

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADOR DE
DISTRIBUCIÓN TRIFÁSICO DE 1000KVA, 10/0.38-0.22KV,
ENCAPSULADO EN RESINA EPOXICA**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR
LÁZARO EDUARDO ZAPATA SALAZAR**

**PROMOCIÓN
1997 - II**

**LIMA - PERÚ
2002**

A mis padres,
Elvia y Lázaro
A mis hermanos,
Elvia, Liliana y Benjamin
A mi amor,
Ivonne

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADOR DE
DISTRIBUCIÓN TRIFÁSICO DE 1000KVA, 10/0.38-0.22KV,
ENCAPSULADO EN RESINA EPOXICA**

SUMARIO

El presente trabajo describe a continuación, una alternativa de diseño para transformadores de distribución encapsulados en resina epóxica.

Los tres primeros capítulos presentan las generalidades, los planteamientos para el diseño y las principales descripciones, donde se describen aspectos importantes de los transformadores y de su diseño.

El cuarto y quinto capítulo brindan las ecuaciones que serán utilizadas para el diseño del transformador, así como el cálculo realizado y los valores finales obtenidos.

El sexto, séptimo y octavo capítulo exponen una descripción general en la construcción del transformador y, las pruebas y controles que se deben realizar y algunas consideraciones importantes para el transformador.

El noveno capítulo presenta una comparación entre los transformadores secos encapsulados en resina epóxica y los transformadores aislados con aceite dieléctrico.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales obtenidas.

Adicionalmente se detalla la relación de bibliografía consultada así como el apéndice donde se adjunta documentos complementarios para este trabajo.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Alcances	4
1.4 Limitaciones	5
1.5 Hipótesis básicas para el diseño	5
CAPÍTULO II	
PLANTEAMIENTOS PARA EL DISEÑO	
2.1 Planteamiento del problema	7
2.2 Solución planteada	7
2.3 Modelo circuital del transformador	8
CAPÍTULO III	
PRINCIPALES DESCRIPCIONES	
3.1 El Araldit CW 229 y sus componentes para la mezcla.	11
3.1.1 Datos de los Productos	11
3.1.2 Propiedades Físicas y Mecánicas	13

VII

3.1.3	Propiedades Eléctricas	15
3.2	Sistema de Encapsulado al Vacío	17
3.2.1	Centrifugado de la mezcla	17
3.2.2	Gelificación bajo presión - APG	18
3.3	Formas de Transferencia de Calor en un Transformador encapsulado en resina epóxica	19
3.3.1	Por Convección	19
3.3.2	Por Conducción	21
3.3.3	Por Radiación	21

CAPÍTULO IV

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ECUACIONES PARA EL DISEÑO

4.1	Criterios de optimización para el diseño	23
4.1.1	Objetivo	23
4.2	El núcleo y sus características	34
4.2.1	Dimensiones óptimas	34
4.2.2.	Cálculo del número de planchas	35
4.2.3	Especificaciones del hierro silicoso	35
4.2.4	Perdidas en el hierro	35
4.2.5	Corriente de excitación	37
4.3	Los devanados de AT - BT y sus características eléctricas	37
4.3.1	Cálculo del número de espiras de AT y BT	38
4.3.2	Calculo de sección para las espiras del conductor en AT y BT	39

VIII

4.3.3	Calculo de densidad de corriente en el transformador	40
4.3.4	Forma y posición de los arrollamientos	40
4.3.5	Características físicas de los arrollamientos	41
4.3.6	Pérdidas por efecto Joule	43
4.3.7	Pérdidas en el conductor	44
4.3.8	Calculo de rendimiento	45
4.3.9	Tensión de cortocircuito	46
4.3.10	Calentamiento durante el cortocircuito	48
4.3.11	Aislamiento entre arrollamientos y devanados	50
4.3.12	Esfuerzos Electrodinámicos	50
4.3.13	Disipación térmica	52
4.3.14	Transmisión de calor	54
4.3.15	Verificación del aislamiento	56

