

**ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO PARA PRUEBAS
DE VOLTAJE APLICADO PARA TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCION DE LA EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL
COTOPAXI S.A.**

ELABORADO POR:

JAVIER HERNAN ITURRALDE A.

Tesis prsentada como requisito parcial para la
obtención del grado de:

INGENIERO ELECTROMECHANICO

AÑO: 2006

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Señor Javier Hernán Iturralde Albán como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico.

Fecha

Ing. Pablo Mena L.
DIRECTOR

Ing. Miguel Lucio C.
CODIRECTOR

DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor,
dedico este trabajo a mi
esposa María de los Ángeles y
mis hijos David Andrés y
Hernán Esteban, mis pilares
fundamentales en la vida.

AGRADECIMIENTO

Me permito expresar mi más profundo agradecimiento a la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. en la persona del Dr. José Rubén Terán V. Presidente Ejecutivo, por el apoyo incondicional para la ejecución de este proyecto; de igual manera a le ESPE-L en las personas de los Ings. Pablo Mena L. y Miguel A. Lucio C., director y codirector de tesis respectivamente.

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PAGINA No.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 TRANSFORMADORES	1
1.2.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA	1
1.2.2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	4
1.2.3 AUTOTRANSFORMADORES	9
1.2.4 TRANSFORMADORES PARA ENSAYO	15
1.3 GENERALIDADES DE PRUEBAS ELECTRICAS EN TRNSFORMADORES DE DISTRIBUCION	15
1.3.1 PRUEBAS TIPO	16
1.3.2 PRUEBAS DE RUTINA	16
1.3.3 PRUEBAS ESPECIALES	16
1.3.4 PRUEBAS ELECTRICAS	16
CAPITULO II	
PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	
2.1 NORMAS PARA PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	19
2.2 PRUEBAS DE RUTINA	19
2.2.1 MEDICION DE LA RESISTENCIA DE LOS DEVANADOS	20
2.2.2 MEDICION DE LA RELACION DE TRANSFORMACION VERIFICACION DE LA POLARIDAD Y DESPLAZAMIENTO ANGULAR	23
2.2.3 MEDICION DE LOS VOLTAJES DE CORTOCIRCUITO	26
2.2.4 MEDICION DE LAS PERDIDAS CON CARGA , PERDIDAS SIN CARGA (EN VACIO) Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN	28
2.2.5 PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO	33
2.2.6 PRUEBA DE SOBREVOLTAJE INDUCIDO	34
2.2.7 PRUEBAS DE AISLAMIENTO Y FACTOR DE POTENCIA	34
2.2.8 PRUEBAS DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL LIQUIDO AISLANTE REFRIGERANTE	36
2.3 PRUEBAS TIPO	38
2.3.1 PRUEBA DE VOLTAJE DE IMPULSO CON ONDA COMPLETA	38

2.3.2	PRUEBA DE CALENTAMIENTO	39
2.3.3	PRUEBA DE NIVEL DE RUIDO	42
2.4	PRUEBAS ESPECIALES	44
2.4.1	PRUEBA DE VOLTAJE INCLUYENDO ONDAS RECORTADAS	44
2.4.2	MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO	46
2.4.3	MEDICION DE LAS DESCARGAS PARCIALES	47
2.4.5	PRUEBA DE LOS CONMUTADORES CON CARGA Y SIN ELLA	49
2.4.6	PRUEBAS DE HERMETICIDAD	50

CAPITULO III

PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO

3.1	GENERALIDADES	51
3.2	NORMAS UTILIZADAS	54
3.2.1	NORMAS INEN	54
3.3	PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA	57
3.4	PROTOCOLO DE PRUEBAS	58

CAPITULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE VOLTAJE APLICADO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

4.1	DIAGRAMA UNIFILAR	61
4.2	DISEÑO DE LA MALLA DE TIERRA	61
4.3	DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	66
4.3.1	CALCULO DE LA SECCION DEL NUCLEO	67
4.3.2	CALCULO DE VOLTIOS POR ESPIRA	67
4.3.3	CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR	68
4.3.4	AISLAMIENTO	69
4.3.5	AISLAMIENTO LADO PRIMARIO	71
4.3.6	AISLAMIENTO LADO SECUNDARIO	71
4.4	DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE ALTO VOLTAJE	72
4.4.1	DISEÑO DE LA SECCION DEL NUCLEO	73
4.4.2	CALCULO DE VOLTIOS POR ESPIRA	73
4.4.3	CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR	74
4.4.4	AISLAMIENTO	75
4.4.5	AISLAMIENTO LADO SECUNDARIO	76
4.4.6	AISLAMIENTO LDO PRIMARIO	76
4.5	PROTECCIONES DEL EQUIPO	77

4.6	PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO	79
-----	---	----

CAPITULO V

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

5.1	MATERIALES UTILIZADOS	82
5.2	ENSAMBLAJE DEL EQUIPO	83
5.3	PRUEBAS	83
5.3.1	PRUEBAS EN TRANSFORMADORES MONOFASICOS	83
5.3.2	PRUEBAS EN TRANSFORMADORES TRIFASICOS	84

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	CONCLUSIONES	85
6.2	RECOMENDACIONES	86

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

LISTADO DE FIGURAS

CONTENIDO

PAGINA No.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Figura 1.1	Formas de circuitos magnéticos para transformadores	2
Figura 1.2	Construcciones monofásicas de formas de núcleo	3
Figura 1.3	Construcciones trifásicas de forma de núcleo	3
Figura 1.4	Núcleo trifásico convencional	4
Figura 1.5	Transformador Monofásico convencional en poste	7
Figura 1.6	Transformador Monofásico autoprotegido en poste	8
Figura 1.7	Autotransformador en los modos de polaridad aditiva y sustractiva	10
Figura 1.8	Autotransformador de bajada en los modos de polaridad aditiva y sustractiva que muestra los peligros de ese modo de bajada	13
Figura 1.9	Comparación de un autotransformador con un transformador de dos devanados	14

CAPITULO II

PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Figura 2.1	Circuito utilizado para determinar la resistencia de los devanados por el método de la caída de tensión.	21
Figura 2.2	Esquema del circuito utilizado para determinar la resistencia de los devanados por el método del puente.	21
Figura 2.3	Circuito equivalente de un transformador de dos devanados, se considera la corriente de excitación.	24
Figura 2.4	Prueba de polaridad de los devanados de un transformador que muestra la polaridad aditiva, sustractiva y las identificaciones de las terminales	24
Figura 2.5	Medición de voltajes de cortocircuito	26
Figura 2.6	Cortocircuito de los devanados	28
Figura 2.7	Curvas de Ponderación. La Ponderación A reduce la intensidad del ruido hacia el extremo mas bajo del espectro audible.	43
Figura 2.8	Ondas recortadas	45

CAPITULO III

PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO

Figura 3.1.	Formas de onda de impulso	53
Figura 3.2	Equipo TTR	59
Figura 3.3	Equipo de pruebas de RD de aceite	59
Figura 3.4	Laboratorio de pruebas de transformadores de distribución de ELEPCO S.A. Ubicación: S/E El Calvario	60
Figura 3.5	Equipo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito en transformadores de distribución	60

CAPITULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE VOLTAJE APLICADO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Figura 4.1	Preparación del terreno para la malla de tierra	62
Figura 4.2	Preparación y suelda del cable con las varillas cooperweld para la malla de tierra	65
Figura 4.3	Material de tratamiento para suelo (BENTONITA)	65
Figura 4.4	Lectura final de resistencia de la malla de tierra	66
Figura 4.5	Transformador de aislamiento del equipo para pruebas de Voltaje aplicado de ELEPCO S.A.	66
Figura 4.6	Ubicación de las bastas y la altura inductiva en el núcleo de un Transformador	69
Figura 4.7	Transformador de alto voltaje del equipo para pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.	72
Figura 4.8	Variac utilizado en el equipo de pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.	77
Figura 4.9	Circuito de control del equipo de pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.	78
Figura 4.10	Circuito de protección para el caso de descarga	79
Figura 4.11	Vista del equipo para pruebas de voltaje aplicado para transformadores de distribución de ELEPCO S.A.	80
Figura 4.12	Panel frontal de control y medida del equipo de pruebas de voltaje aplicado	81

LISTADO DE TABLAS

CONTENIDO

PAGINA No.

CAPITULO II

PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Tabla 2.1	Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA Clase medio voltaje $\leq 25 \text{ kV}_{f-f}$ / clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}_{f-f}$ referidos a 85°C NTC-818	31
Tabla 2.2	Transformadores monofásicos de 15 a 333 Kva Clase medio voltaje $>25 \text{ kV}_{f-f}$ y $\leq 34,5 \text{ kV}_{f-f}$, clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}_{f-f}$ referidos a 85°C NTC-818	32
Tabla 2.3	Transformadores trifásicos 15 a 2 000 kVA Clase medio voltaje $\leq 25 \text{ kV}$ Clase bajo voltaje $\leq 1,2$ referidos a 85°C NTC – 819	32
Tabla 2.4	Transformadores trifásicos 75 a 2 000 kVA Clase medio voltaje $\leq 34,5 \text{ kV}$ / Clase bajo voltaje $\leq 1,2 \text{ kV}$ referidos a 85°C NTC-819	33
Tabla 2.5.	Resistencia Dieléctrica del aceite	37
Tabla 2.6.	Influencia de la temperatura ambiente sobre la cargabilidad para obtener la mínima vida esperada	41
Tabla 2.7.	Características asumidas para los transformadores con carga nominal (30°C ambiente 65°C elevación)	41
Tabla 2.8.	Valores de K para la ecuación (2.8)	43

CAPITULO III

PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO

Tabla 3.1	NTE 2127.-Relación de Voltaje nominal del sistema, voltaje máximo del sistema y nivel básico de aislamiento (NBA) (BIL)	55
Tabla 3.2.	NTE 2127.-Interrelaciones entre los niveles de aislamiento dieléctrico para transformadores con NBA (BIL) de 350 kV y menores	56

CAPITULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE VOLTAJE APLICADO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Tabla 4.1. Factor de decremento por tiempo de descarga

LISTADO DE ANEXOS

- ANEXO 1 PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCION DE ELEPCO S.A.

- ANEXO 2 DIAGRAMA UNIFILAR EQUIPO DE PRUEBA DE VOLTAJE
APLICADO

- ANEXO 3 TABLA DE CONDUCTORES

- ANEXO 4 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

- ANEXO 5 FOTOS DE PRUEBAS

- ANEXO 6 NORMAS UTILIZADAS

- ANEXO 7 TIPOS DE AISLAMIENTOS PARA TRANSFORMADORES

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.) dispone en su sistema, al momento aproximadamente 4.600 transformadores de distribución nuevos, usados y reparados, por lo que es de vital importancia antes de su instalación verificar si el nivel de aislamiento de sus bobinas se encuentra en buenas condiciones evitándose de esta manera fallas después de su instalación en el sistema, con los costos que representan por operación y mantenimiento y la energía que se deja de vender por la falta de servicio.

Con este proyecto se evitará fallas por pérdida o deterioro de aislamientos en transformadores nuevos y usados, ya que se ha comprobado que en varios transformadores su nivel de aislamiento es bajo a pesar de pasar las pruebas de pérdidas lo que ocasiona que después de ser instalados fallen ante la presencia de sobrevoltajes pequeños lo que implica su reemplazo con los problemas consiguientes de reinstalación, falta de servicio y molestias a los usuarios.

1.2 TRANSFORMADORES

1.2.1 Transformadores de potencia¹

En el marco de la etapa de transformación de las subestaciones, los transformadores de potencia se emplean para modificar los voltajes de los bloques energéticos en capacidades mayores que los transformadores de distribución, en el caso específico de ELEPCO S.A. por lo general mas de 5 MVA y 69 KV; incluso en transformadores de potencia elevadores de transmisión de generación a un voltaje de 13.8 KV y 22 KV.

¹ Manual de Ingeniería Eléctrica

Los kVA, los voltajes nominales y las corrientes se definen en la norma ANSI C57.12.80. Se basan en los voltajes terminales de los devanados sin carga, pues se reconoce que el voltaje primario real en servicio debe ser mayor que el voltaje nominal por la magnitud de la regulación, si el transformador ha de entregar el voltaje de especificación a la carga conectada al secundario.

La clasificación industrial del tipo de transformador en cuanto a su construcción cuando el circuito magnético toma la forma de un anillo único rodeado por dos o más grupos de bobinas primarias y secundarias distribuidas alrededor de la periferia del anillo se dice que el transformador es del *tipo de núcleo*. Cuando las bobinas del primario y secundario toman la forma de un anillo común que está rodeado por dos o más anillos de material magnético distribuidos alrededor de su periferia, se dice que el transformador es del tipo acorazado (Fig. 1.1)

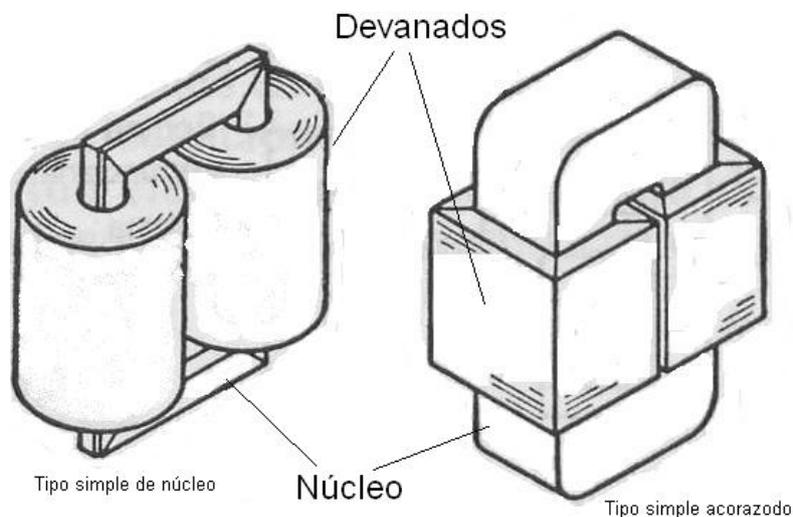


Fig.1.1 Formas de circuitos magnéticos para transformadores

Las características de los transformadores del tipo núcleo son una longitud media larga del circuito magnético y una longitud media corta para los devanados. Las construcciones de núcleo en uso común para unidades monofásicas y trifásicas se ilustran en la figuras 1.2 y 1.3 respectivamente. La construcción en tres miembros (uno activo) y en cuatro miembros (dos activos) de los núcleos monofásicos y la construcción

en cinco miembros (tres activos) de los núcleos trifásicos, se emplean para reducir la altura total. En estos casos, el núcleo encierra a los devanados cilíndricos de manera similar a la construcción de forma acorazada. El arreglo simple de los devanados concéntricos primario (interior) y secundario (exterior) es común para todos los transformadores de potencia pequeños y medianos. Sin embargo los transformadores de gran capacidad (en MVA) tienen con frecuencia cierto grado de intercalado de devanados, como por ejemplo secundario-primario-secundario (S-P-S). la construcción de forma del núcleo puede usarse para toda la gama de tamaños de transformadores de potencia.

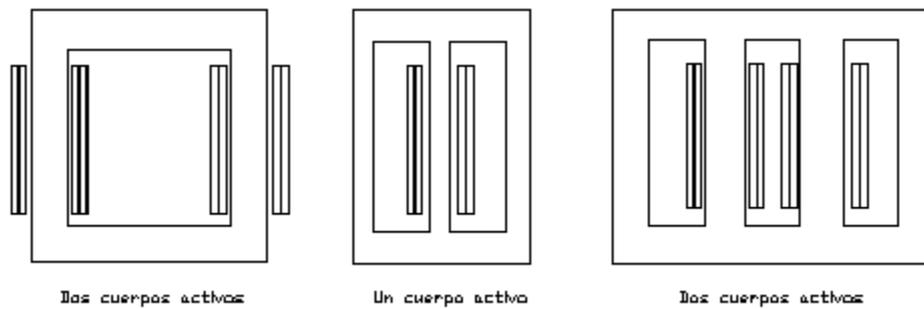


Figura 1.2 Construcciones monofásicas de forma de núcleo

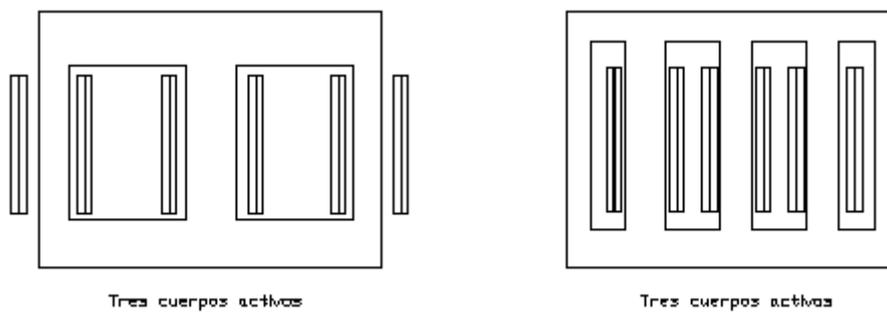


Figura 1.3 Construcciones trifásicas de forma de núcleo

Las características que destacan en los transformadores de tipo acorazado son longitud media del circuito magnético y longitud media larga de los devanados. Esto traduce en que los transformadores de forma acorazada tienen mayor área de núcleo y un menor número de vueltas en los devanados que los de forma de núcleo de igual capacidad y rendimiento. Además, la forma acorazada tendría típicamente una mayor relación de

peso de acero a cobre. La figura 1.4 muestra el núcleo trifásico convencional de forma acorazada con las bobinas en sección transversal. El agrupamiento de bobinas primario-secundario-primario (P-S-P) es el más común, pero también se emplea el P-S-P-S-P.

