

Cálculos eléctricos para diseño de transformador trifásico reductor de tensión de 75 kVA,
208-20 V para instalación galvánica de la empresa Zintepec Ltda.

Gildardo Antonio Alvis Otavo

Código: 31852002

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central

Facultad de especialización en construcción de redes de distribución de energía eléctrica
de media tensión.

Bogotá DC

2019

Cálculos eléctricos para diseño de transformador trifásico reductor de tensión de 75 kVA,
208-20 V para instalación galvánica de la empresa Zintepec Ltda.

Gildardo Antonio Alvis Otavo

Código: 31852002

Proyecto de grado para optar al título de: Especialista en construcción de redes de
distribución de energía eléctrica de media tensión.

Asesor: Ing. Gustavo Veloza

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central

Facultad de Especialización en construcción de redes de distribución de energía eléctrica
de media tensión.

Bogotá DC

2019

Nota de aceptación

Firma de jurado

Firma de jurado

Bogotá D.C, 6 de junio de 2019

Dedicatoria

Dedicado a Dios por brindarme su bendición y siempre acompañarme en cada paso del día a día, dándole fortaleza a mi corazón en los momentos difíciles e iluminación a mi mente para tomar las decisiones correctas. Y a mi familia principalmente a mi esposa Lucia, mis hijas Valentina y Luna, por su incondicional apoyo, paciencia y espera. Deseando como siempre que este esfuerzo y perseverancia sea motivación y ejemplo de vida.

Agradecimientos

Mis más sinceros y extensivos agradecimientos a la empresa Zintepec Ltda. Por nuevamente confiar y dejar en mis manos un proyecto de tan alta importancia, al Ingeniero Gustavo Veloza Zea por brindarme el apoyo, conocimiento, experiencia y orientación en la realización del proyecto. Al ingeniero Luis Eduardo Cano Carvajal por fomentar en mí, la sed de conocimiento y curiosidad en el campo de la energía eléctrica especialmente en lo referente a la maquinas eléctricas.

Tabla de contenido

Palabras claves		xviii
1	Planteamiento del problema	3
2	Justificación	4
3	Objetivos del proyecto	6
3.1	Objetivo general	6
3.2	Objetivos específicos	6
4	Alcances y limitaciones del proyecto	7
4.1	Alcances	7
4.2	Limitaciones	7
5	Marcos de referencia	9
5.1	Antecedentes	9
5.1.1	Diseño de transformador con núcleo tipo columna y bobina circular ...	10
5.1.2	Optimización aplicada al diseño y cálculo de un transformador de distribución	10
5.1.3	Diseño de un transformador de 5MVA, 33/11 kV Dyn11	11
5.1.4	Transformadores trifásicos respuesta ante cargas lineales y no lineales, ensayos y simulación	11
6	Marco teórico	13
6.1	Transformadores eléctricos reductores de tensión	13

6.2	Elementos constitutivos básicos de un transformador eléctrico reductor de tensión.....	15
6.2.1.1	El núcleo.....	15
6.2.1.2	Devanados	17
7	Descripción de la conexión a utilizar en el transformador trifásico reductor	20
8	Selección del método adecuado de cálculo de un transformador.....	22
9	Diseño metodológico	24
10	Recursos disponibles.....	26
11	Propiedades constructivas del transformador trifásico reductor	27
12	Cronograma de actividades	29
13	Cálculos eléctricos del transformador trifásico reductor	30
13.1	Variables aplicadas en los cálculos, en orden de presentación.....	30
13.2	Datos iniciales del transformador trifásico reductor	32
13.3	Calculo de las corrientes en primario y secundario	32
13.4	Sección de cada una de las piernas.....	34
13.5	Inducción Magnética	34
13.5.1	Flujo magnético	34
13.5.2	Numero de espiras o vueltas en el primario.....	35
13.5.3	Numero de espiras o vueltas en el secundario	35
13.5.4	Relación de transformación para conexión Dy5.....	36

13.6	Perdida de potencia por pierna del transformador.....	36
13.6.1	Resistencia del bobinado primario de cada pierna	36
13.6.2	Resistencia del bobinado secundario de cada pierna.....	36
13.6.3	Tensión de fase en primario	37
13.6.4	Tensión de fase en secundario	37
13.6.5	Calibre del conductor del bobinado primario	37
13.6.6	Diámetro del conductor del bobinado primario.....	38
13.6.7	Calibre del conductor del bobinado secundario.....	38
13.6.8	Diámetro del conductor del bobinado secundario	38
13.6.9	Impedancia del transformador	39
14	Conclusiones	40
15	Recomendaciones	42
16	Bibliografía	43
17	Anexos	45
17.1	Anexo 1. Carta de Autorización de empresa Zintepec Ltda.....	45
17.2	Anexo 2. Carta de finalización del proyecto.....	46
17.3	Anexo 3. Diagrama toma de decisiones	47
17.4	Clase de aislamiento para transformadores según la temperatura de operación.....	48

17.5	Límites de sobreelevación de temperatura para transformadores refrigerados en aceite u otro líquido dieléctrico	49
17.6	Tensiones nominales preferentes y su clase de aislamiento	50
17.7	Grupos de conexiones usuales	51

Lista de figuras

Figura 1. Ejemplo esquema eléctrico de transformador reductor.....	13
Figura 2. Transformador reductor de tensión. En primario 208 V, secundario 20 V.....	14
Figura 3. Formas constructivas de núcleos.....	16
Figura 1. Transformador tipo acorazado.....	18
Figura 2. Transformador tipo núcleo.....	19
Figura 6. Esquema de conexión Delta-estrella (Dy5)	21
Figura 7. Parámetros iniciales necesarios para calcular un transformador.....	23
Figura 8. Ilustración grafica del proceso metodológico del proyecto.	25
Figura 9. Rueda de atributos de propiedades a tener en cuenta al realizar cálculos.....	28
Figura 10. Diagrama toma de decisiones.....	47
Figura 11. Grupos de conexiones usuales según VDE 0532/11.....	71

Lista de tablas

Tabla 1. Cronograma de actividades.....	29
Tabla 2. Clases de aislamientos según temperatura.....	48
Tabla 3. Límites de sobreelevación de temperatura para transformadores.....	49
Tabla 4. Tensiones nominales y su clase de aislamiento.....	50

Glosario

B

Bobinado

También llamado inductor, consisten en un hilo conductor enrollado. Al pasar una corriente a través de la bobina, alrededor de la misma se crea un campo magnético que tiende a oponerse a los cambios bruscos de la intensidad de la corriente. 37,40,51,56.

C

Conductor

Se denomina conductor a todo material que permite el paso continuo de una corriente eléctrica, cuando esta sometido a una diferencia de potencial eléctrico. 37,38,50,52,57,58.

D

Densidad

El concepto de densidad aplicado a la corriente eléctrica, se define como la magnitud de intensidad que circula por unidad de sección de un conductor. 51,57.

Derivación

Las derivaciones, tomas o taps en un transformador eléctrico son los posibles puntos de conexión con los que cuenta el devanado. 29.

Distribución

Transferencia de energía eléctrica a los consumidores, dentro de un área específica. 21,23,30,38.

E

Espiras

Arrollamiento o vueltas de alambre conductor que conforman las bobinas de un transformador.

37,50,51,54,55.

F

Flujo eléctrico

En electromagnetismo el flujo eléctrico, o flujo electrostático, es una magnitud escalar que expresa una medida del campo eléctrico que atraviesa una determinada area.

Frecuencia

Número de ciclos o periodos por segundo de una corriente alterna.

21, 23,52.

I

Intensidad

La intensidad de corriente es la carga eléctrica que atraviesa una sección del conductor en una unidad de tiempo.

19,21,32,52.

M

Magnetismo

El magnetismo o energía magnética es un fenómeno natural por el cual algunos objetos ;producen fuerza de atracción o repulsión sobre los otros materiales.

O

Operación

Es la aplicación del conjunto organizado de técnicas y procedimientos destinados al uso y funcionamiento adecuado de elementos para cumplir con un objetivo.

62,68.

P

Pierna

El término en transformadores eléctricos hace referencia a las columnas del núcleo sobre las cuales se realiza el arrollamiento de las bobinas.

108, 109

Procesos

Un proceso es una secuencia de pasos dispuesta con algún tipo de lógica que se enfoca en lograr algún resultado específico.

40,51,71.

S

Sección

Área de la punta de un conductor, se determina a partir del radio o diámetro. 37, 38,50,51,57.

T

Tensión

La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

21,32,33,34,37,38,40...



Voltaje

Es la medida de la tensión eléctrica.

18,21,29, 33, 40, 50...

Abstract

This project is born with the search of the optimal method to carry out the different mechanical and electrical calculations that are required for the design and construction of a 75kVA electric transformer whose connection and respective voltages in primary and secondary are delta-star, 208 / 20 V. The project starts with the development of the research, in order to have the cognitive bases that allow identifying the different techniques by means of which the necessary calculations can be made, in order to later choose the appropriate method.

It can be concluded thanks to the exploration of the subject in question, that being the transformer a machine of static type that requires to provide a continuous service, it must be calculated as a robust and safe machine that adequately fulfills the functions of voltage transformation all this without Exceeding the use of materials in order to subsequently achieve the perfect balance between functionality and economy.

