



REPÚBLICA DE CUBA

VOLTRIN
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE METALURGIA- ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma
en Opción al Título de
Ingeniero Eléctrico.

Título: Rediseño de transformadores secos a partir de transformadores en aceite fuera de servicios en la EMNI.

Autor: José Miguel Leyva Sayoux.

Tutores: Ing. Israel Letusé Velázquez.

MSc. Yordan Guerrero Rojas.

Moa, 2012

Año 54 de La Revolución



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

Yo:

Diplomante: José Miguel Leyva Sayóux.

Y

Tutores: Ing. Israel Letusé Velázquez.

MSc. Yordan Guerrero Rojas

Autores de este Trabajo de Diploma certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

José Miguel Leyva Sayóux

(Diplomante)

MSc. Yordan Guerrero Rojas

(Tutor)

Ing. Israel Letusé Velázquez

(Tutor)



PENSAMIENTO

"La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica."

Aristóteles



DEDICATORIA

Agradezco ante todo y de manera muy especial a mis padres y hermanos por haber estado presente en todas las etapas de nuestras vidas, a todos nuestros amigos que estuvieron cerca y al tanto de cuantos sucesos atravesamos y en general a todos nuestros familiares.

Agradezco además a mi tutor Ing: Israel Letusé y Yordan Guerrero Rojas, a mis profesores por su paciencia, apoyo y dedicación mostrada en el trayecto de estos últimos meses de mi carrera.



AGRADECIMIENTOS

... A mis padres porque sin su amor y apoyo no hubiese logrado llegar hasta aquí

... A mi tutores Ingenieros Israel Letusé Velázquez y Yordan Guerrero Rojas por toda la atención y ayuda que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo.

... A mi familia por el amor y apoyo de siempre.

... A mis amigos que han estado presentes en cada momento a lo largo de esta difícil tarea.

... A todos los profesores, por los conocimientos y experiencia que me transmitieron su incuestionable nivel científico unido a su pedagogía, les hago llegar mi más sincero respeto y gratitud.

... A los trabajadores de la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas de la Empresa Mecánica del Níquel que me brindaron su ayuda incondicional.

... A todas las personas que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo.



RESUMEN

El presente trabajo brinda una metodología de cálculo para la fabricación de los transformadores secos monofásicos y trifásicos adaptados a las condiciones de la Empresa Mecánica del Níquel, a partir de láminas de acero al silicio recuperadas de otros equipos fuera de servicio, en la misma se pretende utilizar una de las metodologías de cálculo más aceptadas que faciliten la posibilidad de obtener parámetros más exactos con relación a las características de un transformador de este tipo.

En el primer capítulo se desarrolla la búsqueda bibliográfica y fundamento teórico, teniendo en cuenta que en nuestro país no existen instalaciones que realicen la fabricación de transformadores secos los cuales son muy necesarios en la vida actual en diferentes tipos de instalaciones ya sean de carácter social, militar o productivos contándose con la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas perteneciente a la Empresa Mecánica del Níquel.

En el segundo capítulo se desarrolla una metodología para el Cálculo de transformadores secos a partir de los materiales desechados de los transformadores en aceite.

Y en el tercer capítulo se desarrolla la valoración económica del trabajo.



ABSTRACT

This paper provides a methodology for calculating the manufacture of one-phase and three-phase dry transformers adapted to the conditions of Mechanical Nickel Company, from sheets of silicon steel recovered from other equipment out of service, in which they wish using one of the most accepted calculation methodologies that facilitate the possibility to obtain more accurate parameters relative to characteristics of a transformer of this type.

In the first chapter develops the literature search and theoretical basis, taking into account that in our country there are no facilities to carry out the manufacture of dry type transformers which are very necessary in modern life in different types of facilities whether social, military or productive counting on the UEB Repairs Electric Capital belonging to Mechanical Nickel Company.

In the second chapter develops a methodology for the calculation of dry transformers from discarded materials in transformer oil.

And in the third chapter develops the economic valuation of work.



Índice

Introducción General-----	1
Situación Problémica.-----	1
Problema de la investigación. -----	1
Objetivo general. -----	2
Objetivos Específicos-----	2
Hipótesis.-----	2
Objeto de estudio. -----	2
Campo de acción. -----	2
Tareas.-----	2
CAPITULO I: Consideraciones Generales Acerca de Los Transformadores. -----	3
Introducción -----	3
1.1- Destino y Campo de Aplicación -----	4
1.2-Estado Del Arte. -----	5
1.3 Datos generales del Transformador -----	6
1.4 Ventajas del transformador seco. -----	7
1.5 Estructura de los transformadores. Consideraciones generales. -----	8
1.5.1 La construcción del núcleo.-----	9
1.5.2 Elementos de los núcleos de transformadores. -----	10
1.5.3 Tipos de núcleos.-----	10
1.5.4 Los devanados de los transformadores. -----	12
1.5.5 Cambio en la relación de transformación. -----	14
1.5.6 Materiales eléctricos usados en la construcción de transformadores. -----	14
1.5.7 Principales conexiones de los transformadores -----	17
1.6 Conclusiones del capítulo -----	25
CAPITULO II Metodología de cálculo. -----	26
Introducción -----	26
2.1- Datos generales del Transformador. -----	26
2.2 Accesorios -----	44
2.2.1. Terminales de puesta a tierra -----	44



2.2.2. - Placa de características	44
2.2.3 Distancia entre ejes de bornes	45
2.2.4. Tropicalización, protección contra la corrosión y color de la pintura.	45
2.2.5 Ensayos.....	46
2.3 Conclusiones del capítulo.	48
CAPITULO III. Valoración económica.....	49
Introducción.....	49
3.1 Valoración económica de la fabricación de los transformadores secos.....	49
3.2 Conclusiones del capítulo.	55
CONCLUSIONES GENERALES.	56
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.	58



Introducción General

Históricamente, los transformadores sumergidos en aceite han sido la opción más utilizada en la red eléctrica, pero debido a algunos problemas asociados con el manejo ambiental, la alta probabilidad de incendio, el control de fugas y el mantenimiento general, han motivado la evolución y utilización de los transformadores tipo seco en zonas tales como: centros comerciales, edificios, hospitales, entre otros.

Las máquinas eléctricas rotatorias son las que transforman la energía mecánica en energía eléctrica (generadores de inducción) y transforman la energía eléctrica en mecánica el llamado motor de inducción, en el caso de las máquinas eléctricas estáticas los transformadores que son un convertidores inductivo estático y constan de dos o más devanados mutuamente fijos y acoplados inductivamente entre sí, destinado para la transformación de parámetros de la energía eléctrica de corriente alterna (tensión, corriente,) mediante la inducción electromagnética.

La importancia de este trabajo radica fundamentalmente en la necesidad de ahorrar al país gran cantidad de divisas por concepto de compra de estos equipos en el extranjero y además ayuda al cumplimiento de los planes de producción de la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas de la EMNI por la realización de un nuevo producto.

Situación Problemática.

Actualmente se retiran de servicio transformadores en aceite y son destinadas todas sus partes y piezas, a la chatarra, aún si se encuentran en buen estado, para ser vendidos como materia prima, pudiéndole dar un mejor destino en la fabricación de transformadores secos para así prestar un nuevo servicio.

Problema de la investigación.

¿Cómo utilizar las partes y piezas en buen estado de los transformadores en aceite fuera de servicio para su aplicación en transformadores secos?



Objetivo general.

Diseñar y fabricar transformadores secos a partir de partes y piezas de transformadores en aceite destinados a chatarra.

Objetivos Específicos

1. Recuperar el acero al silicio de los transformadores en aceite fuera de servicio que actualmente se entregan a materia prima.
2. Determinar los costos de fabricación de los transformadores secos a partir de las partes y piezas de transformadores en aceite fuera de servicio.

Hipótesis.

Si se recalculan y rediseñan piezas y partes recuperadas de transformadores en aceite averiados es posible la construcción de piezas y partes de transformadores secos.

Objeto de estudio.

Transformadores en aceite.

Campo de acción.

Cálculo y diseño de partes de transformadores secos a partir de Transf. en aceite.

Tareas.

1. Revisión bibliográfica relacionada con los transformadores eléctricos.
2. Cálculo de partes y piezas de transformadores secos a partir de transformadores en aceite.
3. Elaboración de la metodología para la construcción de transformadores secos a partir de transformadores en aceite.
4. Procesamiento de la información.
5. Valoración económica.



CAPITULO I: Consideraciones Generales Acerca de Los Transformadores.

Introducción

En el presente capítulo se desarrolla teniendo en cuenta que en nuestro país no existen instalaciones que realicen la fabricación de transformadores secos los cuales son muy necesarios en la vida actual en diferentes tipos de instalaciones ya sean de carácter social, militar o productivos contándose con la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas perteneciente a la Empresa Mecánica del Níquel.

Breve noción histórica

La invención del transformador, data del año de 1884 para ser aplicado en los sistemas de transmisión que en esa época eran de corriente directa y presentaban limitaciones técnicas y económicas. El primer sistema comercial de corriente alterna con fines de distribución de la energía eléctrica que usaba transformadores, se puso en operación en los Estados Unidos de América. En el año de 1886 en Great Barington, Mass., en ese mismo año, al protección eléctrica se transmitió a 2000 volts en corriente alterna a una distancia de 30 kilómetros, en una línea construida en Cerchi, Italia. A partir de estas pequeñas aplicaciones iniciales, la industria eléctrica en el mundo, ha recorrido en tal forma, que en la actualidad es factor de desarrollo de los pueblos, formando parte importante en esta industria el transformador.

El transformador, es un dispositivo que no tiene partes móviles, el cual transfiere la energía eléctrica de un circuito u otro bajo el principio de inducción electromagnética. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes.

Un transformador elevador recibe la potencia eléctrica a un valor de voltaje y la entrega a un valor más elevado, en tanto que un transformador reductor recibe la potencia a un valor alto de voltaje y a la entrega a un valor bajo.

Los Transformadores secos, se caracterizan, fundamentalmente, por ser unidades del tipo monofásico o trifásico, el transformador de distribución seco, es una máquina



eléctrica estática, utilizada para transformar energía eléctrica desde los diferentes valores de baja tensión de la red a niveles que permitan su aprovechamiento, dentro del sistema de distribución en baja tensión hasta 1000 voltios, hemos diseñado un transformador seco, que aparte de servir de aislamiento, tiene la propiedad de eliminar los ruidos y las armónicas del sistema hasta un 80 %, este tipo de Transformador se ha desarrollado en forma especial para trabajar en cualquier sistema eléctrico que necesita un suministro libre de armónicas y ruidos que proviene de la red eléctrica estos poseen las características de ser más económicos y ocupan menos espacio no requieren características de seguridad especiales (detección de incendios), los mismos son refrigerados en aire con aislamiento de resina, funcionan como medio de protección de los arrollamientos, siendo innecesario cualquier mantenimiento posterior a la instalación.

Principios de inducción electromagnética.

La electricidad magnetismo en un electroimán, que es distinto de un imán permanente, y que el Campo magnético se produce sólo cuando las espiras de alambre arrolladas alrededor del núcleo magnético, transportan corriente eléctrica. Para determinar la polaridad de un electroimán se puede usar la llamada regla de la mano izquierda.

1.1- Destino y Campo de Aplicación

Los transformadores pueden instalarse cerca de lugares de consumo reduciendo las pérdidas de carga.

El transformador como convertidor de energía tiene un empleo bastante amplio con la ayuda de los transformadores se efectúa la transmisión de energía desde las centrales eléctricas hasta sus consumidores, en dicha transmisión el nivel de tensión debe cambiar repentinamente por esta razón, la potencia total instalada de los transformadores en los sistemas eléctricos modernos sobrepasan de cinco a siete veces la potencia instalada de los generadores.



