



# *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA*

*AREA DE ENERGIA INDUSTRIAS Y RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES*

**INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA**

## ***Tesis de grado***



**TITULO:** “Diseño de un banco de pruebas para transformadores de distribución”

**DIRECTOR:** M. Sc. Jorge Muñoz

**AUTOR:** Jeferson Daniel Pazmiño Bustamante

Loja – Ecuador

2004 – 2005





---

---

***DECLARACIÓN DEL AUTOR:***

*Yo, Jeferson Daniel Pasmíño Bustamante, autor de este trabajo de tesis, certifico la propiedad intelectual a favor de la Universidad Nacional de Loja, las cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad académica que estimen conveniente.*

-----  
*Jeferson Daniel Pasmíño Bustamante*

***Autor***



**PENSAMIENTOS:**

*Cuba nos une en extranjero suelo, auras de Cuba nuestro amor desea:  
Cuba es tu corazón, Cuba es mi cielo, Cuba es un libro mi palabra  
sea.*

*“Cuba nos une...”Versos de circunstancias”*

*Así, en un día, dejan de amar los hombres a la mujer a quien  
quisieron entrañablemente, cuando en un acto claro e inesperado les  
revela que en aquella alma no existen la dulzura y superioridad con la  
que la envistió su fantasía.*

*Ibídem*

*Los hombres honrados no necesitan discutir mucho un acto de honor*

*“Circular”. Nueva Cork, abril 28 de 1880*

*Los estudiantes son el valuarte de la libertad, y su ejército mas firme.*

*“Novela ‘Amistad funesta’”*

*Los conocimientos se fijan más, en tanto se les da una forma más  
amena.*

*“Boletines de Orestes”. Revista Universal*

*¿Cómo han de salir de las universidades los gobernantes, si no hay  
universidad en América donde se enseñe lo rudimentario del arte del  
gobierno, que es el análisis de los elementos peculiares de los pueblos  
de América?*

*“Nuestra América”. La Revista Ilustrada*



---

---

**DEDICATORIA:**

*Todo el esfuerzo que empuñé en el proceso de este trabajo realizado en una pequeña parte de mi vida, lo consagro al coraje de mis padres Dicsie Bustamante y Francois Pazmiño, quienes con responsabilidad inculcaron en mí honradez, sencillez, y fuerza de valor para cumplir mis metas; también consagro este esfuerzo a mis queridos maestros-amigos quienes con su experiencia y sabiduría ordenaron mis ideas y ampliaron mis ambiciones cotidianas; y por que no a amigos y compañeros con los que he superado problemas en la adversidad de la vida.*





## Simbología

$S_n$	Potencia aparente nominal
$U_{1n}$	Tensión del enrollado primario nominal
$I_{1n}$	Intensidad del enrollado primario nominal
$U_{2n}$	Tensión del enrollado secundario nominal
$I_{2n}$	Intensidad del enrollado secundario nominal
$U_1$	Tensión del enrollado primario
$I_1$	Intensidad del enrollado primario
$U_2$	Tensión del enrollado secundario
$I_2$	Intensidad del enrollado secundario
$\Phi$	Flujo magnético
$\Phi_m$	Flujo magnético resultante
$\mu$	Permeabilidad magnética
$W_1$	Vueltas del enrollado primario
$W_2$	Vueltas del enrollado secundario
$C$	Factor de acoplamiento magnético
$M$	Inductancia mutua de los enrollados
$L_{11}$	Inductancia propia del enrollado primario
$L_{22}$	Inductancia propia del enrollado secundario
$e_1$	Fuerza electromotriz para corriente alterna sinusoidal del primario
$e_2$	Fuerza electromotriz para corriente alterna sinusoidal del secundario
$d\psi_1$	Diferencial del flujo magnético
$dt$	Diferencial con respecto al tiempo
$\omega$	Velocidad angular
$t$	Tiempo
$E_1$	Fuerza electromotriz efectiva del enrollado primario
$E_2$	Fuerza electromotriz efectiva del enrollado secundario
$f$	Frecuencia
$K$	Relación de transformación
$E_2'$	Fuerza electromotriz efectiva del secundario referida al primario
$U_2'$	Tensión del secundario referido
$I_2'$	Intensidad del secundario referido
$r_2'$	Resistencia del enrollado secundario reducido
$r_2$	Resistencia del enrollado secundario
$x_2'$	Reactancia referida del secundario
$x_2$	Reactancias inductivas del enrollado secundario
$P_{mag}$	Perdidas magnéticas
$U_{12}$	Tensión en los bornes 1-2



---

---

$x'_{12}$	Reactancia referida entre los puntos 1 y 2
$x_{n1}$	Reactancia nominal del primario
$r_{mag}$	Resistencia de la rama magnetizante
$m_1$	Numero de fases
$I_M$	Corriente magnetizante
$I_{Ma}$	Intensidad magnetizante activa
$I_{Mr}$	Intensidad magnetizante reactiva
$B_n$	Campo magnético
$Z_M$	Impedancia magnetizante
$r_M$	Resistencia magnetizante
$x_M$	Reactancia magnetizante
$Z'_2$	Impedancia del secundario referida
$Z_{M*}$	Impedancia magnetizante en unidades relativas
$Z_{1*}$	Impedancia magnetizante en unidades relativas
$Z'_{2*}$	Impedancia del secundario referida en unidades relativas
$U_N$	Tensión nominal
$I_N$	Corriente nominal
$Z_N$	Impedancia en unidades relativas
$Z_K$	Impedancia de cortocircuito
$r_K$	Resistencia de cortocircuito
$x_K$	Reactancia de cortocircuito
$Z_{K*}$	Impedancia de cortocircuito en unidades relativas
$\varphi_2$	Angulo de defasaje
$P_{el1}$	Perdidas eléctricas del primario
$P_{em}$	Potencia electromagnética
$P_{el2}$	Perdidas eléctricas del secundario
$Q_1$	Potencia reactiva del primario
$q_1$	Potencia reactiva perdida en el primario
$q_{mag}$	Potencia reactiva perdida en el núcleo
$q_2$	Potencia reactiva perdida en el secundario
$\Delta U^*$	Variación de tensión en unidades relativas
$U_{20*}$	Tensión de vacío en el secundario en unidades relativas
$U_{2*}$	Tensión de carga en el secundario en unidades relativas
$U'_{20*}$	Tensión de vacío en el secundario en unidades relativas referida
$U'_{2*}$	Tensión de carga en el secundario en unidades relativas referida
$u_{ka}$	Tensión de cortocircuito activa
$u_{kr}$	Tensión de cortocircuito reactiva
$\Delta U\%$	Variación de tensión en porcentaje
$u_{ka}\%$	Tensión de cortocircuito activa en porcentaje
$u_{kr}\%$	Tensión de cortocircuito reactiva en porcentaje



$K_c$	Factor de carga
$P_K$	Potencia de cortocircuito
$P_0$	Potencia de vacío
$K_\theta$	Factor de temperatura para otros metales
$P_\Sigma$	Sumatoria de pérdidas
$\eta$	Rendimiento
$U_p$	Tensión de prueba
$U_{baja}$	Tensión de baja
$x_0$	Reactancia de vacío
$r_0$	Resistencia de vacío
$U_0$	Tensión de vacío
$I_0$	Corriente de vacío
$Z_0$	Impedancia de vacío
$\cos\varphi$	Factor de potencia
$\cos\varphi_0$	Factor de potencia de vacío
$Z_{0*}$	Impedancia de vacío relativo
$r_{0*}$	Resistencia de vacío relativo
$x_{0*}$	Reactancia de vacío relativo
$U_{kl}$	Tensión de cortocircuito de línea
$I_{kl}$	Tensión de cortocircuito de línea
$u_{k*}$	Tensión de cortocircuito relativo
$u_{k\%}$	Tensión de cortocircuito en porcentaje



*Master. Jorge Patricio Muñoz*

**DIRECTOR DE TESIS**

**CERTIFICA:**

*Que el Sr. Jeferson Daniel Pasmíño Bustamante, egresado de la carrera de Ingeniería Electromecánica desarrolló el trabajo de investigación sobre el tema “DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION”, la misma que ha sido revisada en forma prolija, cumpliendo con las normas generales para la graduación en la Universidad Nacional de Loja, para lo cual autorizo su presentación.*

*Loja, 12 de Abril del 2006*

*M. Sc. Jorge Patricio Muñoz*  
**DIRECTOR DE TESIS**



---

---

***DECLARACIÓN DEL AUTOR:***

*Yo, Jeferson Daniel Pasmíño Bustamante, autor de este trabajo de tesis, certifico la propiedad intelectual a favor de la Universidad Nacional de Loja, las cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad académica que estimen conveniente.*

-----  
*Jeferson Daniel Pasmíño Bustamante*

***Autor***



## **PENSAMIENTOS:**

*Cuba nos une en extranjero suelo, auras de Cuba nuestro amor desea:  
Cuba es tu corazón, Cuba es mi cielo, Cuba es un libro mi palabra  
sea.*

*“Cuba nos une...” Versos de circunstancias”*

*Así, en un día, dejan de amar los hombres a la mujer a quien  
quisieron entrañablemente, cuando en un acto claro e inesperado les  
revela que en aquella alma no existen la dulzura y superioridad con la  
que la envistió su fantasía.*

*Ibídem*

*Los hombres honrados no necesitan discutir mucho un acto de honor*

*“Circular”. Nueva Cork, abril 28 de 1880*

*Los estudiantes son el valuarte de la libertad, y su ejército mas firme.*

*“Novela ‘Amistad funesta”*

*Los conocimientos se fijan más, en tanto se les da una forma más  
amena.*

*“Boletines de Orestes”. Revista Universal*

*¿Cómo han de salir de las universidades los gobernantes, si no hay  
universidad en América donde se enseñe lo rudimentario del arte del  
gobierno, que es el análisis de los elementos peculiares de los pueblos  
de América?*

*“Nuestra América”. La Revista Ilustrada*



**DEDICATORIA:**

*Todo el esfuerzo que empuñé en el proceso de este trabajo realizado en una pequeña parte de mi vida, lo consagro al coraje de mis padres Dicsie Bustamante y Francois Pazmiño, quienes con responsabilidad inculcaron en mí honradez, sencillez, y fuerza de valor para cumplir mis metas; también consagro este esfuerzo a mis queridos maestros-amigos quienes con su experiencia y sabiduría ordenaron mis ideas y ampliaron mis ambiciones cotidianas; y por que no a amigos y compañeros con los que he superado problemas en la adversidad de la vida.*



## **AGRADECIMIENTOS:**

*La palabra gratitud no es comparable ni en una infinitesimal parte del sentimiento que quiero expresar, pero trataré de explicarlo vagamente con pocas palabras; empezare con las personas a quien dedique este trabajo; y también reconozco la fortaleza, sabiduría, experiencia, de mis tutores-amigos M. Sc. Jorge Muñoz quien me ayudo a enriquecer mi conocimiento dentro del campo tratado en esta investigación.*

*Recompenso del mismo modo a profesores-amigos quienes colaboraron en forma indirecta con ideas, opiniones, y nuevos caminos en la búsqueda de la solución al problema de mi trabajo, por lo que me permito nombrarlos: Ing. Idelín Pérez Lobañino, M. Sc. Ignacio Romero Rueda, M. Sc. Orlys Ernesto Torres Breffe, M. Sc. Wilber Acuña Rodríguez, M Sc. Oscar Wilfredo Peña Guilarte.*

*Y obviamente mi mas grande agradecimiento al lector de este trabajo porque estima que el contenido es de importancia para su desarrollo tanto científico como intelectual.*



***EXTRACTO:***

*El presente trabajo se encuentra formado por una serie de capítulos que tratan del “Diseño de un banco de pruebas para transformadores de distribución”, además de anexos que tratan de mejorar la interpretación y entendimiento del lector de forma fácil y rápida.*

*En el **capítulo I** se trata sobre aspectos generales de transformadores lo que implica el modelamiento mediante el circuito equivalente, entre otros conceptos importantes para nuestro fin investigativo.*

*El **capítulo II** contiene en detalle las pruebas que se podrán desarrollar mediante el banco, incluye procedimientos y algunas sugerencias para los instrumentos que se emplearán.*

*Mientras que el **capítulo III** contiene dos aplicaciones en matlab y en Excel para la presentación de resultado de las pruebas a realizar.*



---

*En el **capítulo IV** se muestra en detalle las pruebas que realizará el banco, los instrumentos a emplearse, tanto las partes eléctricas, estructurales del banco, como el conjunto de diagramas de conexiones que llevará.*

*Los **anexos** contienen el listado de características de instrumentos, normas de seguridad para alta tensión, tabla de posibles fallas y soluciones en transformadores, secado de transformadores, y por ultimo el listado de las normas ecuatorianas INEN para transformadores.*

**PROBLEMA:**

*Se requiere determinar una metodología que permita construir un banco de pruebas para transformadores de distribución en base a las normas ecuatorianas INEN y las normas internacionales que sean del caso, dicho banco servirá para realizar prácticas en los diferentes módulos que tengan relación con las unidades de máquinas eléctricas y sistemas eléctricos de distribución, estudiadas en la carrera de tecnología e ingeniería electromecánica.*

**HIPOTESIS:**

*El diseño del banco de pruebas permitirá la construcción del mismo, cuyo propósito fundamental es supervisar los diferentes parámetros eléctricos en que se encuentra el transformador de distribución, y con ello se pueda determinar el estado de calidad que tiene el transformador, verificando el cumplimiento de las normas de fabricación.*



---

---

**OBJETIVO GENERAL:**

*Diseñar un banco de pruebas para transformadores de distribución que permitirá la construcción en otro trabajo de investigación, en el cual se puedan evaluar los diferentes parámetros eléctricos. El banco estará disponible en el taller eléctrico del Área de Energía Industrias y Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja.*

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- *Diseñar un banco de pruebas para transformadores de distribución, haciendo referencia a las normas ecuatorianas INEN y normas respectivas.*
- *Dimensionar el banco de pruebas y seleccionar los elementos que lo conforman.*
- *Utilizar Matlab como herramienta con el fin de apoyar la optimización de este proyecto.*
- *Elaborar una guía de laboratorio para las prácticas de las pruebas para los transformadores de distribución.*



---

---

**TAREAS A REALIZAR:**

- *Realizar una revisión bibliográfica acerca de transformadores*
- *Detallar los diferentes tipos de pruebas que se tratarán en esta investigación*
- *Diseñar el banco de pruebas para transformadores de distribución*
- *Realizar una guía de laboratorio para las diferentes prácticas*
- *Utilizar MATLAB para presentar gráficas de las características eléctricas del transformador*



---

## INTRODUCCIÓN

*En el desarrollo de nuestra carrera de Ingeniería Electromecánica en la Universidad Nacional de Loja, hemos visto la necesidad de la implementación de un banco de pruebas para transformadores, esta implementación ayudará principalmente a los estudiantes a mejorar el conocimiento de las máquinas eléctricas estáticas, ya que se necesitará hacer pruebas que permitan determinar el estado de funcionamiento de los transformadores y con ello aprovechar al máximo su rendimiento o eficiencia.*

*No está por demás aclarar que se podrá aprovechar este banco de pruebas, para dar servicio a la comunidad o empresas; con el importe económico que resulte a favor de la Universidad Nacional de Loja, se podrá financiar en el futuro la expansión del laboratorio y talleres, aumentando la calidad de los servicios y el reconocimiento ciudadano de que en nuestra universidad se dispone de estos equipos.*

# CAPITULO I

## ASPECTOS GENERALES SOBRE TRANSFORMADORES

### 1.1 Datos técnicos del transformador

La placa de características de un transformador es una chapa metálica serigráfica que muestra la relación de transformación, voltaje, frecuencia, rendimiento, entre otros datos, como se muestra en la figura 1.1:

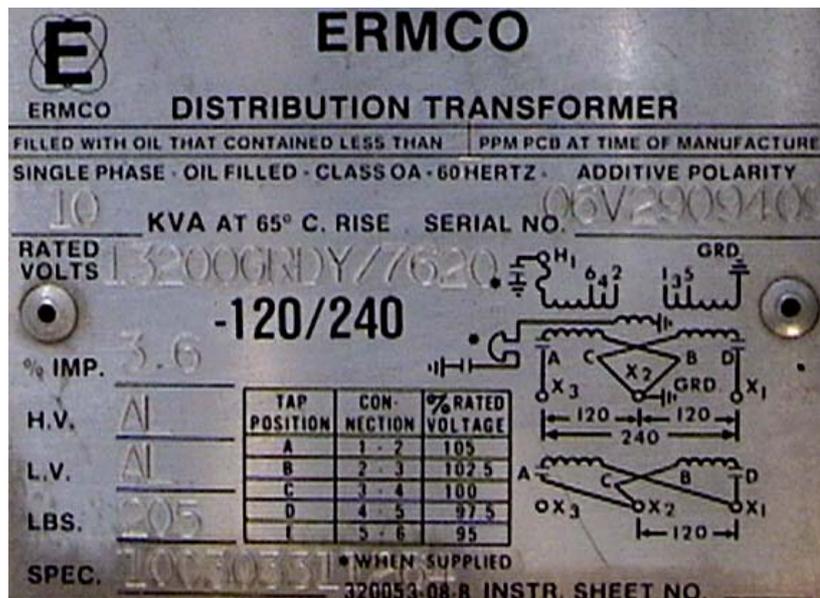


Fig. 1.1 Características en la placa de transformadores

También se indica en algunos casos referencias sobre las instrucciones de instalación. Para el lector interesado en normativas técnicas le es factible conocer la Instrucción: Norma Técnica Ecuatoriana *NTE INEN 2130:98*.

Las tensiones asignadas o nominales son aquellas para las cuales se ha construido el transformador y serán los valores base empleados en los ensayos y en la utilización del transformador. La potencia asignada siempre se refiere a la potencia aparente y se aplica tanto al devanado primario como al secundario.



Para transformadores monofásicos sería igual a:

$$S_n = U_{1n} I_{1n} = U_{2n} I_{2n}$$

Donde el subíndice **n** indica el valor nominal y los subíndices 1 y 2 se aplican a magnitudes de primario y secundario, respectivamente. Para transformadores trifásicos se escribiría en función de los valores de línea:

$$S_n = \sqrt{3} U_{1n} I_{1n} = \sqrt{3} U_{2n} I_{2n}$$

La potencia asignada junto con las tensiones asignadas fija la capacidad de corriente de los devanados del transformador. De la magnitud de la corriente dependen las pérdidas en el cobre, las cuales a su vez inciden en el calentamiento de los arrollamientos; el que ello suceda es crítico, ya que un sobrecalentamiento acorta drásticamente la vida de los aislantes. Los transformadores pueden llegar a tener más de una potencia asignada, según se utilice o no refrigeración forzada o dependiendo de la altitud de la zona en la que vaya a trabajar la máquina.

Los términos asignada y plena carga son sinónimos. Conocidas las tensiones asignadas de primario y secundario, y la potencia aparente asignada, las ecuaciones anteriores permiten calcular las corrientes asignadas o de plena carga del transformador para cada uno de los devanados.

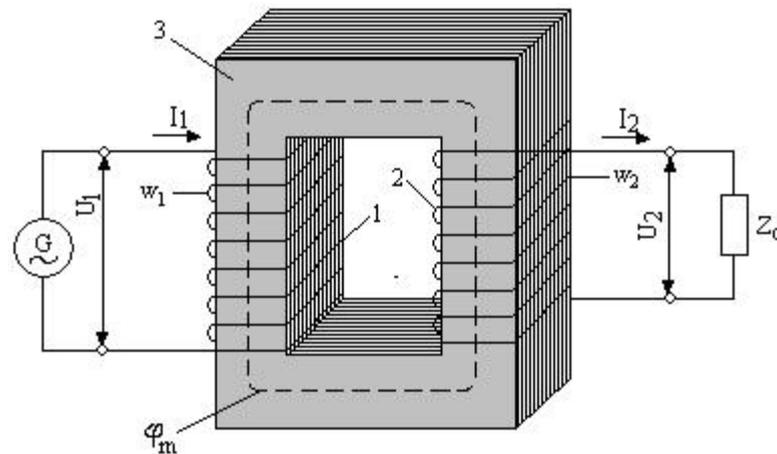
Dentro de las características técnicas tenemos los valores de magnitudes que caracterizan el o los límites de funcionamiento del transformador los cuales son:

- a) Capacidad nominal
- b) Voltajes nominales
- c) Corrientes nominales

- d) Relación de transformación
- e) Rendimiento
- f) Pérdidas del transformador
- g) Impedancias
- h) Regulación del transformador

## 1.2 Principio de construcción

El transformador constituye un dispositivo electromagnético, utilizado para la conversión de corriente alterna de un voltaje, en corriente alterna de otro voltaje a la misma frecuencia.



