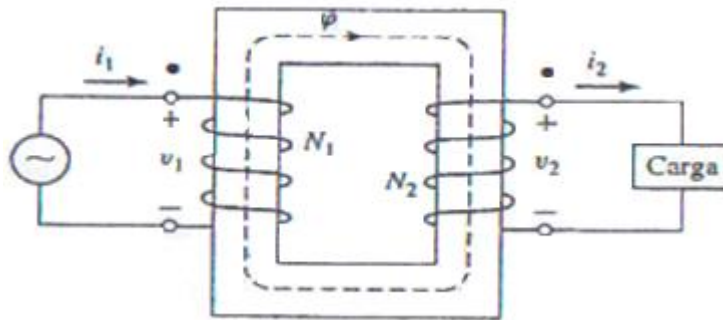
**CAPÍTULO I**  
**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**  
**TRANSFORMADORES**

## 1.1 Introducción

Un transformador es una máquina eléctrica estática que mediante la acción del flujo magnético permite una variación de un nivel de voltaje desde el lado primario al lado secundario o viceversa, manteniendo constante su potencia nominal. Consta de dos o más devanados enrollados alrededor de un núcleo ferromagnético, estos devanados no están conectados en forma directa, la única conexión es el flujo magnético común, que se encuentra en el núcleo del transformador. Uno de los devanados del transformador se encarga de recibir la energía eléctrica alterna y el segundo suministra la misma a las cargas.

GRÁFICO N° 1.1

Transformador de dos devanados



FUENTE: Máquinas Eléctricas, A.E. Fitzgerald, Charles Kingsley Jr., Stephen D. Umans

$$V_1 = e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$V_2 = e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_1 i_1 = N_2 i_2$$

**De donde:**

- $\Phi$  Flujo en el núcleo que vincula ambos devanados.  
 $V_1 ; V_2$  Voltaje en los terminales respectivamente.  
 $e_1 ; e_2$  Voltajes instantáneos inducidos por la variación del flujo.  
 $N_1 ; N_2$  Número de espiras de los devanados primario y secundario.  
 $i_1 ; i_2$  Corriente en el devanado primario y secundario.

La prueba de aislamiento sólido en los transformadores es importante, porque permite conocer el estado en el cual se encuentra el aislamiento del transformador de distribución previo o posterior a su instalación.

El presente tema de tesis tiene como objetivo elaborar un programa de simulación para el equipo MIT 520/2 (Measurement Insulation Test), con el cual se podrá aplicar la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución.

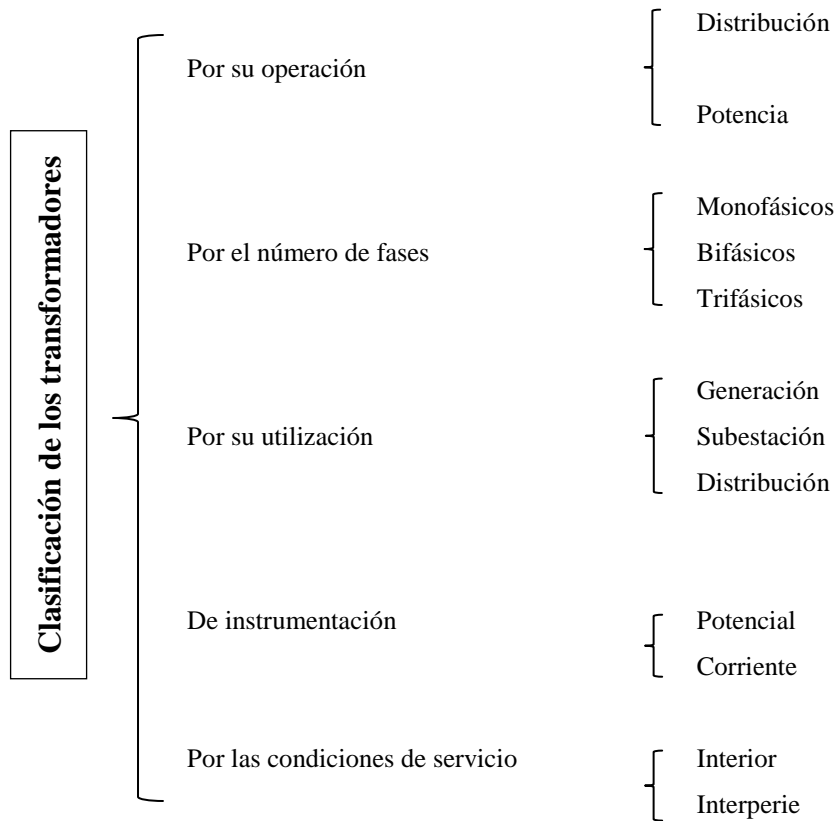
La finalidad del programa de simulación es analizar los resultados numéricos del equipo MIT 520/2, mediante gráficas las cuales permitirán una mejor interpretación de los resultados de las pruebas a realizarse en los transformadores.

## 1.2 Importancia

Las pérdidas técnicas en los transformadores de distribución es la componente de mayor importancia dentro del sistema eléctrico, por lo que hace falta entender específicamente dos aspectos del transformador:

- Su diseño y,
- Aplicación.

### 1.3 Clasificación



Para el desarrollo del tema de investigación se hará énfasis en la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución, permitiendo de esta manera conocer el deterioro de los aislantes dentro de un transformador.

Los tipos de enfriamiento adecuados, tanto para el núcleo como para los devanados son.<sup>[1]</sup>

---

<sup>1</sup> ENRIQUEZ Harper, Edición 2004; El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, Pág.79

TABLA N° 1.1

<b>TIPOS DE ENFRIAMIENTO TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE</b>	
<b>TIPO DE ENFRIAMIENTO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
OA	Tiene enfriamiento natural, en estos transformadores el aceite aislante circula por convección natural dentro de un tanque que tiene paredes lisas o corrugadas o bien con tubos radiadores. Esta solución se adopta para transformadores de más de 50 kVA con voltajes superiores a 15 kV.
OA/FA	Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio y con enfriamiento por aire forzado Este tipo de transformadores es básicamente una unidad OA a la cual se le han agregado ventiladores para aumentar la disipación del calor en las superficies de enfriamiento y por lo tanto, aumentar los kVA de salida.
OA/FA/FOA	Transformador sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio/con aceite forzado - aire forzado/con aceite forzado/aire forzado. Con este tipo de enfriamiento se trata de incrementar el régimen de operación (carga) de transformador tipo OA por medio del empleo combinado de bombas y ventiladores. Se fabrican en capacidades de 10000 kVA monofásicos 15000 kVA trifásicos.
FOA	Tiene enfriamiento por aceite forzado con enfriadores de aire forzado. El aceite de estos transformadores es enfriado al hacerlo pasar por cambiadores de calor o radiadores de aire y aceite colocados fuera del tanque. Su diseño esta destinado a usarse únicamente con los ventiladores y las bombas de aceite trabajando continuamente.
OW	Tiene enfriamiento por agua. Este tipo de transformador esta equipado con un cambiador de calor tubular colocado fuera del tanque, el agua de enfriamiento circula en el interior de los tubos y se drena por gravedad o por medio de una bomba independiente. El aceite fluye, estando en contacto con la superficie exterior de los tubos.
FOW	Tiene enfriamiento de aceite forzado con enfriadores de agua forzada. El transformador es prácticamente igual que el FOA, excepto que el cambiador de calor es del modelo agua-aceite y por lo tanto el enfriamiento del aceite se hace por medio de agua sin tener ventiladores.

FUENTE: ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas; ENRIQUEZ Harper, Edición 2004; El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos.

TABLA N° 1.2

<b>TIPOS DE ENFRIAMIENTO TRANSFORMADORES SECOS</b>	
<b>TIPO DE ENFRIAMIENTO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
AA	Transformadores tipo seco con enfriamiento propio, estos transformadores no contienen aceite ni otros líquidos para enfriamiento, el aire es el único medio aislante que rodea el núcleo y las bobinas, por lo general se fabrican con capacidades inferiores a 2000 kVA y voltajes menores de 15 kV.
AFA	Tipo seco, con enfriamiento por aire forzado. Para aumentar la potencia del transformador AA, se usa el enfriamiento con aire forzado. El diseño comprende un ventilador que empuja el aire en un ducto colocado en la parte inferior del transformador.
AA/FA	Transformadores tipo seco con enfriamiento natural y con enfriamiento por aire forzado, es básicamente un transformador tipo AA al que se le adicionan ventiladores para aumentar su capacidad de disipación de calor.

FUENTE: ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas; ENRIQUEZ Harper, Edición 2004; El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos.

## **1.4 Por su operación**

Este tipo de transformador básicamente se lo conoce por la potencia que maneja dentro de un sistema eléctrico.

### ***1.4.1 Transformadores de distribución***

En un sistema eléctrico de potencia existen transformadores que permiten elevar o reducir las magnitudes eléctricas como el voltaje y corriente.

Los transformadores de distribución permiten reducir los niveles de medio voltaje para la aplicación industrial, comercial y residencial.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2110:98; 3.1.3.- Normalmente los transformadores de distribución van hasta 500kVA y 34,5kV.

GRÁFICO N° 1.2  
TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN



FUENTE: Empresa Eléctrica de Cotopaxi S.A.  
ELABORADO POR: Los postulantes

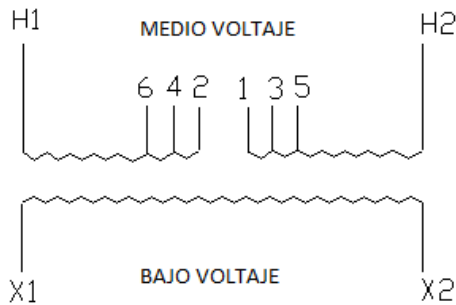
Estos transformadores se conectan de acuerdo a las características del sistema, estos pueden ser monofásicos, bifásicos, trifásicos, de potencial y de corriente.

#### ***1.4.1.1 Transformadores Monofásicos***

El transformador monofásico está formado por un devanado en el lado primario y otro devanado en el secundario, su principio de funcionamiento se basa en la acción mutua entre fenómenos eléctricos y magnéticos, y no contienen partes móviles.

Estos transformadores son diseñados para suministrar el voltaje adecuado a los usuarios.

FIGURA N° 1.1  
 CONEXIÓN DE UN TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

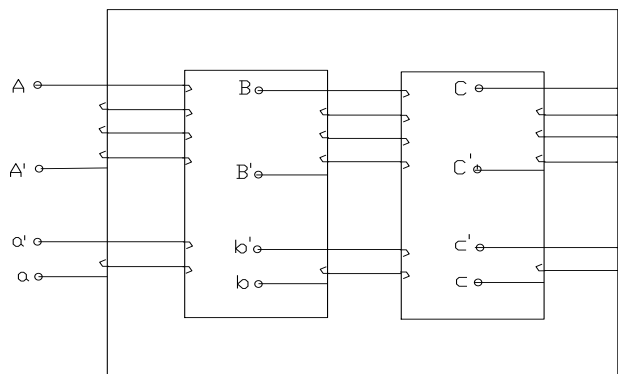


FUENTE: Transformadores de distribución, Ing. Avelino Pedro

### 1.4.1.2 Transformadores Trifásicos

Un transformador trifásico se compone de tres devanados primarios y secundarios monofásicos en un solo núcleo. Con los transformadores trifásicos se consigue una gran economía, tanto en costo como en espacio ocupado, si se utiliza un solo transformador trifásico en lugar de tres monofásicos, como se puede apreciar en la figura 1.2

FIGURA N° 1.2  
 DEVANADO PRIMARIO Y SECUNDARIO DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.



FUENTE: Apuntes de ingeniería eléctrica



### ***1.4.1.3 Transformador de corriente***

Estos son diseñados para suministrar la corriente adecuada a los instrumentos de medición como a los amperímetros y wattímetros así como a los equipos de protección como los relevadores. El devanado primario del transformador de corriente se conecta en serie con el circuito donde circula la corriente que se desea medir, mientras que los instrumentos de medición se conectan en serie a su devanado secundario.

## **1.5 Partes constitutivas de un transformador**

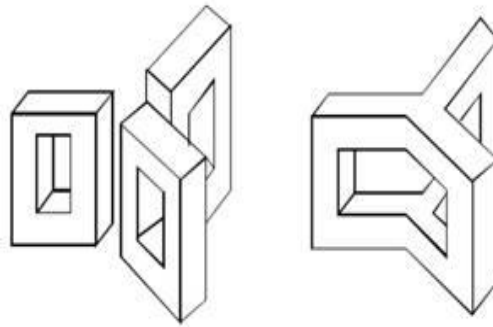
Todo transformador está construido por diferentes elementos los cuales están clasificados en cuatro grupos:

1. Circuito magnético.
2. Circuito eléctrico.
3. Sistema de aislamiento.
4. Tanques herrajes y accesorios.

### ***1.- Circuito Magnético***

Es aquel elemento que permite conducir el flujo magnético a los circuitos eléctricos del transformador, comúnmente conocido como *el núcleo*, éste se clasifica en dos tipos los cuales son: de núcleo único y de tipo acorazado.

GRÁFICO N° 1.3  
NÚCLEO DEL TRANSFORMADOR



FUENTE: Transformadores de distribución, Ing. Avelino Pedro

## 2.- *Circuito Eléctrico*

El circuito eléctrico está constituido por los devanados (primario y secundario), estos son realizados sobre horma y cubierta de cinta aislante, tratadas al vacío, impregnadas de barniz aislante y cocido.

La función que desempeñan cada uno de los devanados, da origen al funcionamiento del transformador y esto es posible con el uso de la corriente alterna.

## 3.- *Sistema de aislamiento*

Los transformadores están constituidos mediante una serie de elementos aislantes, los cuales son: <sup>[2]</sup>

- Cartón prensado
- Papel kraft normal o tratado.
- Papel manila y corrugado.
- Cartón prensado de alta densidad.

---

<sup>2</sup> ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas, Pág. 12-13.

- Collares de cartón prensado y aislamientos finales.
- Partes de cartón prensado laminados.
- Esmaltes y barnices.
- Recubrimientos orgánicos.
- Porcelanas.
- Recubrimientos de polvo epóxico.
- Madera de maple.
- Fibra vulcanizada
- Algodón, hilos, cintas.
- Plásticos, telas, cintas adhesivas y cintas de fibra de vidrio.
- Fluido líquido dieléctrico.

Este sistema tiene como finalidad aislar los devanados entre si y a tierra, es por esta razón que el sistema de aislamiento debe cumplir con ciertas cualidades.<sup>[3]</sup>

1. Cualidad para soportar los voltajes relativamente elevados.
2. Cualidad para soportar esfuerzos mecánicos y térmicos.
3. Cualidad para prevenir excesivas acumulaciones de calor.

Según la norma IEC (International Electrotechnical Commission) existen siete clases de aislamientos según su temperatura de operación, como son:

---

<sup>3</sup> Cevallos A. Juan P., Diseño de un laboratorio de pruebas para transformadores de distribución para la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.-Loja, Pág. 13.

