



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI.

UNIDAD ACADEMICA DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS.

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA.

TESIS DE GRADO

Tema:

DISEÑO DE UN MÓDULO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIAS DE HASTA 25KVA

Postulantes:

Javier Hernán Iturralde Albán.

Diego Fernando Moscoso Calvopiña.

Director:

Ing. Marcelo Barrera.

Latacunga – Cotopaxi – Ecuador.

2012

DECLARACIÓN

Yo, Iturralde Albán Javier Hernán y Moscoso Calvopiña Diego Fernando, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra completa autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional, y que, hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Técnica de Cotopaxi, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Iturralde Albán Javier Hernán

C.I.: 0501399190

Moscoso Calvopiña Diego Fernando

C.I.: 0502369218

INFORME FINAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Cumpliendo con lo estipulado en el Capítulo V, Artículo 27. Literal h) del Reglamento de Graduación en el Nivel de Pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, es grato informar que los Señores Iturralde Albán Javier Hernán y Moscoso Calvopiña Diego Fernando, desarrollaron su trabajo de investigación de grado bajo mi dirección, de acuerdo a los planteamientos formulados en el Proyecto de Tesis.

En virtud de lo antes expuesto, considero que está habilitado para presentarse al acto de Defensa de Tesis, cuyo tema es: **“DISEÑO DE UN MÓDULO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIAS DE HASTA 25KVA”**.

Ing. Marcelo Barrera
DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, 29 de junio del 2012

AGRADECIMIENTOS

Mi mas profundo y sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a sus directivos, personal docente y administrativo por haberme dado la oportunidad de conseguir una meta mas en mi vida profesional; de igual manera al Ing. Marcelo Barrera, Director de Tesis por el apoyo incondicional como maestro y amigo para llevar a efecto este proyecto, a mi compañero de tesis Diego Moscoso por el aporte técnico brindado para en conjunto salir adelante en la elaboración de este ideal.

J. Hernán Iturralde A.

Agradezco primeramente a mis padres por ofrecerme su apoyo incondicional en todas las decisiones y metas que me propongo cumplir.

A todas las personas que participaron e hicieron posible este proyecto. A mis compañeros de labores, gracias por sus enseñanzas.

A mi amigo y compañero de Tesis, Hernán, gracias por compartir su experiencia, para así llegar a la ejecución de este proyecto.

Diego F. Moscoso C.

DEDICATORIA

Mis sentimientos para dedicar este trabajo no puede ser si no para las personas que más quiero y en quienes me apoyo diariamente, ellos están presentes siempre en mi corazón, mi esposa María de los Ángeles y mis hijos David Andrés y Hernán Esteban.

J. Hernán Iturralde A.

El presente proyecto lo dedico a mis abuelitos (José y Teresa), padres (Fernando y Janeth), tíos (José, Katia y Sonia) y hermanos (Luis y Danielita), por depositar su confianza en mí y brindarme su apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

Diego F. Moscoso C.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y PRUEBAS DE RUTINA

INTRODUCCIÓN:

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
TRANSFORMADORES	4
TRANSFORMADORES DE POTENCIA.....	4
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	8
AUTOTRANSFORMADORES	13
TRANSFORMADORES PARA ENSAYO	21
PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	22
PRUEBAS DE RUTINA	24
PRUEBAS TIPO.....	25
PRUEBAS ESPECIALES.....	26
NORMAS PARA PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION	26

CAPÍTULO II

INTRODUCCIÓN:

APLICACIÓN DE LA ENCUESTA A DOCENTES Y ESTUDIANTES DEL ÁREA ELÉCTRICA	27
APLICACIÓN DE LA ENCUESTA A LOS DOCENTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA	27
APLICACIÓN DE UNA ENCUESTA A LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	27
ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	27

COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	39
-----------------------------------	----

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL EQUIPO PARA PRUEBAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION DE HASTA 25KVA.

3.1. PROPUESTA	40
3.2. OBJETIVOS	40
3.3. PRESENTACIÓN	40
3.4. DESARROLLO.....	41
3.4.1. DIAGRAMA UNIFILAR.....	41
3.5. DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO	43
3.5.1. CALCULO DE LA SECCION DEL NUCLEO.....	44
3.5.2. CALCULO DE VOLTIOS POR ESPIRA	44
3.5.3. CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR (S_c)	46
3.5.4. AISLAMIENTO.....	47
3.5.5. AISLAMIENTO LADO PRIMARIO	49
3.5.6. AISLAMIENTO LADO SECUNDARIO	49
3.5.7. PROTECCIONES DEL EQUIPO	50
3.5.8. VARIAC.....	52
3.6. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO.....	53
3.7. MATERIALES UTILIZADOS	56
3.8. PRUEBAS DE PERDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION MONOFASICOS	61
3.7.1. PRUEBA EN VACÍO	66
3.7.2. PRUEBA EN CORTOCIRCUITO	67
3.8. NORMAS UTILIZADAS	70

3.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

2.1. ¿ESTÁ USTED FAMILIARIZADO CON UN BANCO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?.....	28
2.2. ¿TIENE USTED CONOCIMIENTO DE LAS PRUEBAS DE RUTINA QUE SE REALIZA A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?.....	29
2.3. ¿ESTÁ USTED FAMILIARIZADO CON LAS NORMAS NTE-INEN-2114 Y NTE-INEN-2115 SOBRE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES?	30
2.4. ¿CONOCE USTED LAS PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN CORTOCIRCUITO O EN LAS BOBINAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?	31
2.5. ¿DISPONE USTED DE ROPA Y EQUIPO ADECUADO PARA TRABAJOS EN LABORATORIO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	32
2.6. ¿CREE USTED QUE ES NECESARIO REALIZAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y GUÍAS DE LABORATORIO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	34
2.7. ¿CONSIDERA USTED QUE ES NECESARIO QUE LOS ESTUDIANTES DE LAS FACULTADES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA DE LAS UNIVERSIDADES TÉCNICAS Y POLITÉCNICAS DISPONGAN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	35
2.8. ¿ESTIMA NECESARIO QUE EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO DE TRANSFORMADORES SE APLIQUE NORMAS DE CALIDAD TANTO NACIONALES COMO LAS INEN Y EXTRANJERAS CON LAS ANSI Ó IEC?.....	37
2.9. ¿CONSIDERA QUE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA EN LAS CARRERAS TECNOLÓGICAS DEBEN IR DE LA MANO EN LAS UNIVERSIDADES TÉCNICAS Y POLITÉCNICAS?	38
3.1. 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	64
3.2. 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	65

INDICE DE FIGURAS

1.1. FORMAS DE CIRCUITOS MAGNÉTICOS PARA TRANSFORMADORES	6
1.2. CONSTRUCCIONES MONOFÁSICAS DE FORMA DE NÚCLEO	7
1.3. CONSTRUCCIONES TRIFÁSICAS DE FORMA DE NÚCLEO	7
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	8
1.5. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO CONVENCIONAL EN POSTE	11
1.6. TRANSFORMADOR MONOFÁSICO AUTOPROTEGIDO EN POSTE	12
1.7. AUTOTRANSFORMADOR EN LOS MODOS DE POLARIDAD ADITIVA Y SUSTRATIVA	14
1.8. AUTOTRANSFORMADOR DE BAJADA EN LOS MODOS DE POLARIDAD ADITIVA Y SUSTRATIVA, QUE MUESTRA LOS PELIGROS DE ESE MODO DE BAJADA	18
1.9. COMPARACIÓN DE UN AUTOTRANSFORMADOR CON UN TRANSFORMADOR DE DOS DEVANADOS	20
2.1. ¿ESTÁ USTED FAMILIARIZADO CON UN BANCO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?.....	28
2.2. ¿TIENE USTED CONOCIMIENTO DE LAS PRUEBAS DE RUTINA QUE SE REALIZA A TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?.....	29
2.3. ¿ESTÁ USTED FAMILIARIZADO CON LAS NORMAS NTE-INEN-2114 Y NTE-INEN-2115 SOBRE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES?	30
2.4. ¿CONOCE USTED LAS PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN CORTOCIRCUITO O EN LAS BOBINAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN?	31

2.5. ¿DISPONE USTED DE ROPA Y EQUIPO ADECUADO PARA TRABAJOS EN LABORATORIO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	33
2.6. ¿CREE USTED QUE ES NECESARIO REALIZAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y GUÍAS DE LABORATORIO PARA EFECTUAR LAS PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	34
2.7. ¿CONSIDERA USTED QUE ES NECESARIO QUE LOS ESTUDIANTES DE LAS FACULTADES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA DE LAS UNIVERSIDADES TÉCNICAS Y POLITÉCNICAS DISPONGAN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES?	36
2.8. ¿ESTIMA NECESARIO QUE EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO DE TRANSFORMADORES SE APLIQUE NORMAS DE CALIDAD TANTO NACIONALES COMO LAS INEN Y EXTRANJERAS CON LAS ANSI Ó IEC?	37
2.9. ¿CONSIDERA QUE LA TEORÍA Y LA PRÁCTICA EN LAS CARRERAS TECNOLÓGICAS DEBEN IR DE LA MANO EN LAS UNIVERSIDADES TÉCNICAS Y POLITÉCNICAS?	38
3.1. DIAGRAMA UNIFILAR DEL EQUIPO PARA PRUEBAS EN TRANSFORMADORES	41
3.2. DIAGRAMA DE FUERZA DEL MÓDULO DE PRUEBAS	42
3.3. TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO DEL EQUIPO PARA PRUEBAS EN TRANSFORMADORES	43
3.3. TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO DEL EQUIPO PARA PRUEBAS EN TRANSFORMADORES	43
3.4. UBICACIÓN DE LAS BASTAS Y LA ALTURA INDUCTIVA EN EL NÚCLEO DE UN TRANSFORMADOR	47
3.5. INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS UNIPOLARES (BR1Y BR2).....	50
3.6. RELÉ DE SOBRECORRIENTE.....	51
3.7. VARIAC UTILIZADO EN EL EQUIPO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES	53
3.8. VISTA DEL EQUIPO PARA PRUEBAS DE TRANSFORMADORES.	54

3.9. PANEL FRONTAL DE CONTROL Y MEDIDA DEL EQUIPO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES	56
3.10. ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA MICROVIP MK1.2.....	58
3.11. PANTALLA DEL MICROVIP MK1.2.....	59
3.12. PINZA AMPERIMÉTRICA	60
3.13. PROTECCIÓN DEL ANALIZADOR, VOLTÍMETRO Y LOGO	50
3.13. DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE HIERRO O NÚCLEO	66
3.13. DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LA PRUEBA DE CORTOCIRCUITO	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: NORMAS INEN: NTE-INEN-2110, NTE-INEN-2114, NTE-INEN-2115

ANEXO 2: CALIBRES DE CONDUCTORES

ANEXO 3: NÚCLEOS DE ACERO

ANEXO 4: PROTOCOLO DE PRUEBAS

ANEXO 5: ENCUESTAS Y TABULACIONES

RESUMEN

El diseño de un equipo de pruebas de transformadores de distribución hasta 25 kVA cumple con la finalidad de controlar que estos cumplan la norma establecidas NTE-INEN-2114 respecto a pérdidas tanto en vacío como en cortocircuito y se aplica a transformadores monofásicos de distribución de 3 a 333 kVA, frecuencia 60 Hz clase medio voltaje ≤ 25 kV_{f-f}, de 15 a 333 kVA frecuencia 60 Hz clase medio voltaje > 25 kV_{f-f}, y $\leq 34,5$ kV_{f-f}, clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV_{f-f}.