Los transformadores se construyen de acuerdo a las especificaciones técnicas o en correspondencia con los requerimientos de los estándares y están destinados para ejecutar completamente determinadas funciones en la transmisión de energía eléctrica.

Hoy en día, la necesidad de instalación de transformadores de tipo seco para altas potencias y tensiones está creciendo de forma exponencial, junto con una mayor necesidad de electricidad en los edificios públicos, hospitales o aeropuertos. La EMNI cuenta con una larga experiencia en la fabricación de transformadores grandes de tipo seco.

Los transformadores de este rango se utilizan para reducir la tensión de alto a bajo voltaje para la distribución de potencia. Estos transformadores se emplean principalmente en (edificios públicos, oficinas subestaciones de distribución) y en aplicaciones industriales.

Los transformadores secos son una solución ideal para aplicaciones donde se requiera el suministro de energía próximo al punto de consumo. Una ubicación próxima a dicho punto supone un gran ahorro en el gasto de instalación del cableado, reduciendo las pérdidas relativas a las mismas y al mismo tiempo, a las terminales de baja tensión.

Las frecuencias de la corrientes, las tensiones, las potencias y otros parámetros referentes al régimen de funcionamiento para el cual el transformador ha sido destinado se llaman nominales y estos se indican en un rotulo, el cual se fija al transformador.

1.2-Estado Del Arte.

En este trabajo se presentarán una serie de temas donde se expone la metodología de los elementos principales del Cálculo y diseño de los transformadores secos Búsqueda y revisión de trabajos precedentes.



En el trabajo presentado por (Sanregre, 2004) describe el sistema de suministro eléctrico desde La subestación de Punta Gorda de 220 KV hasta EMNI y El sistema de suministro eléctrico de potencia de esta subestación de la EMNI.

En el trabajo presentado por (Maikel López, 2004) está basado en la evaluación del sistema de suministro eléctrico de la Empresa Mecánica del Níquel. La realización de esta investigación es la ineficiencia del sistema de suministro eléctrico de la Empresa Mecánica del Níquel, reflejada en los parámetros de calidad.

Trabajo desarrollado por (Toirac y Ramírez, 2005), basada fundamentalmente en la reducción de consumos energéticos a partir de la realización de una auditoria energética en la selección de bombas de agua (CC-9) de la Empresa Mecánica del Níquel.

Trabajo desarrollado por (Marrero, 2009), basada en el Análisis del Mantenimiento de los aceites dieléctricos en los transformadores de las industrias del níquel.

Trabajo desarrollado por (Cobas Pereira, 2009), basada en el calidad de suministro de la energía eléctrica. En el Complejo Energía-Combustible la forma de energía más versátil es, indudablemente, la energía eléctrica, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión, de manera relativamente sencilla, a otros tipos de energía fabricados en la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas de la EMNI.

1.3 Datos generales del Transformador

Teniendo en cuenta que los transformadores son equipos destinados para elevar o disminuir el voltaje en una operación determinada manteniendo su frecuencia igual y una potencia que exige el consumidor, le damos gran importancia en el sistema energético tanto en el alumbrado como en fuerza sabiendo que:

Existen transformadores monofásicos, así como transformadores:

1-En aceite con enfriamiento forzado de este.



- 2-En aceite con enfriamiento natural de aire.
- 3-En aceite con enfriamiento forzado de aire.
- 4-Transformadores secos (de enfriamiento natural).

En el caso de este trabajo se elige el transformador seco debido a la gran demanda que tiene en el país y por la gran cantidad de construcción de obras sociales y educativas que se realizan.

El transformador trifásico seco es un equipo eléctrico que se encarga de transformar voltaje y corriente de salida manteniendo constante la frecuencia, la transformación la realiza con ayuda de un circuito magnético y el mismo se logra con láminas de acero al silicio cerrado en un núcleo.

Este está compuesto por dos yugos que se encargan de encerrar el circuito magnético, y tres columnas con el área determinada.

Tres bobinas de alta tensión

Tres bobinas de baja tensión

Las bobinas de alta y baja tensión van enrolladas juntas, calculadas en la primera columna al igual que las otras, esta posee también vigas tipo U, angular para el apriete del núcleo y soporte del mismo.

La bobina es sometida a un baño de barniz y posteriormente al secado.

Para el conformado de las láminas se emplea una Cizalla de corte manual, una vez calculada las dimensiones de las láminas se procede al corte para su conformación.

1.4 Ventajas del transformador seco.

Los transformadores secos presentan muchas ventajas comparativas contra otros equipos, entre ellas se pueden enlistar las siguientes:



Transformador libre de mantenimiento: los transformadores tipo seco no requieren servicios o mantenimientos complicados para asegurar su funcionamiento tales como monitoreo de la vida útil del aceite, problemas por fugas, derrames, etc.

Los transformadores tipo seco están fabricados en material para resistir altas temperaturas y auto extingüibles, reduciendo así a un mínimo los riesgos de incendio y propagación del mismo.

La subestación en la que se emplean transformadores secos es más compacta, sencilla y segura, al no requerir bóveda y fosa para la preservación del líquido aislante evitando así riesgos de contaminación e incendio.

1.5 Estructura de los transformadores. Consideraciones generales.

Un transformador consta de dos partes esenciales: El núcleo magnético y los devanados, estos están relacionados con otros elementos destinados a las conexiones mecánicas y eléctrica entre las distintas partes al sistema de enfriamiento, al medio de transporte y a la protección de la máquina en general. en cuanto a las disposiciones constructivas, el núcleo determina característica relevantes, de manera que se establece una diferencia fundamental en la construcción de transformadores, dependiendo de la forma del núcleo, pudiendo ser el llamado núcleo tipo columnas y el núcleo tipo acorazado, existen otros aspectos que establecen diferencias entre tipos de transformadores, ejemplo el sistema de enfriamiento, que establece la forma de disipación del calor producido en los mismos, o bien en términos de su potencia y voltaje para aplicaciones, como por ejemplo clasificar en transformadores de potencia a tipo distribución. No se podrán instalar transformadores sumergidos en aceite por encima del primer piso de la edificación; en caso de instalarse, deberán ser transformadores secos. Transformadores secos de potencia hasta 112.5 kVA deberán estar separados 0.3 m de cualquier material combustible y podrán alojarse en celda metálica, salvo lo especificado en la NTC 2050 Sección 450-21 a). transformadores secos de potencia mayor a 112.5 kVA deberán ir en una bóveda que sea resistente al fuego al menos durante 1 hora, con excepción de lo especificado en la NTC 2050 Sección 450-21 b). De acuerdo al tipo



de aislamiento del transformador y a las características del local, los equipos de maniobra y protección se podrán alojar en el mismo local o en un local independiente. Transformadores sumergidos en aceite, ubicados en subestaciones industriales a 33 kV, con local independiente que no ofrezca riesgo de incendio a edificaciones contiguas, no requieren bóveda y los equipos de maniobra, medida y protección se podrán alojar en el mismo local o en local independiente. La NTC 2050, Sección 450-3 a), establece que todos los transformadores de más de 600 voltios, deberán tener dispositivos de protección de sobre corriente en primario y secundario.

1.5.1 La construcción del núcleo.

El núcleo magnético está formado por laminaciones de acero que tienen pequeño porcentajes de silicio (alrededor del 4%) y que se denominan “laminaciones magnéticas”, estas laminaciones tienen la propiedad de tener pérdidas relativamente bajas por efecto de histéresis y de corrientes circulantes.

Están formados por un conjunto de laminaciones acomodadas en la forma y dimensiones requeridas. La razón de usar laminaciones de acero al silicio en los núcleos de las máquinas eléctricas, es que el silicio aumenta la resistividad del material y entonces hace disminuir la magnitud de las corrientes parásitas o circulantes y en consecuencia las pérdidas por este concepto.

En el caso de transformadores de gran potencia, se usan las llamadas “laminaciones de cristal orientado” cuyo espesor es de algunos milímetros y contienen entre 3% y 4% de silicio, se obtienen de material laminado en caliente, después se hace el laminado en frío, dando un tratamiento térmico final a la superficie de las mismas. Este tipo de laminación cuando se sujetan al flujo en la dirección de las laminaciones, presentan propiedades magnéticas mejores que la laminación “normal” de acero al silicio usada para otro tipo de transformadores.



1.5.2 Elementos de los núcleos de transformadores.

En los núcleos magnéticos de los transformadores tipo columna se distinguen dos partes principales: “las columnas” o piernas y los “yugos”. En las columnas se alojan los devanados y los yugos unen entre si las columnas para cerrar el circuito magnético.

Debido a que las bobinas se deben montar bajo un cierto procedimiento y desmontar cuando sea necesario por trabajos de mantenimiento, los núcleos que cierran el circuito magnético, terminan al mismo nivel en la parte que está en contacto con los yugos, o bien con salientes. En ambos casos los núcleos se arman con “juegos” de laminaciones para columnas y yugos que se arman por capas de arreglos “pares” e “impares”.

Cuando se emplean laminaciones de cristal orientado, es necesario que las uniones entre yugos y columnas se realicen con cortes inclinados para evitar trayectorias transversales de las líneas de flujo respecto a tales direcciones.

Cuando se han armado los niveles a base de juegos de laminaciones colocadas en “pares” e “impares” el núcleo se sujeta usando tornillos opresores y separados por medio de los tornillos tensores.

En cuanto a los Yugos, se refiere, no estando vinculados estos con los devanados, pueden ser, entonces, rectangulares, aun cuando pueden tener también escalones para mejorar el enfriamiento.

1.5.3 Tipos de núcleos.

Cuando se ha mencionado con anterioridad, los núcleos para transformadores se agrupan básicamente en las siguientes categorías:

- Tipo núcleo o de columnas.
- Tipo acorazado.



Existen distintos tipos de núcleos tipos columna, que está caracterizado por la posición relativa de las columnas y de los yugos.

Núcleo monofásico.

Se tienen dos columnas unidas en las partes inferior y superior por medio de un yugo, en cada una de estas columnas se encuentran incrustados la mitad del devanado primario y la mitad del devanados secundario.

Núcleo trifásico.

Se tienen tres columnas dispuestas sobre el mismo plano unidas en sus partes inferior y superior por medio de yugos. Sobre cada columna se incrustan los devanados primarios y secundarios de una fase. Las corrientes magnetizantes de las tres fases son distintas entre sí, debido principalmente a que el circuito magnético de las columnas externas es más largo que el correspondiente a la columna central.

Este desequilibrio, tomando en cuenta que la corriente magnetizantes de las tres fases es distintas entre sí, debido principalmente que el circuito magnético de las columnas externas es más largo que el correspondiente a la columna central. Este desequilibrio, tomando en cuenta que la corriente de vacío es bastante baja, tiene influencia solamente para las condiciones de operación en vacío.

Tipo acorazado.

Este tipo de núcleo acorazado, tiene la ventaja con respecto al llamado tipo columna, de reducir la dispersión magnética, su uso es más común en los transformadores monofásicos. En el núcleo acorazado, los devanados se localizan sobre la columna central, y cuando se trata de transformadores pequeños, las laminaciones se hacen en troqueles. Las formas de construcción pueden ser distintas y varían de acuerdo con la potencia.

Herrajes o armadura.



Como se ha mencionado antes, los núcleos de los transformadores tienen partes que cumplen con funciones puramente mecánicas de sujeción de las laminaciones y estructuras, estas partes o elementos se conocen como “herrajes” o armadura y se complementan con componentes como fibra de vidrio o madera para protección de la sujeción de los yugos.