CAPÍTULO V

DISEÑO PROPIO Y CÁLCULO ELÉCTRICO DEL TRANSFORMADOR

5.1	Dimensiones óptimas del núcleo y arrollamientos	57
5.2	Resultados del Programa DDT	59
5.3	Consideraciones para el cálculo	61
5.4	Modelo térmico del transformador	63
5.5	Cálculo eléctrico referencial	64
5.6	Obtención del cálculo eléctrico final	66

CAPÍTULO VI**CONSTRUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR**

6.1	Consideraciones generales	71
6.2	La manufactura del núcleo	72
6.3	Herrajes, ferretería y armaduras	73
6.4	Materiales Aislantes utilizados	74
6.5	Construcción de los devanados	79
6.6	Instalación de sensores de temperatura	80
6.7	Encapsulado de los devanados	80
6.8	Recubrimiento interior con barniz de semi conducción eléctrica	83
6.9	Selección y montaje de los aisladores	87
6.10	Conexión de los devanados	88
6.11	Tomas para la conmutación	88
6.12	Distanciadores flexibles	88
6.13	Placas de datos	89
6.14	Pintado y acabado	89

CAPÍTULO VII**PRUEBAS Y CONTROLES REALIZADOS EN EL TRANSFORMADOR**

7.1	Pruebas y controles previos	94
7.1.1	Control y verificación de las dimensiones según hoja de fabricación y calculo	94

7.2	Pruebas y mediciones finales	95
7.2.1	Medición de la resistencia ohmica de los devanados	95
7.2.2	Medida de resistencia de aislamiento	97
7.2.3	Prueba de polaridad	97
7.2.4	Medida de la relación de Transformación y verificación del grupo de conexión	99
7.2.5	Prueba de vacío	104
7.2.6	Prueba de cortocircuito	104
7.2.7	Prueba de tensión inducida	107
7.2.8	Prueba de tensión aplicada	107
7.2.9	Prueba de descargas parciales	111
7.3	Pruebas complementarias	113
7.3.1	Medición del factor de disipación	113
7.3.2	Prueba de calentamiento	117
7.3.3	Medida de Nivel Sonoro	118
7.3.4	Prueba de impulso (Descargas atmosféricas)	119

CAPÍTULO VIII

CONSIDERACIONES PARA EL TRANSFORMADOR

8.1	Modalidad de pedido de compra del transformador	125
8.2	Consideraciones en la Celda usada para el transformador	126
8.3	Programa y trabajos de Mantenimiento Preventivo	128

CAPÍTULO IX

COMPARACIÓN ENTRE LOS TRANSFORMADORES SECOS EN RESINA Y LOS TRANSFORMADORES AISLADOS EN ACEITE DIELECTRICO

9.1	Comparación por costo de Fabricación	129
9.2	Comparación por costo de Mantenimiento	134
9.3	Comparación por riesgos de falla	136
9.4	Daños al medio ambiente	136
9.4.1	Ruido emitido en funcionamiento	136
9.4.2	Combustibilidad y emisión de gas tóxico.	137
9.4.3	Reciclaje	139

CONCLUSIONES

APÉNDICE

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la seguridad y la no agresión al medio ambiente son motivos a tener en cuenta para realizar implementaciones y desarrollos industriales.

La tesis que se presenta a continuación tiene por objetivo fundamental, realizar y presentar una de las posibles formas de diseño de transformadores secos encapsulados en resina epóxica.

Es importante prestar atención a este tipo de maquina eléctrica, debido a que cada año aumenta su demanda en todo el mundo por las bondades que brinda. Sin embargo, existe muy poca bibliografía de su diseño y consideraciones a tener en cuenta para su uso, lo que motivó realizar un gran esfuerzo para integrar la información encontrada, desarrollar este conocimiento y ponerlo a disposición de los interesados en esta materia.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Desde hace más de un siglo se utilizan los transformadores para transmitir energía, pero con los años la reglamentación es cada vez más exigente por la toma de conciencia de los problemas que crean para la seguridad y la protección del entorno.

Hace unos 50 años aproximadamente, una empresa suiza buscaba un material apto para efectuar prótesis dentales: este material debía ser moldeado y endurecido a la temperatura ambiente o bajo el efecto de un ligero calentamiento. Se realizaron investigaciones sistemáticas en el dominio de las resinas sintéticas termomodificables y se obtuvieron las denominadas *resinas epóxicas* cuyo campo de aplicación es, actualmente, mucho más amplio que el previsto por los investigadores que iniciaron su estudio.