*Fig. 1.2 Principio de construcción del transformador*

En el caso más simple (*Fig. 1.2*), el transformador tiene un enrollado primario 1, al cual se le introduce la energía eléctrica y un enrollado secundario 2, del cual la energía se envía a los consumidores (carga). La transferencia de energía de un enrollado al otro, transcurre mediante la inducción electromagnética. Para aumentar el acoplamiento electromagnético entre los enrollados, los últimos, usualmente se disponen de un núcleo ferromagnético cerrado 3.

Al conectar el enrollado primario del transformador (*Fig. 1.2*) al voltaje sinusoidal  $U_1$  de la red, en el enrollado surge la corriente  $I_1$ , la cual establece un



flujo magnético  $\Phi$  que varía sinusoidalmente y que se cierra por el núcleo. El flujo  $\Phi$  induce f.e.m. en el enrollado primario y en el secundario, en este, circula la corriente secundaria  $I_2$  y en sus terminales se establece un voltaje  $U_2$ . El flujo magnético resultante  $\Phi_m$ , en el núcleo se establece por las corrientes de ambos enrollados.

## 1.3 Circuito equivalente del transformador

### 1.3.1 Relaciones eléctricas en el Transformador Ideal

Llamamos ideal a aquel transformador en el cual:

- 1) no existen pérdidas de energía (las resistencias de los enrollados y las pérdidas en el acero del núcleo, son iguales a cero);
- 2) la permeabilidad magnética en el acero del núcleo  $\mu = \infty$  y en las láminas del acero del núcleo no hay partiduras ni juntas;
- 3) todas las líneas de inducción magnética corren enteramente por el núcleo y cada línea concatena con todas las vueltas del enrollado primario ( $W_1$ ) y del secundario ( $W_2$ ).

Advertimos que con la observación de la última condición el acoplamiento electromagnético entre los enrollados primario y secundario es total y el FACTOR DE ACOPLAMIENTO MAGNETICO de los enrollados del transformador, es igual a la unidad.

$$C = \frac{M}{\sqrt{L_{11}L_{22}}} \quad (1.1)$$

Aquí  $L_{11}$  y  $L_{22}$  son las inductancias propias y  $M$  la inductancia mutua de los enrollados.

La f.e.m. del enrollado primario y secundario de tal transformador, para corriente alterna sinusoidal, respectivamente, son iguales a:

$$e_1 = -\frac{d\psi_1}{dt} = -w_1 \frac{d}{dt}(\Phi_m \sin \omega t) = -\omega w_1 \Phi_m \cos \omega t \quad (1.2)$$







$$k = \frac{w'_2}{w_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (1.10)$$

Como resultado de tal cambio, o reducción, la Fem.  $E'_2$  y el voltaje  $U'_2$  del enrollado reducido, también se altera en k veces, en comparación con las magnitudes  $E_2$  y  $U_2$  del enrollado secundario real:

$$\dot{E}'_2 = k \dot{E}_2 ; \dot{U}'_2 = k \dot{U}_2 \quad (1.11)$$

Para que las potencias del enrollado reducido y del real sean iguales, para todos los regímenes de trabajo, es necesario conservar la igualdad

$$\dot{U}'_2 \dot{I}'_2 = \dot{U}_2 \dot{I}_2$$

Donde  $\dot{I}'_2$  es la corriente reducida del secundario. De aquí, con el cálculo de la segunda igualdad, se desprende que,

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / k \quad (1.12)$$

La f.m.m. de los enrollados real y reducido, de acuerdo con las expresiones y son iguales:

$$\dot{I}'_2 w'_2 = \dot{I}_2 w_2 \quad (1.13)$$

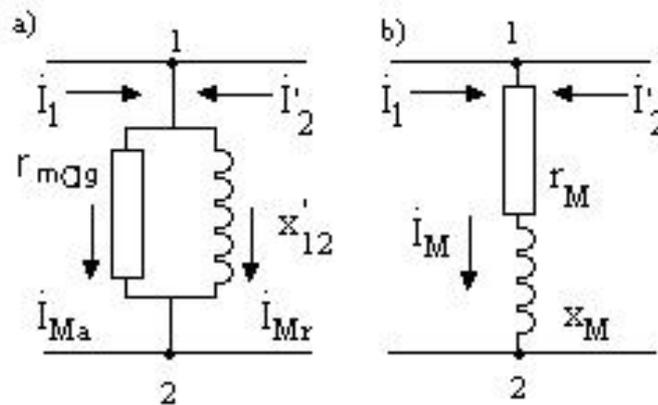
Para que los procesos electromagnéticos en los transformadores real y reducido ocurran igualmente, los enrollados secundarios real y reducido, deben producir campos magnéticos iguales. Para esto además del cumplimiento de la condición, es necesario que el enrollado secundario reducido tenga las mismas dimensiones y configuración geométrica y sea distribuido en la ventana del núcleo del transformador de la misma manera que el enrollado secundario real. Por eso, la sección de todas las vueltas del enrollado reducido debe ser la misma que la del enrollado real y la sección de cada vuelta del enrollado reducido debe disminuirse





$$Z_M = \frac{r_{mag} * jx_{12}}{r_{mag} + jx_{12}} = \frac{r_{mag} (x'_{12})^2}{r_{mag}^2 + (x'_{12})^2} + j \frac{r_{mag}^2 x'_{12}}{r_{mag}^2 + (x'_{12})^2} = r_M + jx_M \quad (1.17)$$

Como  $r_{mag} > x'_{12}$



**Fig. 1.3** Circuito equivalente de magnetización considerando las pérdidas magnéticas

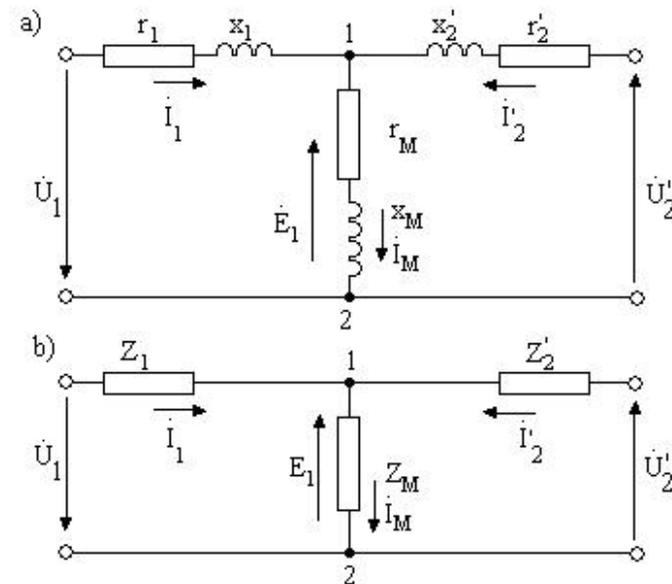
$$r_M \approx \frac{(x'_{12})^2}{r_{mag}} ; \quad x_M \approx x'_{12} \approx x_{n1} \quad (1.18)$$

Con el aumento de la saturación del núcleo, es decir, con el aumento de  $\Phi_m$ ,  $E_1$  o  $U_1$ , la reactancia  $x'_{12}$  para  $f = \text{const.}$  aumentan. Sin embargo equivalente del transformador, considerando las pérdidas magnéticas. Si se utilizan las designaciones.

$$Z_1 = r_1 + jx_1 ; \quad Z'_2 = r'_2 + jx'_2 ; \quad Z_M = r_M + jx_M \quad (1.19)$$

El circuito equivalente se puede representar más compactamente. En vacío  $I'_2 = 0$   
e

$$I_1 = I'_M \text{ (corriente de vacío del transformador).}$$



*Fig. 1.4 Circuito equivalente T del transformador de dos enrollados considerando las pérdidas de magnetización*

El circuito equivalente T, más simple del transformador representa un cuadripolo pasivo. La impedancia magnetizante  $Z_M$  de este circuito refleja el fenómeno en el núcleo ferromagnético. Ella es considerablemente mayor que las impedancias  $Z_1$  y  $Z'_2$ , las cuales incluyen la resistencia y reactancia inductiva de dispersión de los enrollados. Para los transformadores de fuerza en unidades relativas.

$$Z_{M*} = 25 \text{ a } 200; \quad Z_{1*} \approx Z_{2'*} = 0,025 \text{ a } 0,10$$

Las ecuaciones de voltaje y el circuito equivalente del transformador, se pueden presentar también en unidades relativas. Teniendo en cuenta que

$$U_N = Z_N I_N$$

la parte izquierda de la ecuación, se puede dividir por  $U_N$  y la parte derecha por  $Z_N I_N$ , con el resultado de lo cual, se ha realizado la transformación a unidades



## CAPITULO II

### PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES

#### 2.1 Inspección visual de un transformador cuando se recibe

**Verificar la integridad física de sus componentes exteriores; verificar el nivel de aceite en la cuba; estados técnicos de los relevadores de gas y presión; conexiones según datos de chapas; estado de los aislantes exteriores; etc.**

Si se tienen datos de su funcionamiento: nivel de carga; tensión a la que operaba y datos iniciales bajo lo cual operaba.

#### 2.2 Prueba del transformador de potencia antes de su puesta en servicio

Son muy variadas las pruebas que se le realizan al transformador antes de ponerlo en servicio y muchas son conocidas a través de los cursos de Máquinas Eléctricas y Transformadores. A continuación se relacionan las tres pruebas "clásicas", que son de una importancia extraordinaria para conocer si el transformador está apto para entrar en funcionamiento:

1. Medición de la resistencia de aislamiento
2. Determinación de la rigidez dieléctrica del aceite
3. Pruebas de alta tensión

Estas pruebas se deben efectuar con todo rigor, pues si el transformador las supera exitosamente, es seguro de que se encuentra en buen estado y se puede esperar de él un funcionamiento eficaz por varios años.













➤ **Punto de flameo y punto de ignición**

El punto de flameo es la temperatura en la cual la llama de prueba enciende el vapor del aceite. Punto de ignición es la temperatura en la cual la llama de prueba enciende el aceite.

Normalmente la rigidez dieléctrica en los aceites aislantes se debe comportar en la forma siguiente:

Aceites degradados y contaminados	De 10 a 28 kV
Aceites carbonizados no degradados	De 28 a 33 kV
Aceites Nuevo sin desgasificar	De 33 a 44 kV
Aceite Nuevo desgasificado	De 40 a 50 kV
Aceite regenerado	De 50 a 60 kV

A continuación se ofrece un ejemplo con los ensayos del aceite de un transformador de potencia.

**Tabla 2.1** *Ensayos de ruptura del aceite de transformadores*

Muestra	Tensión de ruptura en kV			Ruptura promedio en kV
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	38	36	38	37.4
2	34	35	34	34.3
3	39	41	41	40.4
<b>Tensión promedio total</b>				<b>37.5</b>

**Fuente:** *Montaje, Mantenimiento y reparación de equipos eléctricos industriales*

En este caso, el producto de los ensayos en el Medidor de Rigidez Dieléctrica, arroja que la tensión de ruptura promedio del aceite es de 37,5 kV, por lo que la rigidez dieléctrica es satisfactoria, pues para transformadores que tengan por alta hasta 20 kV, se exige una rigidez dieléctrica en su aceite de 25kV y para transformadores que trabajen a tensiones mayores, el requisito es



de 30 kV. Para mas información dirigirse a la norma NTE INEN 2 133 en el anexo 6.

A continuación se muestra la tabla 2.2 de clasificación de los aceites dieléctricos para transformadores:



Tabla 2.2: Aplicación clasificación de los aceites dieléctricos para transformadores

Observaciones	Tensión interfacial (dinas/cm)	Nº de neutralización mg/KOH/gm	Color	Rigidez dieléctrica kV	Índice de Myers	Acción a tomar
El aceite esta cumpliendo con las siguientes funciones: a) Refrigeración eficiente b) Agente dieléctrico	30 - 45	0.03 – 0.1	Bueno 0 – 0.5	30 y superior	300 - 1500	Análisis anual del aceite a fin de evaluar funcionamientos y establecer tendencias
Componentes polares (lodos) en solución (producto de la oxidación del aceite) causan bajas en la tensión interfacial	27 - 29	0.05 – 0.1	Aceptable 0.05 - 1	25 - 30	271 -600	Análisis anual del aceite. Establecer programa de mantenimiento previo
Ácidos grasos cubren las bobinas. Lodos en suspensión listos a iniciar concentraciones. Alta probabilidad de lodos en las fisuras del aislamiento	24 - 27	0.11 – 0.15	Marginal de 1.0 – 1.15	22 - 25	160 - 318	Análisis anual de aceite. Aceite requiere tratamiento con filtro prensa especial (ver nota) para detener deterioramiento rápido del aislamiento
En casi un 100% de los transformadores en este rango se han formado depósitos de lodos sobre las bobinas y núcleo. LODOS SE DEPOSITAN PRIMERO EN LAS AREAS DE REFRIGERACION	18 - 24	0.16 – 0.4	Malo 1.5 – 2.5		45 - 159	Análisis anual de aceite. Desencubada del transformador. Lavada con aceite nuevo y caliente parte activa del tanque. Filtrado del aceite con unidad especial



Sedimentos depositados continúan oxidándose y endureciéndose. El aislamiento se está contrayendo alta probabilidad de falla prematura	14 - 18	0.41 – 0.65	Muy malo 2.5 – 3.5		22 – 44	Análisis anual del aceite. Desencubada del transformador proceso similar al (4) usando unidad especial para filtrado adicionándole tierra de fallo
Sedimentos aíslan áreas de refrigeración y ductos causando incrementos de temperatura de operación	9 - 14	0.66 – 1.5	Extremad amente malo 3.5 - 4		6 – 21	Análisis anual del aceite. Procedimiento similar al anterior. Posible cambio de aceite
Gran cantidad de sedimentos. Requiere procesos esenciales	6 - 9	1.5 - superior	Aceites para dar de baja		1.51 ó más	Análisis anual del aceite. Proceso similar al (4). Cambio de aceite. Proceso de filtrado con unidad especial. Aislamientos deteriorados. Se recomienda pensar en un futuro cercano cambio del transformador

***Nota importante:** El aceite caliente actúa como un solvente fuerte para disolver sus productos sólidos que están descompuestos. Por esta razón las unidades para el filtrado deben ser de procesos cerrados, es decir, que calienten el aceite (aprox. 0.1 Torr). Equipos de solo papel y abiertos son obsoletos*

***Fuente:** Transformadores de Colombia S.A.*



**Tabla 2.3:** Características fundamentales de los aceites de petróleo electroaislantes

Características		Unidades	Aceite para transformadores
Densidad		Kg/m <sup>3</sup>	885...890
Viscosidad	a 20°C	m <sup>2</sup> /s	30x10 <sup>-6</sup>
	a 50°C	m <sup>2</sup> /s	8x10 <sup>-6</sup>
Temperatura de inflamación de los vapores (no inferior a)		°C	135
Temperatura de solidificación (no superiores a)		°C	-45
Resistividad de volumen a 20°C		Ωm	10 <sup>12</sup> ...10 <sup>13</sup>
Índice de acidez		Mg KOH/g	0.03...0.05
Permeabilidad dieléctrica		-	2.2...2.4
Tangente del ángulo de perdidas dieléctricas a 50 Hz		-	0.003...0.005
Rigidez dieléctrica a 20 °C		MV/m	18

### 2.2.2.1 Regeneración del aceite dieléctrico envejecido

*El objetivo* de este Tratamiento es el restaurar satisfactoriamente las propiedades Físico, Químicas y Eléctricas del Aceite Dieléctrico envejecido, eliminando o reduciendo las sustancias coloidales en suspensión, productos de oxidación, los compuestos polares responsables de la coloración y las trazas de ácidos orgánicos.

Una vez detectado y diagnosticado por el Estudio de Viabilidad la necesidad de efectuar el Tratamiento de Regeneración del Aceite Dieléctrico del Transformador en el seno del Transformador, sea prácticamente el mismo que el de un Aceite nuevo o, al menos, mejore en gran medida las propiedades deterioradas. A la vez que descontaminamos los devanados del Transformador de lodos y sustancias producidas por la oxidación





millón o mg/l) el agua disuelta o emulsionada en el aceite, a la vez, desgasificamos el aceite, y eliminamos los ácidos más volátiles

- La readitivación con Inhibidores de antioxidación Con la **aditivación** conseguimos reponer al aceite inhibidores de oxidación para que no se oxide durante su nuevo uso rápidamente.

La combinación de estas técnicas es lo que hace que el Tratamiento de Regeneración efectuado, sea altamente eficaz y fiable para la recuperación de las propiedades Físico, Químicas y Eléctricas del Aceite tratado y la Limpieza del Devanado del Transformador sea efectiva

### 2.2.3 Realización de las pruebas de alta tensión

Solo después de haber pasado satisfactoriamente el transformador las pruebas de aislamiento de sus devanados y de rigidez dieléctrica de su aceite se puede someter a las pruebas de alta tensión, que consisten en la aplicación de una tensión muy elevada entre sus devanados y tierra (el tanque del equipo). Tomar en cuenta anexo #3 seguridad en alta tensión.

**Objetivo.-** si existe algún fallo de aislamiento por deterioro al aplicarle una tensión y si hay o no cortocircuito internos en los devanados, aunque esto se puede comprobar midiendo la resistencia del devanado;

Estas pruebas se analizan como tres ensayos independientes los cuales son:

- a) Prueba de alta tensión del lado de baja.
- b) Prueba de alta tensión del lado de alta.
- c) Prueba de alta tensión de larga duración.

### 2.2.3.1 Prueba de alta tensión en el lado de baja del transformador

Se puentean los tres terminales de alta tensión del transformador y se conectan a tierra. Entre uno de los tres terminales de baja tensión del transformador y tierra se aplica la fuente de prueba, generalmente un autotransformador elevador como se muestra en la Fig. 2.3

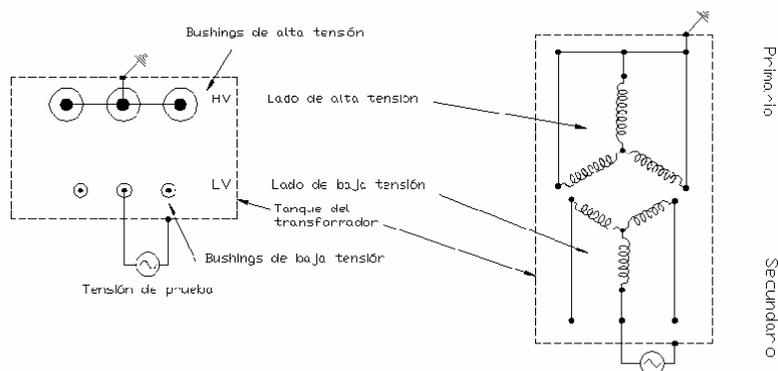


Fig. 2.3 a)

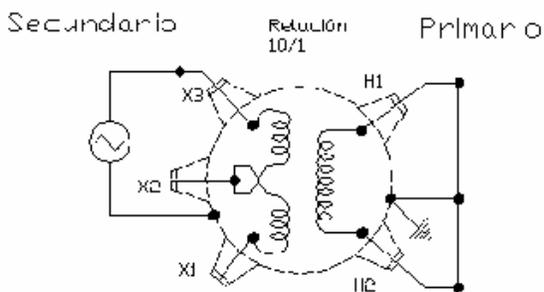


Fig. 2.3 b)

**Fig. 2.3** Prueba de alta tensión aplicada al lado de baja tensión, a) trifásico y b) monofásico

La tensión se debe incrementar paulatinamente hasta alcanzar la tensión de prueba deseada( $U_p$ ). El valor normal de esta tensión para el lado de baja es de:

$$U_p = 2 U_{baja} + 1\ 000\ V \tag{2.3}$$



Este valor se mantiene durante un minuto, reduciéndose a partir de ese minuto la tensión lentamente hasta enfriar el circuito de baja.

### 2.2.3.2 Prueba de alta tensión en el lado de alta del transformador

Como se aprecia en la Fig. 2.4 el esquema es similar al anterior, pero en este caso se puentean los tres terminales de baja que se conectan a tierra. El autotransformador es aplicado entre los terminales de alta y tierra.

El procedimiento es el mismo que en la prueba anterior: incrementar lentamente la tensión hasta alcanzar el valor deseado del 75%, el que se mantiene aplicado durante 1 min. reduciéndolo posteriormente hasta hacerlo cero, dando fin a la prueba de alta tensión por el lado de alta.

Se le aplica por el lado de alta el 75% de la tensión que le aplicó el fabricante en sus laboratorios de prueba.

O en la siguiente tabla que define las tensiones a aplicar a equipos en fabrica según la norma ANSI/IEEE-C57.12.00.

**Tabla 2.4:** Tensión de prueba de acuerdo a su tensión de funcionamiento

Tensiones Típicas (V)	Tensión a Aplicar (kV)
4160	19.0
13200, 13800	34.0
33000, 34500	70.0

**Fuente:** “Despacho, recepción, instalación y mantenimiento de transformadores de distribución en aceite.” Autor: Ing. Orestes Hernández Dr. en Ciencias Técnicas, Investigador Titular. Jefe del Grupo de Alta tensión del CIPEL.