Resumen

Este proyecto nace con la búsqueda del método óptimo para llevar a cabo los diferentes cálculos eléctricos que se requieren para el diseño de un transformador eléctrico trifásico para la empresa Zintepc Ltda. Las características representativas de esta máquina, que merecen mención inicial son la potencia aparente que es de 75 kVA y la conexión y tensiones respectivas en primario y secundario que son delta- estrella, 208/20 V. El proyecto da comienzo con el desarrollo de la investigación, para de esta forma tener las bases cognoscitivas que permitieran identificar las diferentes técnicas por medio de las cuales se pueden realizar los cálculos en mención necesarios, para posteriormente elegir el método adecuado.

Se puede concluir gracias a la exploración del tema en cuestión, que al ser el transformador una máquina de tipo estática que requiere brindar servicio continuo se debe calcular como una máquina robusta y segura que cumpla adecuadamente con las funciones de transformación de tensión, todo esto sin exceder el uso de materiales para así subsiguientemente alcanzar el balance perfecto entre funcionalidad y economía.

Palabras claves

Transformador eléctrico:

Un transformador es una máquina eléctrica de tipo estático es decir sin partes móviles que se destina a modificar energía eléctrica recibida en otra energía eléctrica de características distintas ya sea de tensión, intensidad, etc.

Factor de seguridad:

El factor de seguridad es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido.

Corriente de cortocircuito:

Se denomina corriente de cortocircuito de un transformador a la corriente que circula por el arrollamiento secundario al encontrarse cortocircuitado y entre los bornes del primario existe el valor nominal de la tensión primaria. La corriente en mención siempre es muy elevada y puede provocar graves averías en el transformador por efectos térmicos y electrodinámicos.

Máquina estatica

Una máquina estática es un conjunto de elementos no móviles y fijos cuyo accionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía, o realizar un trabajo.

Introducción

El empleo de transformadores eléctricos en los diferentes campos de acción de un sistema eléctrico nos permite en forma general llevar a cabo la modificación de la energía eléctrica, que se encuentra en una fuente, en otra de características distintas en cuanto refiere a tensión e intensidad, estas máquinas de tipo estático hacen parte de nuestras vidas y con solo observar a nuestro alrededor podemos ratificar esta afirmación, la importancia de los transformadores precisamente se puede evidenciar en la presencia que tienen en el mundo, la cual pasa imperceptible en algunas situaciones, como es el caso de las redes subterráneas y ello no los hace de menor valor puesto que gracias a ellos un gran número de sistemas eléctricos que facilitan actividades de la vida cotidiana, pueden llevar a desarrollo sus actividades de transmisión, subtransmisión y distribución.

El permitir al transformador eléctrico ejecutar cambios en las características de la energía eléctrica, es inexcusablemente la razón que hace que esta máquina tenga un lugar de importancia para la sociedad actual y futura.

El presente documento busca dejar ilustrado el método óptimo para llevar a cabo los cálculos eléctricos necesarios a tener en cuenta en el diseño de un transformador sin importar su relación de transformación, tensiones o frecuencia de trabajo.

Mediante la ejecución del proyecto no solo se busca dar la solución recomendable al momento de realizar este tipo de cálculos, sino también demostrar como la aplicación de los

diferentes conocimientos adquiridos en el desarrollo de la Especialización en construcción de redes de energía eléctrica de media tensión, permiten al graduado brindar respuesta como es lo esperado, no solamente a los cálculos necesarios para el desarrollo de una red eléctrica sino igualmente a los cálculos para determinar elementos específicos como lo es, el caso de un transformador trifásico para una instalación galvánica, situación que es afín al área de estudio y que evidencia desempeño en el ejercicio profesional integral.

1 Planteamiento del problema

Actualmente las empresas que diseñan y construyen transformadores de potencia cuentan con diferente software que permiten llevar a cabo de manera directa los cálculos indispensables para efectuar su labor, esto actualmente genera que acudamos de forma prioritaria a estos programas para hallar la solución a los datos dimensionales de los diferentes elementos que encontramos en un transformador.

Lo anterior trae como problemática la total dependencia de la realización de cálculos con métodos sistematizados y colaboran en el olvido de las bases fundamentales que expliquen o argumenten de donde se obtienen los resultados simplificados que arroja un programa de cálculo. Por otro lado, cuando se trata de casos especiales en el diseño y construcción de transformadores, el software que es desarrollado mayormente para cálculos de transformadores convencionales de redes de distribución, no es aplicable.

Es claro según lo anterior que es de gran valor definir y difundir un método mediante el cual se puede llevar a cabo los cálculos necesarios para el diseño y construcción de un transformador trifásico sin importar su relación de transformación, la tensión en primario o la requerida en el secundario y la frecuencia de la corriente de trabajo. Por tanto se requiere dar respuesta a esta problemática con la aplicación de conocimientos de ingeniería para llevar a buen término la solución mediante la identificación y aplicación de un método simplificado para el cálculo eléctrico de transformadores.

2 Justificación

El desarrollo de proyectos empresariales requiere sin importar el tipo de actividad económica, que estos sean no solo generadores de rentabilidad y valor agregado sino también que sean competitivos. Para alcanzar estos logros se debe contar con un agrupamiento de características administrativas, de estructura física y de colaboradores o recursos humanos que permitan de forma organizada cumplir con lo planificado.

Dicho lo anterior, se cita que el cálculo del transformador trifásico de 75 kVA 208/20 V se argumenta en la necesidad que tiene la empresa Zintepec Ltda. De tener la información específica arrojada por los cálculos de los diferentes elementos que conforman al transformador, para con esta información dar viabilidad por parte del área administrativa, al diseño y fabricación de esta máquina. De igual manera este proyecto se fundamenta en la importancia de contar con la estructura física necesaria para llevar a cabo una actividad comercial y en la falta de posibilidad de su desarrollo por parte de los fabricantes de transformadores convencionales, que indican que es un proyecto que se sale de su línea de producción. Por tanto existe la necesidad de dar solución a un problema y para ello se requiere de conocimientos de electricidad al igual que de innovación y gestión de recursos.

Partiendo de las consecuencias que ocasiona la falta de presencia de empresas que calculen, diseñen y fabriquen transformadores que no son comerciales comúnmente, se halla conveniente el implementar los cálculos para que posteriormente se realice el diseño y construcción de esta máquina. Con el desarrollo del proyecto se beneficiaría la empresa

Zintepec Ltda. Que tiene el problema a solucionar y las empresas o personas que se encuentren inmersas en la misma problemática citada.

En otro contexto mediante la realización del proyecto se puede reconocer la construcción de conocimiento a partir de la investigación, planificación, organización, sistematización y aplicación de la información o resultados hallados, debido a que en cada uno de los objetivos alcanzados se dará solución a los diferentes impedimentos que se presenten, dejando así las diferentes bases de datos que llevo a solucionarlos. Adicionado a lo anterior concurrirá adquisición cognoscitiva que aumenta las habilidades de pensamiento para brindar respuesta a futuras problemáticas que surgen a lo largo del ejercicio profesional de la ingeniería.

La generalización de los resultados de proyecto se podrá dar en el ámbito industrial nacional enfocado a la fabricación de transformadores eléctricos especiales, por cuanto como se hace mención inicialmente el diseño y fabricación de transformadores con relaciones de transformación y voltajes no convencionales en Colombia, se encuentra limitado por la falta de cálculos necesarios que respalden el desarrollo de este tipo de proyectos.

3 Objetivos del proyecto

3.1 Objetivo general

Realizar los cálculos eléctricos de transformador trifásico de 75 kVA de 208/20 V para la empresa Zintepec Ltda.

3.2 Objetivos específicos

- Definir cada uno de los elementos del transformador que se deben calcular.
- Identificar y analizar los diferentes métodos de cálculo existentes para transformadores eléctricos.
- Precisar el método a utilizar para calcular el transformador trifásico.
- Realizar los cálculos de los elementos que componen al transformador.

4 Alcances y limitaciones del proyecto

4.1 Alcances

La realización del proyecto tiene como alcance principal los cálculos eléctricos necesarios para la identificación del dimensionamiento del transformador que faciliten el posterior análisis de costos por parte del área administrativa de Zintepec Ltda. Que permitan definir la viabilidad en la ejecución de diseño y construcción del transformador en mención.

No se encuentra contemplada dentro de los alcances del proyecto la realización de labores diseño, identificación de materiales y costos, construcción, ni el análisis de los otros elementos como tipo de protección, refrigeración, aislamiento, tablero de control, etc. De igual manera se encuentra fuera de la cobertura del proyecto los análisis propios de calidad de energía para el tipo de instalación y el desarrollo de un banco de condensadores para contrarrestar la potencia reactiva de todo el sistema eléctrico al que pertenecería el transformador.

4.2 Limitaciones

En general el formato de todo proyecto cuenta con actividades que no se ejecutaran por no estar contempladas dentro de la planificación del mismo, que definen las limitaciones que se presentan durante el desarrollo de operaciones, estas para el caso en particular son: Por requerimiento de la empresa Zintepec Ltda. Se debe realizar los cálculos del transformador buscando que los datos arrojados de los diferentes materiales sean de valores comerciales; otro

de los aspectos limitantes a la ejecución del proyecto se encuentra en el tiempo trazado por la empresa Zintepec Ltda. Para llevar a cabo las actividades planificadas, que es de cuatro meses.