Los valores máximos permisibles de I_o , P_o , P_c , P_t y U_{zn} serán los indicados en las tablas 1 y 2 de la NTE INEN 2114.

La **prueba en vacío** tiene como objetivo determinar las pérdidas magnéticas en el núcleo del transformador mientras que la **prueba en cortocircuito** se lleva a cabo para determinar experimentalmente el valor de la impedancia equivalente de un transformador y las pérdidas de los devanados.

Una vez realizadas las pruebas indicadas se emitirá a nombre de la Universidad Técnica de Cotopaxi el protocolo correspondiente para indicar los resultados de las mismas.

El laboratorio de alto voltaje se implementó con el propósito que sea una herramienta didáctica para los estudiantes, por lo que se recomienda darle un uso adecuado respetando las normas de seguridad que exige el manejo de un laboratorio de este tipo.

SUMMARY

The design of an equipment for test of distribution transformers up to 25 kVA meet in order to check that it conforms with the standard established NTE-INEN-2114 according to losses both in vacuum and in short circuit and applies to single-phase distribution transformers from 3 to 333 kVA, frequency 60 Hz medium voltage class $KV_{f-f} \leq 25$, of 15 to 333 kVA 60 Hz frequency medium voltage class $KV_{f-f} > 25$ and $\leq 34.5 KV_{f-f}$, low voltage class $\leq 1.2 KV_{f-f}$.

The maximum allowable I_o , P_o , P_c , P_t and U_{zn} are those indicated in Tables 1 and 2 of the NTE-INEN-2114 standard..

The load test is to determine the magnetic losses in the transformer core while the short circuit test is performed to determine experimentally the value of the equivalent impedance of a transformer winding losses.

Once the tests specified will be issued on behalf of the Technical University of Cotopaxi the corresponding protocol to indicate the results thereof.

The high voltage laboratory was implemented in order to be a teaching tool for students, so it is inadvisable to good use in compliance with safety standards required by the management of a laboratory of its kind.

CERTIFICADO

Certifico que la traducción al Idioma Inglés del Resumen de la Tesis: **“DISEÑO DE UN MÓDULO DE PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORTOCIRCUITO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIAS DE HASTA 25KVA”**, desarrollada por los señores egresados Iturralde Albán Javier Hernán y Moscoso Calvopiña Diego Fernando, fue realizado bajo mi supervisión y se encuentra correctamente traducida.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso de este documento como mejor convenga a sus intereses.

Lic.
C.I.

DOCENTE DE INGLÉS UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

CAPITULO I .

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y PRUEBAS DE RUTINA

1.1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas de distribución de energía eléctrica, para poder llegar con la energía producida, hasta los consumidores finales, se necesita de un dispositivo llamado transformador. La energía producida en forma masiva, es transmitida desde, la central de generación, hasta una subestación. De éstas, salen los alimentadores primarios hacia las áreas de consumo, en donde se alimentan a los transformadores de distribución, que son los encargados de transmitir la energía hasta los consumidores finales a niveles de tensión convenientes.

Entre las pruebas para transformadores, se deben realizar pruebas tanto eléctricas como pruebas al aislante dieléctrico. Todas estas pruebas están basadas en las siguientes normas:

- IEEE C57.12.90-2006. "Código de pruebas para pruebas de transformadores de distribución, de potencia y de regulación inmersos en líquido".
- IEEE C57.12.00-2006. "Requisitos generales para transformadores de distribución, de potencia y regulación inmersos en líquido"
- IEEE C57.106-2006. "Guía IEEE para la aceptación y el mantenimiento de aceite aislante en equipos".
- ASTM D 877 – D 1816. "Métodos normalizados para la tensión de ruptura dieléctrica".

- ASTM D 971 – D 2285. “Métodos normalizados para la tensión interfacial en aceites aislantes”.
- ASTM D 1533. “Método normalizado para el contenido de humedad en el aceite”.
- ASTM D 974 - D 664 – D 1534. “Métodos para el número de acidez o de neutralización”.
- ASTM D 4059. “Método para en análisis de contenido de PCB’s”.

Además de éstas, se analizará las normas NTE INEN, las cuales son:

- NTE INEN 2111:04. “Transformadores de distribución. Pruebas eléctricas”.
- NTE INEN 2113:98. “Transformadores. Determinación de pérdidas y corriente sin carga”.
- NTE INEN 2114:04. “Transformadores monofásicos. Valores de corriente sin carga, pérdidas y voltaje de corto circuito”.
- NTE INEN 2116:98. “Transformadores. Impedancia y pérdidas con carga”.
- NTE INEN 2117:98. “Transformadores. Relación de transformación, verificación de la polaridad”.
- NTE INEN 2118:98. “Transformadores. Medida de la resistencia de devanados”.
- NTE INEN 2125:98. “Transformadores. Pruebas al dieléctrico”.
- NTE INEN 2127:98. “Transformadores. Niveles de aislamiento”.

En lo que respecta a las pruebas eléctricas, la norma IEEE C57.12.00-2000:

Requisitos generales para transformadores de distribución, de potencia y regulación inmersos en líquido; la norma divide las pruebas de fábrica en tres categorías. Las cuales se describen a continuación:

- **De rutina.**- Pruebas de control de calidad realizadas por el fabricante en el caso de todo dispositivo o muestra representativa, con el propósito de verificar, durante la producción, que cumple con las especificaciones de diseño.
- **De diseño.**- Pruebas realizadas para determinar la idoneidad del diseño de un tipo, estilo o modelo de equipo o de partes, componentes para especificar que cumplen con sus capacidades nominales asignadas y que operan en forma correcta.
- **Otras.**- Pruebas que se identifican en las normas individuales del producto, las cuales puedan haber sido especificadas por el comprador, además de las pruebas de rutina y de diseño. Ejemplo: impulso, factor de potencia de aislamiento, y sonido audible.

1.2. ANTECEDENTES

El diagnóstico y mantenimiento de equipos eléctricos como Transformadores Distribución, Motores, Cables aislados de media y alta tensión es una tarea sistemática que realizan las empresas eléctricas así como la industria en general que cuenta con este tipo de dispositivos,

tiene la finalidad de mantener en condiciones de operación óptimas los equipos como de identificar posibles condiciones de operación críticas, presentadas éstas incluso como fallas insipientes en los equipos, una detección oportuna de las mismas para su corrección mediante un mantenimiento preventivo previo a una posible falla franca en el equipo, de ahí que sea conveniente la realización de programas de inspección y ensayos que aseguren que el sistema se mantiene en condiciones satisfactorias; utilizando las herramientas necesarias y adecuadas.

Un Laboratorio de Alto Voltaje cuenta con equipos especializados para la detección oportuna de la degradación de aislamientos en transformadores, motores, cables. La detección oportuna de los niveles de degradación de las diferentes maquinas eléctricas ha permitido a la industria garantizar la corrección oportuna de los mismos evitando altos costos de reparación así como de posibles paros en sus líneas de producción que a su vez se traducen en pérdidas económicas importantes.

1.3 TRANSFORMADORES

1.3.1 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

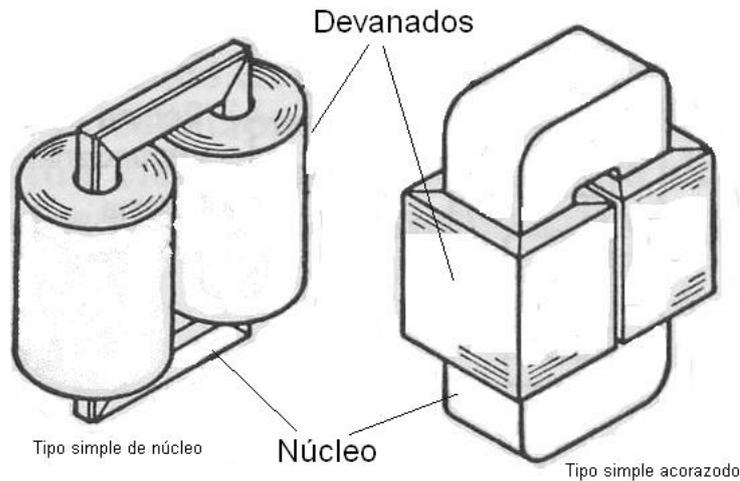
¹ DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"

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.

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

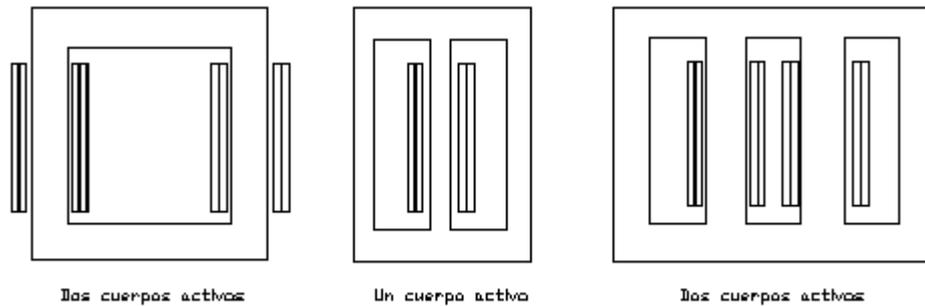


Fuente: DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"
Realizado por: Investigador

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-

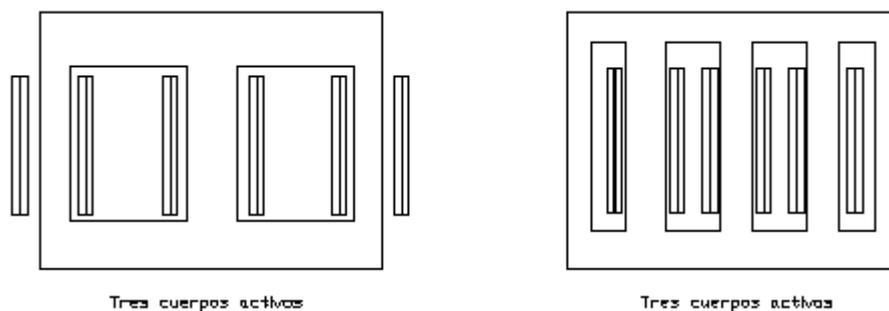
secundario (S-P-S). la construcción de forma del núcleo puede usarse para toda la gama de tamaños de transformadores de potencia.