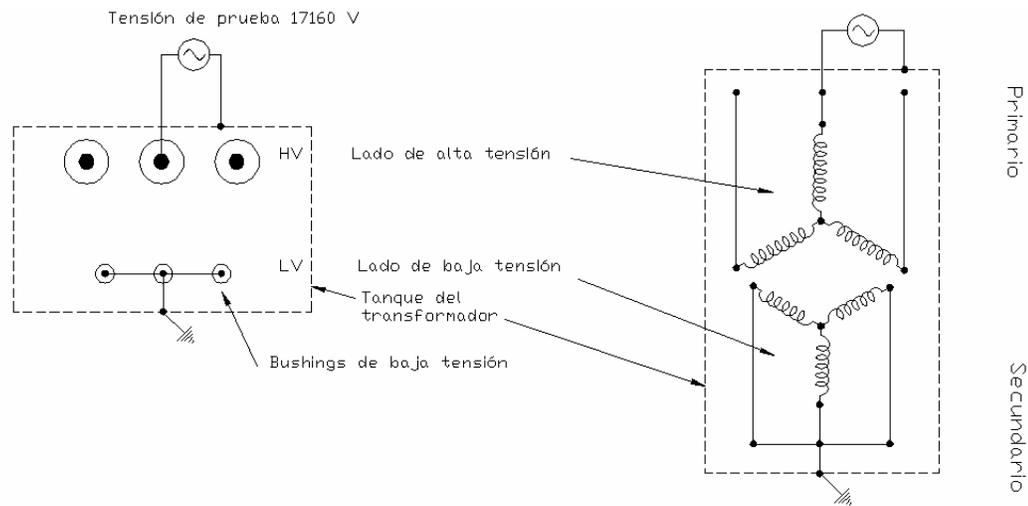


Fig. 2.4 a)

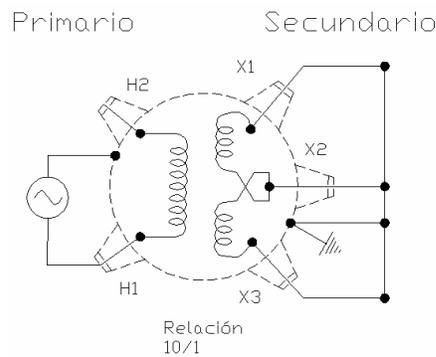


Fig. 2.4 b)

**Fig. 2.4** Prueba de alta tensión aplicada al lado de alta tensión, a) Trifásico y b) Monofásico

### 2.2.3.3 Prueba de alta tensión de larga duración

Esta prueba consiste en la aplicación por el lado de alta tensión, según el esquema de la Fig. 2.4, de un sobrevoltaje durante 30 min. Generalmente este sobrevoltaje es de  $1,3 U_{n1}$  o sea solamente el transformador sufre por su lado de alta un 30 % de sobretensión, pero la misma dura media hora.

Al finalizar las pruebas de alta tensión se tiene que repetir las pruebas de aislamiento de los devanados, pues solo entonces se sabrá si las altas tensiones



afectaron al transformador o no. Si al repetir las pruebas del aislamiento no hubo variaciones en el valor obtenido, o la diferencia es mínima, se pueden afirmar que el transformador está apto para entrar en servicio y se puede pronosticar varios años de trabajo sin ninguna falla seria. Si por el contrario, el aislamiento fue seriamente afectado por las pruebas de alta tensión, se debe someter a reparaciones el transformador antes de realizar nuevamente el conjunto de las pruebas de puesta en servicio.

En la tabla 2.5 se ofrece la reglamentación para determinar las tensiones de la prueba de alta tensión por el lado de alta, cuando son realizadas por el fabricante del transformador. Como planteó anteriormente, se aplica al lado de alta el 75% de la tensión obtenida en la tabla. En el caso de transformadores que van a ser puestos en servicio tras una reparación que incluyó sus devanados, se recomienda hacer una prueba más rigurosa para comprobar si la reparación realizada tiene calidad. En este caso se debe tomar como tensión de prueba el 90 % de la tensión recomendada en la tabla 2.5

Tabla 2.5 Tensión sugerida para pruebas de alta tensión de acuerdo a la clase de aislamiento.

Tipo de aislamiento	Tensión de prueba según la Un de alta (kV)										
	3	3	6	10	13.2	15	20	35	110	150	220
Clase A	4,5	16	22	31	33.59	40	49	76	180	247	360
Clase B	2,7	9	14	21	28.85	33					

Fuente: Montaje, Mantenimiento y reparación de equipos eléctricos industriales

La clasificación de los materiales aislantes para máquinas eléctricas con relación a su estabilidad terminal, cubre básicamente siete clases de materiales aislantes que se usan por lo general y que son los siguientes:

*Tabla 2.6 Clasificación de la temperatura de los materiales aislantes.*

CLASE	TEMPERATURA
Y	90 °C
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C
C	Mayor a 180 °C

*Fuente: www.transformadores.com*

Una descripción breve de estos materiales se dan a continuación:

#### *Clase Y*

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como algodón, seda y papel sin impregnar.

#### *Clase A*

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como el algodón, seda y papel con alguna impregnación o recubrimiento o cuando se sumergen en dielécticos líquidos tales como aceite. Otros materiales o combinación de materiales que caigan dentro de estos límites de temperatura, pueden caer dentro de esta categoría.

#### *Clase E*

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o por pruebas, pueden operar a temperaturas hasta de 5 °C, sobre el temperatura de los aislamientos Clase A.



### *Clase B*

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como la única, fibra de vidrio, asbestos, etc. con algunas sustancias aglutinantes, pueden haber otros materiales inorgánicos.

### *Clase F*

Este aislamiento consiste en materiales o combinaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias aglutinables, así como otros materiales o combinaciones de materiales no necesariamente inorgánicos.

### *Clase H*

Este aislamiento consiste de materiales tales como el silicón, elastómeros y combinaciones de materiales tales como la mica, la fibra de vidrio, asbestos, etc., con sustancias aglutinables como son las resinas y silicones apropiados.

### *Clase C*

Este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales tales como la mica, la porcelana, vidrio, cuarzo con o sin aglutinantes.

## **2.3 Pruebas durante la explotación**

Los ensayos generales (ensayo de aislamiento, de calentamiento, o medida de la resistencia óhmica de los circuitos) no difieren de los ya descritos anteriormente. Merecen atención especial los ensayos de las características particulares, y precisamente:

- a) Medición de la relación de transformación en vacío
- b) Ensayo en vacío
- c) Ensayo en cortocircuito

## CAPITULO III

### APLICACIÓN DE SOFTWARE

#### 3.1 Empleo de software para la optimización de los resultados del banco de pruebas

Nos encontramos en una realidad donde nos es indispensable ocupar la tecnología digital en este caso el empleo de software que nos permita mejorar y facilitar la comprensión de los resultados o las simulaciones de los fenómenos que nos rodean.

En este caso emplearemos herramientas de programas que nos entreguen los resultados de nuestro banco de pruebas como es el caso de Excel, o en forma didáctica como lo es Matlab.

##### 3.1.1 Aplicación de Matlab

Como se conoce Matlab es un software multifuncional, ya que con él se pueden simular, analizar muchos parámetros de diferente índole; como este trabajo no trata directamente con el software, no se lo ha realizado completamente en él, sin embargo se lo ha utilizado para presentar graficas de la variación de tensión y del rendimiento, el nombre del programa es “prueba a transformadores”. solo basta con introducir los datos nominales, de vacío, de cortocircuito, tipo de transformador con sus conexiones de tenerlas, coeficiente de carga, y el factor de potencia; con ello obtendremos el resultado en pantalla.

Antes de compilar el programa se debe empezar por el algoritmo del cálculo efectuado en MATLAB para guiarnos en la programación el que se muestra en la figura siguiente:









El banco de prueba debe llevar un interruptor general automático que permita la desconexión total del mismo en el menor tiempo posible a 240 A y sumándole el 5% para evitar un disparo por sobrecalentamiento o por límites de funcionamiento nominal nos quedaría de 250 A de intensidad.

## 4.2 Composición eléctrica del banco, selección y características técnicas

### 4.2.1 Equipo fundamental

Dentro de los equipos que más importancia tiene en la elaboración del banco se tienen: el megóhmetro, variac trifásico, probador de aceite, transformador monofásico de elevación, contactos principales, auxiliares, TP, TC, y los instrumentos de medición de precisión clase(0.2).

#### 4.2.1.1 Megóhmetro

El megóhmetro fue seleccionado de acuerdo a lo recomendado en la parte que trata de resistencia de aislamiento en el capítulo II con un voltaje desde 1000 V, 2500 V ó preferentemente de 5000 V para no quedar en los límites de el transformador de 50 kVA que es el transformador a probar de mayor potencia. La marca será FLUKE, modelo 1550 con las siguientes características:

- Cuatro ajustes de voltaje de prueba: 500V, 1000V, 2500V y 5000V.
- Rango de medición de la resistencia de 0 ohmios a 1 Teraohmio
- Pantalla grande de cristal líquido (LCD) con sección de texto
- Puerto infrarrojo (IR) para descargar datos de prueba
- Modo Ramp (Rampa) que gradualmente aumenta el voltaje de prueba aplicado
- Cronómetro para las pruebas y almacenamiento para los resultados de las pruebas
- Batería de plomo-ácido recargable



Fig. 4.1 Megóhmetro digital de escala de 5000V

#### 4.2.1.2 Autotransformador variac trifásico

La tensión que se empleará para probar el transformador de mayor potencia será de 957.8 V que es la tensión de cortocircuito alimentándolo por el lado de alta tensión por lo que por este lado de alta tenemos una menor corriente. Por lo que el variac mas próximo a nuestros requerimientos será de marca Hipotronics Numero de catalogo 30A48-96Y24 este instrumento que servirá para la regulación de la intensidad y la tensión de prueba es de una potencia de 400 kVA con una corriente de 240 A con una alimentación de 480 V una variación de tensión de 0 – 960 V.

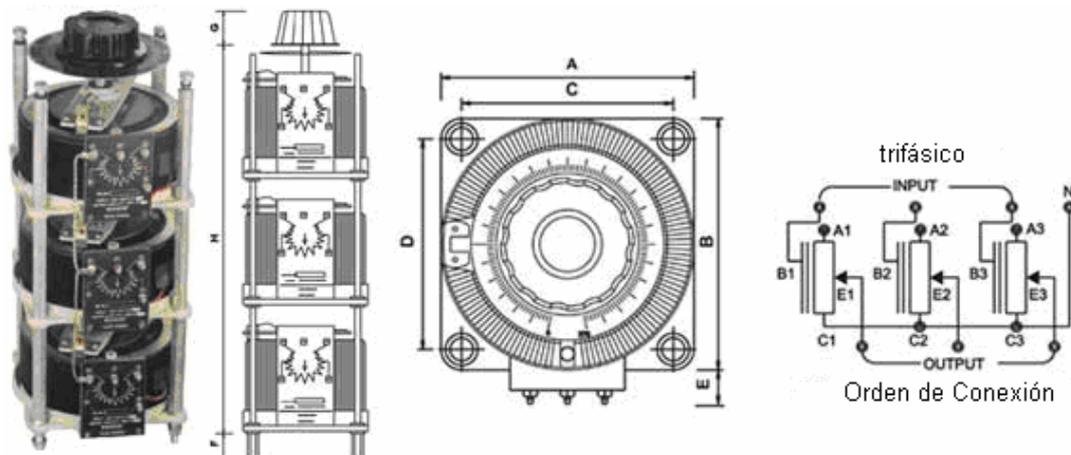
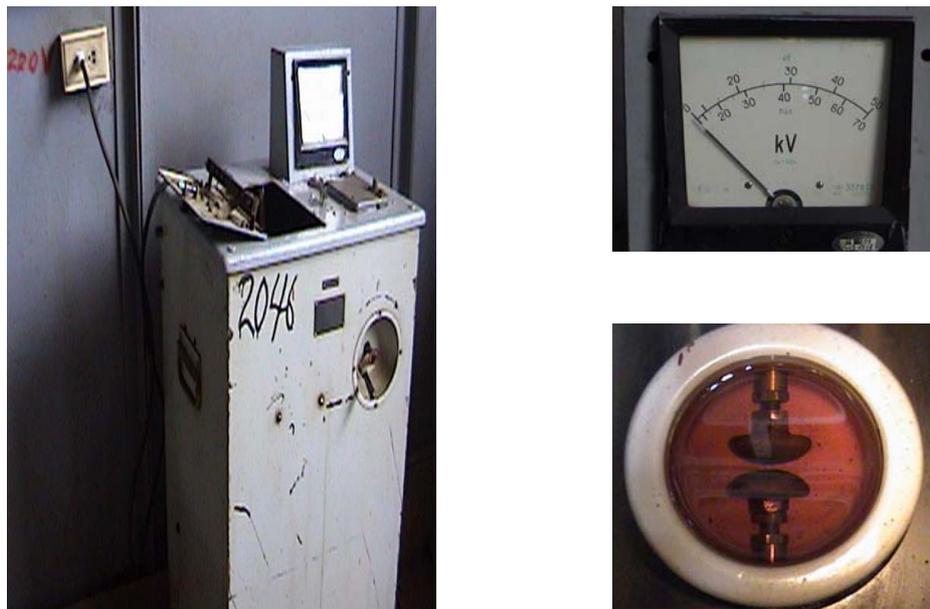


Fig. 4.2 Variac trifásico Hipotronics





*Fig. 4.3* Probador de aceite con recipiente interno

El instrumento será de marca Hipotronics con una característica de placa siguiente:

*Tabla 4.2* probador de aceite marca Hipotronics modelo 775-5

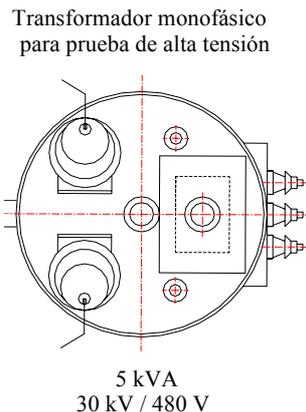
General	
Unidad No.	775-5
Voltaje de salida AC (kV)	0-75
Corriente de salida AC (mA)	67
Potencia (kVA)	5
Entrada Std. (Monofásica)	230 V AC, 50/60Hz
Control	
Dimensiones W x H x D	21.25" x 20.5" x 19.63" (540mm x 521mm x 498mm)
Peso (lbs./kg)	90/41

*Fuente:* [www.Hipotronics.com](http://www.Hipotronics.com)

#### 4.2.1.4 Transformador elevador

Se ha escogido un método para realizar las pruebas de alta tensión; como ya se menciono anteriormente la prueba en alta tensión necesita de un máximo de 30 kV,

Por lo que se ha tomado un transformador monofásico cuyos datos de placa son 30 kV en el primario y de 480 V en el secundario y de 5 kVA de capacidad que permita elevar la tensión hasta el valor requerido, este se alimentaría por medio de el variac por el lado de baja tensión. El valor de la alta tensión se podrá visualizar en el voltímetro instalado en el banco tal como se muestra en el esquema general.



*Fig. 4.4 Transformador monofásico utilizado para elevación de tensión*

#### 4.2.1.5 Contactores

Los contactores de corriente alterna empleados son: cuatro para fuerza con una tensión de trabajo nominal de 480V, dos contactores para los instrumentos de medición en el caso de la prueba de vacío y cortocircuito; tres contactores auxiliares con tres contactos NA y dos contactos NC cada uno, que en total se emplearía nueve contactos abiertos y seis cerrados conectados como se muestra en el grafico de mando y en el de fuerza, utilizando los contactos de tal forma que no se confunda ninguna de las pruebas funcionamiento que se explicara mas adelante.



*Fig. 4.5 Contactores*

## 4.2.2 Instrumentos de medición

### 4.2.2.1 Voltímetros

Los voltímetros que se emplearán son siete, tres de ellos conectados para medir el potencial en baja tensión hasta 957.8 V mediante TP, los tres siguientes para alta hasta 23000V también utilizando TP, y el ultimo para los 50 kV, con una escala de medición a 110V y una precisión de clase 0.2, conectados en estrella para reducir el numero de conductores, con ello se medirá la tensión entre fases, para la medición en alta se emplearan transformadores de potencial. Se debe tomar muy en cuenta que si se va ha emplear instrumentos digitales conectar una fuente de alimentación para su correspondiente operación.



*Fig. 4.6 Voltímetros; Izquierda analógico, derecha voltímetro (Cebek) gigante cc-ca escalas: 2, 20, 200 y 600 v cc/ca alimentación en cc: 12 v / 100 mA dimensiones: 224 x 107 x 55 mm.*



#### 4.2.2.2 Transformadores de potencial

Se emplearán siete transformadores de potencial: uno se empleará con una relación de transformación de 30kV/110V, tres TP con relación 1 kV/110 V con el fin de bajar la tensión del para los voltímetros, y tres con una relación de transformación de 23kV/110V, este solo se empleara en el momento de medir voltajes a la entrada y a la salida del transformador a prueba para sacar su relación de transformación del transformador a prueba. Con lo mencionado anteriormente se puede mostrar la tabla de las características de los transformadores de potencial que se encuentra e el mercado:

Los elementos normalizados son los que se indican a continuación:

*Tabla 4.3 Descripción de los transformadores de potencial*

Designación	Tensión nominal de red V	Tensión más Elevada kV	Tensión Nominal Primaria V	Tensión nominal Secundaria V	Clase de precisión		Potencia de precisión	
					Med	Prot	Med	Prot
TT 11000R3/110R3-110R3 IN 0,2	1000	12	1000/ $\sqrt{3}$	110/ $\sqrt{3}$	0,5	3P	50	50

Designación	Tensión nominal de red V	Tensión más Elevada kV	Tensión Nominal Primaria V	Tensión nominal Secundaria V	Clase de precisión		Potencia de precisión	
					Med	Prot	Med	Prot
TT 33000R3/110R3-110R3 IN 0,2	33000	36	33000/ $\sqrt{3}$	110/ $\sqrt{3}$	0,5	3P	50	50

Significado de las siglas que componen la designación:

TT: Transformador de tensión

11000R3/.../33000R3: Tensión primaria (V)

110:3/110R3/110: Tensión secundaria (V)

EX/IN: Tipo exterior/interior

0,2/0,5-3P: Clase de precisión del devanado de medida principal y el de protección si procede.

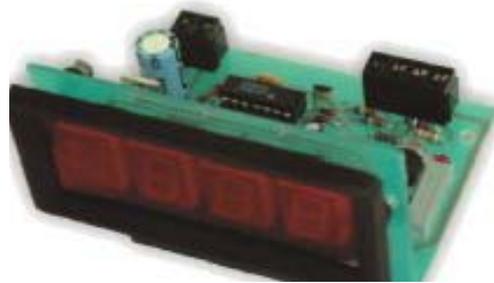
Ejemplo de denominación:

Transformador de tensión AT TT 33000R3/110R3-110R3 IN 0,2

#### 4.2.2.3 Amperímetros

Los amperímetros que conforman parte de el banco son tres conectados en estrella al igual que los voltímetros se lo hizo de esta manera con el fin de evitar el exceso de conexiones de conductores a los instrumentos estos amperímetros no están conectados directamente a las líneas de fuerza sino que entre ellos existe transformadores de corriente (TC) con el fin de reducir la intensidad que circularía a través de los mismos, estos instrumentos de medida soportan una intensidad de medida de 5A, con lo que se debe tener cuidado es con la doble escala que debe tener el amperímetro para medir la corriente de menor intensidad en la prueba de vacío.

Al igual que en los voltímetros si se emplearan amperímetros digitales hay que implementar una fuente de alimentación para la demanda interna.



**Fig. 4.7** Amperímetro gigante (Cebek) cc-ca *escalas:* 200 mA, 20 mA, 2 A y 20 A cc/ca  
*alimentación en cc:* 12 v / 100 mA *dimensiones:* 224 x 107 x 55 mm





---

---

## Recomendaciones

- Proceder con la construcción de acuerdo a los planos tanto eléctricos como estructurales del banco presentados en el proyecto.
- Impartir los conocimientos al personal de operación del banco con el fin de agilizar la realización de las pruebas, alargar la vida útil de los instrumentos, y cuidar la vida del personal.
- Estimar que al paso del tiempo las pruebas en el banco deberán aumentar por la demanda de los usuarios por lo tanto en un futuro rediseñar el banco para implementar el número de pruebas que pueda desempeñar el banco.
- Elaborar un procedimiento para las nuevas pruebas con su respectivo catálogo para el informe de las pruebas.