1.5.4 Los devanados de los transformadores.

Los devanados de los transformadores se pueden clasificar en baja y alta tensión, esta distinción es de tipo global y tiene importancia para los propósitos de realización práctica de los devanados debido a que los criterios constructivos para la realización de los devanados de baja tensión, son distintos de los usados para los devanados de alta tensión. Para los fines constructivos, no tiene ninguna importancia la función de un devanado, es decir, que sea primario o el secundario, importa solo la tensión para la cual debe ser previsto. Otra clasificación de los devanados se puede hacer con relación a la potencia del transformador, para tal fin existen devanados para transformadores de baja potencia, por ejemplo de 1000 a 2000 VA y para transformadores de media y gran potencia. Los devanados para transformadores de pequeña potencia son los más fáciles de realizar. En este tipo de transformadores los devanados primario y secundario son concéntricos y bobinado sobre un soporte aislante único. Por lo general, se usan conductores de cobre esmaltado, devanados en espiral y con capas sobrepuestas. Por lo general, el devanado de menor tensión se instala más cerca del núcleo interponiendo un cilindro de papel aislante y mediante separadores, se instala en forma concéntrica el devanado de tensión mayor. Los extremos de los devanados (denominados también principio y final del devanador) se protegen con aislante de forma de tubo conocido como “spaguetti”.

Devanados para transformadores de distribución.

En estos transformadores, la diferencia entre las tensiones primaria y secundaria es notable, por ejemplo, los transformados para redes de distribución de 13200 volts a las tensiones de utilización de 220/127 volts debido a estas diferencias, se emplean



criterios constructivo distintos a los considerados en los transformadores pequeños de baja tensión y se dividen en devanados de baja tensión y de alta tensión.

Devanados de baja tensión.

Están constituidos por lo general, de una sola espiral (algunas veces en dos o tres capas sobrepuestas), con alambres rectangular aislado. El conductor se usa generalmente para potencia pequeñas y tiene diámetros no superiores a 3 o 3.5 mm. El aislamiento de los conductores, cuando son cilíndricos, puede ser de algodón o de papel, más raramente conductor esmaltado en el caso que los transformadores que no sean enfriados por aceite.

Para transformadores de mediana y gran potencia, se recurre al uso de placa o solera de cobre aislada, el aislamiento es por lo general de papel. En el caso de que las corrientes que transporte el devanado sean elevadas ya sea por facilidad de manipulación en la construcción o bien para reducir las corrientes parásitas, se puede construir el devanado de más de una solera o placa en paralelo.

Devanados de alta tensión.

Los devanados de alta tensión, tiene en comparación con los de baja tensión, muchos espiras, y la corriente que circula por ellos, es relativamente baja, por lo que son de conductor de cobre de sección circular con diámetro de 2.5 a 3.0 mm. Con respecto a las características constructivas, se tienen variantes de fabricante a fabricante, hay básicamente dos tipos, el llamado “tipo bobina” formados de varias capas de conductores, estas bobinas tienen forma discoidal, estas bobinas se conectan, por lo general, en serie para dar el número total de espiras de una fase. El otro tipo es el llamado “de capas” constituido por una sola bobina con varias capas, esta bobina es de longitud equivalente a las varias bobinas discoidales que constituirían el devanado equivalente, por lo general, el número de espiras por capa en este tipo de devanado, es superior al constituido de varias bobinas discoidales. Como aspectos generales, se puede decir que el primer tipo (bobinas discoidales), da mayor facilidad de enfriamiento e impregnarse de aceite, debido a que dispone



canales de circulación más Numerosos, también tiene la ventaja de que requiere de conductores de menor diámetro equivalente al otro tipo, da mayor facilidad constructiva. Tiene la desventaja de ser más tardado en su construcción. Las bobinas discoidales se conocen también como “tipo galleta” en algunos casos, se forman cada una, de un cierto número de conductores dispuestos en capas y aisladas estas capas entre sí por papel aislante, cada bobina al terminar se “amarra” con cinta de lino o algodón para darle consistencia mecánica y posteriormente se les da un baño de barniz y se hornean a una cierta temperatura, con lo cual adquiere la rigidez mecánica necesaria. Cada bobina, está diseñada para tener una tensión no superior a 1000-1500 volts, por lo que para dar la tensión necesaria para una fase, se deben colocar varias bobinas en serie.

1.5.5 Cambio en la relación de transformación.

En una red de distribución, la tensión no es exactamente la misma en todos los puntos, debido a que la caída de tensión depende de la distancia del punto de alimentación y de la magnitud de la carga. Para poder emplear los transformadores de distribución en los distintos puntos de la red y adaptarlos a las variaciones tensión, se provee uno de los devanados de un cambiador de derivaciones (El de alta tensión) de tal forma que se puedan aumentar o disminuir el número de espiras y en consecuencia, variar la relación de transformación dentro de límites establecidos, estos límites, normalmente son del 5%.

1.5.6 Materiales eléctricos usados en la construcción de transformadores.

Conductores eléctricos.

Los materiales usados como conductores en los transformadores, al igual que los usados en otras máquinas eléctricas, deben ser de alta conductividad, ya que con ellos se fabrican las bobinas. Los requisitos fundamentales que deben cumplir los materiales conductores, son los siguientes:

- La más alta conductividad posible.



- El menor coeficiente posible de temperatura por resistencia eléctrica.
- Una adecuada resistencia mecánica.
- Deben ser dúctiles y maleables.
- Deben ser fácilmente soldables.
- Tener una adecuada resistencia a la corrosión.

La resistividad o resistencia específica, la tensión disruptiva, la permitividad y la histéresis dieléctrica en adición a las propiedades dieléctricas se deben considerar también las propiedades mecánicas y su capacidad para soportar la acción de la acción de agentes químicos, el calor y otros elementos presentes durante su operación.

Clasificación de los materiales aislantes.

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

Tabla 1.1 Clases de materiales aislantes en función de la temperatura admisible.

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

Una descripción breve de estos materiales se da a continuación:

Clase Y.

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



Clase A.

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

Clase E.

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

Clase B.

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

Clase F.

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

Clase H.

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

Clase C.



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

1.5.7 Principales conexiones de los transformadores

Dependiendo del propósito de la instalación, un transformador se puede conectar de distintas formas. En el caso de los transformadores monofásicos, hay distintas formas de conectarlos a la fuente de alimentación y a la carga. Dos o más transformadores se pueden conectar en distintas formas para cumplir con distintos requerimientos.

Polaridad en un transformador monofásico.

Polaridad aditiva.

Polaridad sustractiva.

Dado que es importante, cuando dos o más transformadores se conectan juntos, conocer la dirección relativa del voltaje de cada transformador, se han establecido ciertas convenciones para designar la llamada POLARIDAD de un transformador. Esta designación de polaridad se puede obtener de la figura anterior.

Si una de las terminales del devanado de alto voltaje se conecta al lado adyacente opuesto del devanado de bajo voltaje (por ejemplo de A a C), el voltaje en las terminales restantes (B y D) es, o la suma o la diferencia de los voltajes primario y secundario, dependiendo de las direcciones relativas de los devanados. Si el voltaje de B a D es la suma, se dice que el transformador tiene polaridad ADITIVA y si es la diferencia, entonces se dice que tiene polaridad SUSTRACTIVA.

Si los devanados de los lados de alto y bajo voltaje están en direcciones opuestas, los voltajes aplicado e inducido tendrán direcciones opuestas y se dice que el transformador tiene “polaridad sustractiva”. Las terminales H1 y X1 estarán del lado izquierdo cuando se “ve” al transformador del lado de bajo voltaje hacia el lado de alto voltaje.



Si los devanados de los lados de alto y bajo voltaje están en la misma dirección, los voltajes aplicado e inducido tendrán la misma dirección y se dice entonces que el transformador tiene “polaridad aditiva”, la terminal X1 se encontrará del lado derecho cuando se “ve” al transformador del lado de bajo voltaje hacia el lado de alto voltaje.

Cuando se desea conectar en paralelo los secundarios de dos (o más) transformadores, se conectan en forma similar, las terminales que tiene la misma marca de polaridad.

La prueba de polaridad.

Cuando en un transformador no está especificada la polaridad o se desconoce, se puede determinar por una simple medición de voltaje como se indica a continuación:

- Hacer una conexión entre los terminales de alto y bajo voltaje del lado derecho cuando se va al transformador desde el lado de las boquillas y de bajo voltaje.
- Aplicar un voltaje bajo, por ejemplo 120 volts a las terminales de alto voltaje y medir este voltaje con un voltímetro.
- Medir el voltaje de la terminal del lado izquierdo del lado de alto voltaje al terminal del lado izquierdo de bajo voltaje.

Si el voltaje anterior es menor que el voltaje a través de las terminales de alto voltaje, el transformador tiene polaridad sustractiva. Si este voltaje es mayor, entonces la polaridad es aditiva.

Conexión de los transformadores monofásicos.

La conexión más simple de las conexiones de los transformadores es la conexión monofásica.

Un método sencillo de llevar las terminales de los devanados primarios y secundarios a las boquillas que llevan al exterior del tanque del transformador dos indicó en la figura anterior. Para proporcionar flexibilidad en las conexiones, las bobinas de los devanados primario y secundario, se arreglan en dos secciones, cada sección de



una bobina tiene el mismo número de espiras, por lo tanto, genera el mismo voltaje. Las dos primeras secciones se conectan por lo general juntas, dentro del tanque y únicamente dos son llevadas al exterior del tanque a través de las boquillas, las cuales las aíslan de la tapa.

Se pueden sacar cuatro conductores secundarios de cada bobina del secundario, con los dos conductores o terminales transpuestos del interior, antes de ser llevado al exterior. En transformadores nuevos del tipo distribución. Es práctica común estas dos terminales transpuestas, se conecta dentro del tanque y sólo un conductor común se lleva al exterior.

Sistemas polifásicos.

Como se sabe, en corriente alterna hay dos tipos de circuitos: los denominados circuitos monofásicos y los circuitos polifásicos (los más comunes son los trifásicos). En los circuitos monofásicos sólo una fase o conjunto de voltajes de onda de forma senoidal se aplican a los circuitos y únicamente en una fase circula corriente senoidal.

En un sistema polifásico se aplican dos o más voltajes senoidales a las diferentes partes del circuito y circulan en las mismas artes las correspondientes corrientes senoidales.

Cada parte del sistema polifásico se conoce como “fase” y prácticamente se denominan FASE A, FASE B y Fase C y en la misma forma se designan los voltajes indicando “voltajes de la fase A”, “voltaje de la fase B”, etc., y las corrientes, corriente de la fase A, corriente de la fase B, etc.

Los voltajes aplicados a un sistema polifásico se obtienen de una fuente de suministro polifásica, también, de manera que cada fase está siempre separada, por ejemplo, en un sistema trifásico se tienen tres fases separadas. Los métodos más comunes de conectar los devanados de una máquina eléctrica trifásica son en delta y en estrella, como se muestra a continuación:



- Conexión delta.
- Conexión estrella.
- Vectores de voltaje.

Se puede observar que en tanto los voltajes en las terminales A, B y C, son los mismos para las conexiones delta y estrella.

Los voltajes a través de los devanados 1, 2 y 3 en los dos sistemas, no sólo son de diferente magnitud, también se observa que sus direcciones no coinciden. Este hecho es importante en la conexión de transformadores, ya que puede provocar dificultades en la conexión de transformadores cuando no se tiene cuidado en esto.

Conexión trifásica de transformadores.

La transformación trifásica se puede realizar por medio de tres transformadores monofásicos en conexión trifásica o por medio de transformadores trifásicos. Los métodos de conexión de los devanados par a la conexión trifásica son los mismos, ya sea que se usen tres devanados en un transformador trifásico, o bien tres transformadores monofásicos por separado, en conexión trifásica. Las conexiones trifásicas más comunes son las denominadas DELTA y ESTRELLA.