5 Marcos de referencia

5.1 Antecedentes

Los inicios de la galvanostegia como todo campo en auge acarreo consigo diferentes problemáticas a solucionar, de las cuales sobresale en el área eléctrica la necesidad de regulación de la tensión para llevar a cabo recubrimientos metálicos específicos. Inicialmente se brindó respuesta a esta problemática mediante el uso de transformadores con derivaciones en el primario o aplicando autotransformadores que facilitan la regulación del tensión.

Actualmente gracias al desarrollo de la electrónica de potencia se puede llevar a cabo la regulación de tensión en un transformador de potencia mediante la aplicación de rectificadores controlados de silicio o SCR por su nombre en inglés silicón controlled rectifier, esto requiere para facilitar esta operación que para el caso de la galvanostegia se realice este control sobre transformadores reductores que brinden en el secundario una tensión máxima de 20 voltios, es allí donde surge la necesidad de los cálculos para el diseño de este tipo de transformador reductor, para posteriormente llevar a cabo la construcción.

La importancia del tema de cálculos para el diseño de transformadores de energía eléctrica es tal que se han generado diferentes estudios, libros y proyectos de grado en torno a ellos, desde aquellos encaminados a el diseño, como los que citan materiales apropiados para la construcción, los relacionados con software de simulación de diseños funcionales o aquellos que plantean programas para llevar a cabo estos cálculos.

De los antecedentes hallados que hacen referencia a los cálculos para transformadores eléctricos se citan los siguientes:

5.1.1 Diseño de transformador con núcleo tipo columna y bobina circular

Este informe profesional fue realizado con el fin de optar al título de Ingeniero electricista y en él se desarrolló un profundo análisis del diseño de un transformador eléctrico y muestra la redacción de las diferentes nociones a tener en cuenta al construir un transformador eléctrico.

Los métodos aplicados para los cálculos matemáticos son generosamente explicados en el documento y se centran en la fabricación del transformador con un enfoque técnico. “Se muestra al transformador desde el punto de vista práctico, proporcionando las características de los materiales y como estos forman parte de la fabricación” (Giron, 2014).

5.1.2 Optimización aplicada al diseño y cálculo de un transformador de distribución

El desarrollo de esta tesis gira en torno al cálculo y diseño de un transformador de distribución de 75 kVA de 13200/220-127 V de conexión delta-estrella. Aplicando software que permite la obtención de datos para construcción de manera rápida y efectiva. Buscando reducción de costos y eficiencia del transformador. “El diseño de los transformadores continúa desarrollándose hoy en día, pues siempre existirá la necesidad de fabricar una maquina con la mayor eficiencia posible, confiabilidad y continuidad de servicio eléctrico. (Solis, 2008).

5.1.3 Diseño de un transformador de 5MVA, 33/11 kV Dyn11.

Este documento se presenta como un proyecto de fin de carrera, en cual se busca dar solución óptima en lo referente a la reducción de costos al momento de ejecutar la construcción de un transformador eléctrico.

Hace algunas décadas optimizar los costes no era una prioridad a la hora de diseñar un transformador, el diseño estaba completamente enfocado a que el transformador fuese capaz de aguantar las condiciones de servicio, por lo que muchos de sus componentes, como por ejemplo los aislamientos, estaban sobredimensionados para evitar problemas. Hoy en día optimizar los costes es algo prioritario para una compañía eléctrica. Este hecho unido a la gran competencia existente entre las empresas que se dedican a la fabricación de transformadores, hace que dichas empresas tengan que optimizar su diseño para que sea lo más económico posible asegurando el mejor funcionamiento para poder hacerse un sitio en el mercado. **(Blázquez, 2009)**.

5.1.4 Transformadores trifásicos respuesta ante cargas lineales y no lineales, ensayos y simulación.

La redacción de este trabajo de grado se esfuerza por transmitir los datos obtenidos mediante el estudio que se realiza a un transformador eléctrico que trabaja bajo diferentes tipos de carga y el efecto de los armónicos causados por cargas no lineales.

El comportamiento de un transformador queda definido con la resolución de sus ecuaciones eléctricas y magnéticas. Dichas ecuaciones relacionan las tensiones, las intensidades y los flujos del transformador. Cuando estas ecuaciones se pueden representar mediante circuitos equivalentes, como es el caso de los modelos presentados en este trabajo, se deben resolver estos circuitos equivalentes. **(Lorite, 2015)**.

6 Marco teórico

6.1 Transformadores eléctricos reductores de tensión.

La teoría que encontramos de los transformadores eléctricos nos muestra una literatura muy extensa en lo que se refiere a las diferentes clases o tipos existentes, se puede afirmar que de estas máquinas podemos constituir un grupo variado de modelos y aplicaciones, todo esto debido a las diferentes necesidades que requieren de soluciones específicas. Dentro de este grupo encontramos los transformadores reductores de tensión, que se utilizan para llevar a cabo la reducción de tensión de salida o tensión en el secundario.

El fin del uso de estos transformadores reductores de tensión es contar con tensiones de trabajo concretos para determinadas actividades que no se pueden llevar a cabo con las tensiones comerciales o niveles de tensión normativos de la red eléctrica existente.

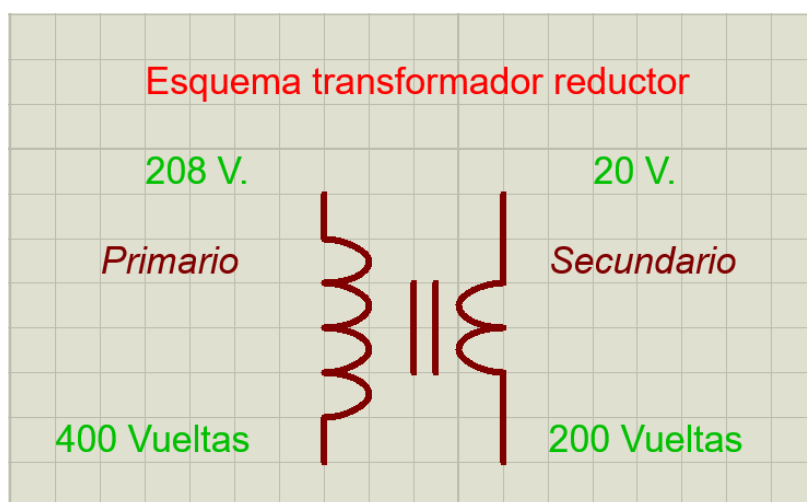


Figura 1. Ejemplo esquema eléctrico de transformador reductor. Fuente: El autor.

Como se cita anteriormente en el campo de la galvanostegia una aplicación típica de transformadores reductores de tensión, se evidencia en los equipos de rectificación que cuentan con este tipo de máquina que toma las tensiones de baja tensión (440-208 V) de la red eléctrica para reducirlos a valores estándar de trabajo (12-18-20 V).

Son innumerables las aplicaciones de los transformadores reductores de tensión y los podemos localizar de pequeñas potencias, pocos voltamperios (VA), hasta de grandes potencias millares o kilo voltamperios (kVA).



Figura 2. Transformador reductor de tensión. En primario 208 V, secundario 20 V. El autor.

6.2 Elementos constitutivos básicos de un transformador eléctrico reductor de tensión

Los transformadores eléctricos de potencia cuentan con elementos constitutivos dimensionados acordes a la función a desempeñar, en otras palabras, aunque de manera simplificada un transformador no es más que el conjunto formado por los devanados y el núcleo que los soporta en estas máquinas las dimensiones de materiales de fabricación, arrollamiento de las bobinas, etc. Dependen del trabajo para la cual se diseñan.

A diferencia de otros tipos de transformadores, los diseñados para el manejo de grandes potencias, se deben calcular de tal forma que brinden eficiencia eléctrica que ofrezcan la rentabilidad económica necesaria para poder hacer uso continuo de ellos sin entrar en altos costos por pérdidas eléctricas y sobrecostos de fabricación. De igual manera se requiere de alta resistencia mecánica que soporte en el tiempo los diferentes esfuerzos presentes en su estructura física, tales como cambios de temperaturas o efectos de tipo electromagnéticos que generan dilataciones y contracciones fatigantes que puedan ocasionar fallas en cortos periodos de trabajo. Son estos los motivos por los cuales se hace necesario reconocer de manera introductoria los diferentes elementos que conforman un transformador que para el caso será de tipo reductor de tensión.

Los principales elementos básicos que conforman un transformador son los siguientes:

6.2.1.1 El núcleo

Si se observa de manera apropiada la construcción del núcleo de un transformador de potencia se puede evidenciar que este elemento se encuentra constituido por laminas delgadas generalmente de acero al silicio laminado en frio, esto con el fin de reducir las pérdidas por histéresis y corrientes parasitas. El núcleo conforma el circuito magnético de todo transformador, en uso es atravesado por las fuerzas que son las causantes de los esfuerzos magnéticos entre las láminas o chapas que lo integran.

