



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

TEMA:

**DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICOS TIPO
TANQUE.**

AUTORES:

**GUSTAVO JONATHAN PRECIADO MITE
JESÚS ALEJANDRO RODAS HERRERA**

TUTOR:

ING. DANIEL CONTRERAS RAMÍREZ, MSC.

GUAYAQUIL – ECUADOR

JULIO DEL 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores; y el patrimonio intelectual de la misma a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESINA**.

Guayaquil, Julio de 2015

GUSTAVO JONATHAN PRECIADO MITE

C.I. 0927288209

JESÚS ALEJANDRO RODAS HERRERA

C.I.0928528868

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente doy constancia que los Sres. Gustavo Preciado Mite y Jesús Alejandro Rodas Herrera han desarrollado y elaborado satisfactoriamente el proyecto final de titulación, que se ajusta a las normas establecidas por la Universidad Politécnica Salesiana, por tanto, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Ing. Daniel Contreras Ramírez, Msc.

TUTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico este estudio investigativo a mi madre Ing. Azucena Mite Benites y mi novia la Ing. Liliana Arévalo por ser la mayor inspiración y apoyo en mi desarrollo personal y profesional.

Gustavo Preciado Mite.

Dedico íntegramente este trabajo de investigación a mi padre el Dr. Javier Espinosa por todo su apoyo y ejemplo de vida y haber hecho de mí una persona de bien.

Alejandro Rodas Herrera

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios por la sabiduría, iniciativa y perseverancia que me ha dado para culminar mi carrera y la obtención de este título ya que a pesar de todas las dificultades siempre tuve las fuerzas para seguir adelante. A mis padres Gustavo Preciado Andrade, Azucena Mite Benites y mi tío Manuel Mite Benites por su incondicional apoyo en cada etapa de mi vida y desarrollo laboral, siempre motivando mis proyectos. A mi novia Liliana Arévalo por brindarme su ayuda incondicional y alentar mis dedicaciones. A todos los docentes que en su momento aportaron a mi desarrollo profesional.

Gustavo Preciado Mite.

A Dios por estar siempre presente en mi vida, mi familia por su constante apoyo incondicional, a la Universidad Salesiana por cumplir más allá de mis expectativas y a mis fieles amigos.

Alejandro Rodas Herrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1.EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Principio fundamental del transformador.....	4
2.2 Funcionamiento del transformador.....	4
2.3 Transformador de distribución.....	7
2.4 Transformadores de distribución monofásico tipo tanque.....	8
2.4.1 Transformador convencional.....	8
2.4.2 Transformador autoprotegido.....	9
2.4.3 Instalación de los transformadores en los postes.....	11
2.5 Polaridad de un transformador.....	11
2.5.1 Polaridad de un transformador.....	12
2.6 Elementos del transformador.....	13
2.6.1 Núcleo magnético.....	14
2.6.2 Devanado.....	16
2.6.4 Tanque o cubierta.....	18
2.6.5 Medio refrigerante.....	18
2.6.6 Conmutadores y auxiliares.....	19
2.6.7 Indicadores.....	20

2.7 Características para la construcción y ajustes.....	20
2.7.1 Características constructivas.....	21
2.7.2 Características dimensionales.....	23
2.7.3 Descripción del tipo de transformador y repartición de devanados.....	27
2.8 Cálculo para la construcción de devanados primarias y secundarias de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque.....	28
2.8.1 Cálculo de tensión y de corriente en los devanados de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque.....	28
2.8.2 Cálculo de número de espiras, sección del conductor.....	30
2.8.3 Cálculo de la sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas...	35
2.8.4 Cálculo de las dimensiones del devanado y ancho de las ventanas del núcleo.	38
2.8.5 Cálculo para dimensionar el ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada	51
2.9 Cálculo de modelo real.....	54
CAPÍTULO 3. CÁLCULO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167, 250 KVA.....	61
3.1 Cálculo de corriente y tensiones.....	61
3.2 Cálculo de espiras y conductores.....	67
3.3 Cálculo de la sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas.....	85
3.4 Cálculo de las dimensiones del devanado, ancho de las ventanas del núcleo y pesos respectivos.....	103
3.5 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 15 kva.....	110
3.6 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 25KVA.....	117
3.7 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 37.5 KVA.....	124
3.8 Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión.....	129
3.9 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 50 KVA.....	132
3.10 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 75 KVA.....	139
Cálculo de aislamientos menores.....	142
3.11 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 100 KVA.....	147
3.12 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 167 KVA.....	154

3.13 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 250 KVA	161
CAPÍTULO 4. GUÍA DE USO Y APLICACIÓN DE SOFTWARE.	187
4.1 Presentación de programa	187
4.2 Ingreso y selección de datos	188
4.3 Cálculo y diseño	189
4.4 Cálculo de núcleo	190
4.5 Cálculo de bobina.....	191
4.6 Cálculo de modelo real	193
CONCLUSIONES	194
RECOMENDACIONES	195
BIBLIOGRAFÍA	196

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.2 Principio y Fundamento del Transformador	6
Ilustración 2.2 Instalación de transformadores en poste	7
Ilustración 3.2 Instalación de transformadores en plataforma	8
Ilustración 4.2 Transformador de distribución convencional.....	9
Ilustración 5.2 Transformador de distribución auto-protégido	10
Ilustración 6.2 Vista desde el nivel del suelo hacia un transformador	11
Ilustración 7.2 Prueba de polaridad de un transformador	12
Ilustración 8.2 Prueba sustractiva	13
Ilustración 9.2 Prueba aditiva	13
Ilustración 10.2 Núcleo magnético	14
Ilustración 11.2 Construcción de devanado o bobina	17
Ilustración 12.2 Boquillas, bushings y terminales	17
Ilustración 13.2 Tanque con aletas	18
Ilustración 14.2 Aceite aislante y medio refrigerante	19
Ilustración 15.2 Conmutador o tap	19
Ilustración 16.2 Indicadores y medidores	20
Ilustración 17.2 Bushig de media tensión	22
Ilustración 18.2 Arreglo de bobinas A.T. - B.T. con núcleo tipo Wescor	27
Ilustración 19.2 Núcleo tipo columna y acorazado	28
Ilustración 20.2 Arcada del núcleo tipo acorazado.....	36
Ilustración 21.2 Corte transversal de la sección del núcleo	37
Ilustración 22.2 Croquis mostrando el arreglo de las bobinas primarias y secundarias sobre una pierna del núcleo	43
Ilustración 23.2 Representación física de las arcadas	51
Ilustración 24.2 Arcada completamente abierta.	53
Ilustración 25.2 Diagrama de modelo real	55
Ilustración 26.2 Lazo de histéresis y curva de magnetización	55
Ilustración 27.2 Circuito equivalente del modelo real de un transformador desde el lado de alta tensión	56
Ilustración 28.2 Circuito equivalente resultante.	56
Ilustración 29.2 Circuito equivalente referido al lado primario.	57
Ilustración 30.2 Circuito equivalente referido al lado secundario	57

Ilustración 31.4 Presentación de programa	187
Ilustración 32.4 Ingreso y selección de datos.....	188
Ilustración 33.4 Datos ingresados.....	189
Ilustración 34.4 Presentación de datos técnicos	190
Ilustración 35.4 Presentación de cálculo de núcleo	191
Ilustración 36.4 Presentación de cálculo de bobina	192
Ilustración 37.4 Presentación de modelo real.....	193

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2 Aceros al silicio Designados por American Iron Steel Institute (AISI)	15
Tabla 2.2 Pérdidas específicas de distintos tipos de acero	15
Tabla 3.2 Dimensión de agarraderas de los transformadores.....	22
Tabla 4.2 Bushing definidos por su potencia	23
Tabla 5.2 Características de bornes por normas	24
Tabla 6.2 Normas de construcción y regulación	24
Tabla 7.2 Clasificación de aisladores con tensiones nominales	25
Tabla 8.2 Eficiencia de los transformadores de distribución	26
Tabla 9.2 Normalización de impedancias para los transformadores de distribución .	26
Tabla 10.2 Tabla de regulación de voltaje por Tap	29
Tabla 11.2 Regulación de Tap para transformador de 5KVA.....	31
Tabla 12.2 Valores de densidad de corriente en los transformadores	32
Tabla 13.2 Datos de conductores redondos, de cobre y aluminio	33
Tabla 14.2 Alambre magneto de cobre con doble capa de barniz	43
Tabla 15.2 Distancia mínima para aislamientos mayores	46
Tabla 16.2 Materiales que intervienen en la construcción.	48
Tabla 17.2 2 Datos de peso y tamaño del conductor de cobre	54
Tabla 18.3 Regulación de Tap para transformador de 10KVA.....	68
Tabla 19.3 Regulación de Tap para transformador de 15KVA.....	70
Tabla 20.3 Regulación de Tap para transformador de 25KVA.....	72
Tabla 21.3 Regulación de Tap para transformador de 37.5KVA.....	74
Tabla 22.3 Regulación de Tap para transformador de 50KVA.....	76
Tabla 23.3 Regulación de Tap para transformador de 75KVA.....	78
Tabla 24.3 Regulación de Tap para transformador de 100KVA.....	80
Tabla 25.3 Regulación de Tap para transformador de 167KVA.....	82
Tabla 26.3 Regulación de Tap para transformador de 250KVA.....	84

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1.2 Cálculo Corriente nominal en el primario	29
Fórmula 2.2 Cálculo corriente secundaria	29
Fórmula 3.2 Cálculo de número de espiras	30
Fórmula 4.2 Cálculo de relación de transformación.....	30
Fórmula 5.2 Cálculo de los calibres del conductor.....	32
Fórmula 6.2 Cálculo de área transversal del núcleo	35
Fórmula 7.2 Cálculo de área física del núcleo	36
Fórmula 8.2 Cálculo para núcleo tipo acorazado	37
Fórmula 9.2 Cálculo para número de laminaciones	38
Fórmula 10.2 Cálculo para altura de ventana del núcleo	38
Fórmula 11.2 Cálculo de altura efectiva del devanado secundario	39
Fórmula 12.2 Cálculo de altura efectiva del devanado primario.....	40
Fórmula 13.2 Cálculo de espiras por capa del devanado secundario	41
Fórmula 14.2 Cálculo de espiras por capa del devanado primario	42
Fórmula 15.2 Cálculo para aislamiento entre capas	44
Fórmula 16.2 Cálculo de longitud de la vuelta media del devanado secundario	48
Fórmula 17.2 Cálculo de longitud requerida del devanado secundario.....	48
Fórmula 18.2 Cálculo de peso del conductor por bobina secundaria	49
Fórmula 19.2 Cálculo de longitud de la vuelta medio del devanado primario	49
Fórmula 20.2 Cálculo de longitud requerida del devanado primario	50
Fórmula 21.2 Cálculo de peso del conductor por bobina primaria	50
Fórmula 22.2 Cálculo del ancho de la ventana del núcleo.....	51
Fórmula 23.2 Cálculo para la cara F de la arcada	52
Fórmula 24.2 Cálculo de la longitud media de la arcada.....	52
Fórmula 25.2 Cálculo del peso de la arcada.....	52
Fórmula 26.2 Cálculo para el volumen de acero eléctrico	53
Fórmula 27.2 Cálculo del peso de la arcada.....	53

RESUMEN

TEMA: DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICO TIPO TANQUE.

Autores: Gustavo Jonathan Preciado Mite gpreciado@est.ups.edu.ec
 Jesús Alejandro Rodas Herrera jrodash@est.ups.edu.ec

Director de Tesis:

Ing. Daniel Contreras Ramírez, Msc. dcontreras@est.ups.edu.ec

El presente proyecto trata sobre el estudio para el diseño y construcción de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque en las capacidades de 5, 10, 15, 25, 37.5, 50 KVA en tipo auto-protegido y para las capacidades de 75, 100, 167, 250 KVA en tipo convencionales. Se programará una aplicación en formato JAVA para presentar los resultados calculados de forma matemática y didáctica. Con el objetivo de analizar a fondo los parámetros técnicos que se utilizan para su construcción como: las dimensiones del tanque, tipo de lámina de hierro de silicio, pérdidas del núcleo, peso del núcleo, peso total del transformador, dimensión de los devanados en cobre, peso de los devanados, pérdidas en los devanados, basado en el cumplimiento de normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), estas normas nos indican los pasos técnicos con los que optimizaremos aislamiento, temperatura, pérdidas de potencia, voltajes y corrientes.

El estudio esta direccionado para la región costa con valores de voltaje nominales de distribución de 13200 - 7620 V. Se presentaran los cálculos completos correspondientes para un transformador de 5KVA. Mostrando los resultados equivalentes para su construcción, estos datos facilitaran al proyectista un mejor manejo en el diseño, instalación y conservación de la máquina.

Palabras Claves.

Transformadores, Monofásico, Núcleo, Bobinas, Devanado, Auto-protegidos, Convencionales

ABSTRACT

TOPIC: DESIGN FOR THE BUILDING DISTRIBUTION TRANSFORMER TANK TYPE SINGLE PHASE.

Authors: Gustavo Jonathan Preciado Mite gpreciado@est.ups.edu.ec
 Jesús Alejandro Rodas Herrera jrodash@est.ups.edu.ec

Director:
 Ing. Daniel Contreras Ramírez, Msc. dcontreras@est.ups.edu.ec

This project is about the study for the design and construction of single-phase transformers type distribution tank with capacities of 5, 10, 15, 25, 37.5, 50 KVA in self-protected type and capabilities of 75,100,167,250 KVA conventional type. A Java application format is scheduled to present the results calculated mathematical and didactic way. In order to analyze in depth the technical parameters used for its construction as the tank dimensions, type silicon iron sheet, lost the core, core weight, the total weight of the transformer, size of the copper windings, winding weight, lost in the windings, all these things based on the fulfillment of INEN (Ecuadorian Standardization Institute), these standards indicate the technical steps to optimize the insulation, temperature, losses, voltages and currents.

Addressed to the coastal region with nominal values of voltage distribution 13200 - 7620 V. The corresponding calculations are presented for complete transformer equivalent 5KVA showing results for their construction; these data facilitate the designer to better management in the design, installation and maintenance of the machine.

Key words.

Transformers, single phase, core, coil, winding, self-protected and conventional

INTRODUCCIÓN

En el proceso de cálculo y estudio de los transformadores de distribución se deja de lado una cantidad significativa de conocimientos que no se logran abarcar.

La profundización de estos conocimientos aportaría con gran importancia al uso apropiado y a la optimización de todos los recursos involucrados en este campo, sobre todo a los transformadores de distribución que se encuentran aptos para trabajar a la intemperie y de acuerdo con sus capacidades en KVA son adecuados para instalarse en postes o en cuartos de transformadores para su instalación como banco en redes monofásicas y trifásicas.

En la presente tesis analizaremos el proceso de cálculo, diseño y designación de accesorios con características técnicas para su fabricación, obteniendo un correcto funcionamiento bajo condiciones normales.

Se creará una aplicación en formato JAVA con el fin de realizar el análisis y cálculos necesarios para la construcción de los transformadores, con opciones de cálculo y diseño para la fabricación de bobinas y núcleo, modelo real, uso adecuado de aisladores, tanques de conservación.

El estudio nos indicará los aspectos técnicos a seguir para su construcción, considerando una optimización en dimensionamiento, temperatura, aislamiento, voltaje y corriente previo a su ensamblaje y distribución.

Los transformadores de distribución tipo tanque se fabrican en dos tipos convencionales y auto protegidos con fin de reducir el voltaje de distribución (13,8 / 13,2 KV) al voltaje de residencial (120 / 240 V), los cuales podemos encontrar en su distintas potencias (5,10,15,25,37.5,50,75,100,167,250 KVA).

La problemática que hemos observado es la insuficiencia y poca profundización de los conocimientos y de las características técnicas y eléctricas dentro del estudio de los transformadores.

Por otra parte, otro objetivo del trabajo es realizar una comparación entre los ensayos característicos de los transformadores proporcionados por el fabricante con los empíricos. Así, se valorará que los resultados de los ensayos permitan obtener valores de caídas de tensión, rendimientos, tensiones de vacío, pérdidas en el núcleo y en el cobre, etc. Muy similares a los obtenidos en la etapa de diseño analítico por el fabricante.

CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La finalidad de brindar un apoyo técnico, teórico y práctico sobre el diseño y construcción de los transformadores de distribución tipo tanque que se encuentran en el mercado, esta guía deberá presentar cómo se analizan y calculan los parámetros de construcción del mismo.

1.2 Justificación

El motivo de este proyecto es la necesidad de disponer de una guía para el correcto estudio de los transformadores de distribución tipo tanque, al mismo tiempo presentar cada uno de los cálculos a los que debe someterse para su construcción.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una guía para el correcto cálculo y diseño de los transformadores de distribución incrementando el conocimiento con un dimensionamiento adecuado.

Estudiar el comportamiento que presenta el núcleo y bobinas durante el cálculo de las distintas potencias, y la forma que debe presentarse en los transformadores.

1.3.2 Objetivos específicos

Describir el proceso del cálculo de un transformador de 5KVA para referir a los demás transformadores calculados.

Definir las dimensiones del núcleo en base al proceso de cálculo, también presentará los dimensiones de los devanados de cobre para su diseño y construcción

Analizar el comportamiento de las dimensiones del tanque, núcleo, devanado primario y secundario, tablas técnicas y equipos de protección que presenten todos los transformadores.

Analizar la correcta asignación de los transformadores según su dimensionamiento y carga a instalar.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Principio fundamental del transformador

Un transformador es un dispositivo eléctrico estático, que trasfiere energía eléctrica de un circuito a otro mediante el principio de inducción magnética sin cambiar la frecuencia, es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales en el medidor del cliente.

La potencia que ingresa al equipo, en un transformador ideal, es igual a la que se obtiene a la salida, en las máquinas reales se presenta un porcentaje pequeño de pérdidas, esto depende de su tamaño, diseño, etc.

Los transformadores están constituidos, básicamente, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio, a estas bobinas o devanados se les denomina primarios y secundarios dependiendo cuál de ellos corresponda a la entrada o salida del sistema de transformación, respectivamente.

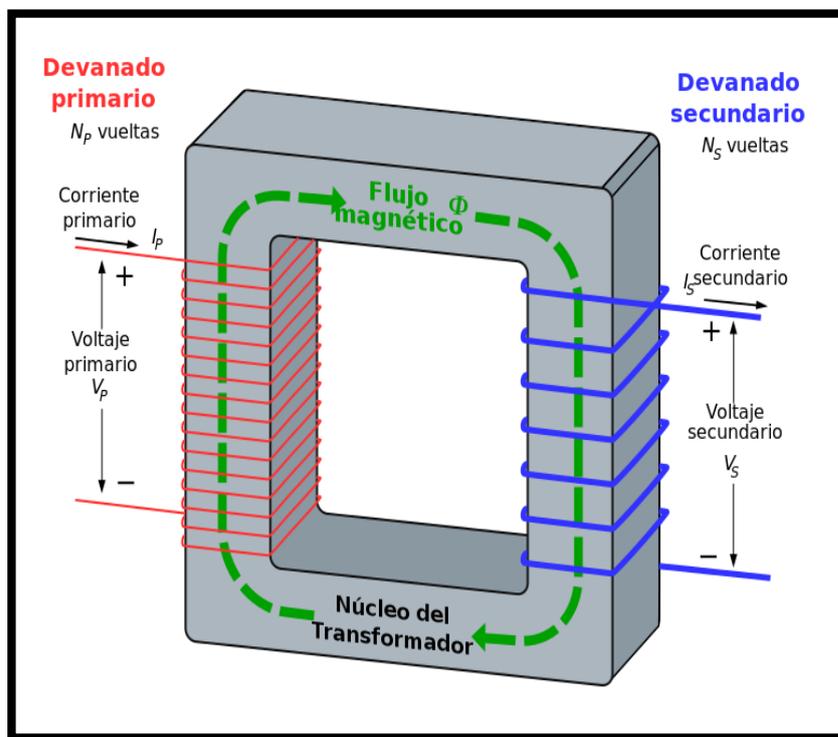
El transformador eléctrico por ser una maquina estática tiene ventajas sobre las máquinas rotativas ya que no tiene pérdidas mecánicas, las únicas pérdidas que existen del transformador son eléctricas y del hierro, por esta razón su rendimiento es alto.

2.2 Funcionamiento del transformador

El transformador funciona bajo el principio de inducción electromagnética, cuando dos bobinas son acopladas inductivamente, el flujo magnético que atraviesa por una de ellas, también atraviesa por la otra de forma parcial o total, esto significa que las dos bobinas tienen un circuito magnético común

Al conectar una fuente de corriente alterna a una bobina o a un conjunto de ellas denominado primario, la corriente y el flujo resultantes cambia de forma periódica y automática en magnitud y dirección provocando que cambie el flujo que eslabona a las bobinas acopladas, de esta manera se creará un voltaje inducido en la segunda bobina denominado secundario. El voltaje inducido en la bobina primaria recibe el nombre de voltaje transformado y la acción que lo crea se conoce como acción transformadora.