Conexión delta-delta.

Esta conexión se usa con frecuencia para alimentar cargas de alumbrado pequeñas y cargas trifásica simultáneamente. Para esto se puede localizar una derivación o Tap en el punto medio del devanado secundario de uno de los transformadores conectándose a tierra y se conecta también al neutro del secundario. De esta manera, las cargas monofásicas se conectan entre los conductores de fase y neutro, por lo tanto, el transformador con derivación en el punto medio toma dos terceras partes de la carga monofásica y una tercera parte de la carga trifásica. Los otros dos transformadores cada uno toma un tercio de las cargas monofásicas y trifásicas.



Conexión delta abierta-delta abierta.

La conexión delta-delta representa en cierto modo la más flexible de las conexiones trifásicas. Una de las ventajas de esta conexión, es que si uno de los transformadores se daña o se retira de servicio, los otros dos pueden continuar operando en la llamada conexión “delta-abierta” o “V”. Con esta conexión se suministra aproximadamente el 58% de la potencia que entrega un banco en conexión delta-delta.

En la conexión delta abierta, las impedancias de los transformadores no necesitan ser iguales necesariamente, aunque esta situación es preferible cuando es necesario cerrar la delta con un tercer transformador.

La conexión delta abierta, se usa normalmente para condiciones de emergencia, cuando en una conexión delta-delta uno de los transformadores del banco se desconecta por alguna razón. En forma similar a la conexión delta-delta, del punto medio del secundario de uno de los transformadores se puede tomar una derivación para alimentar pequeñas cargas de alumbrado o bien otros tipos de cargas.

Conexión estrella-delta.

Esta conexión se usa con frecuencia para alimentar cargas trifásicas grandes de un sistema trifásico de alimentación conectado en estrella. Tiene la limitante de que para alimentar cargas monofásicas y trifásicas en forma simultánea, no dispone del neutro.

Por otra parte, tiene la ventaja relativa de que la impedancia de los tres transformadores no necesita ser la misma en esta conexión.

Las relaciones entre corrientes y voltajes de fase de línea a línea para la conexión estrella delta, son las mismas que se tienen en la conexión delta-estrella estudiada en el párrafo anterior.



Conexión estrella-estrella.

Esta conexión se usa cuando se requiere alimentar grandes cargas monofásicas en forma simultánea, con cargas trifásicas. También se usa sólo si el neutro del primario se puede conectar sólidamente al neutro de la fuente de alimentación ya sea con un neutro común o a través de tierra. Cuando los neutros de ambos lados del banco de transformadores no se unen, el voltaje de línea a neutro tiende a distorsionarse (no es senoidal). La conexión estrella-estrella, se puede usar también sin unir los neutros, a condición de que cada transformador tenga un tercer devanado que se conoce como “devanado terciario”. Este devanado terciario está siempre conectado en delta.

Con frecuencia, el devanado terciario se usa para alimentar los servicios de la Subestación.

Pruebas a transformadores.

Las pruebas se hacen en los transformadores y sus accesorios por distintas razones, durante su fabricación, para verificar la condición de sus componentes, durante la entrega, durante su operación como parte del mantenimiento, después de su reparación, etc.

Algunas de las pruebas que se hacen en los transformadores e consideran como básicas y algunas otras varían de acuerdo a la condición individual de los transformadores y pueden cambiar de acuerdo al tipo de transformador, por lo que existen distintas formas de clasificación de las pruebas a transformadores, por ejemplo algunos las clasifican en prueba de baja tensión y prueba de alta tensión. También se pueden agrupar como pruebas preliminares, intermedias y de verificación (Finales).

Las pruebas preliminares se realizan cuando un transformador se ha puesto fuera de servicio para mantenimiento programado o para revisión programada o bien ha tenido alguna falla. Las pruebas se realizan antes de “abrir” el transformador y tienen



el propósito general de encontrar el tipo y naturaleza de la falla. Las llamadas pruebas preliminares incluyen:

- Medición de la resistencia de aislamiento de los devanados.
- Medición de la resistencia óhmica de los devanados.
- Determinación de las características del aislamiento.

Las llamadas pruebas intermedias, como su nombre lo indican se realizan durante el transcurso de una reparación o bien en las etapas intermedias de la fabricación, cuando el transformador está en proceso de armado o bien desarmado (según sea el caso) y el tipo de pruebas depende del propósito de la reparación o la etapa de fabricación, por lo general se hacen cuando las bobinas no han sido montadas o desmontadas (según sea el caso) y son principalmente las siguientes:

- Medición de la resistencia de aislamiento de tornillos y herrajes contra el núcleo.
- Prueba de la resistencia de aislamiento de tornillos y herrajes por voltaje aplicado.
- Prueba de las boquillas por medio de voltajes aplicados.

Cuando se han desmontado las bobinas durante un trabajo de reparación, entonces las pruebas se incrementan.

Las pruebas finales se hacen sobre transformadores terminados de fabricación o armados totalmente después de una reparación e incluyen las siguientes:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Prueba de relación de transformación.
- Determinación del desplazamiento de fase de los grupos de bobinas.
- Determinación de las características del aislamiento.
- Prueba del aislamiento por voltaje aplicado.
- Prueba para la determinación de las pérdidas en vacío y en corto circuito (determinación de impedancia).



- Prueba del aislamiento entre espiras por voltaje inducido.
- Medición de la corriente de vacío y la corriente de excitación.

El orden de las pruebas no es necesariamente el mencionado anteriormente. Y de hecho existen normas nacionales e internacionales que recomiendan que pruebas y en qué orden se deben realizar, así como cuando se deben efectuar.



1.6 Conclusiones del capítulo

La bibliografía consultada referente a los diseños y cálculos para la fabricación de transformadores a nivel internacional ya sean monofásicos o trifásicos, en aceite, de baja, media y alta potencia, demuestra que es posible adaptarlos al rediseño de cálculos de transformadores secos de diferentes potencias.



CAPITULO II Metodología de cálculo.

Introducción

En el presente capítulo se desarrolla una metodología para el Cálculo de transformadores secos a partir de los materiales desechados de los transformadores en aceite.

2.1- Datos generales del Transformador.

Una vez seleccionados los transformadores fuera de servicio se les extraen las láminas, piezas y partes que están en buen estado y el resto se destina a chatarra, luego de seleccionada las láminas se procede al cálculo y diseño del nuevo transformador que queremos fabricar a solicitud de los clientes.

Metodología del cálculo del Transformador.

El cálculo o diseño de los transformadores se puede decir que es un aspecto suficientemente tratado, en el que intervienen algunas variantes dependiendo del tipo de transformador y de los materiales empleados. En la actualidad los fabricantes de transformadores a gran escala, disponen por lo general de programas para computadora para diseño y de laboratorio apropiados para prueba y desarrollo.

Para los cálculos del transformador vamos a tener en cuenta la recuperación de las láminas aceros al silicio de transformadores en aceite, conociendo que la (B)-inducción magnética de las columnas en los de aceite su valor oscila entre 12.000 a 14.000gaus, para este cálculo de transformadores secos la inducción magnética en las columnas del transformador será de 10.000gaus.

No obstante, los conceptos básicos del cálculo de transformadores se deben conocer por las personas relacionadas con las máquinas eléctricas, esto no solo permite una mejor comprensión de su funcionamiento, sino también que brinde la posibilidad de entender mejor la falla que tienen y su reparación.



Antes de comenzar a realizar la metodología para el cálculo se debe tener en cuenta los datos suministrados por el cliente para su fabricación y el tipo de alimentación de la red por fase (monofásico o trifásico) y la Potencia aparente (S) kVA.

Tensión de línea del primario (U1) y Tensión de línea del secundario (U2)

Seguidamente se selecciona la tensión de corto circuito (U_{cc}), tensión de vacío (V_o), potencia de corto circuito (P_{cc}), potencia de vacío (P_o), todos en %, estos valores son prefijados para equipos estandarizados en el mundo.

Tensión de cortocircuito

Los valores de la tensión de cortocircuito nominal a la temperatura establecida en la Cláusula 17 de la Norma IEC 60076-11 y para la corriente nominal definida para bornes de alta tensión, será menor o igual a 3 % en todos los casos.

Pérdidas, corriente en vacío y niveles de ruido

Los valores máximos admitidos de pérdidas en vacío y en carga, corriente en vacío y niveles de ruido para los transformadores tipo seco se indican en la Tabla 1. Estos valores son máximos y no tienen tolerancia.

Tabla 1. Valores admitidos de pérdidas.

Potencia Nominal (kVA)	Pérdidas en Vacío 100% Un (W)	Pérdidas en Carga (W)	Nivel de Ruido Presión Acústica dB(A)	Corriente en Vacío (% I _n) (100% Un)
1,5	15	64.5	25	4.5
5	50	215	35	4.2
10	100	430	50	3.8
25	150	700	50	3.5
50	200	1100	50	2.9
100	440	1800	55	2.5
160	620	2400	58	2.3
250	880	3300	58	2.0
400	1250	4600	60	1.8



Tensiones nominales y tensión máxima del equipamiento

Los valores de las tensiones nominales serán para el primario, $Un1 = 440 \text{ V}, 380 \text{ V}, 220 \text{ V}, 127 \text{ V}$ y otros, para el secundario $Un2 = 5 \text{ V}, 24 \text{ V}, 36 \text{ V}, 60 \text{ V}, 127 \text{ V}, 220 \text{ V}$ y la tensión máxima del equipamiento de ensayo de resistencia del aislamiento será $Um = 3,6 \text{ kV}$.

Niveles de aislamiento

Tabla 2. Tensión soportada por tensión de equipamiento.

Tensión máxima del equipamiento(Um)	Tensión soportada a frecuencia industrial,	Tensión soportada a impulso 1,2/50μs
(kV)	1 min. (kV)	(kV)
3.6	10	20

Potencias nominales y grupo de conexión

Las potencias nominales unitarias serán: 1,5, 5,10, 25, 50, 100, 160, 250 y 400 kVA

El grupo de conexión será Adictiva para los monofásicos y $Yn / Yn-0$ para los trifásicos ya que la relación de transformación $K_T = N_1 / N_2$ para la conexión Y/y.

La conexión en estrella es preferible siempre, desde el punto de vista económico, para altas tensiones; más todavía, si la capacidad del transformador no es muy elevada, le corresponde la tensión más baja por devanado e intensidad, por consiguiente más alta. Facilita así el aislamiento y el empleo de secciones amplia de cobre, que da rigidez a la bobina y la protege mejor contra los enormes esfuerzos mecánicos que a veces se produce por accidente de corto circuito. Al requerir mayores secciones de hilo aumenta la capacidad electrostática entre espira, y quedan mejor distribuida las sobretensiones transitorias que proceden de la línea.



El montaje en estrella permite también sacar neutro para la alimentación de las redes de baja en servicio de luz y fuerza, y para la protección por medio de la puerta a tierra en el lado de alta.

Las conexiones internas para lograr este grupo de conexión estarán de acuerdo con las Normas IEC 60076-1 e IEC 60616.

El neutro del arrollamiento será accesible y dimensionado para la misma tensión y corriente que las fases.