TABLA N° 1.3

<b>CLASE DE AISLAMIENTO POR TEMPERATURA DE OPERACIÓN</b>		
<b>CLASE</b>	<b>TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN °C</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE MATERIALES</b>
Y	Hasta 90	Papeles y cartones no impregnados, madera, algodón, seda, formaldehído, urea, plástico natural, fibra vulcanizada y varios termoplásticos limitados por su punto de ablandamiento. Como el polietileno reticulado.
A	Hasta 105	Papel, algodón y seda impregnados con aceite de barniz; materiales moldeados o estratificados con relleno de celulosa; laminas y hojas de acetato de celulosa y otros derivados de celulosa de propiedades semejantes; fibras vulcanizada y madera; policloruró de vinilo; barnices aislantes a base de resinas naturales; asfaltos naturales y fenólicos modificados.
E	Hasta 120	Fenol formaldehído y melanina formaldehído moldeada y laminada con materiales celulósicos, polivinil formal, poliuretano, resinas epóxicas y barnices; triacetano de celulosa, polietileno compuesto.
B	Hasta 130	Fibras inorgánicas y materiales flexibles (tales como: mica, vidrio o asbesto), cubiertos e impregnados con resina orgánica apropiada; epóxicos, formaldehídos, melanina mormaldehído y lacas.
F	Hasta 155	Tejido de fibra de vidrio tratado con resinas de poliéster; mica y papel de mica, aglomerada con resinas de poliéster o con resinas epóxicas. Estratificados a base de tejido de vidrio y resinas epóxicas de gran resistencia térmica; estratificados con amianto-vidrio.
H	Hasta 180	Aislamientos de elastómeros de siliconas; tejidos de fibra de vidrio, aglomerados con resinas de siliconas; mica y papel de mica, aglomerados con siliconas; estratificados de fibra de vidrio y resinas de siliconas; barnices aislantes a base de resinas de silicona.
C	Arriba de 180	Mica pura y estratificados de papel de mica con aglomerante inorgánico; estratificados de amianto y aglomerante inorgánico; porcelana y material es cerámicos; vidrio y cuarzo; poliamidas.

FUENTE: Norma IEC 85, 1994

#### **4.- *Tanques y accesorios***

Los transformadores que emplean refrigeración por líquido deben tener necesariamente sus núcleos y devanados inmersos en tanques, entre una temperatura de menos 5 °C a una máxima de 105 °C.<sup>[4]</sup>

##### **a. *Pasatapas (bushing)***

Son elementos del transformador que permiten extraer los conductores del devanado hacia la parte exterior generalmente por la parte superior del tanque, existen dos tipos comunes de pasatapas el de tipo lleno de aceite y el de tipo condensador.

El pasatapas lleno de aceite está constituido por un elemento conductor rodeada en su contorno por cierto número de cilindros delgados coaxiales de material aislante separados por madera dura tratada. Estos elementos están soportados en dos conos huecos de porcelana, los espacios libres existentes en el pasatapas está lleno de aceite aislante mientras que en el exterior de los aisladores lleva campanas a fin de incrementar la distancia desarrollada entre los terminales y el tanque que esta puesto a tierra.

##### **b. *Dispositivos de protección***

Los transformadores que son instalados en la industria o en sistemas eléctricos de potencia deben estar protegidos contra sobrecargas peligrosas y contra voltajes elevados.

Existen dos causas que pueden producir voltajes excesivos entre los terminales del transformador las cuales son:

---

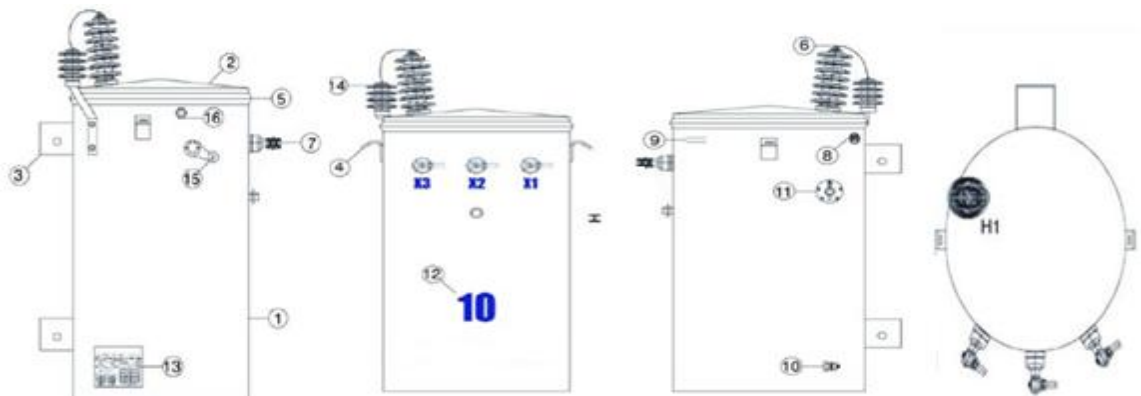
<sup>4</sup> ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas, Pág. 14.

1. Las descargas atmosféricas, el rayo, produce ondas progresivas de frente de onda muy pronunciado, las cuales se reflejan en los empalmes debidos a que se origina una serie de picos de voltajes agudos. Cuando una onda de estos voltajes de alto voltaje alcanza los terminales del transformador puede atravesar el aislante existente entre espiras, o entre espiras y tanque.
2. Descargas producidas por maniobra
3. Frecuencia industrial.

Los transformadores no sólo son provistos con protecciones contra las descargas, también han de considerarse las protecciones contra sobre intensidades las cuales le dan los fusibles y disyuntores, estos abren el circuito cuando la corriente es superior a la corriente nominal del transformador.

## 1.6 Descripción de un transformador

GRÁFICO N° 1.4  
PARTES DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN



FUENTE: ECUATRAN S.A.

TABLA N° 1.4  
DESCRIPCIONES GENERALES DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN.

Ítem	Cantidad	Descripción
1	1	Cuba del transformador
2	1	Tapa
3	2	Soportes de montaje
4	2	Soportes de izado
5	1	Bandas de cierre
6	1	Pasatapas de medio voltaje
7	3	Pasatapas de bajo voltaje
8	1	Válvula de sobrepresión
9	1	Nivel de aceite
10	1	Conectores a tierra
11	1	Combinador de derivaciones 5 posiciones
12	1	Potencia
13	1	Placa de características
14	1	Pararrayos
15	1	Breaker
16	1	Luz de emergencia

FUENTE: ECUATRAN S.A.

## **1.7 Prueba de aislamiento sólido para transformadores de distribución**

Este tipo de prueba se realiza en transformadores de distribución monofásicos y trifásicos. Para el desarrollo de este proyecto se tomará como referencia a los transformadores de distribución. Un transformador debe ser probado para homologar que ha sido diseñado y construido adecuadamente a fin de soportar los niveles de voltaje a la que va estar sometido el transformador. <sup>[5]</sup>

---

<sup>5</sup> ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas, Pág. 173.

### ***1.7.1 Importancia***

La importancia de realizar este tipo de pruebas es garantizar un sistema eléctrico confiable, para el desarrollo de este tipo de prueba se utilizará las normas técnicas ANSI, IEEE y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, las cuales están dirigidas a las pruebas en transformadores de distribución y potencia.

**Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 2111:2004** en su primera revisión en la sección de transformadores de distribución y pruebas eléctricas recomienda realizar la prueba de aislamiento con MEGGER para transformadores de distribución y las disposiciones generales son las siguientes:

- Las pruebas pueden hacerse a los transformadores a cualquier temperatura ambiente comprendida entre 10°C y 40°C y a aquellos con enfriamiento por agua (si se requiere) a cualquier temperatura que no exceda de 25°C.
- Todos los componentes y accesorios externos que puedan afectar el funcionamiento del transformador deben estar colocados en su lugar.
- En los devanados con derivaciones a menos que se acuerde otra cosa entre fabricante y comprador, y a menos que la prueba específicamente requiera otra cosa, las pruebas deben efectuarse en la derivación principal.

**La Norma Técnica Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) C57.12.90**, detalla que el procedimiento para la prueba de medición de resistencia de aislamiento de un transformador se debe realizar de la siguiente manera: Las pruebas de resistencia de aislamiento se realiza con los circuitos de igual voltaje conectados entre sí y los circuitos de diferente voltaje deberán ser probados por separado, como son:

- Devanado primario vs devanado secundario
- Devanado primario vs tierra.



- Devanado secundario vs tierra.
- Neutro vs tierra, esto en caso de que el neutro no esté conectado directamente a tierra.

Aspectos a considerarse para la aplicación de esta norma técnica.

- Todos los devanados deben estar inmersos en el mismo líquido aislante.
- Todos los devanados deben de estar cortocircuitados.
- Todas las boquillas (bushing) del transformador deben estar en su lugar.
- Todas las terminales que no se consideran en la prueba así como la carcasa y el tanque deberán conectarse a tierra mientras se aplique el voltaje de prueba.

**La Norma Técnica American National Standards Institute (ANSI) C.57.12.00,** determina los niveles y la clase de aislamiento de acuerdo a la temperatura para los transformadores en aceite.

TABLA N° 1.5

<b>RESISTENCIA MINIMA DE AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR EN ACEITE A 20°C. VALOR 1 MINUTO CON MEGGER DE 1000 VOLTS</b>			
<b>CLASE DE AISLAMIENTO</b>	<b>MΩ</b>	<b>CLASE DE AISLAMIENTO</b>	<b>MΩ</b>
<b>kV</b>		<b>kV</b>	
1.2	32	92	2480
2.5	68	115	3100
5.0	135	139	3720
8.7	230	161	4350
15.0	410	196	5300
25.0	670	230	6200
34.5	930	287	7750
46.0	1240	345	9300
69.0	1860		

FUENTE: ANSI C.57.12.00

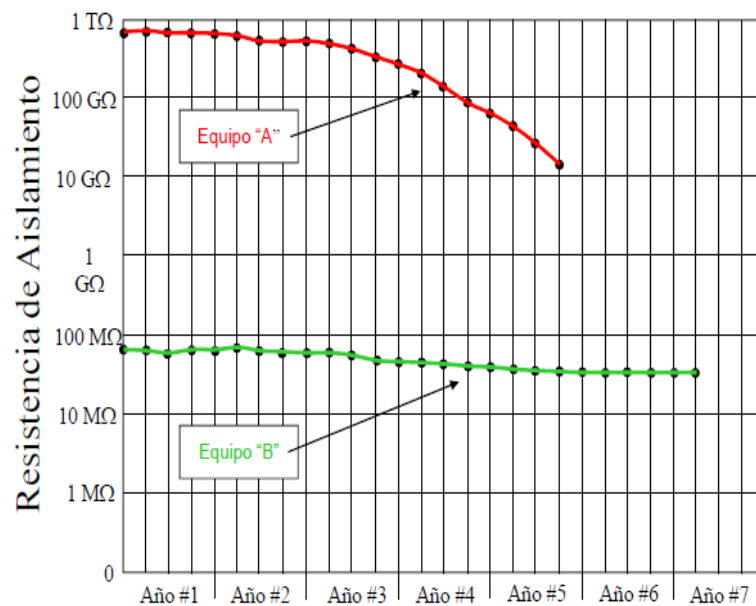
## 1.8 Medición de la resistencia de aislamiento sólido con MEGGER para transformadores de distribución.

Antes de que los transformadores sean puestos en servicio es necesario la aplicación de las diferentes pruebas, entre estas la de *aislamiento sólido*, con el fin de determinar si cumplen con las disposiciones impuestas por las normas técnicas.

### 1.8.1 Resistencia del aislamiento

Esta prueba determina el nivel de aislamiento que contiene el transformador, además verifica si las conexiones del transformador son correctas.

GRÁFICO N° 1.5  
CURVA CARACTERÍSTICA DE LA RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO.



FUENTE: Catálogo MEGGER

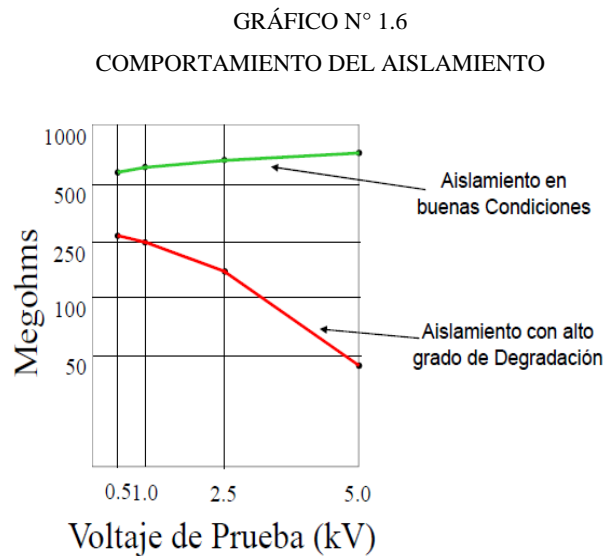
En el gráfico 1.5 se puede comparar la tendencia del aislamiento de dos equipos, en el equipo A se observa que la declinación se incrementa en forma acelerada, lo que

indica que en este equipo a partir del segundo año inicia un deterioro en su aislamiento.

Mientras que en el equipo B se observa un deterioro propio del aislamiento producido por las condiciones propias de trabajo.

### ***1.8.2 Pasos de voltaje***

Esta prueba consiste en incrementar el voltaje de prueba en cinco pasos iguales en períodos de un minuto, además se debe registrar la resistencia del aislamiento al final de cada minuto lo que determinará la tendencia del aislamiento.



FUENTE: Catálogo MEGGER

En el gráfico 1.6 se compara las condiciones de dos aislamientos uno en buenas condiciones y otro con un aislamiento de alto grado de degradación.

En el aislamiento con buenas condiciones se observa que a medida que se eleva el voltaje el nivel de resistencia aumenta, mientras que en el aislamiento con un grado

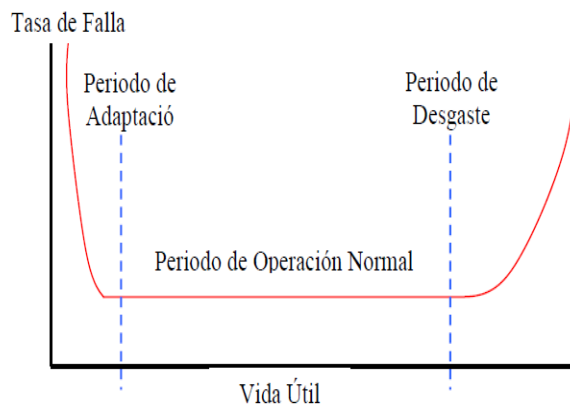
de degradación, con la elevación de voltaje se nota una reducción del aislamiento lo que indica que existe la presencia de humedad u otro contaminante.

## 1.9 Importancia de la vida útil de los transformadores de distribución

Como se indicó anteriormente en los temas tratados sobre el transformador, este es una máquina eléctrica estática de mucha importancia en un sistema eléctrico de potencia SEP, por lo que la vida útil del transformador debe tomarse en cuenta para evitar fallas inesperadas en el sistema eléctrico.

La vida útil de un transformador es el período de tiempo en el cual se encuentra operando con condiciones nominales de operación.

GRÁFICO N° 1.7  
CURVA CARACTERÍSTICA DE LA VIDA ÚTIL DE UN TRANSFORMADOR.



FUENTE: Programación del mantenimiento preventivo de subestaciones de la EERSA, Dennys Gabela

En el gráfico 1.7, observamos que al inicio de la vida útil del transformador, la probabilidad que se presente una falla es elevada, esto sucede debido a que las partes que constituyen el transformador entre ellas el aislamiento sólido se encuentran en un período de adaptación, luego de este período de adaptación el transformador debe operar a toda su capacidad dentro del período de operación normal, cuando el

transformador se acerca al final de su vida útil la probabilidad de falla aumenta de la misma manera que en el período de adaptación esto sucede por el desgaste normal del transformador.

Los desgastes producidos en el transformador, especialmente en el aislamiento sólido son debido a las averías existentes del medio como son; avería eléctrica, térmica, mecánica, química y la contaminación ambiental.

La vida útil de un transformador está directamente relacionada con el aislamiento sólido de un transformador, ya que se considera que si el transformador debe durar 20 años en servicio normal de operación el aislamiento también debe durar 20 años.