Ilustración 1.2 Principio y Fundamento del Transformador



Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/33/Transformer3d_col3_es.svg/220px-Transformer3d_col3_es.svg.png

Si no hay movimiento relativo entre las bobinas, la frecuencia del voltaje inducido en la segunda bobina es exactamente la misma que la frecuencia en la primera. Si se conecta una carga al secundario provocará que circule una corriente, transfiriendo la energía de circuito a otro sin tener ningún tipo de conexión eléctrica solo transmitida por acción electromagnética a esto se le llama acción transformadora.

2.3 Transformador de distribución

Se denomina transformadores de distribución a los transformadores de potencias iguales o inferiores a 330 KVA, tanto monofásicos como trifásicos, son diseñados bajo normas nacionales INEN 2120 y las normas internacionales ANSI/IEEE C57.12.

En todo sistema de potencia, los transformadores de distribución son la última fase para la utilización de la energía eléctrica en alta o baja tensión.

Lo definimos como un aparato estático que tiene una capacidad nominal desde los 5 KVA hasta los 333 KVA.

Su rango de fabricación es:

Convencionales – Desde 5KVA hasta 333KVA

Auto-protegidos – Desde 5KVA hasta 75KVA

La gran mayoría de estos transformadores son proyectados para trabajar montados sobre postes, algunos de los tamaños de potencia superior, son construidos para trabajar en subestaciones o en plataformas. Su utilización generalmente es para proveer de energía a residencias, edificios, centros comerciales, fincas, almacenes públicos, talleres, etc.

Ilustración 2.2 Instalación de transformadores en poste



Fuente:<http://www.monografias.com/trabajos77/proceso-sustitucion-transformador-portencia/image001.jpg>.

Ilustración 3.2 Instalación de transformadores en plataforma



Fuente: <http://www.hbse.cl/wp-content/uploads/2010/05/regulador-volt2.jpg>

Dentro de los transformadores de distribución existen cuatro tipos: tipo pedestal, tipo subestación, tipo sumergible y tipo poste. De entre estos el transformador de distribución tipo poste es el más comúnmente empleado en los sistemas de distribución, por lo que esta tesis estará enfocada en el estudio de este. Sin embargo, decimos en forma anticipada que el procedimiento del cálculo del diseño constructivo del conjunto núcleo bobina, prácticamente es el mismo para los cuatro tipos, solo hay cambios en su presentación externa, ósea en la configuración de su tanque o cuba y de los accesorios adicionales.

2.4 Transformadores de distribución monofásico tipo tanque

2.4.1 Transformador convencional

Los transformadores tipo convencional están constituidos de núcleo y bobinas montados, de manera segura, en un tanque cargado con aceite; hacia fuera llevan las terminales necesarias que pasan a través de bujes apropiados.

Ilustración 4.2 Transformador de distribución convencional



Fuente: Pagina web Inatra.

Los bujes de alto voltaje son dos, también consta de una terminal de tierra en la pared del tanque conectada al extremo. Este tipo de transformadores incluye solo la estructura básica del transformador sin equipo de protección alguna.

La protección deseada por sobre voltaje, sobrecarga y cortocircuito se obtiene usando apartarrayos e interrupciones primarias de fusibles montados separadamente en el poste o en la cruceta ubicadas muy cerca del transformador.

La interrupción primaria del fusible proporciona un medio para detectar a simple vista los fusibles quemados en el sistema primario, además sirven también para sacar el transformador de la línea de alto voltaje, ya sea manual, cuando amerite la situación, o automáticamente en el caso de falla interna de las bobinas.

2.4.2 Transformador auto-protegido

El transformador auto-protegido es aquel que tiene incorporado protecciones contra sobrevoltajes, sobrecargas y elementos aisladores montados en su interior, un eslabón protector de montaje interno conectado en serie con el devanado de alto

voltaje para desconectar el transformador de la línea en caso de falla interna de las bobinas, y un apartarrayo montado en forma integral en la parte superior exterior del tanque para protección por sobre-voltaje.

Ilustración 5.2 Transformador de distribución auto-protégido



Fuente: Pagina web Inatra.

Todos estos transformadores con capacidad de mayor o igual a 5KVA, tienen una lámpara de señal que opera cuando se llega a una temperatura de sobrecarga de manera que advierte la falla antes del disparo.

Si no se atiende la señal y el cortocircuito dispara, puede restablecerse este y restaurarse la carga por medio de un asa externa.

Es común que esto se logre con el ajuste normal del cortocircuito, pero si la carga se ha sostenido por un tiempo prolongado tal que haya permitido al aceite alcanzar una temperatura elevada, el cortocircuito podrá dispararse de nuevo en breve o podrá ser imposible restablecerlo para que permanezca cerrado.

En tales casos, puede ajustarse la temperatura de disparo por medio de una asa externa auxiliar de control para que pueda volverse a cerrar el cortocircuito por la emergencia hasta que pueda instalarse un transformador más grande.

2.4.3 Instalación de los transformadores en los postes

Estos transformadores se instalan en los postes de la siguiente manera:

Los menores de 100KVA se sujetan directamente con pernos, llamados técnicamente como herrajes, al poste y los de tamaño de 167 a 333 KVA tienen zapatas de soporte sujetas al transformador diseñadas para atornillarse a placas adaptadoras para su montaje directo en los postes o para colgarse de crucetas por medio de suspensores de acero que están sujetos con firmeza al propio transformador.

Ilustración 6.2 Vista desde el nivel del suelo hacia un transformador



Elaborado por: Los autores.

2.5 Polaridad de un transformador

La polaridad en un transformador es la acción de identificar el terminal por el cual entra la corriente de la fuente y por cual terminal sale la corriente hacia la carga,

entendiéndose como polaridad a la dirección relativa de la fem inducida en cada devanado.

Es importante determinar la polaridad del transformador cuando se realiza acoplamientos en paralelo, cuando se realiza conexiones trifásicas, o cuándo se forman banco de transformadores.

Antes de empezar a determinar la polaridad relativa instantánea se identifica mediante el multímetro la continuidad del arrollamiento, esto quiere decir que se identifica cada una de las bobinas del transformador.

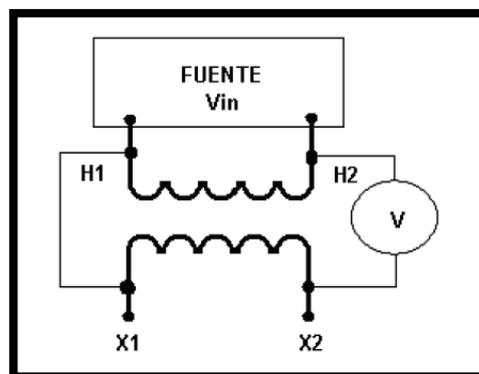
2.5.1 Polaridad de un transformador

El ensayo de polaridad, como se desarrolla a continuación, asigna a los terminales ubicados a la izquierda con las letras H1 y X1 respectivamente, se conecta por medio de un puente estos puntos, se alimenta el devanado H1 y H2 con c.a. (V), por medio de un voltímetro que está conectado entre H2 y X2, se realiza las lecturas dándonos como resultado:

$V > V_{in}$ la polaridad es aditiva.

$V < V_{in}$ la polaridad es sustractiva.

Ilustración 7.2 Prueba de polaridad de un transformador

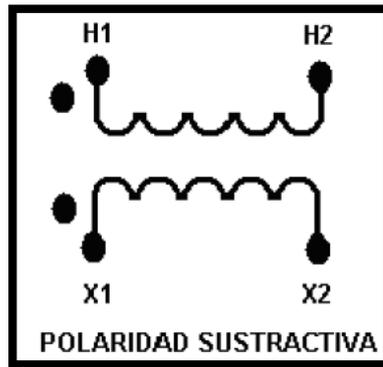


Elaborado por: Los autores.

Para marcar la polaridad se lo hace por medio de un punto (.), asterisco (*) o una cruz(x) para el lado de alto voltaje (H1), mientras que el otro se le marca solo con la letra (H2). De igual forma se marca con un punto (.), asterisco (*) o una cruz(x), al lado de bajo voltaje (X1), mientras que el otro lado se señala con la letra (X2).

Cuando la polaridad es sustractiva los puntos de marca de la bobina de alta como la de baja van al lado izquierdo.

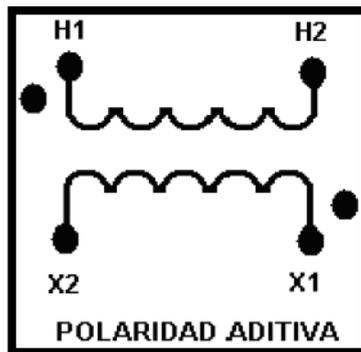
Ilustración 8.2 Prueba sustractiva



Elaborado por: Los autores.

Cuando la polaridad es aditiva los puntos de marca estarán cruzados

Ilustración 9.2 Prueba aditiva



Elaborado por: Los autores.

2.6 Elementos del transformador

El transformador eléctrico está constituido por varios elementos, a continuación se detallaran las más importantes.

2.6.1 Núcleo magnético

El material más comúnmente empleado en la fabricación de núcleos de transformadores se conoce como lámina de acero al silicio. Esta lámina consiste fundamentalmente de una aleación de hierro y silicio de bajo contenido de carbón y es obtenida a través de un proceso de rolado en frío. Adicionalmente, ambas caras de la lámina se recubren con un material aislante conocido como Carlite. Comercialmente existen varios tipos de aceros al silicio de diferentes espesores y pérdidas.

Ilustración 10.2 Núcleo magnético



Fuente:http://ar4img.allhaving.com//upload/2505/b/4_1_4_amorphous_metal_core_distribution_transformer

Tabla 1.2 Aceros al silicio Designados por American Iron Steel Institute (AISI)

Tipo	Grado designación AISI
Aceros al silicio no orientados	M-15 M-19 M-22 M-27 M-36 M-43 M-45 M-47
Aceros al silicio orientados	M-3 M-4 M-5 M-6
Aceros al silicio orientados de alta permeabilidad	

Fuente: Obteniendo pérdidas y eficiencia de Herrera García Sergio, Mahla Pérez Adolfo, Martínez Vega Gustavo Enrique - Instituto politécnico nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Los aceros de bajas pérdidas, permiten disminuir las pérdidas en los sistemas de distribución, con menor consumo de energía activa en los transformadores.

Tabla 2.2 Perdidas específicas de distintos tipos de acero

Tipo de Acero	Grosor (mm)	Watt/Kg (max garantizado)	Watt/Kg (tipicos)
M4	0,28	1,68	1,54
M3	0,23	1,55	1,43
MOH	0,23	1,32	1,2
23 RGH090	0,23	1,19	1,12
Acero Amorfo	0,15	0,25	0,183

Fuente: http://www.betsime.disaic.cu/secciones/tec_ja_06.htm

Estos aceros permiten realizar un ahorro importante de energía a lo largo del tiempo, justificando de esta manera la diferencia en costo, comparado con los aceros convencionales permiten utilizar densidades de flujo mayores que las utilizadas en los últimos, satisfaciendo los requerimientos y permitiendo además:

- Disminución de la cantidad de aislante utilizado.
- Disminución de la espira media de los conductores.
- Disminución de las dimensiones del núcleo.
- Disminución de las dimensiones del tanque.
- Disminución de las pérdidas en los devanados.
- Disminución de la cantidad de aceite requerido.

Los núcleos son producidos a partir de chapa de hierro silicio de grano orientado, con espesores entre 0,23 y 0,35 mm, en calidades comerciales estándares (tipo M3, M4 o M5), o tipo HiBi (chapas de hierro silicio con grano orientado tratadas por láser), utilizándose este último material cuando los requisitos de los clientes, a través de compras con capitalización de pérdidas, hacen necesario valores reducidos de pérdidas en vacío.

Las chapas utilizadas, en todos los casos presentan aislación eléctrica en ambas caras a través de una delgada película de material inorgánico la cual presenta alta resistencia mecánica a los aceites minerales y a las altas temperaturas.

2.6.2 Devanado

Una de las bobinas se conecta a la fuente de energía eléctrica alterna y el segundo se encarga de suministrar energía eléctrica a las cargas. El devanado que se conecta a la fuente de potencia es llamado primario o de entrada, y el que se conecta a la carga se le llama secundario; por la corriente y número de espiras, pueden ser de alambre delgado, alambre grueso o incluso de barra. La función de los devanados es crear un campo magnético (primario) y utilizar el flujo para inducir una fuerza electromotriz (secundario).

Ilustración 11.2 Construcción de devanado o bobina



Fuente: <http://www.fyringenieros.com/wp-content/uploads/2014/12/transformadores-de-distribucion-reparacion2.jpg>

2.6.3 Boquillas terminales

Se emplean para permitir el paso de la corriente a través del transformador en régimen nominal y de sobrecarga, también para mantener el aislamiento tanto para tensión nominal como para sobretensiones además de resistir esfuerzos mecánicos.

Ilustración 12.2 Boquillas, bushings y terminales



Fuente: <http://www.tyasamex.com.mx/imagenes/acctrandormadores.jpg>

2.6.4 Tanque o cubierta

Su función principal es la de radiar el calor producido dentro del transformador el tanque, es un elemento indispensable en aquellos transformadores cuyo medio de refrigeración no es el aire.

Dependiendo de su diseño existen tanques lisos, con aletas, con ondulaciones y con radiadores, sujeta su selección al tipo de aceite y medio de refrigeración.

Ilustración 13.2 Tanque con aletas



Fuente: Pagina web INATRA.

2.6.5 Medio refrigerante

Puede ser líquido, usado en la mayoría de los casos de transformadores de gran potencia, sólido o semisólido. Debe ser buen conductor de calor, se lo utiliza para mantener al transformador dentro de los niveles de temperatura aceptables, ya que de no cumplir su función los aislamientos reducirán considerablemente su tiempo de vida útil.

Ilustración 14.2 Aceite aislante y medio refrigerante



Fuente: http://www.oilservehai.com/images/column_1267540242/Oil%20Drop.jpg

2.6.6 Conmutadores y auxiliares

Llamados también taps, se encargan de compensar las variaciones de tensión en la red, de manera que aun cuando la tensión primaria no sea la nominal se pueda ajustar la diferencia dentro de un rango de $\pm 5\%$ para que la tensión secundaria sea la requerida, en otras palabras cambiar la relación de voltajes de entrada y salida.

Ilustración 15.2 Conmutador o tap



Fuente: <http://seielectric.com/esp/wp-content/uploads/2012/12/sei-de-energized-rotary-tap-changer-thumb.jpg>

2.6.7 Indicadores

Elementos que se encargan de señalar el estado del transformador, indicando el nivel del líquido, de temperatura, la presión, etc.

Ilustración 16.2 Indicadores y medidores



Fuente: <http://www.gaesti.com.mx/images/page3-img1.jpg>

2.7 Características para la construcción y ajustes

Los cálculos de un transformador son las especificaciones técnicas en cuanto a construcción se refieren, todo transformador tiene determinados valores de cálculo pero en cuanto a lo que se refiere a procedimiento y al desarrollo de estos es el mismo para todos. Los transformadores de distribución son los más comunes y estos deben diseñarse con una excelente eficiencia para poder cubrir “todo el día” y no para que la eficiencia sea más alta a plena carga, pues estos transformadores son auto enfriados en su mayoría sumergidos en aceite dieléctrico, y se encuentran continuamente en operación, ya sea que se encuentre tomando corriente la carga o no la esté tomando.

Las pérdidas del hierro deben ser menores a las pérdidas del cobre en plena carga, característica que tienen los transformadores de potencia.

Los datos que se utilizan para el cálculo del diseño deben siempre ajustarse al sistema eléctrico de potencia de cada región, estos datos son generalmente: voltajes del primario (voltaje de entrada), voltajes del secundario (voltaje de salida) tanto en la líneas como en la fase con carga, para el factor de potencia 1 y 0.8 ($\cos \phi = 1$ o 0,8) y la capacidad en KVA, así también no se puede dejar de lado los parámetros eléctricos tales como: porcentaje de impedancia (%Z), porcentaje de la corriente de excitación (%I0), las pérdidas en vacío (PFe), las pérdidas de carga (PCu) y la eficiencia, estos parámetros restricciones de garantía.

2.7.1 Características constructivas

El diseño de los transformadores será del tipo cámara de aire bajo la tapa, y el sellado se realizará mediante la conformidad de la norma IEEE C57.12.00. Para eliminar las sobrepresiones internas, los tanques están equipados con una válvula de alivio de presión, de acuerdo con la norma ANSI C57.12.20, acápite 6.2.5

El desplazamiento de la válvula debido al aumento de la presión interna en el equipo, debe indicarse visualmente con un color que refleje los niveles de aumento de la presión. En el interior de los tanques existe una marca que indica el nivel de aceite nominal a 25 °C, de acuerdo con la norma ANSI C57.12.20 acápite 6.2.5

Se dispondrán de dos tornillos para la conexión de puesta a tierra, uno del mismo tanque, y el otro para conectar el borne secundario del neutro al tanque mediante una cinta de cobre removible y con tornillo más arandelas (estos elementos deberán venir instaladas de fábrica), de acuerdo al acápite 6.5.4

Los tanques disponen de dos soportes colocados debajo de los bornes de baja tensión para su sujeción al apoyo de acuerdo al acápite 6.5.2. Las dimensiones y características de dichas agarraderas se definen en la tabla y en la figura mostrada a continuación. Adicionalmente debe disponer de forma permanente de unas agarraderas que permitan alzar el transformador de acuerdo al acápite 6.2.4. Las diferentes tipos de agarradera se definen en la norma ANSI C57.12.20.

Tabla 3.2 Dimensión de agarraderas de los transformadores

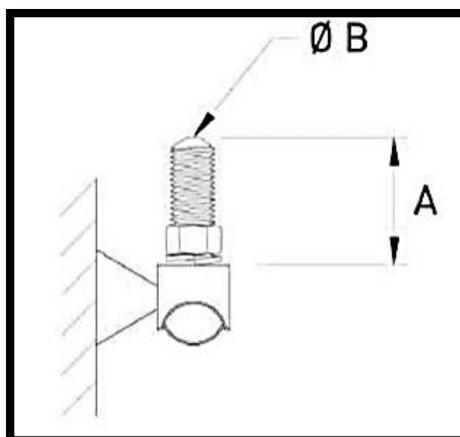
Dimensiones de las agarraderas de los transformadores				
Tensión (kV)	Potencia (kVA)	Tipo de agarradera	L (mm)	Z (mm)
12.47/7.2	25, 37.5 y 50	A	286 (11-1/4")	381 ± 76 (15 ± 3")
	75	B	591 (23-1/4")	

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Los transformadores dispondrán de una sola borne de media tensión, si es auto-protegido, y de dos bornes de media tensión, si son convencionales, estas bornes son de porcelana, apta para el uso en intemperie de acuerdo al acápite 6.1.1.

El conector del terminal de la borne será de aleación de cobre estañado, sin soldaduras de acuerdo al acápite 6.1.2. Los conectores de baja tensión de los transformadores tipo poste son del tipo anillo apernado para potencias de 5KVA hasta 333KVA. Sus características dimensionales serán las indicadas en la norma ANSI C57.12.20-1997. A continuación se resumen dichas dimensiones.

Ilustración 17.2 Bushig de media tensión



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Tabla 4.2 Bushing definidos por su potencia

Dimensiones terminales de BT	Potencia Transformador (kVA)			
	25	37,5	50	75
(A) Longitud libre mínima del perno (mm/") (1)	35 (1-3/8")			
(B) Diámetro perno (mm/")	12,7 (1/2")		23,8 (15/16")	

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Los transformadores disponen de un soporte para la instalación de un pararrayos en la cuba, próximo al borne de media tensión tanto este soporte como el pararrayos, deben suministrarse instalados, conjuntamente con el transformador.

Los transformadores están equipados con un intercambiador de tomas externo según la norma ANSI C57.12.20 apdo. 6.2.1., el cual podrá regular la tensión en cuatro escalones. La tensión nominal estará en la posición dos (2), es decir, con un escalón hacia arriba y tres hacia abajo.

El valor mayor al nominal es +2.5% y los tres valores menores al nominal -2.5%, -5.0 % y -7.5 %. Las distancias de seguridad entre las partes de cada transformador en tensión serán las indicadas en el apartado 6.8 de la norma IEEE C57.12.00.

2.7.2 Características dimensionales

Los bornes de media y baja tensión deben cumplir como mínimo las características indicadas en la norma ANSI C57.19.01, IEEE C57.12.00 y en la norma ANSI C57.12.20, resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 5.2 Características de bornes por normas

BORNAS	12.47 kV	B.T.
Tensión soportada a impulso tipo rayo (BIL) primaria (kV)	95	30
Tensión soportada a frecuencia industrial en seco, 1 min (kV)	35	10
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia, 10 seg. (kV)	30	6
Línea de fuga mínima (mm/ ")	$\geq 267 \pm 13$ ($\geq 10-1/2 \pm 1/2$ ")	-----

Fuente: Normas ANSI C57.19.01, IEEE C57.12.0

Los terminales salvo indicación contraria serán de color gris claro número 70, correspondiente a la notación Munsell 5BG7.0/0.4, como observa la norma ANSI C57.12.20, apartado 6.1.1.3. Los niveles de aislamiento para diferentes altitudes, serán corregidos de acuerdo con el apartado 4.3.2 de la norma IEEE C57.12.00. En ningún caso el nivel de aislamiento resultante será inferior al indicado en la tabla anterior.