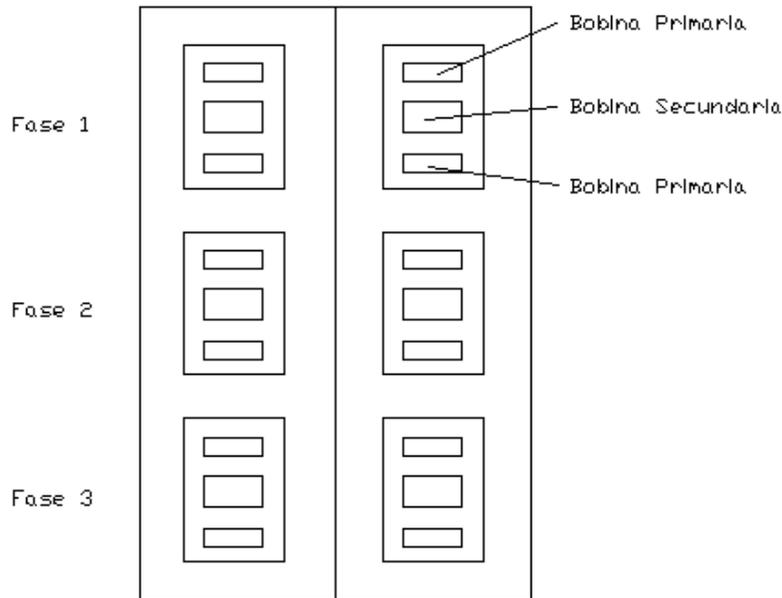


Figura 1.4 Núcleo trifásico convencional para la estructura (de tipo acorazado) de bobinas rectangulares intercaladas de forma aplanada. Los grupos de bobinas de forma de rosca aplanada pueden ser redondas o aplanadas

1.2.2 Transformadores de distribución

En general, para ELEPCO S.A. los transformadores de distribución se consideran desde de 250 kVA hacia abajo, con voltajes de 13.8 kV y 22 kV, tanto monofásicos como trifásicos. Las unidades son principalmente unidades montadas en postes, torres o cámaras de transformación. Sus aplicaciones típicas son el suministro de energía a pequeñas industrias, haciendas, residencias, edificios públicos o tiendas, talleres y centros comerciales.

Los transformadores de distribución se han normalizado por su capacidad, por su voltaje, taps, tipo de bujes, tamaño y tipo de terminales, arreglos de montaje, accesorios y un número de características mecánicas, por lo cual se tiene un buen grado de intercambiabilidad para transformadores comprendidos en cierto rango de kVA en un nivel de voltaje determinado.

Los voltajes primarios más comunes en ELEPCO S.A. son 13.200Y /7.620 V, 13.800Y/7.960 V. y 22.000/12.700 V.

Las **bobinas** se devanan generalmente en arreglo de capas concéntricas, con ductos de enfriamiento distribuidos periódicamente entre las capas con el objeto de mantener diferenciales razonables entre la temperatura del aceite y las temperatura medias de las bobinas y de la región caliente.

Actualmente, se acostumbra emplear para el sistema de aislamiento materiales térmicamente mejorados, con el objeto de disminuir también las características del envejecimiento.

En los transformadores de distribución se utilizan conductores tanto de aluminio como de cobre para las bobinas. La decisión de usar uno u otro material se basa en los niveles requeridos del comportamiento de la pérdida para las instalaciones en cuestión. Se emplea mucho el conductor de aluminio en los devanados secundarios, cuando se usa tira de aluminio al ancho completo. Estas bobinas son además mecánicamente más fuertes.

Para **enfriar la unidad**, en las capacidades más pequeñas basta hacerlo mediante la superficie radiante del tanque mismo. En las capacidades mayores, se proporciona enfriamiento auxiliar al agregar aletas o tubos de radiación. Por estos medios se mantienen al mínimo deseable la altura, el tamaño y el peso. El enfriamiento es a base

de material mineral dieléctrico que debe tener las siguientes características fundamentales:

Transformer OIL 510 (TEXACO)

- Color ASTM L. 0.5
- Densidad a 15 °C, kg/l 0.846
- Viscosidad cinemática a 40 °C, mm²/s 8.4
- Punto de inflamación, °C 153
- Punto de congelación, °C -54
- Número de neutralización, mg KOH/g <0,03
- Azufre corrosivo NO
- Tangente delta a 90 °C 0.002
- Rigidez dieléctrica, KV 70
- Agua s/Karl Fisher, ppm 20 máx
- Tensión interfacial a 25 °C, mN/m 45
- Ensayo de oxidación (164 h a 100 °C en presencia de cobre)
- Índice de acidez, mg KOH/g 0.10
- Lodos, % en peso 0.02
- Aditivos antioxidantes. No contiene.

Los transformadores tipo convencional de poste (figura 1.5) constan de núcleo y bobinas montados, de manera segura, en un tanque lleno con aceite; llevan hacia afuera las terminales necesarias que pasan a través de bujes apropiado. Los bujes de alto voltaje pueden ser dos, pero lo más común como en ELEPCO S.A. es usar un solo buje además de una terminal de tierra en la pared del tanque conectada al extremo de tierra del devanado de alto voltaje para usarse en circuitos multiatrrados. El tipo convencional que se utilizan en ELEPCO S.A. incluye sólo la estructura básica del transformador sin equipo de protección alguno. La protección deseada por sobrevoltaje, sobrecarga y cortocircuito se obtiene usando pararrayos y seccionadores portafusibles montados separadamente en poste o en la cruceta, muy cerca del transformador. La interrupción primaria con fusible proporciona un medio para detectar a simple vista los fusibles

quemados en el sistema primario, y sirve también para sacar el transformador de la línea de alto voltaje, ya sea manual, cuando así se desee, o automáticamente en el caso de falla interna de las bobinas.

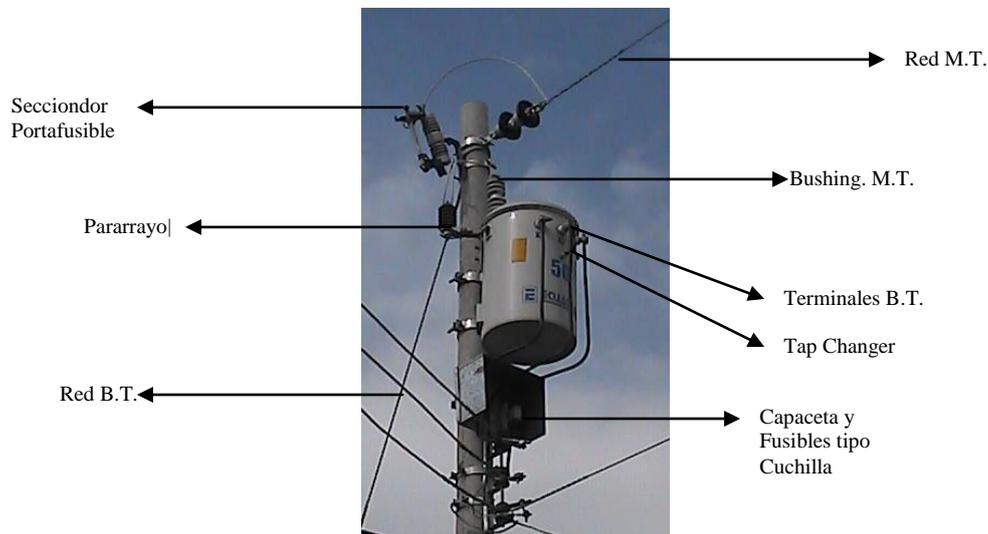


Figura 1.5 Transformador monofásico convencional en poste

El transformador autoprotegido (Fig. 1.6) tiene un breaker de protección secundario por sobrecarga y cortocircuito, controlado térmicamente y montado en su interior; un tirafusible protector de montaje interno conectado en serie con el devanado de medio voltaje para desconectar el transformador de la línea en caso de falla interna de las bobinas, y un apartarrayos montados en forma integral en el exterior del tanque para protección por sobrevoltaje. En todos estos transformadores, el cortacircuito opera una lámpara de señal cuando se llega a una temperatura de devanado predeterminada, a manera de advertencia antes del disparo. Si no se atiende la señal y el cortacircuito dispara, puede restablecerse éste y restaurarse la carga por medio de una asa externa.

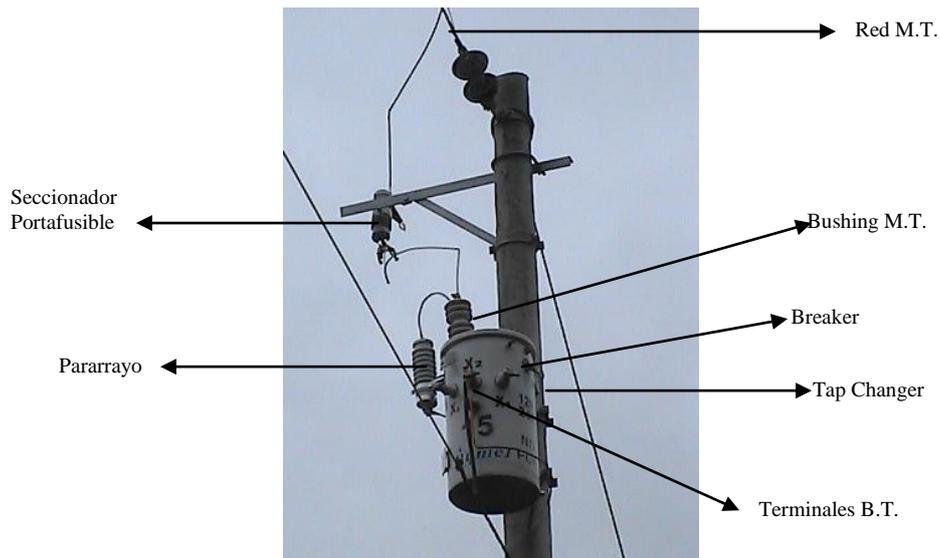


Figura 1.6 Transformador monofásico autoprotegido en poste

En el sistema de distribución de ELEPCO S.A. no está autorizado la instalación de este tipo de transformadores autoprotegidos, debido a que se llegó a determinar que entre el tirafusible del lado de media tensión y el breaker del lado de baja tensión no tiene la coordinación adecuada de protección debido a que el breaker está diseñado para corrientes muy elevadas de cortocircuito que no se ajustan a la realidad de nuestro sistema y consecuentemente produce que se afecte internamente el bobinado del transformador en caso de falla.

Las eficiencias en carga completa varían de 97 a 99%, y la impedancia es generalmente menor que 2% en transformadores monofásicos y trifásicos.

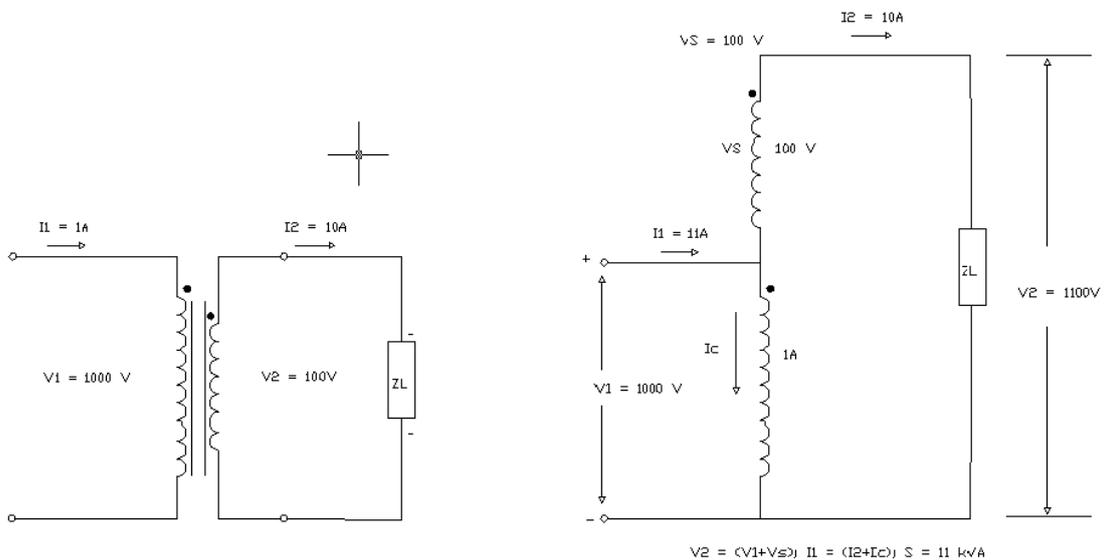
1.2.3 Autotransformadores ²

El autotransformador es uno de los dispositivos más eficientes que conoce la tecnología. Las eficiencias típicas de los autotransformadores van desde más de 99 hasta

² Kosow – Maquinas Eléctricas y Transformadores

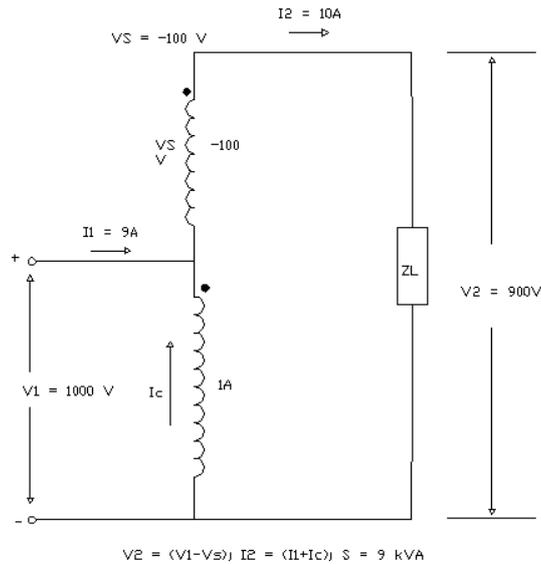
muy cerca del 100 por ciento. Además, para el mismo tamaño de núcleo y construcción de devanados, **la capacidad de transferencia de kVA en los autotransformadores es mucho mayor que la de los transformadores convencionales de aislamiento.**

La figura 1.7a muestra un transformador convencional de 1 kVA que alimenta una carga Z_L . Si se conecta el extremo sin punto del devanado secundario con el extremo con punto del devanado primario (o viceversa), se obtiene el autotransformador de la figura 1.7b. Así se obtiene una polaridad aditiva porque, por la ley del voltaje de Kirchhoff, los voltajes instantáneos del devanado común (1000 V) y del devanado secundario de bajo voltaje (100 V), cuyo voltaje se identifica como V_s , dan, por suma fasorial, un voltaje de secundario V_2 de 1100 V. Al mismo tiempo, las corrientes, por la ley de corriente de Kirchhoff, en el nodo de la conexión entre los dos devanados producen una corriente de 11A en el primario y una de 10 A en el secundario. Por lo tanto, los kVA que se transfieren de un circuito a otro por este transformador, son $S = (1000 \text{ V})(11 \text{ A}) = (1100 \text{ V})(10 \text{ A}) = 11 \text{ kVA}$. Adviértase que esta transferencia de kVA es 11 veces la capacidad de kVA del mismo transformador cuando se usa como transformador de aislamiento en la figura 1.7a.



a. Transformador de aislamiento de 1kVA

b. Voltajes producidos por polaridad aditiva



c. Voltajes producidos por polaridad sustractiva

Figura 1.7.(a,b,c). Autotransformador en los modos de polaridad aditiva y sustractiva

No se debe suponer que los kVA transformados son lo mismo que los kVA transferidos. El aumento en los kVA transferidos por un autotransformador, en comparación con un transformador convencional de aislamiento, se debe a los kVA que se transfieren conductivamente del primario al secundario. En resumen, si reconectamos un transformador convencional de aislamiento de kVA determinados para que trabaje como autotransformador, las pérdidas son las mismas, el flujo mutuo es el mismo y las corrientes en los devanados son las mismas. En consecuencia, la capacidad de kVA de un transformador normal de aislamiento, vuelto a conectar como autotransformador, permanece igual.

Para el modo de polaridad aditiva del autotransformador de elevación que aparece en la figura 1.7b, podemos escribir las siguientes ecuaciones generales para voltaje, corriente y potencia aparente:

$$V_2 = V_1 + V_S \text{ volts (V)} \tag{1.1}$$

$$I_1 = I_2 + I_c \text{ amperes (A)} \tag{1.2}$$

$$S = S_1 = S_2 = V_1 I_1 = V_2 I_2 \text{ volt-amperes (VA) transferidos} \quad (1.3)$$

en las cuales: I_c es la corriente en el devanado común al primario y secundario.
 V_s , es la parte del voltaje secundario que se obtiene por transformación
 S , son los VA transferidos por el autotransformador, y no la capacidad en VA del mismo.

Con respecto a esas ecuaciones para el autotransformador de elevación en el modo de polaridad aditiva, téngase presente que el voltaje secundario es la suma fasorial de los voltajes a través de cada devanado y la corriente primaria es la suma fasorial de las corrientes en cada devanado.

Si el mismo transformador de aislamiento (figura 1.7a) se conecta de tal modo que ambos extremos con punto se conecten al mismo empalme, como se ve en la figura 1.7c, se obtiene la conexión de **polaridad sustractiva**. En este modo, el transformador se comporta en realidad como un transformador de reducción. Para los valores que se dan en la figura 7c, los kVA que transfiere este transformador son $(1000 \text{ V})(9 \text{ A}) = (900 \text{ V})(10 \text{ A}) = 9 \text{ kVA}$. Adviértase que esta transferencia de kVA, si bien es menor que la del modo de polaridad aditiva, sigue siendo 9 veces la capacidad de kVA del mismo transformador usado como transformador de aislamiento.

Para el modo de polaridad sustractiva del autotransformador, podemos escribir las siguientes ecuaciones generales para el voltaje, corriente y potencia aparente:

$$V_2 = V_1 - V_s, \quad \text{ó} \quad V_1 = V_2 + V_s \quad \text{volts (V)} \quad (1.4)$$

$$I_2 = I_1 + I_c \quad \text{amperes (A)} \quad (1.5)$$

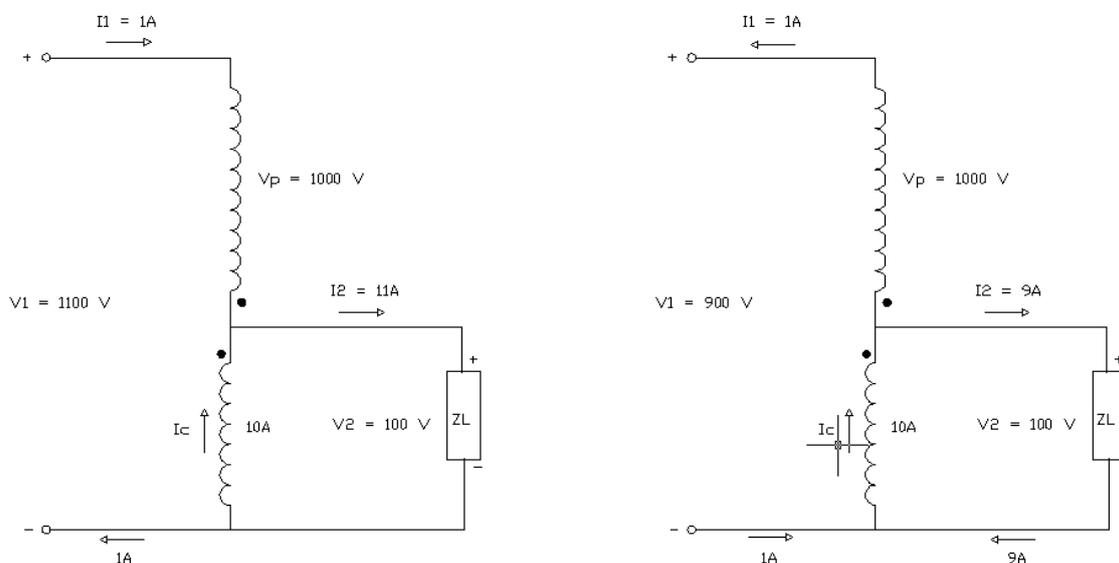
$$S = S_1 = S_2 = V_1 I_1 = V_2 I_2 \text{ volt-amperes (VA) transferidos} \quad (1.3)$$

de las cuales se han definido ya todos sus términos.