Figura 1.2 Construcciones monofásicas de forma de núcleo



Fuente: KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"
Realizado por: Investigador

Figura 1.3 Construcciones trifásicas de forma de núcleo

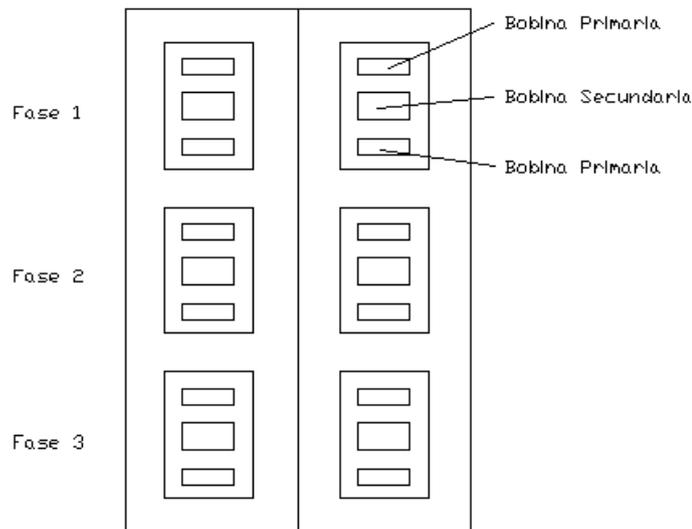


Fuente: KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"
Realizado por: Investigador

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



Fuente: KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"
Realizado por: Investigador

1.3.2 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION²

En general, los transformadores de distribución se consideran hasta los 250 kVA , con voltajes entre 6.3 kV y 32 kV, tanto monofásicos como trifásicos. Las unidades son principalmente montadas en postes, torres o cámaras de transformación. Sus aplicaciones típicas son el suministro de

² DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"

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.

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 temperaturas 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:

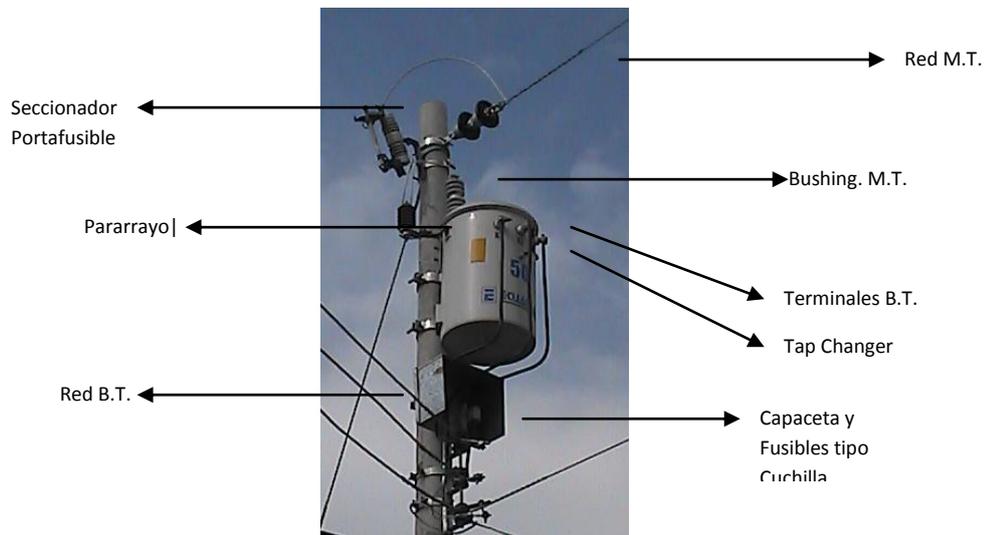
Transformer OIL 510 (TEXACO)

- 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 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 multiterrados. El tipo convencional 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



Realizado por: Investigador

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



Realizado por: Investigador

Las eficiencias en carga completa varían de 97 a 99%, y la impedancia es generalmente entre 2% y 3% en transformadores monofásicos y trifásicos.

1.3.3 AUTOTRANSFORMADORES³

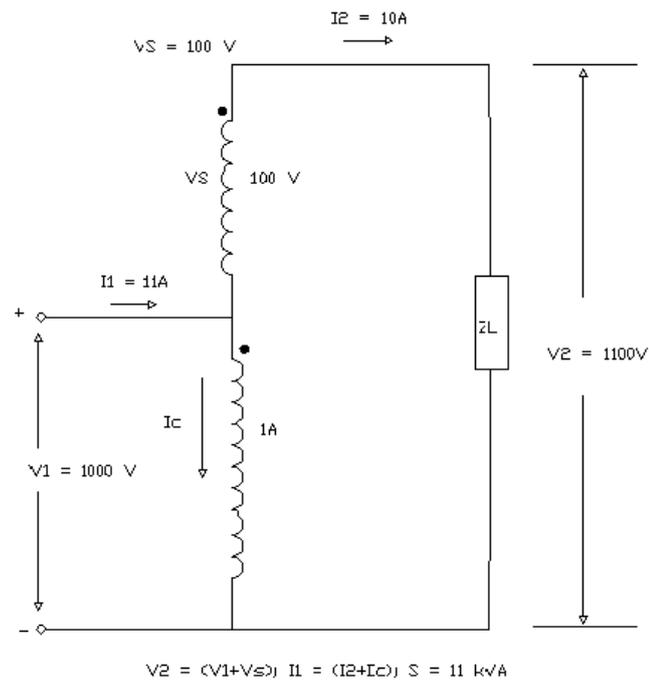
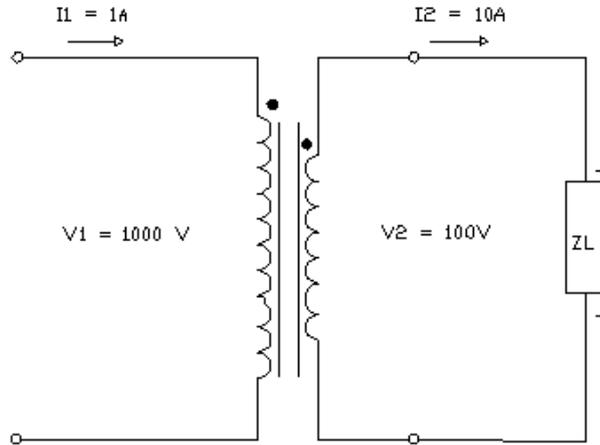
El autotransformador es uno de los dispositivos más eficientes que conoce la tecnología. Las eficiencias típicas de los autotransformadores van desde más de 99 hasta muy cerca del 100 por ciento. Además, para el mismo tamaño de núcleo y construcción de devanados, **la capacidad de transferencia de kVA 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_1 , 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.

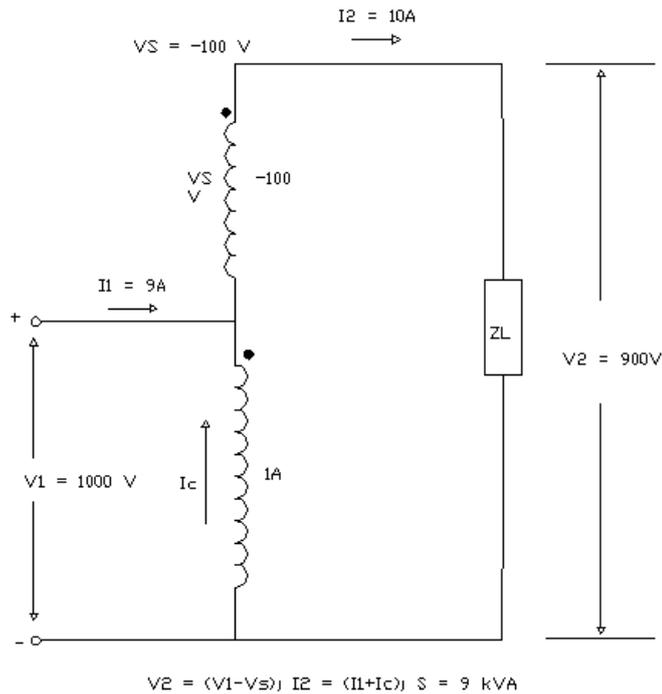
³ KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"

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

Figura 1.7.a. Transformador de aislamiento de 1kVA



1.7.b. Voltajes producidos por polaridad aditiva



1.7.c. Voltajes producidos por polaridad sustractiva

Fuente: DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"
 Realizado por: Investigador

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:

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

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

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

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:

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

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

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

de las cuales se han definido ya todos sus términos.

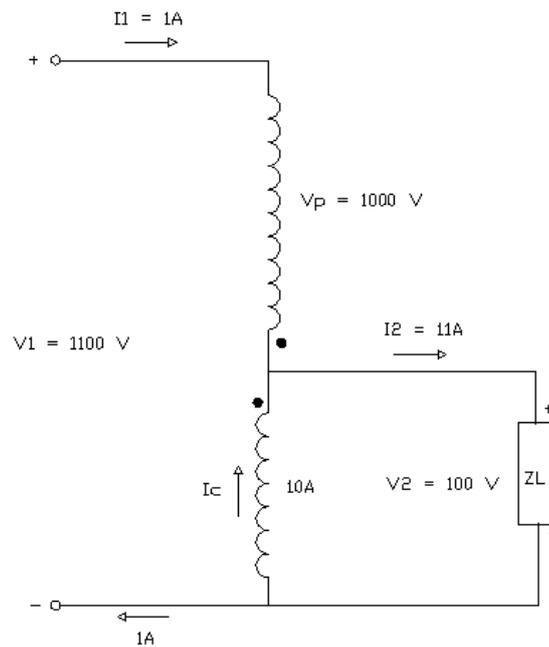
Estamos ahora en posición de comparar las ecuaciones para el modo de polaridad aditiva, ecuaciones (1.1) y (1.2) con las correspondientes para el modo de polaridad sustractiva, ecuaciones (1.4) y (1.5). Podemos sacar las conclusiones siguientes de esa comparación:

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).

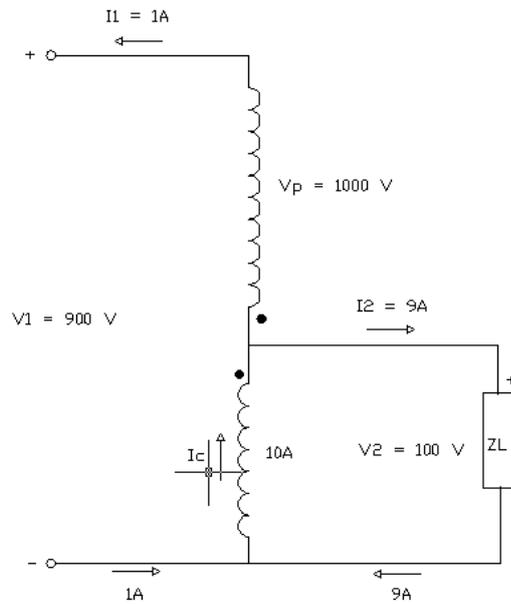
4. Si se suman las corrientes del primario (ecuación 1.2), entonces también se deben sumar los voltajes del secundario (ecuación 1.1).

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.