**CAPÍTULO II**  
**INVESTIGACIÓN DE CAMPO**  
**PRUEBA DE AISLAMIENTO SÓLIDO EN**  
**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN**  
**MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS EN EL**  
**LABORATORIO DE PRUEBAS DE**  
**TRANSFORMADORES**

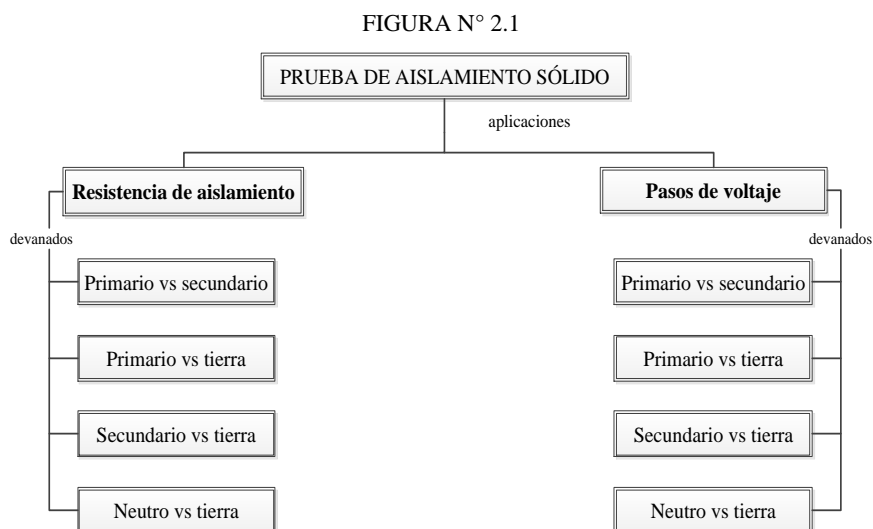
## 2.1 Introducción

En el presente capítulo se realizará la prueba de asilamiento sólido en transformadores de distribución, con lo que se podrá conocer en qué nivel de aislamiento se encuentra el mismo. Para este tipo de prueba se utilizará dos equipos de diferentes características, lo que permitirá analizar y comparar cada uno de sus resultados. Además en este capítulo se realizarán encuestas y entrevistas, las cuales determinarán la factibilidad de este proyecto de investigación.

## 2.2 Prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución, con la aplicación de diferentes equipos.

Esta prueba se realizó en la Empresa Eléctrica de Cotopaxi S.A., con los equipos MIT 520/2 y BAKER.

La prueba de aislamiento sólido se efectuó en dos aplicaciones, la primera una lectura puntual (*resistencia de aislamiento*) y la segunda una lectura de tendencia (*pasos de voltaje*), las cuales están basadas en las normas técnicas citadas en el capítulo 1.



## 2.3 Cálculos y ecuaciones para el análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tomó como referencia un transformador trifásico con las siguientes características.

TABLA N° 2.1

PLACA DE DATOS DEL TRANSFORMADOR		
1	Ubicación	ELEPCO S.A.
2	Marca	RYMEL
3	Potencia (kVA)	75
4	Número de fases	3
5	Voltaje primario (kV)	13,2
6	Voltaje secundario (V)	220/123
7	Corriente primario (A)	3,28
8	Corriente secundario (A)	196,83
9	Temperatura ambiente (°C)	15
10	Frecuencia (Hz)	60
11	% Impedancia	2,66
12	Conexión	Dy5
13	Número	1867
14	Clase de aislamiento	Ao

FUENTE: ELEPCO S.A  
ELABORADO POR: Los postulantes

### 2.3.1 Aplicación del equipo MIT 520/2 (MEGGER)





Ecuación para el equipo MIT 520/2.

$$R_f = R \pm 2\%$$

**De donde:**

$R_f$  = resistencia final.

$R$  = resistencia medida.

2% = porcentaje de error del equipo.

**Desarrollo de cálculos “Resistencia”**

**Devanado primario vs secundario**

$$R_f = (87700 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 89454[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 85946[M\Omega]$$

**Devanado primario vs tierra**

$$R_f = (45700 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 46614[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 44786[M\Omega]$$

**Devanado secundario vs tierra**

$$R_f = (12500 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 12750[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 12250[M\Omega]$$

TABLA N° 2.2

<b>VALOR DEL AISLAMIENTO CON EL % DE ERROR DEL EQUIPO MIT 520/2</b>			
<b>Voltaje aplicado (V)</b>	<b>*R[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f1</sub>[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f2</sub>[MΩ]</b>
<b>Devanado primario vs secundario</b>			
1000	87700	89454	85946
<b>Devanado primario vs tierra</b>			
1000	45700	46614	44786
<b>Devanado secundario vs tierra</b>			
1000	12500	12750	12250

ELABORADO POR: Los postulantes

\*R= resistencia medida.

\*R<sub>f1</sub>= resistencia con el 2% de error del equipo.

\*R<sub>f2</sub>= resistencia con el -2% de error del equipo.

### **Desarrollo de cálculos “Pasos de voltaje”**

#### **Devanado primario vs secundario**

Primer minuto;

$$R_f = (89400 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 91188[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 87612[M\Omega]$$

Segundo minuto;

$$R_f = (76100 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 77622[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 74578[M\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (77900 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 79458[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 76342[\text{M}\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (75900 \pm 2\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 77418[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 74382[\text{M}\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (77200 \pm 2\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 78744[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 75656[\text{M}\Omega]$$

### **Devanado primario vs tierra**

Primer minuto;

$$R_f = (46400 \pm 2\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 47328[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 45472[\text{M}\Omega]$$

Segundo minuto;

$$R_f = (39600 \pm 2\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 49392[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 38808[\text{M}\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (40400 \pm 2\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 41208[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 39592[\text{M}\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (39400 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 40188[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 38612[M\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (40000 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 40800[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 39200[M\Omega]$$

### **Devanado secundario vs tierra**

Primer minuto;

$$R_f = (19800 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 20196[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 19404[M\Omega]$$

Segundo minuto;

$$R_f = (16800 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 17136[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 16464[M\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (13200 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 13464[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 12936[M\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (11100 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 11322[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 10878[M\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (10700 \pm 2\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 10914[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 10486[M\Omega]$$

TABLA N° 2.3

<b>PASOS DE VOLTAJE DEL AISLAMIENTO CON EL % DE ERROR DEL EQUIPO MIT</b>			
<b>520/2</b>			
<b>Voltaje aplicado (V)</b>	<b>*R[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f1</sub>[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f2</sub>[MΩ]</b>
<b>Devanado primario vs secundario</b>			
500	89400	91188	87612
1000	76100	77622	74578
1500	77900	79458	76342
2000	75900	77418	74382
2500	77200	78744	75656
<b>Devanado primario vs tierra</b>			
500	46400	47328	45472
1000	39600	49392	38808
1500	40400	41208	39592
2000	39400	40188	38612
2500	40000	40800	39200
<b>Devanado secundario vs tierra</b>			
200	19800	20196	19404
400	16800	17136	16464
600	13200	13464	12936
800	11100	11322	10878
1000	10700	10914	10486

ELABORADO POR: Los postulantes

\* $R$  = resistencia medida.

\* $R_{f1}$  = resistencia con el 2% de error del equipo.

\* $R_{f2}$  = resistencia con el -2% de error del equipo.

### 2.3.2 Aplicación del equipo HYPOT (BAKER)



Ecuación para el equipo BAKER.

$$R_f = R \pm 5\%$$

**De donde:**

$R_f$  = resistencia final.

$R$  = resistencia medida.

5% = porcentaje de error del equipo.

**Desarrollo de cálculos “Resistencia”**

**Devanado primario vs secundario**

$$R_f = (250 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 262,5[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 237,5[M\Omega]$$

### Devanado primario vs tierra

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190[M\Omega]$$

### Devanado secundario vs tierra

$$R_f = (166,66 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 175[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 158,3[M\Omega]$$

TABLA N° 2.4

VALOR DEL AISLAMIENTO CON EL % DE ERROR DEL EQUIPO HYPOT			
Voltaje aplicado (V)	*R[MΩ]	*R <sub>f1</sub> [MΩ]	*R <sub>f2</sub> [MΩ]
<b>Devanado primario vs secundario</b>			
1000	250	262,5	237,5
<b>Devanado primario vs tierra</b>			
1000	200	210	190
<b>Devanado secundario vs tierra</b>			
1000	166,66	175	158,3

ELABORADO POR: Los postulantes

\*R = resistencia medida.

\*R<sub>f1</sub> = resistencia con el 5% de error del equipo.

\*R<sub>f2</sub> = resistencia con el -5% de error del equipo.

### Desarrollo de cálculos “Pasos de voltaje”

#### Devanado primario vs secundario

Primer minuto;

$$R_f = (125 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 131,25[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 118,75[\text{M}\Omega]$$

Segundo minuto;

$$R_f = (125 \pm 5\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 131,25[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 118,75[\text{M}\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (136,36 \pm 5\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 143,18[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 129,54[\text{M}\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (133,33 \pm 5\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 140[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 126,66[\text{M}\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (125 \pm 5\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 131,25[\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 118,75[\text{M}\Omega]$$

### **Devanado primario vs tierra**

Primer minuto;

$$R_f = (125 \pm 5\%)[\text{M}\Omega]$$

$$R_{f1} = 131,25 [\text{M}\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 118,75[\text{M}\Omega]$$



Segundo minuto;

$$R_f = (142,85 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 150[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 135,7[M\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (150 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 157,5[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 142,5[M\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (142,85 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 150[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 135,7[M\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (138,88 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 145,82[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 131,93[M\Omega]$$

### **Devanado secundario vs tierra**

Primer minuto;

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190[M\Omega]$$

Segundo minuto;

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190[M\Omega]$$

Tercer minuto;

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190[M\Omega]$$

Cuarto minuto;

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190[M\Omega]$$

Quinto minuto;

$$R_f = (200 \pm 5\%)[M\Omega]$$

$$R_{f1} = 210[M\Omega] \quad ; \quad R_{f2} = 190 [M\Omega]$$

TABLA N° 2.5

<b>PASOS DE VOLTAJE DEL AISLAMIENTO CON EL % DE ERROR DEL EQUIPO HYPOT</b>			
<b>Voltaje aplicado (V)</b>	<b>*R[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f1</sub>[MΩ]</b>	<b>*R<sub>f2</sub>[MΩ]</b>
<b>Devanado primario vs secundario</b>			
500	125	131,25	118,75
1000	125	131,25	118,75
1500	136,36	143,18	129,54
2000	133,33	140	126,66
2500	125	131,25	118,75
<b>Devanado primario vs tierra</b>			
500	125	131,25	118,75
1000	142,85	150	135,7
1500	150	157,5	142,5
2000	142,85	150	135,7
2500	138,88	145,82	131,93
<b>Devanado secundario vs tierra</b>			
200	200	210	190
400	200	210	190
600	200	210	190
800	200	210	190
1000	200	210	190

ELABORADO POR: Los postulantes

\*R = resistencia medida.

\*R<sub>f1</sub> = resistencia con el 5% de error del equipo.

\*R<sub>f2</sub> = resistencia con el -5% de error del equipo.

## 2.4 Comparación de resultados

### Ventajas del equipo MIT 520/2

- Este instrumento mediante la utilización del cable Guard, permite medir precisamente el valor de la resistencia del aislamiento, porque este cable absorbe las corrientes de fuga producidas por factores externos.

- El equipo MIT 520/2, permite visualizar los resultados de la resistencia analógicamente y digitalmente.
- El equipo toma lecturas de medición en diferentes unidades, para los valores de la resistencia en ( $K\Omega$ ,  $M\Omega$ ,  $G\Omega$  y  $T\Omega$ ) y para la corriente en (mA,  $\mu A$  y nA).
- Las lecturas de medición presentan mayor precisión, con un error del  $\pm 2\%$ .
- El tiempo de aplicación de voltaje continuo no es tan crítico como en el caso de la aplicación de la voltaje alterno.

### **Desventajas del equipo BAKER**

- Este equipo no permite ignorar las corrientes de fuga existentes por factores externos.
- El equipo BAKER es análogo y presenta un porcentaje de error del  $\pm 5\%$  en el voltaje, corriente, medición y exactitud.
- Sus escalas de medición en la corriente de prueba está dirigida en la unidad de micro-amperios y los valores de la resistencia deben ser calculados.
- Los esfuerzos eléctricos en corriente alterna son considerados más dañinos que los correspondientes a corriente continua.

**Regla para la corrección por temperatura:** 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 duplica. <sup>[6]</sup>

Para determinar el factor de corrección por temperatura se usa la siguiente ecuación:

$$K_T = (0,5)^{(20-T)/10}$$

**De donde:**

$K_T$ : Coeficiente de corrección por temperatura.

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

#### ***2.4.1 Cálculo para determinar el factor de corrección de diferentes temperaturas a una temperatura de 20 °C.***

Las lecturas tomadas en diferentes temperaturas crean confusión, por lo que se recomienda corregir los valores medidos en un valor referencial de 20°C, para tener todos los valores a una misma escala y poder comparar la tendencia de envejecimiento del aislamiento.

---

<sup>6</sup>David O. Jones, Jeffrey R. Jowerr, S. Graeme Thomson, David S. Danner; Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento, Pág. 31

TABLA N° 2.6

<b>CÁLCULO PARA DETERMINAR LOS FACTORES DE CORRECCIÓN</b>	
<p><b>Para una temperatura de 0 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-0)/10}$ $K_T = 0,25$	<p><b>Para una temperatura de 40 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-40)/10}$ $K_T = 4$
<p><b>Para una temperatura de 5 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-5)/10}$ $K_T = 0,35$	<p><b>Para una temperatura de 45 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-45)/10}$ $K_T = 5,6$
<p><b>Para una temperatura de 10 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-10)/10}$ $K_T = 0,5$	<p><b>Para una temperatura de 50 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-50)/10}$ $K_T = 8$
<p><b>Para una temperatura de 15 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-15)/10}$ $K_T = 0,7$	<p><b>Para una temperatura de 55 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-55)/10}$ $K_T = 11,3$
<p><b>Para una temperatura de 20 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-20)/10}$ $K_T = 1$	<p><b>Para una temperatura de 60 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-60)/10}$ $K_T = 16$
<p><b>Para una temperatura de 25 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-25)/10}$ $K_T = 1,4$	<p><b>Para una temperatura de 65 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-65)/10}$ $K_T = 22,6$
<p><b>Para una temperatura de 30 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-30)/10}$ $K_T = 2$	<p><b>Para una temperatura de 70 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-70)/10}$ $K_T = 32$
<p><b>Para una temperatura de 35 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-35)/10}$ $K_T = 2,8$	<p><b>Para una temperatura de 75 °C.</b></p> $K_T = (0,5)^{(20-75)/10}$ $K_T = 45,2$

ELABORADO POR: Los postulantes

TABLA N° 2.7

FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA A 20 °C			
Temperatura (°C)	Factor de corrección	Temperatura (°C)	Factor de corrección
0	0,25	40	4
5	0,35	45	5,6
10	0,5	50	8
15	0,7	55	11,3
20	1	60	16
25	1,4	65	22,6
30	2	70	32
35	2,8	75	45,2

ELABORADO POR: Los postulantes

TABLA N° 2.8

ECUACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN	
$K_T < 1$	$K_T > 1$
$R_C = R * K_T$	$R_C = \frac{R}{K_T}$

Fuente: David O. Jones; Guía para pruebas de diagnostico de aislamiento

**De donde:**

$R_C$ : Resistencia corregida a 20°C.

$R$ : Resistencia medida del aislamiento a una temperatura en °C.

$K_T$ : Coeficiente de factor de corrección para una temperatura de 20 °C.

**Cálculos considerando el factor de corrección para una temperatura de 20°C.**

Para el desarrollo de estos cálculos se tomará como referencia el transformador trifásico de 75 kVA y los equipos citados anteriormente. El factor que se utilizará es de 0,70 ya que las pruebas se realizaron a una temperatura ambiente de 15°C, además se tomará como referencia el valor medido por cada equipo.