## ANEXO 2

## Fallos típicos en transformadores de potencia

Elementos del transformador	Fallo	Causas del fallo	Prueba para la solución
Devanados	Cortocircuito entre espiras	Envejecimiento natural y desgaste del aislamiento, sobrecargas sistemáticas del transformador, esfuerzos dinámicos en caso de cortocircuito calados.	Alta frecuencia
	Cortocircuito al cuerpo y entre fases (perforaciones eléctrica)	Envejecimiento del aislamiento o penetración de agua en el aceite	Megger
	Ruptura en el circuito	Fusión parcial de las derivaciones en el devanado, fallos en las uniones a consecuencia de la baja calidad de la soldadura en las derivaciones.	Megger o alta frecuencia
Conmutadores de la tensión	Falta de contacto	Perturbación de la regulación en el dispositivo de conmutación.	Megger
	Fusión en la superficie de contacto	Solicitaciones térmicas sobre el contacto durante los cortocircuitos.	Megger
Entradas	Perforación eléctrica a masa	Grietas en los aisladores, reducción del nivel de aceite en el transformador con el ensuciamiento simultáneo de la superficie interior del aislador.	Alta tensión
	Contacto entre las entradas de diferentes fases	Deterioro del aislamiento de las derivaciones, conectadas a las entradas o el conmutador.	Megger
Circuito magnético	Aumento de la corriente de vacío	Debilitamiento del apriete en el paquete de láminas en el circuito magnético	Vacío
	Calentamiento del acero	Alteración en el aislamiento entre algunas láminas de acero o el aislamiento de los tornillos de apriete; es débil el prensado de la chapas; formación de un circuito cortocircuitado al dañarse las juntas de aislamientos entre la culata y el circuito magnético.	Vacío
Cuba y accesorios	Escape de aceite de las costuras soldadas, grifos y uniones de bridas	Deterioros en las costuras soldadas a causa de solicitaciones mecánicas y térmicas; están mal asentado el tapón del grifo o dañadas las juntas debajo de la brida.	Inspección visual



## **Secado de los transformadores de potencia**

A los transformadores de potencia se les aplica un secado para elevar la resistencia del aislamiento de sus devanados o para eliminar la humedad que le pueda haber penetrado.

Debemos aplicarle un secado al transformador en uno de los casos siguientes:

1. La resistencia del aislamiento es baja.
2. El índice de polarización  $K$  es menor de 1,5.
3. El aceite del transformador tiene baja su rigidez dieléctrica.
4. Se redujo en más de un 15 % la rigidez dieléctrica del aceite 3S Por haber permanecido abierto transformador.
5. Cuando el transformador permanece abierto en un ambiente húmedo más de 24 *h*.

También le debemos aplicar un secado al transformador cuando tenemos la sospecha razonable de que le pueda haber penetrado humedad. El secado elevará notablemente el aislamiento de los devanados y la rigidez dieléctrica del aceite, con lo que se asegurará el funcionamiento satisfactorio del equipo.

Durante el proceso de secado eliminamos en lo posible los sistemas de refrigeración del transformador, para que la temperatura en su interior se eleve con más rapidez y el secado sea más económico. Para lograr esto, durante el secado del transformador "no funcionarán las bombas para la circulación forzada del aceite ni los ventiladores que enfrían los radiadores. Incluso se cerrarán las llaves que comunican el aceite de la parte superior del tanque con los radiadores, a fin de impedir la circulación natural del aceite y las consecuentes pérdidas de calor.

### **Métodos de secado**

Se aplican una gran variedad de métodos de secado para transformadores de potencia. En muchas ocasiones se realiza el secado y se emplea más de una técnica para acelerarlo.

## Secado de los transformadores de potencia

A los transformadores de potencia se les aplica un secado para elevar la resistencia del aislamiento de sus devanados o para eliminar la humedad que le pueda haber penetrado.

Debemos aplicarle un secado al transformador en uno de los casos siguientes:

1. La resistencia del aislamiento es baja.
2. El índice de polarización K es menor de 1,5.
3. El aceite del transformador tiene baja su rigidez dieléctrica.
4. Se redujo en más de un 15 % la rigidez dieléctrica del aceite 3S Por haber permanecido abierto transformador.
5. Cuando el transformador permanece abierto en un ambiente húmedo más de 24 h.

También le debemos aplicar un secado al transformador cuando tenemos la sospecha razonable de que le pueda haber penetrado humedad. El secado elevará notablemente el aislamiento de los devanados y la rigidez dieléctrica del aceite, con lo que se asegurará el funcionamiento satisfactorio del equipo.

Durante el proceso de secado eliminamos en lo posible los sistemas de refrigeración del transformador, para que la temperatura en su interior se eleve con más rapidez y el secado sea más económico. Para lograr esto, durante el secado del transformador "no funcionarán las bombas para la circulación forzada del aceite ni los ventiladores que enfrían los radiadores. Incluso se cerrarán las llaves que comunican el aceite de la parte superior del tanque con los radiadores, a fin de impedir la circulación natural del aceite y las consecuentes pérdidas de calor.

## Métodos de secado

Se aplican una gran variedad de métodos de secado para transformadores de potencia. En muchas ocasiones se realiza el secado y se emplea más de una técnica para acelerarlo.







**PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES**

**Cliente:** Juan Aguilar                      **Ubicación Trafo:** Loja-La Argelia  
**Ciudad:** Loja                                    **Empresa:** Privado  
**Operario:** Carlos Benitez                  **Entrega:** 15 Ago. 2005

**Características del producto**    **fecha:** 1 Ago. 2005

<b>Tipo</b>	En aceite	<b>Frecuencia</b>	60
<b>Potencia</b>	25 kVA	<b>Serie</b>	5059423
<b>Voltaje</b>	13200	<b>Norma</b>	INEN 2114
<b>Estado</b>	Nuevo	<b>Refrigeración</b>	ON

**Tipo de prueba**

Aislamiento	Alta tensión	Rigidez del aceite	Relación de transformación	Vacío	Corto circuito	Polaridad
		x		x	x	

**Aislamiento en MΩ con megóhmetro 2500 V**

**Alta tensión en kV**

AT tierra		AT/BT		BT		AT Larga duración	
BT tierra				AT			

**Rigidez del aceite con kilovoltímetro Hipotronics 75 kV**

<b>Tipo de Aceite</b>	Tipo 2 Puramin
<b>Tensión de ruptura promedio en kV</b>	37.5

**Relación de transformación**

Tensión primaria	Tensión secundaria	RT

**Polaridad**

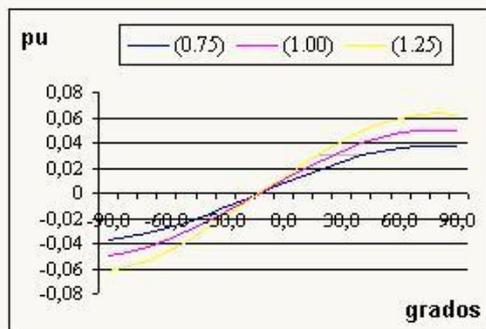
Tensión aplicada	Conexion	Tipo

**Vacío**

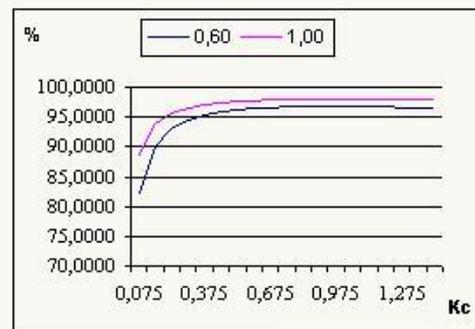
Tensión	Corriente	Potencia
100	1,1	48,4

**Cortocircuito**

Tensión	Corriente	Potencia
22,8	11,364	52



Variación de tensión



Rendimiento



Certificado de prueba realizada en otra empresa:



**inatra**  
Industria unificada de  
Transformadores Cía. Ltda.  
Km. 75.5 Vía Dávila  
P.O. Box 211 0043  
Fax 271 0014 -  
E-mail: inatratr@geia.net.ec  
Guanoand, Ecuador  
www.inatratr.com

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES					
SERIE N°:	D0059423	TENSION PRIMARIA (V):	7620	TENSION SECUNDARIA (V):	240 / 120
CONEXION:	Y	Y	Y	Y	Y
TIPO:	En Aceite	3,28	104	ALTIMA: 3000 mm	FRECUENCIA: 60 Hz
13200 Ged Y / 7620      *-2x2,5%					
N° FASES:	1	W0	Wc	Wtot	1 Io      1 Toc
DATOS GARANTIZADOS		98	289	187	2
85 °C		Watt	Watt	Watt	
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		TENSION APLICADA		TENSION INDUCIDA A 600 Hz	
Con Muestra de 5000 Voltios		60 Hz		18 Seg.	
ATANT	>2000	Megahom.	ATATBT	34	KV
BTAT	>2000	Megahom.			VOLT: 480
ATAT	>2000	Megahom.	BTATBT	10	KV
MEDIDA DE RESISTENCIAS TAP-Hot		CALCULO DE RESISTENCIAS POR FASE			
to		29,5 °C		85 °C	
A T	B T	to	29,5 °C	85 °C	
R1-R2 (ohm)	15	Xo-XI (ohm)	0,00515	Rh (ohm)	15
DEVANADOS EN COBRE		Ra (ohm)	0,00515	Rx (ohm)	0,00623
RELACION DE ESPIRAS		REGULAC. 85 °C		RENDIMIENTO 83 °C	
TIR		100% de carga		100% de carga	
T A P	A			FP: 0.8	2,54
1	33,342			FP: 0.8	98,3
2	32,544			FP: 0.9	2,21
3	31,752			FP: 0.9	98,45
4	30,955			FP: 1	1,11
5	30,161			FP: 1	98,64
PRUEBA SIN CARGA ( vacio )			CALCULO DE PERDIDAS E IMPEDANCIA		
V0	Io1		W0	V0	240 Voltios
				Io	0,85 Amperios
240	0,88		67	W0	67 Vatios
PRUEBA DE CORTO CIRCUITO A to			235 Vatios		
Vc	Ic1		Wc	Z'B ( to )	217 Vatios
				Wad(to)	19 Vatios
203	3,28		235	Wc ( tf )	278 Vatios
			1 Toc		
			2,77 kVn		
			343 Vatios		
PINTURA : GRIS		ACEITE TIPO: 2		RIGIDEZ DIELECTRICA ACEITE: 40 KV	
MARCA: 125 MICAS		MARCA: PORAMIN		METODO: D-877 A.S.T.M.	
				PESO TOT: 158 Kg	
				ACEITE: 74 Lt	
<b>Observaciones:</b>					
..... MANGASICO AUTOPROTEGIDO					
<b>Responsable Técnico:</b>		DARWIN ANTEAGA PASTUEL		<b>inatra Cía. Ltda.</b>	
<b>Lugar y Fecha:</b>		GUAYAOUIL, JULIO 02 DEL 2005		 FIRMA RESPONSABLE TECNICO	



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 111: 2004**

**Primera revisión**

---

---

## **TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN. PRUEBAS ELÉCTRICAS**

**Primera Edición**

DISTRIBUTION TRANSFORMERS. ELECTRIC TEST

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, pruebas eléctricas.

EL 04. 02 – 301

CDU: 621. 314

CIU: 4101

ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.  
PRUEBAS ELÉCTRICAS**

**NTE INEN  
2 111: 2004  
Primera revision  
2004 – 05**

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma describe los métodos de las pruebas eléctricas a que deben someterse los transformadores de potencia y distribución.

**2. ALCANCE**

**2.1** Esta norma se aplica a todos los tipos de transformadores de potencia y distribución, sumergidos en líquido aislante y refrigerante, sin contenido de PCB y secos.

**3. DEFINICIONES**

**3.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110 y las que a continuación se detallan:

**3.1.1 Prueba tipo:** La efectuada por el fabricante a un transformador representativo de una serie de valores iguales e igual constitución, con el fin de demostrar el cumplimiento de las normas. (Ver nota 1)

**3.1.2 Prueba de rutina.** La que debe realizarse a cada transformador en forma individual.

**3.1.3 Prueba especial.** Prueba diferente a las de rutina, acordado entre fabricante y comprador y exigible solo en el contrato particular.

**3.1.4 Pruebas eléctricas.** Las realizadas a los transformadores con el objeto de determinar su comportamiento eléctrico; las pruebas eléctricas se clasifican de la siguiente manera :

**3.1.4.1 Pruebas de rutina.** Las pruebas de rutina son:

- a) Medición de la resistencia de los devanados.
- b) Medición de la relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular.
- c) Medición de los voltajes de cortocircuito.
- d) Medición de las pérdidas con carga.
- e) Medición de las pérdidas sin carga (en vacío) y comente de excitación.
- f) Prueba de voltaje aplicado.
- g) Prueba de sobrevoltaje inducido.
- h) Medición de la resistencia de aislamiento con megger para transformadores de distribución y medición del factor de potencia del aislamiento para transformadores de potencia.
- i) Prueba de la rigidez dieléctrica del líquido aislante y refrigerante.

**3.1.4.2 Pruebas tipo.** Las pruebas tipo son:

- a) Prueba de voltaje de impulso con onda completa.
- b) Prueba de calentamiento.

NOTA 1.- Se considera que un transformador es representativo de otros, si es completamente idéntico en características y constitución, sin embargo la prueba tipo puede considerarse válida si es hecho sobre un transformador que tenga pequeñas desviaciones sobre los otros. Estas desviaciones serán objeto de acuerdo entre comprador y fabricante.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, pruebas eléctricas.

c) Medición del nivel de ruido.

3.1.4.3 *Pruebas especiales*. Las pruebas especiales son:

- a) Prueba de voltaje incluyendo ondas recortadas,
- b) Medición de la impedancia de secuencia cero.
- c) Medición de las capacitancias.
- d) Prueba de cortocircuito.
- e) Medición de las descargas parciales (efecto corona).
- f) Prueba de los conmutadores con carga y sin ella.
- g) Medida de las ondas armónicas (transformadores sin carga).
- h) Prueba de hermeticidad.

#### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** 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.

**4.2** Todos los componentes y accesorios externos que puedan afectar el funcionamiento del transformador deben estar colocados en su lugar.

**4.3** 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.

**4.4** Las condiciones de prueba para todas las características, a excepción de las de aislamiento, deben ser a la condición nominal, a menos que en el numeral de la prueba se establezca otra cosa.

**4.5** Cuando se requiera que los resultados de las pruebas sean corregidos a una temperatura de referencia, la misma debe estar de acuerdo con la tabla 1, a excepción de las de aislamiento.

**TABLA 1. Temperatura de referencia**

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

**4.6** El voltaje de las fuentes de energía utilizadas en las pruebas debe ser de frecuencia nominal y tener una forma de onda sinusoidal, con excepción a las utilizadas en las pruebas especificadas en los numerales 3.1.4.1 lit. g), 3.1.4.2 lit. a) y 3.1.4.3 lit. a).

#### 5. REQUISITOS

**5.1** Las características relacionadas con el comportamiento eléctrico que deberán ser garantizadas se indican en la tabla 2, en la cual se especifican las tolerancias permitidas. El objeto de estas tolerancias es el de permitir pequeñas variaciones debidas a la fabricación.

(Continúa)

**5.1.1** Las tolerancias a los valores de pérdidas ofertados o declarados son las que se indican en la tabla 2. Estos valores no deberán exceder a los valores especificados en las tablas 1 y 2 de las NTE INEN 2 114 y 2 115 Segunda revisión.

**5.1.2** La tolerancia en la relación de transformación se aplicará a todas las derivaciones, pero en devanados con derivaciones y pocas espiras se permitirá por acuerdo entre fabricante y comprador, que la tolerancia se aplique a la relación de transformación más exacta obtenida y no a la relación de transformación especificada.

**TABLA 2. Tolerancias**

CARACTERÍSTICAS	TOLERANCIA
<b>1. PÉRDIDAS</b> 1.1 Pérdidas totales 1.2 Pérdidas con carga  1.3 Pérdidas sin carga (en vacío)	+ 6% de las pérdidas declaradas + 10% de las pérdidas declaradas. Teniendo en cuenta que no se haya sobrepasado la tolerancia para las pérdidas totales.  + 10% de las pérdidas declaradas. Teniendo en cuenta que no se haya sobrepasado la tolerancia para las pérdidas totales.
<b>2. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN SIN CARGA (en vacío) DE LA DERIVACIÓN PRINCIPAL (RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN PRINCIPAL)</b>  Nota: Ver el numeral 5.1.1 de esta norma	El más bajo de los siguientes valores: a) $\pm 0,5\%$ de la relación declarada. b) Un porcentaje de la relación de transformación declarada igual al 10% del voltaje de cortocircuito.  Si el voltaje por espira excede esta tolerancia, la relación en las derivaciones debe corresponder a la relación de la espira más cercana.
<b>3. VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO</b> 3.1 Para la derivación principal (voltaje nominal de cortocircuito) 3.1.1 Transformadores con dos devanados.  3.1.2 Transformadores con más de dos devanados.  3.2 Para derivaciones diferentes a la derivación principal.	Comprende a los valores indicados en las tablas 1 y 2 de las NTE INEN 2 114 y 2 115.  $\pm 10\%$ del voltaje de cortocircuito declarado para esa derivación. $\pm 10\%$ del voltaje de cortocircuito declarado para un par especificado de devanados. $\pm 15\%$ del voltaje de cortocircuito declarado para un segundo par especificado de devanados. Para los demás pares de devanados pueden ser acordadas y establecidas sus tolerancias. $\pm 15\%$ del valor establecido para cada derivación dentro del $\pm 5\%$ de la derivación principal. Para las otras derivaciones, la tolerancia se establecerá por acuerdo entre fabricante y comprador.
<b>4. CORRIENTE SIN CARGA (en vacío)</b>	$\pm 30\%$ de la corriente sin carga (en vacío) declarada.
<b>5. EFICIENCIA</b>	De acuerdo con las tolerancias para pérdidas.
<b>6. REGULACIÓN</b>	De acuerdo con las tolerancias para voltaje de cortocircuito y pérdidas con carga.

**5.1.3** Las tolerancias para las pérdidas con carga, pérdidas sin carga (en vacío), eficiencia y regulación se aplicarán a la derivación principal únicamente. Las tolerancias para estos mismos valores, relacionados con una derivación diferente de la principal, serán establecidas por acuerdo entre fabricante y comprador.

**5.1.4** Cuando una tolerancia en una dirección sea omitida se considerará que no hay restricción del valor correspondiente a esa dirección.

(Continúa)



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 113: 2004

---

---

**TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y  
CORRIENTE SIN CARGA.**

**Primera Edición**

TRANSFORMERS. DETERMINA OF LOSSES AND CURRENTS WITHOUT LOAD.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, determinación de pérdida y corriente sin carga.  
EL 04. 02 – 302  
CDU: 621. 314. 2.001. 1  
CIU: 4101  
ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES  
DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS Y CORRIENTE SIN CARGA**

**NTE INEN  
2 113: 98  
1998 – 03**

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma describe el método para las pruebas a las cuales se deben someter los transformadores de distribución sumergidos en aceite y secos, para determinar sus pérdidas y corriente sin carga.

### 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica a transformadores de distribución sumergidos en aceite y secos.

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110 y la que a continuación se detalla:

**3.1.1** *Factor de forma:* Relación entre el valor eficaz y el valor promedio de una onda.

### 4. DISPOSICIONES GENERALES

#### 4.1 Pérdidas sin carga

**4.1.1** Las pérdidas sin carga de un transformador, consisten principalmente de las pérdidas en el hierro del núcleo y son una función de la magnitud, frecuencia y forma de onda del voltaje aplicado.

**4.1.2** La corriente y las pérdidas sin carga son particularmente sensibles a las diferencias en la forma de onda, y por consiguiente, las medidas de las pérdidas sin carga varían apreciablemente con la forma de onda del voltaje aplicado.

**4.1.3** La característica distorsionada de la corriente sin carga de un transformador, puede hacer que el voltaje del generador presente ondas distorsionadas (de factor de forma diferente de 1,11) y pérdidas diferentes de las que corresponden a una onda sinusoidal.

**4.1.4** Las variaciones ordinarias de temperatura no afectan sensiblemente las pérdidas sin carga y por tanto no es necesario hacer correcciones por esta razón.

**4.1.5** La determinación de las pérdidas sin carga debe hacerse con base en una onda sinusoidal de voltaje, a menos que sea inherente a la operación del transformador una forma de onda diferente.

**4.1.6** La lectura del voltímetro de valor promedio absoluto debe utilizarse para corregir las pérdidas sin carga con una onda sinusoidal de voltaje aplicado.

**4.1.7** Las pérdidas sin carga son en gran parte pérdidas por histéresis y éstas son una función de la máxima densidad de flujo en el núcleo.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, determinación de pérdidas y corriente sin carga.

**4.1.8** Las pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo, varían con el cuadrado del valor eficaz del voltaje de excitación y son básicamente independientes de la forma de onda del voltaje aplicado. Cuando el voltaje de ensayo se mantiene en el valor nominal con el voltímetro de valor promedio, el valor eficaz y las pérdidas por corrientes parásitas se deben corregir al voltaje nominal por medio de la ecuación establecida en el numeral 5.1.1.12.

**4.1.9** Los instrumentos utilizados en la realización de las pruebas, deberán ser de clase 0,5 o mejor.

## **5. MÉTODOS DE ENSAYO**

**5.1** Determinación de las pérdidas sin carga por el método de voltímetro de valor promedio absoluto, para transformadores monofásicos.