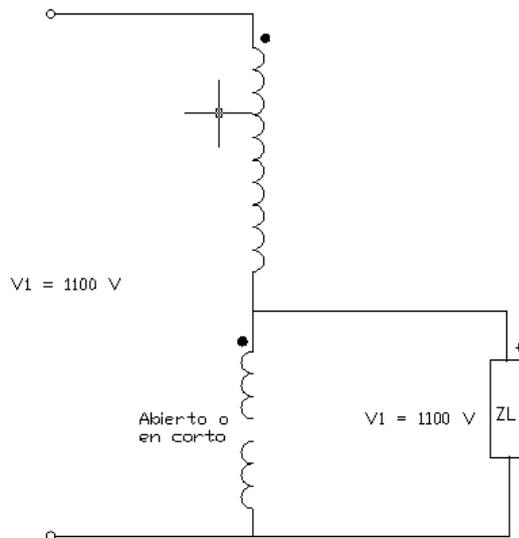
Figura 1.8 (a,b,c). Autotransformador de bajada en los modos de polaridad aditiva y sustractiva, que muestra los peligros de ese modo de bajada



1.8.a. Autotransformador de bajada. Modo de polaridad aditiva S=1.1 kVA



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



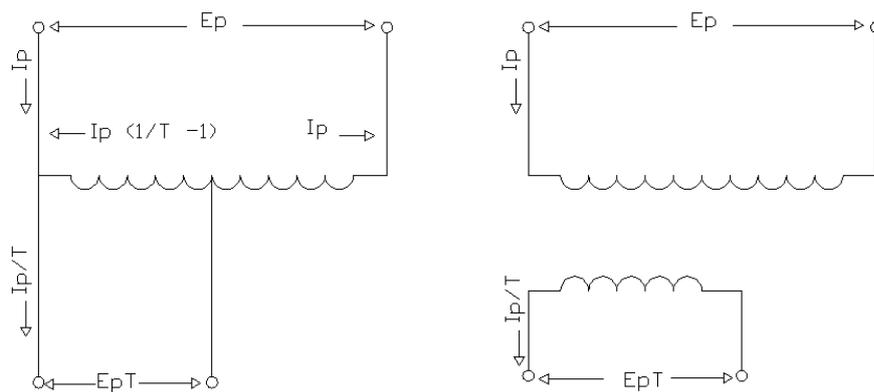
1.8.c. Falla de transformador que crea peligro de choque y produce Sobrecarga en Z_L

Fuente: DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"
 Realizado por: Investigador

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



Fuente: DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"
 Realizado por: Investigador

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.

1.3.4 TRANSFORMADORES PARA ENSAYO⁴

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.

⁴ Normas NTE - INEN

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

1.3.5 PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION⁵

Las pruebas eléctricas en transformadores se describen en la norma NTE-INEN- 2111 (Anexo 1), 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.

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, 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, en

⁵ Normas NTE - INEN

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. 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 1).

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.

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE-INEN-2110 que se indican en el Anexo 1 y las que a continuación se detallan:

1.3.5.1 PRUEBAS DE RUTINA

La que debe realizarse a cada transformador en forma individual.

1.3.5.1.1 Medición de la resistencia de los devanados: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2118.

1.3.5.1.2 Medición de la relación de transformación, verificación de la polaridad y desplazamiento angular: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2117.

1.3.5.1.3 Medición de los voltajes de cortocircuito: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2129.

1.3.5.1.4 Medición de las pérdidas con carga.

1.3.5.1.5 Medición de las pérdidas sin carga (en vacío) y corriente de excitación: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2113.

1.3.5.1.6 Prueba para el voltaje aplicado: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2125

1.3.5.1.7 Prueba de sobrevoltaje inducido.

1.3.5.1.8 Medición de la resistencia del aislamiento con megger para transformadores de distribución y medición del factor de potencia del aislamiento para transformadores de potencia

1.3.5.1.9 Prueba de rigidez dieléctrica del líquido aislante y refrigerante.

1.3.5.2 PRUEBAS 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.

1.2.5.2.1 Prueba de voltaje de impulso con onda completa.

1.2.5.2.2 Prueba de calentamiento: Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2119

1.2.5.2.3 Medición del nivel de ruido.

1.3.5.3 PRUEBAS ESPECIALES

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

1.2.5.3.1 Prueba de voltaje incluyendo ondas recortadas. Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2125.

1.2.5.3.2 Medición de la impedancia de secuencia cero. Se hará de acuerdo con la NTE-INEN-2116

1.2.5.3.3 Medición de las capacitancias.

1.2.5.3.4 Medición del voltaje de cortocircuito

1.2.5.3.5 Medición de las descargas parciales (efecto corona).

1.2.5.3.6 Prueba de conmutadores con carga y sin ella.

1.2.5.3.7 Medición de las ondas armónicas (Transformadores sin carga).

1.2.5.3.8 Prueba de hermeticidad.

1.3.6 NORMAS PARA PRUEBAS ELECTRICAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

Las diferentes pruebas eléctricas que se desarrollan en un transformador de distribución, deben cumplir las normas establecidas por las NTE- INEN (Anexo 1), tal es el específico en las pruebas de pérdidas en vacío y en cortocircuito, NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115.

CAPITULO II

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

2.1. APLICACIÓN DE LA ENCUESTA A DOCENTES Y ESTUDIANTES DEL ÁREA ELÉCTRICA.

2.1.1. APLICACIÓN DE LA ENCUESTA A LOS DOCENTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA.

Anexo 5

2.1.2. APLICACIÓN DE UNA ENCUESTA A LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Anexo 5

2.2. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

De la encuesta realizada a los estudiantes se ejecutó la tabulación e interpretación de los resultados considerando como las mas relevantes las que se indican a continuación:

Pregunta N° 1: ¿Está usted familiarizado con un banco de pruebas de transformadores de distribución?

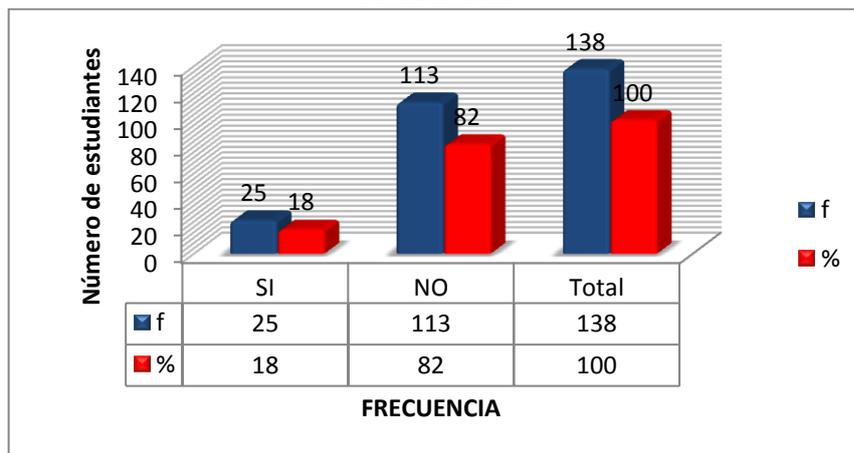
TABLA 2.1.

Frecuencia	Total	%
SI	25	18
NO	113	82
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.1.: ¿Está usted familiarizado con un banco de pruebas de transformadores de distribución?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación.

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°1 sobre si está familiarizado con un banco de pruebas de transformadores de distribución, se puede denotar en la tabulación de los datos del tabla 2.1., que 25 estudiantes responden afirmativamente

mientras que 113 de ellos responden que no. Se interpreta entonces que un 82% la niega y el 18% de los educandos afirma la pregunta.

Pregunta N° 2: ¿Tiene usted conocimiento de las pruebas de rutina que se realiza a transformadores de distribución?

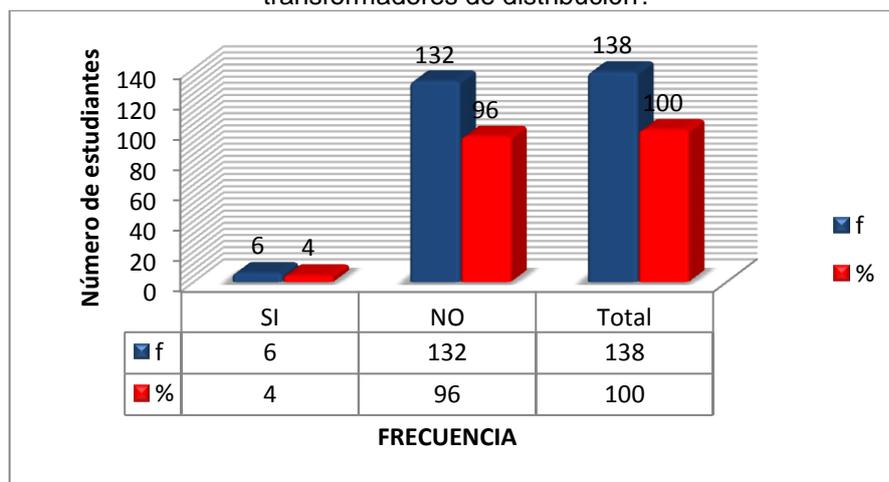
TABLA 2.2.

Frecuencia	Total	%
SI	6	4
NO	132	96
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.2.: ¿Tiene usted conocimiento de las pruebas de rutina que se realiza a transformadores de distribución?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación.

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°2 sobre si tienen conocimiento de las pruebas de rutina que se realiza a transformadores de distribución, se puede denotar en la

tabulación de los datos de la tabla 2.2., que 6 estudiantes responden afirmativamente mientras que 132 de ellos responden que no. Vemos que un 96% la niega y el 4% de los educandos afirma la pregunta y.

Pregunta N° 4: ¿Está usted familiarizado con las normas NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115 sobre pérdidas en transformadores?

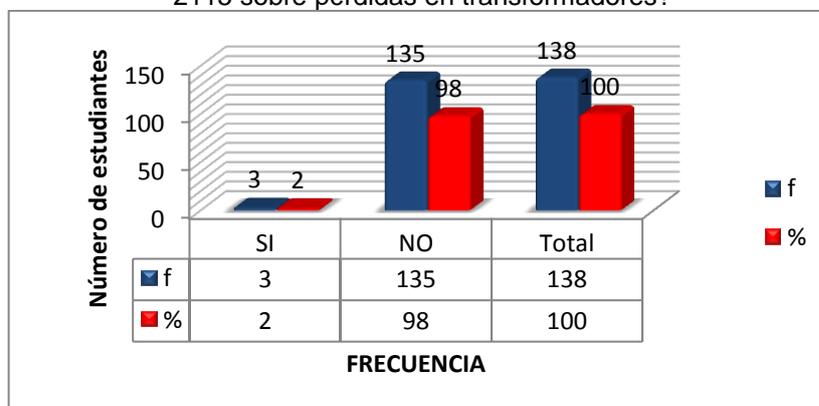
TABLA 2.3.

Frecuencia	Total	%
SI	3	2
NO	135	98
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.3.: ¿Está usted familiarizado con las normas NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115 sobre pérdidas en transformadores?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°4 sobre si están familiarizados con las normas NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115 sobre pérdidas en transformadores, se puede

denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.3., que 3 estudiantes responden afirmativamente mientras que 135 de ellos responden que no. Interpretamos entonces que un 98% la niega y el 2% de los educandos afirma la pregunta.

Pregunta N° 7: ¿Conoce usted las pruebas de pérdidas en cortocircuito o en las bobinas de transformadores de distribución?