## EQUIPO MIT 520/2 (MEGGER)

### Desarrollo de cálculos “Resistencia”

La ecuación aplicada para el desarrollo de estos cálculos es:

$$R_C = R * K_T$$

TABLA N° 2.9

CÁLCULO DEL AISLAMIENTO POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA		
Devanado primario vs secundario	Devanado primario vs tierra	Devanado secundario vs tierra
$R_C = (87700 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 61390[M\Omega]$	$R_C = (45700 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 31990[M\Omega]$	$R_C = (12500 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 8750[M\Omega]$

ELABORADO POR: Los postulantes

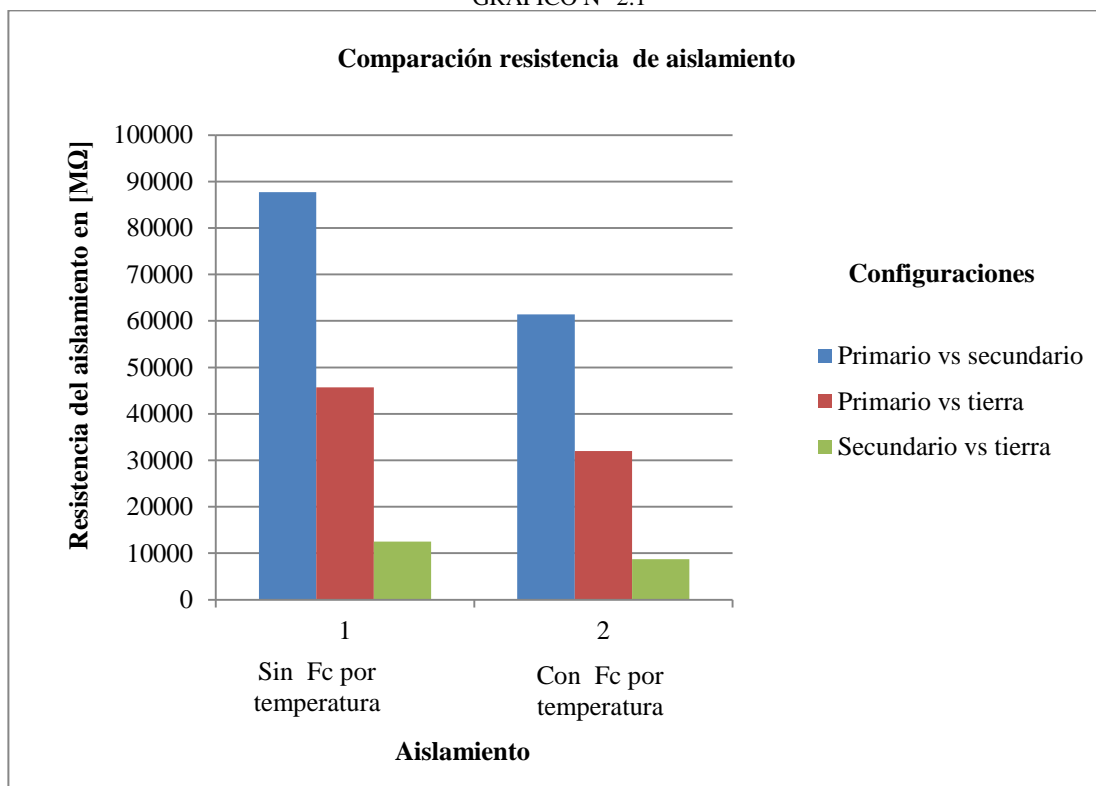
TABLA N° 2.10

RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO CORREGIDA A 20°C EN [MΩ]		
Configuraciones de los devanados	Resistencia medida a	Resistencia corregida
	15 °C	a 20 °C
Primario vs secundario	87700	61390
Primario vs tierra	45700	31990
Secundario vs tierra	12500	8750

ELABORADO POR: Los postulantes



GRÁFICO N° 2.1



ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

La prueba de aislamiento realizada al transformador se desarrollo durante un minuto, porque es el tiempo recomendado por la Norma Técnica ANSI C 57.12.00, y necesario para que la corriente medida en el aislamiento se estabilice.

En el gráfico 2.1 se puede apreciar la diferencia que existe, entre el aislamiento durante la medición y el aislamiento al corregir por una temperatura de 20°C, esta corrección permitirá realizar comparaciones con otros transformadores de similares características. Además la corrección realizada cumple con la regla detallada para la corrección por temperatura.

## Desarrollo de cálculos “Pasos de voltaje”

TABLA N° 2.11

CÁLCULO PASOS DE VOLTAJE POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA		
Devanado primario vs secundario	Devanado primario vs tierra	Devanado secundario vs tierra
Primer minuto; $R_C = (89400 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 62580[M\Omega]$	Primer minuto; $R_C = (46400 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 32480[M\Omega]$	Primer minuto; $R_C = (19800 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 13860[M\Omega]$
Segundo minuto; $R_C = (76100 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 53270[M\Omega]$	Segundo minuto; $R_C = (39600 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 27720[M\Omega]$	Segundo minuto; $R_C = (16800 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 11760[M\Omega]$
Tercer minuto; $R_C = (77900 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 54310[M\Omega]$	Tercer minuto; $R_C = (40400 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 28280[M\Omega]$	Tercer minuto; $R_C = (13200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 9240[M\Omega]$
Cuarto minuto; $R_C = (75900 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 53130[M\Omega]$	Cuarto minuto; $R_C = (39400 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 27580[M\Omega]$	Cuarto minuto; $R_C = (11100 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 7770[M\Omega]$
Quinto minuto; $R_C = (77200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 54040[M\Omega]$	Quinto minuto; $R_C = (40000 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 28000[M\Omega]$	Quinto minuto; $R_C = (10700 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 7490[M\Omega]$

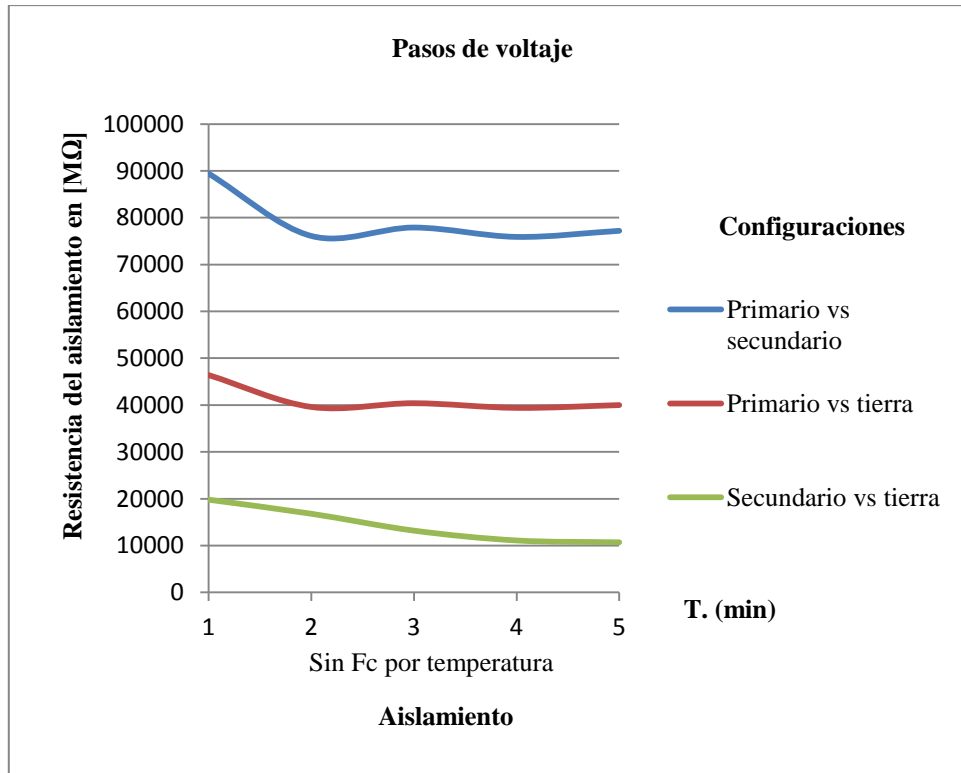
ELABORADO POR: Los postulantes

TABLA N° 2.12

PASOS DE VOLTAJE CORREGIDO A 20 °C EN [MΩ]						
Valor Minutos	Primario vs secundario		Primario vs tierra		Secundario vs tierra	
	R a 15 °C	R <sub>c</sub> a 20 °C	R a 15 °C	R <sub>c</sub> a 20 °C	R a 15 °C	R <sub>c</sub> a 20 °C
1	89400	62580	46400	32480	19800	13860
2	76100	53270	39600	27720	16800	11760
3	77900	54310	40400	28280	13200	9240
4	75900	53130	39400	27850	11100	7770
5	77200	54040	40000	28000	10700	7490

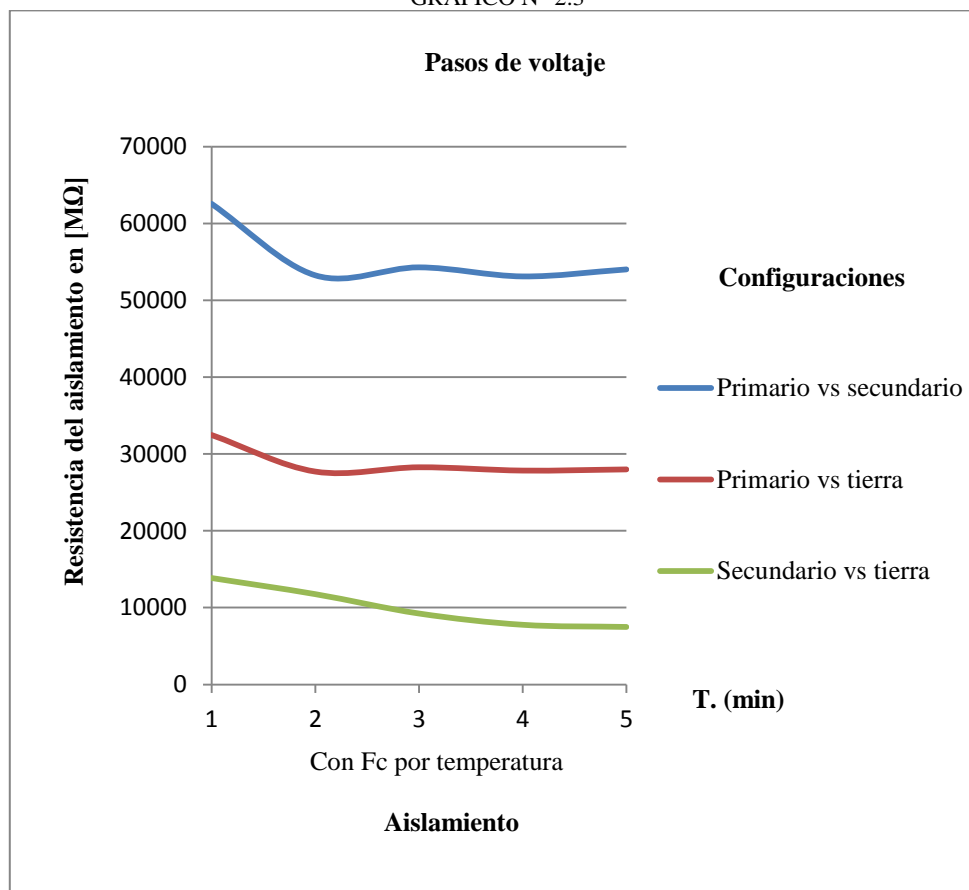
ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO N° 2.2



ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO N° 2.3



ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

El transformador puesto a prueba para el análisis indica una tendencia aceptable para las configuraciones primario vs secundario y primario vs tierra, esto debido a que ofrece una resistencia casi uniforme en la duración de la prueba, pero para la configuración secundario vs tierra, el aislamiento tiene un nivel de degradación considerable, esto permite determinar que se debe realizar un seguimiento anual en el transformador para evitar desconexiones no deseadas.

## EQUIPO HYPOT (BAKER)

### Desarrollo de cálculos “Resistencia”

La ecuación aplicada para el desarrollo de estos cálculos es:

$$R_C = R * K_T$$

TABLA N° 2.13

CÁLCULO DEL AISLAMIENTO POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA		
Devanado primario vs secundario	Devanado primario vs tierra	Devanado secundario vs tierra
$R_C = (250 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 175[M\Omega]$	$R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$	$R_C = (166,66 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 116,66[M\Omega]$

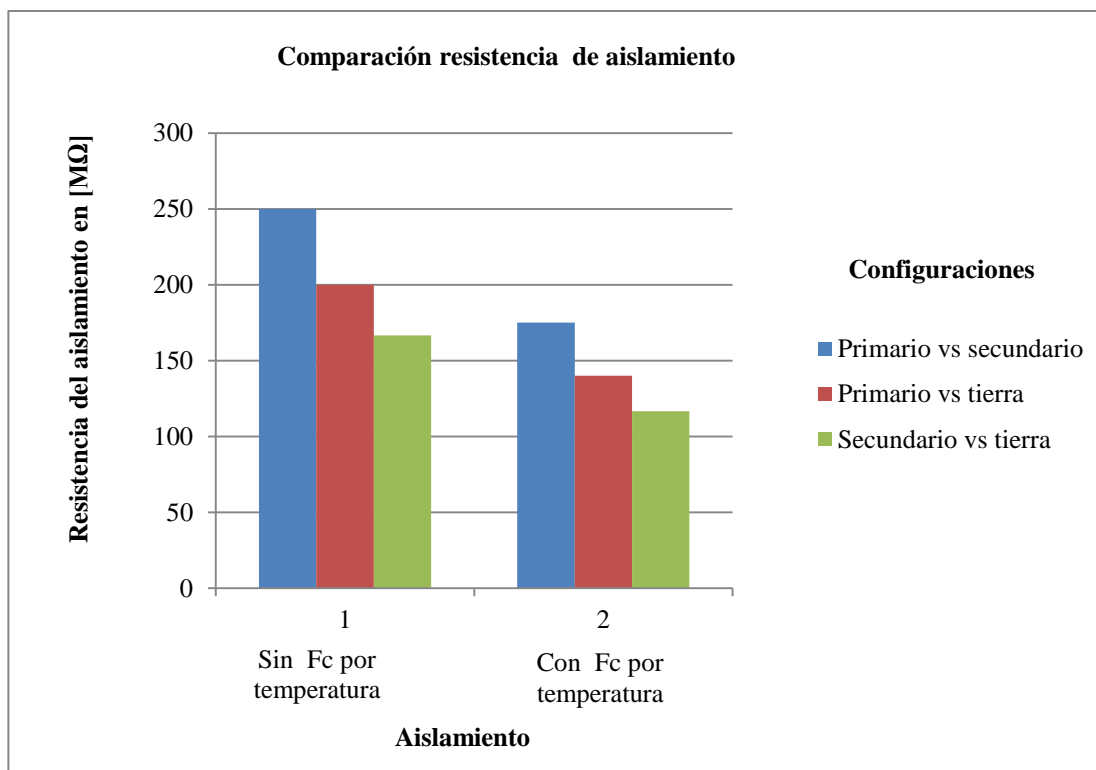
ELABORADO POR: Los postulantes

TABLA N° 2.14

RESISTENCIA DEL AISLAMIENTO CORREGIDA A 20 °C EN [MΩ]		
Configuraciones de los devanados	Resistencia medida a 15 °C	Resistencia corregida a 20 °C
Primario vs secundario	250	175
Primario vs tierra	200	140
Secundario vs tierra	166,66	116,66

ELABORADO POR: Los postulantes

GRÁFICO N° 2.4



ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

Luego de haber analizado las diferentes desventajas del equipo BAKER, se concluye que los resultados medidos con la ayuda de este equipo no permiten dar un correcto informe.