En 1946, apareció en el mercado la primera resina epóxica para colada que se denominó ARALDITE A, y fue desarrollada por la firma suiza CIBA. Este material, y otros más perfeccionados descubiertos poco después, resultaron de gran interés electrotécnico, por lo que otras firmas europeas y americanas orientaron sus investigaciones hacia ese campo.

Es así que en la actualidad, estos transformadores están tomando gran acogida por los beneficios que brindan y por la rápida evolución en cuanto a tensiones y potencias. La figura 1.1 - 1 muestra una gráfica de la evolución con las potencias y tensiones límites (Dry transformers Siemens).

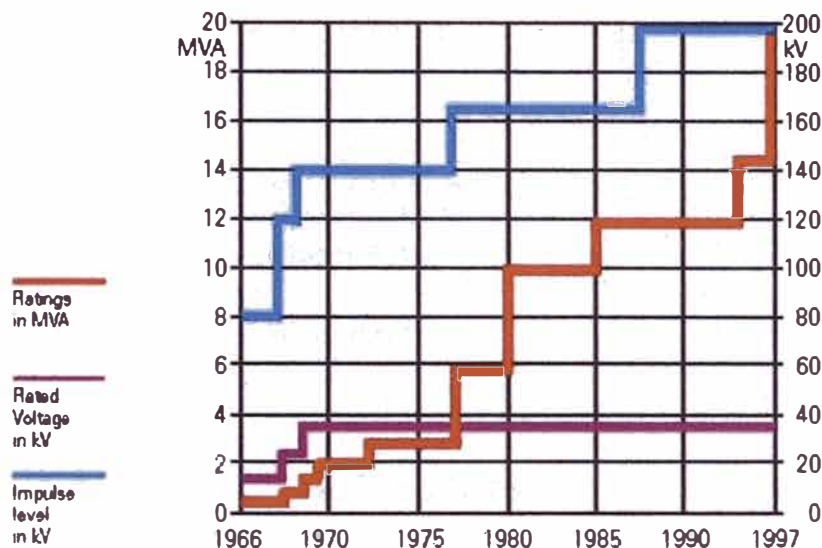


Figura 1.1 – 1 Evolucion en cuanto a tensiones y potencias

Las principales ventajas técnicas que tienen estos transformadores son las siguientes:

- a) Exento de descargas parciales internas hasta $2 \times U_n$.
- b) Proceso de encapsulado al vacío
- c) Resina exenta de aristas, quebraduras y microfisuras, debido a la utilización de flexibilizador
- d) Puede instalarse en ambientes externos por medio de la utilización de cubículos
- e) Permite la instalación de ventilación forzada

- f) Permite usarse en ejecuciones especiales (alimentación de rectificadores, reactores, convertidores para accionamiento en transporte y laminadoras, conmutación bajo carga)
- g) Versatilidad: los terminales AT y BT pueden ser superiores o inferiores, simplificando la instalación
- h) Satisface las más severas clasificaciones del ambiente, clima y combustión
- i) Resistente a las llamas y autoextinguible
- j) Ningún gas tóxico es generado en caso de incendio
- k) Casi exento de mantenimiento

1.2 Objetivos

Al diseñarse estos transformadores, se hicieron con los siguientes objetivos:

- a) Minimizar la contaminación ambiental
- b) Minimizar los costos de mantenimiento
- c) Eliminar el riesgo de inflamabilidad ante falla
- d) Que pueda trabajar en condiciones ambientales adversas

El objetivo de esta tesis, es deducir y presentar la forma de diseño para este tipo de transformadores.

1.3 Alcances

Debido a que existe muy poca información en cuanto al diseño y cálculo de este tipo de transformadores, se pretende realizar un diseño tomando ciertas hipótesis que se asumen y confirmarlas ó negarlas al final del cálculo. Asimismo, se realizará una comparación entre el uso de

arrollamientos de aluminio y arrollamientos de cobre con la finalidad de presentar un estudio comparativo.