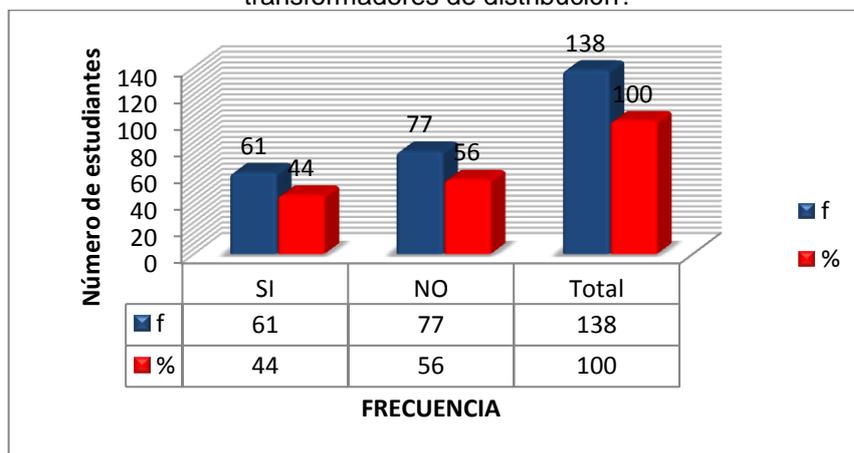
TABLA 2.4.

Frecuencia	Total	%
SI	61	44
NO	77	56
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.4.: ¿Conoce usted las pruebas de pérdidas en cortocircuito o en las bobinas de transformadores de distribución?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°7 sobre si conoce la gran importancia que reviste la realización del ensayo de corto circuito y vacío de transformadores de distribución para las empresas eléctricas del país, se puede denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.4. que 61 estudiantes responden afirmativamente mientras que 77 de ellos responden que no. Se interpreta entonces que un 56% la niega y el 44% de los educandos afirma la pregunta.

Pregunta N° 9: ¿Dispone usted de ropa y equipo adecuado para trabajos en laboratorio de pruebas de transformadores?

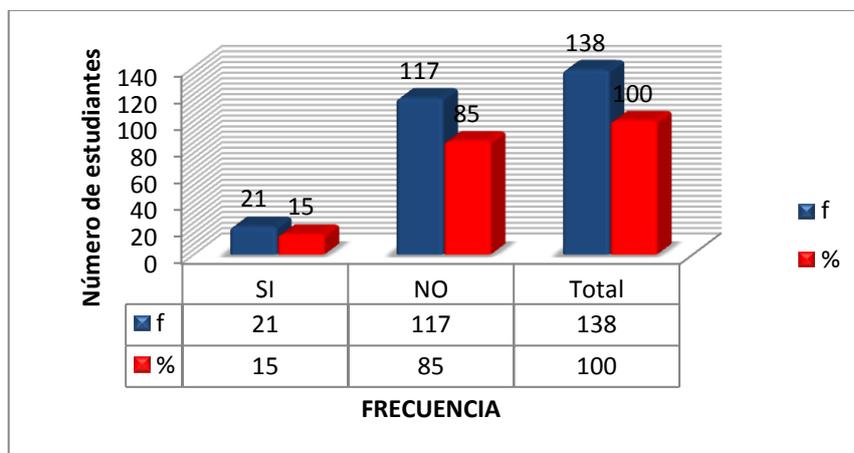
TABLA 2.5.

Frecuencia	Total	%
SI	21	15
NO	117	85
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.5. ¿Dispone usted de ropa y equipo adecuado para trabajos en laboratorio de pruebas de transformadores?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°9 sobre si conoce los parámetros técnicos que un transformador de distribución debe cumplir antes de ser puesto en servicio en la red pública, se puede denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.5., que 21 estudiantes responden afirmativamente mientras que 117 de ellos responden que no. Observamos entonces que un 85% lo niega y el 15% de los educandos afirma la pregunta.

Pregunta N° 10: ¿Cree usted que es necesario realizar un manual de procedimiento y guías de laboratorio para efectuar las pruebas de transformadores?

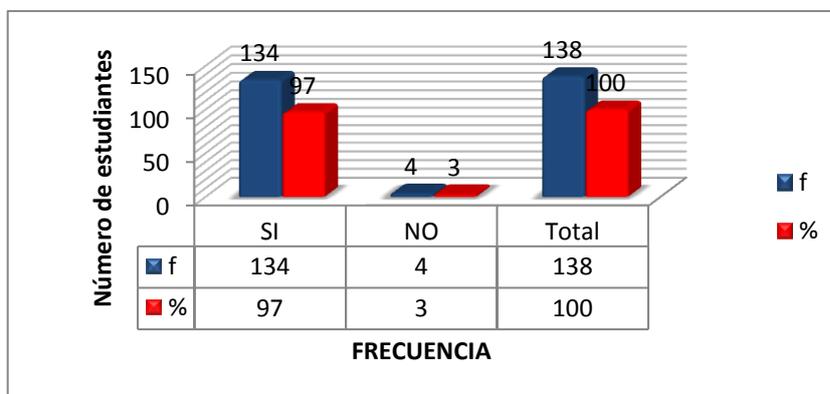
TABLA 2.6.

Frecuencia	Total	%
SI	134	97
NO	4	3
Total	138	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.6. ¿Cree usted que es necesario realizar un manual de procedimiento y guías de laboratorio para efectuar las pruebas de transformadores?



Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado con los estudiantes y con respecto a la pregunta N°10 sobre si le gustaría que la UTC implemente un laboratorio de pruebas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución de hasta 25 KVA podemos denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.6., que 134 estudiantes responden afirmativamente

mientras que 4 de ellos responden que no. Vemos entonces que el 97% de los educandos afirma la pregunta y un 3% lo niega.

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS DOCENTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

De la encuesta realizada a los docentes se ejecutó la tabulación e interpretación de los resultados considerando como las más relevantes las que se indican a continuación:

Pregunta N° 1: ¿Considera usted que es necesario que los estudiantes de las facultades de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Electromecánica de las universidades técnicas y politécnicas dispongan de un laboratorio de pruebas de transformadores?

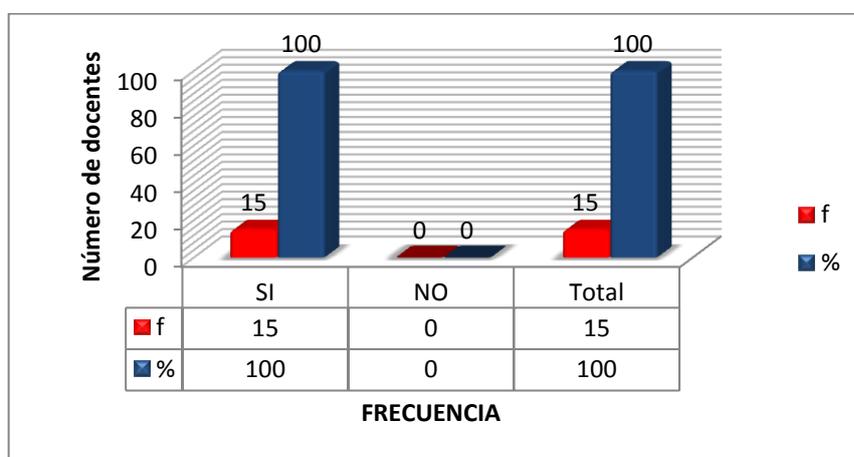
TABLA 2.7.

Frecuencia	Total	%
SI	15	100
NO	0	0
Total	15	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.7. ¿Considera usted que es necesario que los estudiantes de las facultades de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Electromecánica de las universidades técnicas y politécnicas dispongan de un laboratorio de pruebas de transformadores?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado y con respecto a la pregunta N°1 sobre si consideran que es necesario que los estudiantes de las facultades de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Electromecánica de las universidades técnicas y politécnicas dispongan de un laboratorio de pruebas de transformadores, podemos denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.7., que 15 profesores responden afirmativamente mientras que ninguno de ellos responden que no. Se interpreta entonces que el 100% de los docentes afirma la pregunta y un 0% lo niega.

Pregunta N° 2: ¿Estima necesario que en las pruebas de laboratorio de transformadores se aplique normas de calidad tanto nacionales como las INEN y extranjeras con las ANSI ó IEC?

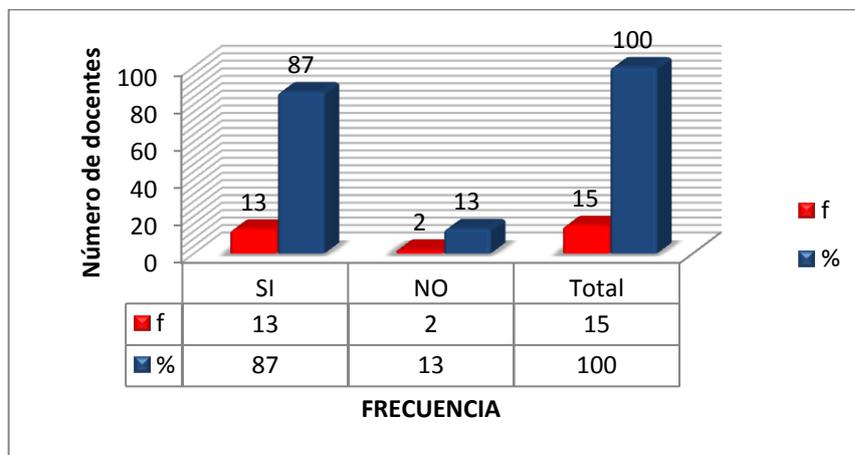
TABLA 2.8.

Frecuencia	Total	%
SI	13	87
NO	2	13
Total	15	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.8. ¿Estima necesario que en las pruebas de laboratorio de transformadores se aplique normas de calidad tanto nacionales como las INEN y extranjeras con las ANSI ó IEC?



Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado y con respecto a la pregunta N°2 sobre si estima necesario que en las pruebas de laboratorio de transformadores se aplique normas de calidad tanto nacionales como las INEN y extranjeras con las ANSI ó IEC, podemos denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.8., que 13 profesores responden afirmativamente mientras que 2 de ellos responden que no. Se interpreta entonces que el 87% de los docentes afirma la pregunta y un 13% lo niega.

Pregunta N° 4: ¿Considera que la teoría y la práctica en las carreras tecnológicas deben ir de la mano en las universidades técnicas y politécnicas?