### **5.1.1 Procedimiento**

**5.1.1.1** La máxima densidad de flujo corresponde al valor promedio absoluto del voltaje (no al valor eficaz) y por consiguiente, si el valor promedio del voltaje se ajusta para que sea igual al valor promedio de la onda sinusoidal de voltaje deseada y se mantiene la frecuencia apropiada, las pérdidas por histéresis deben ser las correspondientes a la onda sinusoidal deseada.

**5.1.1.2** Si la onda de flujo tiene más de un máximo y un mínimo por ciclo, la lectura del voltímetro promedio no es correcta y la onda de voltaje no debe utilizarse.

**5.1.1.3** Este método es equivalente a utilizar un voltímetro D'Arsonval con un rectificador de onda completa en serie, el cual permite leer el valor promedio de voltaje. Este instrumento se gradúa generalmente para dar la misma indicación numérica que la de un voltímetro de valor eficaz sobre una onda sinusoidal de voltaje. lo cual significa que está graduado en valores eficaces equivalentes de la onda sinusoidal de voltaje.

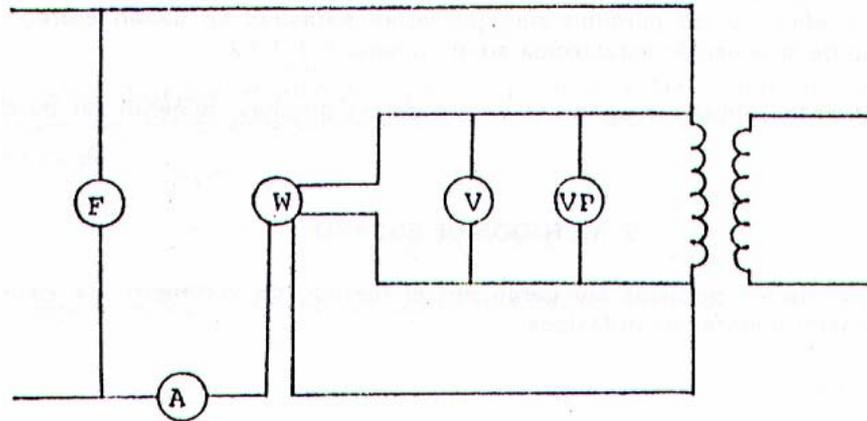
**5.1.1.4** La figura 1 muestra la conexión y el equipo necesario cuando no se requiere transformadores de medida.

**5.1.1.5** Cuando se requiera transformadores de medida, la figura 2 muestra su conexión y el equipo necesario.

**5.1.1.6** En la figura 1 el voltímetro debe conectarse cerca de la carga, el amperímetro cerca de la fuente y el vatímetro entre los dos, en el lado de carga de la bobina de corriente.

**5.1.1.7** Cuando se usan transformadores para medir las pérdidas sin carga, éstos deben ser transformadores de medida de clase 0,5 o de mayor precisión.

*(Continúa)*

**FIGURA 1.** Esquema de la instalación cuando no se requiere transformador de medida.

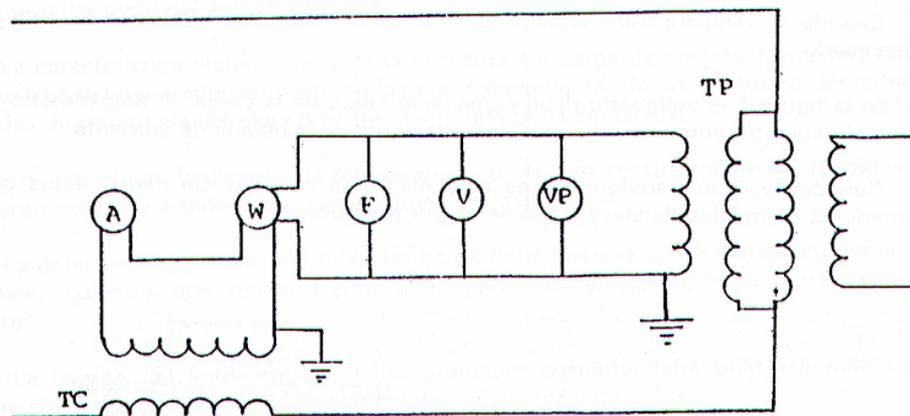
**F** = Frecuencímetro

**A** = Amperímetro

**W** = Vatímetro

**V** = Voltímetro

**VP** = Voltímetro de valor promedio

**FIGURA 2.** Esquema de la instalación cuando se requiere transformador de medida

**TP** = Transformador de potencial

**TC** = Transformador de corriente

(Continúa)

**5.1.1.8** Se deben utilizar vatímetros de bajo factor de potencia para que los resultados sean correctos.

**5.1.1.9** Aún cuando es factible utilizar cualquiera de los devanados de alto o bajo voltaje del transformador que se ensaya, por seguridad es aconsejable utilizar el devanado de bajo voltaje para esta prueba. Se debe utilizar todo el devanado para este ensayo. Si por alguna razón es posible utilizar una porción del devanado, dicha porción no debe ser inferior al 25% del devanado.

**5.1.1.10** Durante el ensayo se registra la frecuencia al valor indicado, utilizando el frecuencímetro y el voltaje de ensayo, por medio del voltímetro de valor promedio.

**5.1.1.11** Se toman lecturas simultáneas de frecuencia, voltaje eficaz, potencia, voltaje promedio y corriente. Luego se desconecta el transformador bajo ensayo, se lee en el vatímetro la lectura, la cual presenta las pérdidas en los instrumentos conectados {y el transformador de potencial si se usa). Este valor debe restarse de la lectura anterior del vatímetro, para obtener las pérdidas sin carga del transformador bajo ensayo.

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

$$P_o = \frac{P_m}{P_1 + KP_2}$$

En donde:

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

$P_m$  = Pérdidas sin carga medidas en el ensayo

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

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

$$K = \left[ \frac{V_r}{V_a} \right]^2$$

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

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

**5.1.1.13** Se debe utilizar el valor real de pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas, pero a falta de valores relativos, los que se indican en la tabla 1 se pueden tomar como típicos:

(Continúa)

TABLA 1

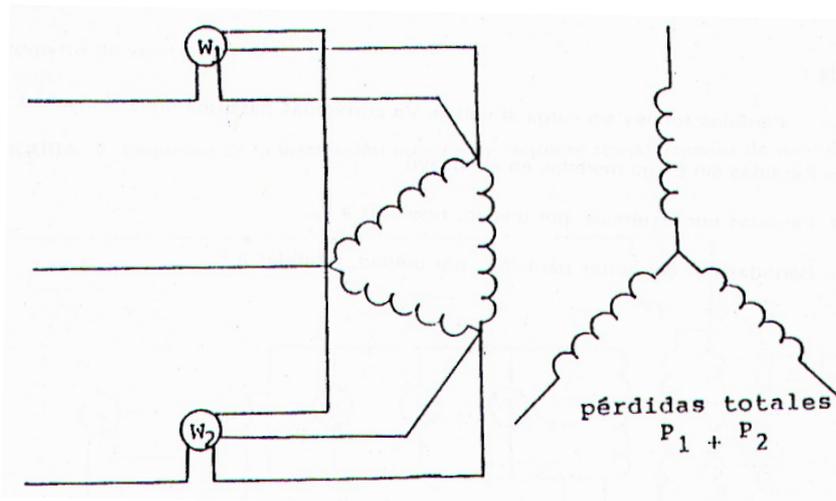
MATERIAL DEL NÚCLEO	PÉRDIDA POR HISTERESIS P1 (Pu)	PÉRDIDAS POR CORRIENTES PARÁSITAS P2 (Pu)
Acero al Silicio laminado en caliente.	0,8	0,2
Acero al Silicio no orientado y laminado en frío	0,5	0,5

## 5.2 Determinación de las pérdidas sin carga en transformadores trifásicos.

**5.2.1** El método descrito anteriormente para transformadores monofásicos es aplicable a transformadores trifásicos, con las siguientes adiciones y modificaciones:

**5.2.1.1** Al medir las pérdidas en el núcleo de un transformador trifásico con dos vatímetros (figura 3) se deben hacer tres grupos separados de lecturas tomando cada una de las líneas como punto común. Este valor promedio de los tres grupos de lecturas se debe tomar como el verdadero valor en las pérdidas sin carga.

**FIGURA 3. Esquema de la instalación para determinar las pérdidas con dos vatímetros**



**5.2.1.2** En el método de los vatímetros se debe tener cuidado de efectuar las lecturas de éstos con exactitud. Debido al bajo factor de potencia, la lectura de un vatímetro puede ser negativa y se debe restar de la otra. Las dos lecturas pueden ser del mismo orden de magnitud y una pequeña inexactitud en sus valores pueden conducir a un gran error en el valor en porcentaje de sus pequeñas diferencias. Bajo tales dificultades se puede obtener la exactitud adecuada por el procedimiento alternativo siguiente:

(Continúa)



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 114: 2004

Segunda Revisión

---

---

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN NUEVOS  
MONOFÁSICOS. VALORES DE CORRIENTE SIN CARGA,  
PÉRDIDAS Y VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO.**

**Primera Edición**

MONOPHASE DISTRIBUTION TRANSFORMERS. CURRENT WITHOUT LOAD, LOSSES AND SHORT  
CIRCUIT VOLTAGE.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Electrotécnica, transformadores monofásicos, valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje  
de cortocircuito.

EL 04. 02 – 403

CDU: 621. 314. 212: 621. 3. 017. 2/1

CIU: 4101

ICS: 29. 180

2003 - 017

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN NUEVOS  
MONOFÁSICOS, VALORES DE CORRIENTE SIN CARGA  
PÉRDIDAS Y VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO**

**NTE INEN  
2 114: 2004  
Segunda revisión  
2004 – 03**

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los valores máximos permisibles de corriente sin carga ( $I_o$ ), pérdidas sin carga ( $P_o$ ), pérdidas con carga a 85°C ( $P_c$ ), pérdidas totales ( $P_t$ ) y voltaje de cortocircuito a 85°C ( $U_{zn}$ ), para transformadores de distribución nuevos, monofásicos, autor refrigerados y sumergidos en líquido refrigerante, sin contenido de PCB.

### 2. ALCANCE

**2.1** Se aplica a transformadores monofásicos de distribución de 3 a 333 kVA, frecuencia 60 Hz clase medio voltaje  $\leq 25$  kV<sub>f-f</sub> de 15 a 333 kVA frecuencia 60 Hz clase medio voltaje  $> 25$  kV<sub>f-f</sub> y  $\leq 34,5$  kV<sub>f-f</sub> clase bajo voltaje  $< 1,2$  kV<sub>f-f</sub>.

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110.

### 4. REQUISITOS

**4.1** Los valores máximos permisibles de  $I_o$ ,  $P_o$ ,  $P_c$ ,  $P_t$ , y  $U_{zn}$  serán los indicados en las tablas 1 y 2, cuando se verifiquen de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 5. A estos valores no se aplicará tolerancia.

**4.2** Las especificaciones para adquisición de transformadores deberán incluir la metodología para evaluación económica si ésta va a efectuarse.

**4.3** Para aquellos transformadores cuya potencia o clase medio voltaje y/o clase bajo voltaje no estén dentro del rango establecido en el numeral 2.1, los valores máximos permisibles serán establecidos por acuerdo entre el comprador y el fabricante.

**4.4** Para aquellos transformadores que estén dentro del rango establecido en el numeral 2.1, pero que no estén con valores definidos, los valores máximos permisibles serán establecidos de acuerdo a las siguientes fórmulas;

Transformadores monofásicos de 3 a 167 kVA, clase medio voltaje  $\leq 25$  kV<sub>f-f</sub>, clase bajo voltaje  $\leq 1,2$  kV<sub>f-f</sub>.

a) Pérdidas en vacío  
 $P_o = 9,8033(P_n)^{0,7141}$

b) Pérdidas con carga  
 $P_c = 0,000063 (P_n)^2 - 0,02695 (P_n)^2 + 10,657(P_n) + 38,267$

Transformadores monofásicos de 15 a 333 kVA, clase medio voltaje  $> 25$  kV<sub>f-f</sub>, y  $\leq 34,5$  kV<sub>f-f</sub>, clase bajo voltaje  $\leq 1,2$  kV<sub>f-f</sub>.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Electrotécnica, transformadores monofásicos, valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje de cortocircuito.

a) Pérdidas en vacío

$$P_o = 33,2967 (P_n)^{0,532}$$

b) Pérdidas con carga

$$P_c = 32,2692 (P_n)^{0,74967}$$

## 5. MÉTODOS DE ENSAYO

**5.1** Se deben realizar de acuerdo con la NTE INEN 2111.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 115: 2004

Segunda Revisión

---

---

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN NUEVOS TRIFÁSICOS. VALORES DE CORRIENTE SIN CARGA, PÉRDIDAS Y VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO.**

**Primera Edición**

THREE – PHASE DISTRIBUTION TRANSFORMERS. CURRENT WITHOUT LOAD LOSSES AND SHORT CIRCUIT VOLTAGE.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores trifásicos, valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje de corto circuito.

EL 04. 02 – 404

CDU: 621. 314. 212: 621. 3. 017. 2/3

CIU: 4101

ICS: 29. 180

<p><b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b></p>	<p><b>TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN NUEVOS TRIFÁSICOS, VALORES DE CORRIENTE SIN CARGA PÉRDIDAS Y VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO</b></p>	<p><b>NTE INEN 2 115: 2004 Segunda revisión 2004 – 03</b></p>
--	---	---

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los valores máximos permisibles de comente sin carga ( $I_o$ ), pérdidas sin carga ( $P_o$ ), pérdidas con carga a 85° C ( $P_c$ ), pérdidas totales ( $P_t$ ) y voltaje de cortocircuito a 85°C ( $U_{zn}$ ), para transformadores de distribución trifásicos autorrefrigerados y sumergidos en líquido refrigerante, sin contenido de PCB.

### 2. ALCANCE

**2.1** Se aplica a transformadores trifásicos de distribución, autorrefrigerados, sumergidos en aceite, frecuencia 60 Hz, potencia de 15 a 2 000 kVA, clase medio voltaje  $\leq$  34,5 kV, de 75 a 2 000 kVA, clase medio voltaje  $>$  25 kV y  $\leq$  34,5 kV, clase bajo voltaje  $\leq$  1,2 kV.

### 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110.

### 4. REQUISITOS

**4.1** Los valores máximos permisibles de  $I_o$ ,  $P_o$ ,  $P_c$ ,  $P_t$ , y  $U_{zn}$  serán los indicados en las tablas 1 y 2, cuando se verifiquen de acuerdo con lo indicado en el capítulo 5. A estos valores no se aplicará tolerancia.

**4.2** Los valores de las tablas 1 y 2 se cumplirán en cualquier tipo de conexión.

**4.3** Las especificaciones para adquisición de transformadores deberán incluir la metodología para evaluación económica si ésta va a efectuarse.

**4.4** Para aquellos transformadores cuya potencia o clase medio voltaje y/o clase bajo voltaje no estén dentro del rango establecido en el numeral 2.1, los valores máximos permisibles serán establecidos por acuerdo entre el comprador y el fabricante.

**4.5** Para aquellos transformadores que estén dentro del rango establecido en el numeral 2.1, pero que no estén con valores definidos, los valores máximos permisibles serán establecidos de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Para clase medio voltaje  $<$ , 25 kV de 15 a 2 000 kVA

Desde 15 kVA hasta 150 kVA:  $P_o = 10,514 \times P_n^{0,7486}$

Mayores de 150 kVA hasta 800 kVA:  $P_o = 13,27 \times P_n^{0,7093}$

Mayores de 800 kVA hasta 2 000 kVA:  $P_o = 1,227 \times P_n + 554,59$

Desde 15 kVA hasta 150 kVA:  $P_c = - 0,0103 \times P_n^2 + 13,892 \times P_n + 106,65$

Mayores de 150 kVA hasta 800 kVA:  $P_c = 10,465 \times P_n + 537$

Mayores de 800 kVA hasta 2 000 kVA:  $P_c = 9,2632 \times P_n + 1875,2$

(Continúa)

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores trifásicos, valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje de corto circuito.

Para clase medio voltaje > 25 kV y á 34,5 kV de 75 a 2 000 kVA

Desde 75 kVA hasta 800 kVA:

$$P_o = 23,558 \times P_n^{0,6487}$$

Desde 800 kVA hasta 2 000 kVA:

$$P_o = 8,3104 \times P_n^{0,79215}$$

Desde 75 kVA hasta 800 kVA:

$$P_c = 41,0332 \times P_n^{0,8118}$$

Desde 800 kVA hasta 2 000 kVA:

$$P_c = - 0,0004 \times P_n^2 + 9,9981 \times P_n + 2 447,5$$

## 5. MÉTODOS DE ENSAYO

**5.1** Se deben realizar de acuerdo con la NTE INEN 2111.

*(Continúa)*



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 117: 98

---

---

**TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN,  
VERIFICACIÓN DE LA POLARIDAD Y DESPLAZAMIENTO  
ANGULAR.**

**Primera Edición**

TRANSFORMERS. TRANSFORMER RATIO, POLARITY VERIFICATIONS AND PHASE RATIO.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular.

EL 04. 02 – 304

CDU: 621. 314. 2: 621. 317

CIU: 4101

ICS: 29. 180

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>TRANSFORMADORES. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN, VERIFICACIÓN DE LA POLARIDAD Y DESPLAZAMIENTO ANGULAR</b>	<b>NTE INEN 2 117: 98 2004 – 03</b>
---	---	---

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma describe la forma de efectuar la medición de la relación de transformación, verificar la polaridad y el desplazamiento angular en los transformadores de potencia y distribución.

### 2. DEFINICIONES

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110.

### 3. DISPOSICIONES GENERALES

**3.1** Medición de la relación de transformación.

**3.1.1** La medición de la relación de transformación se hace a voltaje nominal o menor y a frecuencia nominal o mayor.

**3.1.2** En transformadores conectados en estrella con el punto neutro inaccesible, la prueba se realiza para todas las fases en conjunto (circuito polifásico) aplicando un voltaje simétrico con un porcentaje de asimetría de hasta 0,5%.

**3.1.3** En transformadores polifásicos en los cuales cada fase sea independiente y accesible, la prueba se realiza preferentemente para cada fase (circuito monofásico) pero también puede realizarse para todas las fases en conjunto (circuito polifásico).

**3.1.4** Si se trata de un transformador con derivaciones, la medición de la relación de transformación debe efectuarse para todas las derivaciones.

**3.2** Verificación de la polaridad.

**3.2.1** En transformadores polifásicos se debe verificar la polaridad para cada una de las fases independientemente.

**3.3** Verificación del desplazamiento angular.

**3.3.1** El desplazamiento angular entre las fases de los transformadores polifásicos, se debe verificar con el método del diagrama fasorial, siempre y cuando la relación de transformación no exceda de 30:1.

**3.3.2** La verificación de la secuencia cuando la relación de transformación exceda de 30:1 se hace con el método del indicador de secuencia.

**3.3.3** En transformadores con más de un devanado de bajo voltaje, cada uno de éstos se estudia independientemente, de acuerdo al método del diagrama fasorial descrito en el numeral 4.3.1 y al diagrama 1 de la NTE INEN 2 110, su identificación se efectúa con la letra mayúscula representativa del devanado de alto voltaje, seguida de los símbolos literales o índices numéricos correspondientes al secundario, terciario, etc., en orden decreciente de voltajes.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular.

**3.3.4** Cuando el transformador posea un devanado destinado exclusivamente a compensación, se señala su existencia por el símbolo literal correspondiente encerrado entre paréntesis y sin seguirlo de índice numérico.

## 4. MÉTODOS DE ENSAYO

**4.1** Medición de la relación de transformación.

**4.1.1** Método del vatímetro. Consiste en aplicar un voltaje alterno sinusoidal de valor conocido al devanado de mayor voltaje, midiendo este voltaje y el que aparece en el otro devanado por medio de voltímetros y transformadores de voltaje apropiados. La relación de los dos voltajes medidos será a la relación de transformación.

Los voltímetros deben leerse simultáneamente. Debe hacerse una segunda lectura intercambiando los voltímetros se tomará el promedio de las dos lecturas para compensar el error de los instrumentos.

La relación del transformador de voltaje debe ser tal, que sitúe los dos voltímetros aproximadamente en la misma lectura, de otro modo la compensación del error por intercambio de los instrumento no es satisfactoria y es necesario emplear una conexión apropiada de los mismos.

La prueba debe hacerse con no menos de cuatro voltajes y escalonamientos de aproximadamente el 10%; el valor promedio debe tomarse como valor verdadero.

Si los valores tomados difieren en más del 1% las medidas deberán repetirse con otros voltímetros.

Cuando se deba medir la relación a varios transformadores de especificaciones nominales iguales, el trabajo puede ser simplificado aplicando el sistema enunciado a una unidad y luego comparando los restantes con ésta como patrón, de acuerdo al método del transformador patrón.