Los valores de la resistencia están corregidos a una temperatura ambiente de 20 °C, ya que con estos resultados se podrá comparar con la norma técnica ANSI C57.12.00.

## Desarrollo de cálculos “Pasos de voltaje”

TABLA N° 2.15

<b>CÁLCULO PASOS DE VOLTAJE POR EL FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA</b>		
<b>Devanado primario vs secundario</b>	<b>Devanado primario vs tierra</b>	<b>Devanado secundario vs tierra</b>
Primer minuto;  $R_C = (125 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 87,5[M\Omega]$	Primer minuto;  $R_C = (125 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 87,5[M\Omega]$	Primer minuto;  $R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$
Segundo minuto;  $R_C = (125 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 87,5[M\Omega]$	Segundo minuto;  $R_C = (142,85 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 99,9[M\Omega]$	Segundo minuto;  $R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$
Tercer minuto;  $R_C = (136,66 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 95,66[M\Omega]$	Tercer minuto;  $R_C = (150 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 105[M\Omega]$	Tercer minuto;  $R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$
Cuarto minuto;  $R_C = (133,33 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 93,33[M\Omega]$	Cuarto minuto;  $R_C = (142,85 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 99,9[M\Omega]$	Cuarto minuto;  $R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$
Quinto minuto;  $R_C = (125 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 87,5[M\Omega]$	Quinto minuto;  $R_C = (138,88 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 97,21[M\Omega]$	Quinto minuto;  $R_C = (200 * 0,7)[M\Omega]$ $R_C = 140[M\Omega]$

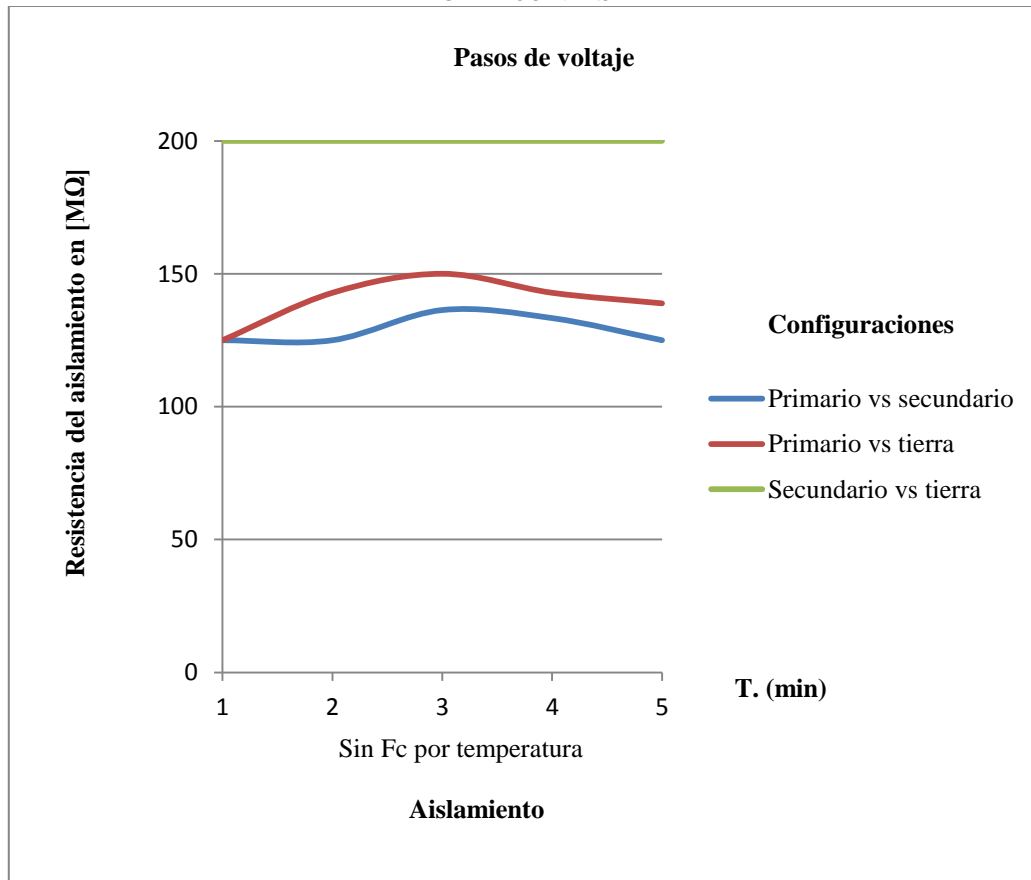
ELABORADO POR: Los postulantes

TABLA N° 2.16

PASOS DE VOLTAJE CORREGIDO A 20°C EN [MΩ]						
Valor Minutos	Primario vs secundario		Primario vs tierra		Secundario vs tierra	
	R a 15°C	R <sub>c</sub> a 20°C	R a 15°C	R <sub>c</sub> a 20°C	R a 15°C	R <sub>c</sub> a 20°C
1	125	87,5	125	87,5	200	140
2	125	87,5	142,85	99,9	200	140
3	136,36	95,66	150	105	200	140
4	133,33	93,33	142,85	99,9	200	140
5	125	87,5	138,88	97,21	200	140

ELABORADO POR: Los postulantes

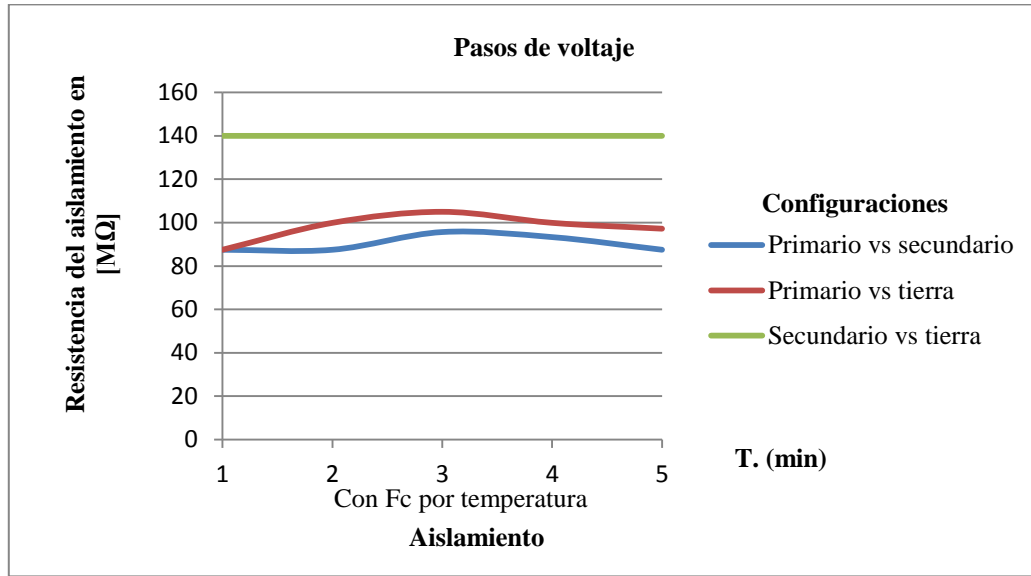
GRÁFICO N° 2.5



ELABORADO POR: Los postulantes



GRÁFICO N° 2.6



ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

Este equipo al ser analógico no permite realizar la prueba pasos de voltaje automáticamente, esto ocasiona que el voltaje aplicado no se mantenga constante durante la aplicación de la prueba, ya que existe la intervención manual para poder desarrollar este tipo de ensayo.

Estos resultados muestran que el equipo BAKER no tiene una alta confiabilidad para la aplicación de la prueba resistencia de aislamiento y para la prueba pasos de voltaje.

**Nota:** Previo a la realización de la prueba de aislamiento sólido en un transformador monofásico, se debe tomar en cuenta las conexiones físicas internas, entre el devanado primario y secundario o estos con respecto al tanque.

Según el fabricante “MEGGER” recomienda que los valores de la resistencia de aislamiento esperados para transformadores en sistemas comprendidos entre 6 kV y 69 kV, a 20°C, deben estar entre 400 y 1200 MΩ.

## **2.5 Justificación del equipo MIT 520/2 aplicado en la prueba de aislamiento sólido**

Luego de haber analizado detalladamente las diferencias entre dos equipos los cuales permiten elaborar la prueba de aislamiento sólido en transformadores, se concluye que el equipo MIT 520/2 (Measurement Insulation Test), de la marca MEGGER, es un equipo altamente eficiente debido a la facilidad de su empleo y a su nivel de seguridad, se considera además la facilidad que dispone el equipo MIT 520/2 para enlazarse con un computador mediante la utilización de sus puertos como lo son RS-232 ó USB.

También se aprecia que es un equipo con un porcentaje de error reducido permitiendo de esta manera mayor exactitud en los resultados de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución.

## **2.6 Análisis de los resultados de la entrevista y la encuesta**

Con el propósito de conocer el criterio de los Jefes Departamentales de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi S.A. y de los 35 estudiantes del octavo nivel de la carrera de Ingeniería Eléctrica de distinguida Universidad, se aplicó entrevistas y encuestas respectivamente, cada una enfocada al grado de conocimiento que los inmersos poseen.

### ***2.6.1 Entrevista***

La presente entrevista fué realizada a 3 Jefes Departamentales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A.

TABLA N° 2.17  
JEFES DEPARTAMENTALES ELEPCO S.A.

<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>RESPONSABLES</b>
Director de Planificación	Ing. Ramiro Vásquez
Departamento de Ingeniería y Construcción	Ing. Diego Moscoso
Jefe de Subestaciones	Ing. Marco Basantes

FUENTE: ELEPCO S.A.  
ELABORADO POR: Los Postulantes

El objetivo principal de esta entrevista es verificar si es factible la realización del proyecto con el tema “Aplicación del equipo MIT 520/2 en la prueba de aislamiento sólido para transformadores de distribución monofásicos y trifásicos en el laboratorio de pruebas de transformadores, con la elaboración de un programa de simulación”

Análisis de las entrevistas realizadas en la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A.

TABLA N° 2.18

<b>EMPRESA ELÉCTRICA DE COTOPAXI S.A.</b>	
<b>Entrevistado:</b> Ing. Ramiro Vásquez, Director de Planificación	
<b>Entrevistador:</b> Los postulantes	
<b>Fecha:</b> 18 de Octubre del 2011	
<b>PREGUNTAS</b>	<b>INTERPRETACION</b>
<p>1.- ¿Por qué considera necesaria la realización de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>2.- ¿Conoce del equipo medidor de aislamiento (MIT 520/2), necesario para la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>3.- ¿Considera que un programa de simulación, permitirá analizar de mejor manera los resultados de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución mediante la utilización de gráficas?</p>	<p>A pesar de desconocer del equipo MIT 520/2 necesario para la prueba de aislamiento sólido, se manifiesta que realizar este tipo de prueba en los transformadores de distribución es de vital importancia ya que permitirá conocer el estado en el cuál se encuentra esta maquina, además se ve la necesidad de diseñar un programa de simulación que permita visualizar los resultados numéricos del equipo mediante curvas, las cuales permitirán desarrollar un mejor análisis de los resultados.</p>

TABLA N° 2.19

<b>EMPRESA ELÉCTRICA DE COTOPAXI S.A.</b>	
<b>Entrevistado:</b> Ing. Diego Moscoso, Departamento de Ingeniería y Construcción	
<b>Entrevistador:</b> Los postulantes	
<b>Fecha:</b> 18 de Octubre del 2011	
<b>PREGUNTAS</b>	<b>INTERPRETACION</b>
<p>1.- ¿Por qué considera necesaria la realización de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>2.- ¿Conoce del equipo medidor de aislamiento (MIT 520/2), necesario para la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>3.- ¿Considera que un programa de simulación, permitirá analizar de mejor manera los resultados de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución mediante la utilización de gráficas?</p>	<p>Al no conocer de este equipo medidor de aislamiento, se considera necesaria la prueba de aislamiento sólido, debido a que un transformador es una máquina estática importante en un sistema eléctrico de potencia y es necesario conocer el estado en el cuál se encuentra previa su instalación, la aplicación del equipo MIT 520/2 y un programa de simulación permitirá conocer las condiciones en la cual se encuentra en el transformador de distribución.</p>

TABLA N° 2.20

<b>EMPRESA ELÉCTRICA DE COTOPAXI S.A.</b>	
<b>Entrevistado:</b> Ing. Marco Basantes, Jefe de Subestaciones	
<b>Entrevistador:</b> Los postulantes	
<b>Fecha:</b> 18 de Octubre del 2011	
<b>PREGUNTAS</b>	<b>INTERPRETACION</b>
<p>1.- ¿Por qué considera necesaria la realización de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>2.- ¿Conoce del equipo medidor de aislamiento (MIT 520/2), necesario para la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución?</p> <p>3.- ¿Considera que un programa de simulación, permitirá analizar de mejor manera los resultados de la prueba de aislamiento sólido en los transformadores de distribución mediante la utilización de gráficas?</p>	<p>Un equipo medidor de aislamiento es de mucha importancia para la aplicación de la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución, ya que a esta máquina se considera importante porque permite elevar o reducir los niveles de voltaje dentro de un sistema eléctrico de potencia. Es factible diseñar un programa de simulación para el equipo MIT 520/2 debido a que se podrá conocer el estado en el cual se encuentra el transformador mediante el análisis de curvas gráficas.</p>

### **2.6.2 Encuesta**

Encuestas realizadas a 35 estudiantes del octavo nivel de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

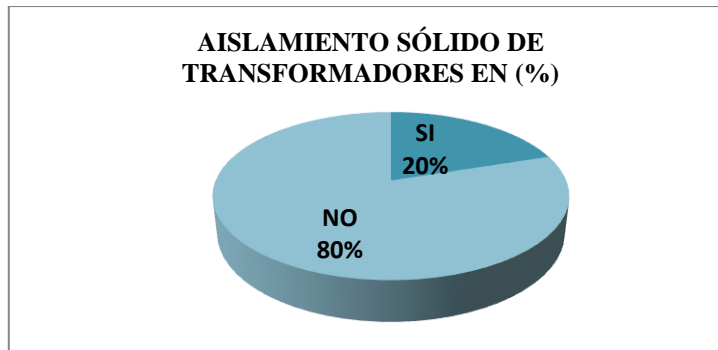
**PREGUNTA N° 1** ¿Conoce usted sobre los aislamientos sólidos para los transformadores?

TABLA N° 2.21  
AISLAMIENTOS SÓLIDOS DE TRANSFORMADORES

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	7	20
2	NO	28	80
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.2



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

### Interpretación

Como se puede observar en la figura 2.2 del 100% de los estudiantes encuestados, en su gran mayoría los estudiantes desconocen sobre los aislamientos sólidos que existen en un transformador, esto sucede porque a los estudiantes les hace falta una demostración práctica de lo teórico, ya que de los estudiantes encuestados en su minoría manifiestan si conocer los aislamientos sólidos del transformador debido a la enseñanza teórica asimilada en el salón de clase.

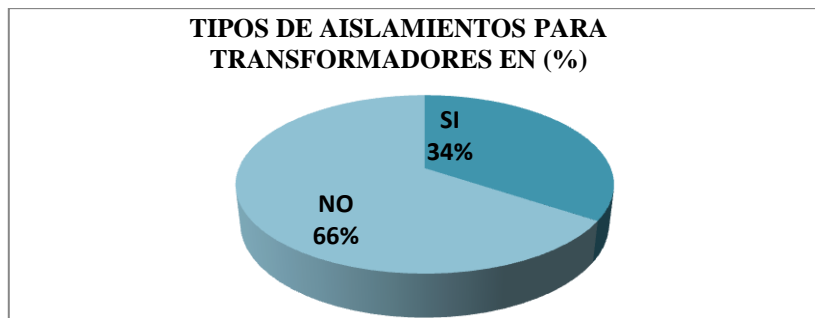
**PREGUNTA N° 2** ¿Conoce usted sobre los diferentes tipos de aislamiento que existen para un transformador?