Tabla 6.2 Normas de construcción y regulación

NORMA	FECHA	TÍTULO
IEEE C57.12.00	1993	IEEE Standard General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers.
ANSI C57.12.20	1997	Overhead-Type Distribution Transformers, 500 kVA and Smaller: High Voltage, 34 500 V and Below; Low Voltage 7 970/13 800Y Volts and Below
ANSI C57.12.70		Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers
IEEE C57.12.90	1999	IEEE Standard Test Code for Liquid Immersed, Distribution, Power, and Regulating Transformers.
ANSI C57.19.01	2000	Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Apparatus Bushings
ASTM D3487	2000	Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus
ASTM D117	1996	Standard Guide for Sampling, Test Methods, Specifications, and Guide for Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin

Fuente: Normas ANSI C57.19.01, IEEE C57.12.00

Tabla 7.2 Clasificación de aisladores con tensiones nominales

CLASE DE AISLAMIENTO KV	TENSIONES EN VOLTIOS
1.2	120/240 240/120 220/127 440/254 480/277
5	4.160
8.7	7.620
15	13.200 13.800
25	19.050 20.000 22.860 23.000
34.5	33.000 34.500
46	46.000
69	66.000

**Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez**

Tabla 8.2 Eficiencia de los transformadores de distribución

CAPACIDAD (KVA)	CLASE DE AISLAMIENTO		
	HASTA 15 KV	HASTA 25 KV	HASTA 34.5 KV
5	97.90	97.80	97.70
10	98.25	98.15	98.05
15	98.40	98.30	98.20
25	98.55	98.45	98.25
37.5	98.65	98.55	98.45
50	98.75	98.65	98.55
75	98.90	98.80	98.70
100	98.95	98.85	98.75
167	99.00	98.90	98.80

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Tabla 9.2 Normalización de impedancias para los transformadores de distribución

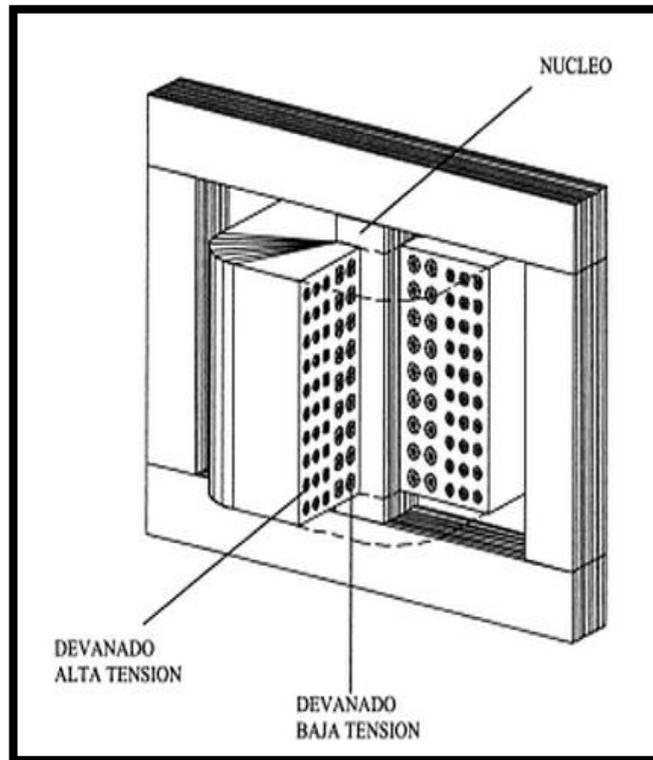
FASES	VOLTIOS ALTA TENSION	% Z (IMPEDANCIA)
1	13.200 13.200 YT / 7620	1.4 a 3.5

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Consideraremos que el transformador a ser construido va a tener un arreglo de bobina (baja tensión – alta tensión) (A.T. – B.T.) y que el devanado de baja tensión se elaborará con hoja de aluminio en lugar de cobre, esto a conveniencia de reducir el peso del transformador, además que también reduciremos los efectos electromagnéticos producidos por las corrientes de cortocircuito. Cabe notar que al requerirse un gran número de transformadores en los sistemas de distribución actualmente se prefiere diseñarlos con núcleos arrollados (tipo Wescor) en lugar de

utilizar núcleos apilados, dado que tiene la ventaja de la producción en serie además que son mucho más eficientes en operación.

Ilustración 18.2 Arreglo de bobinas A.T. - B.T. con núcleo tipo Wescor



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

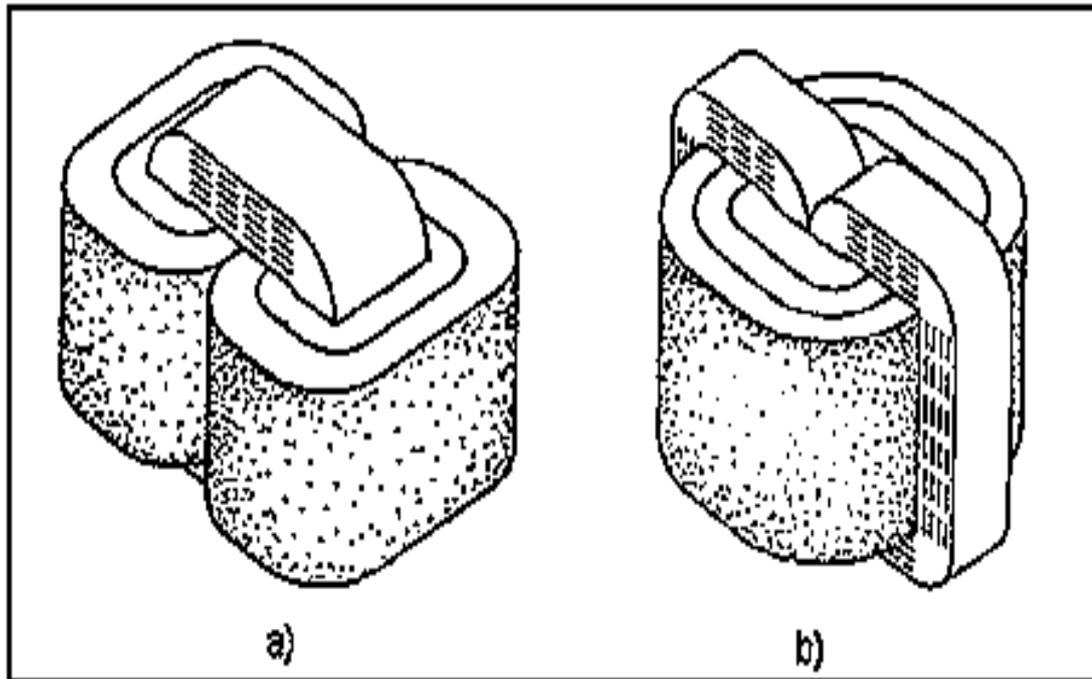
2.7.3 Descripción del tipo de transformador y repartición de devanados

Existen dos tipos fundamentales de estructuras de transformadores: el tipo núcleo y el tipo acorazado, dentro de estos existe un número relativamente grande de variaciones, tanto en lo referente a estructura como a la disposición de los devanados. La estructura tipo acorazado está constituida por tres columnas, caso del núcleo acorazado rectangular, o más, en el caso de que el núcleo sea acorazado circular. Los devanados tanto de alto voltaje como de bajo voltaje se hallan ubicados en un solo paquete, dispuesto en el centro de la estructura. La estructura tipo núcleo

columna está constituida por dos brazos y dos columnas. Los devanados, tanto de alto como de bajo voltaje pueden disponerse en una o las dos columnas.

En la actualidad se fabrica casi enteramente los transformadores con núcleo acorazado

Ilustración 19.2 Núcleo tipo columna y acorazado



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

2.8 Cálculo para la construcción de devanados primarias y secundarias de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque

2.8.1 Cálculo de tensión y de corriente en los devanados de los transformadores de distribución monofásicos tipo tanque.

En la siguiente tabla tenemos las distintas posiciones del tap (+1, -3 x 2.5 %), y sus respectivos niveles de voltaje.

Tabla 10.2 Tabla de regulación de voltaje por Tap

TAP	+1	Nominal	-1	-2	-3
VOLTAJE DE LINEA	7810.5	7620	7429.5	7239	70485

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 5KVA.

Fórmula 1.2 Cálculo Corriente nominal en el primario

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{5KVA}{7620V} = 0.6562 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{5KVA}{7810.5V} = 0.6402 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{5KVA}{7048.5 V} = 0.7094 A$$

Corriente en el secundario:

Fórmula 2.2 Cálculo corriente secundaria

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{5KVA}{240V} = 20.8333 A$$

2.8.2 Cálculo de número de espiras, sección del conductor

Cálculo de número de espiras, sección del conductor del transformador de 5KVA.

Se puede determinar el número inicial de vueltas mediante dos métodos que son:

- a) A partir de un diseño similar a disposición.

La determinación empírica de la relación $V_t = \text{Volts} / \text{vuelta}$, en cuyo caso utilizamos la siguiente formula:

Fórmula 3.2 Cálculo de número de espiras

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{KVA}{(Z/5)^{1/2}}}$$

Donde:

Z = % de impedancia (2.1%), (de la tabla 3, y dato del fabricante.

KVA = KVA del transformador (5 KVA)

Por lo tanto:

Fórmula 4.2 Cálculo de relación de transformación

$$N_1 = \frac{V_1}{V_t} \text{ y } N_2 = \frac{V_2}{V_t}$$

Despejando valores tenemos lo siguiente:

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{5}{(2.1/5)^{1/2}}} = 3.055$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{3.055} = 78.5597$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 79 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{3.055} = 2494.27$$

El número entero en este caso sería 2494 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$2494 \text{ espiras} * 1,025 = 2556 \text{ espiras}$$

$$2494 \text{ espiras} * 0,975 = 2432 \text{ espiras}$$

$$2494 \text{ espiras} * 0,95 = 2369 \text{ espiras}$$

$$2494 \text{ espiras} * 0,925 = 2307 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 11.2 Regulación de Tap para transformador de 5KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810,5	2556
NOMINAL	7620	2494
-1	7429,5	2432
-2	7239	2369
-3	7048,5	2307

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Para este cálculo es común tomar la densidad de corriente (δ), la cual debe estar dentro de los siguientes valores:

Tabla 12.2 Valores de densidad de corriente en los transformadores

Tipo	Densidad (δ)
Transformadores Sumergidos	2,5 @ 3,5 A/mm ²
Transformadores Secos	1,5 @ 2,5 A/mm ²

Elaborado por: Los autores.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

Fórmula 5.2 Cálculo de los calibres del conductor

$$Conductor = \frac{Ip3}{\delta}$$

$$Conductor = \frac{0,7094 A}{3 A/mm^2} = 0,2364 mm^2$$

Con este valor, se revisa la tabla 10.3 de conductores y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 23 AWG para la bobina de alta tensión.

Tabla 13.2 Datos de conductores redondos, de cobre y aluminio

Alambre Calibre AWG	Diámetro en milímetros			Área sección trasversal		Resistencia a 20°C al 100% de conductividad	
	mínimo	nominal	Máximo	Milímetros Circulares	mm ²	COBRE	
						Ohms/Kg	Ohms/Kg
4/0	11,567	11,684	11,801	136,51	107,21	0,1608	0,0001687
3/0	10,3	10,404	10,508	108,24	85,01	0,2028	0,0002684
2/0	9,174	9,266	9,357	85,56	67,43	0,2557	0,0004265
1/0	8,171	8,252	8,334	68,1	53,49	0,3223	0,0006779
1	7,275	7,348	7,422	53,99	42,41	0,4066	0,001078
2	6,477	6,543	6,609	42,81	33,62	0,5128	0,001715
3	5,768	5,827	5,885	33,95	26,67	0,6466	0,002728
4	5,138	5,189	5,215	26,93	21,15	0,4152	0,004336
5	4,575	4,62	4,643	21,34	16,77	1,028	0,0069
6	4,074	4,115	4,135	16,93	13,3	1,297	0,011097
7	3,63	3,665	3,683	13,43	10,55	1,694	0,01742
8	3,231	3,264	3,282	10,65	8,367	2,061	0,0277
9	2,878	2,906	2,921	8,445	6,632	2,6	0,0441
10	2,563	2,588	2,601	6,698	5,261	3,277	0,07006
11	2,281	2,304	2,316	5,308	4,169	4,14	0,112
12	2,032	2,052	2,062	4,211	3,307	5,21	0,177
13	1,811	1,829	1,839	3,345	2,627	6,56	0,281
14	1,613	1,628	1,636	2,65	2,082	8,28	0,447
15	1,435	1,45	1,458	2,103	1,651	10,4	0,711
16	1,278	1,29	1,298	1,664	1,307	13,2	1,13
17	1,138	1,151	1,156	1,325	1,04	16,6	1,79
18	1,013	1,024	1,029	1,049	0,823	21	2,86
19	0,902	0,912	0,917	0,832	0,653	26,4	4,75
20	0,805	0,813	0,818	0,661	0,519	33,2	7,2

21	0,716	0,724	0,726	0,524	0,412	41,9	11,4
22	0,635	0,643	0,645	0,413	0,324	53,2	18,4
23	0,569	0,574	0,577	0,329	0,259	66,6	29
24	0,505	0,511	0,513	0,261	0,205	84,2	46,3
25	0,45	0,455	0,457	0,207	0,277	106	73,6
26	0,399	0,404	0,406	0,163	0,128	135	118
27	0,358	0,361	0,363	0,13	0,102	169	186
28	0,317	0,32	0,323	0,102	0,0804	214	300
29	0,284	0,287	0,29	0,0824	0,0647	266	463
30	0,251	0,254	0,257	0,0645	0,0507	340	755
31	0,224	0,226	0,229	0,0511	0,0401	430	1200
32	0,201	0,203	0,206	0,0412	0,0324	532	1840
33	0,178	0,18	0,183	0,0324	0,0255	675	2970
34	0,157	0,16	0,163	0,0256	0,0201	857	4790
35	0,14	0,142	0,145	0,0202	0,0159	1090	7680
36	0,124	0,127	0,13	0,0161	0,0127	1360	12100
37	0,112	0,114	0,117	0,013	0,0103	1680	18400
38	0,099	0,102	0,104	0,0104	0,00811	2130	29500
39	0,086	0,089	0,091	0,0079	0,00621	2780	50300
40	0,076	0,079	0,081	0,0062	0,00487	3540	81800

Fuente: www.mundomanuales.com/imagen/000078.gif

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$conductor = \frac{I_s}{\delta} = \frac{20,8333 A}{3 A/mm^2} = 6,9444 mm^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 9 AWG, para la bobina de baja tensión.

2.8.3 Cálculo de la sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas

Cálculo de área transversal para transformadores de 5KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 15000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

Fórmula 6.2 Cálculo de área transversal del núcleo

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 15000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 2494 * 15000} = 76,4597 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

f_e = Factor de apilamiento, o de laminación (0.95)

Despejando A_f tenemos que:

Fórmula 7.2 Cálculo de área física del núcleo

$$A_f = \frac{An}{f_e}$$

$$A_f = \frac{76,4597 \text{ cm}^2}{0,95} = 80,4839 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

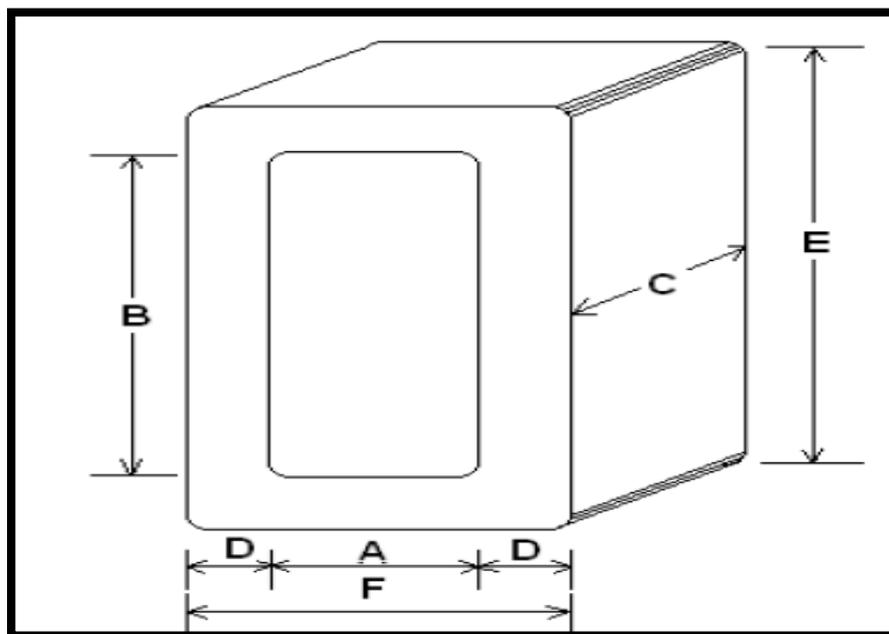
(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

$C = (2 \text{ a } 3) 2D$, para núcleo tipo acorazado.

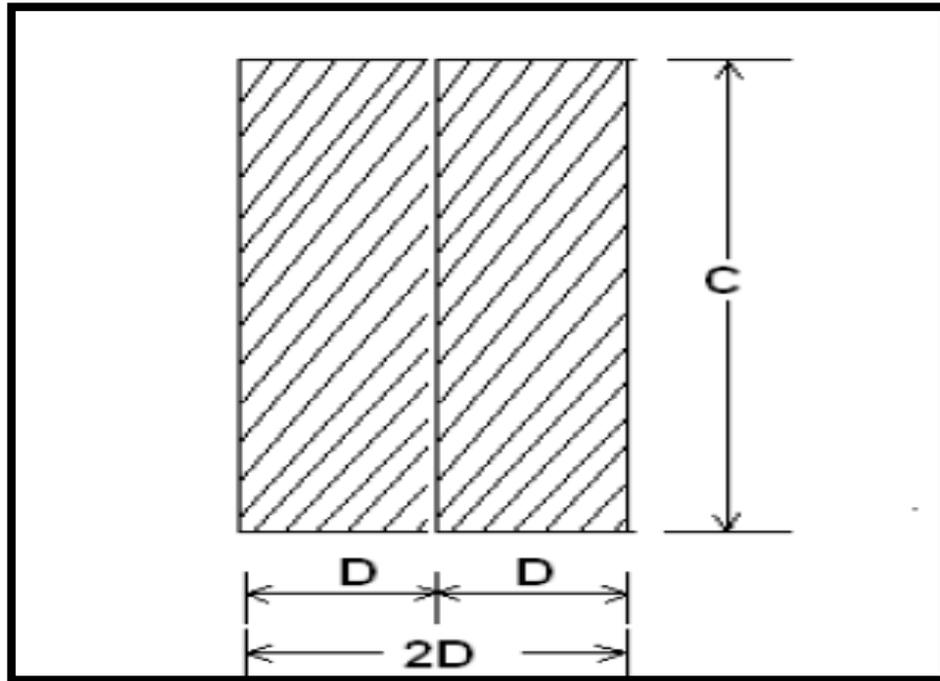
$C = (1,4 \text{ a } 2) D$, para núcleo tipo columna.

Ilustración 20.2 Arcada del núcleo tipo acorazado



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Ilustración 21.2 Corte transversal de la sección del núcleo



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (A_f), con la siguiente expresión:

Fórmula 8.2 Cálculo para núcleo tipo acorazado

$$2D = \frac{A_f}{C}$$

$$2D = \frac{80,4839 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 3,8326 \text{ cm}$$

$$2D = 38,326 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.18 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

Fórmula 9.2 Cálculo para número de laminaciones

$$\# \text{ Laminaciones} = \frac{2D}{0.28}$$

$$\# \text{ Laminaciones} = \frac{38.326 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 137 \text{ vueltas}$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,7 se tiene qué:

Fórmula 10.2 Cálculo para altura de ventana del núcleo

$$B = 2D * 2.7$$

$$B = 38.326 \text{ mm} * 2.7 = 103.4802 \text{ mm}$$

$$B = 10.35 \text{ cm}$$

2.8.4 Cálculo de las dimensiones del devanado y ancho de las ventanas del núcleo

Cálculo de dimensiones del devanado y ancho de ventanas del núcleo para transformadores de 5KVA

El diseño dieléctrico de cualquier máquina eléctrica consiste en determinar las características y dimensiones de cada uno de los aislamientos utilizados, en este caso del transformador, de tal forma que se asegure una operación dieléctrica confiable

De acuerdo a la construcción de dichas figuras, se tiene:

- Aislamiento bajo bobina o tubo de devanado (papel o cartón prensado)
- Aislamiento entre vueltas (barniz o esmalte)
- Aislamiento entre capas (papel kraft o insuldur)
- Aislamiento para collares (papel o cartón prensado)
- Aislamiento entre devanados de B.T. y A.T.
- Aislamiento para envoltorio de la A.T. (papel kraft, insuldur o crepe)
- Aislamiento entre bobinas y yugo
- Aislamiento entre devanados exteriores y núcleo, tanque o herrajes
- Aislamiento entre bobinas de fases diferentes.