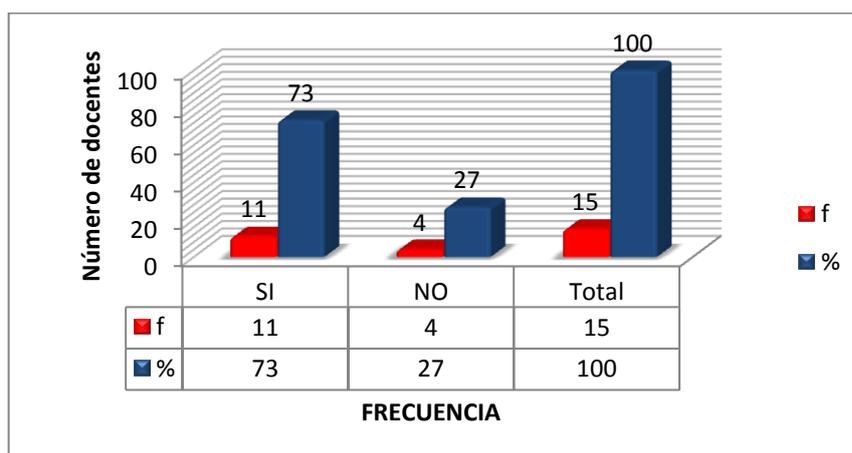
TABLA 2.9

Frecuencia	Total	%
SI	11	73
NO	4	27
Total	15	100

Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Figura 2.9. ¿Considera que la teoría y la práctica en las carreras tecnológicas deben ir de la mano en las universidades técnicas y politécnicas?



Fuente: Encuesta a estudiantes.

Realizado por: Investigador

Análisis e interpretación

De acuerdo al estudio realizado y con respecto a la pregunta N°4 sobre si considera que la teoría y la práctica en las carreras tecnológicas deben ir de la mano en las universidades técnicas y politécnicas, podemos denotar en la tabulación de los datos de la tabla 2.9., que 11 profesores responden afirmativamente mientras que 4 de ellos responden que no. Se

interpreta entonces que el 73% de los docentes afirma la pregunta y un 27% lo niega.

NOTA: El análisis e interpretación de los resultados y su respectiva tabulación e interpretación de los mismos, se encuentra en el Anexo 5.

2.3. COMPROBACION DE LA HIPOTESIS

Diseño de un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución, de hasta 25KVA, para verificar el correcto funcionamiento de los mismos.

Luego de realizar el análisis y la interpretación de los resultados se determina que es factible la entrega y aplicación del equipo para pruebas de pérdidas en transformadores de distribución monofásicos hasta de 25 kVA.

CAPITULO III

3.1. PROPUESTA

Diseño de un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución y potencias de hasta 25 kVA

3.2. OBJETIVOS

- Diseñar un módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución hasta 25 KVA.
- Aplicar los conocimientos adquiridos y la experiencia laboral para el desarrollo del diseño del módulo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores monofásicos de distribución hasta 25 KVA.

3.3. PRESENTACIÓN

En todo sistema eléctrico de potencia se dispone de elementos propios de su configuración como son los transformadores, motores, cables, aisladores, por lo que es de vital importancia antes de su instalación realizar pruebas de laboratorio.

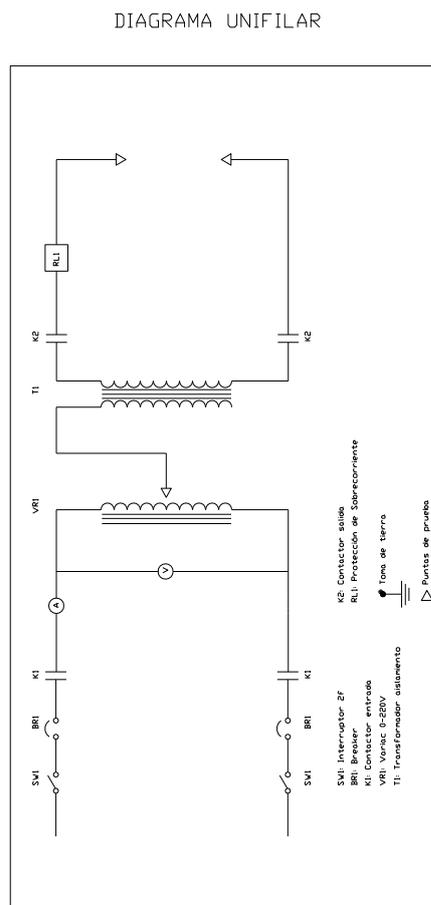
Para el estudio a ejecutar se toma como referencia transformadores de distribución, porque resulta indispensable verificar las pérdidas en vacío y cortocircuito, evitándose el consumo excesivo de energía.

Estas pruebas generalmente conocidas como pruebas de rutina deben cumplir satisfactoriamente las especificaciones indicadas en las normas técnicas correspondientes para cada una de ella y enmarcarse en sus valores determinados en las normas NTE-INEN 2114; para garantizar la confiabilidad de los equipos a ser instalados en los sistemas eléctricos.

3.4. DESARROLLO

3.4.1. DIAGRAMA UNIFILAR

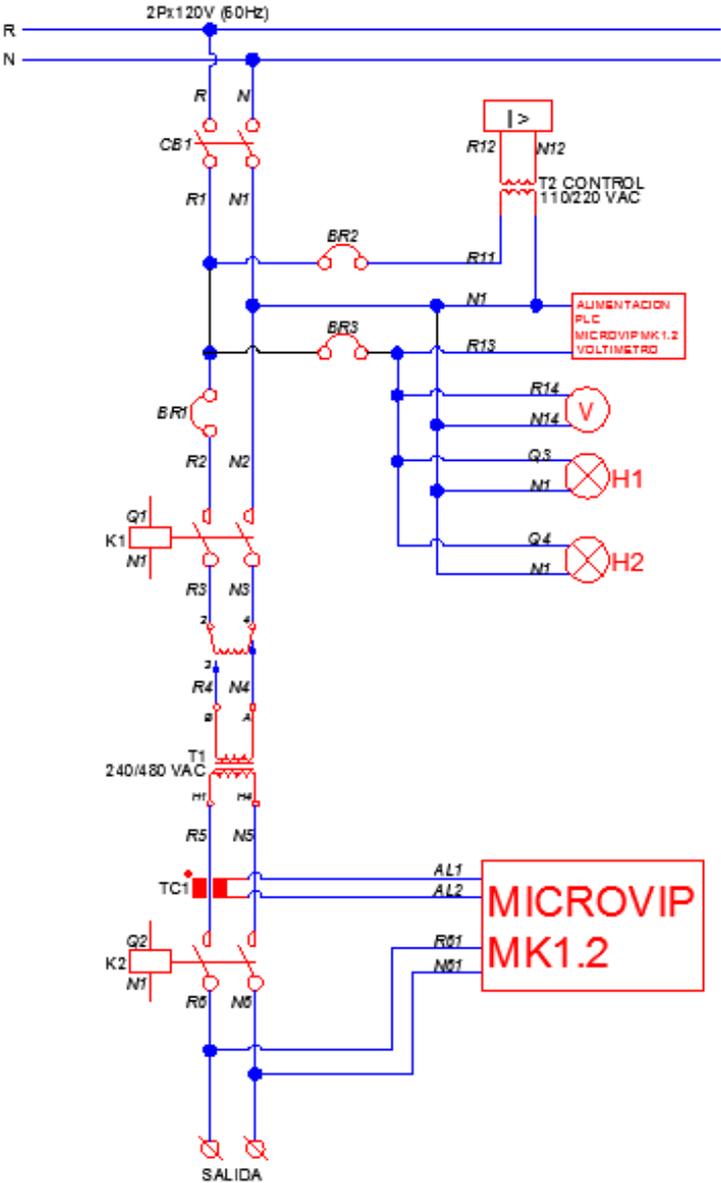
Figura 3.1.- Diagrama Unifilar del equipo para pruebas en transformadores



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

Figura 3.2. Diagrama de fuerza del módulo de pruebas.



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

3.5. DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

Para el diseño del transformador de aislamiento se considera que este será de una relación de 1:2, tipo seco, con un voltaje de entrada de 120Vac y un voltaje de salida de 240 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 del tipo de pruebas el transformador de aislamiento es de 5 kVA.

Figura 3.3.- Transformador de aislamiento del equipo para pruebas en transformadores



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

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

$$\text{Rel} = 1:2$$

$$V_{in} = 110V$$

$$V_{out} = 240V$$

$$S = 5 \text{ Kva}$$

3.5.1. CALCULO DE LA SECCION DEL NUCLEO

$$S_n = \sqrt{S} = \sqrt{5000} = 70,71 \text{ cm}^2$$

(3.1)

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

(3.2)

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

$$S_{n_{\text{neto}}} = 70,71 * 0.965 = 68,24 \text{ cm}^2$$

3.5.2. CALCULO DE VOLTIOS POR ESPIRA

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

(3.3)

Donde:

$\beta = 15.000$ Inducción electromagnética en gauss

$f = 60$ frecuencia industrial en Hz

S = 68,24 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 3).

$$V/W = 4.44 * 15.000 * 68,24 * 60 * 10^{-8}$$

$$\mathbf{V/W = 2,727}$$

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

$$N_{pri} = \frac{V_p}{V/W} = \frac{120}{2,727} = 44 \text{ Espiras}$$

$$N_{sec} = \frac{V_s}{V/W} = \frac{240}{2,727} = 88 \text{ Espiras} \quad (3.4)$$

Para efectos de tener como información el valor del nuevo β :

$$V/W = \frac{240}{88} = 2,727$$

Por lo tanto $\beta_{nuevo} = 15.002$ gauss (de 3.3)

$$N_{pri} = \frac{V_p}{V/W} = \frac{120}{2,727} = 44 \text{ Espiras}$$

$$(3.5)$$

3.5.3. CALCULO DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR (Sc)

Conductor bobinado primario: Cobre

Conductor bobinado secundario : Cobre

$$S_c = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\delta}$$

(3.6)

Donde δ = Densidad de corriente del cobre en $\frac{Amp}{mm^2}$ y el rango para diseño es de 2.5 a 3.8. Para el diseño de este transformador tomamos el valor de 3.

$$I_{pri.} = \frac{5000}{120} = 41,66 \text{ Amp}$$

$$I_{sec.} = \frac{5000}{240} = 20,83 \text{ Amp}$$

$$S_{C_{pri}} = \frac{41,66}{3} = 13,88 \text{ mm}^2$$

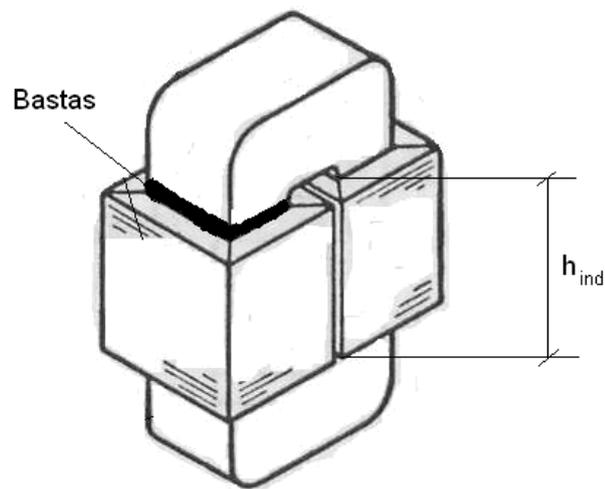
$$S_{C_{sec}} = \frac{20,83}{3} = 6,94 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto el conductor para el lado primario será cobre No. 6 AWG y secundario será cobre N. 8 AWG (Anexo 2) con doble capa de aislamiento.