**4.1.2** *Método del transformador patrón (TTR)*. Consiste en comparar el voltaje del transformador bajo prueba con la de un transformador patrón calibrado, cuya relación es ajustable en pequeños escalones. Con este método, el transformador en prueba y el patrón se conectan en paralelo y se aplica voltaje a sus devanados de alto voltaje, mientras los otros devanados se hallan conectados a un detector sensible cuya indicación se lleva a cero ajustando la relación del transformador patrón. En este punto, las relaciones de ambos transformadores son iguales.

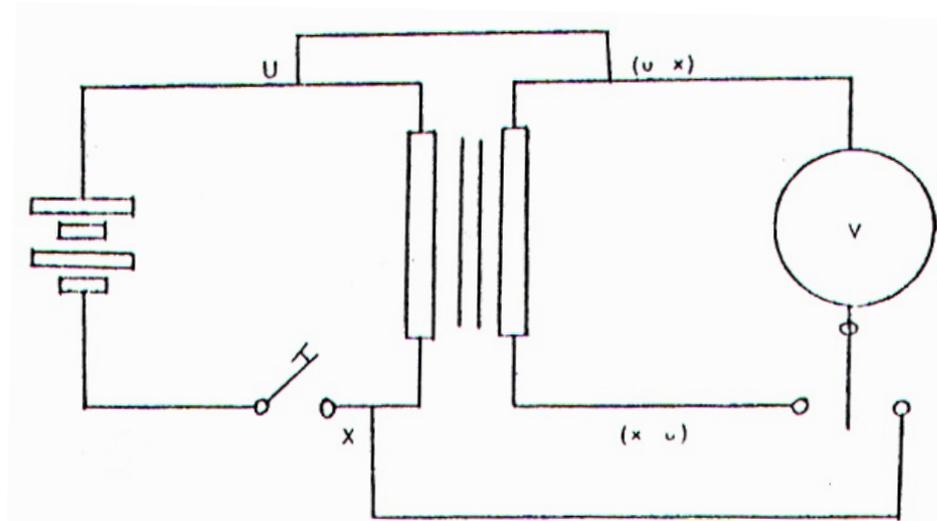
**4.2** Verificación de la polaridad

**4.2.1** *Método del transformador patrón*. Se conecta en paralelo el devanado de alto voltaje del transformador en prueba con el devanado de alto voltaje del transformador patrón de polaridad conocida y con la misma relación de transformación que la del transformador en prueba, uniendo entre sí los terminales correspondientes. Análogamente se conectan también los terminales de un lado de los devanados de bajo voltaje de ambos transformadores, dejando libres los restantes. En estas condiciones se aplica un voltaje de valor reducido a los devanados de alto voltaje y se mide el voltaje entre los terminales libres del lado de bajo voltaje. Si el voltímetro indica cero o un valor mínimo, la polaridad de ambos transformadores será la misma.

**4.2.2** *Método de la descarga inductiva*. Se coloca el voltímetro de corriente continua entre los terminales del devanado de alto voltaje y se hace circular corriente continua por este devanado de modo que se produzca una pequeña desviación positiva del voltímetro al cerrar el circuito de excitación. Luego se transfieren los dos cables del voltímetro a los dos terminales del devanado de bajo voltaje directamente opuesto. Al abrir el circuito de excitación de comente continua se induce un voltaje en el devanado de bajo voltaje lo cual produce una desviación de la aguja del instrumento. Si la aguja se mueve en la misma dirección anterior (positiva) la polaridad es aditiva y en caso contrario la polaridad es sustractiva. Ver figuras 1 y 3.

(Continúa)

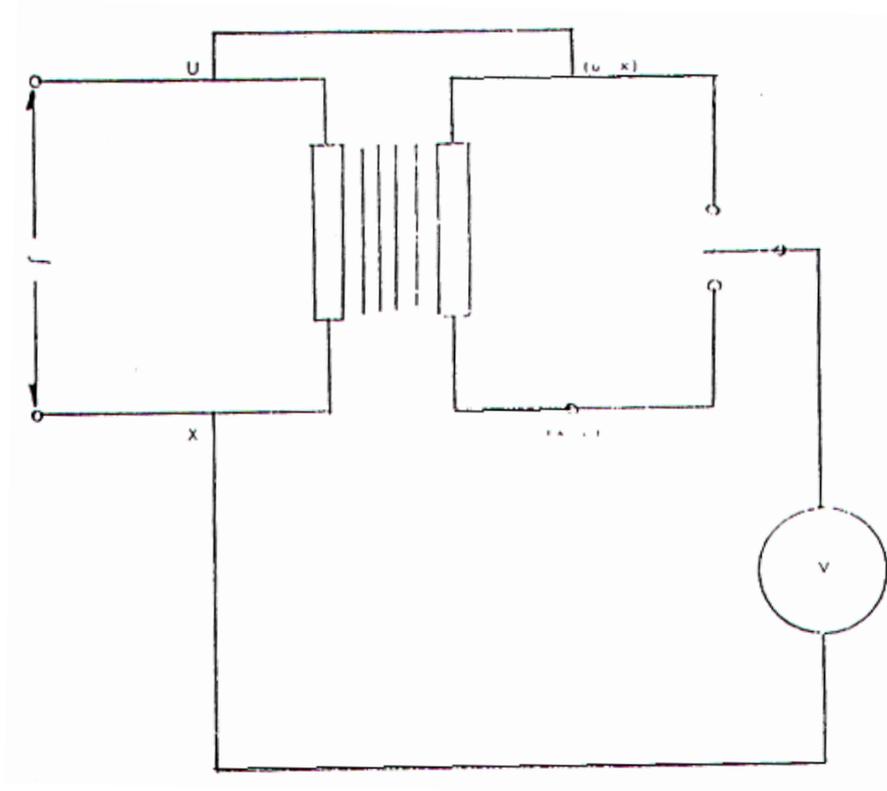
**FIGURA 1.** Esquema del circuito utilizado en la determinación de la polaridad con el método de la descarga inductiva



**4.2.3 Método diferencial de corriente alterna.** Se conecta entre sí, los terminales de los devanados de alto y bajo voltaje contiguos del lado izquierdo del transformador (mirado desde el lado de abajo). Se aplica cualquier voltaje conveniente de corriente alterna al devanado completo de alto voltaje y se efectúan lecturas, primeramente del voltaje aplicado y luego del voltaje entre los terminales contiguos del lado derecho de ambos devanados. Si esta última lectura es de menor valor que la primera, la polaridad es sustractiva y si es de mayor valor que la primera, la polaridad es aditiva. Ver figura 2.

(Continúa)

**FIGURA 2.** Esquema del circuito utilizado en la determinación de la polaridad con el método diferencial con corriente alterna.



(Continúa)



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 125: 98

---

---

## **TRANSFORMADORES. PRUEBAS DEL DIELECTRICO**

**Primera Edición**

TRANSFORMERS. DIELECTRIC TESTS

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, pruebas de dieléctrico

EL 04. 02 – 306

CDU: 621. 314. 0010. 4

CIU: 4101

ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES.  
PRUEBAS DEL DIELECTRICO**

**NTE INEN  
2 125: 98  
1998 – 03**

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma describe los métodos de prueba, liara determinar el nivel de aislamiento en los transformadores de potencia y distribución, tipo seco y sumergidos en aceite.

**2. DEFINICIONES**

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan disposiciones contempladas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2110.

**3. DISPOSICIONES GENERALES**

**3.1** Los transformadores destinados a funcionar a una altitud no mayor de 1 000 m.s.n.m. deben cumplir con los requisitos establecidos en los numerales 4.1 y 4.2 de la NTE INEN 2 127.

**3.2** Los transformadores que se van a utilizar a altitudes mayores de 1 000 m.s.n.m., cumplirán con los requisitos establecidos en el numeral 4.3 de la NTE INEN 2 127.

**4. REQUISITOS**

**4.1** Transformadores de tipo seco. El aislamiento deberá ser diseñado para resistir, entre los devanados y tierra, la prueba de voltaje aplicado. El nivel de aislamiento a frecuencia industrial de estos transformadores, se define por el voltaje de prueba a frecuencia industrial y su valor es dado por la magnitud correspondiente al voltaje máximo de operación especificado. Con este voltaje de prueba, está asociada una prueba de voltaje inducido.

**4.2** Transformadores sumergidos en aceite. Excepto para los transformadores que funcionan en instalaciones interiores, el aislamiento deberá ser diseñado para resistir un voltaje de prueba de impulso de onda completa. El nivel de aislamiento de impulso del transformador, se definirá en función de este voltaje de prueba y su valor se expresará por la amplitud de onda especificada del sistema bajo las condiciones de tierra determinadas. Con este voltaje de impulso está asociada una prueba a frecuencia industrial.

**4.2.1** El voltaje de circuito abierto de ciertas derivaciones de un transformador, podrá exceder el voltaje máximo de operación del sistema, pero esto no implica un incremento del nivel de aislamiento de impulso o del nivel de aislamiento a frecuencia industrial requerido por esta Norma.

**4.3** Transformadores monofásicos utilizados en sistemas trifásicos. Los transformadores que van a ser utilizados en un banco trifásico, deberán tener un nivel de aislamiento apropiado para el voltaje máximo de operación del sistema trifásico y el método de conexión a tierra del sistema, cualquiera que sea la conexión del banco (estrella, delta, etc.).

**5. MÉTODOS DE ENSAYO**

**5.1** Prueba de voltaje aplicado (Prueba de rutina)

**5.1.1** Esta prueba se realizará con un voltaje alterno monofásico, de forma de onda tan próxima a la sinusoidal como sea posible y de frecuencia nominal.

*(Continúa)*

**5.1.2** Se mide el valor de cresta del voltaje de prueba. El valor de cresta dividido por  $\sqrt{2}$  debe estar de acuerdo con las tablas 1, 2 y 4 de la NTE INEN 2 127.

**5.1.3** La prueba se inicia a un voltaje no mayor que 1/3 del voltaje de prueba y se aumenta al valor apropiado dado en las tablas 1, 2 y 4, tan rápidamente como lo permita la indicación dada por el instrumento de medida. Al final de la prueba el voltaje se reduce rápidamente a menos de la tercera parte de su valor completo antes de desconectar.

**5.1.4** El voltaje apropiado, obtenido de una fuente separada, se aplica sucesivamente durante 60 segundos, entre los devanados bajo prueba y los demás, conectados a tierra con el núcleo, armazón y tanque o cubierta del transformador.

**5.1.5** Para transformadores de tipo seco se aplica la tabla 1 de la NTE INEN 2 127. Para transformadores sumergidos en aceite con aislamiento uniforme se aplica la tabla 2 de la misma norma. Para transformadores sumergidos en aceite con aislamiento decreciente se aplica la tabla de la norma INEN de referencia.

**5.1.6** Para las conexiones especiales indicadas a continuación la prueba se realiza como sigue:

**5.1.6.1** Devanados de voltajes nominales diferentes que se interconectan dentro del transformador.

- El voltaje de prueba se basa en el voltaje máximo de operación del sistema o de los circuitos a los cuales se conectan los devanados. La prueba se realiza con los devanados interconectados como para servicio.

**5.1.6.2** Devanados diseñados para operar en serie con líneas de alimentación conectadas a otros aparatos.

- El voltaje de prueba se basa en el voltaje máximo de operación del sistema, resultante de la combinación de los devanados en serie y los aparatos.

**5.2** Prueba de voltaje inducido (Prueba de rutina).

**5.2.1** Consiste en aplicar a los terminales de bajo o de alto voltaje del transformador bajo prueba, un voltaje alterno de forma de onda tan próxima a la sinusoidal como sea posible y frecuencia incrementada sobre la nominal en un valor apropiado para evitar que la corriente de excitación durante la prueba sea excesiva.

**5.2.2** Se mide el valor de cresta del voltaje inducido en los devanados. Su valor dividido por  $\sqrt{2}$  deberá estar de acuerdo con lo indicado en las Tablas 1 ó 2 según corresponda, de la NTE INEN 2 127.

**5.2.3** La prueba debe iniciarse a un voltaje no mayor que un tercio del valor de prueba, aumentándolo tan rápidamente como lo permita la indicación dada por el instrumento de medida. Al final de la prueba, el voltaje debe reducirse rápidamente a menos de un tercio del valor de prueba, antes de efectuar la desconexión.

**5.2.4** La duración de la prueba será de 60 segundos para cualquier frecuencia de prueba menor o igual al doble de la frecuencia nominal. Cuando la frecuencia de prueba excede al doble de la frecuencia nominal, la duración de la prueba en segundos será ciento veinte veces el cociente de dividir la frecuencia nominal para la frecuencia de prueba o bien 15 segundos, escogiendo siempre la que resulte mayor.

**5.2.5** *Devanados con aislamiento uniforme.*

**5.2.5.1** Los devanados con aislamiento uniforme deben conectarse a tierra durante la prueba en cualquier punto.

(Continúa)

**5.2.5.2** El voltaje inducido entre los terminales de línea del devanado de alto voltaje, deberá ser igual al voltaje de prueba especificado en las tablas 1 y 2 de la NTE INEN de referencia, siempre y cuando el voltaje entre las diferentes partes del mismo devanado, no sea más del doble de la que aparece al aplicar el voltaje nominal a los terminales de línea.

### **5.2.6** *Devanados con aislamiento decreciente*

**5.2.6.1** Los devanados con este tipo de aislamiento deben conectarse a tierra durante la prueba en un punto tal que se asegure la aparición del voltaje de prueba requerido entre los terminales de prueba y tierra, repitiendo la prueba si es necesario para garantizar la aplicación del voltaje de prueba a todos los terminales correspondientes.

**5.2.6.2** Las pruebas se hacen de modo que se produzca entre terminales de línea y también entre aquellos y el núcleo, tanque y partes estructurales conectados entre sí y a tierra, un voltaje del valor apropiado indicado en la tabla 2, columna 3 de la NTE INEN 2 127.

**5.2.6.3** Cuando se trata de transformadores trifásicos, se permite aplicar el voltaje de prueba a cada fase sucesivamente (es decir entre cada terminal y tierra) y, se desconectan las demás fases de modo que se evite la aparición de voltajes excesivamente altos entre terminales de línea adyacentes.

### **5.3** *Prueba de voltaje de impulso de onda completa (Prueba tipo)*

**5.3.1** El voltaje de impulso de la prueba se aplica al terminal de línea del devanado que se va a ensayar. En transformadores polifásicos la prueba se aplica sucesivamente a cada terminal de línea.

**5.3.1.1** Las derivaciones usadas en esta prueba debe acordarse entre fabricante y comprador teniendo en cuenta la distribución del voltaje, dentro del devanado, que puede resultar de la derivación escogida.

**5.3.2** El valor de cresta del voltaje aplicado se especifica en la tabla 2 de la NTE INEN 2 127.

**5.3.3** La forma de onda debe ser de  $1,2/50$   $\mu$ s (ver figura No. 1) con una tolerancia no mayor del  $\pm 30$  % para la duración del frente de onda y  $\pm 20$  % para el tiempo en el cual debe alcanzarse la mitad del valor máximo en la espalda de la onda. Cuando las características del transformador bajo prueba son tales que es prácticamente imposible obtener la forma de onda normal dentro de las tolerancias anteriores, por ejemplo, cuando la inductancia del devanado es muy baja, o su capacitancia es muy alta, se pueden permitir tolerancias más amplias por acuerdo entre productor y comprador.

### **5.3.4** *Preparación del transformador para la prueba.*

**5.3.4.1** Puesta a tierra del tanque del transformador. El tanque del transformador debe ser eficazmente conectado a tierra ya sea directamente o a través de una impedancia de valor bajo.

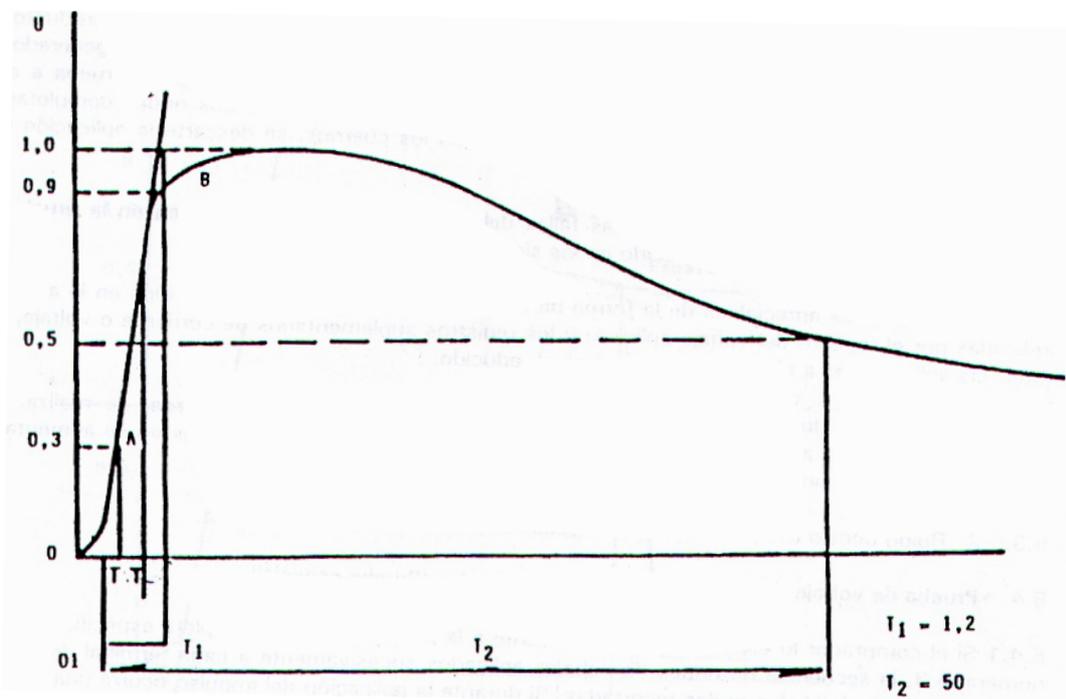
#### **5.3.4.2** *Conexiones para la prueba.*

- Un terminal de línea del devanado bajo prueba se conecta al generador de impulsos y los demás se conectan a tierra, directamente o a través de una impedancia de valor bajo. Si el comprador especifica que el transformador puede operar en servicio con el neutro conectado a tierra, éste se debe conectar a tierra. De lo contrario, puede no hacerse esta conexión.

**5.3.4.3** Protección de terminales y devanados no sometidos a prueba. Todos los terminales de los devanados no sometidos a prueba, deben conectarse a tierra directamente o a través de una resistencia que limite el voltaje que aparece en ellos, a menos de 75% del nivel de prueba con onda completa, del devanado correspondiente.

**5.3.4.4** Cuernos de descarga. Los cuernos de descarga pueden ser retirados o aumentar su espaciado para evitar descargas durante la prueba.

(Continúa)

**FIGURA No. 1 – Voltaje de impulso de onda completa**

NOTA.- La tensión de Impulso normal es una tensión de onda completa, con una duración de frente de 1,2 micro-segundos ( $T_1$ ) y una duración convencional hasta de un valor de  $\frac{1}{2}$

cresta de 50 microsegundos ( $T_2$ ). Dicha relación se designa 1.2/50 micro-segundos.

### 5.3.5 Procedimiento de prueba

#### 5.3.5.1 Ajuste de la forma de onda del voltaje y calibración de/generador de impulsos.

- Con el generador de impulsos conectado al terminal del devanado del transformador bajo prueba y a los aparatos de medida  $v$  de registro de voltaje, se ajustan los parámetros del circuito a un voltaje reducido para dar la forma de onda requerida 1,2/50  $\mu s$ .
- A un voltaje entre 50% y 75% del nivel del voltaje de prueba a onda completa, se obtiene un registro oscilográfico del voltaje aplicado entre el terminal de línea bajo prueba y tierra y un registro suplementario de corriente o voltaje (ver numeral 5.2.6). Este registro puede usarse para verificar la forma de onda y para determinar el valor de cresta del voltaje aplicado y en conjunto con el registro suplementario de corriente o voltaje, para ayudar a interpretar los resultados de la prueba.

#### 5.3.5.2 Registro de la prueba.

- Deben tomarse registros de la onda de voltaje aplicado y de, por lo menos un valor adicional seleccionado entre los más importantes.
- No es conveniente normalizar estos registros adicionales. Por ejemplo, se puede medir la corriente que fluye en el extremo conectado a tierra del devanado bajo prueba, o que fluye a través de la conexión del tanque a tierra pero conectado al extremo del neutro del devanado bajo prueba: o el voltaje inducido que aparece a través de otro devanado. Se registra para el transformador bajo prueba, el valor que considere más apropiado el productor.

(Continúa)



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 127: 98**

---

---

## **TRANSFORMADORES. NIVELES DE AISLAMIENTO**

### **Primera Edición**

TRANSFORMERS. INSULATION LEVELS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, niveles de aislamiento.