La estructura aislante empleada en transformadores se caracterizan por ser de geometría diversas y algunas veces irregulares.

Por este motivo la predicción del comportamiento dieléctrico de los aislamientos se recomienda consultar el libro “TRANSFORMADORES PARA LA INDUSTRIA ELECTRICA” por los autores: Bean, Chackan, Moore y Wentz.

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, ver en la tabla (Tabla 24.3), entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

Fórmula 11.2 Cálculo de altura efectiva del devanado secundario

$$H_s = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_s = 10,3479\text{cm} - 2 (0,8\text{ cm} + 0,317\text{ cm})$$

$$H_s = 8,12\text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, ver en la (Tabla 24.3), entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

Fórmula 12.2 Cálculo de altura efectiva del devanado primario

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 10,$$

$$3479\text{cm} - 2 (1,55\text{ cm} + 0,317\text{ cm})$$

$$H_p = 6,97\text{ cm}$$

Dibujo de hp y hs

Conociendo la altura efectiva de cada uno de los devanados de la bobina podemos calcular el número de espiras por capa: ver (Tabla23.3).

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

Fórmula 13.2 Cálculo de espiras por capa del devanado secundario

$$Espiras\ por\ capa = \frac{Hs}{Dcond.}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 9 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$Espiras\ por\ capa = \frac{81,2\ mm}{3,043\ mm}$$

$$Espiras\ por\ capa = 27$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{79}{27} = 2,96, \text{ aproximadamente: } 3\ \text{capas}$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y número de capas requeridas

Fórmula 14.2 Cálculo de espiras por capa del devanado primario

$$\text{Espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

H_p : altura efectiva del devanado primario.

$D_{\text{cond.}}$: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 23 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{Espiras por capa} = \frac{69,7 \text{ mm}}{0,648 \text{ mm}}$$

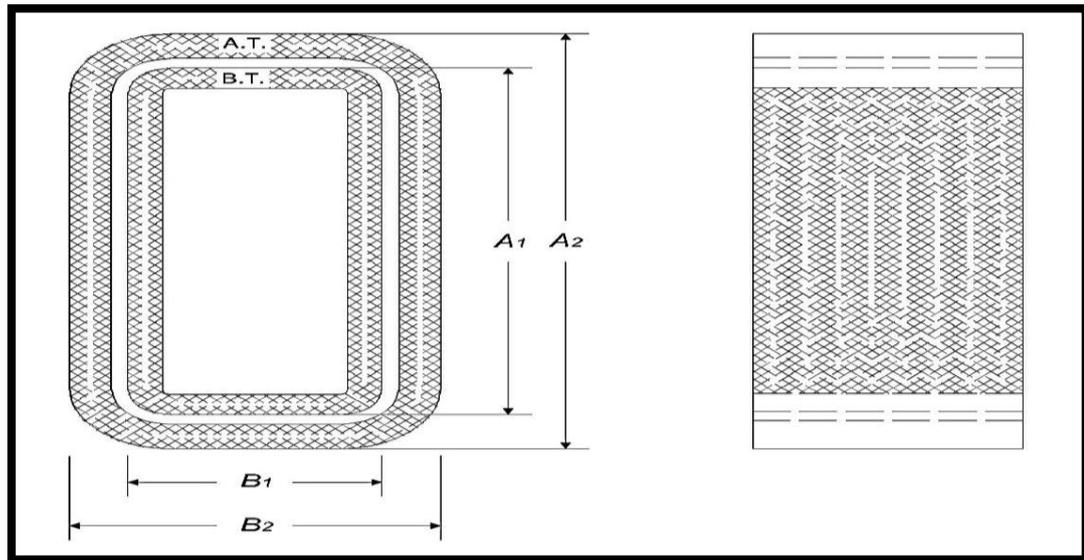
$$\text{Espiras por capa} = 108$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{2556}{108} = 23,75, \text{aproximadamente: } 28 \text{ capas}$$

En la (ilustración 22.3) se muestra el arreglo de salidas de terminales de las bobinas de A.T. y de B.T.

Ilustración 22.2 Croquis mostrando el arreglo de las bobinas primarias y secundarias sobre una pierna del núcleo



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Tabla 14.2 Alambre magneto de cobre con doble capa de barniz

Calibre AWG	Diámetro en mm				Diámetro en pulgadas				Peso Kg/Km	Longitud m/Kg	Resistencia a 20°C Ohm/Km
	Desnudo	Cubierto			Desnudo	Cubierto					
	Nominal	Mínimo	Nominal	Máximo	Nominal	Mínimo	Nominal	Máximo			
8	3,264	3,315	3,363	3,409	0,1285	0,1305	0,1324	0,1342	75,024	13,32	2
9	2,906	2,959	3,002	3,043	0,1144	0,1165	0,1182	0,1198	59,475	16,81	2,6
10	2,588	2,642	2,682	2,72	0,1019	0,104	0,1056	0,1071	47,214	21,18	3,2
11	2,305	2,367	2,395	2,431	0,0907	0,0928	0,0943	0,957	37,46	26,68	4,1
12	2,053	2,118	2,139	2,172	0,0808	0,0829	0,0842	0,0855	29,8	33,55	5,2
13	1,828	1,882	1,913	1,943	0,072	0,0741	0,0753	0,0765	23,66	42,26	6,5
14	1,628	1,681	1,709	1,737	0,0641	0,0666	0,0673	0,0684	18,75	53,46	8,2
15	1,45	1,501	1,529	1,557	0,0571	0,0591	0,0602	0,0613	14,89	67,13	10,4
16	1,291	1,344	1,369	1,392	0,0508	0,0529	0,0539	0,0548	11,829	84,53	13,1
17	1,15	1,201	1,22	1,25	0,0453	0,0473	0,0483	0,0492	9,404	106,3	16,5
18	1,024	1,074	1,097	1,118	0,0403	0,0423	0,0432	0,044	7,47	133,8	20,9
19	0,912	0,96	0,983	1,003	0,0359	0,0378	0,0387	0,0395	5,937	168,4	26,4
20	0,812	0,861	0,879	0,897	0,032	0,0339	0,0346	0,0353	4,702	212,6	33,1
21	0,723	0,77	0,787	0,805	0,0285	0,0303	0,031	0,0317	3,734	267,7	41,9

22	0,644	0,686	0,704	0,721	0,0253	0,027	0,0277	0,0284	2,961	337	53,1
23	0,573	0,617	0,632	0,648	0,0226	0,0243	0,0249	0,0285	2,365	422	66,6
24	0,511	0,544	0,569	0,582	0,0201	0,0218	0,0224	0,0229	1,875	533	84
25	0,455	0,495	0,51	0,523	0,0179	0,0195	0,0201	0,0206	1,495	668	106
26	0,405	0,442	0,457	0,47	0,0159	0,0174	0,018	0,0185	1,188	845	134
27	0,361	0,399	0,409	0,419	0,0142	0,0157	0,0161	0,0165	0,943	1059	168
28	0,321	0,356	0,366	0,376	0,0126	0,014	0,0144	0,0148	0,749	1332	214
29	0,286	0,32	0,33	0,304	0,0113	0,0126	0,013	0,0134	0,596	1675	266
30	0,255	0,284	0,295	0,305	0,01	0,0112	0,0116	0,012	0,473	2113	341
31	0,227	0,257	0,267	0,274	0,0089	0,0101	0,0105	0,0108	0,3779	2645	429
32	0,202	0,231	0,241	0,249	0,008	0,0091	0,0095	0,0098	0,3035	3328	531
33	0,18	0,206	0,216	0,224	0,0071	0,0081	0,0085	0,0088	0,2397	4171	675
34	0,16	0,183	0,191	0,198	0,0063	0,0072	0,0075	0,0078	0,1888	5295	856
35	0,143	0,163	0,17	0,178	0,0056	0,0064	0,0067	0,007	0,1502	6653	1085
36	0,127	0,145	0,152	0,16	0,005	0,0057	0,006	0,0063	0,1194	8368	1361
37	0,113	0,132	0,14	0,145	0,0045	0,0052	0,0055	0,0057	0,0953	10483	1679
38	0,101	0,117	0,124	0,13	0,004	0,0046	0,0049	0,0051	0,0757	13202	2126
39	0,09	0,102	0,109	0,114	0,0035	0,004	0,0043	0,0045	0,0599	16675	2778
40	0,08	0,091	0,096	0,102	0,0031	0,0036	0,0038	0,004	0,0474	21065	3543

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

- **Cálculo de aislamientos menores:** Los aislamientos entre vueltas, capa y secciones de un devanado se conocen como aislamiento menor.
- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor, este valor es constante para todas las bobinas de baja tensión ya sean de aluminio o de cobre, de todas las capacidades de los transformadores de distribución. Por otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

Fórmula 15.2 Cálculo para aislamiento entre capas

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Dónde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

Fs: Factor de seguridad (Fs = 1,8 para baja frecuencia; Fs = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*108}{2556} * 1,8 = 4201,82 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*108}{2307} * 1,8 = 15954,42 \text{ V}$$

Si entramos con estos valores a las curvas de comportamiento, obtenemos un espesor de aislamiento entre vueltas de 0,07 mm (por condición comercial escogemos de 0,254 mm o 0,010”).

Tabla 15.2 Distancia mínima para aislamientos mayores

CLASE DE AISLAMIENTO	Pruebas Dieléctricas		Aislamiento entre Bobinas de A.T.-B.T., aislamiento radial A.T. - núcleo				Collar	Aislamiento Yugo	Aislamiento entre Fases	Claro Bobina-Tanque
	Impulso (NBI)	Potencial aplicado	Tubo de papel	Ducto de aceite	Envolvente	Total Tolerancia				
			Milímetros							
KV										
1,2	30	10	1,5	-	-	1,7	6,5	1,5	1,7	15
5	60	19	-	3	1	4,5	6,5	2	4,7	20
8,7	75	26	0,4	3	1	4,9	10	2	5	25
15	95	34	0,9	3	1	5,5	13	2	6	28
15	110	34	1,4	3	1	6	20	3	8	30
25	150	50	2,5	3	1,8	8,3	32	4,5	10	40
34,5	200	70	4,8	3	1,8	10,8	51	4,5	13	50

Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

El espesor de la bobina lo determinamos en función a los materiales que intervienen en la construcción.

Espesor total de la bobina del transformador de 5KVA

A continuación detallaremos los materiales que intervienen en la construcción de la bobina y calcularemos su espesor total:

- **Tubo devanado:** Esta elaborado de cartón prensado su espesor es de 3,175 mm, para las capacidades desde los 5KVA.
- **Bobina baja tensión:** Sumaremos el total de espesor del conductor que equivaldría al diámetro del calibre conductor de la bobina por el número respectivo de capas de este conductor, y además se sumará el valor del aislante entre capas multiplicado para el número entre capas del conductor.
- **Aislamiento entre bobinas A.T. – B.T.:** este está conformado por 1 capa de papel kraft tratado (isuldur) de 0,25 mm más el forma ducto de cartón prensado de espesor 6,25 mm y finalmente otra capa de papel kraft tratado de 0,25 mm , sumando un espesor de 6,85 mm constantes para todas las capacidades de los transformadores estudiados.
- **Bobina de alta tensión:** está constituida de la misma manera que la bobina de baja tensión, a excepción que a este valor se le suma el sobre aislamiento final en la última capa elaborado de papel y cinta de algodón aportando con un espesor de 0,51 mm aparte de la sumatoria de los conductores y aislantes entre capas.

Tabla 16.2 Materiales que intervienen en la construcción.

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Cartón prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tensión		
conductor (3 capas) + aislamiento (2 capas)	9,27 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de cartón prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tensión		
conductor (24 capas) + aislamiento (23 capas) sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	17,49 = j	
Total	26,78	

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente fórmula:

Fórmula 16.2 Cálculo de longitud de la vuelta media del devanado secundario

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 54,57 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido sería la siguiente:

Fórmula 17.2 Cálculo de longitud requerida del devanado secundario

$$Lc_{bt} = N_{s1} * Lvms$$

Dónde:

N_{s1} = número de espiras del lado secundario

L_{vms} = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{c_{bt}} = 79 * 54,57 \text{ cm}$$

$$L_{c_{bt}} = 0,043 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

Fórmula 18.2 Cálculo de peso del conductor por bobina secundaria

$$\text{Peso del conductor por bobina} = 0,043 \text{ km} * 59,475 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$$

$$\text{Peso del conductor por bobina} = 2,564 \text{ kg}$$

El valor 59,475 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión, ver (tabla 12.2).

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente fórmula:

Fórmula 19.2 Cálculo de longitud de la vuelta medio del devanado primario

$$L_{vmp} = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$L_{vmp} = 62,22 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

Fórmula 20.2 Cálculo de longitud requerida del devanado primario

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vmp}$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap.

L_{vmp} = longitud de vuelta media del devanado secundario.

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 2556 * 62,22 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 1,5903 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

Fórmula 21.2 Cálculo de peso del conductor por bobina primaria

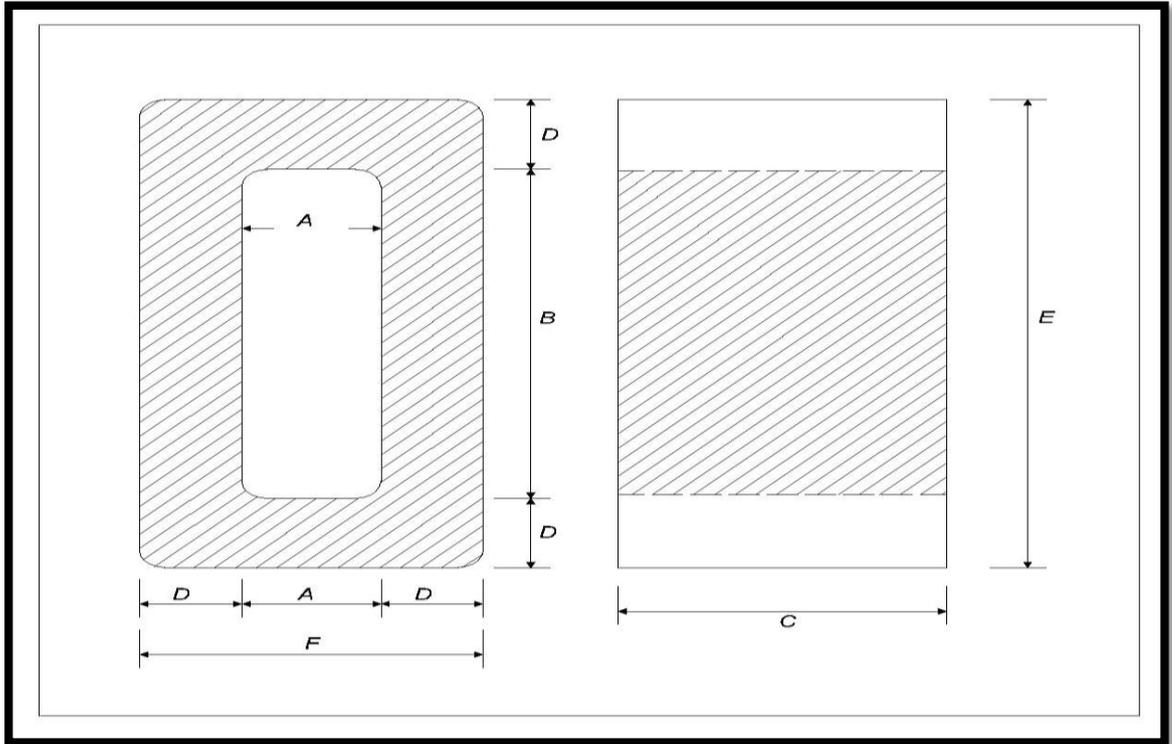
$$\text{Peso del conductor por bobina} = 1,5903 \text{ km} * 2,365 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$$

$$\text{Peso del conductor por bobina} = 3,7611 \text{ kg}$$

El valor 2,365 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, ver (tabla 12.2).

2.8.5 Cálculo para dimensionar el ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Ilustración 23.2 Representación física de las arcadas



Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

Fórmula 22.2 Cálculo del ancho de la ventana del núcleo

A_1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo (valor referido a la (tabla 13,2))

$$A_1 = 36,78 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 39,28 \text{ mm}$$

$$A_1 = 3,93 \text{ cm aprox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

Fórmula 23.2 Cálculo para la cara F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 3,8325 \text{ cm} + 3,93 \text{ cm}$$

$$F = 7,76 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

Fórmula 24.2 Cálculo de la longitud media de la arcada

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,93 + 10,35) + \pi \left(\frac{3,8325}{2} \right)$$

$$Lm = 34,5725 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

Fórmula 25.2 Cálculo del peso de la arcada

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

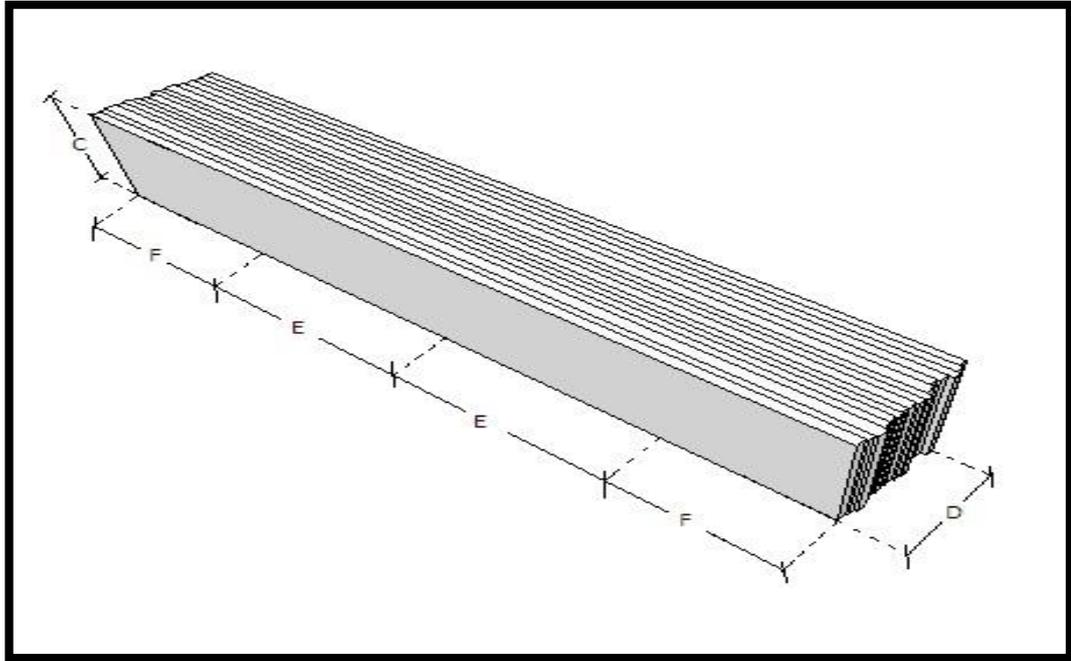
Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

El valor de Vfe es el volumen del acero usado para el núcleo, lo calculamos multiplicando las 3 caras como si las láminas que conforman una arcada están completamente abiertas, se haya con la siguiente expresión:

Fórmula 26.2 Cálculo para el volumen de acero eléctrico

$$V_{fe} = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Ilustración 24.2 Arcada completamente abierta.



Elaborado por: Los autores.