TABLA N° 2.22  
TIPOS DE AISLAMIENTOS PARA TRANSFORMADORES

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	12	34
2	NO	23	66
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.3



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

De los 35 estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica que representan el 100% de los encuestados, los estudiantes aseveran no conocer sobre los tipos de aislamiento que existen en un transformador, esto es producido porque existe una necesidad de asimilar lo teórico con lo práctico, tanto los estudiantes que manifiestan si conocer sobre los tipos de aislamiento es por la ilustración gráfica realizada en los lugares de enseñanza.



**PREGUNTA N° 3** ¿Considera usted que el aislamiento sólido de un transformador protege a todo un sistema eléctrico?

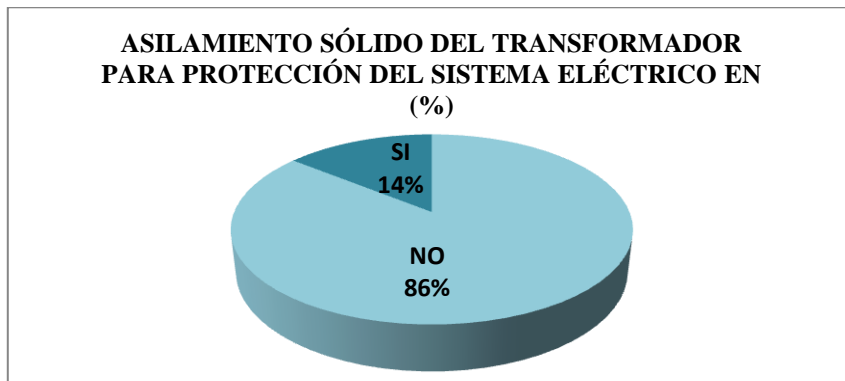
TABLA N° 2.23

AISLAMIENTOS SÓLIDO DEL TRANSFORMADOR PARA PROTECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	5	14
2	NO	30	86
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.4



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

En la encuesta planificada para los 35 estudiantes de octavo semestre en la carrera de Ingeniería Eléctrica, la gran mayoría asevera que los aislamientos sólidos de un transformador no están diseñados para proteger a un sistema eléctrico de potencia, por lo cual es necesario que los estudiantes deben realizar análisis prácticos en transformadores para poder tener un mejor entendimiento de las funciones de esta máquina.

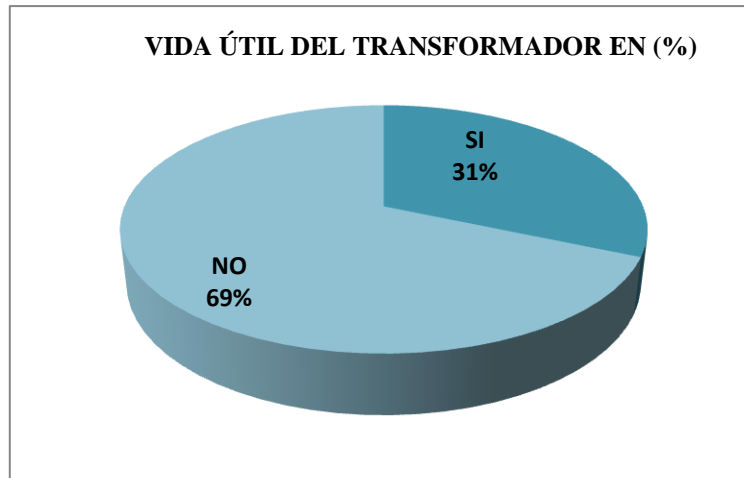
**PREGUNTA N° 4** ¿Sabe usted cómo precautelar la vida útil de un transformador?

TABLA N° 2.24  
VIDA ÚTIL DEL TRANSFORMADOR

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	11	31
2	NO	24	69
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.5



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

Debido a los análisis detallados anteriormente, en esta pregunta de investigación se determina que para la gran mayoría de los estudiantes es necesaria la realización de prácticas, las cuales ayudarán a tener un conocimiento general y uniforme, de cómo está constituido un transformador, su importancia, etc.

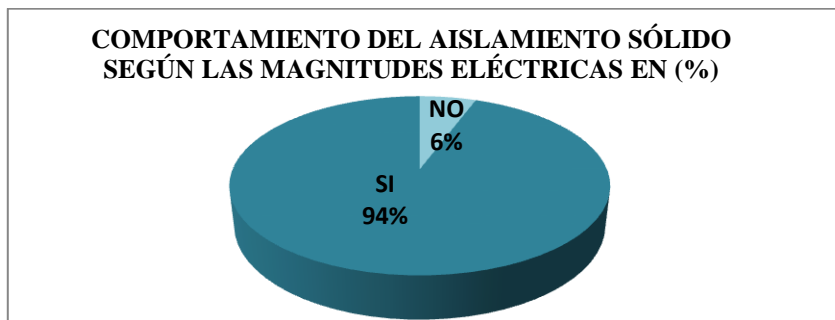
**PREGUNTA N° 5** ¿Considera usted que el comportamiento de un aislamiento sólido de un transformador variará según sus magnitudes eléctricas?

TABLA N° 2.25  
COMPORTAMIENTO DEL AISLAMIENTO SÓLIDO SEGÚN LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	33	94
2	NO	2	6
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA N° 2.6



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

### Interpretación

Un aislamiento sólido en buenas condiciones se debe comportar de la siguiente manera; si se eleva el voltaje el nivel de resistencia aumenta, mientras que un aislamiento con un grado de degradación, elevando el voltaje se notará una reducción del aislamiento, lo que indica que existe la presencia de humedad u otro contaminante, estos parámetros indican que sí existen variaciones de magnitudes eléctricas, existirán variaciones en el comportamiento del aislamiento del transformador.

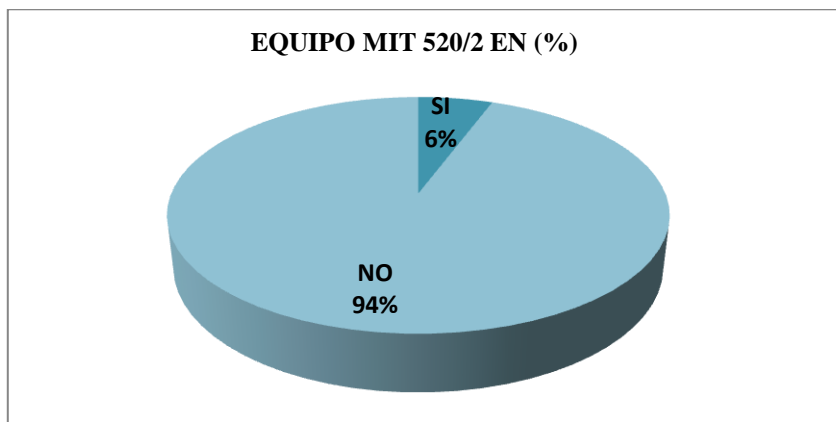
**PREGUNTA N° 6** ¿Conoce usted acerca del equipo MIT 520/2 (Measurement Insulation Test)?

TABLA N° 2.26  
EQUIPO MIT 520/2

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	2	6
2	NO	33	94
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.7



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

### Interpretación

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 2.7, los estudiantes desconocen del equipo MIT 520/2 el cual permite realizar pruebas de aislamiento sólido, por cuanto se ha visto necesario la implementación del equipo MIT 520/2 (Measurement Insulation Test) en laboratorio de pruebas de transformadores de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

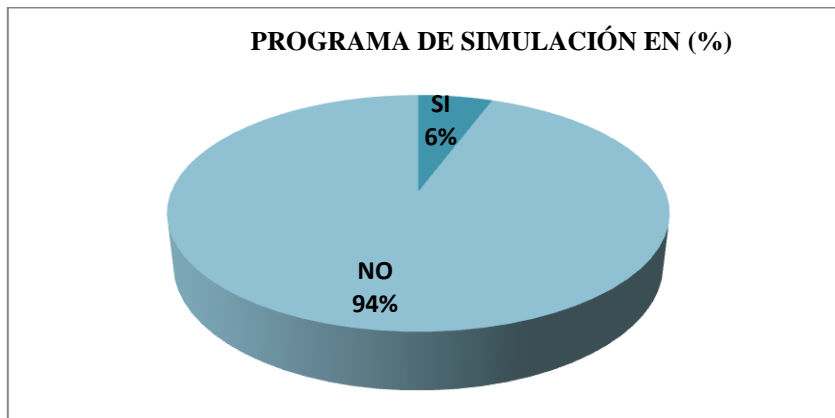
**PREGUNTA N° 7 ¿Conoce usted acerca de un programa de simulación?**

TABLA N° 2.27  
PROGRAMA DE SIMULACIÓN

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	2	6
2	NO	33	94
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.8



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

**Interpretación**

Como se puede apreciar la mayoría de los encuestados mencionan que desconocen de un programa de simulación. Lo que indica que es necesaria la implementación de este programa de simulación, ya que por medio de este se podrá analizar de una manera gráfica los resultados numéricos obtenidos mediante el equipo medidor de aislamiento.

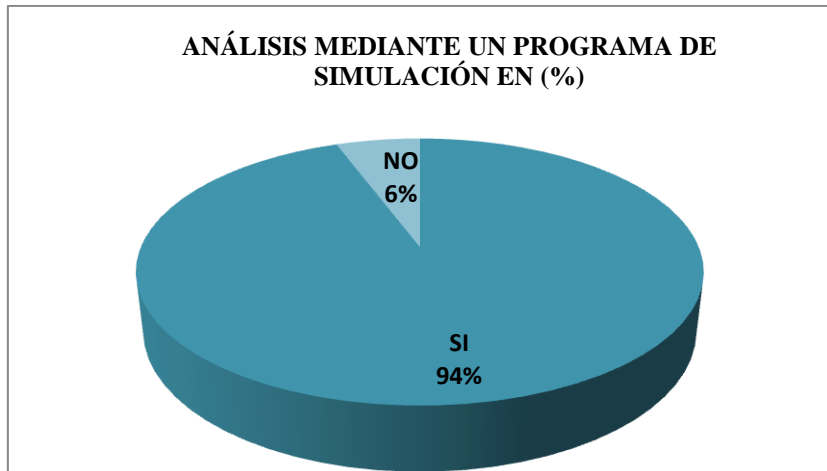
**PREGUNTA N° 8** ¿Considera que el programa de simulación permitirá analizar de mejor manera los resultados medidos por el equipo medidor de aislamiento MIT520/2?

TABLA N° 2.28  
ANÁLISIS MEDIANTE UN PROGRAMA DE SIMULACIÓN

ITEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	33	94
2	NO	2	6
<b>TOTAL</b>		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

FIGURA N° 2.9



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.  
ELABORADO POR: Los postulantes

### Interpretación

En el resultado de esta pregunta la mayoría de los encuestados aseveran, que un programa de simulación es importante para el equipo MIT 520/2, el cual permitirá verificar resultados tomados por el equipo mediante graficas y así se podrá interpretar de una mejor manera todos los resultados.

## **2.7 Enunciado de la hipótesis**

¿La aplicación del equipo MIT 520/2 en la prueba de aislamiento sólido para transformadores de distribución monofásicos y trifásicos en el laboratorio de pruebas de transformadores, permitirá la elaboración de un programa de simulación?

## **2.8 Verificación de la hipótesis**

Para verificar esta hipótesis se realizó entrevistas, encuestas y la ejecución de pruebas de aislamiento sólido en el laboratorio de pruebas de transformadores de distribución monofásicos y trifásicos de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Entonces la hipótesis planteada es verdadera puesto que basados en los resultados tomados por las entrevistas, encuestas y la ejecución de las pruebas, se puede determinar que es factible la realización del programa de simulación para el equipo MIT 520/2.

Con la elaboración del programa de simulación para el equipo detallado, se podrá analizar los resultados de una mejor manera mediante gráficas.

CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
<p>Basados en las pruebas realizadas en transformadores con el equipo MIT 520/2, se concluye que para el ensayo de aislamiento sólido en transformadores de distribución se debe realizar en dos procesos; resistencia de aislamiento y pasos de voltaje, estos procesos permiten conocer los niveles de aislamiento en el cual se encuentra el transformador.</p> <p>Para la ejecución de cualquier tipo de prueba a realizarse en transformadores, es necesario: la aplicación de normas técnicas y equipos adecuados; estos aspectos permitirán un correcto análisis de los resultados y un buen manejo del equipo respectivamente.</p> <p>La vida útil de un transformador depende directamente del sistema de aislamiento, ya que con el deterioro de éste, el transformador no puede prestar servicio al sistema eléctrico de potencia.</p> <p>Para tener un análisis de resultados de este tipo de prueba más detallado, es necesario la elaboración de un programa de simulación que permita analizar los resultados de una mejor manera mediante gráficas.</p>	<p>Realizar la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución con el equipo MIT 520/2, que permita establecer los niveles de aislamiento al inicio de su operación.</p> <p>Se recomienda que para el laboratorio de pruebas de transformadores, se realice la adquisición de las Normas Técnicas INEN, IEEE y ANSI, las cuales están dirigidas a la aplicación de pruebas eléctricas en transformadores de distribución y potencia.</p> <p>Según manifiesta la compañía ABB se recomienda realizar la prueba de resistencia de aislamiento una vez cada año o cuando se note un cambio brusco.</p> <p>Se recomienda elaborar un programa de simulación en el software VISUAL BASIC 6.0, el cual permita convertir los resultados numéricos en gráficas, haciendo más sencillo y seguro el análisis de resultados de la prueba de aislamiento sólido realizada a los transformadores de distribución.</p>



## **CAPÍTULO III**

### **PROGRAMA DE SIMULACIÓN PARA EL EQUIPO MEDIDOR DE AISLAMIENTO MIT 520/2**

### **3.1 Presentación**

En el presente capítulo se elaborará un programa de simulación para el equipo MIT 520/2, con el cual se podrá analizar mediante gráficas los resultados obtenidos en los transformadores de distribución monofásicos y trifásicos.

Usando este programa de simulación conjuntamente con el equipo medidor de aislamiento MIT 520/2 de la marca MEGGER, se establecerá las condiciones del nivel de aislamiento sólido en los cuales se encuentran los transformadores.

### **3.2 Justificación de la propuesta**

En base al segundo capítulo en el cual se detalla la investigación de campo, es importante la elaboración del programa de simulación, ya que por medio de ésta programación se podrá observar valores numéricos y gráficas que ayudarán a un mejor análisis de los resultados.

La utilidad del proyecto en lo técnico y práctico, está dirigida hacia los estudiantes, quienes podrán asimilar la fundamentación teórica con la práctica dentro y fuera del establecimiento, adquiriendo de esta manera nuevos conocimientos.

### **3.3 Objetivos**

#### ***3.3.1 Objetivo general***

- Elaborar un programa de simulación mediante el software Visual Basic 6.0, para el equipo MIT 520/2 (Measurement Insulation Test), en el laboratorio de pruebas de transformadores de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

### **3.3.2 *Objetivos específicos***

- Analizar los resultados de las pruebas de aislamiento sólido aplicadas con el equipo MIT 520/2.
- Establecer un tipo de programa computacional que contribuya en el diseño del programa de simulación para el equipo MIT 520/2.
- Desarrollar un lenguaje de programación que permita al usuario ingresar, operar, visualizar e imprimir las distintas actividades realizadas por el programa de simulación.