Estamos ahora en posición de comparar las ecuaciones para el modo de polaridad aditiva, ecuaciones (1.1) y (1.2) con las correspondientes para el modo de polaridad sustractiva, ecuaciones (1.4) y (1.5). Podemos sacar las conclusiones siguientes de esa comparación:

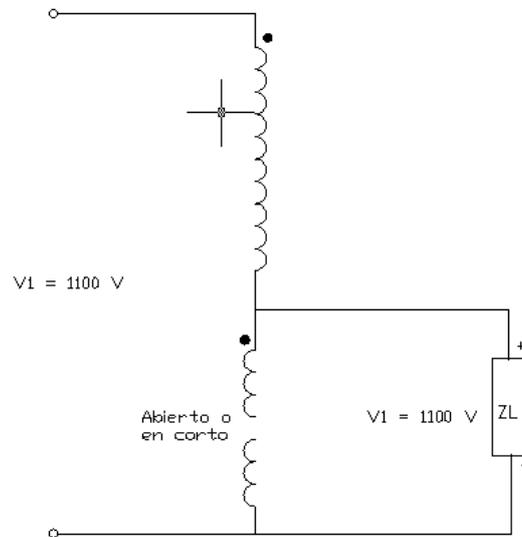
1. Se suman los voltajes ya sea del primario o del secundario, de modo fasorial.
2. Se suman las corrientes ya sea del primario o del secundario, de modo fasorial.
3. Si se suman los voltajes del primario (ecuación (1.4)), entonces se deben sumar también las corrientes del secundario (ecuación 1.5).
4. Si se suman las corrientes del primario (ecuación 1.2), entonces también se deben sumar los voltajes del secundario (ecuación 1.1).

La validez de estas conclusiones se muestra en la figura 1.8 a y b, en la cual se emplea el autotransformador como de bajada en los modos tanto aditivo como sustractivo. Si bien el voltaje del secundario es 100 V en ambos casos, el voltaje del primario y los kVA transferidos no son los mismos.



a. Autotransformador de bajada.
 Modo de polaridad aditiva $S=1.1 \text{ kVA}$

b. Autotransformador de bajada
 Modo de polaridad sustractiva $S=900 \text{ VA}$



C. Falla de transformador que crea peligro de choque y produce Sobrecarga en Z_L

Figura 1.8 (a,b,c). Autotransformador de bajada en los modos de polaridad aditiva y sustractiva, que muestra los peligros de ese modo de bajada

Como se pudo observar anteriormente, una parte de los devanados de un autotransformador es común para ambos circuitos, el primario y el secundario. A la porción común se le llama devanado común, y al resto se le llama devanado en serie. Al terminal de alto voltaje se le llama terminal de serie, y al terminal de bajo voltaje se le llama terminal común. Parte de la energía pasa de un devanado al otro por transformación y el resto Pasa en forma directa sin transformación. La figura 1.9 muestra un autotransformador comparado con un transformador equivalente de dos devanados. Ambos tienen la misma relación de voltaje secundario a voltaje primario, T , y ambos tienen la misma capacidad de salida de energía. La fracción $1 - T$ de la energía es transformada y la fracción T pasa directamente sin transformación. La fracción $1 - T$, llamada la "co-relación," es una medida del tamaño requerido del núcleo y las bobinas en comparación con un transformador de dos devanados. Adicionalmente, se reducen las pérdidas y la reactancia en aproximadamente la misma proporción. Para un valor bajo de $1 - T$ es atractiva la economía de un autotransformador en comparación con un transformador.

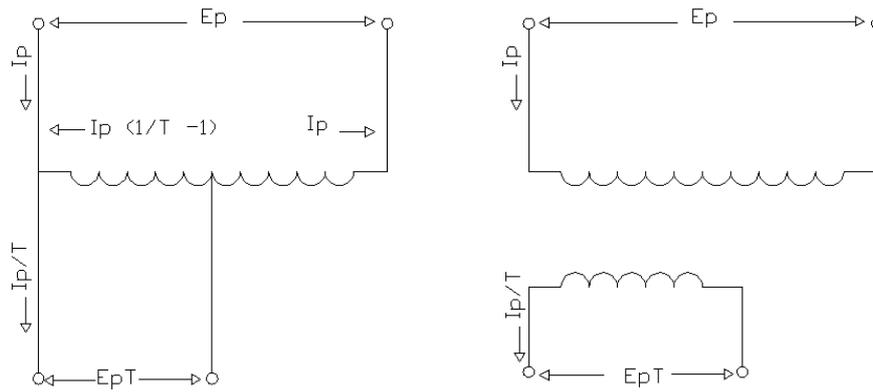


Figura 1.9. Comparación de un autotransformador con un transformador de dos devanados

El uso más común de los autotransformadores se tiene en la conexión de dos sistemas de transmisión que están a diferentes voltajes, y se utiliza con frecuencia un devanado terciario en delta. También es posible aplicar un autotransformador como transformador elevador del voltaje de un generador cuando se desea alimentar dos sistemas de transmisión diferentes. En este caso, el devanado terciario en delta es un devanado de capacidad completa conectado al generador, y los dos sistemas de transmisión se conectan a los devanados del autotransformador. Las ventajas del autotransformador, si se le compara con un transformador normal, incluyen impedancia más baja, menores pérdidas, mejor regulación, menor tamaño y menor peso.

1.2.4 Transformadores para ensayo.³

Son aquellos transformadores con características especiales, según los ensayos donde son utilizados, uno de ellos es un transformador de aislamiento (figura 1.7a) cuya función principal es aislar un circuito de otro, o un transformador de alto voltaje especial exclusivamente para pruebas de voltaje aplicado así como también transformadores de transporte portátil montados sobre material rodante, transformadores de soldadura utilizados en equipos de soldadura eléctrica, transformadores para convertidores estáticos.

³ Normas INEN

Este tipo de transformador es utilizado en la construcción del equipo, materia de este proyecto.

1.3 GENERALIDADES DE PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION.⁴

Las pruebas eléctricas en transformadores se describen en la norma NTE 2111 (Anexo 6), la cual indica los métodos de las pruebas eléctricas a que deben someterse los transformadores de potencia y distribución.

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.

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2110 que se indican en el Anexo 6 y las que a continuación se detallan:

1.3.1 Prueba tipo: La efectuada por el fabricante a un transformador representativo de una serie de aparatos de valores iguales e igual constitución, con el fin de demostrar el cumplimiento de las normas. 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.

1.3.2 Prueba de rutina: La que debe realizarse a cada transformador en forma individual.

⁴ Normas INEN

1.3.3 Pruebas especiales: Prueba diferente a las de rutina, acordado entre fabricante y comprador y exigible solo en el contrato particular.

1.3.4 Pruebas eléctricas: Las realizadas a los transformadores con el objeto de determinar su comportamiento eléctrico.

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 de la NTE INEN 2111-2003 (Anexo 6), a excepción de las de aislamiento.

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 de sobrevoltaje inducido, de voltaje de impulso con onda completa y de voltaje incluyendo ondas recortadas.

Las características relacionadas con el comportamiento eléctrico que deberán ser garantizadas se indican en la tabla 2 de la NTE INEN 2111-2003 (Anexo 6), en la cual se especifican las tolerancias permitidas. El objeto de estas tolerancias es el de permitir pequeñas variaciones debidas a la fabricación.

Las tolerancias a los valores de pérdidas ofertados o declarados son las que se indican en la tabla 2 de la NTE INEN 2111-2003 (Anexo 6). Estos valores no deberán exceder a los valores especificados en las tablas 1 y 2 de las NTE INEN 2114 y 2115 Segunda revisión (ANEXO 6).

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.

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

Un transformador se considerará que ha pasado la prueba cuando las diferencias entre los resultados de las mediciones de la prueba y las cifras declaradas por los fabricantes no sean mayores que las tolerancias permitidas.

El fabricante deberá suministrar una certificación de todas las pruebas de rutina. En el caso de pruebas tipo y especiales, la certificación deberá provenir de un laboratorio calificado o reconocido por el INEN para el caso de Ecuador.

CAPITULO II

PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Tomando como base lo indicado en el numeral 1.3, a continuación se presentan los criterios para la aplicación de las normas particularizándolos para ELEPCO S.A.

2.1 NORMAS PARA PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSOFRMADORES DE DISTRIBUCION

Las diferentes pruebas eléctricas que se desarrollan en un transformador de distribución a ser instalado en el sistema de ELEPCO S.A., deben cumplir las normas establecidas tanto por el INEN (Anexo 6) en un caso y como en el ICONTEC cuarta revisión en otros casos tal es el específico en las pruebas de pérdidas en vacío y en cortocircuito.

2.2 PRUEBAS DE RUTINA⁵

Son las que se detallan a continuación y las que debe realizarse a cada transformador en forma individual y se debe tomar las siguientes consideraciones:

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

2.2.1 Medición de la resistencia de los devanados

La medida de la resistencia de los devanados se efectúa generalmente por los métodos de la caída de voltaje o del puente de Wheatstone.

⁵ Normas INEN

El primero consiste en observar la caída de voltaje, conociendo la intensidad de la corriente que pasa por el devanado cuya resistencia se está determinando y haciendo el cálculo por la ley de ohm.

$$R_o = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

En donde :

V = Voltaje de d.c. aplicado a los terminales del devanado, en voltios.

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

R_o = Resistencia del devanado en ohmios, medida a la temperatura ambiente.

El circuito utilizado se muestra en la figura 2.1.

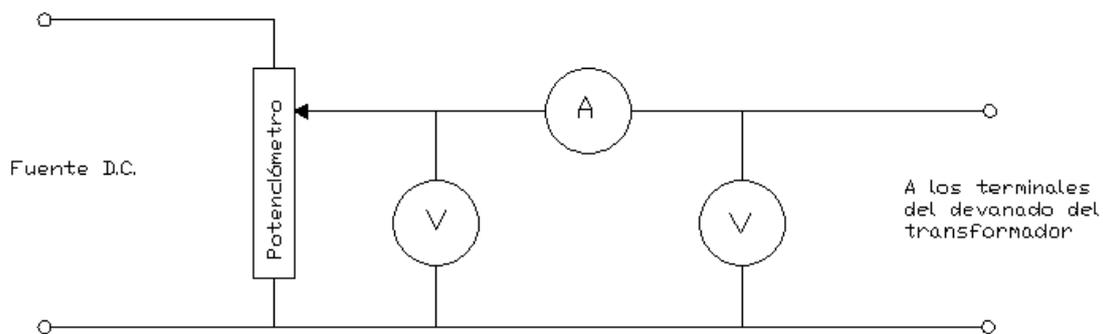


Figura 2.1. Circuito utilizado para determinar la resistencia de los devanados por el método de la caída de tensión.

Para el segundo método, la figura 2.2 muestra el esquema de un puente Wheatstone. donde R, R1 y R2 son resistencias conocidas y R_x representa la resistencia del devanado al cual se le hace la medida.

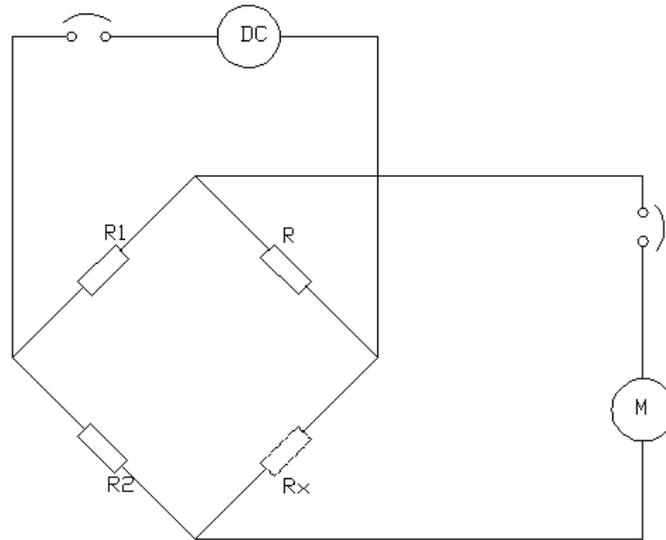


FIGURA 2.2. Esquema del circuito utilizado para determinar la resistencia de los devanados por el método del puente.

Para utilizar el puente se ajustan las resistencias hasta que el medidor de corriente M esté en cero, entonces,

$$R_x = \left(\frac{R_1}{R_2} \right) R \quad (2.2)$$

Este método del puente presenta las siguientes ventajas:

- a) Es un método de reducción a cero.
- b) La comparación se hace directamente con resistencias patrón, cuya exactitud puede ser muy grande.

Para proceder con esta prueba se deben registrar la resistencia de cada devanado, los terminales entre los cuales se mide y la temperatura de los devanados.

La medida se hace con corriente continua. En todas las medidas de resistencia los efectos inductivos se deben reducir al mínimo.

Cuando se realizan mediciones en caliente, se debe observar el tiempo que transcurre hasta que la corriente se estabilice, con el objeto de tener una guía cuando se hagan mediciones en caliente, y que desaparezcan los efectos inductivos antes que las lecturas de la resistencia sean registradas.

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

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

Para Transformadores tipo sumergidos en aceite, antes de registrar la resistencia, el transformador debe haber estado en aceite y sin excitación o carga, por lo menos durante ocho horas.

La temperatura del aceite se registra y la temperatura del devanado se considera igual a la temperatura promedio determinada como se especifica en el numeral 4.4.2 de la NTE INEN 2119. (Anexo 6)

2.2.2 Medición de la relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular

Efecto de la relación de vueltas. La ecuación (2.3) y la figura 2.3 representan un transformador de relación de vueltas 1:1. Un transformador de relación de vueltas T secundario a primario puede transformarse en un transformador equivalente 1:1

imaginando el devanado secundario reemplazado por un devanado con el mismo número de vueltas que el devanado primario, pero que utiliza el mismo peso de conductor y ocupando el mismo espacio que el devanado secundario, I_s , E_s y R_s en el devanado secundario real se convierten en I_s/T , E_s/T y R_s/T^2 . referido al primario. La impedancia de la carga, Z_L , se convierte en Z_L/T^2 . El hecho de que la simple impedancia en serie de la figura 2.3 pueda usarse como equivalente a un transformador de cualquier relación de vueltas es muy útil en el análisis de sistemas de energía eléctrica. Las características del devanado secundario correspondientes a un devanado secundario ficticio de relación de vueltas 1:1 se denominan características del secundario referidas al lado del primario. Si se resulta mas conveniente, las características pueden referirse al lado del secundario por un proceso inverso.

$$E_p = E_s + I_s(R_s + jX) + I_p R_p \quad (2.3)$$

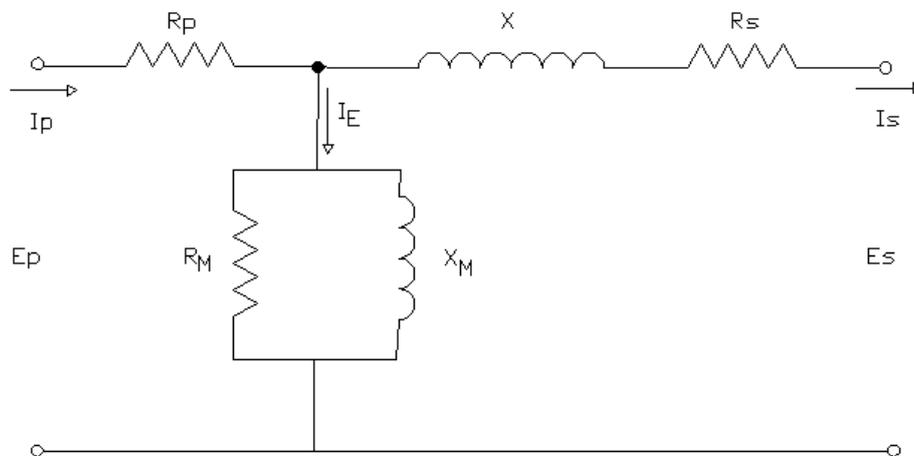


Figura 2.3. Circuito equivalente de un transformador de dos devanados, se considera la corriente de excitación.