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

Fórmula 27.2 Cálculo del peso de la arcada

$$P = (14,18 \text{ cm} + 14,18 \text{ cm} + 7,76 \text{ cm} + 7,76 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (1,91 \text{ cm}) * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 13,5093 \text{ kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$P_t = 2 * P$$

$$P_t = 2 * 13,5093$$

$$P_t = 27,0186 \text{ kgr}$$

Tabla 17.2 2 Datos de peso y tamaño del conductor de cobre

Calibres A.W.G.	Diámetro	Área	Peso	Calibres A.W.G.	Diámetro	Área	Peso
	Milímetros	MM cuadrados	Kilogramos por Kilometro		Milímetros	MM cuadrados	Kilogramos por Kilometro
4/0	11,68	107,2	953	14	1,628	2,081	18,75
3/0	10,4	85,03	756	15	1,45	1,65	14,7
2/0	9,266	67,43	592	16	1,291	1,309	11,829
1/0	8,251	53,46	475	17	1,15	1,038	9,23
1	7,348	42,41	377,1	18	1,024	0,8231	7,47
2	6,554	33,63	299	19	0,9116	0,6527	5,8
3	5,827	26,67	237	20	0,8118	0,5176	4,702
4	5,189	21,15	188,1	21	0,7229	0,4105	3,65
5	4,621	16,77	149,07	22	0,6438	0,3255	2,89
6	4,115	13,3	118	23	0,5733	0,2582	2,365
7	3,665	10,55	94,5	24	0,5106	0,2047	1,82
8	3,264	8,366	75,024	25	4,547	0,1624	1,44
9	2,906	6,634	59,475	26	0,4049	0,1288	1,14
10	2,588	5,261	47,214	27	0,3606	0,1021	0,908
11	2,305	4,172	37,46	28	0,3211	0,08098	0,72
12	2,053	3,309	29,4	29	0,2859	0,06422	0,571
13	1,828	2,624	23,66	30	0,2546	0,05093	0,453

**Fuente: Libro Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas
Escrito por Pedro Avelino Pérez**

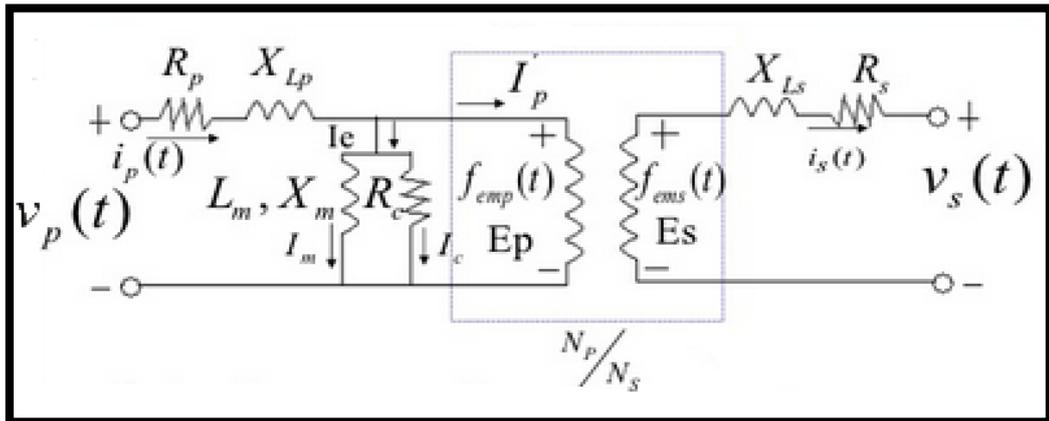
2.9 Cálculo de modelo real

Un modelo de transformador real es un modelo de transformador ideal al que le agregamos características reales, esto significa presentar las pérdidas de potencia activa y dispersion de flujos magnéticos en el núcleo de hierro. Los elementos que intervienen en este modelo son:

- Resistencia eléctrica de los conductores
- Resistencia equivalente de las pérdidas magnéticas por los fenómenos de histéresis y Faucault
- Pérdidas de potencia activa

El modelo real tiende a un comportamiento cercano al lineal, pero limitado a ciertos rangos de voltaje, fuera de este el voltaje se comporta como un elemento no lineal, además se produce saturación y pérdidas excesivas en el núcleo.

Ilustración 25.2 Diagrama de modelo real

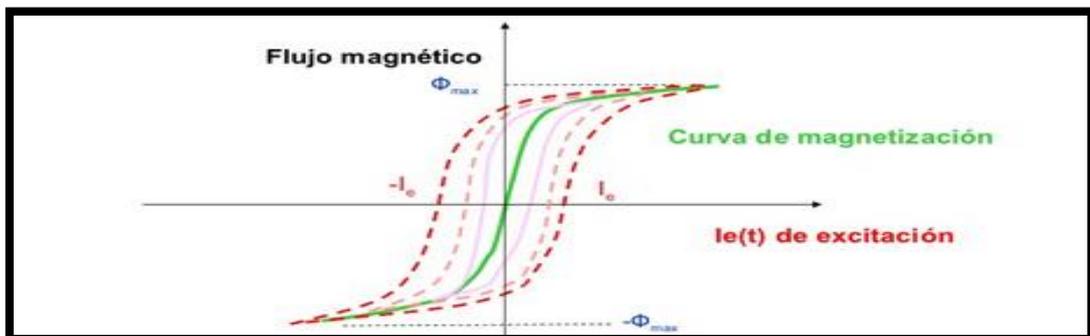


Fuente: http://es.slideshare.net/Estefa_Arias/teoria-de-transformadores-presentation

Toda corriente que circula en el secundario posee una componente que se refleja en el primario a través de la relación inversa de vueltas. La corriente I_m de magnetización del núcleo crea el flujo común Φ_c . La corriente I_c representa las pérdidas del núcleo.

Cuando se aplica un valor de voltaje primario variable en el tiempo: $V_p(t)$ se obtiene un flujo común y variable en el tiempo $\Phi_c(t)$. La corriente primaria en vacío se llama corriente de excitación

Ilustración 26.2 Lazo de histéresis y curva de magnetización



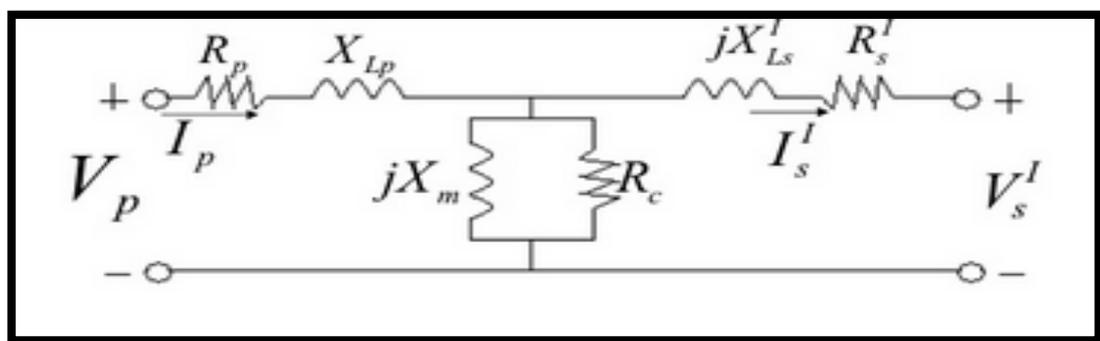
Fuente: http://es.slideshare.net/Estefa_Arias/teoria-de-transformadores-presentation

2.9.1 Circuito equivalente del lado de alta

Las impedancias reflejadas del lado de baja tensión al lado de alta tensión:

Siempre crecen en magnitud en proporción a la relación de vueltas al cuadrado, las impedancias reflejadas del lado de alta tensión al lado de baja tensión, siempre disminuyen en magnitud en proporción al inverso de la relación de vueltas al cuadrado, al reflejar las impedancias, los ángulos de las mismas conservan su valor

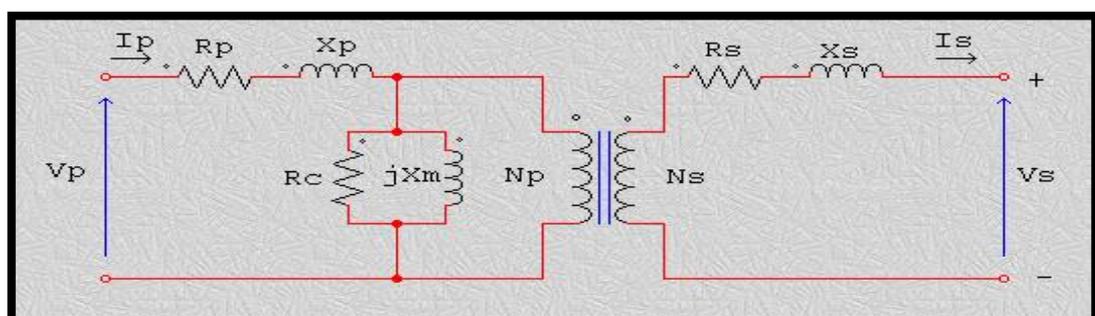
Ilustración 27.2 Circuito equivalente del modelo real de un transformador desde el lado de alta tensión



Fuente: http://es.slideshare.net/Estefa_Arias/teoria-de-transformadores-presentation

El circuito de un transformador a un cierto nivel de voltaje es un circuito reflejado equivalente para ese lado del mismo, también un circuito equivalente del transformador de relación de vueltas igual a uno.

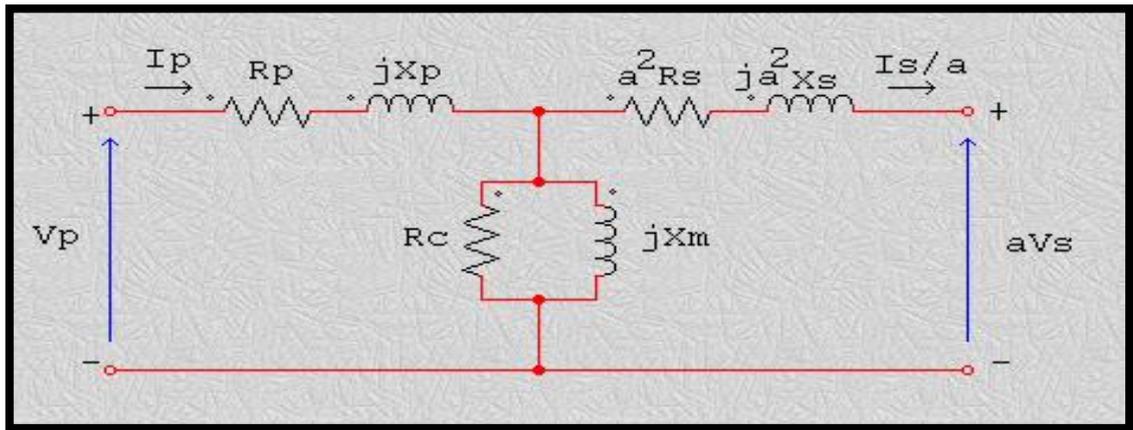
Ilustración 28.2 Circuito equivalente resultante.



Fuente: Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2° edición), McGraw-Hill, 1993.

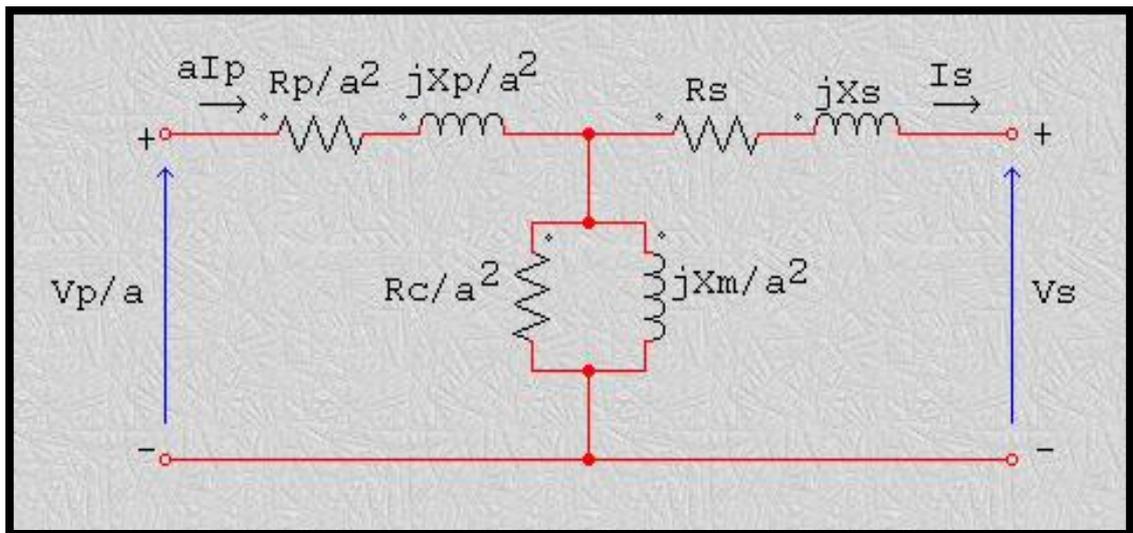
Aunque la figura muestra un modelo exacto de un transformador, no es de mucha utilidad. Para analizar circuitos prácticos que contengan transformadores, normalmente es necesario convertir el circuito entero en uno equivalente, con un nivel de voltaje único. Por tanto, el circuito equivalente se debe referir, bien a su lado primario o bien al secundario en la solución de problemas.

Ilustración 29.2 Circuito equivalente referido al lado primario.



Fuente: *Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2ª edición), McGraw-Hill, 1993.*

Ilustración 30.2 Circuito equivalente referido al lado secundario



Fuente: *Stephen J. Chapman, Máquinas Eléctricas (2ª edición), McGraw-Hill, 1993.*

Cálculo del modelo real del transformador de distribución de 5KVA monofásico

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.15 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 28,5 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Y_{ex} con la siguiente formula:

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,000625 \angle -37,65845$$

$$Y_{ex} = 0,00049479 - i0,00038185 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,002049479 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,00038185 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores procedemos a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 2021,0526 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = 2618,8583 \Omega$$

Las pruebas de circuito abierto son realizadas en el lado de baja tensión, lo podemos comprobar con el valor de la tensión de circuito abierto (V_{ca}) entonces procedemos a expresarlo como impedancia vista desde el lado de alta tensión. Utilizando el valor de la relación de transformación.

$$a = \frac{\text{Voltaje de entrada}}{\text{Voltaje de salida}} = \frac{7620 V}{240 V} = 31,75$$

Rex expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 2,037 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 2,639 M\Omega$$

Una vez calculado los parámetros con las pruebas de circuito abierto, calculamos Z equivalente, para esto utilizamos los valores de las pruebas de corto circuito:

$$V_{cc} = 145,71 V$$

$$I_{cc} = 0.65 A$$

$$P_{cc} = 69,74 W$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} . Con la siguiente formula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq} = 224,1692 \angle 42,57933$$

La Z_{eq} expresada se debe representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que vendrían a equivaler a los valores de resistencia e inductancia de la bobina respectivamente.

$$X = 165,07 \Omega$$

$$Y = 161,68 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

CAPITULO 3. CÁLCULO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167, 250 KVA

3.1 Cálculo de corriente y tensiones

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 10KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{10KVA}{7620V} = 1.3123 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{10KVA}{7810.5V} = 1.2803 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{10KVA}{7048.5V} = 1.4187 A$$

Corriente en el secundario:

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{10KVA}{240V} = 41.6666 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 15KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{15KVA}{7620V} = 1.9685 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del ta

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{15KVA}{7810.5V} = 1.9205 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{15KVA}{7048.5V} = 2.1281 A$$

Corriente en el secundario:

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{15KVA}{240V} = 62.50 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 25KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{25KVA}{7620} = 3.2808 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{25KVA}{7810.5V} = 3.2008 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{25KVA}{7048.5} = 3.5469 A$$

Corriente en el secundario:

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{25KVA}{240V} = 104.1666 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 37.5KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{37.5KVA}{7620V} = 4.9213 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{37.5KVA}{7810.5V} = 4.8012 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{37.5KVA}{7048.5V} = 5.3203 A$$

Corriente en el secundario:

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{37.5KVA}{240V} = 156.25 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 50KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{50KVA}{7620V} = 6,562 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{50KVA}{7810.5V} = 6,402 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{50KVA}{7048.5 V} = 7,094 A$$

Corriente en el secundario:

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{50KVA}{240V} = 208,333 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 75KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{75KVA}{7620V} = 9,843 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{75KVA}{7810.5V} = 9,602 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{75KVA}{7048.5 V} = 10,641 A$$

Corriente en el secundario con un voltaje de 240V

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{75KVA}{240V} = 312,5 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 100KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{100KVA}{7620V} = 13,123 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{100KVA}{7810.5V} = 12,803 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{100KVA}{7048.5 V} = 13,498 A$$

Corriente en el secundario con un voltaje de 240V

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{100KVA}{240V} = 416,667 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 167KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{167KVA}{7620V} = 21,916 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{167KVA}{7810.5V} = 21,381 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{167KVA}{7048.5 V} = 23,693 A$$

Corriente en el secundario con un voltaje de 240V

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{167KVA}{240V} = 695,833 A$$

Cálculo de corrientes y tensiones para Transformador de 250KVA.

Corriente nominal en el primario:

$$I_p = \frac{KVA}{V_p} = \frac{250KVA}{7620V} = 32,808 A$$

Corriente en las posiciones +1 y -3 del tap:

$$I_{p1} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{250KVA}{7810.5V} = 32,008 A$$

$$I_{p3} = \frac{KVA}{V_p} = \frac{250KVA}{7048.5V} = 35,469 A$$

Corriente en el secundario con un voltaje de 240V

$$I_s = \frac{KVA}{V_s} = \frac{250KVA}{240V} = 1041,667 A$$

3.2 Cálculo de espiras y conductores.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor del transformador de 10KVA.

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{10}{(1.5/5)^{1/2}}} = 4.7002$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N_2 = \frac{V_2}{V_t} = \frac{240 \text{ V}}{4.7002} = 51.0621$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 51 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N_1 = \frac{V_1}{V_t} = \frac{7620 \text{ V}}{4.7002} = 1621.2$$

El número entero en este caso sería 1621 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%.

$$1621 \text{ espiras} * 1.025 = 1662 \text{ espiras}$$

$$1621 \text{ espiras} * 0.975 = 1580 \text{ espiras}$$

$$1621 \text{ espiras} * 0.95 = 1540 \text{ espiras}$$

$$1621 \text{ espiras} * 0.925 = 1499 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 18.3 Regulación de Tap para transformador de 10KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	1662
NOMINAL	7620	1621
-1	7429.5	1580
-2	7239	1540
-3	7048.5	1499

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$conductor = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{1.4187 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 0.4729 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 20 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$conductor = \frac{Is}{\delta} = \frac{41.6666 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 13.8888 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 5 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor del transformador de 15KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{15}{(1.4/5)^{1/2}}} = 5.8566$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{5.8566} = 40.9794$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 41 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{5.8566} = 1301.0962$$

El número entero en este caso sería 1301 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$1301 \text{ espiras} * 1.025 = 1334 \text{ espiras}$$

$$1301 \text{ espiras} * 0.975 = 1268 \text{ espiras}$$

$$1301 \text{ espiras} * 0.95 = 1236 \text{ espiras}$$

$$1301 \text{ espiras} * 0.925 = 1203 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 19.3 Regulación de Tap para transformador de 15KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	1334
NOMINAL	7620	1301
-1	7429.5	1268
-2	7239	1236
-3	7048.5	1203

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{2.1281 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 0.7094 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 18 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{Is}{\delta} = \frac{62.50 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 20.8333 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 4 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor del transformador de 25KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{25}{(2.4/5)^{1/2}}} = 6.6077$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{6.6077} = 36.3211$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 36 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{6.6077} = 1153.2001$$

El número entero en este caso sería 1153 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$1153 \text{ espiras} * 1.025 = 1182 \text{ espiras}$$

$$1153 \text{ espiras} * 0.975 = 1124 \text{ espiras}$$

$$1153 \text{ espiras} * 0.95 = 1095 \text{ espiras}$$

$$1153 \text{ espiras} * 0.925 = 1067 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 20.3 Regulación de Tap para transformador de 25KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	1182
NOMINAL	7620	1153
-1	7429.5	1124
-2	7239	1095
-3	7048.5	1067

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{3.5469 A}{3 A/mm^2} = 1.1823 mm^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 16 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{Is}{\delta} = \frac{104.1666 A}{3 A/mm^2} = 34.7222 mm^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 1 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor del transformador de 37.5KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{37.5}{(2.5/5)^{1/2}}} = 8.0106$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{8.0106} = 29.9602$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 30 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{8.0106} = 951.2346$$

El número entero en este caso sería 951 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$951 \text{ espiras} * 1.025 = 975 \text{ espiras}$$

$$951 \text{ espiras} * 0.975 = 927 \text{ espiras}$$

$$951 \text{ espiras} * 0.95 = 903 \text{ espiras}$$

$$951 \text{ espiras} * 0.925 = 880 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 21.3 Regulación de Tap para transformador de 37.5KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	975
NOMINAL	7620	951
-1	7429.5	927
-2	7239	903
-3	7048.5	880

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$conductor = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{5.3203 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 1.7734 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 14 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$conductor = \frac{Is}{\delta} = \frac{156.25 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 52.0833 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 1/ AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor y núcleo del transformador de 50KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{50}{(1.5/5)^{1/2}}} = 10.5098$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{10.5098} = 22,8358$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 23 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{10.5098} = 725,0375$$

El número entero en este caso sería 725 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% + , -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$725 \text{ espiras} * 1.025 = 743 \text{ espiras}$$

$$725 \text{ espiras} * 0.975 = 707 \text{ espiras}$$

$$725 \text{ espiras} * 0.95 = 689 \text{ espiras}$$

$$725 \text{ espiras} * 0.925 = 671 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 22.3 Regulación de Tap para transformador de 50KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	743
NOMINAL	7620	725
-1	7429.5	707
-2	7239	689
-3	7048.5	671

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{7.0937 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 2.3646 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 13 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{Is}{\delta} = \frac{208.3333 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 69.4444 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 3/0 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor y núcleo del transformador de 75KVA.

$$V_t = 1.1 \sqrt{\frac{75}{(1.4/5)^{1/2}}} = 13,0958$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N_2 = \frac{V_2}{V_t} = \frac{240 V}{13,0958} = 18,3264$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 19 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N_1 = \frac{V_1}{V_t} = \frac{7620 V}{13,0958} = 581,8659$$

El número entero en este caso sería 582 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% +, -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$582 \text{ espiras} * 1.025 = 597 \text{ espiras}$$

$$582 \text{ espiras} * 0.975 = 568 \text{ espiras}$$

$$582 \text{ espiras} * 0.95 = 553 \text{ espiras}$$

$$582 \text{ espiras} * 0.925 = 538 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 23.3 Regulación de Tap para transformador de 75KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	597
NOMINAL	7620	582
-1	7429.5	568
-2	7239	553
-3	7048.5	538

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{I_{p3}}{\delta} = \frac{10.6406 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 3,5469 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 11AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{312.50 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 104,1670 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 4/0 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor y núcleo del transformador de 100KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{100}{(1.5/5)^{1/2}}} = 14.8632$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{14.8632} = 16.1472$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 16 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{14.8632} = 512.6756$$

El número entero en este caso sería 513 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% + , -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$513 \text{ espiras} * 1.025 = 526 \text{ espiras}$$

$$513 \text{ espiras} * 0.975 = 500 \text{ espiras}$$

$$513 \text{ espiras} * 0.95 = 487 \text{ espiras}$$

$$513 \text{ espiras} * 0.925 = 475 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 24.3 Regulación de Tap para transformador de 100KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	526
NOMINAL	7620	513
-1	7429.5	500
-2	7239	487
-3	7048.5	475

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{I_{p3}}{\delta} = \frac{14.1874 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 4.7291 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 10 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{416.6666 \text{ A}}{3 \text{ A/mm}^2} = 138.8888 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 3 # 1/0, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor y núcleo del transformador de 167KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{167}{(2.3/5)^{1/2}}} = 17.2608$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{17.2608} = 13.9043$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 14 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{17.2608} = 441.4627$$

El número entero en este caso sería 441 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% + , -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$441 \text{ espiras} * 1.025 = 452 \text{ espiras}$$

$$441 \text{ espiras} * 0.975 = 430 \text{ espiras}$$

$$441 \text{ espiras} * 0.95 = 419 \text{ espiras}$$

$$441 \text{ espiras} * 0.925 = 408 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 25.3 Regulación de Tap para transformador de 167KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	452
NOMINAL	7620	441
-1	7429.5	430
-2	7239	419
-3	7048.5	408

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{I_{p3}}{\delta} = \frac{23.6930 \text{ A}}{3,5 \text{ A/mm}^2} = 6,7694 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 8 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{I_s}{\delta} = \frac{695.8333 \text{ A}}{3,5 \text{ A/mm}^2} = 198,8095 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 3 # 2/0 AWG, para la bobina de baja tensión.