## **3.4 Alcance**

Basados en la necesidad de optimizar los resultados de la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución monofásicos y trifásicos, se considera importante la elaboración de un programa de simulación compatible para el equipo MIT 520/2, este programa de simulación deberá permitir analizar de una manera más detallada, sencilla y segura los resultados de la prueba en este proyecto de investigación.

## **3.5 Desarrollo de la propuesta**

Este programa de simulación será desarrollado en Visual Basic 6.0, programación que está dirigida por eventos. Para la elaboración del programa de simulación se deberá considerar las normas técnicas detalladas en el capítulo 1, las cuales están dirigidas a las pruebas en transformadores de distribución y potencia. El propósito del proyecto es facilitar el análisis de resultados, lo que permitirá conocer el estado en el cual se encuentran los niveles de aislamiento de los transformadores.

### 3.6 Algoritmos del programa de simulación “MAS.UTC”

FIGURA N° 3.1  
ALGORITMO USADO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN

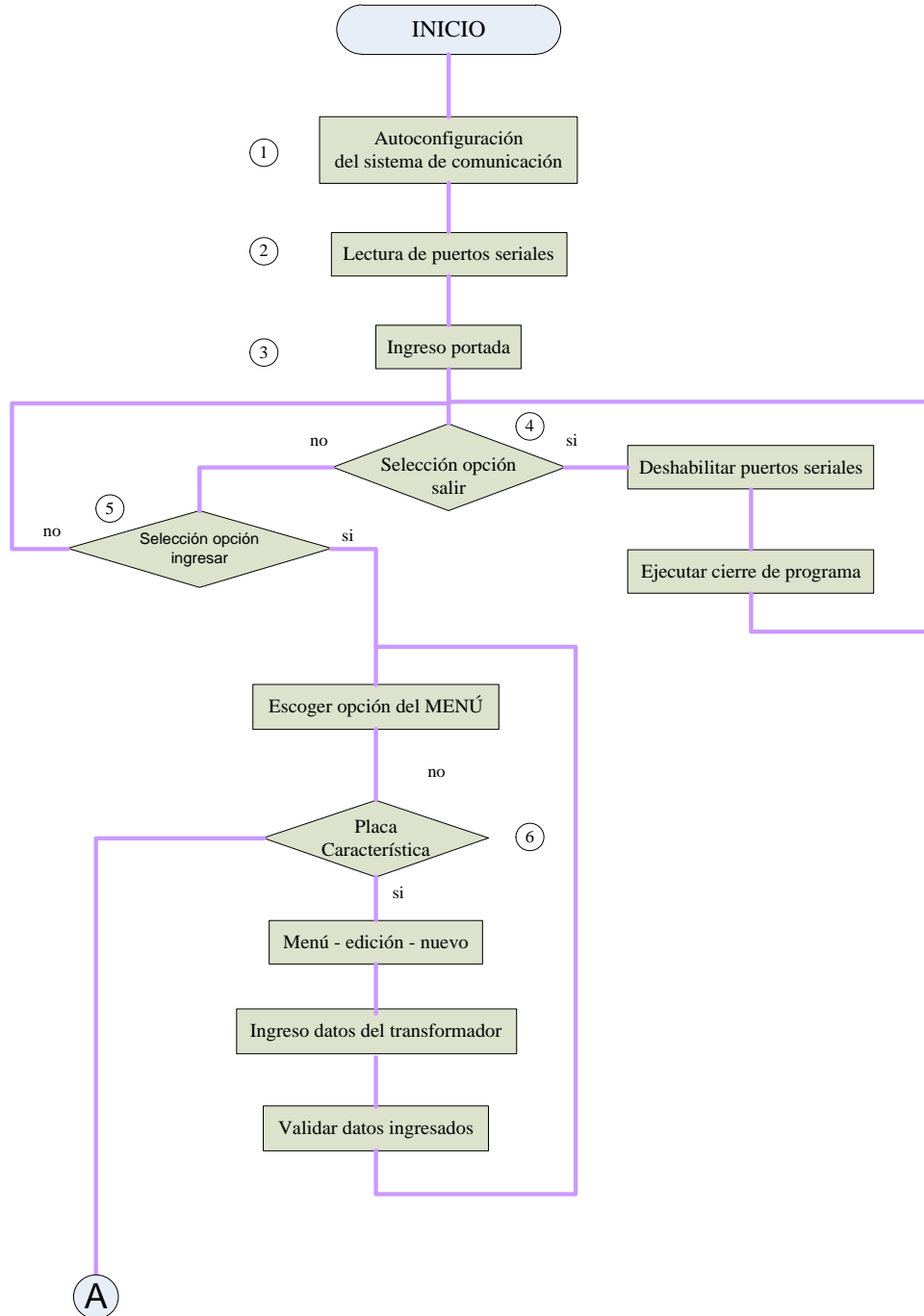


FIGURA N° 3.2  
ALGORITMO USADO PARA LA PRUEBA DE AISLAMIENTO SÓLIDO

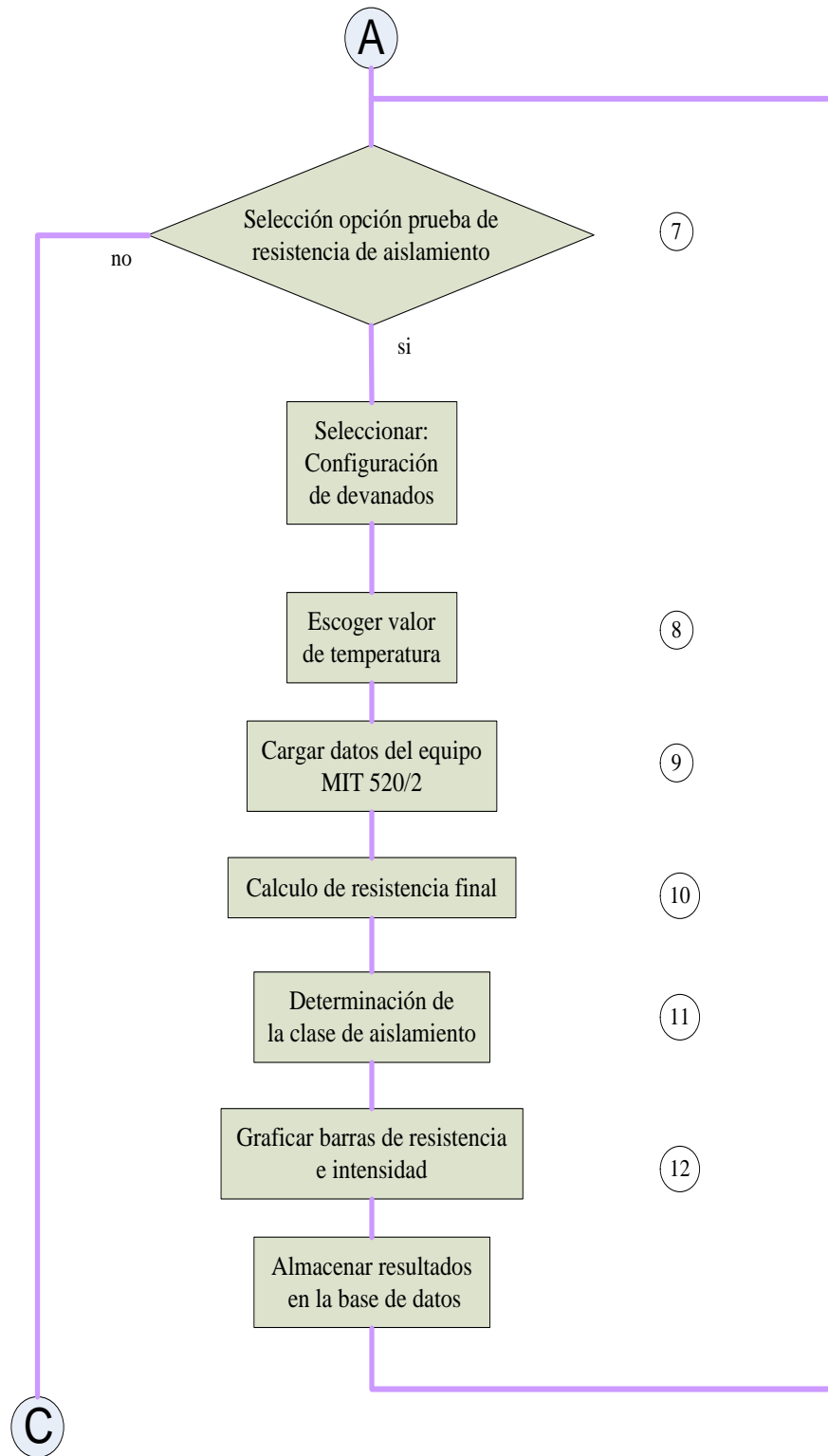


FIGURA N° 3.3  
ALGORITMO USADO PARA LA PRUEBA PASOS DE VOLTAJE

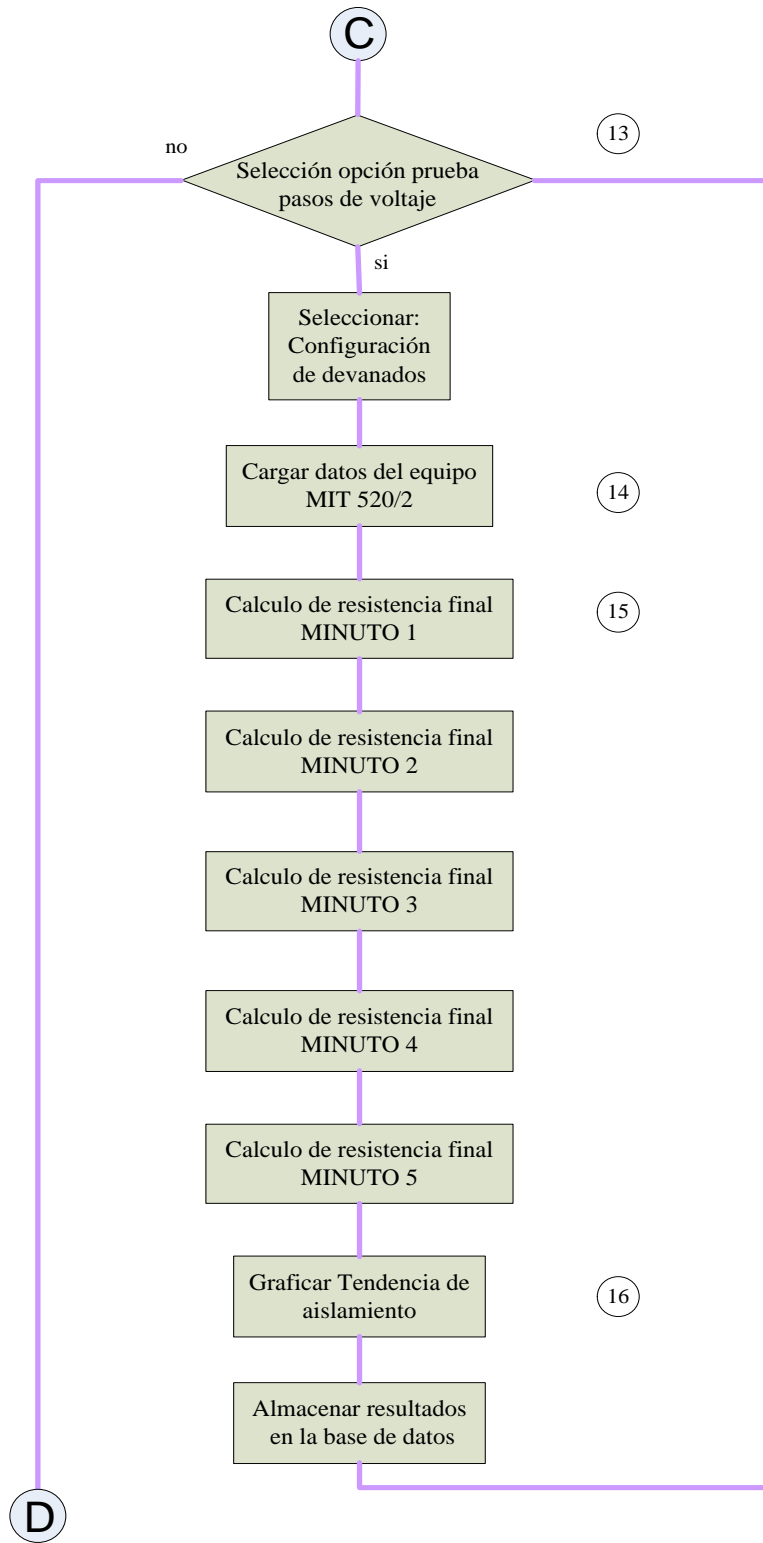
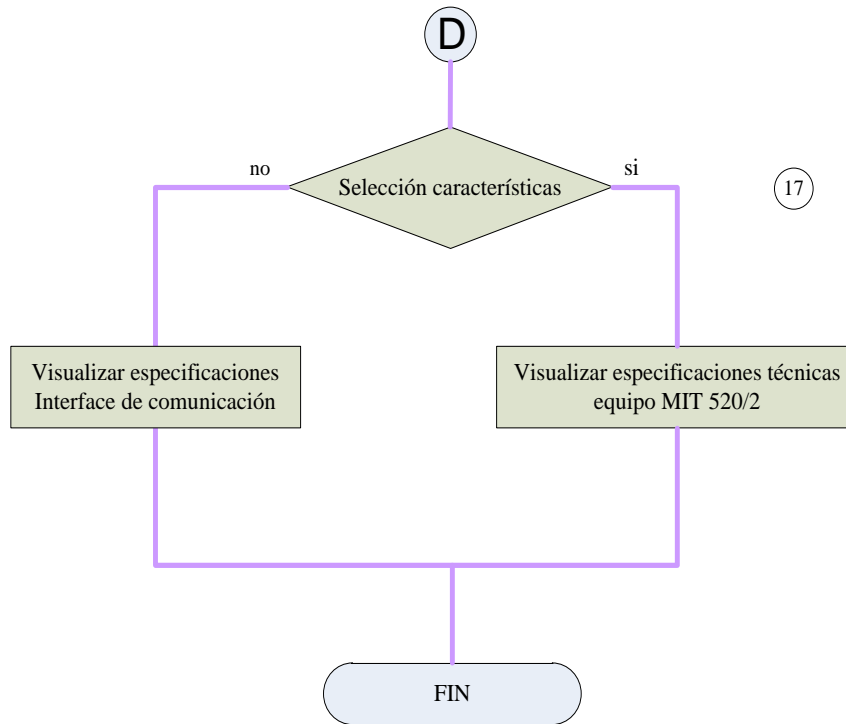


FIGURA N° 3.4  
 ALGORITMO USADO PARA ESPECIFICACIONES DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN  
 Y PARA EL EQUIPO MIT 520/2