Habiendo identificado los extremos de bobina mediante pruebas de faseo, se determina la polaridad instantánea relativa mediante el método que se muestra en la figura 2.4, empleando un voltímetro de ca y un suministro adecuado de ca (ya sea al voltaje nominal o menor). La prueba de polaridad consiste de los siguientes pasos:

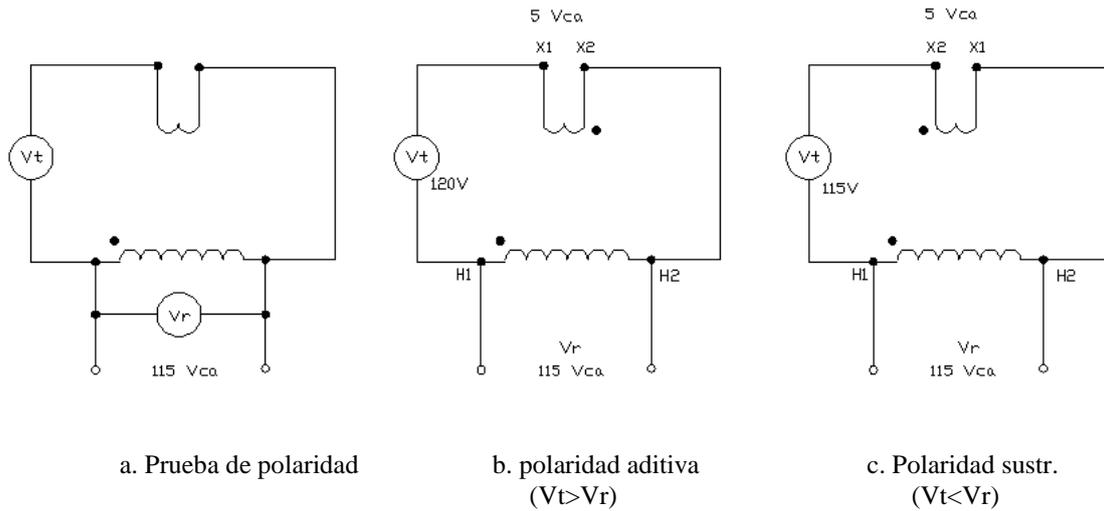


Figura 2.4.- Prueba de polaridad de los devanados de un transformador que muestra la polaridad aditiva, sustractiva y las identificaciones de las terminales

1. Se selecciona cualquier devanado de alto voltaje y se emplea como bobina de referencia.
2. Se conecta una punta de una terminal de la bobina de referencia con una de cualquier otro devanado de polaridad desconocida.
3. Se identifica a la otra terminal de la bobina de referencia con un punto de polaridad (instantáneamente positiva).
4. Se conecta un voltímetro de ca en su escala de mayor voltaje de la terminal con punto de la bobina de referencia a otra terminal de la bobina de polaridad instantánea conocida
5. Se aplica el voltaje nominal, o menor, a la bobina de referencia.
6. Se anota el voltaje a través de la bobina de referencia V_r , y el voltaje de prueba V_t entre las bobinas.
7. Si el voltaje de prueba V_t es mayor que V_r , la polaridad es aditiva, y se identifica el punto en la bobina que se prueba como se indica en la figura 2.4.b

8. Si el voltaje de prueba V_t es menor que V_r , la polaridad es sustractiva, y se identifica el punto en la bobina que se prueba como se muestra en la figura 2.4.c.
9. Se identifica con H1 a la terminal con punto de la bobina de referencia, y a la terminal con punto de la bobina que se prueba con X1, o cualquier identificación con número non.
10. Se repiten los pasos 2 al 9 para los devanados restantes del transformador.

2.2.3 Medición de los voltajes de cortocircuito

Para transformadores monofásicos de dos devanados, el procedimiento es el siguiente:

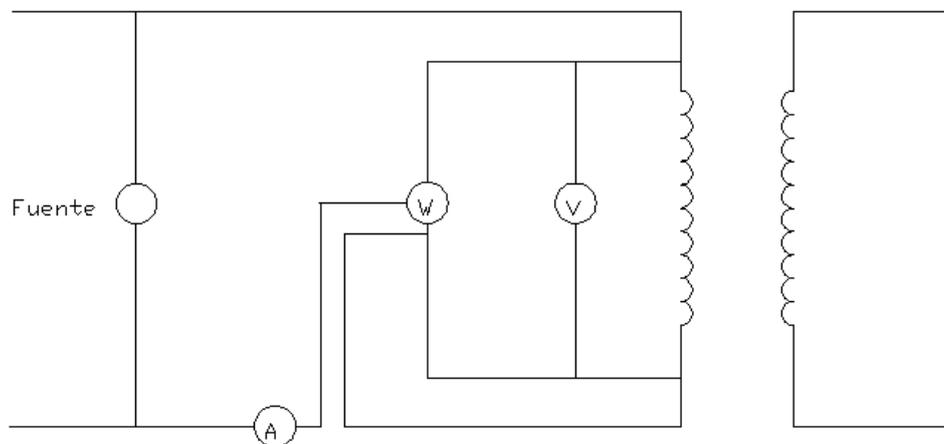


Figura 2.5. Medición de voltajes de cortocircuito

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

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 (a temperatura del aceite, cuando el transformador no ha sido excitado por lo menos 8 horas antes de la prueba).

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 tan corto como sea posible y mantenerse retirado de masas magnéticas. Los contactos deben estar limpios y bien ajustados.

Las pérdidas I^2R 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_z , las pérdidas I^2R .

La prueba de voltaje de cortocircuito de transformadores trifásicos con voltaje trifásico tiene el siguiente procedimiento:

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 2.6).

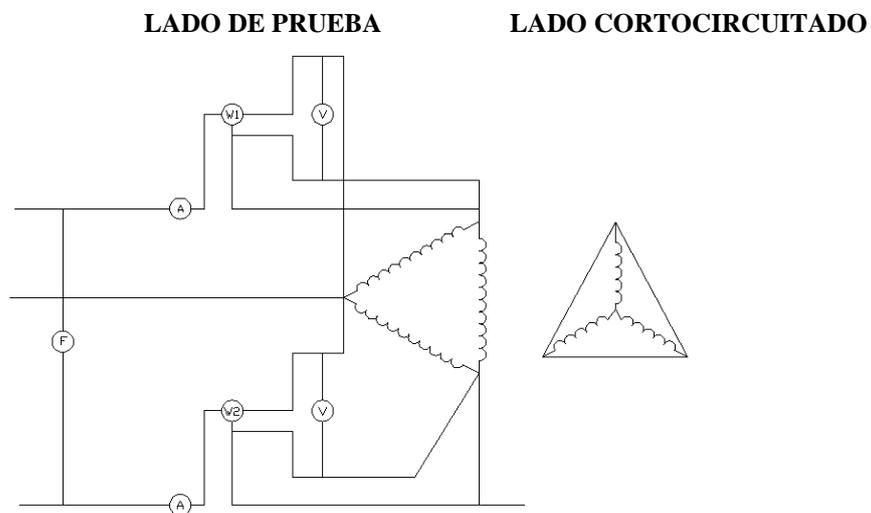


Figura 2.6. Cortocircuito de los devanados

El procedimiento es similar al seguido para transformadores monofásicos, excepto que las conexiones y medidas son trifásicas en lugar de monofásicas.

Las lecturas de los vatímetros deben ser aproximadamente iguales y deben sumarse algebraicamente sus valores para obtener las pérdidas totales.

Si las tres corrientes de línea no pueden ser balanceadas, se toman los valores eficaces promedios.

2.2.4 Medición de las pérdidas con carga, medición de las pérdidas sin carga (en vacío) y corriente de excitación

Dentro de la ELEPCO S.A. esta es una prueba importantísima y reglamentaria que deben cumplir todo los transformadores de distribución para ser instalado en su sistema.

La norma establece los valores máximos permisibles de corriente sin carga (I_0), pérdidas sin carga (P_0), 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 y trifásicos, autorrefrigerados y sumergidos en líquido refrigerante, sin contenido de PCB.

Se aplica a transformadores monofásicos de distribución de 3 a 333 kVA, frecuencia 60 Hz clase medio voltaje $\leq 25\text{ kV}_{f-f}$, de 15 a 333 kVA frecuencia 60 Hz clase medio voltaje $> 25\text{ kV}_{f-f}$, y $\leq 34,5\text{ kV}_{f-f}$, clase bajo voltaje $\leq 1,2\text{ kV}_{f-f}$. y a transformadores trifásicos de distribución, autorrefrigerados, sumergidos en aceite, frecuencia 60 Hz, potencia de 15 a 2 000 kVA, clase medio voltaje $\leq 34,5\text{ kV}$, de 75 a 2.000 kVA, clase medio voltaje $> 25\text{ kV}$ y $\leq 34,5\text{ kV}$, clase bajo voltaje $\leq 1,2\text{ kV}$.

Los valores máximos permisibles de I_0 , P_0 , P_c , P_t y U_{zn} serán los indicados en las tablas 1 y 2 de la NTE INEN 2114 para transformadores monofásicos y NTE INEN 2115 (Anexo 6) para transformadores trifásicos. A estos valores no se aplicará tolerancia alguna.

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

Para aquellos transformadores que estén dentro del rango establecido, 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 ≤ 25 kV_{f-f}, clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV_{f-f}.

a) *Pérdidas en vacío*

$$P_0 = 9,8033(P_n)^{0,7141} \quad (2.4)$$

b) *Pérdidas con carga*

$$P_c = 0,000063 (P_n)^3 - 0,02695 (P_n)^2 + 10,657 (P_n) + 38,267 \quad (2.5)$$

Transformadores monofásicos de 15 a 333 kVA, clase medio voltaje > 25 kV_{f-f}, y $\leq 34,5$ kV_{f-f}, clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV_{f-f}.

a) *Pérdidas en vacío*

$$P_0 = 33,2967(P_n)^{0,532} \quad (2.6)$$

b) *Pérdidas con carga*

$$P_c = 32,2692(P_n)^{0,74967} \quad (2.7)$$

Para aquellos transformadores trifásicos que estén dentro del rango establecido, 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 :

$$P_c = -0,0103 \times P_n + 13,892 \times P_n + 106,65$$

Mayores de 150 kVA hasta 800 kVA:

$$P_c = 10,465 \times P_n + 537$$

Mayores de 800 kVA hasta 2000 kVA:

$$P_c = 9,2632 \times P_n + 1875,2$$

Para clase medio voltaje > 25 kV y ≤ 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:

$$P_o = 8,3104 \times P_n^{0,7926}$$

Desde 75 kVA hasta 800 kVA:

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

Desde 800 kVA hasta 2 000 kVA:

$$P_c = -0,0004 \times P_n^2 + 9,9981 \times P_n + 2477,5$$

Potencia Nominal kVA	I _o (% de I _n)	P _o (W)	P _c (W)	P _t (W)	U _{zn} (%)
3	2,5	21	70	91	3,0
5	2,5	31	91	122	3,0
10	2,5	52	142	194	3,0
15	2,4	68	192	260	3,0
25	2,0	98	289	387	3,0
37,5	2,0	130	403	533	3,0
50	1,9	160	512	672	3,0
75	1,7	214	713	927	3,0
100	1,6	263	897	1 160	3,0
167*	1,5	379	1 360	1 739	3,0

TABLA 2.1. Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA
Clase medio voltaje ≤ 25 kV_{f-f}/ clase bajo voltaje ≤ 1,2 kV_{f-f} referidos a 85° C
NTC-818

* Para potencias entre 167 kVA y 333 kVA, las pérdidas se determinarán en común acuerdo entre fabricante y comprador

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

TABLA 2.2. Transformadores monofásicos de 15 a 333 kVA
Clase medio voltaje >25 kV_{f-f} y ≤ 34,5 kV_{f-f}, clase bajo voltaje ≤ 1,2 kV_{f-f}
referidos a 85° C NTC-818

POTENCIA NOMINAL (kVA)	I ₀ (% de I _n)	P ₀ (W)	P _c (W)	P _t (W)	U _{zn} (%)
15	4,4	80	313	393	3,0
30	3,6	134	514	648	3,0
45	3,6	182	711	893	3,0
50	3,4	197	776	973	3,0
60	3,2	225	903	1 128	3,5
75	2,6	266	1 094	1 360	3,5
100	2,6	330	1 393	1 723	3,5
112,5	2,6	361	1 539	1 900	3,5
125	2,6	390	1 682	2 072	3,5
150	2,4	447	1 959	2 406	4,0
160	2,5	486	2 211	2 697	4,0
200	2,1	569	2 630	3 199	4,0
225	2,1	618	2 892	3 510	4,0
250	2,1	666	3 153	3 819	4,0
300	2,0	758	3 677	4 435	4,5
350	2,0	846	4 200	5 046	4,5
400	1,9	930	4 730	5 660	4,5
500	1,7	1 090	5 770	6 860	5,0
630	1,6	1 284	7 170	8 454	5,0
750	1,6	1 453	8 386	9 839	5,0
800	1,6	1 521	8 909	10 430	5,0
1 000	1,6	1 782	11 138	12 920	5,0
1 250	1,5	2 088	13 454	15 542	6,0
1 500	1,5	2 395	15 770	18 165	6,0
1 600	1,5	2 518	16 696	19 214	6,0
2 000	1,5	3 009	20 402	23 411	6,0

TABLA 2.3 Transformadores trifásicos 15 a 2 000 kVA Clase medio voltaje ≤ 25 kV Clase bajo voltaje ≤ 1,2 referidos a 85° C NTC - 819

POTENCIA NOMINAL (kVA)	I _o (% de I _n)	P _o (W)	P _c (W)	P _t (W)	U _{zn} (%)
75	3,5	388	1 366	1 754	6,0
112,5	2,6	504	1 898	2 402	6,0
150	2,6	608	2 397	3 005	6,0
225	2,5	791	3 331	4 122	6,0
300	2,0	953	4 208	5 161	6,0
400	2,0	1 148	5 315	6 463	6,0
500	1,7	1 327	6 370	7 697	6,0
630	1,7	1 542	7 685	9 227	6,0
750	1,5	1 727	8 853	10 580	6,0
800	1,5	1 800	9 330	11 130	6,0
1 000	1,2	1 983	12 046	14 029	6,0
1 250	1,0	2 367	14 320	16 687	6,0
1 600	1,0	2 879	17 420	20 299	6,0
2 000	1,0	3 436	20 844	24 280	6,0

TABLA 2.4. Transformadores trifásicos 75 a 2 000 kVA Clase medio voltaje ≤ 34,5 kV/ Clase bajo voltaje ≤ 1,2 kV referidos a 85° C NTC-819

2.2.5 Prueba de Voltaje Aplicado

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.

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 y 2 de la NTE INEN 2127.(Anexo 6). 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 y 2, 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. 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.

Para transformadores de tipo seco se aplica la tabla 1 de la NTE INEN 2127. 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 6 de la norma INEN de referencia.

2.2.6 Prueba de sobrevoltaje inducido

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. 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 2127. 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. 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.

2.2.7 Pruebas de aislamiento y factor de potencia

La prueba de factor de potencia es un método efectivo para detectar condiciones de aislamiento tales como corrosión, carbonización, contaminación en bushings, aislamiento del líquido refrigerante y devanados. Adicionalmente la medición de corriente de excitación del transformador ayuda a detectar problemas en los devanados y núcleo.

Para todas las pruebas de factor de potencia la mayor lectura tomada será comparada con los resultados de la próxima prueba de rutina. Los datos de la prueba deben ser comparados con los datos de placa del transformador. Si los datos de placa no están disponibles compare las pruebas con un transformador de similares características. Si es posible los valores de factor de potencia y capacitancia deben ser tomados en transformadores nuevos. Estos valores deben ser medidos al momento del montaje del transformador para usarse como futuras referencias. La prueba de factor de potencia es extremadamente sensible a las condiciones climáticas, por tanto debe realizarse en lo posible en las mejores condiciones. Todas las pruebas están previstas para 2,5 Kv o 10 Kv, si estos valores exceden el rango del devanado, la prueba debe realizarse con un rango muy pequeño por debajo.

Los resultados de esta prueba deben ser siempre comparadas con las pruebas de fábrica. Es imposible ajustar los límites del máximo factor de potencia al cual todos los transformadores son aceptables, pero unidades con lecturas por debajo del 1% a 20°C deben ser investigados. Los bushings in condiciones pobres de factor de potencia deben tener sus pérdidas marcadas por las pérdidas normales en el aislamiento del devanado, sin embargo deben aplicarse pruebas por separado.

Un incremento en los valores del factor de potencia en comparación con pruebas anteriores o de equipos idénticos indican por lo general contaminación del aceite. Un incremento en el factor de potencia y capacitancia indican una contaminación comúnmente por agua.

La oxidación del aceite y su consecuente asentamiento de lodos tienen una importancia en el factor de potencia del devanado del transformador. Luego que estas condiciones han sido remediadas (por lavado o tratamiento) las medidas del factor de potencia pueden estimar si el removido de lodos ha sido efectivo.

Las mediciones en devanados individuales pueden variar debido a la diferencia del material de aislamiento y disposición. Sin embargo, si existen diferencias significativas puede indicar que se ha detectado un daño o deterioro del devanado.

Una consideración cuidadosa de las medidas en diferentes combinaciones de devanados deben indicar en que disposición en particular se encuentran; por ejemplo si una medición en entre dos devanados tiene un alto factor de potencia y las mediciones entre cada devanado y tierra con un devanado permanente a tierra, dan una lectura normal entonces es problema de disposición entre los devanados, tal vez es un cilindro aislado.

2.2.8 Prueba de la rigidez dieléctrica del líquido aislante refrigerante

Para el procedimiento de esta prueba las muestras de aceite deben tomarse del fondo de la cuba del transformador; por lo cual en el fondo o parte inferior del transformador hay dispuesta una válvula para muestreo del aceite. Se puede utilizar en forma conveniente un tubo ladrón de metal o de vidrio para obtener una muestra del fondo de un barril de aceite. Las muestras para prueba deben tomarse solamente después de que el aceite se haya asentado por algún tiempo, el cual varía desde 8 h para un barril hasta varios días para un transformador grande. El aceite frío tarda más tiempo en asentarse. Al sacar muestras de aceite de una válvula de muestreo, debe desecharse el primer aceite que salga para que la muestra provenga del fondo del recipiente que lo contiene y no del tubo de muestreo. Examine una muestra en un frasco de vidrio transparente para ver si tiene agua libre, la cual es observable en cualquier cantidad. El recipiente en que ponga la muestra debe ser una botella de vidrio de boca grande, de un litro o mayor, con tapón de corcho o de vidrio. La botella debe lavarse y secarse con todo cuidado antes de usarla. Las botellas deben ser de color ámbar si se van a guardar las muestras para probarlas posteriormente por color o por características de formación de lodos.

El accesorio de prueba debe limpiarse perfectamente para separar las partículas de fibra que tenga y enjuagarse con una parte del aceite que se va a probar. El accesorio de prueba debe llenarse con aceite, deben estar ambos, el aceite y el accesorio, a la temperatura ambiente. Deje pasar 3 minutos para que escapen las burbujas de aire antes de aplicar voltaje. Las pruebas se hacen por dos métodos. El método ASTM D877-82 utiliza electrodos de bordes escuadrados de 1” de diámetro separados por una distancia de 0.10” y un régimen de elevación de voltaje de 3000 V/s. El método ASTM D1816-82 utiliza electrodos especiales de superficie con radios espaciados a 0.04”, con circulación continua de aceite, y un régimen de elevación de voltaje de 500 V/s. Esta última prueba es más sensible a una humedad ligera o a contaminación ligera por partículas. En cualquiera de los dos casos, se toma el voltaje promedio para cinco desintegraciones como la resistencia dieléctrica del aceite. La resistencia del aceite nuevo debe exceder al valor mínimo para un buen aceite como se muestra en la tabla 2.5. (Véase también la norma ANSI/IEEE C57.106-1977.)