Principales aspectos constructivos

A) NÚCLEO

- CHAPAS DE ACERO AL SILICIO
- LAMINADAS EN FRÍO (GRANO ORIENTADO)
- CAPA AISLANTE (0,01 mm) “CARLITE”
- COLUMNAS, CULATAS, VENTANAS DEL NÚCLEO, JUNTAS
- SEGÚN LA POSICIÓN RELATIVA NÚCLEO - DEVANADO
 - ACORAZADAS (NÚCLEO “ABRAZA” DEVANADO)
 - DE COLUMNAS (DEVANADO “ABRAZA” NÚCLEO)

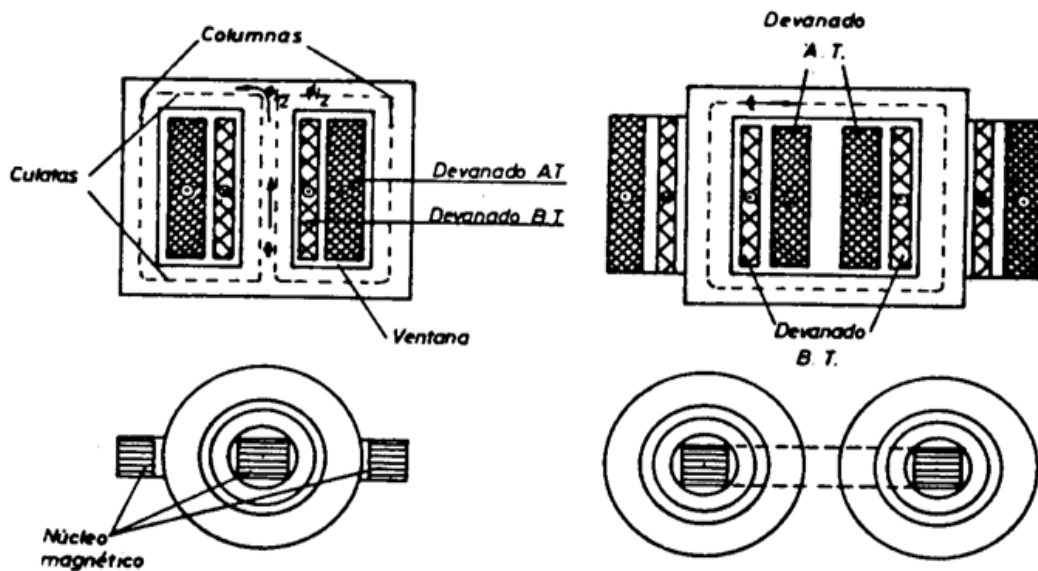


Figura 2.1 Vistas frontal y superior de núcleo acorazado.

Sección Transversal

- Pequeña potencia: Sección Cuadrada
- Gran potencia: Polígono escalonado (cruciforme)
- Canales de ventilación
- Fijación mecánica de chapa (vibraciones)

Se seleccionan las láminas necesarias para fabricar el circuito magnético del transformador una vez obtenido los datos, preferentemente vamos a utilizar laminas recuperadas en buen estado de transformadores en aceite con espesores de 0.35mm y con aislamiento de barniz, con prensado de las columnas por acuñamiento y prefijamos para los transformadores un coeficiente critico K_{crit}

K_{crit} = según la cantidad de escalones a realizar, hasta 3 escalones en este caso de estudio. Ver anexo 1, anexo 2 y anexo 3.



Tabla 3. Coeficientes críticos por número de escalón.

Nº escalones	1	2	3
K _{crit}	0,631	0,787	0,851

Se toma el coeficiente de ocupación para los cálculos de las diferentes potencias de transformadores secos K_{ocup}

K_{ocup} = 0.91 para láminas de espesor 0.35 mm y barnizadas

El coeficiente general se calcula por

$$K_{gen} = K_{crit} \times K_{ocup}$$

➤ **Diámetro de la columna**

$$d = 16^4 \sqrt{(S' \times \beta \times a_p \times K_r) / (f \times U_{pc} (B_{column}/1000) \times K_{gen}^2)} \text{ (cm)}$$

Donde

S' = S/C C=número de columnas; S= Potencia total del transformador

β = se toma de 1.4 a 3.5 para este caso valor fijo de 2.45

K_R = coeficiente de relación entre el polo de dispersión ideal y el polo real es igual 0.95

$$a_p = a_{12} \times (a_1 + a_2) / 3$$

$$(a_1 + a_2) / 3 \approx K^4 \sqrt{S'} \text{ cm}$$

a₁₂ - es un coeficiente que depende de la potencia y da el espesor de baja tensión proveniente de las columnas, es igual a 0.85

K = 0.55 para los valores de potencia de la columna



$(a_1 + a_2) / 3$ el valor no menor de 1.2 cm

$$U_{pc} = \sqrt{U_{cc}^2 - U_a^2} \quad (\%)$$

$$U_a = P_{cc} / 10 S \quad (\%)$$

$$U_r = (7.92 \times f \times S_{colum} \times \beta \times a_p + K_r \times 10^{-3}) / U_e^2 \quad (\%)$$

U_{cc} = se obtiene de los datos iniciales

P_{cc} = se obtiene de los datos iniciales

$$d_{12} = d + 2 a_{01} + 2 a_1 + a_{12}$$

$$a_{01} = 0,5; a_{12} = 0,85; a_1 \approx K^4 \sqrt{S}$$

$B_{colum} = 10000$ Gauss para los cálculos de este caso de estudio

$$\Phi = 10^8 \times U_1 / 4.44 \times n_1 \times f \quad (\text{Gauss})$$

$$B_{colum} = \Phi / S_a$$

$f = 60\text{Hz}$ y con esto se calcula S_a

➤ **Altura de la bobina**

$$l = (\pi \times d_{12}) / \beta \quad (\text{cm})$$

➤ **Sección activa columna (S_a)**

$$S_a = K_{ocp} \times K_{crit} \times (\pi \times d^2) / 4 \quad (\text{cm}^2)$$

➤ **Cálculo del sistema magnético**

- Según la cantidad de escalones

$$A_{fig} = S_{fig}$$



$$S_a = K_{ocup} \times A_{fig} \quad \text{Donde: } K_{ocup} = 0.91$$

- Primer escalón.

$$a_1 = 0.707 \quad XL1 = a_1 \times d \quad (\text{cm})$$

$$Y_p = XL / 2 \quad (\text{cm})$$

$$Y1 = YP1 \quad (\text{cm})$$

- Segundo escalón.

$$a_1 = 0.515 \quad XL1 = a_1 \times d \quad (\text{cm})$$

$$a_2 = 0.850 \quad XL2 = a_2 \times d \quad (\text{cm})$$

$$YP1 = XL2 - XL1 / 2 \quad (\text{cm})$$

$$YP2 = XL1 / 2 \quad (\text{cm})$$

$$Y2 = \sum YP1 + YP2$$

- Tercer escalón

$$a_1 = 0.424 \quad XL1 = a_1 \times d \quad (\text{cm})$$

$$a_2 = 0.707 \quad XL2 = a_2 \times d \quad (\text{cm})$$

$$a_3 = 0.905 \quad XL3 = a_3 \times d \quad (\text{cm})$$

$$YP1 = XL3 - XL2 / 2 \quad (\text{cm})$$

$$YP2 = XL2 - XL1 / 2 \quad (\text{cm})$$

$$YP3 = XL1 / 2 \quad (\text{cm})$$

$$Y3 = \sum YP1 - YP2$$



Donde:

$$S_{\text{frg}} = X \cdot Y; \text{ (cm)}$$

❖ Para cada escalón

$$S_{\text{fig1}} = XL_1 \times Y_{p1}; \text{ (cm)}^2$$

$$S_{\text{fig2}} = XL_1 \times Y_{p1} + XL_2 \times Y_{p2}; \text{ (cm)}^2$$

$$S_{\text{fig3}} = XL_1 \times Y_{p1} + XL_2 \times Y_{p2} + XL_3 \times Y_{p3}; \text{ (cm)}^2$$

→ **Para el primer escalón**

❖ Sección del Yugo

$$S_{\text{yugo}} = K_{\text{yugo}} \times A_{\text{frg}} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Donde:

$$K_{\text{yugo}} = 1.15$$

• Ancho del Yugo

$$B_{\text{yugo}} = 2 (Y) \text{ (cm)}$$

❖ Altura del yugo (h_{yugo})

$$H_{\text{yugo}} = S_{\text{yugo}} / B_{\text{yugo}} \text{ (cm)}$$

❖ **Cantidad de láminas en los paquetes (C_{lam})**

Según el número de escalones

$$C_{\text{lam}} = (K_{\text{ocup}} \times YL) / 0.035$$

$$C_{\text{lam1}} = 0.91 / 0.035 \times Y_{p1}$$



→ **Segundo escalón**

$$C_{lam1} = 0.91 / 0.35 \times Y_{p1}$$

$$C_{lam2} = 0.91 / 0.35 \times Y_{p2}$$

→ **Tercer escalón**

$$C_{lam1} = 0.91 / 0.35 \times Y_{p1}$$

$$C_{clam} = 0.91 / 0.035 \times Y_{p2}$$

$$C_{lam3} = 0.91 / 0.035 \times Y_{p3}$$

➤ **Largo de la columna (I_{column})**

$$L_{colum} = l + 4 \text{ (cm)}$$

➤ **Separación entre los ejes de las columnas (T)**

$$T = D''_2 + 1 \text{ (cm)}$$

Se calcula con los datos las corrientes de línea del primario y el secundario.

➤ **Corriente del primario (I_1)**

$$I_1 = S \times 10^3 / \sqrt{3} \times U_1 \text{ (A)}$$

Donde

S- Potencia aparente del transformador en KVA

U_1 - Tension del primario en volts

➤ **Corriente del secundario**



$$I_2 = S \times 10^3 / \sqrt{3} \times U_2 \text{ (A)}$$

Donde U_2 - Tensión del secundario en Volts

- Potencia de fase (Sf)

$$S_1 = S/m \text{ KVA}$$

Donde

m - número de fases

- **Potencia de una columna (S')**

$$S' = S/C \text{ (kVA)}$$

Donde

C = número de columnas

- **Cálculo de las tensiones de las fases**

Para conexión delta la tensión de fase toma el mismo valor que la tensión de línea

$$U_f = U_l \text{ (kVA)}$$

U_f = tensión de fase en volts

U_l = tensión de línea en Volts

- Para conexión estrella

$$U_f = U_l / \sqrt{3} \text{ (kVA)}$$

- **Fem de una espira (Volts)**



$$E=U_e=4.44xfx B_{\text{column}}xSax10^{-8} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Donde

U_e =tensión de la espira

- **Número de vueltas en una fase (Nv_1)**

$$Nv_1= (Uf_1x10^{-8}) / (4.44xfxB_{\text{column}}xSa)$$

- **Sección conductor (S_{cond})**

$$S_{\text{cond}}=I_f/\Delta_i \text{ (mm}^2\text{)}$$

Donde

Δ_i -Densidad de corriente

- **Número de vueltas en una capa (Nv)**

Según referencia en dos secciones se toma por la siguiente formula:

$$N_{\text{vcapas}}=Nv_1/2$$

- **Altura de una espira (he)**

$$he=l/ (Nvc+1) \text{ (cm)}$$

Donde

Nvc -número de vueltas en una capa de la bobina

- **Longitud real de la bobina (l_1)**

$$l_1=he(N_{\text{vcapas}}+1.5) \text{ (cm)}$$

- **Medida racional de la bobina del primario(a_1)**



$$a_1 = 2a + a_{11}$$

Donde

a - ancho del conductor (cm)