1.4 Limitaciones

Estos transformadores en la actualidad presentan las siguientes limitaciones:

- a) Son exclusivamente de uso interior
- b) La máxima potencia de fabricación para estos transformadores en la actualidad es de 20MVA para arrollamientos en AT-BT y 30MVA con arrollamientos en AT-AT. Para nuestro diseño, estamos asumiendo el primer caso.
- c) Los niveles de tensión nominales no deben superar los 36KV en los arrollamientos tanto primarios como secundarios.

Para el caso de la tesis, se presentan limitaciones en cálculos para potencias superiores a la elegida para el diseño del transformador, pues es muy importante tener experiencia de diseño para casos mayores.

1.5 Hipótesis básicas para el diseño

Las hipótesis básicas que se toman para realizar el diseño de estos transformadores secos son los siguientes:

- a) Densidad de corriente promedio para el diseño será de 2.0 a $2.5A/mm^2$ (Valores considerados para el diseño de los transformadores secos impregnados y usados industrialmente)
- b) Mínimo costo de fabricación y que éste no supere el 50% al costo de un transformador aislado en aceite dieléctrico.
- c) Mínimos costo de perdidas.

Al final del diseño se confirmarán ó negarán estas hipótesis asumidas inicialmente.

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTOS PARA EL DISEÑO

2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la mayoría de transformadores utilizados presentan como aislante al aceite dieléctrico ó silicona, sin embargo el utilizar estos aislantes crean problemas entre los cuales damos a continuación:

- a) Contaminan el medio ambiente
- b) Presentan riesgo de inflamación
- c) Cuando la potencia considerable, no es fácil de transportar
- d) Los costos de mantenimiento son significativos y van de acuerdo con la potencia del transformador.

2.2 Solución planteada

Ante esta situación se decide buscar alternativas para reemplazar al medio dieléctrico liquido, encontrándose como alternativa importante a la resina epóxica, que es un producto químico orgánico que elimina todos los problemas anteriormente planteados y que además de ello nos brinda otros beneficios como:

- a) Gran resistencia mecánica
- b) Permite que el transformador sea un equipo reciclable al final de su vida útil.

- c) En un posible incendio exterior al transformador, no se produce gases ó sólidos tóxicos
- d) Mínimas descargas parciales en los arrollamientos
- e) Minimiza los gastos de instalación del transformador

2.3 Modelo circuital del transformador

Debe mencionarse que el modelo circuital y principio de funcionamiento de este tipo de transformadores es el mismo al de cualquier transformador trifásico con núcleo magnético de tres columnas, considerando que es un transformador ideal, que no tiene perdidas ni flujo de dispersión y un núcleo ferromagnético de permeabilidad infinita, no requiriendo de corriente de magnetización, y entonces nos permite representar para las imperfecciones del transformador actual por medio de un circuito adicional o impedancias insertadas entre la fuente y el devanado primario y entre el secundario y la carga. Así, en la figura 2.3 - 1, P y S representan los devanados primario y secundario de un transformador ideal. R_1 y R_2 son resistencias iguales para las resistencias del devanado primario y secundario del transformador real. Similarmente, las reactancias inductivas X_1 y X_2 representan las reactancias de los devanados debido al flujo de dispersión en el transformador real. La reactancia inductiva X es tal que una corriente igual a la corriente de magnetización I_m del transformador real.