Resistencia Dieléctrica media en KV, por ASTM D877-82	Resistencia Dieléctrica media en KV, por ASTM D1816-82	Condición del aceite
30 ó mas	29 ó mas	Bueno
26 a 29	23 a 28	Utilizable
menor a 26	menor de 23	Deficiente

Tabla 2.5. Resistencia Dieléctrica del aceite

2.3 PRUEBAS TIPO⁶

A diferencia de las pruebas de rutina estas pruebas la realiza el fabricante a un transformador representativo de una serie de aparatos de valores iguales e igual constitución, con el fin de demostrar el cumplimiento de las normas.

Se considera que un transformador es representativo de otros, si es completamente idéntico en características y constitución; sin embargo la prueba tipo puede considerarse

⁶ Normas INEN

válida si es echo sobre un transformador que tenga pequeñas desviaciones sobre los otros. Estas desviaciones serán objeto de acuerdo entre comprador y fabricante.

2.3.1 Prueba de voltaje de impulso con onda completa

Los ensayos de impulso son efectuados con formas de onda, que simulan aquéllas encontradas en funcionamiento. Se ha concluido que los disturbios en el sistema, a causa de rayos se pueden representar por tres formas de onda básicas: ondas plenas, ondas recortadas y frentes de onda.

Estas tres formas de onda son representadas en la Figura 17, de manera aproximada, en magnitud y tiempo. Los disturbios por descargas atmosféricas (rayos) no siempre tienen esas tres formas de onda. Sin embargo, al definir la amplitud y forma de esas ondas, es posible establecer una mínima rigidez dieléctrica al impulso que el transformador deba cumplir. Se puede dibujar una curva mediante los puntos establecidos por la amplitud y la duración normal de cada onda, tal como se muestra en la Figura 17. Para el frente de onda y la onda recortada, los puntos se deben localizar en la intersección de una línea vertical dibujada en el tiempo de corte y una línea horizontal dibujada a través del tiempo de cresta; para la onda plena la línea vertical se debe localizar en el tiempo del valor medio. Esta curva es referida como la curva Tensión-Tiempo de la estructura del aislamiento del transformador. La rigidez del aislamiento para otras formas de onda diferentes a las definidas por las normas, se puede obtener de una aproximación a esta curva.

Los ensayos de impulso demuestran que el aislamiento puede soportar impulsos que permanezcan debajo de la curva Tensión - Tiempo.

Los resultados de los ensayos son satisfactorios cuando se presenta el emparejamiento (comparación) de los trazos de tensión, obtenidos de los ensayos a onda plena y a onda

plena reducida (50 % al 70 % del valor del nivel de tensión a onda plena). Una discrepancia entre estos dos trazos, puede darse por una de las siguientes razones:

- a) Una de las ondas se ha recortado; esto es, la tensión se ha ido súbitamente a cero
- b) La onda es distorsionada en su forma
- c) Las amplitudes de las dos ondas difieren, a pesar de que la forma de onda sea la misma.

Cuando se discuten los tres tipos de discrepancias, se asumirá que el equipo de ensayo, incluyendo los circuitos de medición, se han chequeado y su funcionamiento es satisfactorio.

Mas adelante en el Capítulo III se verá mas a fondo las características de esta prueba que tiene mucha relación con la de voltaje aplicado.

2.3.2 Prueba de calentamiento

Para esta prueba se utilizará el método de prueba de carga simulada por cortocircuito que se realiza conectando en" cortocircuito uno o mas devanados y haciendo circular la suficiente corriente a ala frecuencia nominal para producir las pérdidas totales (para la conexión y capacidad nominales del transformador) y corrigiéndolas a una temperatura igual al aumento nominal de temperatura promedio de los devanados mas 20° C

Una vez energizado el transformador se deben tomar lecturas de voltaje, corriente y temperatura cada media hora durante un período no menor de tres horas, momento en el que se incrementan las lecturas a un período de quince minutos, continuando de esta forma hasta alcanzar el equilibrio térmico.

Se considera que el último aumento de temperatura del aceite sobre el ambiente ha sido alcanzado cuando el aumento de la temperatura no varíe en más de 1°C por hora durante un período consecutivo de tres (3) horas.

Teniendo en cuenta que la distribución de temperatura en los devanados del transformador no es uniforme, el mayor deterioro se ocasiona en el aislamiento adyacente al punto de mayor temperatura. Por lo tanto, tratándose de estudios de envejecimiento, éstos se concentran en los efectos producidos por la temperatura del punto más caliente. Se considera como límite máximo de temperatura ambiente promedio, en cualquier período de 24 h, el valor de 30°C.

La temperatura ambiente promedio debe cubrir períodos no mayores que 24 h, con temperaturas máximas que sobrepasen el valor promedio en no más de 10°C. La mínima vida esperada es el resultado de la operación continua del transformador con temperaturas del conductor en el punto más caliente de 110°C (o la temperatura equivalente con 120°C como máximo) en cualquier período de 24 h.

La temperatura del punto más caliente con carga nominal es la suma de la temperatura promedio del devanado más 15°C de tolerancia para el punto más caliente.

Para efectos de aproximación se considera que la diferencia entre la temperatura del punto más caliente y la temperatura del nivel superior del líquido refrigerante no supera los 20°C.

La Tabla 2.6 muestra el aumento o disminución en la carga nominal para temperatura ambiente diferente a 30°C. Para usar esta tabla, se deben considerar las siguientes limitaciones:

- a) Se cubre un intervalo de temperatura entre 0°C y 50°C. Para valores diferentes consultar con el fabricante.
- b) Se recomienda tomar 5°C como margen de seguridad.

Porcentaje de capacidad nominal	
Disminución necesaria en la carga por cada grado Celsius sobre 30°C	Incremento en la carga por cada grado Celsius por debajo de 30°C
1.5	1,0

Tabla 2.6. Influencia de la temperatura ambiente sobre la cargabilidad para obtener la mínima vida esperada

Calentamiento en el punto mas caliente obre el ambiente	80°C
Calentamiento del nivel superior del líquido refrigerante (sobre el ambiente).	60°C
Constante de tiempo del punto más caliente del conductor en horas.	0,0834 h
Potencia exponencial de la pérdida contra calentamiento.	0,8

Tabla 2.7. Características asumidas para los transformadores con carga nominal (30 °C ambiente 65°C elevación)

2.3.3 Prueba del nivel de ruido

Las ondas sonoras producen pequeñas fluctuaciones en la presión atmosférica que son detectadas por el oído humano.

El equipo para medir el sonido que especifica la Norma ANSI SI.4-1971 consta de un micrófono, un amplificador, una red de ponderación de frecuencia y un medidor indicador, mediante el cual se obtienen las curvas que se muestran en la figura 2.7 y que representa la sensibilidad del oído de un adulto joven a niveles moderados de sonido en la mayor parte del espectro audible. Una respuesta lineal da el nivel real de intensidad del sonido. Se emplean mediciones de nivel del sonido de una tercera de octava y banda angosta para identificar el origen en un transformador que se vuelve inesperadamente ruidoso.

La norma ANSI/IEEE C57.12.90-1980 especifica el método para medir el nivel promedio del sonido de un transformador. El nivel de sonido medido es el promedio aritmético de un número de lecturas tomadas alrededor de la periferia de la unidad. Para transformadores con altura de tanque menor de 8 ft, las mediciones se toman a la mitad de la altura del tanque. Para transformadores más altos, se toman a un tercio y dos tercios de la altura del tanque. Las lecturas se toman a intervalos de 3 ft en torno a la periferia del transformador, con el micrófono situado a 1 ft de la periferia de la cadena de aisladores y a 6 ft de las superficies enfriadas por ventilador. El ambiente debe estar a por lo menos 5 y de preferencia 10 dB abajo del ruido de la unidad que se esté midiendo. No debe haber una superficie acústicamente reflejante, que no sea el terreno, dentro de 10 ft del transformador. La red de ponderación A se emplea para todas las mediciones de transformadores normales cualquiera que sea el nivel de sonido.

La publicación NEMA TR 1 contiene tablas de los niveles normales de sonido. Para los transformadores cargados con aceite de 1000 a 100.000 kVA con autoenfriamiento (400.000 kVA con enfriamiento forzado con aceite) los niveles normales los da aproximadamente la ecuación 2.8:

$$L=10 \log E + K \quad (2.8)$$

en donde E = kVA equivalentes a dos devanados, con autoenfriamiento kVA (para unidades enfriadas con aceite forzado aire forzado, utilizar 0.6 x kVA), K= constante, de la tabla 10-3, y L = nivel de sonido en decibeles.

Devanado BIL de Alto Voltaje, kV	Capacidades de autoenfriado y enfriado por agua	Enfriamiento por aire forzado y por aceite forzado Aire forzado 25 a 35% arriba de la capacidad con autoenfriamiento	Enfriado por aire forzado y por aceite forzado. Aire forzado 67% arriba de la capacidad con autoenfriamiento
350 o menores	28	30	31
450 - 650	30	32	33
750- 825	31	33	34
900 - 1050	32	34	35
1175	33	35	36
1300 y mayores	34	36	37

Tabla 2.8. Valores de K para la ecuación (2.8)

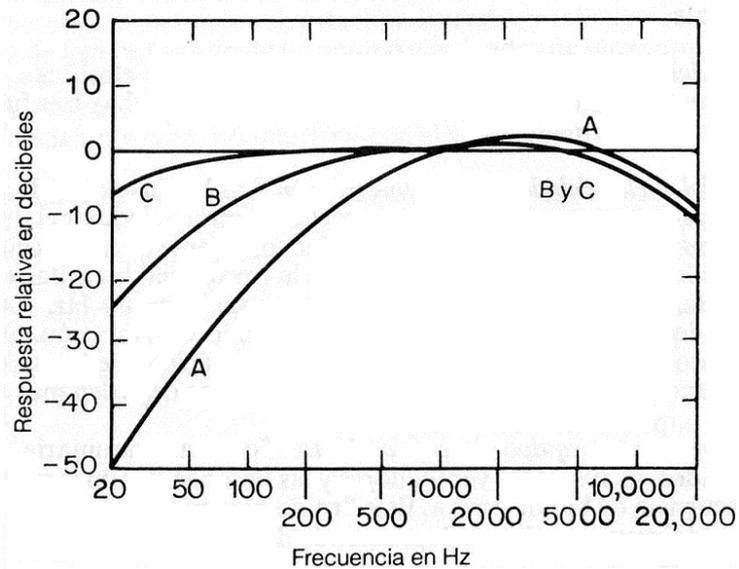


Figura 2.7. Curvas de Ponderación. La Ponderación A reduce la intensidad del ruido hacia el extremo mas bajo del espectro audible.

2.4 PRUEBAS ESPECIALES⁷

Estas pruebas son diferentes a las de rutina y son acordados entre el fabricante y el comprador por lo tanto exigible solo en el contrato particular.

⁷ Normas INEN

2.4.1 Prueba de voltaje incluyendo ondas recortadas

Si el comprador lo especifica, adicionalmente a la prueba de onda completa la secuencia de ondas de voltajes aplicados sucesivamente a cada terminal de línea del transformador, incluirá dos ondas recortadas. Si durante la aplicación del impulso ocurre una descarga en los cuernos, se descarta la aplicación y se repite. El valor de cresta del voltaje aplicado para las ondas recortadas será por lo menos igual al valor de cresta de la onda completa especificada. La onda aplicada debe ser recortada sobre su espalda. El tiempo de corte debe estar entre 2 y 6 micro-segundos (to) a partir del origen nominal de la onda (ver figura No. 16). Para conseguir las ondas recortadas, se intercala un explosor (Brecha disruptiva) entre el terminal de línea bajo ensayo y tierra. El explosor se coloca tan cerca como sea práctico al terminal de línea bajo ensayo. Se permite cualquier tipo de explosor, cuyas características de corte sean apropiadas. Es ventajoso el uso de un explosor cuyo tiempo de corte en cada prueba sea sensiblemente el mismo. El esfuerzo dieléctrico desarrollado como resultado de la interrupción es influenciado por: a) La velocidad de descenso del voltaje. b) El valor de oscilación del voltaje. Estas dos cantidades dependen del tipo de explosor, las características del transformador, el circuito de ensayo y la localización del explosor en relación al terminal bajo prueba. Dadas estas variables no es práctico, en la actualidad, especificar límites precisos para las cantidades anteriores, pero se deben tomar precauciones para que las pruebas sobre transformadores diferentes puedan ser razonablemente comparables y puedan asegurar que la velocidad de descenso del voltaje, sea un máximo y su valor de oscilación sea un mínimo, para las circunstancias particulares de la prueba. Las medidas de las cantidades anteriores pueden ser influenciadas considerablemente por el divisor de voltaje empleado.

Los parámetros del circuito se ajustan para dar la forma de onda requerida con el explosor. Después de esto no se hace ningún cambio en el circuito, excepto en el espaciamiento del explosor, que debe aumentarse para evitar descargas durante las pruebas con voltaje de onda completa y se ajusta para obtener la descarga en los límites de tiempo especificados, durante las pruebas con onda recortada. Si se usa un explosor controlado, se toman registros oscilográficos adicionales a un voltaje reducido, con el

tiempo de corte igual al de la prueba de onda recortada, tomando registros oscilográficos de corriente y voltaje suplementarios, para facilitar la interpretación de los resultados.

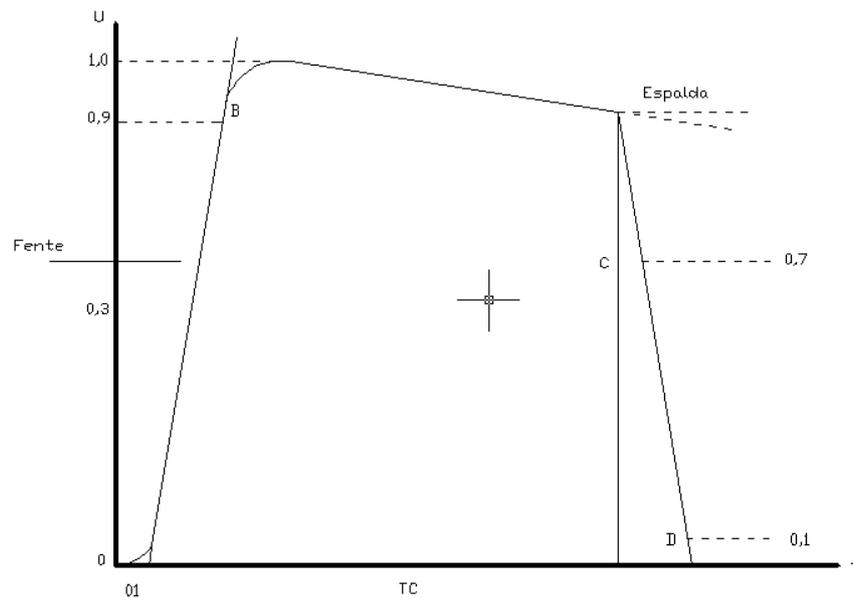


Figura 2.8 Ondas recortadas

2.4.2 Medición de la impedancia de secuencia cero

Las características de la impedancia de secuencia cero de transformadores trifásicos, dependen de las conexiones del bobinado y, en algunos casos, de la construcción del núcleo. En todos los ensayos, a uno de los bobinados se le aplicará un voltaje entre el neutro y los tres terminales de línea. Las conexiones externas de los otros bobinados, deberán ser descritos en gráficos sucesivos de varias conexiones de transformadores. Los transformadores con estas conexiones, se deben ensayar para determinar la responsabilidad del diseño y su aplicación.

El voltaje y la corriente de excitación, deberán ser establecidos de la siguiente manera:

- Si no se tiene una conexión delta en el transformador, el voltaje aplicado no excederá del 30% del voltaje nominal de línea neutro del bobinado energizado, como tampoco la corriente de fase no deberá exceder su valor nominal.
- Si se tiene presente una conexión delta, el voltaje aplicado deberá ser tal, que no excederá el valor nominal de la corriente de fase en cualquier bobinado conectado en delta.
- El porcentaje del voltaje de excitación requerido para los ensayos, se anotará en los correspondientes reportes de ensayo.
- El tiempo de duración del ensayo deberá ser tal, que no exceda el límite térmico de cualquier parte del transformador.

Las mediciones monofásicas del voltaje de excitación, de la corriente total, y de la potencia, serán similares a lo que se describe en lo referente a la determinación de pérdidas con carga y voltaje de impedancia.

La secuencia de impedancia cero en porcentaje de los kVA base del bobinado excitado para el ensayo es:

$$Z_0(\%) = 300 \frac{V}{V_r} \times \frac{I_r}{I} \quad (2.9)$$

En donde:

V Es el voltaje de excitación medido

V_r Es el voltaje nominal fase-neutro del bobinado excitado.

- I Es la corriente total medida, que fluye en las tres fases conectadas
- Ir ES la corriente nominal de cada fase, del bobinado excitado.

2.4.3 Medición de las descargas parciales

Estas descargas pueden tener lugar en dieléctricos líquidos o gaseosos cuando el esfuerzo dieléctrico en el punto de máxima concentración de esfuerzo alcanza el nivel de ruptura o cuando se impide la ruptura completa del dieléctrico por disminución muy rápida del esfuerzo dieléctrico alejándose del punto de máxima concentración de esfuerzo o por intervención de un dieléctrico sólido. Una forma de esta descarga parcial, que ocurre en el aire alrededor de un conductor de diámetro pequeño a alto voltaje, se ha denominado "corona" por razón de su apariencia como una fulguración visible alrededor de la superficie del conductor.

La ruptura local en la región de concentración de esfuerzo ioniza una trayectoria (forma una vía de corriente) en un tiempo muy breve (microsegundos), poniendo efectivamente en cortocircuito una pequeña región del dieléctrico, y aparece un pulso de corriente en el circuito dieléctrico principal, reflejando el cortocircuito instantáneo de una parte de la capacitancia del circuito.

Las descargas parciales generalmente van acompañadas por descomposición química del líquido o gas, y en ocasiones causan erosión del aislamiento sólido adyacente. Una descarga parcial en aceite produce, por lo general, un colapso químico, con formación de carbón y gas, y a menos que el gas pueda escapar de inmediato, las descargas más severas en el gas mismo pueden conducir a la falla completa de la estructura del aislamiento.