$a_{11} = 0.5$ espesor de separación entre dos capas

➤ **Diámetro interior del primario (D_{int1})**

$$D_{int} = d + 2a_{01}$$

➤ **Diámetro exterior primario (D_{ext1})**

$$D_{ext} = D_{int1} + 2a_1$$

➤ **Número de vueltas del secundario (Nv_2)**

$$Nv_2 = nv_1 \times U_2 / U_1$$

➤ **Sección del conductor en el secundario (S_{Cond2})**

$$S_{cond2} = I_2 / \Delta i_2 \quad (\text{mm}^2)$$

Donde

Δi_2 - Densidad de corriente

➤ **Número de vueltas en una capa del secundario (N_{vcaps})**

$$N_{ncaps2} = (l_1 / d'_2) - 1$$

Donde

$$d'_2 = \sqrt{4 \times S_{cond2} / (\pi + 0.6)}$$

➤ **Cantidad de capas (N_{cb})**



$$N_{cb} = N_{v2} / N_{capas2}$$

Donde

N_{vcaps} = Vueltas totales en una capa

➤ **Medida racional de la bobina secundaria (a_2)**

$$a_2 = d'_2 \times N_{cb} + \delta_{papel}(N_{cb} - 1) \quad (\text{cm})$$

Donde

N_{cb} - cantidad de capas de la bobina

δ_{papel} - espesor del papel, igual a 0.25mm

➤ **Diámetro interior del secundario (D_{inte2})**

$$D_{int} = D_{ext1} + 2a_{12} \quad (\text{cm})$$

➤ **Diámetro exterior del secundario (d_{ext2})**

$$D_{ext2} = D_{inte2} + 2a_2 \quad (\text{cm})$$

➤ **Pérdidas eléctricas (P_e)**

$$P_e = (0.672 \times S) / (U_{ex2} d_{12} \times \Delta_i) \quad (\text{w})$$

➤ **Pérdidas Magnéticas (P_m)**

$$P_m = 2.4 \times \Delta_i^2 \times G_c \quad (\text{w})$$

Donde

G_c - peso del cobre (Kg)

➤ **Peso del cobre en el primario (GB_1)**



$$G_{b1} = C \times N_{v1} \times (D_{int1} + D_{ext1}) / 2 \times S_{1cond1} \times 8.9 \times 10^{-5} \text{ (Kg)}$$

Donde

(8.9×10^{-5})-peso específico del cobre

➤ **Peso del cobre en el secundario (G_{b2})**

$$G_{b2} = C \times N_{v2} \times [(D_{int} + D_{ext2}) / 2] \times S_{1cond} \times 8.9 \times 10^{-5} \text{ (Kg)}$$

➤ **Pérdidas magnéticas en la bobina primaria (P_m)**

$$P_{m1} = 2.4 \times \Delta_1^2 \times G_{b1} \text{ (w)}$$

Donde

(2.4)-Constante

➤ **Pérdidas magnéticas bobina secundaria (P_{m2})**

$$P_{m2} = 2.4 \times \Delta_1^2 \times G_{b2} \text{ (w)}$$

➤ **Pérdidas magnéticas totales (P_{m12})**

$$P_{m12} = P_{m1} + P_{m2} \text{ (w)}$$

➤ **Peso total del cobre**

$$G = G_{b1} + G_{b2} + G_{derv} + G_{derv2} \text{ (Kg)}$$

➤ **Peso del acero en la columna (G_{colum}).**

$$G_{colum} = C \times S_a \times l_{colum} \times 7.6 \times 10^{-3} \text{ (Kg)}$$

Donde:

C-cantidad de columnas del transformador



Sa-área neta de la columna

l_{column} -longitud de la columna

➤ **Peso del acero del Yugo (G'_{yugo})**

$$G'_{\text{yugo}} = 2(c-1) \times T \times S_{\text{yugo}} \times 7.6 \times 10^{-3} \text{ (Kg)}$$

➤ **Peso del Yugo en la sección externa.**

$$G''_{\text{yugo}} = 2 \times S_a \times h_{\text{yugo}} \times 7.6 \times 10^{-3} \text{ (Kg)}$$

➤ **Peso total del yugo (G_{yugo})**

$$G_{\text{yugo}} = g_{\text{col}} + G_{\text{yugo}} \text{ (Kg)}$$

➤ **Peso total del acero del transformador (G_{acero}).**

$$G_{\text{acero}} = g_{\text{col}} + G_{\text{yugo}} \text{ (Kg)}$$

➤ **Determinación de las pérdidas de potencia y marcha en vacío.**

- Inducción de la columna

$$B_{\text{Colum}} = B_{\text{colum}} \times (S_a / S_{\text{yugo}})$$

- Pérdidas específicas en el acero

Columna P_{colm} (w/Kg)

Yugo P_{yugo} (w/Kg)

- Pérdidas en vacío (P_o)

$$P_o = K_{\text{ad}} \times P_{\text{colm}} \times G_{\text{colm}} + P_{\text{yugo}} \times G_{\text{yugo}} \text{ (w)}$$

Donde:



G_{colm} -peso de la columna.

G_{yugo} -peso del yugo

- Potencia de magnetización total del vacío

$$Q_x = G_{\text{xcolum}} \times G_{\text{colm}} + G_{\text{yugo}} \times G_{\text{yugo}} + \Pi_3 \times g \times 3 \times s \times a \times (W)$$

G_{xcolum} -potencia específica de la columna

G_{xyugo} -potencia en el yugo

$G \times 3$ -potencia en los espacios

Π_3 -número de canales escogidos

- Corriente activa para la componente en el primario (I_{va})

$$I_{va} = p_o / m \times u_f \quad (\text{A})$$

$$I_{oa} = P_o / 10 \times S \quad (\%)$$

- Componente reactiva (I_{vr})

$$I_{vr} = Q_x / m \times U_{\text{fase}} \quad (\text{A})$$

$$I_{or} = Q_x / 10 \times s \quad (\%)$$

- Corriente en vacío

$$I_u = \sqrt{I_{ua}^2 + I_{ur}^2} \quad (\text{A})$$

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{or}^2} \quad (\%)$$

- Pérdidas en vacío



$$P_o = K_{ad} x p_{colm} x G_{colm} + P_{yugo} x G_{yugo} \text{ (W)}$$

- Rendimiento η

$$\eta = (1 - P_{cc} + P_o / S + P_{cc} + P_o) x 100\% \text{ (%)}$$

El núcleo será de sección en forma escalonada para disminuir el factor de espacio y construir las bobinas cilíndricas, de esta forma se ahorra más acero.

Las columnas de forma escalonada, cuenta con 3 escalones, cada escalón con un área determinada, hasta lograr el área total de las columnas y una buena distribución del campo magnético en el cilindro de la bobina y la columna.

Para el montaje de cada columna se confecciona un molde de madera con las dimensiones exactas del núcleo, sobre el cual se monta lámina por lámina según la cantidad calculada por escalones.

Para seleccionar el área de la columna primeramente se seleccionan los parámetros que se desean, para que el equipo trabaje se calcula el área total y a partir del diámetro del cilindro base obtenido, se saca la cantidad de escalones y el área de cada una.

Aislamiento entre devanados y entre devanados y el núcleo.

El aislamiento entre los devanados y entre estos y el hierro del núcleo sobre el cual se encuentran devanados, se puede hacer de distintas formas, según sea el tipo de transformador.

Salvo en los casos de transformadores de potencia muy pequeña y del tipo núcleo acorazado, el aislamiento se logra siempre por medio de tubos aislantes (de papel baquelizado, gelonita y similares) por otra parte, la limitada rigidez dieléctrica del aire, la presencia de polvos y al humedad.

Dimensionamiento de los transformadores trifásicos en el aire.



Estos transformadores son por lo general de pequeña potencia y no existe normalmente un criterio unificado en cuanto al diseño de las laminaciones, de manera que a título de orientación se pueden considerar los valores siguientes referidos a la figura indicada.

2.2 Accesorios

2.2.1. Terminales de puesta a tierra

El núcleo de los transformadores secos dispondrá de un terminal de puesta a tierra. Este terminal estará previsto para prensar cable de cobre de 16-50 mm² de sección y será resistente a la corrosión. Dicho terminal de puesta a tierra deberá estar debidamente señalizado.

El marco del cerramiento contará también con un terminal de puesta a tierra que permitirá la rígida conexión eléctrica del marco con el núcleo del transformador y de ambos a tierra.

2.2.2. - Placa de características

Todos los transformadores llevarán dos placas de características. Estas placas se fijarán mediante bulones metálicos una a la parte activa (núcleo) y otra sobre el cerramiento, para ello se colocarán los soportes adecuados.

La placa de características estará constituida por un material resistente a la intemperie (placa acero inoxidable o aluminio) y todas las inscripciones serán grabadas (no se admiten placas con inscripciones pintadas o método similar).

Deberá contener las indicaciones siguientes:

- Transformador trifásico o monofásicos tipo seco 60 Hz.
- Nombre del fabricante.
- Número de fabricación.
- Año de fabricación.
- Potencia nominal.



- Tensiones nominales.
- Corrientes nominales.
- Grupo de conexión.
- Tensión de cortocircuito a corriente nominal y a la temperatura de referencia
- Tipo de refrigeración: AN.
- Tipo de instalación: Interior
- Grado de protección del cerramiento
- Esquema de conexiones.
- Nivel de aislamiento (a 60 Hz).
- Peso total
- Clase Climática
- Clase Ambiental
- Clase de Comportamiento al Fuego
- Clase de temperatura del Aislamiento de cada arrollamiento
- Aumento de temperatura de cada arrollamiento
- N° de licitación de UTE.
- Fecha de vencimiento de la garantía.

2.2.3 Distancia entre ejes de bornes

La distancia entre ejes de bornes será la siguiente:

- a) para bornes de corriente nominal 250 A..... 80 mm
- b) para bornes de corriente nominal 630, 1000 y 2000 A..... 150 mm

2.2.4. Tropicalización, protección contra la corrosión y color de la pintura.

Los transformadores y sus accesorios serán aptos para ser transportados, depositados y operados bajo condiciones tropicales de alta temperatura y humedad, lluvias abundantes y ambiente propicio a la propagación de hongos.

El ambiente en que los transformadores serán almacenados o funcionarán, será clasificado como de condensación frecuente y/o polución elevada.



Las condiciones climáticas de funcionamiento serán para temperatura ambiente mayor o igual a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las condiciones de almacenamiento serán para temperatura ambiente mayor a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El comportamiento del transformador ante el fuego debe ser tal que no sea elemento propagador del fuego. Los materiales componentes deben estar exentos de halógenos.

En caso de que tome fuego el equipo, las sustancias tóxicas y humos opacos emanadas como resultado de la combustión deben estar reducidas al mínimo y este debe ser capaz de auto extinguirse.

Las telas, corcho, papel etc. que deban protegerse por impregnación deberán tratarse con un fungicida. No deben usarse telas impregnadas en aceite de linaza o barniz de aceite de linaza. Los bulones y tuercas serán construidos de material resistente a la corrosión o cincados por inmersión en caliente, de acuerdo a lo especificado en las normas.

2.2.5 Ensayos

Las condiciones generales y procedimientos para efectuar los ensayos se ajustarán a lo establecido en la Norma IEC 60076-11, excepto para aquéllos en los que se indica expresamente la norma de aplicación.

- Ensayos de rutina o individuales

Serán efectuados por el fabricante sobre cada uno de los transformadores que componen un lote, debiendo facilitar los correspondientes protocolos antes de realizarse los ensayos de recepción. Comprenden los siguientes:

- Medida de la resistencia óhmica de los arrollamientos a la temperatura de referencia.
- Se efectuarán las medidas de las resistencias de los arrollamientos entre fase y neutro para la baja y la alta tensión en todos los puntos del conmutador. La



variación máxima permitida entre las diferentes medidas para un mismo tipo de transformador será de un 10% Medida de la relación de transformación y verificación del grupo de conexiones.

- Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío a tensión nominal.
- Medida de las pérdidas debidas a la carga, a la temperatura de referencia.
- Medida de la tensión de cortocircuito, a la temperatura de referencia.
- Ensayo de tensión aplicada a frecuencia industrial.
- Ensayo de tensión inducida.
- Resistencia de la aislamiento

Se realizan los ensayos AT/BT, AT/BT+ masa y BT/AT+ masa, con 5000 V durante 1 minuto, debiendo los valores mayores a 1000 M Ω a 20°C. Los valores deberán ser estables y sin pérdida de resistencia de aislación en el tiempo.

Ver Anexo 4



2.3 Conclusiones del capítulo.

Para la implementación de la metodología de cálculo de los transformadores secos es muy importante tener en cuenta todos los pasos metodológicos antes mencionados.

La metodología propuesta permite una mejor selección del tipo de transformador a fabricar teniendo en cuenta todas las necesidades de los clientes.



CAPITULO III. Valoración económica

Introducción.

En el presente capítulo se desarrolla la valoración económica del trabajo.

3.1 Valoración económica de la fabricación de los transformadores secos

El desarrollo de un proyecto lleva implícito un conjunto de elementos de gastos en los que se incurren y que permiten hacer una valoración del efecto costo beneficio del mismo, en cuanto al ahorro de importaciones y el gasto que se obtiene en la fabricación de estos equipo, para tener una idea relaciono las diferentes empresas del municipio que han recibido este tipo de servicio.

Empresa Puerto Moa

Empresa Servicio de la Unión del Níquel

Empresa Comandante Ernesto Che Guevara

Empresa Construcción y Reparación Integral del Níquel

Empresa de la construcción de Granma y otras

Para la valorización económica que poseen la fabricación de los transformadores secos se ha tomado como base el costo de importación que hoy en día se tiene al adquirir un transformador de 25 kVA de baja tensión de 440 V a 127 V / 220 V en el mercado internacional, el mismo asciende al valor de \$ 26355.00 USD más IVA, es decir, un costo por galón de \$ 30426.35 USD.

A continuación se ha procedido a escoger capacidades de transformadores de tipo secos de mediana potencias, utilizados por diferentes empresas del municipio como reductores en fuerza y alumbrado, con el fin de establecer relación entre el costo del transformador de mediana potencia importado y el costo de su fabricación en nuestra empresa, tal como se detalla a continuación:

Costo los transformadores de mediana potencia importados



Capacidad Tensiones Precio (USD)

5 kVA 440 V/(127 V/220 V) \$ 5812.50

15 kVA 440 V/(127 V/220 V) \$ 8594.00

25 kVA 440 V/(127v/220V) \$ 26355.00

45 kVA 440 V/ (127V/220V) \$ 121087.00

Costo referencial obtenido de los transformadores de mediana potencia fabricado en la UEB Reparaciones Capitales Electricas de la EMNI.

Capacidad Tensiones Precio de Venta precio (CUC)

5 kVA 440 V/(127V/220V) \$ 1250.98 \$ 966.45

15 kVA 440 V/(127v/220V) \$ 2043.79 \$ 1026.62

25 kVA 440 v/(127V/220V) \$ 2211.953 \$ 1162.705

45 kVA 440 V/(127V/220V) \$ 5782.12 \$ 2452.06

Sin incluir el precio de las láminas de acero al silicio recuperadas, para realizar estas fabricaciones ya que se obtienen a partir de la chatarra.

Partiendo de un ejemplo físico a partir de un transformador de

25 kVA de 440 V / 127 V- 220 V trifásico con grupo de conexión Y / Yn -0, donde el peso del núcleo es de 117.5 kg y teniendo como referencia que en el mercado internacional la tonelada de acero al silicio electrotécnico está en el orden de: 900.00 USD / Tn obtendremos los Siguietes Gastos



Tabla 3.1. Ficha de Costo.

Material utilizado	Unidad de medida	Cant	Precio unit	Importe
CINTA DE VIDRIO 0.20X15 MM	R	3	8,62	25,86
CINTA ALGODÓN DE T 0,20X20 MM	R	4	5,98	23,92
PLACA LAMINADA FIBRA DE 10 MM	KG	1	8,04	8,04
PAPEL NOMEX 0.25 MM	KG	1	76,73	76,73
PAPEL CORRUGADO P/TRANSF.	KG	0,4	4,39	1,756
PLETINA COBRE ESMALTA 4X5 MM	KG	18	14,21	255,78
PLETINA COBRE ESMALTA3,4X9 MM	KG	16	14,72	235,52
PINTURA ESMALTE VERDE	LT	2	7,22	14,44
BARNIZ ELECTROAISLANTE	LT	2,0	8,01	16,02
BARNIZ ELECTROAISL. SEC. AL AIRE	LT	4,0	7,9	31,6
ELECTRODO P/SOLDAR 7018	KG	1,0	2,53	2,53
DILUENTE P/BARNIZ F-5	LT	2,0	7,540	15,08
TUBO FLEXIBLE(SPAGUETTY) 8 MM	M	4,00	1,03	4,12
TUBO FLEXIBLE(SPAGUETTY) 4 MM	M	4,00	0,53	2,12
TERMINAL COMP. COBRE DE 10MM2	U	10,00	0,13	1,3
TORNILLO M8X40	U	12	0,073	0,876
TORNILLO M10X50	U	8	0,12	0,96
TUERCA M8	U	24	0,038	0,912
TUERCA M10	U	16	0,028	0,448
ACERO AL SILICIO	TN	0,118	1200	105,75
TOTAL				859.012



Tabla 3.2. Ficha de Mano de obra.

ESPECIALISTA	HR	TARF	IMPORTE	ESCALA	ACTIVIDAD	TOTAL
Electricista Enrollador C	0,700	2,50	1,75	V	Enrollado	40,27
Electricista Enrollador A	0,700	2,70	1,89	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador A	1,000	2,70	2,70	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	3,000	2,50	7,50	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	3,000	2,70	8,10	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	6,000	2,50	15,00	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	6,000	2,70	16,20	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	1,500	2,50	3,75	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	1,500	2,70	4,05	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	2,000	2,50	5,00	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	2,000	2,70	5,40	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	6,000	2,50	15,00	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	6,000	2,70	16,20	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador A	0,170	2,70	0,46	VIII	Enrollado	
Electricista Enrollador C	0,350	2,50	0,88	V	Enrollado	
Electricista Enrollador A	0,350	2,70	0,95	VIII	Enrollado	
Mecánico Industrial A	6,000	2,70	16,20	VIII	Ensamble	10
Mecánico Industrial A	4,000	2,70	10,80	VIII	Ensamble	
Operador Máquinas "A"	0,600	2,63	1,58	VII	Pintura	0,60
Técnico C Máq. Eléct.	1,000	2,92	2,92	VIII	Pruebas	3,44
Técnico C Máq. Eléct.	2,440	2,92	7,12	VIII	Pruebas	
Soldador "A"	5,000	3,12	15,60	VII-S	Soldadura	5,00
Mecánico de Taller "A"	1,500	2,70	4,05	VIII	Taladrado	1,50
Operador de Grúa Viajera.	4,340	2,45	10,63	IV	Isaje y traslado	4,34
J. Brigadas.	5,880	3,25	19,11	XI	Supervisión y control	5,88
Importe Salario: \$ 204,85						



El costo total del transformador de 25 KVA con el costo de las láminas de acero si tuviéramos que comprarla en el extranjero es de:

Materiales \$ 859.012 CUC

Mano de obra \$ 204.85 CUP

Total \$ 1063.862

El precio de venta podemos obtenerlo a través de la ficha que se emplea con toda la carga fabril del área que elabora la producción es de: **2211.95** con **1162.705 CUC**

Tabla 3.3 Ficha para la determinar el precio y su componente en pesos convertibles.

EMPRESA MECANICA DEL NIQUEL			
Organismo: MINBAS	451-0031(49)		
CÓDIGO: 105.0.2668	Reparaciones Capit. Electricas.		
FABRICAR TRANSFORMADOR 25 KVA		18/04/2012	
Nivel de Producción		Plan 2012	
Concepto de gastos	Fila	Moneda	Moneda
		Total	Convertible
(1)	(2)		
Materias Prima y Materiales	1	928,5	928,5
Materiales	1,1	859,012	859,0
Combustibles y lubricantes	1,2	1,0	1,0
Energía eléctrica	1,3	44,0	44,0
Agua	1,4	1,2	1,2
Útiles y herramientas	1.5	23,2	23,2
Sub total (Gastos de elaboración(3+4+5+6+7+8))	2	1069,51	128,46
Otros Gastos directos	3	89,23	10,2
Depreciación	3,1	38,0	0,0
Ropa y calzado (trab. Directos)	3.3	0,0	0,0
Otros servicios productivos	3.4	51,2	10,2
Gastos de fuerza de trabajo	4	423,1	11,6
Salarios	4,1	204,85	0,0
Vacaciones	4,2	18,6	0,0
Otros gastos de fuerza de trabajo	4.3	118,7	0,0
Estimulación en cuc	4,4	80,9	11,6
Gastos indirectos de producción (731)	5	407,3	77,6
Depreciación	5.1	7,8	0,0
Materiales	5.2	48,3	47,3
Combustibles y lubricantes	5.3	9,7	9,7



Energía eléctrica	5.4	9,0	9,0
Salarios	5.5	219,0	0,0
Otros gastos fuerza de trabajo	5.6	85,4	0,0
Otros gastos	5.7	28,1	11,5
Gastos generales y de administración (822-823)	6	106,4	10,6
Depreciación	6.1	3,8	0,0
Materiales	6.2	2,3	2,3
Combustible y lubricantes	6.3	1,2	1,2
Energía eléctrica	6.4	0,9	0,9
Salarios	6.5	59,7	0,0
Otros gastos de fuerza de trabajo	6.6	23,3	0,0
Otros gastos	6.7	15,2	6,2
Gastos de distribución y ventas	7	0,0	0,0
Combustible y lubricantes	7.1	0,0	0,0
Energía eléctrica	7.2	0,0	0,0
Depreciación	7.3	0,0	0,0
Ropa y Calzado	7.4	0,0	0,0
Otros	7.5	0,0	0,0
Gastos de circulación interna	12	0,0	0,0
Gastos Bancarios	8	43,4	18,4
Gastos Totales o Costo de Producción (1+2)	9	1998,1	1057,0
Margen utilidad S/ base autorizada 20%	10	213,9	
PRECIO SEGÚN LO ESTABLECIDO POR EL MFP (9+10)	11	2211,953	
% Sobre el gasto en divisas (hasta un 10%)	12		105,7
COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES	13		1162,705
Confeccionado por:	Firma:		
Aprobado por:	Firma:		

Como se puede observar en la relación del costo de la importación \$ 26355.00 vs. El costo del equipo que se fabrica \$ 2211.953 por las ventas a los clientes se tiene un ahorro cuantioso de divisa para el país en alrededor de \$ 24143,047 solamente fabricando transformador de 25 KVA que es la media más utilizada por diferentes clientes, sin embargo, no deja de ser un costo considerable el valor de las planchas de acero al silicio en el mercado para fabricar estos equipos.



3.2 Conclusiones del capítulo.

Con el rediseño de los transformadores en aceite y el uso de partes y piezas, aplicando la metodología propuesta se ahorran \$26355.00 USD por concepto de importación.

Se obtiene un costo de mano de obra de \$ **204,85**. CUP y de Materiales \$ **859.012** en CUC que hacen un total de gasto de \$ **1063.862**.



CONCLUSIONES GENERALES.