Cálculo de número de espiras, sección del conductor y núcleo del transformador de 250KVA.

$$Vt = 1.1 \sqrt{\frac{250}{(3.5/5)^{1/2}}} = 19.0146$$

Calculamos el número de espiras del lado secundario:

$$N2 = \frac{V2}{Vt} = \frac{240 V}{19.0146} = 12.6219$$

Se toman números enteros, para este caso el número entero próximo es 13 espiras, con este dato recalculamos los volts / vuelta, para obtener las espiras del primario.

$$N1 = \frac{V1}{Vt} = \frac{7620 V}{19.0146} = 400.7446$$

El número entero en este caso sería 401 espiras, recordemos que el requerimiento fue con derivaciones arriba y abajo del valor nominal, con lo cual tenemos que aplicar la misma metodología, con el voltaje de cada tap, o calcular considerando el porcentaje de +1 * 2.5% + , -1 * 2.5% , - 2 * 2.5% y -3 * 2.5%

$$401 \text{ espiras} * 1.025 = 411 \text{ espiras}$$

$$401 \text{ espiras} * 0.975 = 391 \text{ espiras}$$

$$401 \text{ espiras} * 0.95 = 381 \text{ espiras}$$

$$401 \text{ espiras} * 0.925 = 371 \text{ espiras}$$

Realizando un resumen de la regulación nos queda la siguiente tabla.

Tabla 26.3 Regulación de Tap para transformador de 250KVA

TAP	Voltaje (V)	Espiras
+1	7810.5	411
NOMINAL	7620	401
-1	7429.5	391
-2	7239	381
-3	7048.5	371

Elaborado por: Los autores.

Cálculo de los calibres del conductor.

Este transformador es diseñado con una densidad de corriente de 3 amperes/mm², de esta forma obtenemos los calibres.

Para calcular la sección del calibre del lado de alta tensión tomaremos la corriente de la 3era posición, ya que es ligeramente mayor a la nominal.

$$A_{conductor} = \frac{Ip3}{\delta} = \frac{35.4685 \text{ A}}{3,5 \text{ A/mm}^2} = 10,1338 \text{ mm}^2$$

Con este valor, se revisa la tabla de conductores (tabla 10.3) y podemos determinar que el calibre correspondiente a la sección es 7 AWG para la bobina de alta tensión.

Para realizar los cálculos del lado de baja tensión tenemos:

$$A_{conductor} = \frac{Is}{\delta} = \frac{1041.666 \text{ A}}{3,5 \text{ A/mm}^2} = 297,6188 \text{ mm}^2$$

De la tabla de calibres de conductores (tabla 10.3) se puede observar que la sección obtenida en el cálculo corresponde al número 4 # 3 / 0 AWG, para la bobina de baja tensión.

3.3 Cálculo de la sección transversal del núcleo y sus dimensiones geométricas

Cálculo de área transversal para transformadores de 10KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 15000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7,620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 15,000 \text{ gauss.}$$

N= # de espiras.

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 1,621 * 15,000} = 117,6377 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

A_n = Area neta

A_f = Area física

f_e = Factor de apilamiento, o de laminación (0.95)

Despejando A_f tenemos que:

$$A_f = \frac{A_n}{f_e} = \frac{117.6377 \text{ cm}^2}{0.95} = 123.8291 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (A_f), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{A_f}{C} = \frac{123.8291 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 5.8966 \text{ cm}$$

$$2D = 58.97 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{58.97 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 211$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,7 se tiene qué:

$$B = 2D * 2.7 = 58.97 \text{ mm} * 2.7 = 159.219 \text{ mm}$$

$$B = 15.92 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 15KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 15000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 15000 \text{ gauss.}$$

$N = \#$ de espiras.

$$A = \frac{7,620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 1,301 * 15,000} = 146,5724 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Área neta}$$

$$A_f = \text{Área física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.95).}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{146.5723 \text{ cm}^2}{0.95} = 154.2867 \text{ cm}$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{154.2867 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 7.3469 \text{ cm}$$

$$2D = 73.469 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{73.469 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 263$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2, se tiene qué:

$$B = 2D * 2.8 = 73.469 \text{ mm} * 2.8 = 205.7132 \text{ mm}$$

$$B = 20.57 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 25KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 15000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 15000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 1153 * 15000} = 165.3865 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.96)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$A_f = \frac{A_n}{f_e} = \frac{165.3865 \text{ cm}^2}{0.96} = 172.2777 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

$C = (2 \text{ a } 3) 2D$, para núcleo tipo acorazado.

$C = (1,4 \text{ a } 2) D$, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (A_f), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{A_f}{C} = \frac{172.2777 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 8.2037 \text{ cm}$$

$$2D = 82.04 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{82.04 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 293$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,8 se tiene qué:

$$B = 2D * 2.8 = 82.04 \text{ mm} * 2.8 = 230.7200 \text{ mm}$$

$$B = 23.072 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 37.5KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 16000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 16000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 951 * 16000} = 197.9837 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.96)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{197.9837 \text{ cm}^2}{0.96} = 206.2330 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{206.2330 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 9.8206 \text{ cm}$$

$$2D = 98.206 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.26} = \frac{98.206 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 350$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,8 se tiene qué:

$$B = 2D * 2.8 = 98.206 \text{ mm} * 2.8 = 274.9768 \text{ mm}$$

$$B = 27.497 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 50KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 16000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 16000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 725 * 16000} = 246,5827 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.96)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{246,5827 \text{ cm}^2}{0.96} = 256,8569 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{256,8569 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 12,2312 \text{ cm}$$

$$2D = 122,312 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{122,312 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 437$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 0.29 se tiene qué:

$$B = 2D * 3 = 123,313 \text{ mm} * 3 = 369,939 \text{ mm}$$

$$B = 36,993 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 75KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 16000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 16000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 582 * 16000} = 307,1692 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.96)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$A_f = \frac{A_n}{f_e} = \frac{307,1692 \text{ cm}^2}{0.96} = 319,9680 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (A_f), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{A_f}{C} = \frac{319,9680 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 15,2365 \text{ cm}$$

$$2D = 152,365 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{152,365 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 544,16$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,9 se tiene qué:

$$B = 2D * 3 = 152,365 \text{ mm} * 3 = 457,095 \text{ mm}$$

$$B = 45,7095 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 100KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 16000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 16000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 513 * 16000} = 348.4844 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.96)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{348.4844 \text{ cm}^2}{0.96} = 363.0046 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{363.0046 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 17.2859 \text{ cm}$$

$$2D = 172.859 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,29 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{172.859 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 617$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2,9 se tiene qué:

$$B = 2D * 3,5 = 172.859 \text{ mm} * 3,5 = 605,0065 \text{ mm}$$

$$B = 60,50 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 167KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 17000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 17000 \text{ gauss.}$$

N= # de espiras.

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 441 * 17000} = 381.5334 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

A_n = Area neta

A_f = Area física

f_e = Factor de apilamiento, o de laminación (0.97)

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{381.5334 \text{ cm}^2}{0.97} = 393.3334 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{393.3334 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 18.7302 \text{ cm}$$

$$2D = 187.302 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{187.302 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 669$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 2.9 se tiene que:

$$B = 2D * 3.5 = 187.302 \text{ mm} * 3.5 = 655,557 \text{ mm}$$

$$B = 65,555 \text{ cm}$$

Cálculo de área transversal para transformadores de 250KVA

Para calcular la sección transversal del núcleo, usamos una densidad de flujo magnético (B^2) de 17000 gauss, entonces se puede y aplicamos la ecuación general del transformador, el valor de flujo de densidad de flujo magnético varía desde los 15000 hasta los 17000 gauss según la capacidad del transformador.

$$A = \frac{V \times 10^8}{4.44 f N B} = (\text{cm}^2)$$

Donde:

$$V = 7620 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz.}$$

$$B = 17000 \text{ gauss.}$$

$$N = \# \text{ de espiras.}$$

$$A = \frac{7620 \times 10^8}{4.44 * 60 * 401 * 17000} = 419.5922 \text{ cm}^2$$

Si usamos acero eléctrico grado M-4³ en la construcción de núcleos arrollados, el factor de apilamiento (f_e) lo podemos considerar entre los valores de 0,95 a 0,97 de allí tenemos que:

$$A_n = A_f * f_e$$

Donde:

$$A_n = \text{Area neta}$$

$$A_f = \text{Area física}$$

$$f_e = \text{Factor de apilamiento, o de laminación (0.97)}$$

Despejando A_f tenemos que:

$$Af = \frac{An}{fe} = \frac{419.5922 \text{ cm}^2}{0.97} = 432.5693 \text{ cm}^2$$

Para las secciones transversales rectangulares consideramos lo siguiente:

(C) ancho de lámina.

(D) espesor de lámina de la arcada.

C= (2 a 3) 2D, para núcleo tipo acorazado.

C= (1,4 a 2) D, para núcleo tipo columna.

Tenemos el ancho de la lámina (C) de 21,0 cm, y el diseño de un núcleo tipo acorazado, podemos calcular su espesor (2D), en función de su área física (Af), con la siguiente expresión:

$$2D = \frac{Af}{C} = \frac{432.5693 \text{ cm}^2}{21 \text{ cm}} = 20.5985 \text{ cm}$$

$$2D = 205.985 \text{ mm}$$

Para determinar el número de laminaciones para formar un el espesor (2D), se lo determina considerando el espesor de la lámina, existen en el mercado valores desde 0.23 mm hasta 0.35 mm, en nuestro caso el espesor es de 0,28 mm que tiene el acero eléctrico grado M4, entonces requerimos arrollar:

$$\# \text{ Laminas} = \frac{2D}{0.28} = \frac{205.985 \text{ mm}}{0.28 \text{ mm}} = 736$$

Por lo general la altura de la ventana (B) es 2,5 a 3,5 veces el espesor (2D), para la construcción de este transformador se usara el valor de 3.5 se tiene que:

$$B = 2D * 3.5 = 205.985 \text{ mm} * 3.5 = 720.9475 \text{ mm}$$

$$B = 72.0947 \text{ cm}$$

3.4 Cálculo de las dimensiones del devanado, ancho de las ventanas del núcleo y pesos respectivos

Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 10 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_s = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_s = 15,92 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_s = 13,69 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 15,92 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$
$$H_p = 12,55 \text{ cm}$$

Espiras por capa de la bobina de B.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 5 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{136,9 \text{ mm}}{4,643 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 29$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{51}{29} = 1,73, \text{ aproximadamente: } 2 \text{ capas}$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 20 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{125,5 \text{ mm}}{0,897 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 140$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{1662}{140} = 11,88 \text{ aproximadamente: } 12 \text{ capas}$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$Vc = \frac{2V * Vpc}{N} * Fs$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

Vpc: vueltas por capa

N: número de vueltas

Fs: Factor de seguridad (Fs = 1,8 para baja frecuencia; Fs = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_C = \frac{2(27720)*140}{2556} * 1,8 = 8398,63 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_C = \frac{2(95000)*140}{2307} * 1,8 = 31913,04 \text{ V}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 0,28 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 10KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tensión		
conductor + aislamiento	8,16 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tensión		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	14,22 = j	
Total	32,40	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$
$$Lvms = 58,35 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvms$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado secundario

Lvms = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 51 * 58,35 \text{ cm}$$
$$Lcbt = 0,0298 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0298 \text{ km} * 149,07 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 4,4362 \text{ kg}$$

El valor 149,07 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 64,97 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lc_{bt} = N_{s1} * Lvmp$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

$Lvmp$ = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lc_{bt} = 1662 * 64,97 \text{ cm}$$

$$Lc_{bt} = 1,0798 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$1,0798 \text{ km} * 4,702 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 5,0771 \text{ kg}$$

El valor 4,702 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A_1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A_1 = 32,40 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 34,90 \text{ mm}$$

$$A_1 = 3,49 \text{ cm aprox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 5,8966 \text{ cm} + 3,49 \text{ cm}$$

$$F = 9,39 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,49 + 15,92) + \pi \left(\frac{5,8966}{2} \right)$$

$$Lm = 48,0836 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (21,82 \text{ cm} + 21,82 \text{ cm} + 9,39 \text{ cm} + 9,39 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (2,95 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 29,5592 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 29,5592 \text{ Kgr}$$

$$Pt = 59,1185 \text{ Kgr}$$

3.5 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 15 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hs = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Reemplazando valores tenemos:

$$Hs = 20,57 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hs = 18,34 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hp = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 20,57 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 17,20 \text{ cm}$$

Espiras por capa de la bobina de B.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 4 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{183,4 \text{ mm}}{5,215 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 35$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$41 \frac{\text{mm}}{35} = 1,17 \text{ , aproximadamente: } 2 \text{ capa}$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$espiras\ por\ capa = \frac{H_p}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 18 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$espiras\ por\ capa = \frac{172\ mm}{1,118\ mm}$$

$$espiras\ por\ capa = 154$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{1334}{154} = 8,67\ aproximadamente: 9\ capas$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005") de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*154}{1334} * 1,8 = 11507,08 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*154}{1203} * 1,8 = 43730,62 \text{ V}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 0,35 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 15 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tension		
conductor + aislamiento	6,21 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
conductor + aislamiento	12,89 = j	

sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	
Total	29,12

Elaborado por: Los Autores.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 60,64 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lc_{bt} = N_{s1} * Lvms$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado secundario

$Lvms$ = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lc_{bt} = 41 * 60,64 \text{ cm}$$

$$Lc_{bt} = 0,0249 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0249 \text{ km} * 188,10 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 4,6765 \text{ kg}$$

El valor 188,10 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 66,84 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvmp$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

Lvmp = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 1334 * 66,84 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,8917 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,8917 \text{ km} * 7,47 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 6,6606 \text{ kg}$$

El valor 7,47 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A1 = 29,12 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 31,62 \text{ mm}$$

$$A1 = 3,16 \text{ cm aprox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 7,3469 \text{ cm} + 3,16 \text{ cm}$$

$$F = 10,51 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,16 + 20,57) + \pi \left(\frac{7,3469}{2} \right)$$

$$Lm = 59,0082 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = V_{fe} * P_e$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

V_{fe} = Volumen del acero eléctrico

P_e = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$V_{fe} = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (27,92 \text{ cm} + 27,92 \text{ cm} + 10,51 \text{ cm} + 10,51 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (3,67 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 45,3560 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 45,3560$$

$$Pt = 90,7121 \text{ Kgr}$$

3.6 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 25KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hs = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$Hs = 22,97 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hs = 20,74 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 22,97 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$
$$H_p = 19,60 \text{ cm}$$

Espiras por capa y numero de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 1 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{spiras por capa} = \frac{207,4 \text{ mm}}{7,422 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 28$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{36}{28} = 1,29$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 16 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{196 \text{ mm}}{1,392 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 141$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{1182}{141} = 8,40$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*141}{1182} * 1,8 = 11885,41 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*141}{1067} * 1,8 = 45122,96 \text{ V}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capas de 0,37 mm

Espeor total de la bobina del transformador de 25 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tension		
conductor + aislamiento	9,69 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	14,93 = j	
Total	34,65	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 63,45 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvms$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado secundario

Lvms = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 36 * 63,45 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,0228 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0228 \text{ km} * 377,1 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 8,6132 \text{ kg}$$

El valor 188,10 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$L_{vmp} = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$L_{vmp} = 70,29 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vmp}$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

L_{vmp} = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 1182 * 70,29 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,8308 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,8908 \text{ km} * 11,829 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 9,8278 \text{ kg}$$

El valor 11,829 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A1 = 29,12 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 31,62 \text{ mm}$$

$$A1 = 3,16 \text{ cm apox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 8,2037 \text{ cm} + 3,72 \text{ cm}$$

$$F = 11,92 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,72 + 22,9703) + \pi \left(\frac{8,2037}{2} \right)$$

$$Lm = 66,2565 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = V_{fe} * P_e$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

V_{fe} = Volumen del acero eléctrico

P_e = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$V_{fe} = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (31,17 \text{ cm} + 31,17 \text{ cm} + 11,92 \text{ cm} + 11,92 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (4,10 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 56,7926 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$P_t = 2 * P$$

$$P_t = 2 * 56,7926$$

$$P_t = 113,5853 \text{ Kgr}$$

3.7 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 37.5 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, ver en la entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_s = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_s = 27,4977 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_s = 25,27 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 27,4977 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 24,12 \text{ cm}$$

Espiras por capa y numero de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 1/0 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{252,7 \text{ mm}}{8,334 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 30$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{30}{30} = 1$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 14 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{241,2 \text{ mm}}{1,737 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 139$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{975}{139} = 7 \text{ Calculo de aislamientos menores}$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$Vc = \frac{2V * Vpc}{N} * Fs$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

Vpc: vueltas por capa

N: número de vueltas

Fs: Factor de seguridad (Fs = 1,8 para baja frecuencia; Fs = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_C = \frac{2(27720)*139}{975} * 1,8 = 14214,64 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_C = \frac{2(95000)*139}{880} * 1,8 = 53974,44 \text{ v}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 0,445 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 37.5 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tension		
conductor + aislamiento	8,25 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	15,38 = j	
Total	33,65	

Elaborado por: Los autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente fórmula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$
$$Lvms = 66,23 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido sería la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvms$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado secundario

Lvms = longitud de vuelta media del devanado secundario

Reemplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 30 * 66,23 \text{ cm}$$
$$Lcbt = 0,0199 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0199, \text{ km} * 475 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 9,4373 \text{ kg}$$

El valor 475 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

3.8 Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente fórmula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$
$$Lvmp = 73,21 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido sería la siguiente:

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vmp}$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

L_{vmp} = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 975 * 73,21 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,7138 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,7138 \text{ km} * 18,75 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 13,3840 \text{ kg}$$

El valor 18,75 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A_1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A_1 = 33,65 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 36,15 \text{ mm}$$

$$A_1 = 3,62 \text{ cm apox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 9,8206 \text{ cm} + 3,62 \text{ cm}$$

$$F = 13,44 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,62 + 27,4977) + \pi \left(\frac{9,8206}{2} \right)$$

$$Lm = 77,6526 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (37,32 \text{ cm} + 37,32 \text{ cm} + 13,44 \text{ cm} + 13,44 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (4,91 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 80,0744 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 80,0744$$

$$Pt = 160,1488 \text{ Kgr}$$

3.9 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 50 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hs = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$Hs = 36,6939 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hs = 34,46 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 36,6939 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 33,32 \text{ cm}$$

Espiras por capa y número de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 2 # 1 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{344,6 \text{ mm}}{14,84 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 23$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{23}{23} = 1$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$espiras\ por\ capa = \frac{H_p}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 13 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$espiras\ por\ capa = \frac{333,2\ mm}{1,943\ mm}$$

$$espiras\ por\ capa = 171$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{743}{171} = 4$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.

- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*171}{743} * 1,8 = 23032,29 \text{ v}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*171}{671} * 1,8 = 87404,52 \text{ v}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capas de 0,92 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 50 KVA

Material	Espesor radial en mm
Tubo de devanado o casquillo	
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g
Bobina de baja tension	
conductor + aislamiento	14,70 = h
Aislamiento A.T. - B.T.	

Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
Conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	11,99 = j	
Total	36,72	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 73,07 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lc_{bt} = N_{s1} * Lvms$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado secundario

$Lvms$ = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lc_{bt} = 23 * 73,07 \text{ cm}$$

$$Lc_{bt} = 0,0168 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0168, \text{ km} * 754,2 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 12,6760 \text{ kg}$$

El valor 754,2 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión,

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 78,99 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvmp$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

Lvmp = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 743 * 78,99 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,5869 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,5869 \text{ km} * 23,66 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 13,8868 \text{ kg}$$

El valor 23,66 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, se utilizaran 2 conductores # 1, por lo tanto se duplica el peso del conductor #1.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

$A1 = \text{espesor de bobina} + \text{aislamiento al núcleo}$

$$A1 = 36,72 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 39,22 \text{ mm}$$

$$A1 = 3,92 \text{ cm aprox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 12,2313 \text{ cm} + 3,92 \text{ cm}$$

$$F = 16,15 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,92 + 36,6939) + \pi \left(\frac{12,2313}{2} \right)$$

$$Lm = 100,4439 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = V_{fe} * P_e$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

V_{fe} = Volumen del acero eléctrico

P_e = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$V_{fe} = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (48,93 \text{ cm} + 48,93 \text{ cm} + 16,15 \text{ cm} + 16,15 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (6,12 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 127,8756 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$P_t = 2 * P$$

$$P_t = 2 * 127,8756$$

$$P_t = 255,7511 \text{ Kgr}$$

3.10 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 75 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_s = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_s = 45,7097 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_s = 43,48 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 45,7097 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 42,34 \text{ cm}$$

Espiras por capa y número de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 2 # 1/0 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{434,8 \text{ mm}}{16,67 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 26$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{18}{26} = 0,69$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 11 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{espiras por capa} &= \frac{423,4 \text{ mm}}{2,431 \text{ mm}} \\ \text{espiras por capa} &= 174 \end{aligned}$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{597}{174} = 3,43, \text{aproximadamente 3 capas y media}$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005") de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_C = \frac{2(27720) \cdot 174}{597} * 1,8 = 29110,07 \text{ v}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_C = \frac{2(95000) \cdot 174}{538} * 1,8 = 110704,59 \text{ v}$$

En la nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 0,92 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 75 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Cartón prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tensión		
conductor + aislamiento	11,50 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de cartón prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tensión		
Conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	11,64 = j	
Total	33,17	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$L_{vms} = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$L_{vms} = 78,08 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vms}$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado secundario

L_{vms} = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 18 * 78,08 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,0141 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0141, \text{ km} * 950 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 13,3521 \text{ kg}$$

El valor 950 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_{vmp} = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$L_{vmp} = 83,89 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vmp}$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

Lvmp = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 597 * 83,89 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,5008 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,5008 \text{ km} * 37,46 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 18,7608 \text{ kg}$$

El valor 37,46 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, se utilizaran 2 conductores # 1/0, por lo tanto se duplica el peso del conductor #1/0.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A1 = 33,17 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 35,67 \text{ mm}$$

$$A1 = 3,57 \text{ cm apox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 15,2366 \text{ cm} + 3,57 \text{ cm}$$

$$F = 18,80 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,57 + 45,7097) + \pi \left(\frac{15,2366}{2} \right)$$

$$Lm = 122,4860 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (60,95 \text{ cm} + 60,95 \text{ cm} + 18,80 \text{ cm} + 18,80 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (7,62 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 195,2069 \text{ Kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 195,2069$$

$$Pt = 390,4137 \text{ Kgr}$$

3.11 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 100 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_s = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_s = 60,50 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_s = 58,27 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$H_p = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 60,50 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 57,13 \text{ cm}$$

Espiras por capa y número de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 3 # 1/0 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{582,7 \text{ mm}}{25 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 23$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{16}{23} = 0,69$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$espiras\ por\ capa = \frac{H_p}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 10 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$espiras\ por\ capa = \frac{571,3\ mm}{2,72\ mm}$$

$$espiras\ por\ capa = 210$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{526}{210} = 2,50$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*210}{526} * 1,8 = 39845,63 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*210}{475} * 1,8 = 151217,90 \text{ V}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 1,82 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 100 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Cartón prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tensión		
conductor + aislamiento	17,16 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de cartón prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tensión		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	10,06 = j	
Total	37,25	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 83,96 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvms$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado secundario

Lvms = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 16 * 83,96 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,0134 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0134, \text{ km} * 1425 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 19,1427 \text{ kg}$$

El valor 1425 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión,

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 89,27 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$L_{cbt} = N_{s1} * L_{vmp}$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

L_{vmp} = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$L_{cbt} = 526 * 89,27 \text{ cm}$$

$$L_{cbt} = 0,4696 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,4696 \text{ km} * 47,214 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 22,1702 \text{ kg}$$

El valor 47,214 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, se utilizaran 3 conductores # 1/0, por lo tanto se triplicara el peso del conductor #1/0.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A_1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo

$$A_1 = 37,25 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 39,75 \text{ mm}$$

$$A_1 = 3,97 \text{ cm apox.}$$

.

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 17,2859 \text{ cm} + 3,97 \text{ cm}$$

$$F = 21,26 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (3,97 + 60,5008) + \pi \left(\frac{17,2859}{2} \right)$$

$$Lm = 156,1041 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (77,79 \text{ cm} + 77,79 \text{ cm} + 21,26 \text{ cm} + 21,26 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (8,64 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 275,0536 \text{ kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 275,0536$$

$$Pt = 550,1072 \text{ kgr}$$

3.12 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 167 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hs = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$Hs = 65,5556 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hs = 63,33 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hp = B - 2 (da + rc)$$

Dónde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$Hp = 65,5556 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hp = 62,18 \text{ cm}$$

Espiras por capa y número de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{Hs}{D_{cond.}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 3 # 2/0 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{633,3 \text{ mm}}{28,071 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 22,56$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{14}{22,56} = 0,62$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_p}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 8 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{621,8 \text{ mm}}{3,409 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 182$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{452}{182} = 2,48$$

Cálculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005") de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Remplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*182}{452} * 1,8 = 40270,96 \text{ v}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000)*182}{408} * 1,8 = 152897,58 \text{ v}$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capaz de 2,175 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 167 KVA

Material	Espesor radial en mm	
Tubo de devanado o casquillo		
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g	
Bobina de baja tension		
conductor + aislamiento	17,42 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	12,17 = j	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 86,93 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvms$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado secundario

Lvms = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 14 * 86,93 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,0122 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0122 \text{ km} * 1776 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 21,6138 \text{ kg}$$

El valor 1776 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión.

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente formula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 92,90 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvmp$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

Lvmp = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 452 * 92,90 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,4199 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,4199 \text{ km} * 75,024 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 31,5046 \text{ kg}$$

El valor 75,024 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, se utilizaran 3 conductores # 2/0, por lo tanto se triplicara el peso del conductor # 2/0.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

A1 = espesor de bobina + aislamiento al núcleo,

$$A1 = 39,62 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 42,12 \text{ mm}$$

$$A1 = 4,21 \text{ cm aprox.}$$

.Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 18,7302 \text{ cm} + 4,21 \text{ cm}$$

$$F = 22,94 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (4,21 + 65,5556) + \pi \left(\frac{18,7302}{2} \right)$$

$$Lm = 168,9560 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (84,29 \text{ cm} + 84,29 \text{ cm} + 22,94 \text{ cm} + 22,94 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (9,37 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 322,6481 \text{ kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$Pt = 2 * P$$

$$Pt = 2 * 322,6481$$

$$Pt = 645,1963 \text{ Gr}$$

3.13 Cálculo de las dimensiones de la bobina, ancho de las ventanas del núcleo y respectivos pesos de las bobinas y núcleo del transformador de 250 KVA

Cálculo de altura efectiva de las bobinas de B.T y A.T.

Bobina de B.T.

Para calcular la altura de la bobina de baja tensión, se debe considerar la clase de aislamiento, en este caso es 1,2 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hs = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar + aislamiento del yugo)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$Hs = 72,0949 \text{ cm} - 2 (0,8 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$Hs = 69,86 \text{ cm}$$

Bobina de A.T.

Para calcular la altura de la bobina de alta tensión, se realiza el mismo procedimiento anterior en este caso se debe considerar la clase de aislamiento de 15 KV, entonces tenemos que la altura efectiva de la bobina es:

$$Hp = B - 2 (da + rc)$$

Donde:

B: altura ventana núcleo

Da: distancia aislamiento axial (collar)

Rc: 3,17 (radio de curvatura)

Remplazando valores tenemos:

$$H_p = 72,0949 \text{ cm} - 2 (1,55 \text{ cm} + 0,317 \text{ cm})$$

$$H_p = 68,72 \text{ cm}$$

Espiras por capa y número de capas requerido.

Espiras por capa de la bobina de B.T. y número de capas requeridas

$$\text{espiras por capa} = \frac{H_s}{D_{\text{cond.}}}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado secundario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 4 # 3/0 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$\text{espiras por capa} = \frac{633,3 \text{ mm}}{28,071 \text{ mm}}$$

$$\text{espiras por capa} = 22,56$$

El número de capas requeridas lo obtenemos al dividir el número total de espiras entre las espiras por capa, así tenemos:

$$\frac{14}{22,56} = 0,62$$

Espiras por capa de la bobina de A.T. y numero de capas requeridas

$$espiras\ por\ capa = \frac{Hp}{Dcond.}$$

Donde:

Hs: altura efectiva del devanado primario.

Dcond.: diámetro del conductor de la bobina. (Conductor calibre: 7 AWG con doble capa de barniz)

Dando valores a la ecuación tenemos lo siguiente:

$$espiras\ por\ capa = \frac{687,2\ mm}{3,723\ mm}$$

$$espiras\ por\ capa = 185$$

El número de capas requerida lo obtenemos siguiendo el mismo procedimiento que con la bobina de B.T.

$$\frac{411}{185} = 2,23$$

Calculo de aislamientos menores

- **Aislamiento entre vueltas:** Este aislamiento no constituye problema alguno, puesto que existen conductores aislados con doble y triple capa de barniz.
- **Aislamiento entre capas:** Para el aislamiento entre capas de la bobina de baja tensión se usara papel kraft tratado (insuldur) de 10,127 mm (0,005”) de espesor.

Por el otro lado tenemos el aislamiento entre capas de la bobina de alta tensión que puede estimarse con la fórmula:

$$V_c = \frac{2V * V_{pc}}{N} * F_s$$

Donde:

V: Tensión aplicada (correspondiente a la prueba de baja frecuencia o al impulso)

V_{pc}: vueltas por capa

N: número de vueltas

F_s: Factor de seguridad (F_s = 1,8 para baja frecuencia; F_s = 1,8 para impulso en bobinas de 15 Kv y menores)

Reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia tenemos:

$$V_c = \frac{2(27720)*185}{411} * 1,8 = 44817,70 \text{ V}$$

Y reemplazando valores para la prueba de baja frecuencia nos da el siguiente resultado:

$$V_c = \frac{2(95000) * 185}{371} 1,8 = 170156,24$$

Nos aparecen valores cercanos, escogemos un promedio entre los dos, de esta manera obtenemos un espesor de aislamiento entre capas de 2,4 mm

Espesor total de la bobina del transformador de 250 KVA

Material	Espesor radial en mm
Tubo de devanado o casquillo	
Carton prensado (presspan o pressboard)	3,175 = g
Bobina de baja tension	

conductor + aislamiento	32,87 = h	
Aislamiento A.T. - B.T.		
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	6,85 = i
Formaducto de carton prensado	6,35	
Papel Kraft tratado (insuldur)	0,25	
Bobina de alta tension		
conductor + aislamiento sobre aislamiento de última capa (papel y cinta de algodón)	11,74 = j	
Total	54,64	

Elaborado por: Los Autores

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de baja tensión

La longitud de la vuelta media del devanado secundario se calcula con la siguiente fórmula:

$$Lvms = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g) + h)$$

$$Lvms = 95,52 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido seria la siguiente:

$$Lc_{bt} = N_{s1} * Lvms$$

Donde:

N_{s1} = número de espiras del lado secundario

$Lvms$ = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lc_{bt} = 13 * 95,52 \text{ cm}$$

$$Lc_{bt} = 0,0124 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de baja tensión es:

$$0,0124 \text{ km} * 3024 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 37,5506 \text{ kg}$$

El valor 3024 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de baja tensión.

Cálculo de longitud y peso del conductor de la bobina de alta tensión

La longitud de la vuelta media del devanado primario se calcula con la siguiente fórmula:

$$Lvmp = 2 (C + 2D) + \pi (2 (g + h + i) + j)$$

$$Lvmp = 101,36 \text{ cm}$$

La longitud del conductor requerido sería la siguiente:

$$Lcbt = Ns1 * Lvmp$$

Donde:

Ns1 = número de espiras del lado primario, en la posición 1 del tap

Lvmp = longitud de vuelta media del devanado secundario

Remplazando valores tenemos:

$$Lcbt = 411 * 101,36 \text{ cm}$$

$$Lcbt = 0,4166 \text{ Km}$$

Y el peso del conductor de la bobina de alta tensión es:

$$0,4166 \text{ km} * 94,50 \frac{\text{kg}}{\text{km}} = 31,5046 \text{ kg}$$

El valor 94,50 es el valor del peso en kg / km del conductor de la bobina de alta tensión, se utilizaran 4 conductores # 3/0, por lo tanto se incrementa 4 veces el peso del conductor # 3/0.

Determinación del ancho de ventana del núcleo y el peso por arcada

Para calcular el ancho de la ventana usamos la siguiente expresión:

$A1 = \text{espesor de bobina} + \text{aislamiento al núcleo}$

$$A1 = 54,64 \text{ mm} + 2,5 \text{ mm}$$

$$A1 = 57,14 \text{ mm}$$

$$A1 = 5,71 \text{ cm apox.}$$

Después de calcular el ancho de la ventana de la arcada podremos determinar el valor F de la arcada

$$F = 2D + A1$$

$$F = 20,5985 \text{ cm} + 5,71 \text{ cm}$$

$$F = 26,31 \text{ cm}$$

La longitud media de la arcada se calcula usando la siguiente expresión:

$$Lm = 2 (A1 + B) + \pi (D)$$

Dando valores tenemos que:

$$Lm = 2 (5,71 + 72,0949) + \pi \left(\frac{20,5985}{2} \right)$$

$$Lm = 187,9743 \text{ cm}$$

El peso de la arcada será de:

$$P = Vfe * Pe$$

Donde:

P = peso del acero eléctrico

Vfe = Volumen del acero eléctrico

Pe = peso específico del acero (7,65 gr / cm³)

$$Vfe = (E + E + F + F) * (C) * (D)$$

Entonces para calcular el peso de la arcada tenemos que:

$$P = (92,69 \text{ cm} + 92,69 \text{ cm} + 26,31 \text{ cm} + 26,31 \text{ cm}) * (21 \text{ cm}) * (10,3 \text{ cm}) \\ * 7,65 \text{ gr} \frac{\text{Gr}}{\text{cm}^3}$$

$$P = 393,8098 \text{ kgr}$$

El peso total del núcleo se obtiene sumando las dos arcadas:

$$P_t = 2 * P$$

$$P_t = 2 * 393,8098$$

$$P_t = 787,6196 \text{ kgr}$$

3.15 Cálculo de Modelos Reales

Cálculo del modelo real del transformador de distribución de 10KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.25 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 45,6 \text{ W}$$

Procedemos a calcular Y_{ex} :

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,0010416 \angle -40,5358$$

Lo representamos en forma rectangular para obtener los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0007917 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,000677 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Paso siguiente se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex} .

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 1263,1579 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = 1477,0979 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 1,273 M \Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 1,489 M \Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 103,63 V$$

$$I_{cc} = 1,31 A$$

$$P_{cc} = 101,37 W$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 79,106870 \angle 41,6937$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 59,07 \Omega$$

$$Y = 52,62 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo del modelo real del transformador de distribución de 15 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.35 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 62,9 \text{ W}$$

Procedemos a calcular Y_{ex} :

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,0014583 \angle -41,51264$$

Lo representamos en forma rectangular para obtener los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,001092 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,000967 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Paso siguiente se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex} .

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 915,7392 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = 1034,595 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,923 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 1,042 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 95,59 V$$

$$I_{cc} = 1,96 A$$

$$P_{cc} = 138,5 W$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq} = 48,770408 \angle 42,33389$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 36,05 \Omega$$

$$Y = 32,84 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo del modelo real del transformador de distribución de 25 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.41 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 84,2 \text{ W}$$

Procedemos a calcular Y_{ex} :

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,00170833 \angle - 31,16384$$

Lo representamos en forma rectangular para obtener los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0014618 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,000884 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Paso siguiente se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex} .

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 684,08551 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = 1131,1701 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,689 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 1,140 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 180,38 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 3,28 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 214,36 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} . Con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 54,993902 \angle 68,7578$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 19,92 \Omega$$

$$Y = 51,26 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo del modelo real del transformador de distribución de 37,5 KVA.

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.54 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 109,9 \text{ W}$$

Procedemos a calcular Y_{ex} :

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,00225 \angle - 32,00587$$

Lo representamos en forma rectangular para obtener los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,001908 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,001193 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Paso siguiente se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex} .

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 524,11283 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = 838,56477 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,528 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,845 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 187 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 4,93 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 310,78 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} . Con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 37,931034 \angle 70,2994$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 12,79 \Omega$$

$$Y = 35,71 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo de modelo real para transformador de distribución de 50 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 0.98 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 154 \text{ W}$$

Con los valores proporcionados por el protocolo se procede a calcular Y_{ex} .

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle -\cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,004083 \angle -49,0984$$

$$Y_{ex} = 0,0026734 - i0,0030861$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0026734 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,0030861 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 374,056 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = -324,034 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,3771 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,3266 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 90,71 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 6,65 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 421,49 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} . Con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 13,641 \angle 45,675 \Omega$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 9,5313 \Omega$$

$$Y = 9,7586 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo de modelo real para transformador de distribución de 75 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 1,1 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 195,3 \text{ W}$$

Con los valores proporcionados por el protocolo se procede a calcular Y_{ex} .

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,004583 \angle -42,288$$

$$Y_{ex} = 0,0033903 - i0,0030837$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0033903 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,0030837 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 294,9591 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = -324,2857 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,29734 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,3269 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 99,25 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 9,85 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 517,53 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq.} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 10,0761 \angle 58,0363 \Omega$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 5,3341 \Omega$$

$$Y = 8,5484 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo de modelo real para transformador de distribución de 100 KVA

Monofásico, análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 1,26 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 250,5 \text{ W}$$

Con los valores proporcionados por el protocolo se procede a calcular Y_{ex} .

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,00525 \angle - 34,068$$

$$Y_{ex} = 0,0043489 - i0,0029409$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0043489 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,0029409 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 229,9432 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = -340,032 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,23179 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,34277 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 108,52 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 13,13 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 665,64 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq} = 8,2650 \angle 62,1499 \Omega$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 3,8611 \Omega$$

$$Y = 7,3076 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo de modelo real para transformador de distribución de 167 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 1,94 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 358,1 \text{ W}$$

Con los valores proporcionados por el protocolo se procede a calcular Y_{ex} .

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,0080833 \angle -39,7255$$

$$Y_{ex} = 0,0062169 - i0,005166$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0062169 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,005166 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 160,8518 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = -193,57336 \Omega$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,16215 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,19534 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 174,32 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 21,95 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 1159,1 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 7,9417 \angle 72,3665 \Omega$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 2,40576 \Omega$$

$$Y = 7,56855 \Omega$$

Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

Cálculo de modelo real para transformador de distribución de 250 KVA

Análisis de las respectivas pruebas de circuito abierto y de corto circuito según protocolos de fabricación.