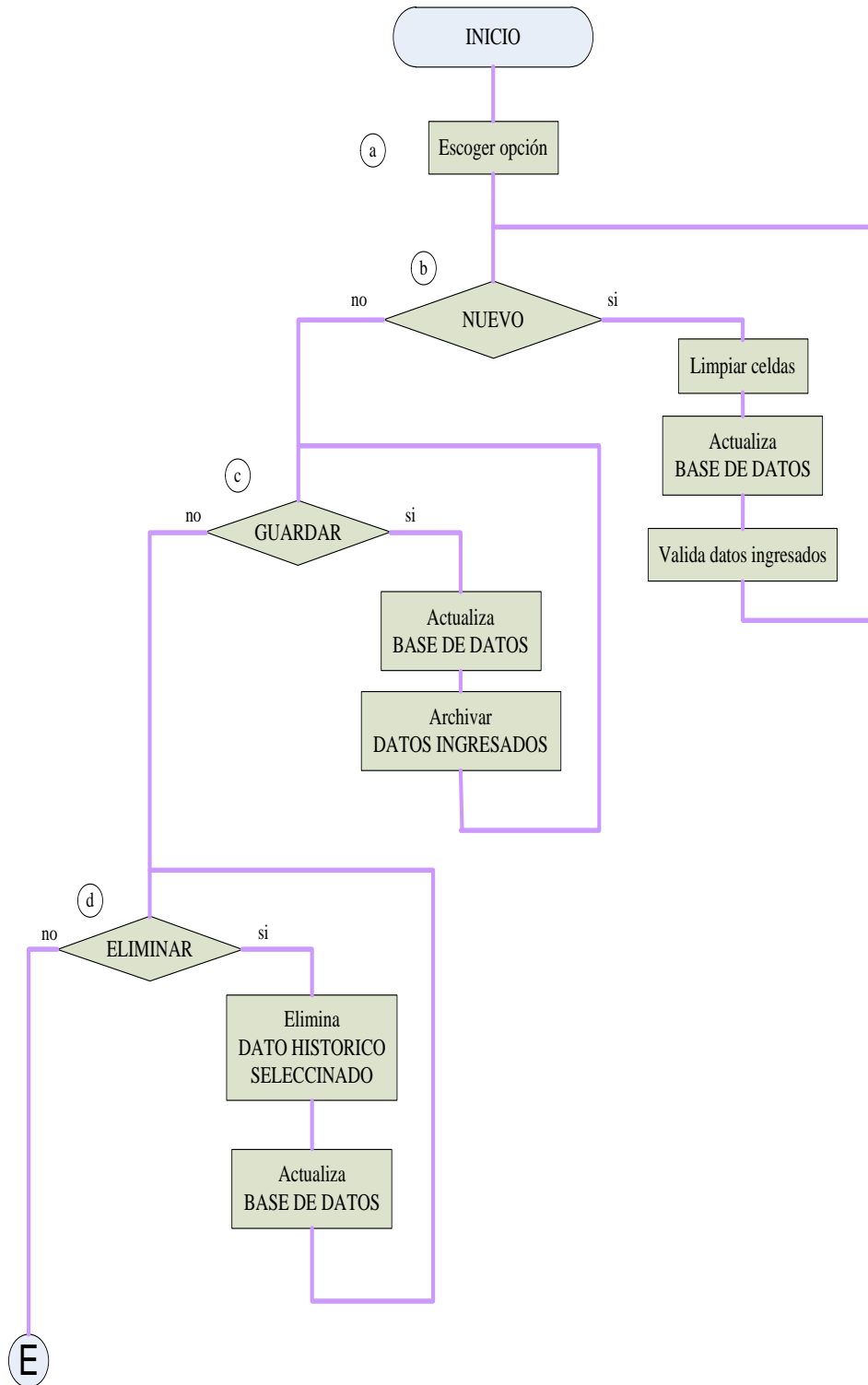


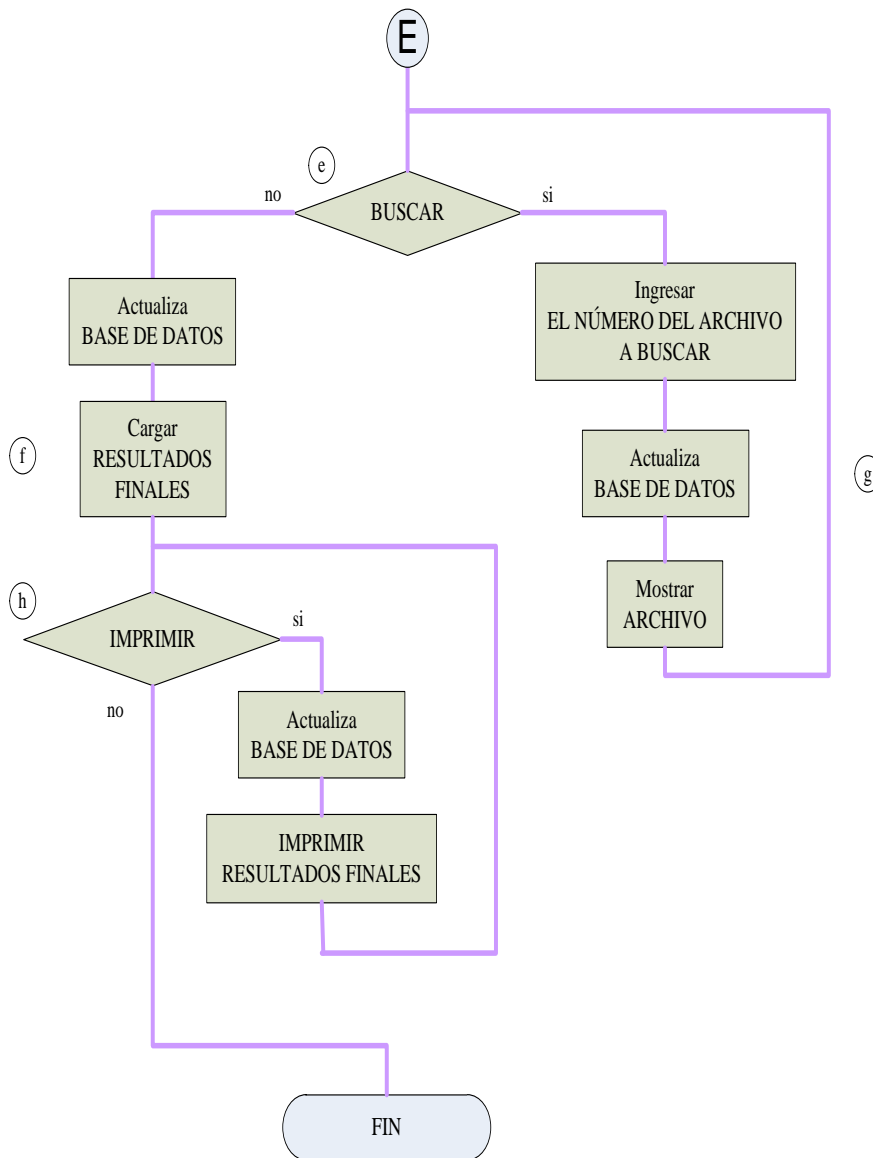
1. Se configura el puerto serial RS-232 programado en “MAS.UTC”.
2. Identifica la correcta configuración del puerto serial RS-232.
3. Presentación del programa de simulación para el equipo medidor de aislamiento MIT 520/2.
4. Permite al usuario abandonar la ejecución del programa “MAS.UTC”, si abandona se deshabilita los puertos seriales y se ejecuta finalizar programa.
5. Accede al menú principal donde se puede encontrar las aplicaciones para la prueba de aislamiento sólido en transformadores de distribución.
6. Cuando en el programa haya seleccionado “*placa característica*”, el usuario puede ingresar los datos de placa del transformador.
7. Si el usuario determina la prueba resistencia de aislamiento en cada una de sus configuraciones, el programa recibe los valores del equipo MIT 520/2, calcula la resistencia y su clase de aislamiento.

8. Permite determinar un factor de corrección según la norma técnica ANSI C57.12.00 a 20°C.
9. El programa carga los datos del equipo cuando se encuentre en una determinada prueba.
10. Se obtiene el valor de la resistencia corregida por el factor de temperatura.
11. El programa determina la clase de aislamiento, según la norma técnica ANSI C57.12.00, presentadas en el capítulo 1.
12. Luego de haber encontrado la resistencia y la clase de aislamiento, el programa gráfica los valores numéricos del equipo MIT 520/2 en gráficas de barras para la resistencia e intensidad sobre el aislamiento.
13. Se recomienda que para elaborar la prueba pasos de voltaje se aplique en primer lugar la prueba resistencia de aislamiento, la prueba pasos de voltaje debe ser realizada con una duración mínima de cinco minutos.
14. Para cargar los datos del equipo MIT 520/2, es necesario que se aplique una determinada prueba.
15. Al cargar los datos del equipo el programa calculará un resultado al final de cada minuto.
16. Al obtener los cinco valores finales de la prueba pasos de voltaje, el programa graficará la tendencia del aislamiento.
17. El usuario además podrá conocer mediante la ejecución del programa especificaciones técnicas del equipo MIT 520/2 y la configuración de la interface de comunicación.



FIGURA N° 3.5  
ALGORITMO USADO PARA BASE DE DATOS DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN





a. La base de datos del programa de simulación “MAS.UTC”, esta conformada por diferentes opciones:

- Nuevo
- Guardar
- Eliminar
- Buscar
- Imprimir

- b. Al ejecutar la opción **“nuevo”** de la base de datos, el programa ejecutará una limpieza en todas las celdas permitiendo adjuntar nuevos resultados de pruebas.
- c. Una vez tomado los resultados de la prueba de aislamiento el usuario los podrá almacenar, para poder disponer de ellos cuando se considere necesario.
- d. El usuario dispone de la opción **“eliminar”**, lo que permite deshacer datos históricos no deseados.
- e. La opción **“buscar”** permite al usuario encontrar un dato histórico con mayor facilidad y rapidez.
- f. Cuando se culmina con la aplicación de la prueba de aislamiento y pasos de voltaje la opción **“cargar resultados”**, permite visualizar todos los resultados en una sola ventana.
- g. El programa permite actualizar los datos en todas sus ventanas, de forma automática.
- h. Al obtener los resultados finales estos se podrán imprimir, haciendo más fácil la elaboración de informes.

## BIBLIOGRAFÍA

- ROSENBERG Robert, 2003; Reparación de Motores Eléctricos; Séptima Edición, 1970 by Holt, Rinehart and Windston, Inc. (EE.UU).
- CAMARENA M. Pedro, noviembre 1974; Segunda Edición, Transformadores Eléctricos Industriales, Reparación, Diseño y Construcción.
- CORRALES L. Julio C., Quito 1999; Pruebas para Instalación Puesta en Servicio, Operación y Mantenimiento de Transformadores de Potencia.
- ALDAS S. Alejandro, Quito 1974; Proyecto de Norma para Pruebas de Transformadores.
- ROBALINO S. Ivan M., Quito 1998; Vida Útil de los Transformadores.
- SANZ FEITO Javier, Madrid 2002; Maquinas Eléctricas.
- BHAG S. GURV, HUSEYNG R. HIZIROGLV, 2003; Tercera Edición, Maquinas Eléctricas y Transformadores.
- RAMIREZ VASQUEZ, J., España 1994; Séptima Edición, Transformadores Convertidores-Enciclopedia CEAC de Electricidad.
- E.E. STAFF, del M.I.T, 1981; Circuitos Magnéticos y Transformadores.

- ENRIQUEZ Harper, México Predicción 1987; Técnicas Computacionales en Ingeniería de Alta Tensión.
  
- BEAN Richard, CHACKAN Nicholas, MOORE Harold R., WENTZ Edward C., OCTUBRE 1963; Transformadores para la Industria Eléctrica.
  
- ING. PEREZ Pedro A., Tercera Edición; Transformadores de Distribución Teoría, Calculo, Construcción y Pruebas
  
- FRAILE MORA Jesús, 2003; Quinta Edición, Máquinas Eléctricas.
  
- A. E. Fitzgerald, CHARLES Kingsley, Jr., STEPHEN D. Umans, Enero del 2004, Sexta Edición, Máquinas Eléctricas.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

### **Aislamiento eléctrico**

El aislamiento eléctrico se produce cuando se cubre un elemento de una instalación eléctrica con un material que no es conductor de la electricidad, es decir, un material que se resiste al paso de la intensidad eléctrica. Dicho material se denomina aislante eléctrico.

### **Avería eléctrica**

Una falla del aislamiento que expone los conductores electrificados, haciendo que la corriente se escape y posiblemente dé por resultado un choque eléctrico.

### **Bajo voltaje**

Es la disminución del nivel de voltaje por debajo del rango normal de operación, esto es producido debido a la resistencia que ofrece todo tipo de conductor eléctrico sea este de cobre o aluminio, esto varía según la longitud y secciones del conductor.

### **Base de datos**

Constituye la agrupación de varias tablas para el almacenamiento de la información.

### **Basic**

Lenguaje de programación, facilita el empleo de los ordenadores, se lo utiliza en pequeños ordenadores.

## **Confiabilidad**

Seguridad de que un dispositivo o sistema opera exitosamente en un ambiente específico durante un cierto período.

## **Conexión a tierra**

Una conexión para prevenir la acumulación de voltajes peligrosos en un circuito creando un camino de baja resistencia a tierra, o a algún cuerpo conductor que sirva para llevarlo a tierra.

## **Degradación**

La degradación es producida cuando todo tipo de elementos sufren alteraciones en su construcción y pierden su calidad efectiva de operación, esto puede ser debido a diferentes causas ya sean ambientales o químicas.

## **Desenergizar**

Liberar de cualquier conexión eléctrica o carga eléctrica.

## **Dieléctrico**

Es un material que no conduce la electricidad por lo que pueden ser utilizados como aislantes eléctricos.

## **Fiabilidad**

La fiabilidad de un sistema es la probabilidad de que ese sistema desarrolle una cierta función, bajo condiciones fijadas y durante un período determinado.

## **Flujo magnético**

Es una medida de la cantidad de magnetismo, y se calcula a partir del campo magnético. La unidad de flujo magnético en el Sistema Internacional de Unidades es el weber y se designa por [Wb].

## **Inducción magnética**

Es el flujo magnético por unidad de área de una sección normal a la dirección del flujo, y en algunos textos modernos recibe el nombre de intensidad de campo magnético, ya que es el campo real. La unidad de la densidad en el Sistema Internacional de Unidades es el [T].

## **Intensidad eléctrica**

Es el movimiento de los electrones en el interior de un material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en amperio [A].

## **Interfaz**

Es la conexión entre la unidad de disco y el buss del sistema que determina la velocidad a la cual la información se puede transmitir.

## **Puertos**

Permiten la conexión del computador y los periféricos logrando la interfaz. Estos puertos pueden ser seriales o paralelos.



### **Sobre contracción**

Es un efecto que produce que las dimensiones normales de un elemento se vean afectadas debido a cambios de la temperatura.

### **Sobre expansión**

Es producida debido a la dilatación térmica al aumento de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en ella por cualquier medio.

### **Sobre voltaje**

Se produce cuando las magnitudes de voltaje superan el valor preestablecido como valor normal de operación.

### **USB**

Es un puerto que proporciona mayor velocidad de transmisión en la conexión de los periféricos con relación a los puertos seriales y paralelos.

### **Velocidad de transmisión**

Es el tiempo que se demora desde el orden de lectura hasta el aparecimiento de la información en la salida.

### **Voltaje**

La fuerza o la presión fundamental que causa que la electricidad fluya a través de un conductor. Se mide en voltios [V].

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

<b>ANSI</b>	American National Standards Institute.
<b>Basic</b>	Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code.
<b>°C</b>	Grados centígrados.
<b>GΩ</b>	Giga ohmio.
<b>H<sub>1</sub></b>	Inicio devanado de alto voltaje.
<b>H<sub>2</sub></b>	Final devanado de alto voltaje.
<b>A</b>	Amperios.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>kV</b>	Kilovolts.
<b>kVA</b>	Kilovoltamperios.
<b>KΩ</b>	Kilo ohmio.
<b>mA</b>	mili amperios.
<b>MIT</b>	Measurement Insulation Test.
<b>MB</b>	Megabyte.
<b>MΩ</b>	Mega ohmio.
<b>nA</b>	nano amperios.
<b>NTE – INEN</b>	Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización.
<b>RAM</b>	Random Access Memory.
<b>T</b>	Tesla.
<b>TΩ</b>	Tera ohmio.
<b>uA</b>	micro amperios.
<b>V</b>	Voltios.
<b>VB</b>	Visual Basic.
<b>X<sub>1</sub></b>	Inicio devanado de bajo voltaje.
<b>X<sub>2</sub></b>	Final devanado de bajo voltaje.