La presencia de burbujas de gas en el aislamiento de un transformador aislado con aceite puede dar lugar a descargas parciales; ésta es la razón de la atención particular que debe tenerse al cargar transformadores con aceite bajo vacío.

También pueden producirse descargas parciales por fibras húmedas o por cualesquiera partículas conductoras pequeñas que distorsionan el campo eléctrico y ocasionan puntos locales de concentración de esfuerzo.

Las descargas parciales pueden detectarse cuando ocurren dentro del aislamiento de un transformador por alguno de un número de esquemas que detectan o miden ya sea el pulso de corriente o la pérdida momentánea de voltaje en las terminales del transformador. La transferencia de carga en una terminal puede medirse en picofarads, pero esto no da, generalmente, la transferencia real de carga que ocurre en alguna parte dentro del transformador. Se emplean comúnmente dos técnicas para medir la actividad de descarga parcial. La publicación NEMA 107 describe un método para medir el voltaje equivalente en alta frecuencia, por lo general, a 1 MHz, que aparece en las terminales del transformador, mientras que la norma ANSI/IEEE CS7.113 presenta una guía de uso triple para medir picocoulombs (carga aparente). La técnica de la carga aparente es más sensible a las descargas parciales que ocurren dentro del devanado pero también puede ser más susceptible a señales externas. Para ambas técnicas, para transformadores de potencia el capacitor de acoplamiento puede reemplazarse por la capacitancia de los buses de alto voltaje, usando el tap o cambiador de potencial como medio para acoplar el circuito de alto voltaje con el efecto de la impedancia capacitiva de los buses que se está reduciendo por medio de un reactor ajustable conectado al tap de buses. El instrumento medidor de voltaje se describe en la norma ANSI C.63.2-1979.

2.4.5 Prueba de los conmutadores con carga y sin ella

En los tamaños más pequeños, en donde tanto el voltaje como la corriente son moderados, la energía por interrumpir en la conmutación de tap a tap se vuelve tan

pequeña que resulta posible usar equipos ligeros y simples. Han ido evolucionando una variedad de diseños mecánicos, junto con circuitos especiales, con el propósito de proporcionar equipos más sencillos, más pequeños y menos costosos. Puede hacerse notar lo siguiente:

- Se debe diseñar el cambiador de taps de manera que sea capaz de interrumpir la corriente directamente en los mismos interruptores que seleccionan los taps.
- Se debe diseñar el circuito de manera que se invierta el devanado que tiene los taps al pasar del intervalo máximo al mínimo, y asegurar así, una reducción sustancial en la especificación del núcleo y las bobinas para una salida dada.
- Se debe utilizar mayor velocidad de conmutación, con el fin de alargar la vida de los contactos en arqueo.

2.4.6 Prueba de hermeticidad

En el acople para colocar el dispositivo de sobrepresión del transformador, se instala un dispositivo que comprende un manómetro de 0 kPa (0 psig) a 103,5 kPa (15 psig) como máximo, con un diámetro de carátula mínimo de 5,08 cm (2 pulgadas) y una válvula que permita el sello del conjunto.

Se inyecta nitrógeno o aire seco a la cámara superior del transformador hasta alcanzar una presión de 41,4 kPa (6 psig) y se cierra la válvula para comenzar a contar el tiempo de 30 min del ensayo, al cabo del cual se verifica nuevamente la presión en el manómetro.

La lectura debe efectuarse con una precisión de $\pm 3,45$ kPa (0,5 psig).

Debe verificarse que no cambie la temperatura del aceite del transformador en más de ± 5 °C, para evitar errores en el ensayo. Terminado el ensayo, se inspeccionan los cordones de soldadura para verificar que no existan fugas de aceite y se considerará el transformador adecuadamente sellado o estanco si se conservó la presión dentro del intervalo de 41,4 kPa (6 psig) a $\pm 3,45$ kPa (0,5 psig).

Antes de iniciar el ensayo, debe verificarse que las superficies del transformador estén completamente limpias y secas para evitar errores de apreciación en fugas.

CAPITULO III

PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO

3.1 GENERALIDADES ⁸

Esta prueba tiene por objeto realizar el ensayo de impulso y verificar los niveles de aislamiento de los transformadores. El aislamiento es reconocido como uno de los elementos de construcción más importantes de un transformador. Cualquier debilitamiento del aislamiento puede ocasionar la aparición de fallas en los transformadores. El desarrollo de nuevos equipos para ensayos de impulso y un mejor conocimiento acerca de los fenómenos producidos por las descargas atmosféricas, hizo evidente que la distribución de los esfuerzos a través de los devanados de un transformador, como producto de la tensión de impulso, pueden ser muy diferentes de aquéllos como producto de las tensiones a baja frecuencia, las cuales se distribuyen a lo largo del devanado en una base uniforme de voltios por espira. Las tensiones de impulso son inicialmente distribuidas con base en la capacitancia de los devanados.

⁸ Normas INEN – Norma NTC-3600

Si esta distribución inicial difiere de la final de la inductancia de baja frecuencia, la energía del impulso oscilará entre estas dos distribuciones hasta que se disipe. En casos severos, las oscilaciones internas pueden producir tensiones a tierra, que inducen la doble tensión aplicada. Los niveles de impulso son referidos como el Nivel Básico de aislamiento (BIL).

Los ensayos de impulso son efectuados con formas de onda, que simulan aquellas encontradas en funcionamiento. Se ha concluido que los disturbios en el sistema, a causa de rayos se pueden representar por tres formas de onda básicas: ondas plenas, ondas recortadas y frentes de onda. Estas tres formas de onda son representadas en la Figura 3.1, de manera aproximada en magnitud y tiempo.

Los disturbios por descargas atmosféricas (rayos) no siempre tienen esas tres formas de onda. Sin embargo al definir la amplitud y forma de esas ondas, es posible establecer una mínima rigidez dieléctrica al impulso que el transformador deba cumplir. Se puede dibujar una curva mediante los puntos establecidos por la amplitud y la duración normal de cada onda, tal como se muestra en la figura 3.1.

Para el frente de onda y la onda recortada, los puntos se deben localizar en la intersección de una línea vertical dibujada en el tiempo de corte y una línea horizontal dibujada a través del tiempo de cresta; para la onda plena la línea vertical se debe localizar en el tiempo del valor medio. Esta curva es referida como la curva Tensión-Tiempo de la estructura del aislamiento del transformador. La rigidez del aislamiento para otras formas de onda diferentes a las definidas por las normas, se puede obtener de una aproximación a esta curva.

Los ensayos de impulso demuestran que el aislamiento puede soportar impulsos que permanezcan debajo de la curva Tensión - Tiempo.

Mediante el empleo de equipos de protección que tengan una de Tensión - Tiempo menor que la del transformador, se asegura una adecuada protección de los aislamientos del transformador. Si un disturbio causado por una descarga atmosférica (rayo), recorre alguna distancia a lo largo de la línea antes de llegar a un transformador, esta forma de onda se aproxima a la onda plena mostrada en la Figura 3.1. Esta es una onda que se eleva desde cero a un valor pico en 1,2 uS y decae a la mitad del valor de cresta en 50 us. Esta es generalmente referida como una onda de $1,2 \text{ uS} * 50 \text{ uS}$. La parte de la onda entre cero y el valor de cresta es llamada "Frente" y la parte después de la cresta es llamada "Cola".

Una onda que viaja a lo largo de la línea puede flamear sobre un aislador después de que la onda haya alcanzado el valor de cresta. Esta onda es simulada por una onda recortada, la cual debe ser 15 % mayor en magnitud que la onda plena. Esto se representa en la Figura 3.1 como la curva "b".

Si cae una descarga atmosférica fuerte, directamente o muy cerca al terminal de línea, la onda de tensión puede elevarse rápidamente hasta que sea suavizada por una descarga, causando un repentino y muy ligero colapso de tensión. Esta condición es representada en la Figura 3.1 por la curva del frente de onda "c".

Como puede verse en la Figura 3.1, estas tres ondas son completamente diferentes en duración, el incremento de elevación y la caída de tensión, y consecuentemente producen diferentes reacciones dentro de los devanados del transformador. La onda plena, por su relativa larga duración, causa que se desarrollen mayores oscilaciones en el devanado y consecuentemente esfuerzos no sólo entre espiras, entre bobinas y el aislamiento a lo largo de los devanados, sino que desarrolla también altas tensiones, comparados con los esfuerzos producidos por los ensayos a frecuencia industrial, alrededor de grandes porciones de los devanados y entre los devanados y tierra.

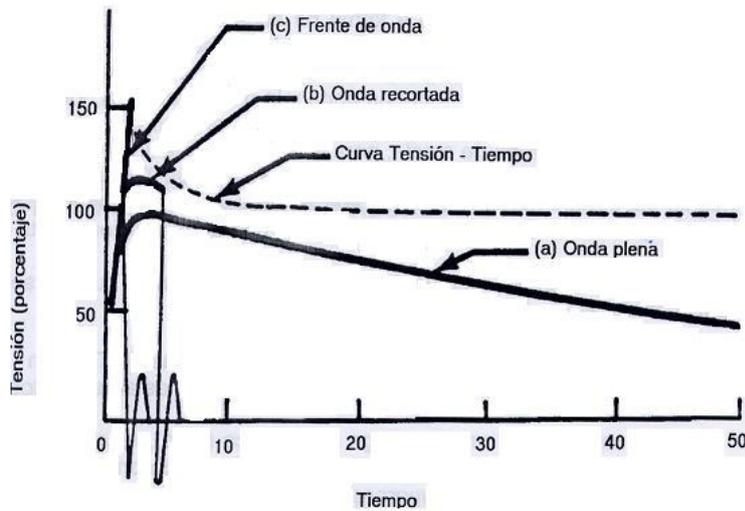


Figura 3.1. Formas de onda de impulso

La onda recortada, por ser de corta duración, no permite desarrollar mayores oscilaciones, por lo que generalmente no produce altas tensiones alrededor de grandes porciones de los devanados o entre devanados y tierra. Sin embargo, por ser ésta de gran amplitud, se producen altas tensiones en el terminal de línea de los devanados, y por los rápidos cambios de tensión seguidos por las descargas en el entrehierro de prueba (Test Gap), se producen altos esfuerzos espira a espira y sección a sección. El frente de onda es aún más corto en duración, por tanto, produce menores tensiones entre el devanado y tierra a lo largo del devanado. Sin embargo, cerca al terminal de línea, se producen tensiones de gran amplitud entre el devanado y tierra, debido a la combinación de los rápidos cambios de tensión en el frente, seguidos por el flameo que producen las altas tensiones entre espiras y sección a sección. La selección del tipo y número de ondas de prueba se determina por la norma.

3.2 Normas Utilizadas

Para la utilización del equipo y el procedimiento de la prueba dentro del laboratorio de pruebas de ELEPCO S.A., se utilizarán las normas establecidas por el INEN de Ecuador

NTE INEN – 2125 y NTE INEN - 2127 (Anexo 6) y también como referencia la norma ICONTEC de Colombia NTC-3600.

3.2.1 Normas INEN

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.

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

- **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.
- **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.

Aplicación	Voltaje nominal del sistema (Vn) (kV ef.)	Voltaje Máximo del sistema (Vm) (kV ef.)	Nivel Básico de aislamiento (BIL) (kV)
	1,2	1,2	30
	2,5	2,5	45
Distribución	5	5	60
hasta 500 kVA	8,7	8,7	75
inclusive	15	15	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	5	75
	8,7	8,7	95
	15	15	110
	25	25	150
	34	36	200
	46	52	250
	69	72,5	350

Tabla 3.1. NTE 2127.- Relación de Voltaje nominal del sistema, voltaje máximo del sistema y nivel básico de aislamiento (NBA) (BIL)

Aplicación	Nivel básico de aislamiento (NBA) (kV)	Nivel de voltaje de aislamiento para baja frecuencia kV eficaces	Niveles de 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
Potencia	250	90	250	280	2,4
	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

Tabla 3.2. NTE 2127.- Interrelaciones entre los niveles de aislamiento dieléctrico para transformadores con NBA (BIL) de 350 kV y menores

Si un transformador ha soportado completa y satisfactoriamente esta prueba dieléctrica de acuerdo con las normas y posteriormente se deben repetirla para su aceptación, los niveles de voltaje de dichas pruebas deberán ser reducidas al 75% de los valores originales, a menos que se acuerde algo diferente y se prevea que el aislamiento interno no haya sido modificado en el transcurso de las prueba.

3.3 Procedimiento de la prueba

La prueba de voltaje aplicado es una prueba de rutina cuyo objetivo es el de verificar la resistencia del aislamiento de la bobina bajo prueba a tierra y con otros devanados.

Para proceder con la prueba de voltaje aplicado, dentro del laboratorio que ELEPCO S.A. dispone para el objeto, materia de este proyecto de tesis, se sigue primeramente los procedimientos de seguridad dictados por el Manual emitido por el departamento correspondiente.

El transformador a ser probado es descargado y llevado al sitio de prueba junto al transformador de alto voltaje donde se lo conecta para proceder con la prueba de acuerdo a las normas NTE INEN 2125 Y NTE INEN 2127. (Anexo 6)

La prueba está definida para transformadores de distribución con devanados con $V_m < 110$ kV y aislamiento uniforme.

El procedimiento una vez que el transformador a ser probado esta en el sitio es:

- 1 . Conexión del sistema de tierra

2. Conexión del sistema de fuerza
3. Revisión de conexiones
4. Energización del cubículo de pruebas
5. Energización del transformador de aislamiento
6. Energización del transformador de alto voltaje.
7. Incremento del voltaje de 0 - 25 kV.*
8. Prueba a este nivel de voltaje por 60 segundos
9. Reducción de voltaje a cero
10. Desenergización del transformador de alto voltaje
11. Desenergización del transformador de aislamiento
12. Desenergización del cubículo de pruebas

El valor de voltaje inicial de prueba para un BIL de 95 kV es de 34 kV eficaces, y de acuerdo a la norma NTE INEN 2127 numeral 4.7 acerca de Repetición de pruebas dieléctricas del aislamiento que indica que debe reducirse al 75% del valor original, entonces para la prueba en el laboratorio de ELEPCO S.A., se aplica un valor de 25 kV puesto que esta prueba si bien es cierto es de rutina y si el fabricante lo realizó como declara en el protocolo correspondiente del transformador, puede convertirse en una prueba destructiva si se la realiza con el voltaje normal de prueba, por esto es conveniente que el fabricante tenga y presente todas las certificaciones nacionales e internacionales que demandan la elaboración de estos equipos.

3.4 Protocolo de pruebas

ELEPCO S.A., tiene implementado dentro del laboratorio de pruebas de transformadores, pruebas de rutina como son:

- Pruebas de pérdidas en vacío
- Pruebas de pérdidas en cortocircuito
- Pruebas de megger
- Pruebas de relación de transformación (TTR)

- Pruebas de resistencia dieléctrica (RD) del aceite



Fig. 3.2. Equipo TTR



Fig. 3.3. Equipo de pruebas de RD de aceite

En vista de esto, ELEPCO S.A., cada vez que realiza estas pruebas emite el protocolo correspondiente en el que constan todas las características del transformador y el resultado de las pruebas tanto de fábrica como de su propio laboratorio para transformadores de distribución monofásicos y trifásicos; una vez realizadas las pruebas se entrega una copia al usuario con el número de código del transformador si este ha superado las pruebas.

Como la prueba de voltaje aplicado es una prueba que se implementará en ELEPCO S.A., al protocolo que se emite se añadirá el espacio correspondiente para indicar los resultados de la prueba de voltaje aplicado, y está indicado en el ANEXO 1.



Figura 3.4.- Laboratorio de pruebas de transformadores de distribución de ELEPCO S.A. Ubicación: S/E El Calvario



Figura 3.5.- Equipo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito en transformadores de distribución

CAPITULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE VOLTAJE APLICADO EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

4.1 DIAGRAMA UNIFILAR

El diagrama unifilar básico para el desarrollo del equipo esta indicado en el ANEXO 2.

4.2 DISEÑO DE LA MALLA DE TIERRA

Partiendo de datos proporcionados por ELEPCO S.A., se procede a realizar el diseño de la malla de puesta a tierra y para este propósito se consideran los siguientes pasos:

- Determinación de la corriente máxima de falla a tierra
-
- Determinación de la resistencia del sistema de tierra

Por ser una malla muy pequeña que se construirá en disposición de cuatro varillas cooperweld de 2.20 m. con soldadura exotérmica en cuadro. Es necesario considerar que la descarga es también muy pequeña, no es necesario profundizar en más cálculos, considerando además que es una descarga instantánea y controlada.

En el diseño de la malla es necesario tomar en cuenta que los conductores pasen lo mas cerca posible del equipo a conectarse, en este caso, el equipo quedará exclusivamente rodeado por la malla.

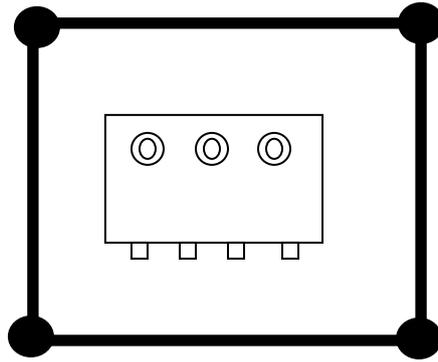


Figura 4.1.- Preparación del terreno para la malla de tierra

Los datos iniciales que se tienen son:

$\rho = 28 \text{ } \Omega/\text{m}$ (resistividad del suelo) (MEDIDO)

$I'' = 5 \text{ kA}$ (Valor simétrico eficaz de la corriente de falla a tierra, en el instante de inicio de la falla) (ASUMIDO)

$t = 1 \text{ ciclo}$ (tiempo de duración de la falla)

I'' es un valor que se toma como referencia únicamente para el cálculo de una pequeña malla de tierra, si bien es cierto puede parecer un valor alto de corriente de falla, no llegará a ese valor, y si llegara no existirá aporte como valor de cortocircuito al sistema de distribución de la subestación El Calvario, por la razón obvia de que no se encuentra conectado físicamente al mismo, el tiempo es apenas de un ciclo y la falla se disipará en

la malla de tierra, por otro lado la prueba es para transformadores de distribución hasta de 250 kVA cuyo aporte de corriente de cortocircuito es mínima en caso de falla.