3.5.4. 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 3.4.- Ubicación de las bastas y la altura inductiva en el núcleo de un transformador



Fuente: DONALD G. FINK, H. "MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA"

Realizado por: Investigador

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

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

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

Nec = Número de espiras por capa

$$Nec = \frac{\text{hind real}}{\phi \text{ conductor}}$$

(3.7)

Diámetro Cu 6 = 4,115 mm

$$Nec_{\text{pri}} = \frac{138,65}{4,115} = 33,69 \Rightarrow 34 \text{ espiras}$$

Diámetro Cu 8 = 3,277 mm

$$Nec_{\text{sec}} = \frac{138,65}{3,277} = 42,31 \Rightarrow 42 \text{ espiras}$$

Nc = Número de capas

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

(3.8)

$$Nc_{\text{pri}} = \frac{44}{34} = 1,29 \Rightarrow 1 \text{ capa}$$

$$Nc_{\text{sec}} = \frac{88}{42} = 2,09 \Rightarrow 2 \text{ capas}$$

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

3.5.5. AISLAMIENTO LADO PRIMARIO

$$\frac{2(Nec * V / W)}{5000} = \frac{2(34 * 2,727)}{5000} = 0,037 \quad (3.9)$$

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

h1 = 0,1" (0,254 mm)

h2 = 0,05" (0,127 mm)

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

3.5.6. AISLAMIENTO LADO SECUNDARIO

$$\frac{2(Nec * V / W)}{5000} = \frac{2(42 * 2,727)}{5000} = 0,045 \quad (3.10)$$

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

3.5.7. PROTECCIONES DEL EQUIPO

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

Elementos de protección

Figura 3.5. Interruptores termomagnéticos unipolares (BR1 y BR2).



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

Detalle:

Interruptores termomagnéticos unipolares BR1 y BR2.

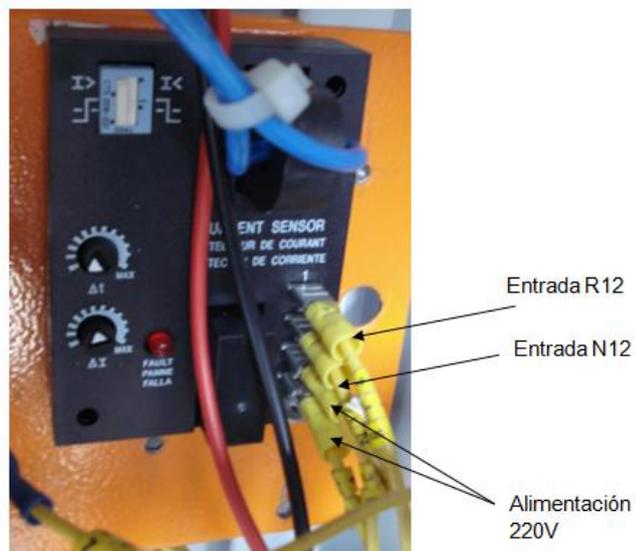
BR1 (Protección general):

Corriente: 20A

Voltaje: 120V
Marca: Merlin Gerin

BR2 (Protección analizador, logo y voltímetro):
Corriente: 4A
Voltaje: 120V
Marca: Schneider

Figura 3.6 Relé de sobrecorriente.



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

Detalle:
Relé de sobrecorriente (I>)
Marca: ABB
Categoría No.: ECS60BG

Conexión:
Entrada R12 y N12 (salida del Transformador de Control T2).

Alimentación:
Voltaje: 220V
Terminales : R12 y N12.

3.5.8. VARIAC.

La conexión del VARIAC (Autotransformador Variable), está dada en el primario por el Contactor principal de entrada K1, mientras que el secundario está conectado al transformador de aislamiento de 5kVA, 240/480VAC.

El Contactor K1 de entrada protege al VARIAC sus especificaciones son las siguientes:

Contactor 2Px50A – 120/240 VAC.

En el VARIAC se usa los terminales 2 y 4 para la conexión correspondiente a la entrada de voltaje a 120VAC y 60 Hz; la conexión se lo hace desde los cables marcados como R3 y N3 los cuales vienen de la salida del Contactor K1 e ingresan al VARIAC a través de los terminales 2 y 4.

Los cables de salida del VARIAC se conectan a los terminales 3 y 4, que corresponden a la salida variable de 0 a 240 V, esta salida se la nombra como R4 y N4 respectivamente. En la figura 26 se explica de manera gráfica el montaje del VARIAC:

Figura 3.7.- Variac utilizado en el equipo de pruebas de transformadores



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

$I_{nom} = 0 - 28 \text{ A máx.}$

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.

3.6. PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO

En el procedimiento para la construcción del equipo nos basamos principalmente en el diagrama unifilar del mismo.

Figura 3.8.- Vista del equipo para pruebas de transformadores



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

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 prueba.

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) como al transformador de prueba
5. Se efectúan 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.
6. Se energiza el equipo y se determina que se encuentra listo para las pruebas correspondientes.

Figura 3.9.- Panel frontal de control y medida del equipo de pruebas de pérdidas en vacío y cortocircuito de transformadores



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

3.7. MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales y equipos que se utilizaron son los expuestos en el presupuesto realizado y se detallan en el Anexo 3.

MESA DE CONTROL

AMPERIMETRO

VOLTIMETRO

KILOVOLTIMETRO DIGITAL

BOTONERAS

CONTACTOR 60A - 220V

BREAKER DE 4, 20, 55 A

VARIAC

TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

CABLE DE ACOMETIDA 2X12

CABEL DE CONTROL 2X12

REGLETAS

MICRO PLC – LOGO

CIRCUITO DE ACTUACION

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

ANALIZADOR MICROVIP – MK-1.2

El analizador de energía MICROVIP MK1.2 (figura 29), es un analizador de señales eléctricas que muestra el valor de las pérdidas obtenidas de los ensayos en vacío y cortocircuito, a través de los valores inducidos (corriente y/o voltaje), las mismas que son procesadas y mostradas en una pantalla como se muestra en la figura 30.

Figura 3.10. Analizador de calidad de energía MICROVIP MK1.2



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

Figura 3.11. Pantalla del MICROVIP MK1.2



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

La señal de voltaje es tomada a la salida del contactor K2, de las líneas identificadas como R6 y N6

La señal de corriente el MICROVIP la adquiere a través de una pinza amperimétrica (propia del analizador), que se encuentra conectada a la salida del transformador elevador T1, al conductor identificado como R5 de tal manera que pueda manejar los parámetros directos.

La pinza amperimétrica posee las siguientes características:

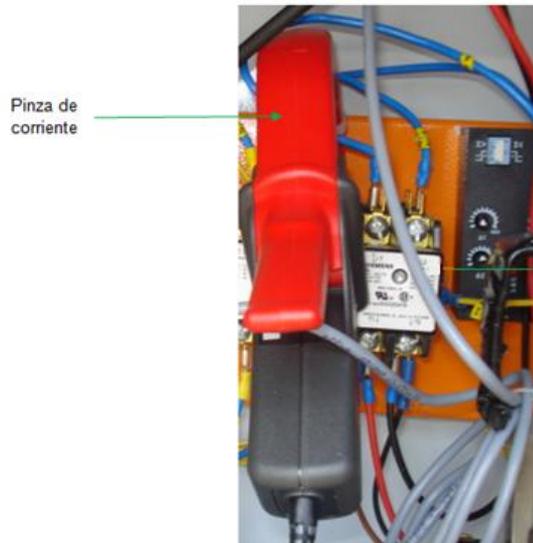
Voltaje: 600 VAC.

Corriente: 1000 Amp.

Marca: ELCONTROL.

Serie: C107 EL.

Figura 3.12. Pinza amperimétrica.



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

La alimentación para el analizador de energía es de 120 VAC, tomados de las líneas principales R13 y N1, la protección del analizador, logo, y voltímetro digital, está dada por un interruptor termomagnético BR2, de 4 Amperios, la salida de la línea a través del breaker se identifica como R1.

Figura 3.13. Protección del analizador, voltímetro y logo.



Fuente: Módulo de Pruebas

Realizado por: Investigador

Los materiales y equipos son de producción nacional e importación de primera calidad.

3.8. PRUEBAS DE PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS

La tarea de diagnóstico y control de equipos eléctricos como transformadores de distribución es una tarea sistemática que se debe realizar con la finalidad de controlar que estos cumplan las normas establecidas respecto a pérdidas y mantener en condiciones de operación óptimas los equipos así como de identificar posibles condiciones de operación críticas, presentadas éstas incluso como fallas insipientes en los equipos, una detección oportuna de las mismas para su corrección mediante una tarea proactiva de mantenimiento como el reacondicionamiento cíclico o sustitución cíclica o conocido también como mantenimiento preventivo previo a una posible falla franca en el equipo, de ahí que sea conveniente la realización de programas de inspección y ensayos que aseguren que el sistema se mantiene en condiciones satisfactorias; utilizando las herramientas necesarias y adecuadas.

Dentro de las empresas distribuidoras estas son pruebas importantísimas y reglamentarias que deben cumplir todo los transformadores de distribución para ser instalado en su sistema eléctrico.

La norma establece los valores máximos permisibles de corriente sin carga (I_o), pérdidas sin carga (P_o), pérdidas con carga a 85°C (P_c), pérdidas totales (P_t) y voltaje de cortocircuito a 85°C (U_{zn}), para transformadores de distribución nuevos, monofásicos 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_o , P_o , 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 1) 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*

$$P_0 = 9,8033(P_n)^{0,7141} \quad (1.9)$$

b) *Pérdidas con carga*

$$P_c = 0,000063(P_n)^3 - 0,02695(P_n)^2 + 10,657(P_n) + 38,267 \quad (1.10)$$

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*

$$P_0 = 33,2967(P_n)^{0,532} \quad (1.11)$$

b) *Pérdidas con carga*

$$P_c = 32,2692(P_n)^{0,74967} \quad (1.12)$$

TABLA 3.1. Transformadores monofásicos de 3 a 333 kVA

Clase medio voltaje ≤ 25 kV_{f-f}/ clase bajo voltaje $\leq 1,2$ kV_{f-f} referidos a 85° C

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

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

TABLA 3.2. Transformadores monofásicos de 15 a 333 kVAClase 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

Potencia Nominal kVA	I_o (% de I_n)	P_o (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

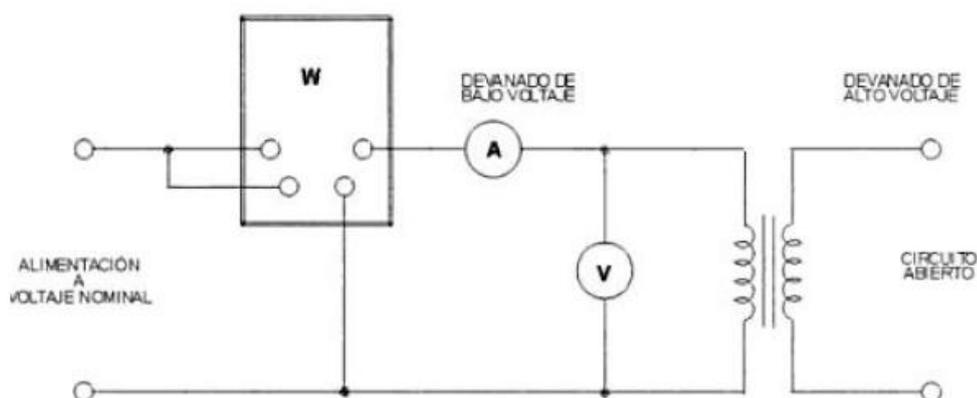
NOTAS:

1. Las pérdidas declaradas permisibles con carga (P_c) en transformadores con corrientes superiores a 1 200 A, en uno u otro devanado, se pueden aumentar en un 5%, cuyo valor debe estar incluido en los valores declarados en la oferta.
2. El usuario queda en libertad de exigir al fabricante el cumplimiento de la tabla anterior, en las siguientes modalidades:
 - a) Cumplimiento de los valores de pérdidas declaradas permisibles sin carga y de pérdidas con carga.
 - b) Cumplimiento del valor de pérdidas declaradas permisibles totales solamente.
3. Si no se especifica lo contrario, se establecerán como valores límites los especificados en el método a). El método b) se utiliza únicamente si el usuario especifica la metodología de evaluación de pérdidas.
4. Los valores de I_o y U_{zn} incluyen las tolerancias establecidas en la NTE INEN 2 111 Primera revisión (Tabla 2).