EL 04. 02 – 409

CDU: 621. 314. 001. 4

CIU: 4101

ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES.  
NIVELES DE AISLAMIENTO**

**NTE INEN  
2 127: 98  
1998 – 03**

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma establece los niveles de aislamiento de los devanados para los transformadores de distribución y potencia sumergidos en líquido refrigerante, con niveles de voltaje menores de 110 kV.

**2. DEFINICIONES**

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110, y la que a continuación se detalla:

**2.2 Nivel Básico de Aislamiento NDA (BU).** Nivel de aislamiento para devanados y partes conectadas, no diseñadas para ser sometidas a las pruebas de voltaje de impulso.

**3. DISPOSICIONES GENERALES**

**3.1** Los requisitos de aislamiento y las pruebas correspondientes para transformadores, están dados con referencia a un devanado específico y sus terminales.

**3.2** Para transformadores sumergidos en líquido refrigerante, los requisitos se aplican únicamente para el aislamiento interno. Cualquier requisito adicional o prueba con miras a verificar el aislamiento externo que se considere necesario, debe estar sujeto a un acuerdo entre el comprador y el fabricante.

**3.3** Se deberá consultar específicamente, si el usuario desea hacer conexiones al transformador de tal manera que se reduzcan las distancias establecidas por el fabricante.

**3.4** Cuando se especifique un transformador sumergido en líquido refrigerante para operación a una altitud mayor de 1 000 m.s.n.m. las distancias de aislamiento se debe diseñar de conformidad. En este caso, puede ser necesario seleccionar bujes diseñados para niveles mayores de aislamiento que aquellos especificados para el aislamiento interno del devanado del transformador.

**3.5** Los bujes y cambiadores se deben especificar, diseñar y probar de acuerdo con las normas correspondientes. Sin embargo las pruebas de aislamiento al transformador completo constituyen una prueba de la correcta aplicación e instalación de estos componentes.

**3.6** Las pruebas de aislamiento deberán hacerse con el transformador a la temperatura ambiente. Se pueden retirar el sistema de refrigeración y los equipos de protección y control del transformador sumergido en líquido refrigerante.

**3.7** Si un transformador incumple sus requisitos durante la prueba y la falla está en un buje, se permite reemplazar el buje temporalmente y continuar con las pruebas del transformador hasta completarlos sin retraso.

**3.8** Los transformadores con cajas de conexión para cables o directamente conectados a instalaciones de SF<sub>6</sub> u otro tipo de aislamiento se deben diseñar para que se puedan realizar conexiones temporales durante las pruebas de aislamiento y utilizar, si es necesario, bujes auxiliares.

**3.9** Si el fabricante va a utilizar elementos no lineales o pararrayos montados interna o externamente al transformador, con el fin de limitar los transitorios de voltaje transferidos, debe comunicarlo al usuario.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, niveles de aislamiento.

## 4. REQUISITOS

### 4.1 Voltaje máximo del equipo y su nivel de aislamiento

**4.1.1** A cada devanado de un transformador se asignará un valor de voltaje máximo del equipo  $V_m$ .

**4.1.1.1** Las exigencias para la coordinación del aislamiento de un transformador con respecto a sobrevoltajes transitorios se formularán de manera diferente dependiendo del valor de  $V_m$ . Cuando las exigencias acerca de pruebas específicas para devanados diferentes en un transformador difieran, se aplicará la exigencia para el devanado con el más alto  $V_m$ .

**4.1.1.2** Los valores generalizados de  $V_m$  se indican en las tablas 1 y 2. El valor que se va a seleccionar para un devanado del transformador será igual o inmediatamente superior al voltaje nominal del devanado.

**4.1.1.3** Si el voltaje máximo del sistema  $V_m$  no es excedido, los devanados de los transformadores podrán estar provistos de derivaciones para voltajes por encima del valor del voltaje nominal, sin incrementar el nivel básico de aislamiento NBA (BIL) seleccionado.

**4.1.2** Los voltajes especificados que debe soportar el devanado y que constituyen su nivel básico de aislamiento NBA (BIL), serán verificados por un conjunto de pruebas dieléctricas, el cual es diferente dependiendo del valor de  $V_m$ .

**4.1.2.1** El valor de  $V_m$  y el nivel básico de aislamiento NBA (BIL) que son asignados a cada devanado de un transformador, serán parte de la información que debe ser suministrada con un pedido y una orden. Si hay un devanado con aislamiento no uniforme el nivel de básico de aislamiento del terminal neutro también deberá ser especificado por el comprador.

**4.1.2.2** Los valores especificados de nivel básico de aislamiento NBA de todos los devanados, se deberán registrar en la placa de características. La información para los diferentes devanados deberá estar separada por una raya inclinada (/).

Para un devanado con aislamiento "o uniforme primero se indicará el valor de aislamiento del terminal de línea y enseguida, separado por un guión, el valor para el terminal neutro.

**TABLA 1.** Relaciones de voltaje nominal del sistema, voltaje máximo del sistema y nivel básico de aislamiento NBA (BIL)

Aplicación	Voltaje nominal del Sistema $V_n$ kV ef	Voltaje máximo del sistema $V_m$ kV ef.	Nivel básico de Aislamiento NBA kV
Distribución hasta 500 kVA inclusive	1, 2	1, 2	30
	2, 5	2, 5	45
	5, 0	5, 0	60
	8, 7	8, 7	75
	15, 0	15, 0	95
	25	25	150 – 125
	34, 5	36	200 – 150
	46	52	250 – 200
	1, 2	1, 2	45
	2, 5	2, 5	60
	5, 0	5, 0	75
	8, 7	8, 7	95
	15, 0	15, 0	110
	25, 0	25, 0	150
	34, 5	36, 0	200
	46, 0	52, 0	250
	69, 0	72, 5	350

(Continúa)

## 4.2 Reglas para algunas clases especiales de transformadores

**4.2.1** En transformadores donde los devanados con aislamiento uniforme y diferentes  $V_m$ , se conectan dentro del transformador (usualmente transformadores), la prueba de voltaje aplicado deberá ser determinada la variación con el valor más alto de  $V_m$ .

Los transformadores y autotransformadores con neutro puesto a tierra, no siempre se pueden probar al nivel de aislamiento de voltaje aplicado asignado; sin embargo, los devanados deberán estar aislados para los niveles de aislamiento asignados.

**4.2.2** Los voltajes para la prueba de voltaje inducido, en transformadores que tengan uno o más devanados aislados no uniformemente, serán determinados por el devanado con el valor más alto de  $V_m$  y los devanados con valores  $V_m$  más bajos, V podrán no recibir los voltajes de prueba apropiados. Esta discrepancia deberá ser aceptada normalmente.

**4.3** Requisitos de aislamiento y pruebas dieléctricas para devanados con  $V_m < 110$  kV y aislamiento uniforme.

**4.3.1** Los valores especificados de voltaje de aislamiento que deberán soportar los devanados son:

**4.3.1.1** Un voltaje especificado de baja frecuencia (voltaje aplicado) de acuerdo con la tabla 2.

**4.3.1.2** Un voltaje especificado de impulso para los terminales de línea, de acuerdo con la tabla 2.

**4.3.1.3** Si se especifica un voltaje de impulso para el terminal neutro con el mismo valor pico que para los terminales de línea.

**4.3.2** Los valores de voltaje especificados, que deberán soportar los devanados se verificarán mediante las siguientes pruebas:

**4.3.2.1** Una prueba de voltaje aplicado (rutina) con el objeto de verificar el aislamiento de la bobina bajo prueba a tierra y con otros devanados.

**4.3.2.2** Una prueba de sobrevoltaje inducido (rutina) con el objeto de verificar el aislamiento a lo largo de todo el devanado bajo prueba y entre fases.

**4.3.2.3** Una prueba de impulso para los terminales de línea (tipo) con el objeto de verificar el aislamiento del devanado contra impulsos entre cada terminal de línea y tierra con otros devanados, y a lo largo del devanado bajo prueba.

**4.3.2.4** Una prueba de impulso para el terminal neutro (especial) si ha sido especificado, el cual tiene por objeto verificar el aislamiento contra un impulso de voltaje entre el terminal neutro y tierra con otros devanados.

**4.3.3** Los niveles de aislamiento del devanado a tierra, de devanados uniformes, deberán ser mantenidos a través de todo el enrollamiento.

**4.3.4** El nivel de aislamiento de baja frecuencia (en la prueba de voltaje inducido) entre espiras de un devanado, deberá ser el doble del voltaje nominal entre espiras.

Los valores de sobrevoltaje inducido, serán aplicados de la siguiente manera:

2  $V_m$  para transformadores de 2 bujes en el primario o trifásico.

3,46  $V_m + 1\ 000$  para transformadores de 1 buje en el primario.

**4.3.5** Los devanados sin terminales accesibles deberán soportar los voltajes inducidos, resultantes de las pruebas de impulso aplicadas a los otros devanados del transformador.

(Continúa)

**TABLA 2.-** Interrelaciones entre los niveles de aislamiento dieléctrico para transformadores con NBA (BIL) de 350 W y menores.

Aplicación	Nivel básico de aislamiento (NBA) kV	Nivel de voltaje de aislamiento para baja frecuencia kV eficaces	Niveles da aislamiento de impulso*		
			Onda completa	Onda recortada	
			(kV cresta)	kV cresta	Tiempo mínimo al recorte (chispa) us
Distribución	30	10	30	36	1,0
	45	15	45	54	1,5
	60	19	60	69	1,5
	75	26	75	88	1,6
	95	34	95	110	1,8
	125	45	125	140	2,0
	150	60	150	170	2,1
	200	75	200	225	2,3
	250	90	250	280	2,4
Potencia	45	10	45	54	1,5
	60	15	60	69	1,5
	75	19	75	88	1,6
	95	26	95	110	1,8
	110	34	110	145	2,25
	150	50	150	175	3,0
	200	70	200	230	3,0
	250	95	250	290	3,0
	350	140	350	400	3,0

\* Este ensayo se debe realizar solamente cuando se especifique.

**4.4** Requisitos de aislamiento y pruebas dieléctricas para devanados con  $V_m < 110$  kV y aislamiento no uniforme.

**4.4.1** Los valores especificados de voltaje de aislamiento que deberán soportar los devanados son:

**4.4.1.1** Un voltaje especificado de baja frecuencia para los terminales de línea, de acuerdo con la tabla 2.

**4.4.1.2** Un voltaje especificado de impulso para los terminales de línea, de acuerdo con la tabla 2.

**4.4.1.3** Un voltaje aplicado especificado para el terminal neutro, de acuerdo con el numeral 4.5.

**4.4.1.4** Si se especifica, un voltaje de impulso para el terminal neutro.

(Continúa)



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 129: 98

---

---

**TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DEL VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO.**

**Primera Edición**

TRANSFORMERS. DETERMINATION OF SHORT CIRCUIT VOLTAGE.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, determinación del voltaje de cortocircuito.

EL 04. 02 – 307

CDU: 621. 314. 1:012

CIU: 4101

ICS: 29. 180

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>TRANSFORMADORES. DETERMINACIÓN DEL VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO</b>	<b>NTE INEN 2 129: 98 1998 – 03</b>
---	--	---

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma describe los métodos de ensayo para determinar el voltaje de cortocircuito de los transformadores.

## 2. DEFINICIONES

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110.

## 3. DISPOSICIONES GENERALES

**3.1** La impedancia consta de una componente activa la cual corresponde a las pérdidas de cortocircuito y de una componente reactiva a la cual corresponde al flujo de dispersión en los devanados. Por la dificultad de la medición, no es práctico medir estas componentes separadamente, pero pueden calcularse después de medir las pérdidas totales y el voltaje de cortocircuito.

**3.2** El valor del voltaje de cortocircuito o voltaje de impedancia, está generalmente entre el 1% y el 15% del voltaje nominal del devanado de excitación y este valor puede usarse como guía para seleccionar el voltaje de ensayo.

**3.3** Las componentes resistiva y reactiva del voltaje de cortocircuito, se pueden determinar por medio de las siguientes ecuaciones.

$$V_r = \frac{P_z}{I}$$

$$V_x = \sqrt{V_z^2 - V_r^2}$$

En donde:

$V_r$  = caída resistiva de voltaje, en voltios

$V_x$  = caída reactiva de voltaje, en voltios

$V_z$  = voltaje de cortocircuito, en voltios

$P_z$  = potencia medida en la prueba, en vatios

$I$  = corriente en el devanado de excitación, en amperios.

**3.4** Para obtener los valores por unidad, se dividen los valores de voltaje  $V_r$ ,  $V_x$  y  $V_z$  por el voltaje nominal del devanado de excitación ( $V_n$ ). Para valores en porcentaje, se multiplican por 100 estos valores por unidad.

**3.5** La componente  $I^2R$  de las pérdidas de impedancia aumenta con la temperatura. La componente correspondiente a las pérdidas adicionales disminuye con la temperatura.

**3.5.1** Cuando se desea determinar  $P_z$  a una temperatura diferente de la de ensayo, las componentes se convierten así:

(Continúa)

$$P_r' = Pr \frac{T_1 + T'}{T_1 + T}$$

$$P_s' = Ps \frac{T_1 + T'}{T_1 + T}$$

$$Pr' = Pr' + Ps'$$

En donde:

$P_{r'}$  = Pérdidas totales a la temperatura especificada

$P_s$  = Pérdidas adicionales a la temperatura

$P_r$  = Pérdidas activas a la temperatura especificada

$P_s$  = Pérdidas adicionales a la temperatura

$P_r$  = Pérdidas activas a la temperatura T.

T = Temperatura de ensayo en °C.

$T_1$  = 234.5°C para el cobre

225°C para el aluminio

T' = Temperatura a la cual se desean determinar las pérdidas, en °C.

**3.5.1.1** Las pérdidas activas (FR) y las pérdidas adicionales, se determinan de acuerdo con el numeral 4.1.1.8.

## 4. MÉTODOS DE ENSAYO

**4.1** Prueba de voltaje de cortocircuito para transformadores monofásicos de dos devanados.

### 4.1.1 Procedimiento

**4.1.1.1** Uno de los devanados del transformador (del lado de alto voltaje o del lado de bajo voltaje) debe ponerse en cortocircuito y se aplica al otro devanado un voltaje a frecuencia nominal, el cual se ajusta para que circule la corriente nominal por los devanados (figura 1). En caso de que no se puedan alcanzar los valores nominales de corriente, se puede utilizar una corriente no menor del 25% de  $I_n$ , corrigiendo el valor obtenido. La prueba debe realizarse sobre la derivación principal.

4.1.1.2 Con la corriente y frecuencia ajustadas a los valores de prueba, se toman lecturas en el amperímetro, vatímetro, voltímetro y frecuencímetro.

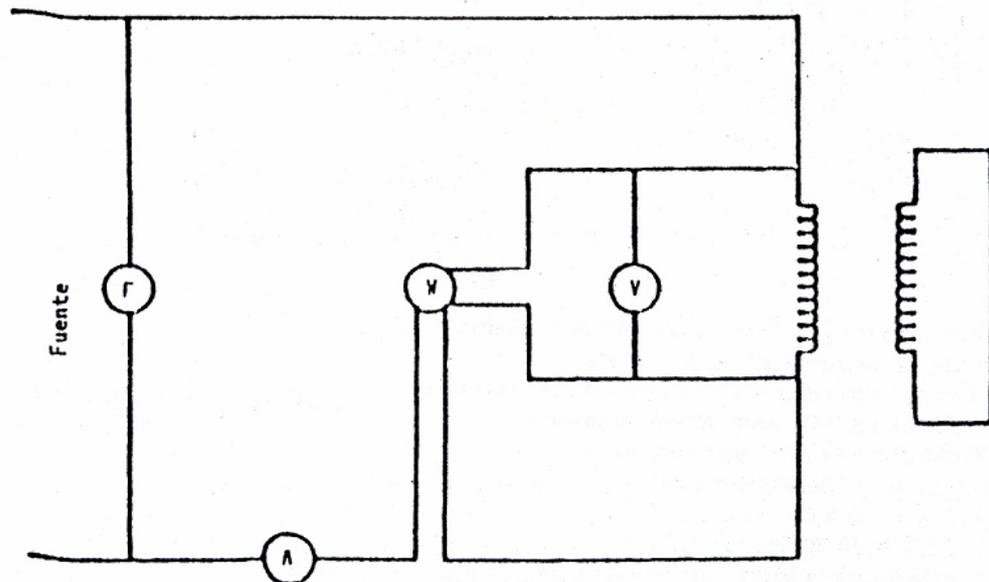
**4.1.1.3** Se desconecta el transformador bajo prueba y se lee en el vatímetro la potencia consumida, la cual representa las pérdidas en el equipo de medida.

**4.1.1.4** Es suficiente medir o ajustar la corriente en el devanado excitado solamente, porque la corriente en el devanado en cortocircuito, debe estar en el valor correcto (exceptuando un valor despreciable debido a la corriente de excitación).

**4.1.1.5** Si se coloca el equipo de medida en serie con el devanado en cortocircuito, para medir su corriente, se puede introducir un gran error en la impedancia, debido a las pérdidas y la caída de voltaje en dicho equipo.

(Continúa)

FIGURA 1.



**4.1.1.6** La temperatura del devanado debe tomarse antes y después de la medida del voltaje de cortocircuito; el promedio se toma como el valor verdadero. La temperatura del devanado antes de la prueba se considera igual a la temperatura del aceite, cuando el transformador no ha sido excitado por lo menos 8 horas antes de la prueba.

**4.1.1.7** El conductor usado para poner en cortocircuito transformadores de alta corriente y bajo voltaje, debe tener una sección transversal igual o mayor que aquella de los conductores terminales del devanado correspondiente, debe ser en corto como sea posible y mantenerse retirado de masas magnéticas, Los contactos deben estar limpios y bien ajustados.

**4.1.1.8** Las pérdidas PR de los dos devanados se pueden calcular con la resistencia medida (corregida para la temperatura a la cual se realiza la prueba) y la corriente utilizada en la prueba, las pérdidas adicionales se obtienen restando de P, las pérdidas  $I^2R$ .

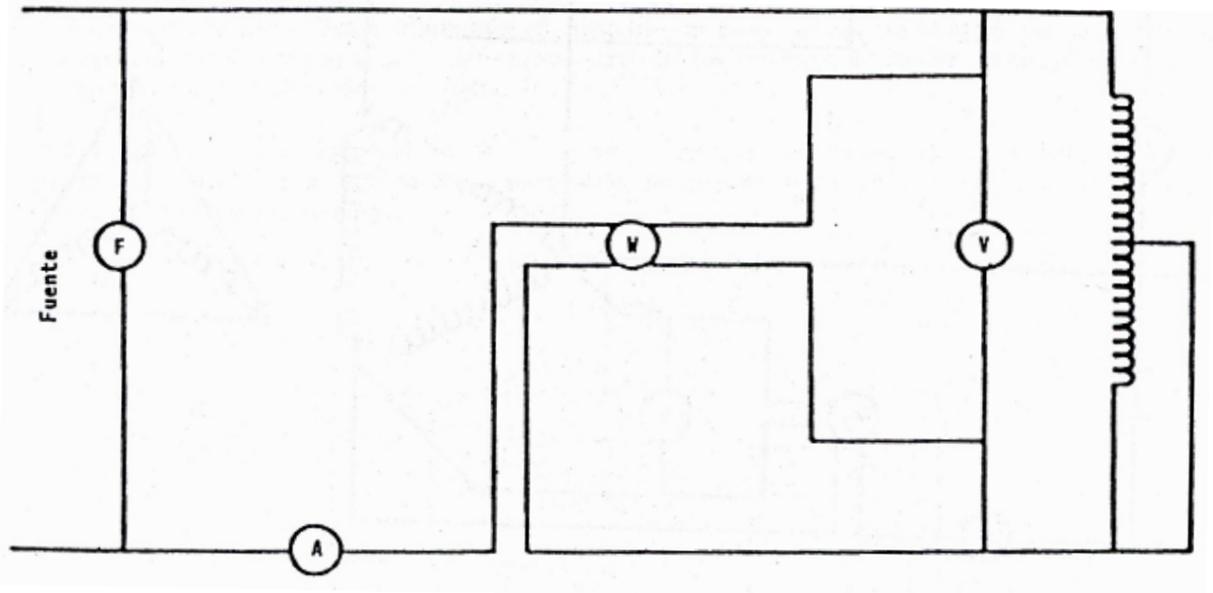
Prueba del voltaje de cortocircuito de autotransformadores.

#### 4.2.1 Procedimiento

**4.2.1.1** La prueba puede efectuarse poniendo en cortocircuito los terminales de entrada (o salida) y aplicando voltaje a los otros terminales, de modo que circule la corriente nominal. La conexión es la que se indica en la figura 2.

(Continúa)

FIGURA 2.



**4.2.1.2** El devanado serie y el común de un autotransformador, pueden considerarse como devanados separados; uno debe ponerse en cortocircuito y el otro excitar para la prueba de impedancia.

Cuando se sigue este procedimiento, la corriente debe ajustarse al valor nominal del devanado, lo cual puede o no ser igual a la corriente de línea establecida en el numeral 4.2.1.2.