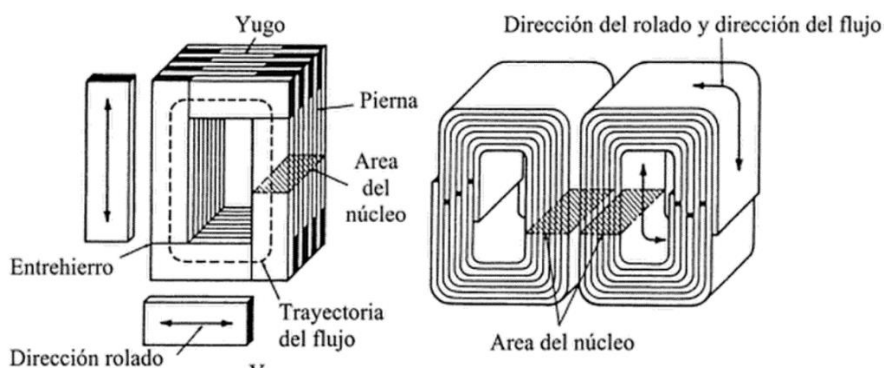


Figura 3. Formas constructivas de núcleos. (Perez, 1998).

Estos conjuntos de chapas se encuentran sólidamente unidas por pernos aislados que pasan a través de perforaciones previamente realizadas, los pernos son aislados con el fin de evitar la formación de corrientes parasitas, algunos diseños omiten la presencia de perforaciones y pernos llevando a cabo la fabricación del núcleo de manera prensada. Sin importar el método usado para la sujeción solida de las chapas, se debe tener en cuenta que lo que se busca es gracias a ello, eliminar el zumbido en los transformadores que es causado por las repulsiones magnéticas

que se suscitan entre las chapas, por tanto, el método de sujeción debe ser óptimo para de paso cumplir con los niveles de ruido exigidos en las normas aplicables para el caso.

En otra perspectiva se puede citar que el tamaño y forma del núcleo nos puede dar una idea no precisa de la potencia de trabajo de estas máquinas, pues en la práctica es de conocimiento que para pequeñas potencias el núcleo toma forma cuadrada en su sección y para grandes potencias se realizan núcleos de manera escalonada para realizar el devanado circularmente.

6.2.1.2 *Devanados*

El devanado de un transformador no es más que los conductores arrollados sobre el núcleo, conforman el circuito eléctrico de un transformador, son bobinas de cobre o aluminio previamente aisladas con resinas especiales curadas en horno a temperaturas específicas. En la construcción de transformadores pequeños usados en bajas tensiones, se usan conductores de sección circular y en los transformadores para altas potencias se suelen usar conductores de sección rectangular.

Estos bobinados deben contar con la capacidad mecánica para soportar los esfuerzos electrodinámicos para no sufrir deformaciones aun cuando se presente un cortocircuito, para adicionar a esta resistencia mecánica los bobinados se realizan con construcciones especiales teniendo en cuenta la presión y sentidos de arrollamiento, que evitan el posible movimiento de las espiras.

Las secciones, los materiales aislantes, el número de vueltas, el tipo de arrollamiento sobre el núcleo, de estos conductores dependen de la potencia para la cual se diseñen los transformadores. La manera como se realiza el devanado sobre los núcleos determina el diseño de los transformadores y su definición, basado en lo anteriormente citado existen dos fundamentales formas de construcción de los transformadores estas son los transformadores tipo núcleo y el tipo acorazado. El primero se usa en redes de distribución de alta tensión y el segundo igualmente para realizar distribución de energía eléctrica en menores potencias.

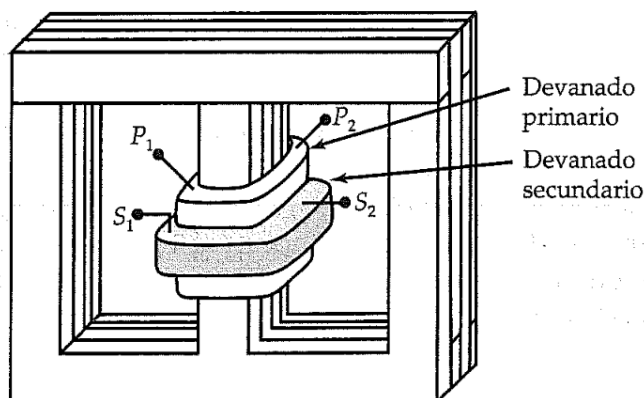


Figura 4. Transformador tipo acorazado. (Guru-Huseyin, 2003).

En la construcción del transformador de tipo acorazado, los dos devanados suelen efectuarse en la misma rama del núcleo magnético. En un transformador de tipo núcleo cada devanado puede incluso dividirse y devanarse en ambas ramas del núcleo rectangular. Los nombres de tipo acorazado y tipo núcleo se deben a que en el primero el transformador encierra a los devanados, mientras que en el segundo son estos los que encierran al núcleo. (Guru-Huseyin, 2003).

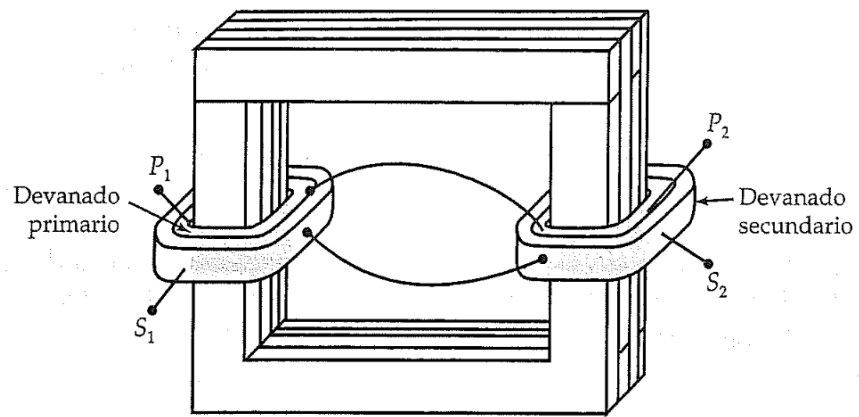


Figura 5. Transformador tipo núcleo (Guru-Huseyin, 2003).

7 Descripción de la conexión a utilizar en el transformador trifásico reductor

Cuando hablamos de tipo de conexión en un sistema polifásico, nos referimos a la forma como se encuentran entrelazados entre sí, los bobinados de las diferentes fases existentes en el régimen particularmente estudiado. Para el caso de los transformadores trifásicos es de resaltar que existen muchas formas de realizar dichas conexiones, aunque en la práctica solo se usan aquellas que brinden las mejores características eléctricas aplicadas a casos específicos, estas se encuentran normalizadas en grupos de conexión.

Para el del transformador reductor calculado se sugiere la aplicación de la conexión Delta-estrella. Figura 6, este tipo de conexión tiene utilización frecuente en los transformadores reductores debido a las ventajas que presenta, tales como, el balance mutuo de corrientes y tensiones en un sistema equilibrado, que permite que cada una de las piernas del transformador tome partes iguales de la carga trifásica a alimentar. Otra ventaja de gran importancia a mencionar de este tipo de conexión, se presenta al existir un caso de cargas desequilibradas puesto que al estar conectado el primario en triángulo no permite la formación de terceros armónicos en el secundario.

De igual manera y alta importancia se encuentra como ventaja la disposición del neutro en el secundario necesario en las aplicaciones de rectificación de corriente y para alimentación en media y baja tensión tetrafilar, ahora bien, contrario a la mencionado anteriormente se puede citar que este tipo de conexión presenta como desventaja que al fallar uno de los bobinados quedara fuera de servicio todo el sistema de transformación.

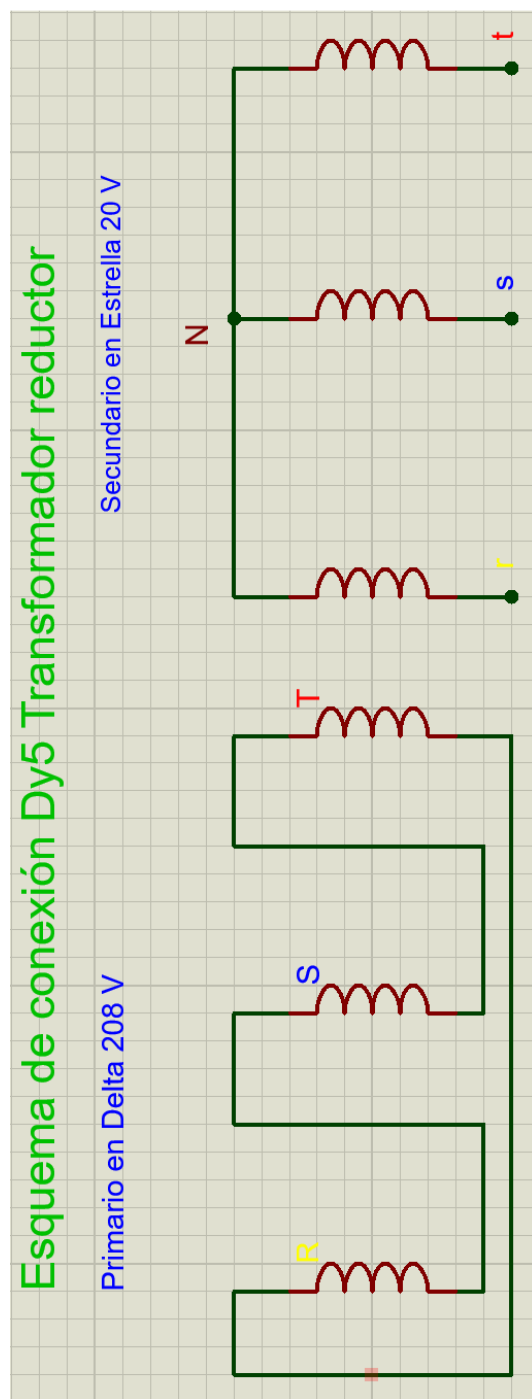


Figura 6. Esquema de conexión Delta-estrella (Dy5). Fuente. El autor

8 Selección del método adecuado de cálculo de un transformador.

El cálculo de transformadores se puede llevar a cabo mediante diferentes metodologías, dentro de las más relevantes que merecen ser citadas encontramos la aplicación de tablas que encontramos en libros técnicos excelentemente redactados y en documentos muy cortos y específicos de proveedores de estas maravillosas máquinas, en general este tipo de información tabulada no contiene las fuentes matemáticas que llevaron a los datos finales a emplear, pero al aplicarlas y de ser posible poder llevar a cabo una comparación con un transformador ya fabricado con otros métodos, se puede evidenciar que el margen de error es reducido.