La malla será en cuadro de 2 metros por lado ($L = 2\text{m}$)

Area de la malla = $A = 4 \text{ m}^2$

Longitud del conductor de la malla = $4L * fa = 4(2) * 1.2 = 9.6 \text{ m}$

$h = 0,6 \text{ m}$ Profundidad de la malla

Se considera un factor de ampliación fa de la longitud del conductor de la malla de 1.2 considerando las esquinas y el refuerzo que deben tener estas.

Para determinar la corriente de diseño se aplica la ecuación (4.1) en donde interviene un “factor por decremento” ya que al ocurrir una falla, se origina una corriente transitoria decreciente que debe considerarse en su aspecto mas desfavorable para mayor seguridad.

$$I = Dc * I'' \quad (4.1)$$

Donde:

$I =$ Corriente de diseño ajustada por el factor de decremento

$Dc =$ Factor de decremento que se encuentra con la ayuda de la tabla 11.

$I'' =$ Valor simétrico eficaz de la corriente de falla a tierra, en el instante de inicio de la falla

Tiempo de descarga o duración de falla (td) (s)	Factor de Decremento (Dc)
0.08	1.65
0.1	1.25
0.25	1.10
0,5 o mayor	1.00

Tabla 4.1. Factor de decremento por tiempo de descarga

$$t_d = \frac{1}{60Hz} * 1 \text{ ciclo} \quad (4.2)$$

$$t_d = 0,016$$

$$D_c = 0,33$$

$$I = D_c * I''$$

$$I = 0,33 * 5 \text{ kA}$$

$$I = 1,65 \text{ kA}$$

Para el cálculo de la resistencia de conexión a tierra de esta rejilla nos valemos de la siguiente fórmula:

$$R = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (4.3)$$

$$R = 30 \left[\frac{1}{9,6} + \frac{1}{\sqrt{20 * 4}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,6 \sqrt{\frac{20}{4}}} \right) \right] = 4,54 \Omega$$

El conductor que se utilizará es el comercial; cable de cobre desnudo calibre No. 2 AWG.



Figura 4.2.- Preparación y suelda del cable con las varillas cooperweld para la malla de tierra

Una vez realizada la malla, se obtuvo una resistencia de 37Ω , lo cual no es aceptable para este tipo de pruebas.

Para efectos de mejorar la resistividad del suelo y la resistencia de la malla nos vimos en la necesidad de utilizar material de tratamiento para el suelo, este es un tipo de polvo-gel cuyo ingrediente principal es la BENTONITA, una vez aplicado este material se obtuvo una resistencia de 0.14Ω .



Figura 4.3.- Material de tratamiento para suelo (BENTONITA)



Figura. 4.4.- Lectura final de resistencia de la malla de tierra

4.3 DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO (T1)



Figura 4.5.- Transformador de aislamiento del equipo para pruebas de Voltaje aplicado de ELEPCO S.A.

Para el diseño del transformador de aislamiento se considera que este será de una relación de 2:1, tipo seco, con un voltaje de entrada de 220Vac y un voltaje de salida de 110 Vac, esto con el fin de tener en el secundario la referencia de neutro independiente

de la referencia de tierra del transformador de prueba de alto voltaje, y para efectos de pruebas el rango de la potencia de estos transformadores esta entre 2-3 kVA. Por lo que se tomará el valor de 2 kVA.

Entonces los datos iniciales para los cálculos de los parámetros del transformador son los siguientes:

$$Rel = 2:1$$

$$V_{in} = 220V$$

$$V_{out} = 110V$$

$$S = 2 \text{ kVA}$$

4.3.1 Cálculo de la sección del núcleo.

$$S_n = \sqrt{S} = \sqrt{2000} = 45 \text{ cm}^2 \quad (4.4)$$

$$S_{n_{neto}} = S_n \times f_a \quad (4.5)$$

f_a = factor de apilamiento = 0.965 (dato de fabricante)

$$S_{n_{neto}} = 45 * 0.965 = 43,42 \text{ cm}^2$$

4.3.2 Calculo de voltios por espira

$$V/W = 4,44 * \beta * S * f * 10^{-8} \quad (4.6)$$

Donde: $\beta = 15.000$ Inducción electromagnética en gauss

$f = 60$ frecuencia industrial en Hz

$S = 43,42$ Sección neta del núcleo

El valor de β viene dado por el fabricante de las láminas para núcleo de acero grano orientado tipo M4 y uso de CARLITE 3 como aislamiento entre láminas y es de un

rango de 13.000 A 17.000 gauss, por tanto para el diseño se toma el valor de 15.000 gauss. (Anexo 7).

$$V/W = 4.44 * 15.000 * 43.42 * 60 * 10^{-8}$$

$$V/W = 1,735$$

Con este dato calculamos el número de espiras en los devanados primario y secundario.

$$N_{sec} = \frac{V_s}{V/W} = \frac{110}{1,735} = 63.4 = 63 \text{ Espiras} \quad (4.7)$$

Para efectos de tener como información el valor del nuevo β , considerando que no se tomó en cuenta el valor de 0,4 espiras tenemos:

$$V/W = \frac{110}{63} = 1,746$$

Por lo tanto $\beta_{nuevo} = 15.094$ gauss

$$N_{pri} = \frac{V_p}{V/W} = \frac{220}{1,746} = 126 \text{ Espiras} \quad (4.8)$$

4.3.3 Cálculo del calibre del conductor (S_c)

Conductor bobinado primario: Cobre

Conductor bobinado secundario : Cobre

$$S_c = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\delta} \quad (4.9)$$

Donde δ = Densidad de corriente del cobre en $\frac{Amp}{mm^2}$ y el rango par diseño es de 2.5 a

3.8. Para el diseño de este transformador tomamos el valor de 3.

$$I_{pri.} = \frac{2000}{220} = 9.09 \text{ Amp}$$

$$I_{sec.} = \frac{2000}{110} = 18,18 \text{ Amp}$$

$$S_{c_{pri}} = \frac{9.09}{3} = 3.03 \text{ mm}^2$$

$$S_{c_{sec}} = \frac{18.18}{3} = 6.06 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el conductor para el lado primario será cobre N. 12 y para el secundario cobre No. 9 (ver tabla 12 – Anexo 3) con doble capa de aislamiento.

4.3.4 Aislamiento

Para el diseño del aislamiento debemos considerar la altura inductiva del núcleo o la altura útil de trabajo donde irán enrollados los devanados, descontando la altura de las bastas o topes para controlar que no se desplace el arrollamiento cuyo valor es de 1/8" (3,175 mm).

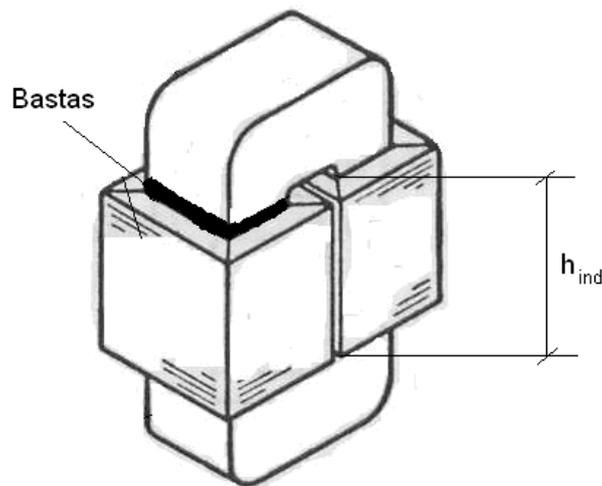


Figura 4.6.- Ubicación de las bastas y la altura inductiva en el núcleo de un transformador

$$h_{ind} = 145 \text{ mm}$$

$$h_{ind \text{ real}} = h_{ind} - 2 \text{ bastas}$$

$$h_{ind \text{ real}} = 145 - 6.35 = 138,65 \text{ mm}$$

Nec = Número de espiras por capa

$$Nec = \frac{\text{hind real}}{\phi \text{ conductor}} \quad (4.10)$$

Diámetro Cu 12 = 2,117 mm

Diámetro Cu 9 = 2,956 mm (tabla 12 Anexo 3)

$$Nec_{\text{pri}} = \frac{138,65}{2,117} = 65,49 \approx 65 \text{ espiras}$$

$$Nec_{\text{sec}} = \frac{138,65}{2,956} = 46,9 \approx 46 \text{ espiras}$$

Nc = Número de capas

$$Nc = \frac{N_{\text{espiras}}}{Nec} \quad (4.11)$$

$$Nc_{\text{pri}} = \frac{126}{65} = 1,9 \approx 2 \text{ capas}$$

$$Nc_{\text{sec}} = \frac{63}{46} = 1,36 \approx 2 \text{ capas}$$

Para el aislamiento entre capas se utilizará fibra de aislamiento cuyas características son las siguientes:

Tipo: fibra EPSTEIN

Constante de Aislamiento: 2000 V/mm

Clase: F

Temperatura max.: 200°C

4.3.5 Aislamiento Lado Primario:

$$\frac{2(Nec * V / W)}{2000} = \frac{2(65 * 1,735)}{2000} = \mathbf{0.112} \quad (4.12)$$

En el mercado la fibra se encuentra en las siguientes especificaciones:

$$h1 = 0.1'' (0.254 \text{ mm})$$

$$h2 = 0.05'' (0.127 \text{ mm})$$

Por lo tanto usaremos una capa de la fibra h2 para el aislamiento entre capas del lado primario.

4.3.6 Aislamiento lado secundario

$$\frac{2(Nec * V / W)}{2000} = \frac{2(46 * 1,735)}{2000} = \mathbf{0.079} \quad (4.13)$$

Por lo tanto usaremos una capa de la fibra h2 para el aislamiento entre capas del lado secundario.

4.4 DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE ALTO VOLTAJE (T2)



Figura 4.7.- Transformador de alto voltaje del equipo para pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.

Para el diseño del transformador de alto voltaje se considera que este será de una relación de 1:227, refrigerado por aceite, con un voltaje de entrada de 110 Vac y un voltaje de salida de 25000 Vac, esto con el fin de tener alta seguridad, fijar el neutro de alimentación y la referencia de tierra del transformador de prueba de alto voltaje, y para efectos de pruebas el rango de la potencia de estos transformadores esta entre 2-3 kVA. Por lo que se tomará el valor de 2 kVA.

Entonces los datos iniciales para los cálculos de los parámetros del transformador son los siguientes:

$$Rel = 1 : 227$$

$$V_{in} = 110 \text{ V}$$

$$V_{out} = 25.000\text{V}$$

$$S = 2 \text{ kVA}$$

4.4.1 Cálculo de la sección del núcleo.

$$S_n = \sqrt{S} = \sqrt{2000} = 45 \text{ cm}^2$$

$$S_{n_{\text{neto}}} = S_n \times f_a$$

f_a = factor de apilamiento = 0.965 (dato de fabricante)

$$S_{n_{\text{neto}}} = 45 * 0.965 = 43,42 \text{ cm}^2$$

4.4.2 Calculo de voltios por espira

$$V/W = 4,44 * \beta * S * f * 10^{-8}$$

Donde: $\beta = 15.000$ Inducción electromagnética en gauss

$f = 60$ frecuencia industrial en Hz

$S = 43,42$ Sección neta del núcleo

$$V/W = 4.44 * 15.000 * 43.42 * 60 * 10^{-8}$$

$$V/W = 1,735$$

Con este dato calculamos el número de espiras en los devanados primario y secundario.

$$N_{\text{pri}} = \frac{V_p}{V/W} = \frac{110}{1,735} = 63.4 = 63 \text{ Espiras}$$

Para efectos de tener como información el valor del nuevo β , considerando que no se tomó en cuenta el valor de 0,4 espiras tenemos el nuevo V/W :

$$V/W = \frac{110}{63} = 1,746$$

Por lo tanto $\beta_{\text{nuevo}} = 15.094$ gauss

$$N_{\text{sec}} = \frac{V_s}{V/W} = \frac{25.000}{1,746} = 14.319 \text{ Espiras}$$

4.4.3 Cálculo del calibre del conductor (Sc)

Conductor bobinado primario: Cobre

Conductor bobinado secundario : Cobre

$$S_c = \frac{I_{\text{máx}}}{\delta}$$

Donde δ = Densidad de corriente del cobre en $\frac{\text{Amp}}{\text{mm}^2}$ y el rango para diseño es de 2.5 a

3.8. Para el diseño de este transformador tomamos el valor de 3.

$$I_{\text{sec.}} = \frac{2000}{25.000} = 0,08 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{pri.}} = \frac{2000}{110} = 18,18 \text{ Amp}$$

$$S_{c_{\text{sec}}} = \frac{0,08}{3} = 0,026 \text{ mm}^2$$

$$S_{c_{\text{pri}}} = \frac{18.18}{3} = 6,06 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el conductor para el lado primario será cobre N. 9 y para el secundario cobre No. 23 (ver tabla 12- Anexo 3) con doble capa de aislamiento.

4.4.4 Aislamiento

Para el diseño del aislamiento debemos tomar las mismas consideraciones que se hizo para el diseño del transformador de aislamiento T1, anotando que este transformador será refrigerado por aceite dieléctrico.

$$h_{\text{ind}} = 145 \text{ mm}$$

$$h_{\text{ind real}} = h_{\text{ind}} - 2 \text{ bastas}$$

$$h_{\text{ind real}} = 145 - 6.35 = 138,65 \text{ mm}$$

Nec = Número de espiras por capa

$$Nec = \frac{h_{\text{ind real}}}{\phi \text{ conductor}}$$

Diámetro Cu 23 = 0,634 mm

Diámetro Cu 9 = 2,956 mm (tabla 12 – Anexo 3)

$$Nec_{\text{sec}} = \frac{138,65}{0,634} = 218,69 \Rightarrow 218 \text{ espiras}$$

$$Nec_{\text{pri}} = \frac{138,65}{2,956} = 46,9 \Rightarrow 46 \text{ espiras}$$

Nc = Número de capas

$$Nc = \frac{N_{\text{espiras}}}{Nec}$$

$$Nc_{\text{sec}} = \frac{14.319}{218} = 65,68 \Rightarrow 66 \text{ capas}$$

$$N_{C_{pri}} = \frac{63}{46} = 1.36 \approx 2 \text{ capas}$$

Para el aislamiento entre capas se utilizará papel kraft de aislamiento cuyas características son las siguientes:

Tipo: Papel kraft

Constante de Aislamiento: 10.000 V/mm

Clase: Single

Temperatura max.: 106°C

4.4.5 Aislamiento Lado Secundario:

$$\frac{2(Nec * V / W)}{10.000} = \frac{2(46 * 1,746)}{10.000} = \mathbf{0.00016}$$

En el mercado el papel kraft se encuentra en las siguientes especificaciones de espesores:

$$h1 = 0.01'' (0.0254 \text{ mm})$$

$$h2 = 0.005'' (0.0127 \text{ mm})$$

Por lo tanto usaremos una capa de papel h2 para el aislamiento entre capas del lado secundario.

4.4.6 Aislamiento Lado Primario

$$\frac{2(Nec * V / W)}{10.000} = \frac{2(218 * 1,746)}{10.000} = \mathbf{0.076 \text{ mm}}$$

Por lo tanto usaremos una capa de papel h2 para el aislamiento entre capas del lado primario.

4.5 PROTECCIONES DEL EQUIPO

Para escoger las protecciones del equipo se toma en consideración los valores nominales de los elementos que forman el mismo:

Para el lado de entrada baja tensión:

Variac.



Figura 4.8.- Variac utilizado en el equipo de pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.

$I_{nom} = 0 - 28 \text{ Amáx.}$

Por lo tanto:

$BR1 = 30A$

BR1 manda a K1 que es el contactor de alimentación al Variac y será de una potencia de 5 kW para resistir la apertura a máxima corriente.

Para el lado de salida baja tensión del transformador de aislamiento T1 es necesario instalar un relé de descarga RL1 de corriente/voltaje calibrado para que actúe al momento de la descarga que abrirá K2 que será de una potencia de 5 kW y hará actuar el descenso automático a cero.

$$S = 2 \text{ kVA}$$

$$V = 25.000 \text{ V}$$

$$I = 12.5 \text{ A}$$

$$I_{\text{vacio}} = 1 \text{ A}$$

$I_{\text{carga}} > 15 \text{ A}$ actúa el rele.



Figura 4.9.- Circuito de control del equipo de pruebas de voltaje aplicado de ELEPCO S.A.



Figura 4.10.- Circuito de protección para el caso de descarga

4.6 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO



Figura 4.11.- Vista del equipo para pruebas de voltaje aplicado para transformadores de distribución de ELEPCO S.A.

En el procedimiento para la construcción del equipo nos basamos principalmente en el diagrama unifilar del mismo. Este equipo es para incrementarlo al laboratorio existente de ELEPCO S.A.

1. En primer lugar se arma el cuadro de equipos de mando y fuerza así como de protecciones del equipo dentro del cubículo metálico diseñado especialmente para alojar todos los elementos conjuntamente con la malla de tierra puesto que esto va a dar la protección necesaria al personal que lo emplee.
2. Se realiza el montaje del Variac con sus mandos electromecánicos para la acción de subir el voltaje y el retorno a cero inmediato en caso de falla.
3. Seguidamente se instala el transformador de aislamiento (T1) que recibirá la señal de voltaje del Variac y transmitirá señal al transformador de alto voltaje (T2).

Todo lo anotado anteriormente constituye una parte del equipo de pruebas y se encuentra en un solo cubículo desde donde se opera.

4. Se realiza el cableado estructural para llevar las señales tanto del sistema de control y protección, tanto del sistema de fuerza o señal del transformador de aislamiento (T1) al transformador de alto voltaje (T2).
5. Se ubica el transformador de alto voltaje en el sitio destinado para el efecto de las pruebas que dispone ELEPCO S.A., dentro del laboratorio de transformadores.
6. Se efectúa las conexiones correspondientes tanto de control y protecciones y también el sistema de aterramiento, esencial para salvaguardar la integridad física de las personas que operarán este equipo.
7. Se energiza el equipo y se determina que se encuentra listo para las pruebas correspondientes.



Figura 4.12.- Panel frontal de control y medida del equipo de pruebas de voltaje aplicado

CAPITULO V

MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

5.1 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales y equipos que se utilizaron son los expuestos en el presupuesto realizado por ELEPCO S.A. y se detallan en el ANEXO 4.