Luego del rediseño y los cálculos realizados, los resultados expuestos, las medidas adoptadas y la implementación de la fabricación de los transformadores secos en la UEB Reparaciones Capitales Eléctricas de la EMNI, se llega a las siguientes conclusiones:

1. Con la fabricación los transformadores secos en la EMNI se ahorra por concepto de sustitución de importaciones \$ 24143,047.
2. Se dejarían de comprar aproximadamente 0.22 t de acero al silicio por cada transformador que se fabrique teniendo en cuenta la demanda solicitada, de 25 Kva.
3. La metodología elaborada permite rediseñar transformadores secos a partir de partes y piezas de transformadores en aceite.
4. Los resultados del prototipo del transformador fabricado de 25Kva se muestra en el protocolo de prueba y nos indica resultados satisfactorios.



RECOMENDACIONES.

Luego de concluido el trabajo se recomienda lo siguiente:

1. Realizar la construcción en serie de los transformadores secos, de diferentes potencias (1.5, 5, 10, 25, 50, 100, 160) Kva.
2. Que el montaje del equipo se haga por personal calificado para evitar averías.
3. Para el empleo y montaje de los transformadores fabricados se tengan en cuenta, las normas de seguridad que rigen internacionalmente y los resultados mostrados en un protocolo de prueba.



BIBLIOGRAFÍA.

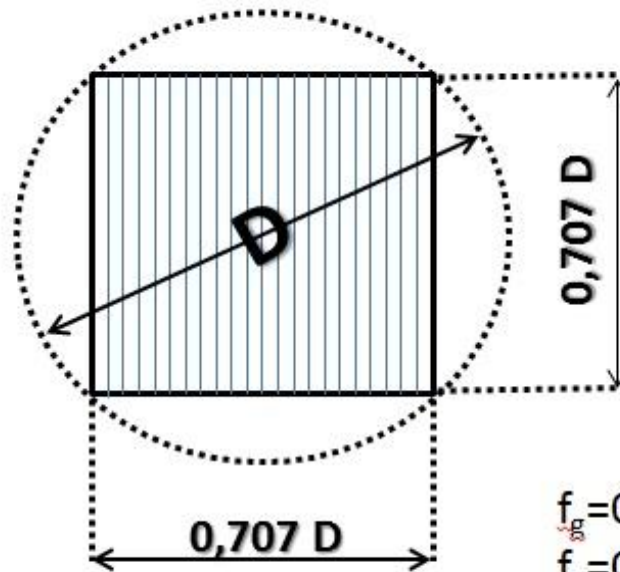
- [1]. A.I Volfok Máquina Eléctricas Tomo I editorial pueblo y educación 1974
- [2]. A. Ivanonov Maquinas Eléctricas Tomo I editorial pueblo y educación 1974
- [3]. R.V Montaje de transformadores y sus sistemas magnéticos
- [4]. E: I Judiacov Reparación de transformadores
- [5]. Alfred Holzt La Escuela del Técnico Electricista tomo VII Editorial Labor.S.A
Barcelona 1978 España.
- [6]. Edwin Kosow El ABC de las Máquinas Eléctricas.
- [7]. Ing. Elías Crespo Infante, Ing. Antonio Rodríguez Martínez, C.D.C.T Valeri
Beliaev, C.D.C.T Valeri Artischevski. " Proyección de Máquinas Eléctricas ".
Universidad de Camagüey. Facultad de Energética. Dpto. Electromecánica.
- [8]. A.V. Ivanov-Smolenski. "Máquinas Eléctricas ".Tomo I y II. Editorial Mir Moscú.
1983.
- [9]. Mc. Person George." An Introduction to Electrical Machines and Transformers.
Second Edition ". 1989.
- [10]. IEC.76. Power Trasformer.1993
- [11]. McPherson G, Laramore Robert. D. An introduction to electrical machines and
transformers,
- [12]. M.Pkostenko, L. M Piotrovski. Máquinas Eléctricas Tomo II. Editorial MIR.
URSS, 1973.
- [13]. R. Rodríguez Diploma Calculo de transformadores trifásicos ISMM Moa 1999
- [14]. Ing. I. Letuse V FORUM Calculo y Diseño Transformadores EMNI 1989
- [15]. Mc Pherson. Electrical Machines and Transformers. Second edition, 2006
- [16]. L.B.Luchenco. Transformadores Trifásicos Editorial Mir Moscú 1966.
- [17]. P.M.Tijomirof. Calculo de transformadores G3U 1953.
- [18]. A.B.Sapoznikof. Fabricación de transformadores G3U 1959.
- [19]. P.M.Isomirof. Cálculos de transformadores Horno Arco Eléctricos G3U 1959.
- [20]. B.B.Ivanof Cálculos de Transformadores G3U 1954.
- [21]. M.Kuznetsov. Fundamento Electrotenia Editorial Mir Moscú 1971
- [22]. F.E.Eudokimov. Fundamentos Técnicos de la electrotecnia Editorial Mir
Moscú1978



ANEXOS



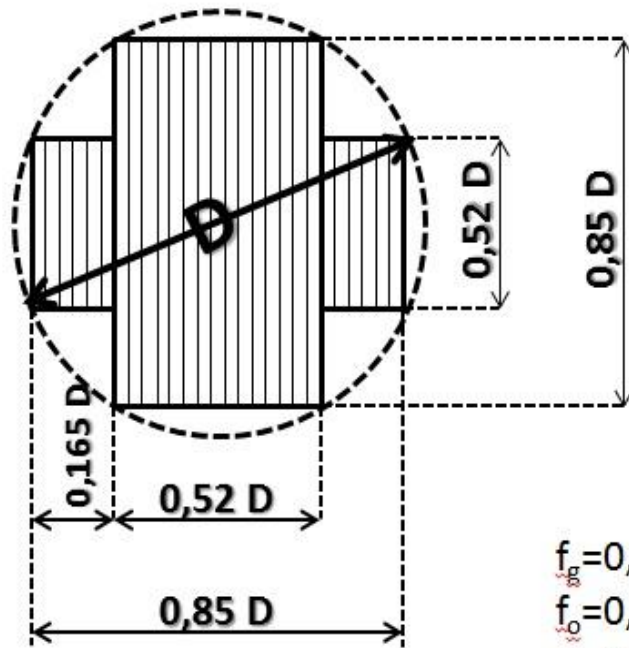
Anexo1



$$\begin{aligned} f_{\text{gr}} &= 0,637 \\ f_{\text{co}} &= 0,593 \\ h_m &= 0,707 D \\ S_n &= 0,465 D^2 \end{aligned}$$



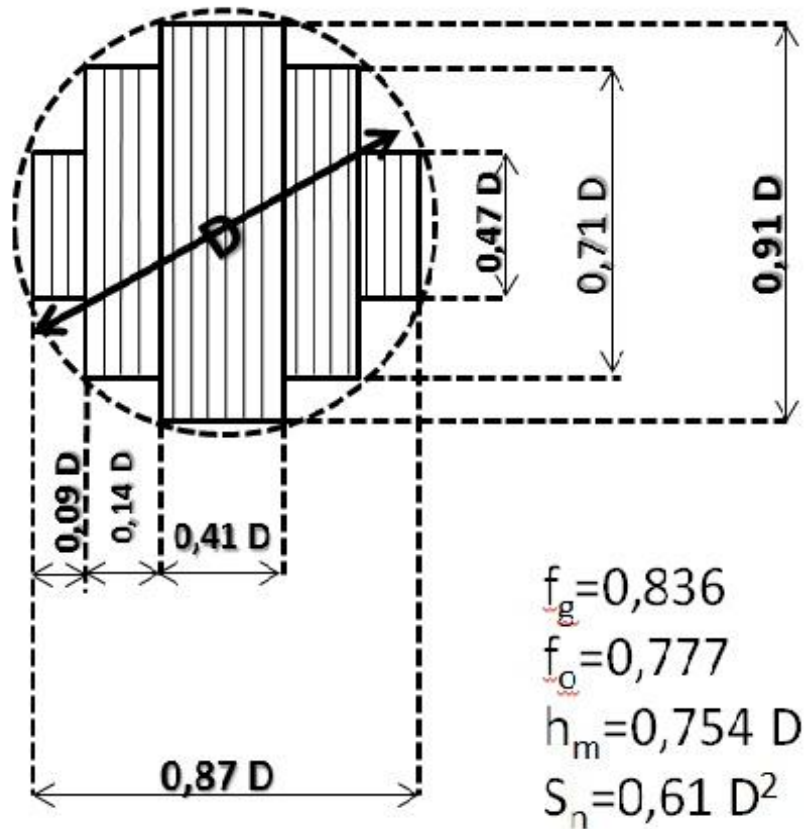
Anexo 2



$$\begin{aligned} f_{\text{m}} &= 0,78 \\ f_{\text{c}} &= 0,725 \\ h_{\text{m}} &= 0,723 D \\ S_{\text{n}} &= 0,57 D^2 \end{aligned}$$




Anexo 3





Anexo 4

 Ministerio de la Industria y Comercio Emp: "Compa. Gustavo Machin Hoed de Becke" Taller Reparaciones Capriales Eléctricas.		PROTOCOLO DE PRUEBAS	
Tel: (53) (24) 6-60.11 Ext: 300 ó 477 Fax: (53) 6 - 2241 Dir: Carretera Sagita - Moa Jm, 1/4 Moa Holguín C.P: 83300			
Datos técnicos del transformador: 3Φ Seco			
Organismo:	MINBAS	Vcc (%):	13.2 V
Potencia Nominal:	25 KVA	Frecuencia de la RED:	60 HZ
Tensión Nominal Primario:	440 V	Conexión:	Y/Y ₀
Tensión Nominal Secundario:	127/220 V	N° Serie:	0001
Corriente Nominal Primario:	30 A	Fecha de Terminación:	30/05/2012
Corriente Nominal Secundario:	65,7 A	OT- 45 1-0031(49)	ACINOX
Resultado de las pruebas efectuadas			
Medición de la resistencia de aislamiento			Maguer: 1000 V
Antes de la prueba de A.V.		Temp: 15 °C	Después de la prueba de A.V.
		Temp: 25 °C	
Fase	R/15 Seg.	R/60 Seg.	Kab
AT-T	139 MΩ	208 MΩ	1.5
BT-T	130 MΩ	195 MΩ	1.5
AT-BT	260 MΩ	390 MΩ	1.5
Medición de la Resistencia Química			Prueba con Alto Voltaje DC: x AC:
Fase	HH	HH	HH
	XX	XX	XX
A	8.47	-	-
B	8.47	-	-
C	8.47	-	-
Fase	Tensión	Tempo	Temperatura
AT-T	2100	1000	25 °C
BT-T	1550	1000	25 °C
AT-BT	3600	1000	25 °C
Prueba de marcha en vacío.		Prueba de cortocircuito.	
Tensión Aplicada: 440 V		Tensión Aplicada: 20 V	
I _A :	1.2 A	I _{es un} :	3.9 %
I _B :	1.2 A.	de In:	30 A
I _C :	1.2 A		
I _{ccA} :	30 A	Prueba a:	4.5% η
I _{ccB} :	30 A	Perdida a 75 °C:	
I _{ccC} :	30 A	Pec:	0.6KV % η : 2.4
Relaciones de transformación			BT:
	Voltajes	Relación	HHXX
			HHXX
1	-	-	-
2	-	-	-
3	440 V	2.0	2.0
4	-	-	-
5	-	-	-
BT	127/220 V	-	-
Pruebas de aceite			
1	-	4	-
2	-	5	-
3	-	Prom.	-
Sedimentación %		-	
MG KOHig Aceite		-	
Promedio:		-	
Recibe Protocolo:		Certifica:	
Nombre y Apellidos:		Nombre y Apellidos: Miguel Blasco C.	
Cargo:		Cargo: Teca. Maq. Eléctricas.	
Fecha:		Fecha: 30/05/12	
Firma:		Firma:	
Observaciones:		Entrega Protocolo:	
		Nombre y Apellidos:	
		Cargo:	
		Fecha:	
		Firma:	