Por otro lado, encontramos los métodos analíticos matemáticos, para llevar a cabo la aplicación de estas técnicas se debe realizar inicialmente el análisis de mayor profundidad que permita identificar las diferentes características eléctricas y mecánicas que debe tener el transformador para cumplir con la cobertura total y eficaz de las necesidades de los usuarios. Tales características suelen ser la tensión en el primario y secundario, la potencia aparente necesaria, la altura al nivel del mar a la cual se efectuará la instalación, temperatura, humedad, frecuencia de la red, etc. Cabe resaltar que en la aplicación de este método es de importancia tener claro el presupuesto con el cual se cuenta para llevar a cabo la posterior construcción del transformador.

Finalmente, dentro de las metodologías actuales de cálculo de transformadores, se encuentra el uso de software, es decir la aplicación de programas de computadora creados específicamente para que una vez ingresados los datos o entradas solicitadas se arroje de manera

inmediata como respuesta los diferentes valores dimensionales que debe cumplir el transformador calculado.

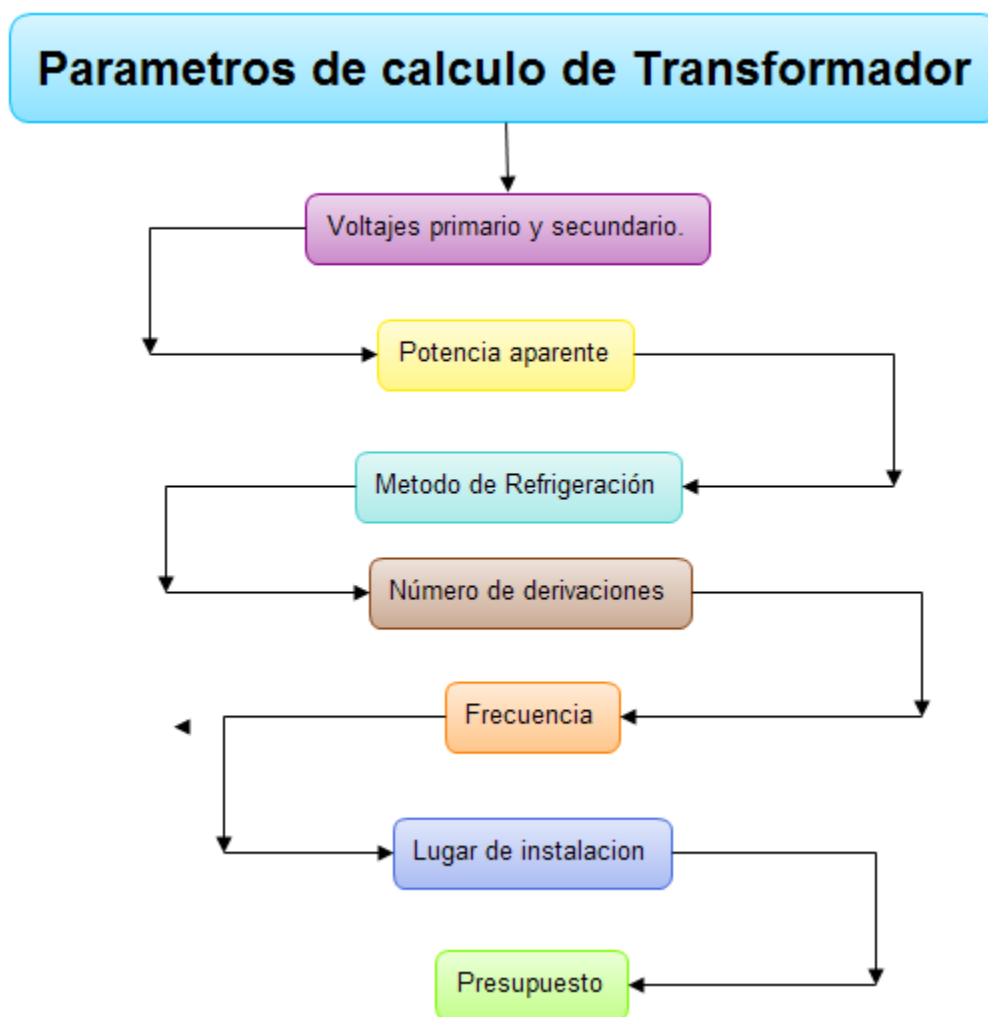


Figura 7. Parámetros iniciales necesarios para calcular un transformador. El autor.

9 Diseño metodológico

El diseño metodológico del proyecto toma bases en la metodología para el desarrollo de proyectos de tipo tecnológico, el cual da inicio especificando que el motivo que lleva a la elaboración del mismo se debe a la búsqueda de la solución para una problemática concreta planteada. Para llevar a cabo la realización se desarrolla ordenadamente una serie de pasos que emprenden en primera medida con el proceso investigativo que brinde la información necesaria para alcanzar la solución óptima y eficaz al problema, el proceso investigativo parte con la caracterización de la problemática a solucionar y avanza con el planteamiento del objetivo general y objetivos específicos.

Dando continuación al método, surge la identificación de los alcances y limitaciones del proyecto y de igual manera se reconoce la ubicación, análisis y registro de antecedentes que puedan existir referente al tema que puedan favorecer la búsqueda de la solución a la problemática expuesta, paso a seguir se encuentra la estructuración del marco teórico aplicando el método de índices o vertebrado.

Realizado lo anterior se procede a reconocer los diferentes recursos materiales, económicos, etc. Que respalden la ejecución de las actividades necesarias para la culminación de la solución al problema. Adicionado se define el cronograma general de actividades que consienta la planificación, ejecución y control en un tiempo específico de las mismas.

Finalmente se procede con la realización de los cálculos necesarios que definan la constitución física del transformador reductor.



Figura 8. Ilustración gráfica del proceso metodológico del proyecto. Fuente: El autor.

10 Recursos disponibles

La ejecución de proyecto se determina con la realización de los cálculos pertinentes planteados en el objetivo general, por tanto, no es necesario contar con recursos económicos ni materiales extensos. El mayor y más importante recurso necesario, es el conocimiento adquirido a lo largo del ejercicio de la ingeniería que permita identificar los elementos y cálculos a efectuar para establecer la estructura física del transformador.

11 Propiedades constructivas del transformador trifásico reductor

Con el fin de dar alcance al objetivo general del proyecto y cumplir con los objetivos específicos planteados, se desarrolló una fase inicial de investigación de metodología de cálculo a aplicar e identificación de materiales y características apropiadas para una posible posterior construcción del transformador por parte de la empresa Zintepec Ltda.

Además, se ha optado por realizar los cálculos enfocados a la búsqueda de propiedades físicas, eléctricas y magnéticas optimas que permitan la fabricación de la maquina con la menor utilización de materiales reduciendo los costos, consumo, contaminación ambiental y buscando igualmente que su configuración física cumpla eficientemente con las funciones para las cuales se construiría.

La siguiente rueda de atributos muestra las diferentes propiedades que se buscan cumplir mediante la realización de los cálculos en forma apropiada.