MESA DE CONTROL
AMPERIMETRO
VOLTIMETRO
KILOVOLTIMETRO DIGITAL
BOTONERAS
CONTACTOR 60A - 220V
BREAKER DE 150^a
VARIAC
TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
CABLE DE ACOMETIDA 3X2
CABEL DE CONTROL 3X12
REGLETAS
TRANSDUCTOR CORRIENTE/VOLTAJE
CIRCUITO DE ACTUACION
TRANSFORMADOR 25KV 2KVA
NUCLEO DE ACERO SILICIO GRANO
ORIENTADO M4
ACEITE DIELECTRICO
BUSHINGS MT
BUSHINGS BT
VARILLA COOPERWELD 5/8 X 1.8 M CON
CONECTOR
PAPEL AISLANTE
JUEGO DE ACCESORIOS PARA MONTAJE

Los materiales y equipos son de producción nacional e importación de primera calidad para lo que se realizó la respectiva licitación para la adquisición de los componentes principales del equipo.

5.2 ENSAMBLAJE DEL EQUIPO

El ensamblaje del equipo se realizó con personal capacitado para el efecto siguiendo el procedimiento indicado en 4.6

5.3 PRUEBAS

El equipo está en condiciones de realizar pruebas de voltaje aplicado tanto para transformadores monofásicos como trifásicos y de acuerdo a las normas establecidas, y las pruebas pueden ser de una bobina referida a tierra o de una bobina referida a otra bobina.

5.3.1 Pruebas en transformadores monofásicos

La prueba de voltaje aplicado para transformadores monofásicos se realiza siguiendo el procedimiento del numeral 3.1.3 con las conexiones indicadas en el anexo 5.

El procedimiento una vez que el transformador a ser probado esta en el sitio es:

1. Conexión del sistema de tierra
2. Conexión del sistema de fuerza
3. Revisión de conexiones
4. Energización del cubículo de pruebas
5. Energización del transformador de aislamiento
6. Energización del transformador de alto voltaje.

7. Incremento del voltaje de 0 - 25 kV.
8. Prueba a este nivel de voltaje por 60 segundos
9. Reducción de voltaje a cero
10. Desenergización del transformador de alto voltaje
11. Desenergización del transformador de aislamiento
12. Desenergización del cubículo de pruebas

Es necesario indicar que esta prueba es aplicable para transformadores monofásicos de doble bushing, puesto que estos no tienen la última espira de la bobina referida a tierra como sucede con los transformadores de un solo bushing; para este caso la prueba se lo realiza en el lado de baja tensión por relación de transformación.

5.3.2 Pruebas en transformadores trifásicos

La prueba de voltaje aplicado para transformadores trifásicos se realiza igual que para transformadores monofásicos, con la particularidad de que se cortocircuita todos los terminales tanto de alta como de baja tensión para que sea tratado como monofásico. Para detalles de conexiones físicas ver ANEXO 5.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El uso de normas para pruebas de transformadores es indispensable en toda empresa de distribución eléctrica, para garantizar el buen funcionamiento de los mismos lo que repercutirá en minimización de salidas de servicio por falla en su aislamiento.
- La prueba de voltaje aplicada es una prueba de ensayo de rutina que nos determina el correcto estado del aislamiento del bobinado primario del transformador (BIL), en el caso de ELEPCO S.A., con esta prueba determinamos si los transformadores cumplen o no la norma correspondiente y son aptos para ser instalados en su sistema de distribución
- La prueba de voltaje aplicado es una prueba que se realiza a todo tipo de transformador sea este monofásico o trifásico, de distribución o de potencia, los equipos varían en su capacidad de acuerdo a la capacidad de los transformadores pero su principio es el mismo.
- La utilización de transformadores de aislamiento nos da la seguridad para trabajar en equipos como este en el que se manejan voltajes de distribución de energía eléctrica con la confianza de que al suceder una falla en el lado de prueba, el personal esta debidamente protegido y aislado de esta.
- Es de suma importancia el contar con el debido sistema de puesta a tierra tanto del equipo de mando para protegerlo de cualquier eventualidad de orden eléctrico, así como del transformador de alto voltaje y pruebas para una pronta disipación a tierra en caso de que un transformador fallase.
- El equipo de pruebas de voltaje aplicado puede utilizarse además para el test de pararrayos de distribución

6.2 RECOMENDACIONES

- Incentivar a los estudiantes de la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO SEDE LATACUNGA, de otras universidades e institutos técnicos y tecnológicos al uso del laboratorio de pruebas de transformadores de distribución para que a través de el puedan capacitarse y tener un pleno conocimiento de las pruebas y ensayos que se realizan en la ELEPCO S.A. para lo cual la empresa pone a su entera disposición el uso del mismo.
- Es necesario que ELEPCO S.A. continúe implementando su laboratorio de transformadores, pues es visible a simple vista los resultados que ha dado el contar con el mismo, específicamente con el equipo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito, lo que ha permitido que no se instalen transformadores que estén por sobre la norma establecida y se ha logrado disminuir las pérdidas técnicas, hoy, con el incremento del equipo pruebas de voltaje aplicado se bajarán los índices de suspensión y salidas de servicio no programadas por fallas en los aislamientos, producidos especialmente por descargas atmosféricas por los deficientes aislamientos que puedan tener los devanados primarios un transformador.
- Como incremento del laboratorio, es recomendable sumar a este el equipo de pruebas de factor de potencia, pues con el determinaremos la cantidad de potencia inductiva y capacitiva que tiene un transformador lo cual puede ser manejable por el fabricante para la reducción de pérdidas.
- La operación del equipo debe ser realizada por personal capacitado y cumpliendo estrictamente las normativas de seguridad dictadas por ELEPCO S.A.
- Realizar un programa de adquisición de datos para la elaboración inmediata del protocolo de pruebas.

BIBLIOGRAFIA

KOSOW, **“MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES”**, Segunda Edición, Prentice Hall Publishing, U.S.A, 1972

ARCHER E. KNOWLTON, **STANDARD HANBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS**, Octava Edición; Mc. Graw-Hill, U.S.A., 1949

RUY RENAU BALLESTER, **POTENCIA ELECTRICA Y ELECTRONICA DE POTENCIA**, Primera Edición en Español, Alfa y Omega, Mexico, 1993

ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD, **ESTACIONES DE TRANSFORMACION Y DISTRIBUCION. PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS**, Décimo Primera Edición, CEAC, España, 1985

DONALD G. FINK, H. WAYNE BEATY, **MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA**, Décima Tercera Edición, Mc Graw-Hill, Mexico, 1996.

JOHN J. GRANYER, WILLIAM D. STEVENSON Jr., **ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA**, Primera Edición Español, Mc. Graw-Hill, México, 1996

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2110-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2111-2003**, Primera Revisión

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2113-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2114-2003**, Segunda Revisión

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2115-2003**, Segunda Revisión

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2117-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2118-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2119-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2125-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2127-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2129-1998**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2131-2003**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2132-2003**, Primera Edición

NORMA TECNICA ECUATORIANA - **NTE INEN 2138-2003**, Primera Edición

ENEXO

ANEXO 1 PROTOCOLO DE PRUEBAS

SA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.
AS DE TRANSFORMADORES

--	--	--

ING. CONSTRUCTOR:	USUARIO:	UBICACIÓN:(CANTON-PARROQ.- BARRIO)
		ALIMENTADOR:

GENERALES

--

--

--

SICO:

TRIFASICO:

AD:

KVA

:

V

:

V

Inom-AT:

A

Inom-BT:

A

COLO DE PRUEBAS

Medido:

W

Garantizado:

W

Norma:

W

Medido:

W

Garantizado:

W

Norma:

W

Medido:

W

Garantizado:

W

Norma:

W

AS DE LABORATORIO (PERDIDAS)

Po:	Medido	<input type="text"/>	W	Icc:	<input type="text"/>	A		
Pcu:	Medido	<input type="text"/>	W	(In/Icc)²:	<input type="text"/>	(1)		
Ptot:	Medido	<input type="text"/>	W	Pcc:	<input type="text"/>	W (2)	Pcu-cc:	<input type="text"/> W 1x2 (3)
				Tk:	<input type="text"/>			<input type="text"/> W Tk x 3

BIENTO

T.T.R.

CALCULADO	MEDIDO			ERROR
	H1-H2/X0-X1	H2-H3/X0-X2	H3-H1/X0-X3	
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				
<input type="text"/>				

MEGGER

POS. 1	<input type="text"/>	<input type="text"/> AT-BT (MΩ)
POS. 2	<input type="text"/>	<input type="text"/> AT-GND (MΩ)
POS. 3	<input type="text"/>	<input type="text"/> BT-GND (MΩ)
POS. 4	<input type="text"/>	<input type="text"/> Z (%)
POS. 5	<input type="text"/>	<input type="text"/> V. Prueba (V)

ACEITE DIELECTRICO

KV

APROBADO:

SI___

NO___

VOLTAJE APLICADO

KV

APROBADO:

SI___

NO___

VOLTAJE DE RUPTURA:_____KV

le con las especificaciones de la norma ICONTEC 818 - 819

SI

Cuarta revisión NTC

NO

GO ASIGNADO:

f:_____

Realizado por:
Ing. J. Hernán Iturralde A.

OBSERVACIONES:

ANEXO 1
PROTOCOLO DE PRUEBAS

COMPAÑIA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.
PRUEBAS DE TRANSFORMADORES

		2006
--	--	-------------

FECHA:

ING. CONSTRUCTOR:	USUARIO:	UBICACIÓN:(CANTON-PARROQ.- BARRIO)
		ALIMENTADOR:

CONDICIONES GENERALES

DESCRIPCIÓN:

No.:

MONOFASICO:

TRIFASICO:

DAD:	<input type="text"/>	KVA		
T:	<input type="text"/>	V	Inom-AT:	<input type="text"/>
T:	<input type="text"/>	V	Inom-BT:	<input type="text"/>

PROCOLO DE PRUEBAS

	Medido:	<input type="text"/>	W	Garantizado:	<input type="text"/>	W	Norma:	<input type="text" value="0"/>	W
u:	Medido:	<input type="text"/>	W	Garantizado:	<input type="text"/>	W	Norma:	<input type="text" value="0"/>	W
ot:	Medido:	<input type="text" value="0"/>	W	Garantizado:	<input type="text" value="0"/>	W	Norma:	<input type="text" value="0"/>	W

PRUEBAS DE LABORATORIO (PERDIDAS)

Po:	Medido	<input type="text"/>	W	Icc:	<input type="text"/>	A
-----	--------	----------------------	---	------	----------------------	---

Pcu: Medido W (In/Icc)²: (1)

Ptot: Medido W Pcc: W (2) Pcu-cc: W 1x2 (3)

Tk: W Pcu 85°C: W Tk x 3

MIENTO

T.T.R.

MEGGER

CALCULADO	MEDIDO			ERROR
	H1-H2/X0-X1	H2-H3/X0-X2	H3-H1/X0-X3	
#iDIV/0!	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	#iDIV/0!
#iDIV/0!	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	#iDIV/0!
#iDIV/0!	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	#iDIV/0!
#iDIV/0!	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	#iDIV/0!
#iDIV/0!	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	#iDIV/0!

POS. 1	<input type="text" value="#iDIV/0!"/>	<input type="text"/>	AT-BT (MΩ)
POS. 2	<input type="text" value="#iDIV/0!"/>	<input type="text"/>	AT-GND (MΩ)
POS. 3	<input type="text" value="#iDIV/0!"/>	<input type="text"/>	BT-GND (MΩ)
POS. 4	<input type="text" value="#iDIV/0!"/>	<input type="text"/>	Z (%)
POS. 5	<input type="text" value="#iDIV/0!"/>	<input type="text"/>	V. Prueba (V)

ACEITE DIELECTRICO

KV

APROBADO:

SI _____ NO _____

VOLTAJE APLICADO

 KV

APROBADO:

SI _____

NO _____

VOLTAJE DE RUPTURA: _____ KV

Conforme con las especificaciones de la norma ICONTEC 818 - 819

SI

Cuarta revisión NTC

NO

PROYECTO ASIGNADO:

f: _____

Realizado por:

Ing. J. Hernán Iturralde A.

OBSERVACIONES:

- 01-01
- 01-02
- 01-03
- 02-01
- 02-02

03-01
03-02
03-03
03-04
03-05
04-01
04-02
04-03
04-04
04-05
05-01
05-02
05-03
05-04
05-05
06-01
06-02
06-03
06-04
06-05
07-01
07-02
07-03
07-04
07-05

ANEXO 3
TABLAS DE CONDUCTORES

DIMENSIONES DE ALAMBRES					
NUMERO	DIAMETRO	DIAMETRO	SECCION	1 CAPA	2 CAPAS
27	0,3600	0,0142	0,1018	0,3800	0,4000
26	0,4038	0,0159	0,1281	0,4238	0,4638
25	0,4547	0,0179	0,1623	0,4747	0,4157
24	0,5105	0,0201	0,2047	0,5305	0,5710
23	0,5740	0,0226	0,2588	0,5940	0,6340
22	0,6450	0,0254	0,3267	0,6650	0,7050
21	0,7239	0,0284	0,4115	0,7439	0,7839
20	0,8129	0,0320	0,5190	0,8329	0,8729
19	0,9144	0,0360	0,6567	0,9344	0,9744
18	1,0160	0,0400	0,8107	1,0360	1,0760
17	1,1430	0,0450	1,0261	1,1630	1,2030
16	1,2950	0,0510	1,3170	1,3150	1,3550
15	1,4580	0,0571	1,6460	1,4680	1,5265
14	1,6260	0,0640	2,0750	1,6460	1,6860
13	1,8290	0,0720	2,6270	1,8490	1,8890
12	2,0570	0,8100	3,3230	2,0770	2,1170
11	2,3380	0,0910	4,1950	2,3310	2,3800
10	2,5910	0,1020	5,2730	2,6110	2,6510
9	2,9058	0,1140	6,5870	2,9160	2,9560
8	3,2770	0,1290	8,4320	3,2970	3,3401
7	3,6580	0,1440	10,5090	3,6780	3,7180

6	4,1150	0,1620	13,2980	4,1350	4,1750
5	4,6230	0,1820	16,7860	4,6430	4,6850
4	5,1820	0,2040	21,0900	5,2020	5,2420
3	5,8170	0,2290	26,5720		
2	6,5530	0,2580	33,7280		
1	7,3410	0,2890	42,3210		
1/0	8,2550	0,3250	53,5210		
2/0	9,2710	0,3650	67,5060		
3/0	10,4140	0,4100	85,1780		
4/0	11,6840	0,4600	107,2200		

ALAMBRE RECTANGULAR DE COBRE				ALAMBRE RECTANGULAR AL			
1,6 * 2,65	mm	4,24	mm ²	1,6 * 2,65	mm	4,24	mm ²
1,6 * 3,55	mm	5,68	mm ²	1,6 * 3,55	mm	5,68	mm ²
2,12 * 4,25	mm	9,01	mm ²	1,9 * 4	mm	7,60	mm ²
2,5 * 5,6	mm	14,00	mm ²	2 * 3,55	mm	7,10	mm ²
1,9 * 4	mm	7,60	mm ²	2,36 * 4,55	mm	10,74	mm ²
2,36 * 4,5	mm	10,62	mm ²	2,5 * 5,8	mm	14,50	mm ²
2,5 * 10	mm	25,00	mm ²	1,9 * 3,55	mm	6,75	mm ²
3,5 * 10	mm	35,00	mm ²	3,36 * 4,5	mm	15,12	mm ²
2,85 * 9,34	mm	26,62	mm ²	2,12 * 4,25	mm	9,01	mm ²
1,9 * 9	mm	17,10	mm ²	1,8 * 3,7	mm	6,66	mm ²
				2,5 * 4	mm	10,00	mm ²
				2,9 * 7	mm	20,30	mm ²
				3,5 * 7	mm	24,50	mm ²
ESPEJOR AISLAMIENTO: 0,3 mm							

ANEXO 4 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

COMPAÑIA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.

<-- (Dp-2K1.xls)

Chito <-- (Base.xls)

:	MONTAJE DE BANCO DE PRUEBAS DE VOLTAJE APLICADO	PRESUPT. No.:
	2005-10-25	
DE USUARIOS :	1 (s.s.)	INSPECCIÓN N.º:
GERENTE o PRESIDENTE :	ELEPCO S.A.	CANTÓN :
o SECTOR :	ELEPCO S.A.	PARROQUIA :
VALIDEZ :	90 DIAS	CADUCA :
OPCIÓN NUEVA :	X	REMODELACIÓN :

OPCIÓN :	Red M.V
Red M.V. 3f+n	Red M.V. 1f+n
Red M.V. 3f + B.V. 3f4c	Red M.V. 1f + B.V. 1f3c
Red M.V. 3f + B.V. 1f3c	Red M.V. 1f + B.V. 1f2c
Red M.V. 3f + B.V. 1f2c	Luminarias de 75W, Na.
Transf. de Distribución	

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
POSTES TORRES Y ACCESORIOS		
1	MESA DE CONTROL	
2	AMPERIMETRO	
3	VOLTIMETRO	
4	KILOVOLTIMETRO DIGITAL	
5	BOTONERAS	
6	CONTACTOR 60A - 220V	
7	BREAKER DE 150A	
8	VARIAC	

9	TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
10	CABLE DE ACOMETIDA 3X2
11	CABEL DE CONTROL 3X12
12	REGLETAS
13	TRANSDUCTOR CORRIENTE/VOLTAJE
14	CIRCUITO DE ACTUACION
15	TRANSFORMADOR 25KV 2KVA
16	NUCLEO DE ACERO SILICIO GRANO ORIENTADO M4
17	ACEITE DIELECTRICO
18	BUSHINGS MT
19	BUSHINGS BT
20	VARILLA COOPERWELD 5/8 X 1.8 M CON CONECTOR
21	PAPEL AISLANTE
22	JUEGO DE ACCESORIOS PARA MONTAJE
	TOTAL MATERIALES.....

DETALLE DE COSTOS

MATERIALES.....
MANO DE OBRA.....
DIRECCION TECNICA.....
GASTOS FINANCIEROS.....
GENERALES.....
EQUIPOS Y TRANSPORTE.....
SUBTOTAL

TOTAL PRESUPUESTO.....

IONES:

INSPECCION :

ELABORADO :

ELEPCO S.A.
DPTO. DE INGENIERIA Y
CONTRUCCION

ANEXO 5

**FOTOS DE CONEXIÓN DEL EQUIPO
A UN TRANSFORMADOR A SER PROBADO
Y DURANTE LA PRUEBA**