Con la precaución anteriormente seguida, tanto las pérdidas de cortocircuito, como la potencia aparente del autotransformador, deben ser las mismas por cualquier método. El voltaje de cortocircuito medido a través de los devanados en serie, corresponde a los terminales de alto voltaje del auto- transformador. El voltaje de cortocircuito en el devanado común, corresponde a los terminales de bajo voltaje del auto-transformador.

### **4.3 Prueba de voltaje de cortocircuito de transformadores trifásicos con voltaje trifásico.**

#### **4.3.1 Procedimiento**

**4.3.1.1** Los tres terminales del devanado de alto voltaje o bajo voltaje deben unirse rígidamente y se aplica a los terminales del otro devanado, un voltaje trifásico balanceado de frecuencia nominal y valor adecuado con el fin de hacer circular la corriente nominal (figura 3).

(Continúa)



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 130: 98**

---

---

## **TRANSFORMADORES. PLACA DE CARACTERISTICAS**

### **Primera Edición**

TRANSFORMERS. RATING LATE.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, pruebas eléctricas.

EL 04. 02 – 411

CDU: 621. 314.2.084.004.12

CIU: 4101

ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Voluntaria**

**TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.  
PRUEBAS ELÉCTRICAS**

**NTE INEN  
2 111: 2004  
Primera revision  
2004 – 05**

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma establece la información que debe aparecer en la placa de características de los transformadores de potencia y distribución.

**2. DEFINICIONES**

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones completadas en la NTE INEN 2 110.

**3. REQUISITOS**

**3.1** Todo transformador estará provisto de una placa de características, fabricada de un material resistente a la intemperie, fijada en un lugar visible y que contenga la información establecida en el numeral 3.2. Las inscripciones sobre la placa de características deberán ser indelebles.

**3.2** Como mínimo, en la placa de características aparecerá la siguiente información.

**3.2.1** Nombre o razón social del fabricante.

**3.2.2** Marca del transformador.

**3.2.3** Clase del transformador (por ejemplo: transformador, autotransformador, transformador regulador, etc.)

**3.2.4** Número de serie dado por el fabricante.

**3.2.5** Año de fabricación.

**3.2.6** Número de fases.

**3.2.7** Potencia nominal en kVA, para cada tipo de refrigeración, si tiene varios.

**3.2.8** Frecuencia nominal en hertzios.

**3.2.9** Voltajes nominales, número de derivaciones y voltaje para cada una, en voltios.

**3.2.10** Corrientes nominales en amperios.

**3.2.11** Símbolo del número de conexión.

**3.2.12** Impedancia en porcentaje a la corriente nominal (valor medido referido a 85°C) y si es posible su potencia de referencia.

**3.2.13** Tipo de refrigeración. Si el transformador tiene más de un régimen nominal, según el tipo de refrigeración o las conexiones de los devanados y los regimenes nominales han sido explícitamente tenidos en cuenta para el diseño, deberán indicarse en la placa de características.

**3.2.14** Ubicación y marcación de terminales en el tanque.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, pruebas eléctricas.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 133: 98

---

---

**TRANSFORMADORES. ACEITES AISLANTES PARA  
TRANSFORMADORES E INTERRUPTORES. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

TRANSFORMERS. INSULATING OILS FOR TRANSFORMERS AND SWITCHGEAR. SPECIFICATIONS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, aceites aislantes para transformadores e interruptores

EL 04. 02 – 414

CDU: 621. 314. 025

CIU: 4101

ICS: 29. 180

**Norma Técnica  
Ecuatoriana  
Obligatoria**

**TRANSFORMADORES.  
ACEITES AISLANTES PARA TRANSFORMADORES E  
INTERRUPTORES.  
REQUISITOS.**

**NTE INEN  
2 133: 98  
1998-03**

### 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los aceites aislantes nuevos, a granel o envasados en tambores y utilizados para la inmersión o llenado de transformadores, en los cuales se requiere el aceite, como aislante o como medio refrigerante o ambos.

**1.2** Esta norma no se aplica a aceites de alta viscosidad, ni aquellos que se utilizan en cables o condensadores, ni a los que se emplean con propósitos especiales de impregnación

### 2. DEFINICIONES

**2.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110 y las que a continuación se detallan:

**2.1.1. Pruebas de lote.** Pruebas realizadas sobre una muestra representativa de un lote.

**2.1.2 Pruebas de rutina.** Pruebas que deben realizarse sobre todas las unidades de un lote.

**2.1.3 Prueba tipo.** Prueba realizada por el fabricante, con el fin de demostrar que el aceite cumple satisfactoriamente con el conjunto de especificaciones requeridas.

**2.1.3.1** La prueba tipo, en razón de su naturaleza, no requiere ser repetida, a menos que se introduzcan en su composición, modificaciones tales que alteren el producto terminado.

### 3. CLASIFICACIÓN

**3.1** Los aceites, objeto de esta norma, se clasifican en las siguientes clases:

**3.1.1 Clase de no inhibidos,** es decir aceites sin aditivos antioxidantes.

**3.1.2 Clase de inhibidos,** es decir, aceites con aditivos antioxidantes.

**3.2** Mientras se adopte la NTE INEN para determinar la clase de aceite, se recomienda seguir el método indicado en la Norma IEC 296.

### 4. DISPOSICIONES GENERALES

**4.1** Los aceites aislantes deben ser minerales derivados del petróleo.

**4.2** Por aditivos antioxidantes se entienden todas aquellas sustancias obtenidas a partir de un procedimiento de síntesis químico o petroquímico, las cuales se añaden deliberadamente a un aceite aislante, para mejorar sus características. No se consideran como aditivos antioxidantes, las sustancias presentes de forma natural en el petróleo o producidas durante cualquier proceso de refinado.

**4.2.1** Si el aceite contiene aditivos, se deben indicar su naturaleza y su cuantía

**4.3** Los aceites aislantes nuevos deben estar exentos de materias extrañas en suspensión o sedimentadas.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, aceites aislantes para transformadores e interruptores.

## 5. REQUISITOS

**5.1** Los aceites aislantes, objeto de la presente norma, deben cumplir los requisitos establecidos en la tabla 1, cuando se prueben de acuerdo con los métodos descritos en el capítulo 7.

**Tabla 1.- Valores característicos de los aceites aislantes**

Aceites Características	Unidad	Clases		Ensayo según Norma:
		No Inhibido	Inhibido	
<b>FÍSICAS</b>				
1. Color, máximo	-	0.5	0.5	NTE INEN 1 496
2. Punto de inflamación, mínimo	°C	140.0	140.0	NTE INEN 808
3. Punto de escurrimiento (fluidez), máximo	°C	-30.0	-30.0	NTE INEN 1 982
4. Densidad, máximo a 20 °C*	g/cm <sup>3</sup>	0.895	0.895	ASTM D – 1298
5. Tensión interfacial. Mínimo	Nm <sup>-1</sup>	40x10 <sup>3</sup>	40x10 <sup>3</sup>	ASTM D – 971
6. Viscosidad cinemática, máximo	cSt**			
a) Para transformadores				NTE INEN 810
a 100°C por extrapolación		2.8	2.8	
a 40°C		11.0	11.0	
a 0°C		70.0	70.0	
b) Para interruptores				NTE INEN 810
a 100°C por extrapolación		3.2	3.2	
a 40°C		15.0	15.0	
a 0°C		120.0	120.0	
<b>QUIMICAS</b>				
1. Azufre corrosivo combinado		No corrosivo	No corrosivo	ASTM D – 1275
2. Acidez (Numero de neutralización), máximo	Mg de KOH/g	0.03	0.03	ASTM D – 974
3. Estabilidad a la oxidación acelerada (72 h), máximo:	Mg de KOH/g			
- Sedimentación	%	0.3	-	ASTM D – 2440
- Acidez total	Mg de KOH/g	2.4	-	
4. Contenido de agua, máximo ***	p.p.m	35.0	35.0	ASTM D – 1533
5. Aditivos		No detectable	Detectable	Ver numeral 4.2
<b>ELÉCTRICAS</b>				
1. Rigidez dieléctrica, mínimo ***	kV	30.0	30.0	ASTM D – 877 ASTM D – 1816
2. Tangente del ángulo de perdidas a 90°C, máximo		0.005	0.005	IEC 156 ASTM D – 924

\* Para una temperatura de 15°C El Valor equivalente de la densidad será el establecido en la tabla 1

\*\* 1 cSt = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s

\*\*\* Para los aceites a granel, no se ha establecido valor

\*\*\*\* Para los aceites a granel, se establece valor mínimo de 18 kV.

## 6. INSPECCIÓN

### 6.2 Muestreo

#### 6.1.1 Toma de muestras y recepción del producto

**6.1.1.1 Lote.** Los productos se representarán a inspección, como un conjunto unitario, en las cantidades especificadas, con características similares por haber sido fabricados bajo condiciones de producción uniforme.

(Continúa)

**6.1.1.2 Tamaño de la muestras.** Para verificar la conformidad del lote con los requisitos establecidos en la presente norma, se tomará al azar el número de muestras considerado en la tabla 2 y se someterá a las pruebas del capítulo 7. En el caso de aceites a granel, se debe tomar una muestra de cada envase.

**TABLA 2. Criterio de aceptación o rechazo**

Tamaño del lote (Número de tambores)	Tamaño de la muestra	Número permitido de defectuosos
1	1	0
2 a 5	2	0
6 a 20	3	0
21 a 50	4	0
51 a 100	7	0
101 a 200	10	0
201 a 400	15	0
> 400	20	0

**6.1.2 Cantidad de muestras para ensayos.** De cada muestra, se extraerán las siguientes cantidades mínimas (Ver nota 1):

**6.1.2.1** Para el ensayo de oxidación, 100ml

**6.1.2.2** Para el ensayo de rigidez dieléctrica, 1 litro.

**6.1.2.3** Para los otros ensayos, 1 litro.

## **6.2 Aceptación o rechazo**

**6.2.1** Si todas las muestras sometidas a las pruebas establecidas en el numeral 7.2.1 cumplen con los requisitos, se aceptará el lote.

**6.2.2** El fabricante debe suministrar el protocolo de pruebas de los ensayos de rutina, el cual debe cumplir con los requisitos establecidos en esta norma.

**6.2.3** Si una de las muestras no cumplen con todos y cada uno de los requisitos establecidos en esta norma, se rechazará el lote.

## **7. MÉTODOS DE ENSAYO**

**7.1 Preparación de la muestra.** Se debe tener en cuenta las siguientes precauciones, cuando se realice la extracción de muestras para la realización de los ensayos:

**7.1.1** Para la contaminación de la muestra o del tambor, se debe tener el máximo cuidado con impurezas externas, tales como polvo y humedad.

**7.1.2** Las manos del operario no deben entrar en contacto con la muestra.

**7.1.3** Debe tenerse especial cuidado cuando se tomen muestras de aceite que se encuentren a temperatura más baja que la temperatura ambiente, para evitar contaminación por condensación. Los recipientes que contengan la muestra deben ser herméticamente cerrados y guardados, y los ensayos no deben llevarse a cabo obre la muestra mientras su temperatura no sea igual a la temperatura ambiente.

NOTA 1: Para la realización de todas las pruebas es conveniente tomar una cantidad total de 2.5 litros por cada muestra.

(Continúa)



# INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2 138: 98**

---

---

## **TRANSFORMADORES. CERTIFICADO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES.**

### **Primera Edición**

TRANSFORMERS. TESTING CERTIFICATION FOR TRANSFORMERS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, certificado de pruebas para transformadores.

EL 04. 02 – 407

CDU: 621. 314. 658. 562

CIU: 4101

ICS: 29. 180

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>TRANSFORMADORES. CERTIFICADO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES</b>	<b>NTE INEN 2 138: 98 1998 – 03</b>
---	---	---

### 1. OBJETO

**3.1** Esta norma establece la información mínima necesaria que debe contener el certificado de pruebas para transformadores monofásicos y trifásicos de distribución.

### 2. DEFINICIONES

**2.1** Para efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2 110. 2

### 3. DISPOSICIONES GENERALES

**3.1** La mínima información requerida que debe contener el certificado de pruebas para transformadores será la indicada en la presente norma, (Ver anexo)

**3.2** El fabricante deberá presentar los datos en un formato correspondiente, de tal forma que contenga la información requerida en esta norma.

**3.3** A menos que se indique lo contrario, todas las pruebas están basadas para régimen nominal.

*(Continúa)*

DESCRIPTORES: Ingeniería eléctrica, transformadores, certificado de pruebas para transformadores.



**Compilación de la aplicación en matlab a "prueba a transformadores"**

```
function varargout = Transprueba01(varargin)
% TRANSPRUEBA01 M-file for Transprueba01.fig
%   TRANSPRUEBA01, by itself, creates a new TRANSPRUEBA01 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = TRANSPRUEBA01 returns the handle to a new TRANSPRUEBA01 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   TRANSPRUEBA01('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in TRANSPRUEBA01.M with the given input arguments.
%
%   TRANSPRUEBA01('Property','Value',...) creates a new TRANSPRUEBA01 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before Transprueba01_OpeningFunction gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to Transprueba01_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Transprueba01

% Last Modified by GUIDE v2.5 13-Jul-2005 18:11:52

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Transprueba01_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Transprueba01_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', @Transprueba01_LayoutFcn, ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Transprueba01 is made visible.
function Transprueba01_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Transprueba01 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Transprueba01
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Transprueba01 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
```







```
set(handles.edit3,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit3,'String','")
end
```

```
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit4,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit4,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit4,'String','")
end
```

```
function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit5,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit5,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit5,'String','")
end
```

```
function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit6,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit6,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit6,'String','")
end
```

```
function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit7,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit7,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit7,'String','")
end
```

```
function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit8,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit8,'String','")
elseif f1<0
errordlg('Usted debe entrar un número positivo','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit8,'String','")
end
```

```
function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
```







end

```
function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)
f1= str2double(get(handles.edit11,'String'));
if isnan(f1)
errordlg('Usted debe entrar un valor numérico','Error en datos de entrada','modal')
set(handles.edit11,'String','')
end
```

% --- Executes on button press in Cerrar.

```
function Cerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Cerrar (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
user_response = questdlg('¿Confirma CERRAR el programa?','FUNMOTORS','Cerrar','Cancelar','Cerrar');
switch user_response,
case 'Cerrar',
delete(handles.figure1);
case 'Cancelar',
```

end

% --- Creates and returns a handle to the GUI figure.

```
function h1 = Transprueba01_LayoutFcn(policy)
% policy - create a new figure or use a singleton. 'new' or 'reuse'.
```

```
persistent hsingleton;
if strcmpi(policy, 'reuse') & ishandle(hsingleton)
h1 = hsingleton;
return;
end
```

```
h1 = figure(...
'Units','characters',...
'Color',[0.941176470588235 0.941176470588235 0.941176470588235],...
'Colormap',[0 0 0.5625;0 0 0.625;0 0 0.6875;0 0 0.75;0 0 0.8125;0 0 0.875;0 0 0.9375;0 0 1;0 0.0625 1;0
0.125 1;0 0.1875 1;0 0.25 1;0 0.3125 1;0 0.375 1;0 0.4375 1;0 0.5 1;0 0.5625 1;0 0.625 1;0 0.6875 1;0 0.75
1;0 0.8125 1;0 0.875 1;0 0.9375 1;0 1 1;0.0625 1 1;0.125 1 0.9375;0.1875 1 0.875;0.25 1 0.8125;0.3125 1
0.75;0.375 1 0.6875;0.4375 1 0.625;0.5 1 0.5625;0.5625 1 0.5;0.625 1 0.4375;0.6875 1 0.375;0.75 1
0.3125;0.8125 1 0.25;0.875 1 0.1875;0.9375 1 0.125;1 1 0.0625;1 1 0;1 0.9375 0;1 0.875 0;1 0.8125 0;1 0.75
0;1 0.6875 0;1 0.625 0;1 0.5625 0;1 0.5 0;1 0.4375 0;1 0.375 0;1 0.3125 0;1 0.25 0;1 0.1875 0;1 0.125 0;1
0.0625 0;1 0 0;0.9375 0 0;0.875 0 0;0.8125 0 0;0.75 0 0;0.6875 0 0;0.625 0 0;0.5625 0 0],...
'IntegerHandle','off',...
'InvertHardcopy',get(0,'defaultfigureInvertHardcopy'),...
'MenuBar','none',...
'Name','PRUEBA A TRANSFORMADORES ',...
'NumberTitle','off',...
'PaperPosition',get(0,'defaultfigurePaperPosition'),...
'Position',[10.8 5.6153846153847 114.6 38.8461538461538],...
'Renderer',get(0,'defaultfigureRenderer'),...
'RendererMode','manual',...
'Resize','off',...
'HandleVisibility','callback',...
'Tag','figure1',...
'UserData',zeros(1,0));

setappdata(h1, 'GUIDEOptions', struct(...
'active_h', 1.120011e+002, ...
'taginfo', struct(...
'figure', 2, ...
```







**Anexo # 7**

Mediante el diseño del banco, los cálculos realizados hemos podido determinar los instrumentos que se emplearan en la construcción del banco, con lo cual se viajó a otras ciudades con el fin de obtener los precios de nuestros productos necesitados.

La cotización actualizada fue obtenida de la página Web de una comercializadora ecuatoriana: <http://www.inselec.com.ec>, y del catálogo de precios de SIEMENS, para la adquisición en la ciudad de Quito o Loja respectivamente, Ya que se encontraban estos productos con detalles del producto

*Cotización de las partes constitutivas del banco de pruebas*

Cant.	Descripción	Valor U. USD	Valor T. USD
1	Megóhmetro digital FLUKE de 5000 V y modelo: 1550	3200.00	3200.00
1	Variac HIPOTRONIC 480 V, 400 kVA, 240 A, 0-960 V	5850.00	5850.00
1	Chispómetro HIPOTRONIC 480 V, 5 kVA, 67 mA., 0-75 kV,	4200.00	4200.00
3	TC SIEMENS tipo 4NF02 23 – 2JE2 monofásico 250/5, 45VA, clase 0.2	17.90	53.70
3	TC CELSA monofásico 5/5, 5VA, clase 0.5	15.00	45.00
3	TP CELSA monofásico 1 kV/150, 40 VA, clase 0.2	14.00	42.00
3	TP CELSA monofásico 22 kV/150, 40 VA, clase 0.2	18.00	54.00
1	TP CELSA monofásico 33 kV/150, 40 VA, clase 0.2	22.00	22.00
4	Contactores de fuerza trifásico SIRIUS 3RT (SIEMENS), 480V, 225 A, 2 NA, 2 NC, modelo 3RT1064 - 6AP36	225.00	900.00
1	Breaker trifásico SENTRON VL160X, 220 A, 480V	190.87	190.87
2	Fusibles de plomo 30 A	0.57	1.14
3	Voltímetros de 150 V para TP de 1 kV/150 V	16.88	50.64
3	Voltímetros de 150 V para TP de 22 kV/150 V	16.88	50.64
1	Voltímetros de 150 V para TP de 33 kV/150 V	16.88	16.88
3	Amperímetros 5 A para TC de 250/5 A	15.75	47.25
3	Vatímetros 5A y 1kV doble escala	35.00	105.00
1	Frecuencímetro a 480 V, 55 – 65 Hz.	46.46	46.46
1	Transformador monofásico 5 kVA, 30 kV/480 V	1275,60	1275,60
6	Pulsador Blindex tipo hongo 22 mm.	2,71	16,22
3	Lámparas de señalización	4,60	13,80



## **Puesta a tierra para protección de equipos y operarios**

### **Objetivo y naturaleza de los sistemas de tierra.**

- La correcta conexión a tierra de todo el sistema eléctrico, es un factor de suma importancia para la seguridad del personal y del equipo eléctrico.
- El propósito que se persigue con la existencia de los sistemas de tierra es:
  - Protección para el personal operativo, autorizado o no autorizado.
  - Protección a los equipos e instalaciones contra tensiones peligrosas.
  - Evitar que durante la circulación de falla a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación, proporcionando para esto, un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes.

### **Constitución de un sistema de tierra.**

Una instalación de puesta a tierra se compone esencialmente de electrodos, que son los elementos que están en íntimo contacto con el suelo y de conductores, utilizados para enlazar a los electrodos entre si y a éstos, con los gabinetes de los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas, manteniendo al mismo tiempo, una superficie equipotencial a su alrededor.

La resistencia eléctrica total del sistema de tierra, debe conservarse en un valor, 10 ohms en subestaciones mayores a 250 KVA hasta 34.5 KV y de 5 ohms, en subestaciones que operen con tensiones mayores a los 34.5 KV.

### **Determinación de la resistividad del terreno**

La resistividad del terreno es de 100 Ohms / metro, la cual se determino en base a tablas, considerando que el terreno esta compuesto principalmente por arcillas.

### **Configuración del sistema de tierras**

Para la correcta operación del sistema eléctrico y dado que se involucran muchos equipos, se mencionarán cuatro tipos de sistema de tierras:

- Sistema de Tierras para Electrónica.
- Sistema de Tierras para Fuerza.