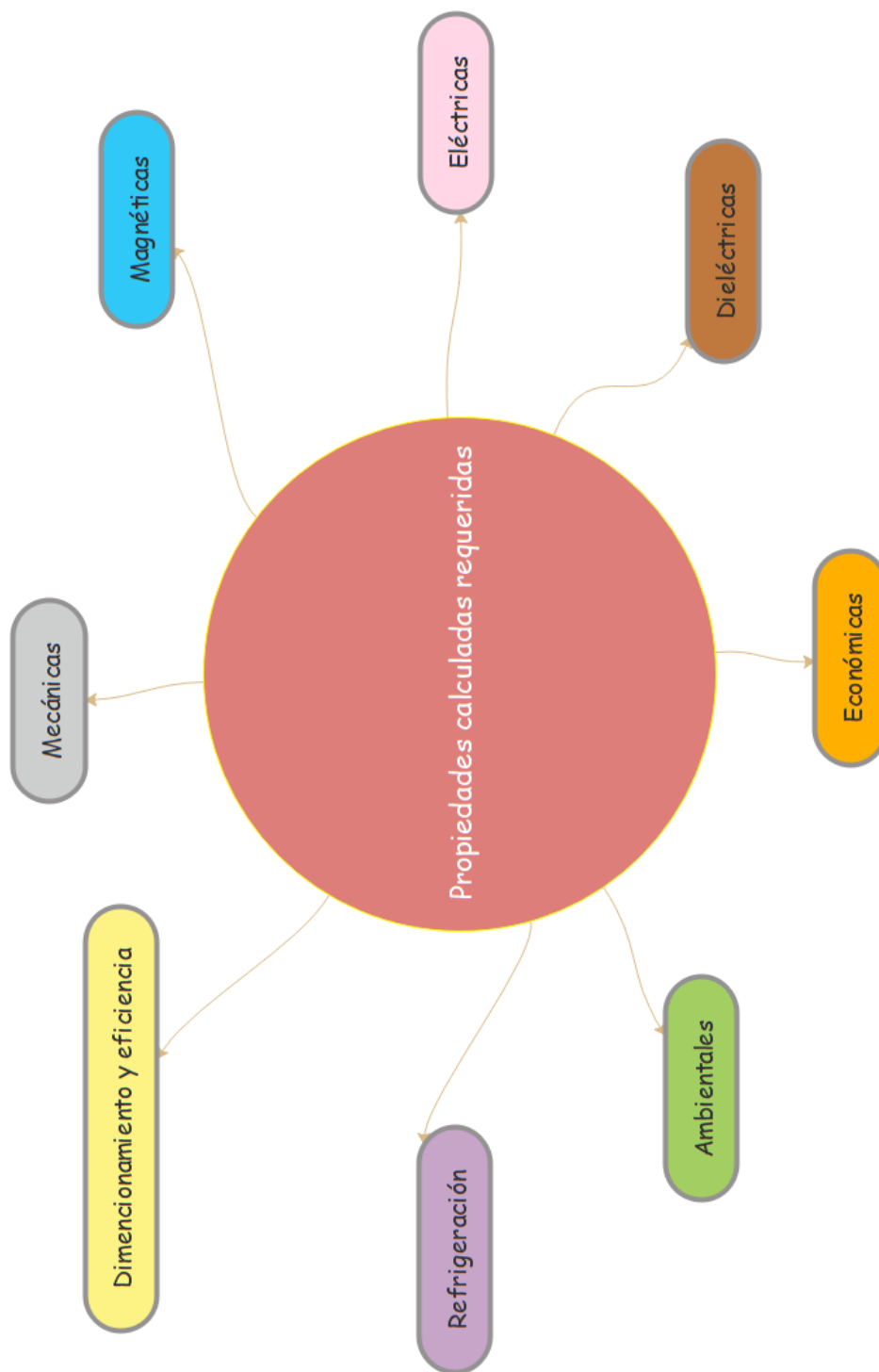


Figura 93. Rueda de atributos de propiedades a tener en cuenta al realizar cálculos. Fuente: El autor.

12 Cronograma de actividades

Tabla 1. Cronograma de actividades

4 meses Actividades por semana.	<u>Mes 1</u> <u>Febrero</u>				<u>Mes 2</u> <u>Marzo</u>				<u>Mes 3</u> <u>Abril</u>				<u>Mes 4</u> <u>Mayo</u>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Consultar y analizar la literatura existente sobre cálculos y construcción de transformadores eléctricos.	■															
Identificar los diseños existentes de transformadores eléctricos.		■														
Reconocer los diferentes materiales presentes en los transformadores.			■													
Definir el diseño a utilizar y los componentes.				■												
Identificar y relacionar los materiales a usar en cada uno de los elementos que conforman el transformador.					■											
Reconocer el mejor método a utilizar para el cálculo de los elementos.						■										
Calcular los datos de aplicación para cada componente.										■						
Llevar a cabo la verificación general de los cálculos de los elementos requeridos.											■					
												■				
Realizar la redacción del informe del proyecto para la empresa Zintepec Ltda. Y finalización del proyecto.																■

Fuente: El autor

13 Cálculos eléctricos del transformador trifásico reductor

Básicamente los datos eléctricos necesarios que se requieren para llevar a cabo el diseño de un transformador trifásico reductor son: La potencia aparente, la frecuencia y la tensión en el primario y secundario. Con estos antecedentes se da inicio al cálculo de las diferentes características físicas que debe cumplir el transformador como son corriente en primario y secundario, secciones de conductores, número de espiras por voltio, sección del núcleo, etc.

Los siguientes son los cálculos eléctricos necesarios a desarrollar para el diseño de un transformador trifásico reductor.

13.1 Variables aplicadas en los cálculos, en orden de presentación

Antes de dar inicio a la realización de los cálculos se hace indispensable para mayor la comprensión matemática, la designación de variables en orden de presentación, la cual es la siguiente:

S = Potencia aparente.

P = Potencia activa

V_{f1} = Tensión de fase primaria

V_{f2} = Tensión de fase secundaria

V_p = Tensión en primario

V_s = Tensión en secundario

I_p = Corriente en primario

I_s = corriente en secundario

$\cos\alpha$ = Coseno del ángulo de desfase

s = Sección por pierna

s_t = Sección total por pierna

β = Inducción magnética

Φ = Flujo magnético

P_p = Perdidas de potencia

W = Vatios

R_p = Resistencia en el bobinado primario

R_s = Resistencia en el bobinado secundario

Vv = Vueltas por voltio

N_p = Numero de espiras en el primario

N_s – Numero de espiras en el secundario

a = *Relacion de transformacion*

f = Frecuencia de trabajo del transformador

R_p = Resistencia eléctrica en el bobinado primario

R_s = Resistencia eléctrica en el bobinado secundario

J = Densidad de corriente

Z = Impedancia del transformador

13.2 Datos iniciales del transformador trifásico reductor

Potencia aparente $S = 75 \text{ KVA}$

Tensión en primario = $V_p = 208 \text{ V}$

Tensión en secundario = $V_s = 20 \text{ V}$

Frecuencia = 60 Hz

Material conductor constitutivo de las bobinas: Cobre

Se debe resaltar que, al calcular el transformador trifásico, algunos de los cálculos se realizan por cada pierna monofásica de la máquina. Es decir, la potencia nominal se divide en tres.

$$\frac{75000 \text{ VA}}{3} = 25000 \text{ VA}$$

13.3 Calculo de las corrientes en primario y secundario por pierna

$$S = 25 \text{ KVA} = 25 \times 10^3 \text{ VA}$$

$$V_p = 208 \text{ V}$$

$$V_{f1} = V_p / 1.73$$

$$S = V \cdot I = 25 \times 10^3 \text{ VA}$$

Por tanto, el valor de la corriente en primario es:

$$V_{f1} = V_p / 1.73$$

$$V_{f1} = 208 \text{ V} / 1.73$$

$$V_{f1} = 120 \text{ V}$$

$$I_p = S / V_L$$

$$I_p = 25000 \text{ VA} / 120 \text{ V}$$

$$I_p = 25000 \text{ VA} / 120 \text{ V}$$

$$I_p = 208 \text{ A}$$

Hallada la tensión de fase o tensión simple en el secundario, se encuentra la corriente en secundario aplicando la relación de tensiones y corrientes:

$$V_{f2} = V_s / 1.73$$

$$V_{f2} = 20 \text{ V} / 1.73$$

$$V_{f2} = 11.54 \text{ V}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$I_s = \frac{V_p * I_p}{V_s}$$

$$I_s = \frac{120 \text{ V} * 208 \text{ A}}{11.54 \text{ V}}$$

$$I_s = 2170 \text{ A}$$

13.4 Sección de cada una de las piernas

Expresado en cm^2 , se calcula con la potencia aparente trifásica.

$$s = 0.7\sqrt{S}$$

$$s = 0.7\sqrt{75000 VA}$$

$$s = 191.7 cm^2 \approx 192 cm^2$$

Al resultado anterior se debe agregar el factor de apilamiento del material aislante entre chapas, por tanto:

$$\frac{s}{0.9} = S_t$$

$$\frac{192 cm^2}{0.9} = 213 cm^2$$

13.5 Inducción Magnética

Se recomienda por ser un núcleo de sección cuadrada de tipo apilado valores de inducción magnética β entre 10000 y 15000 Gauss.