3.7.1 PRUEBA EN VACÍO

Esta prueba tiene como objetivo determinar las pérdidas magnéticas, y se desarrolla con uno de los devanados en circuito abierto, en tanto que el otro se alimenta a voltaje nominal. Cuando el transformador está en vacío la corriente que circula por el devanado que se alimenta resulta ser muy pequeña debido a esto en estas condiciones las pérdidas en los devanados se consideran despreciables.

Figura 3.14. Diagrama de conexiones para la prueba de hierro o núcleo



Fuente: KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"
Realizado por: Investigador

Es más seguro realizar la prueba por el lado de bajo voltaje sin descuidar que al inyectar voltaje nominal por este lado se tendrá voltaje nominal en el lado de alta del transformador, por lo que se considera una prueba de mucho riesgo y se debe tener extremada precaución al realizarla.

Otra razón para realizar a este lado es por disponibilidad de fuentes de bajo voltaje en cualquier instalación para pruebas.

Un componente de la corriente de excitación es el responsable de la pérdida en el núcleo, en tanto que el otro responde por el establecimiento del flujo requerido en el núcleo magnético. A fin de medir estos valores con exactitud debe ajustarse con cuidado el voltaje de la fuente a su valor especificado. Como la única pérdida de potencia es la del núcleo, el vatímetro mide la pérdida del núcleo del transformador.

La componente de pérdida del núcleo de la corriente de excitación está en fase con el voltaje aplicado, mientras que la corriente de magnetización esta en atraso de 90° respecto al voltaje aplicado. Si V es el voltaje especificado que se aplica al lado de bajo voltaje, I es la corriente de excitación tal cual la mide el amperímetro y P es la potencia que registra el vatímetro

3.7.2. PRUEBA EN CORTOCIRCUITO

Se lleva a cabo para determinar experimentalmente el valor de la impedancia equivalente de un transformador y las pérdidas de los devanados. Como su nombre lo indica, la prueba de corto circuito en un transformador se desarrolla con uno de los devanados conectados en corto circuito, es muy conveniente realizar la prueba en lado de alta del

transformador teniendo cortocircuitado el lado de baja y se le aplica durante la prueba el 60% de la corriente nominal primaria.

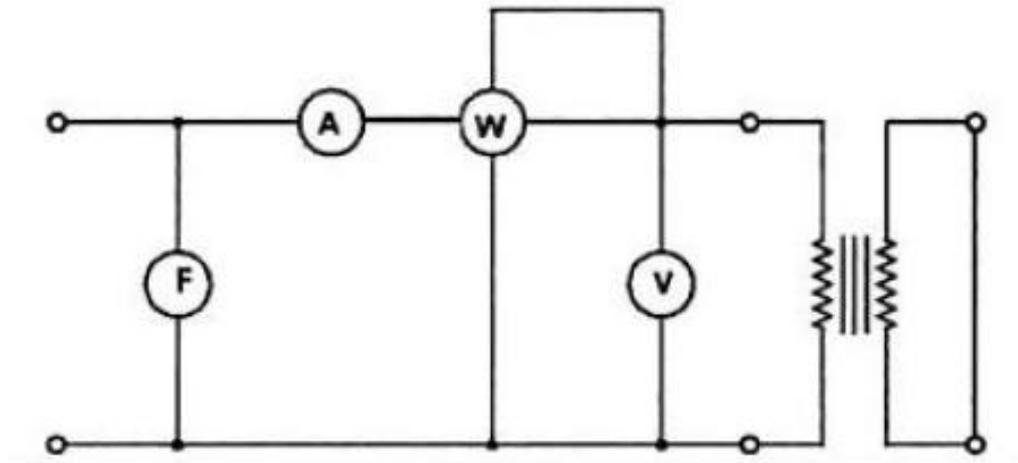
La determinación del valor de las pérdidas adicionales es necesaria para el cálculo del rendimiento. Las pérdidas óhmicas pueden estar exactamente definidas como aquellas debidas al valor de la resistencia de los devanados y a la corriente que circula por ellos, suponiendo que esta uniformemente distribuida sobre todas las secciones de los conductores, como si se tratara de una corriente continua. El valor de las pérdidas óhmicas que es proporcional al valor de la resistencia y al cuadrado de la corriente, varía al cambiar la temperatura, en tanto es independiente del valor de la frecuencia. Las pérdidas adicionales o parasitas dependen de la no uniformidad con la que la corriente alterna se distribuye en la sección de los conductores y son producto del flujo disperso legado a la circulación de la corriente.

Durante la prueba es necesario medir la temperatura ambiente puesto que los resultados de las pruebas deberán reflejarse a 85°C que es la temperatura a plena carga que alcanzan los devanados de un transformador.

Con el fin de obtener resultados confiables, la prueba se debe desarrollar con la máxima rapidez, para evitar calentamiento excesivo en los

conductores de los devanados, cuyo valor de resistencia se debe mantener constante durante la prueba.

Figura 3.15. Diagrama de conexiones para la ejecución de la prueba de cortocircuito.



Fuente: KOSOW, "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"
Realizado por: Investigador

Puesto que el corto circuito restringe la potencia de salida a cero, la potencia de entrada al transformador es baja. La baja potencia de entrada con la corriente especificada implica que el voltaje aplicado es una fracción pequeña del voltaje especificado. La medición de corriente especificada indica que para mayor seguridad, la prueba debe realizarse en el lado de alto voltaje cortocircuitado el lado de bajo voltaje.

Como el voltaje aplicado es una fracción pequeña del voltaje especificado tanto la corriente por pérdida en el núcleo como la corriente de magnetización son tan pequeñas que pueden despreciarse. La pérdida en

el núcleo es prácticamente igual a cero y la reactancia de magnetización es casi infinita. El vatímetro registra la pérdida en el cobre a plena carga.

3.8. NORMAS UTILIZADAS

Para la utilización del equipo y el procedimiento de la prueba dentro del laboratorio de pruebas a implementarse en la Universidad, se utilizarán las normas establecidas por el INEN de Ecuador NTE INEN – 2114 y NTE INEN - 2115 (Anexo 1).

3.9. PROTOCOLO DE PRUEBAS

En la Universidad Técnica de Cotopaxi, se iniciará la implementación del laboratorio de pruebas de transformadores y se realizarán las pruebas de rutina como son:

- **Pruebas de pérdidas en vacío**
- **Pruebas de pérdidas en cortocircuito**

Una vez realizadas las pruebas indicadas se emitirá a nombre de la Universidad Técnica de Cotopaxi el protocolo correspondiente para indicar los resultados de las mismas, este protocolo está indicado en el anexo 4.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las pruebas eléctricas se realizan con el propósito de confirmar que los transformadores, motores y cables han sido diseñados y construidos apropiadamente y puede soportar las condiciones de trabajo a las que estará sometido durante su funcionamiento normal.
- El cumplimiento de normas en lo referente a pérdidas en transformadores es obligatorio a fin de controlar la energía perdida por aspectos técnicos.
- Las normas NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115 son los referentes para el control de pérdidas en transformadores de distribución en el país.
- La prueba en vacío determina la calidad del acero al carbono del que está fabricado el núcleo de un transformador.
- La prueba en cortocircuito determina las bondades y buenas características del cobre utilizado en los devanados del transformador.
- Es muy importante realizar este tipos de pruebas para confirmar que el material utilizado especialmente en las en las bobinas sea cobre, puesto que existen transformadores con devanados aluminio-aluminio.
- Las normas NTE-INEN-2114 y NTE-INEN-2115 no admiten tolerancia, por lo tanto son de carácter estricto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la Universidad Técnica de Cotopaxi facilite la adquisición de equipos de ensayo para utilizarlos en forma continua en la ejecución de cualquier ensayo o prueba en el laboratorio de alto voltaje.
- El laboratorio de alto voltaje se implementó con el propósito que sea una herramienta didáctica para los estudiantes, por lo que se recomienda darle un uso adecuado respetando las normas que exige el manejo de un laboratorio de este tipo de aplicación y riesgo, seguir el manual de prácticas creado en este proyecto.
- Es necesario el uso de un voltaje de entrada regulado y estable para el buen desempeño y rendimiento del equipo.
- Enviar los equipos anualmente al Centro de Metrología de la Fuerza Terrestre para su calibración.
- No operar los equipos sin la obligada supervisión y autorización del docente encargado.
- Se recomienda que el personal encargado del laboratorio tenga conocimientos en primeros auxilios y mantenga el laboratorio bajo estrictas normas de seguridad.
- Es obligatorio el uso de ropa de trabajo adecuada para realizar las prácticas en el laboratorio de alto voltaje.

- No se recomienda utilizar el equipo como una fuente de voltaje o corriente para otro tipo de pruebas.
- Es necesario propender al cumplimiento de la norma **ISO/IEC** INTERNACIONAL 17025 por parte del laboratorio de alto voltaje a fin de obtener la acreditación y certificación de pruebas.

BIBLIOGRAFÍA:

- ARCHER E. KNOWLTON, **STANDARD HANBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS**, Octava Edición; Mc. Graw-Hill, U.S.A., 1949
- DONALD G. FINK, H. WAYNE BEATY, **MANUAL DE INGENIERIA ELECTRICA**, Décima Tercera Edición, Mc Graw-Hill, México, 1996.
- ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD, **ESTACIONES DE TRANSFORMACION Y DISTRIBUCION. PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS**, Décimo Primera Edición, CEAC, España, 1985
- JOHN J. GRANYER, WILLIAM D. STEVENSON Jr., **ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA**, Primera Edición Español, Mc. Graw-Hill, México, 1996
- KOSOW, **“MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES”**, Segunda Edición, Prentice Hall Publishing, U.S.A, 1972
- 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
- RUY RENAU BALLESTER, **POTENCIA ELECTRICA Y ELECTRONICA DE POTENCIA**, Primera Edición en Español, Alfa y Omega, México, 1993