Valores de Prueba de circuito abierto:

$$V_{ca} = 240 \text{ V}$$

$$I_{ca} = 2,79 \text{ A}$$

$$P_{ca} = 370,5 \text{ W}$$

Con los valores proporcionados por el protocolo se procede a calcular Y_{ex} .

$$Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle - \cos^{-1}\left(\frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}\right)$$

$$Y_{ex} = 0,011625\angle - 56,40523$$

$$Y_{ex} = 0,0064323 - i0,0096833$$

El valor de Y_{ex} , lo podemos representar en forma rectangular en sus componentes X y Y, que tendrá una equivalencia a los valores de G_n y B_m respectivamente.

$$G_n = 0,0064323 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

$$B_m = -0,0096833 \left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

Con estos valores se procede a calcular los valores de R_{ex} y E_{ex}

$$R_{ex} = \frac{1}{G_n} = 155,4654 \Omega$$

$$E_{ex} = \frac{1}{B_m} = -103,2706$$

R_{ex} expresado en el lado de alta tensión:

$$R_{ex} (A.T.) = a^2 * R_{ex} = 0,15672 M\Omega$$

$$E_{ex} (A.T.) = a^2 * E_{ex} = 0,104103 M\Omega$$

Calculamos Z_{eq} con los siguientes datos.

$$V_{cc} = 259,78 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 32,81 \text{ A}$$

$$P_{cc} = 2962,2 \text{ W}$$

Con los valores que nos proporciona esta prueba procedemos a calcular Z_{eq} . Con la siguiente fórmula:

$$Z_{eq.} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1}\left(\frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}\right)$$

$$Z_{eq.} = 7,9177 \angle 69,6632 \Omega$$

Lo expresamos en su forma rectangular.

$$X = 2,7517 \Omega$$

$$Y = 7,42416 \Omega$$

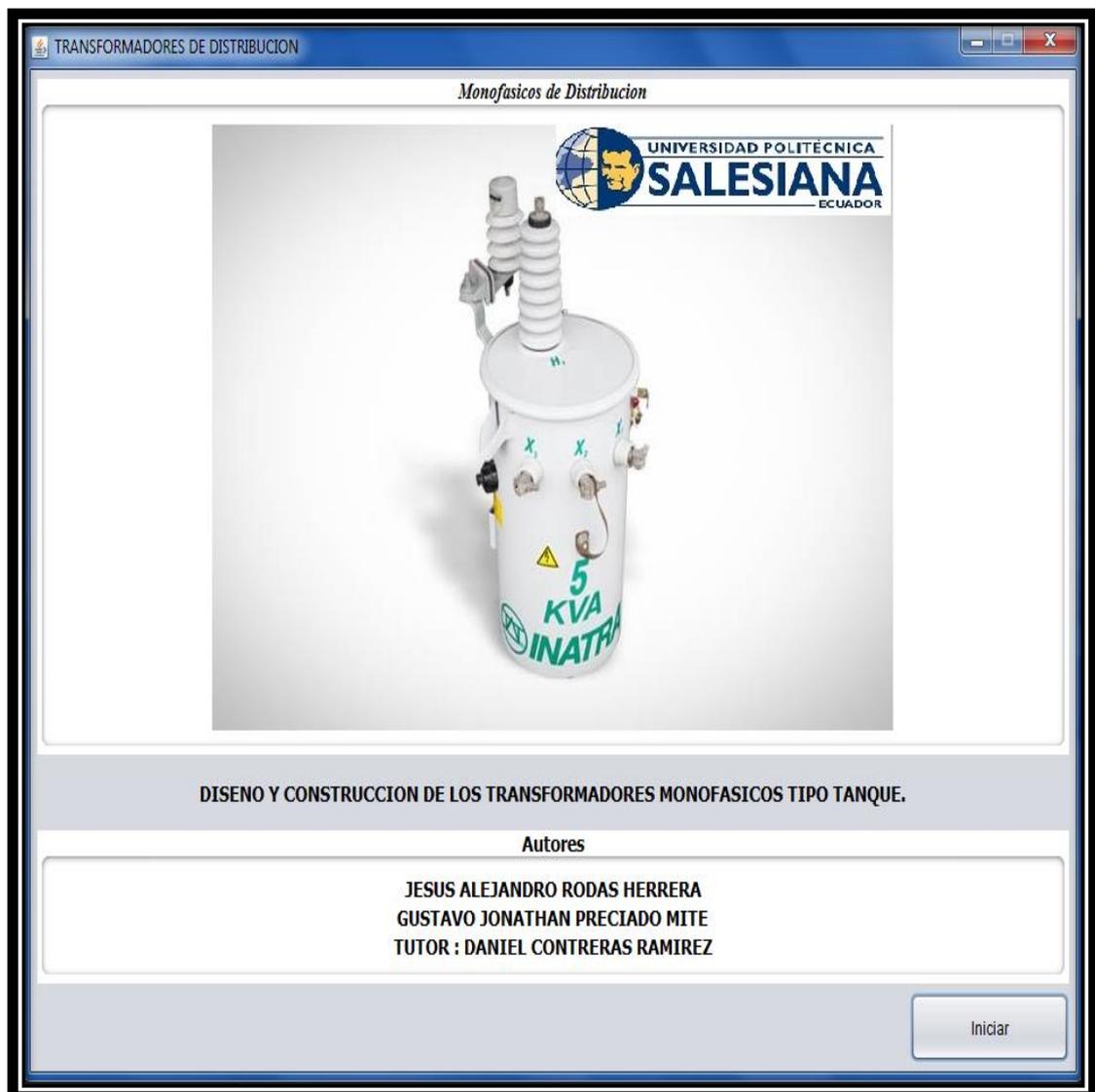
Las pruebas de corto circuito son realizadas en el lado de alta tensión, la podemos comprobar por el valor de corriente, que es el valor de la corriente que circula por el lado de 7620v del transformador, por lo tanto son referidos al lado de alta tensión.

CAPÍTULO 4. GUÍA DE USO Y APLICACIÓN DE SOFTWARE.

4.1 Presentación de programa

Durante el estudio y cálculos de los transformadores de distribución monofásico tipo tanque, se realizó un banco de datos con fines de elaborar un software que favorezca al conocimiento de forma didáctica y fácil, utilizando valores reales tomados de los fabricantes en sus distintas potencia (5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167, 250 KVA).

Ilustración 31.4 Presentación de programa



Elaborado por: Los Autores.

4.2 Ingreso y selección de datos

Ilustración 32.4 Ingreso y selección de datos

The screenshot shows a software window titled "TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION". The window has a menu bar with "File" and "Acerca de". Below the menu bar are five tabs: "1- Datos de Carga", "2- Calculo y diseno", "3- Calculo de Nucleo", "4- Calculo de Bobina", and "5- Calculo modelo Real". The "1- Datos de Carga" tab is active, and a sub-tab "Ingresar datos de carga" is visible. The main area contains the text "Todos los campos marcados con (*) son obligatorios". There are two input fields: the first is labeled "(*) DEMANDA KW." and contains the value "0"; the second is labeled "(*) TIPO DE DIMENSIONAMIENTO" and contains the value "1.3". At the bottom left, there is a text box with the note: "En el siguiente cálculo de potencia se considera un FP=0.92, Según el art. 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas por bajo FP". To the right of this text box is a "Calcular" button.

Elaborado por: Los Autores.

En la siguiente ventana se muestra el ingreso de la demanda que se piensa suministrar en unidades de KW, se selecciona el tipo de dimensionamiento considerando el criterio del estudiante en 30%, 40%, 50%, una vez realizado el ingreso de datos y la selección se calculara el transformador y se asignará el correcto.

Ilustración 33.4 Datos ingresados

The screenshot shows a software window titled "TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION". The window has a menu bar with "File" and "Acerca de". Below the menu bar are five tabs: "1- Datos de Carga", "2- Calculo y diseno", "3- Calculo de Nucleo", "4- Calculo de Bobina", and "5- Calculo modelo Real". A button labeled "Ingresar datos de carga" is located below the tabs. The main area of the window contains the text "Todos los campos marcados con (*) son obligatorios". There are two input fields: the first is labeled "(*) DEMANDA KW." and contains the value "0"; the second is labeled "(*) TIPO DE DIMENSIONAMIENTO" and contains the value "1,3". Below these fields is a text box containing the text: "En el siguiente cálculo de potencia se considera un FP=0,92, Según el art. 27 de la Codificación del Reglamento de Tarifas por bajo FP". To the right of this text box is a button labeled "Calcular".

Elaborado por: Los Autores.

4.3 Cálculo y diseño

En esta ventana se presentaran los cálculos realizados por el programa que corresponde a las opciones de cálculo de potencia compleja de la demanda, cálculo de potencia dimensionada, designación de transformador y las dimensiones de cada transformación indicando cada una de sus partes.

Ilustración 34.4 Presentación de datos técnicos

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

File Acerca de

1 - Datos de Carga 2 - Calculo y disenno 3 - Calculo de Nucleo 4 - Calculo de Bobina 5 - Calculo modelo Real

Resultado de la evaluacion de la carga

POTENCIA COMPLEJA DE LA DEMANDA (KVA)	36.95652173913043
POTENCIA COMPLEJA DIMENSIONADA PARA TRANS...	36.95652173913043
DESIGNACION DE TRANSFORMADOR (KVA)	37
DIMENSIONES DEL TRANSFORMADOR	
1 - ALTURA(mm)	950
2 - DIAMETRO(mm)	410
3 - ANCHO(mm)	526
4 - ALTURA TANQUE(mm)	690

Tabla de componentes

TRANSFORMADOR AUTOPROTEGIDO MONOFASICO DE DISTRIBUCION 37.5 KVA

1. BUSHING DE ALTA TENSION
2. VALVULA DE SOBREPRESION
3. LUZ PILOTO
4. BREAKER
5. PARARRAYOS
6. PLATINA DE PUESTA A TIERRA
7. CONMUTADOR
8. SOPORTE PARA POSTE
9. PERNO DE PUESTA A TIERRA
10. BUSHING DE BAJA TENSION
11. OREJA DE IZAJE

950mm

690mm

410mm

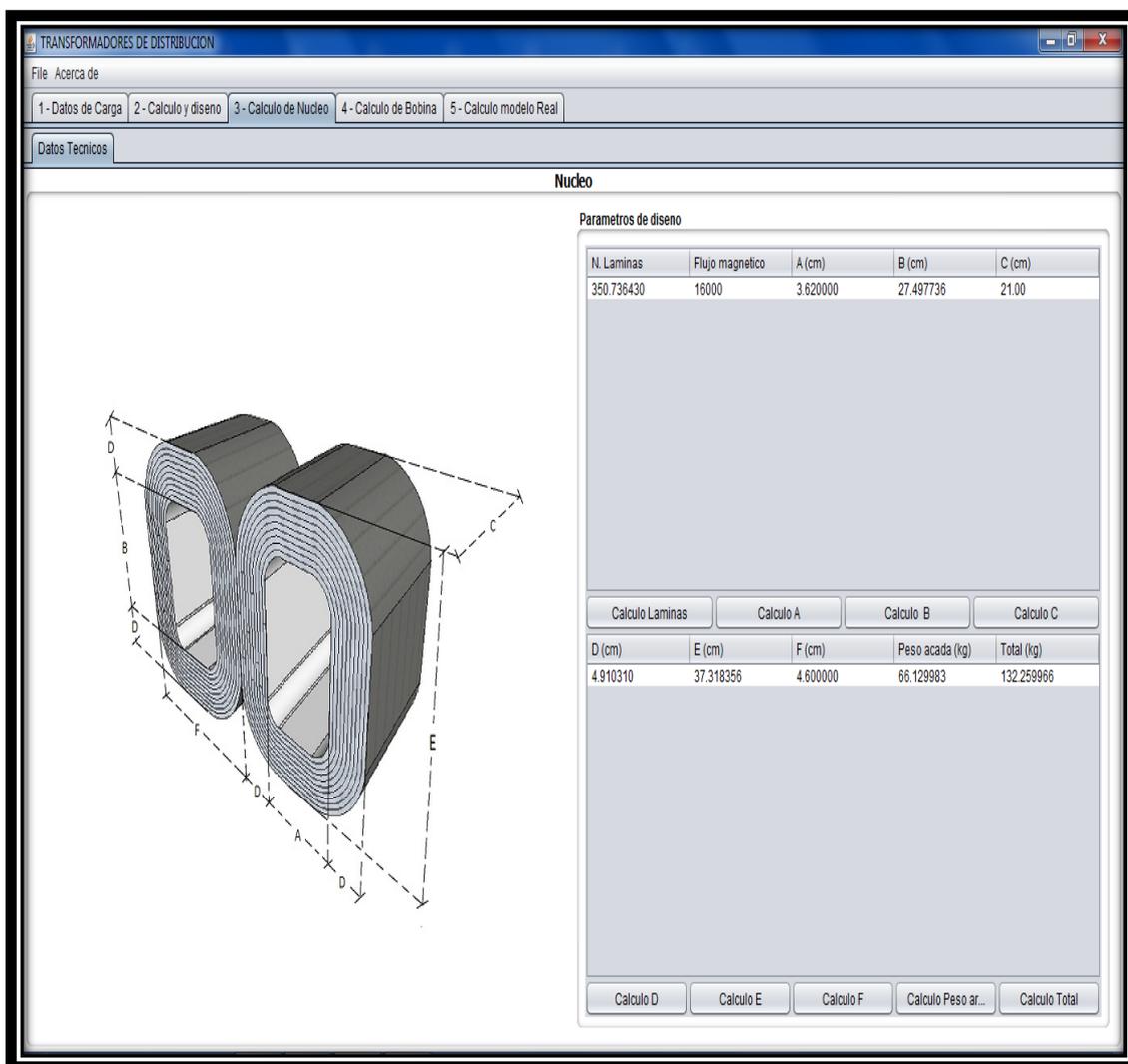
526mm

Elaborado por: Los Autores.

4.4 Cálculo de núcleo

En la siguiente ventana se presenta los valores de dimensionamiento de la arcada calculados anteriormente, su tipo de flujo y hierro orientado. Las caras de las arcadas corresponden a una característica de fabricación.

Ilustración 35.4 Presentación de cálculo de núcleo



Elaborado por: Los Autores.

4.5 Cálculo de bobina

En la siguiente ventana se presentan los valores de parámetro de diseño para la construcción de la bobina, estos valores fueron calculados con el fin de presentar dimensiones muy aproximadas a los establecidos por los fabricantes.

Ilustración 36.4 Presentación de cálculo de bobina

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION

File Acerca de

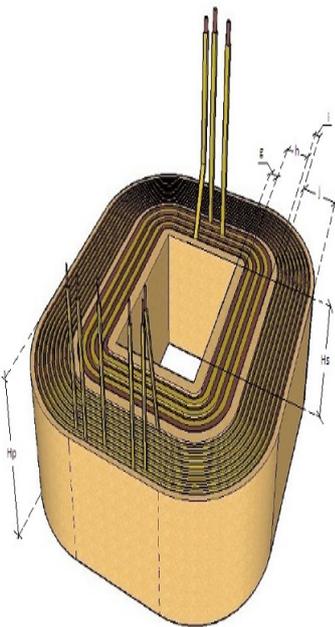
1 - Datos de Carga 2 - Cálculo y diseño 3 - Cálculo de Núcleo 4 - Cálculo de Bobina 5 - Cálculo modelo Real

Parámetros de diseño

Bobina

Tablas del diseño

Conductores AWG Distancia min para ai... Conductores doble ca... Peso de conductores ...



Parámetros de diseño

G Tubo debanado (mm)	H Baja tension (mm)	I Aislamiento at - bt (mm)
3.175	8.250	6.850

Calculo G Calculo H Calculo I

J Alta Tension (mm)	Impedancia (%)	Total (mm)
15.380	2.50	33.650

Calculo J Total

Conductor alta (AWG)	Conductor baja (AWG)	Peso conductor ba (kg)	Peso conductor bb (kg)
14.0000	10	13.3840	9.4373

Calculo conductor alta Calculo conductor baja Peso conductor ba Peso conductor bb

Max vueltas alta	Min vueltas alta	N. Vueltas baja	Hs altura efectiva (c...)	Hp altura efectiva (c...)
975.0000	880.0000	30.0000	25.2700	24.1200

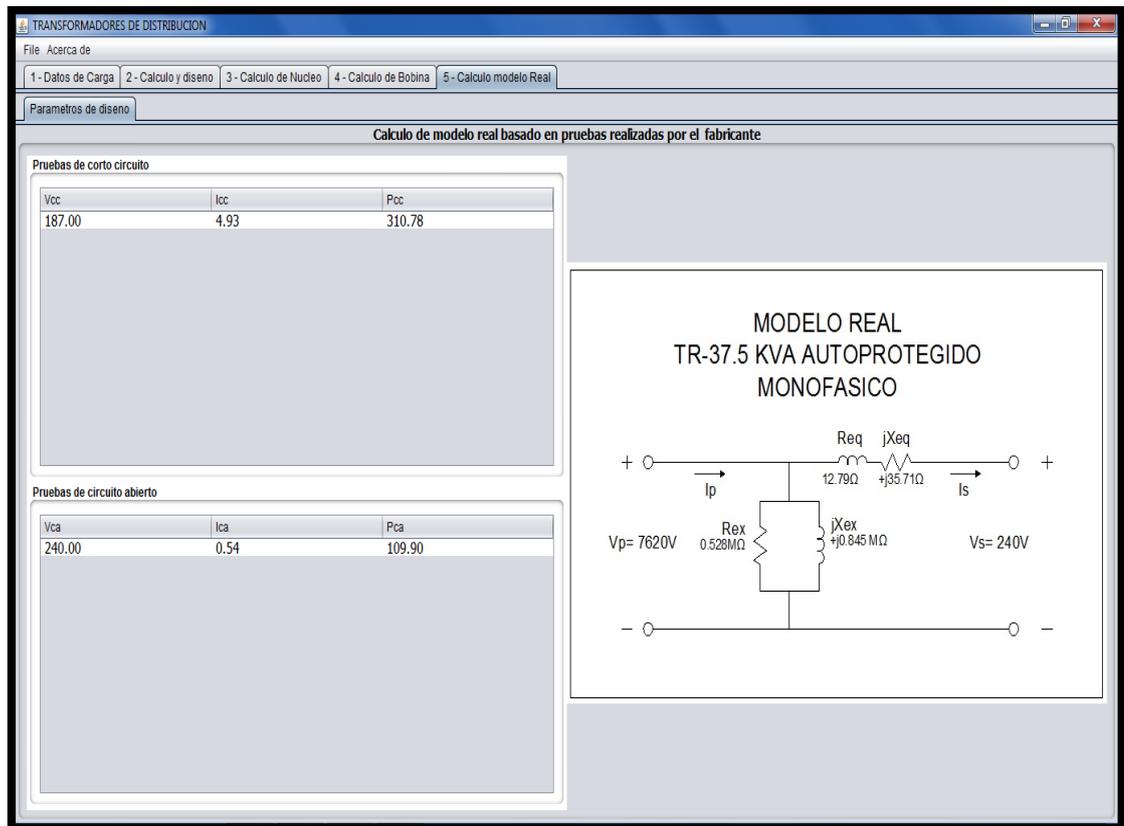
Calculo vueltas ... Calculo max vue... Calculo min vuel... Calculo Hs altura Calculo hp altura

Elaborado por: Los Autores.

4.6 Cálculo de modelo real

En la siguiente ventana se muestran los valores calculados del modelo real correspondiente a la capacidad del transformador calculado por el programa, se presenta el diagrama de conexiones para la prueba de corto circuito.

Ilustración 37.4 Presentación de modelo real



Elaborado por: Los Autores.

CONCLUSIONES

Al concluir el pensum académico de la carrera de ingeniería eléctrica, y con la ayuda del tutor, nació la necesidad de realizar un análisis a profundidad del diseño y construcción de los transformadores de distribución monofásicos de tipo poste, existentes en el mercado, aplicando los conocimientos adquiridos, mostrando los resultados de los cálculos respectivos de cada uno de estos en un programa, aplicación, didáctico que permita facilitar e incrementar más allá los conocimientos en el estudio de este tema de los alumnos de la carrera.

Mediante la ejecución de este trabajo teórico además de la aplicación didáctica del respectivo programa, basado en cálculos con valores reales, se podrán visualizar todos los modelos de transformadores de distribución monofásicos tipo poste con sus respectivas características eléctricas y constructivas, ayudando de gran manera a mejorar el estudio en materias como Alta tensión, Diseño, instalaciones industriales y Maquinas eléctricas.

RECOMENDACIONES

Una vez concluida la tesis, se considera importante:

- Investigar, de esta manera, acerca de los demás tipos de transformadores, no solo limitándose a los de distribución, sino abarcar también a los transformadores de potencia.
- Incrementar el estudio en las aulas de clases de los tipos de transformadores, además del principio de funcionamiento del mismo, las características constructivas y de los elementos que intervienen en estos.
- Analizar con mayor detenimiento el estudio acerca del aceite aislante en los transformadores.
- Utilizar el software didáctico para ampliar el conocimiento de los modelos existentes de los transformadores de distribución monofásicos tipo poste a los estudiantes de la carrera.

BIBLIOGRAFÍA

Pedro Avelino Pérez - Transformadores de distribución, tercera edición.

INATRA, Catálogo de Transformadores de distribución monofásicos.

EDESUR Dominicana, S.A (2009) Especificación técnica de materiales

Versión 2, Transformadores tipo poste auto-protegido antifraude 7.2 Kv

Chapman, S. J. (2000). Máquinas Eléctricas. Santa Fe: MC GRAW HILL.

HARPER, G. E. (1989). El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales. México D.F.: Limusa S.A.

Kosow, I. (1991). Máquinas Eléctricas y Transformadores. México: Prentice-Hall.

Gurú / Huseyin R Hiziroglu. Maquinas eléctricas y transformadores

Varias fuentes de Internet:

<http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas6.htm>

<http://www.monografias.com/transformadores/tipos>

<http://www.Inatra.com>