13.5.1 Flujo magnético

$$\Theta = \beta * s$$

$$\Theta = 10000 \text{ Gauss} * 213 cm^2$$

$$\Theta = 2130000 \text{ Maxwells}$$

13.5.2 Numero de espiras o vueltas en el primario

$$N_p = \frac{V_p * 10^8}{4.44 * \phi * f}$$

$$N_p = \frac{120 \text{ V} * 10^8}{4.44 * 2130000 \text{ Maxwells} * 60 \text{ Hz}}$$

$$N_p = 21.14 \approx 22 \text{ vueltas}$$

13.5.3 Numero de espiras o vueltas en el secundario

Para hallar el número de espiras en el secundario se debe especificar primero la cantidad de vueltas por voltio.

$$V_v = \frac{N_p}{V_1}$$

$$V_v = \frac{22 \text{ Vueltas}}{120 \text{ V}}$$

$$V_v = 183.33 * 10^{-3} \text{ Vueltas/V}$$

Luego el número de espiras en el secundario es:

$$N_s = V_s * V_v$$

$$N_s = 11.54 \text{ V} * 166.66 * 10^{-3} \text{ Vueltas/V}$$

$$N_s = 2.1 \approx 2 \text{ Vueltas}$$

13.5.4 Relación de transformación para conexión Dy5

$$\frac{N_p}{N_s * \sqrt{3}} = a$$

$$\frac{22}{2 * \sqrt{3}}$$

$$a = 6.3$$

13.6 Perdida de potencia por pierna del transformador

$$P_p = \frac{P_1}{100}$$

$$P_p = \frac{25000 \text{ VA}}{100}$$

$$P_p = 250 \text{ W}$$

13.6.1 Resistencia del bobinado primario de cada pierna

$$R_p = \frac{P_p}{I_p^2}$$

$$R_p = \frac{250 \text{ W}}{(208 \text{ A})^2}$$

$$R_p = 5.778 * 10^{-3} \Omega$$

13.6.2 Resistencia del bobinado secundario de cada pierna

$$R_s = \frac{P_p}{I_s^2}$$

$$R_s = \frac{250 \text{ W}}{(2170 \text{ A})^2}$$

$$R_s = 53.090 \cdot 10^{-6} \Omega$$

13.6.3 Tensión de fase real en primario

$$V_{F1} = V_p - R_p * I_p$$

$$V_{F1} = 120 \text{ V} - 5.778 \cdot 10^{-3} \Omega * 208$$

$$V_{F1} = 118.7 \text{ V} \approx 119 \text{ V}$$

13.6.4 Tensión de fase real en secundario

$$V_{F2} = V_s - R_s * I_s$$

$$V_{F2} = 11.54 \text{ V} - 53.090 \cdot 10^{-6} \Omega * 2170 \text{ A}$$

$$V_{F2} = 11.4 \text{ V}$$

13.6.5 Calibre del conductor del bobinado primario

Para realizar los cálculos que determinen las secciones de los conductores a utilizar tanto en primario como en el secundario, por tratarse de un transformador refrigerado por aceite dieléctrico se trabaja con una densidad de corriente de 1.5 a 6.5 A/mm². Para el caso se utilizará 4 A/mm² para los dos bobinados.

$$s = \frac{I_p}{J}$$

$$s = 208 \text{ A} / 4 \text{ A/mm}^2$$

$$s = 52 \text{ mm}^2$$

El resultado corresponde en valor más cercano superior, a un calibre de conductor 1/0 AWG.

13.6.6 Diámetro del conductor del bobinado primario

$$D = \sqrt{\frac{s}{0.785}}$$

$$D = \sqrt{\frac{52 \text{ mm}^2}{0.785}}$$

$$D = 8.1 \text{ mm}$$

13.6.7 Calibre del conductor del bobinado secundario

$$s = \frac{I_p}{J}$$

$$s = 2170 \text{ A} / 4 \text{ A/mm}^2$$

$$s = 542 \text{ mm}^2$$

13.6.8 Diámetro del conductor del bobinado secundario

$$D = \sqrt{\frac{s}{0.785}}$$

$$D = \sqrt{\frac{542\text{mm}^2}{0.785}}$$

$$D = 26.2 \text{ mm}$$

Al analizar los datos obtenidos para el bobinado secundario se puede concluir que por manejos mecánicos no es conveniente utilizar conductor circular, por tanto, se pasa a fleje de cobre o conductor de sección rectangular (aproximadamente 300 mm X 2 mm). Esto es provechoso para facilitar el arrollamiento de espiras, trabajar usando a favor el efecto pelicular o efecto skin y beneficioso para el factor de espacio.

13.6.9 Impedancia del transformador

$$Z = \frac{7.3205 * kVA^2}{\left(\frac{1}{V}\right)^4}$$

$$Z = \frac{7.3205 * (25 \text{ kVA})^2}{\left(\frac{1}{166.66 * 10^{-3}}\right)^4}$$

$$Z = 3.5 \%$$

14 Conclusiones

- La identificación y definición de los diferentes elementos constitutivos del transformador a calcular, nos brinda una mayor perspectiva del orden que se debe seguir al realizar el proceso de cálculo y elimina la posibilidad de errores en dicha actividad.
- La verificación de cálculos permite evidenciar que cumplen satisfactoriamente con los requerimientos inicialmente citados para una posterior construcción del transformador y brinda, por tanto, solución integral a la problemática planteada.
- El conocimiento de los diferentes métodos de cálculo de un transformador eléctrico reductor, facilita la elección correcta de la táctica matemática a ejecutar que permita de manera eficaz y simple hallar los datos necesarios con un bajo margen de error.
- La investigación y el análisis de las diferentes características eléctricas, magnéticas y mecánicas que debe cumplir el diseño de un transformador, permite alcanzar resultados óptimos en los cálculos a efectuar y posterior construcción del mismo.

- Al llevar a cabo los cálculos de transformadores, es necesario siempre tener en cuenta que se requiere diseñar estas máquinas con métodos que brinden soluciones que sean amables con el medio ambiente.

- El desarrollo del proyecto permite la aplicación integral de los diferentes conocimientos, tanto eléctricos como mecánicos adquiridos en el proceso continuo educativo y de ejercicio profesional.

15 Recomendaciones

- Aplicar sin excepción los datos obtenidos en el cálculo de cada una de los elementos que conforman al transformador.

- Una vez se defina la construcción la maquina es necesario diseñar un plan de mantenimiento preventivo adecuado para mantener al transformador reductor en óptimas condiciones de trabajo.

- Una vez puesto en operación se debe garantizar el seguimiento de funcionamiento adecuado de las propiedades eléctricas y mecánicas que debe cumplir el transformador al encontrarse sometido a cargas reales de trabajo.

16 Bibliografía


- Blázquez, F. I. (2009). *Diseño de un transformador de 5MVA, 33/11 kV Dyn11*. Proyecto de grado, Leganes.
- Chapman, S. J. (1991). *Maquinas Electricas*. Mexico: McGraw Hill.
- Commission, I. E. (2014). *Norma IEC 60214*.
- Compton, K. T. (1965). *Circuitos magneticos y transformadores*. España: Editorial Reverte S.A.
- Giron, J. L. (2014). *Diseño de transformador con núcleo tipo columna y bobina circular*. Lima.
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2008). *Maquinas electricas y transformadores* (Tercera edicion ed.). Mexico: Alfaomega.
- Hall, A. S. (1971). *Diseño de maquinas*. Mexico: McGraw-Hill.
- Lagoma, A. (1967). *Teoria y practica de los transformadores*. Barcelona: Juan Bruguer.
- Lorite, L. Á. (2015). *5.1.4 Transformadores trifásicos respuesta ante cargas lineales y no lineales, ensayos y simulacion*. Trabajo de grado, Jaén.
- Perez, P. A. (1998). *Transformadores de distribución teoria, calculo, construcción y pruebas*. Mexico: Reverté S.A.
- Pulido, M. A. (2009). *Transformadores*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Ras, E. (1988). *Transformadores de potencia de medida y protección* (7a edición ed.). Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Richardson, D. V., & Caisse, A. J. (1998). *Maquinas electricas rotativas y transformadores* (Cuarta edicion ed.). Mexico: Prentice Hall.

Solis, R. G.-J. (2008). *Optimización aplicada al diseño y calculo de un transformador de distribución.* Tesis de grado, Instituto Politecnico Nacional, Mexico.

Wagner, A. (1981). *Maquinas Electricas.* Barcelona: Gustavo Gili, S.A.


17 Anexos

17.1 Anexo 1. Carta de Autorización de empresa Zintepec Ltda.



ZINTEPEC LTDA

IMAGEN DE CALIDAD

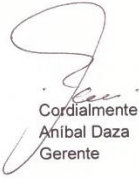


Bogotá DC, febrero 1 de 2019

Señores
 Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central
 Wilson Ramiro Camargo Cardozo / Gustavo Veloza Zea.
 Director Facultad especializaciones / Asesor de proyectos de grado.
 Calle 13 No. 16-74
 Tel: 3443000
 L.C.

Cordial saludo

En la presente se desea informar a tan respetada institución educativa que el señor estudiante, Gildardo Antonio Alvis Otavo identificado con número de cedula 79922083, del programa de Especialización en construcción de redes de distribución en MT, cuenta con nuestra autorización para llevar a cabo el desarrollo de su proyecto de grado enfocado en brindarnos solución a la problemática presente en nuestra planta de tratamientos electrolíticos mediante la realización de los **Cálculos eléctricos para diseño de transformador trifásico reductor de tensión de 75 kVA, 208-20 V para instalación galvánica.**



Cordialmente
 Aníbal Daza
 Gerente

ZINTEPEC LTDA.
 NIT: 830.044.738-7
 Cra. 31 No. 7 - 22 Tel: 755 2836165/64
 Email: zintepecltda@gmail.com

SERVICIOS DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICOS : ZINCADO - CROMO - PAVONADO - FOSFATADO - COBRIZADO
 Y SERVICIO DE PULIMENTO
 CARRERA 31 N° 7 - 22 TELS.: 247 05 15 - 247 05 25 TELEFAX: 277 07 40 BOGOTA, D.C.
 E-mail: zintepec_ltدا@hotmail.com

17.2 Anexo 2. Carta de finalización del proyecto.



ZINTEPEC LTDA

IMAGEN DE CALIDAD



Bogotá DC, mayo 30 de 2017

Señores

Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central
Wilson Ramiro Camargo Cardozo / Gustavo Veloza Zea.
Director Facultad especializaciones / Asesor de proyectos de grado.
Calle 13 No. 16-74
Tel: 3443000
L.C.

Cordial saludo

Respetuosamente nos dirigimos a tan respetada institución educativa, para indicar que el señor estudiante, Gildardo Antonio Alvis Otavo identificado con número de cedula 79922083, perteneciente al programa de Especialización en construcción de redes de distribución en MT, llevo a cabo la ejecución y finalizo el proyecto de grado, **Cálculos eléctricos para diseño de transformador trifásico reductor de tensión de 75 kVA, 208-20 V para instalación galvánica.**

De igual manera nuestra empresa se complace en revelar que la información requerida al finalizar el proyecto fue presentada por el señor en mención y cumple con nuestras expectativas satisfactoria e integralmente.


Cordialmente
Aníbal Daza
Gerente

ZINTEPEC LTDA.
NIT: 830.044.738-7
Cra. 31 No. 7-22 Tel: 755 2666/65/64
Email: zintepec Ltda@gmail.com

SERVICIOS DE RECUBRIMIENTO ELECTROLITICOS : ZINCADO - CROMO - PAVONADO - FOSFATADO - COBRIZADO
Y SERVICIO DE PULIMENTO
CARRERA 31 N° 7 - 22 TELS.: 247 05 15 - 247 05 25 TELEFAX: 277 07 40 BOGOTA, D.C.
E-mail: zintepec_lda@hotmail.com

17.3 Anexo 3. Diagrama toma de decisiones

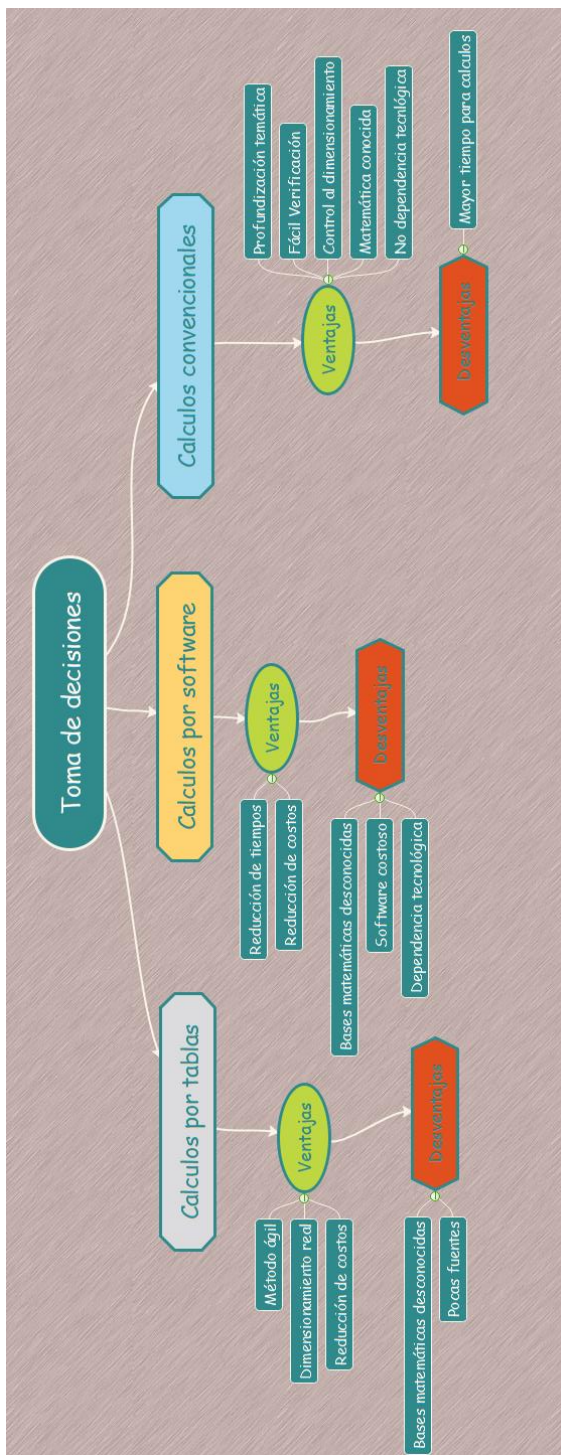


Figura 40. Diagrama toma de decisiones. Fuente: El autor.

17.4 Clase de aislamiento para transformadores según la temperatura de operación

Tabla 2. Clases de aislamientos según temperatura.

Temperatura de operación	Descripción de materiales
Clase Y, hasta 90 °C	Papeles y cartones no impregnados, madera, seda, formaldehído, urea, plástico natural, fibra vulcanizada, y varios termoplásticos limitados por su punto de ablandamiento. Como el polietileno reticulado.
Clase A, hasta 105 °C	Papel, algodón y seda impregnados con aceite o barniz; materiales moldeados o estratificados con relleno de celulosa, laminas y hojas de acetato de celulosa y otros derivados de celulosa de propiedades semejantes, fibras vulcanizadas y madera; policloruro de vinilo; barnices aislantes a base de resinas naturales; asfaltos naturales y fenólicos modificados.
Clase E, hasta 120 °C	Fenol formaldehído y melamina formaldehído moldeada y laminada con materiales celulósicos; polivinilo formal; poliuretano, resinas epóxicas y barnices, triacetato de celulosa, polietileno compuesto.
Clase B, hasta 130	Fibras inorgánicas y materiales flexibles (tales como: mica, vidrio o asbesto), cubiertos e impregnados con resina orgánica apropiada; epóxicas, formaldehído, melamina formaldehído y lacas.
Clase F, hasta 155 °C	Tejido de fibra de vidrio tratado con resinas de poliéster; mica y papel de mica, aglomerada con resinas de poliéster o con resinas epóxicas. Estratificados a base de tejido de vidrio y resinas epóxicas de gran resistencia térmica, estratificados con amianto de vidrio.
Clase H, hasta 180 °C	Aislamientos de elastómeros de silicona; tejidos de fibra de vidrio, aglomerados con resinas de siliconas, mica y papel de mica, aglomerados con siliconas, estratificados de fibra de vidrio y resinas de silicona; barnices aislantes a base de resinas de silicona.
Clase C, arriba de hasta 180 °C	Mica pura y estratificados de papel de mica con aglomerante inorgánico; estratificados de amianto y aglomerante inorgánico; porcelana y materiales cerámicos; vidrio y cuarzo; poliamidas.

Fuente: Norma IEC 85, Pérez Avelino

17.5 Límites de sobreelevación de temperatura para transformadores refrigerados en aceite u otro líquido dieléctrico

Tabla 3. Límites de sobreelevación de temperatura para transformadores.

Parte de la máquina	Máxima sobreelevación de temperatura en °C
Arrollamientos: (Valor medio medido por variación de resistencia)	65 cuando la circulación del aceite es natural o forzada pero no dirigida. 70 cuando es forzada y dirigida.
Temperatura máxima del aceite (Próximo a la tapa): Medida con termómetro	60 cuando el transformador se tiene tanque conservador o es hermético. 55 cuando no tiene tanque conservador ni es hermético.
Núcleo, partes metálicas y materiales magnéticos	La temperatura no debe alcanzar, en ninguna parte, valores que dañen el núcleo, el aceite y los arrollamientos.

Fuente: Norma IEC 726-2, IRAM CEA F 20-99, Dimenna-stecca.

17.6 Tensiones nominales preferentes y su clase de aislamiento

Tabla 4. Tensiones nominales y su clase de aislamiento

Clase de aislamiento kV	Tensiones en volts
1.2	120/240 240/120 220/127 440/254 480/277
5	4160
8.7	7620
15	13200 13800
25	19050 20000 22860 23000
34.5	33000 34500
46	46000
69	66000

Fuente: Transformadores de distribución, Pérez Avelino

17.7 Grupos de conexiones usuales

CUADRO
DE
GRUPOS DE CONEXIONES USUALES SEGÚN VDE 0532/11.71 ¹

Índice de desfase (horario)	SIMBOLO DE ACOPLAMIENTO O DE CONEXIONES	Esquema vectorial		Esquema de conexiones	Relación de transformación (2)
		mayor tensión	menor tensión		
0 (0°)	D d 0				$\frac{N_1}{N_2}$
	(3) Y y 0				$\frac{N_1}{N_2}$
	D z 0				$\frac{2}{3} \frac{N_1}{N_2}$
5 (150°)	(3) D y 5				$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Y d 5				$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Y z 5				$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$
6 (180°)	D d 6				$\frac{N_1}{N_2}$
	Y y 6				$\frac{N_1}{N_2}$
	D z 6				$\frac{2 N_1}{3 N_2}$
11 (330°) (-30°)	D y 11				$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
	Y d 11				$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
	Y z 11				$\frac{2 N_1}{\sqrt{3} N_2}$

Figura 11. Grupos de conexiones usuales según VDE 0532/11.71. Fuente: Transformadores de potencia, Ras Enrique