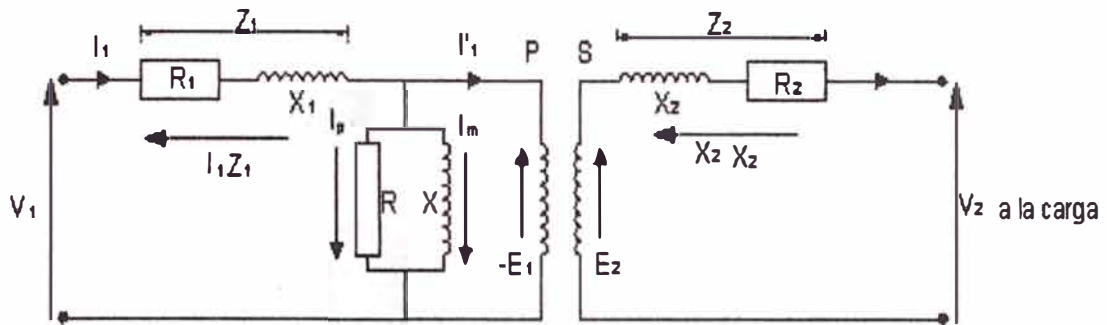


Figura 2.3 - 1 Modelo circuital del Transformador

Las pérdidas del núcleo generadas por corrientes de histéresis y por Foucault (corrientes de Eddy) son representados por un resistor R de valor tal que toma una corriente I_p igual a la componente de pérdidas del núcleo de la corriente primaria, por lo tanto, $I_p^2 R$ tiene un valor igual a las pérdidas del núcleo del transformador real. La resultante de las corrientes I_m e I_p es I_0 , sabiendo que la corriente I_0 es la que toma el transformador trabajando en vacío. El diagrama vectorial del circuito equivalente en conexión estrella se presenta en el diagrama vectorial 2.3 - 1. Este diagrama se trata de un banco trifásico como de transformadores con núcleo de 03 columnas, en el caso de cargas equilibradas. Los diagramas vectoriales suelen trazarse a base de tensiones de fase a neutro, sea el neutro real o ficticio, es decir, se dibujan como si todos los transformadores tuvieran la conexión estrella - estrella.

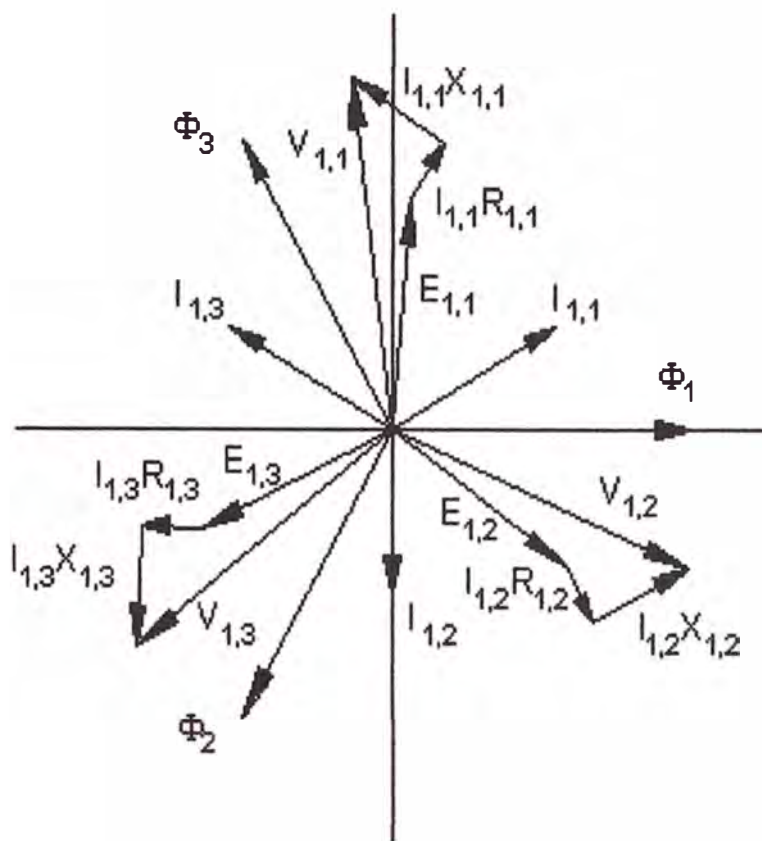


Diagrama 2.3 - 1 Diagrama vectorial

Para no complicar, no se ha trazado los triángulos de tensiones compuestas (ABC y abc), que fácilmente se pueden ubicar partiendo desde el eje X y separadas 120° .

Debemos recordar que por cuanto las variaciones de flujo en las tres fases están desplazadas 120° , pueden sumarse dos flujos cualesquiera, como se muestran en el diagrama vectorial 2.3 - 2, para obtener un flujo de la misma magnitud.

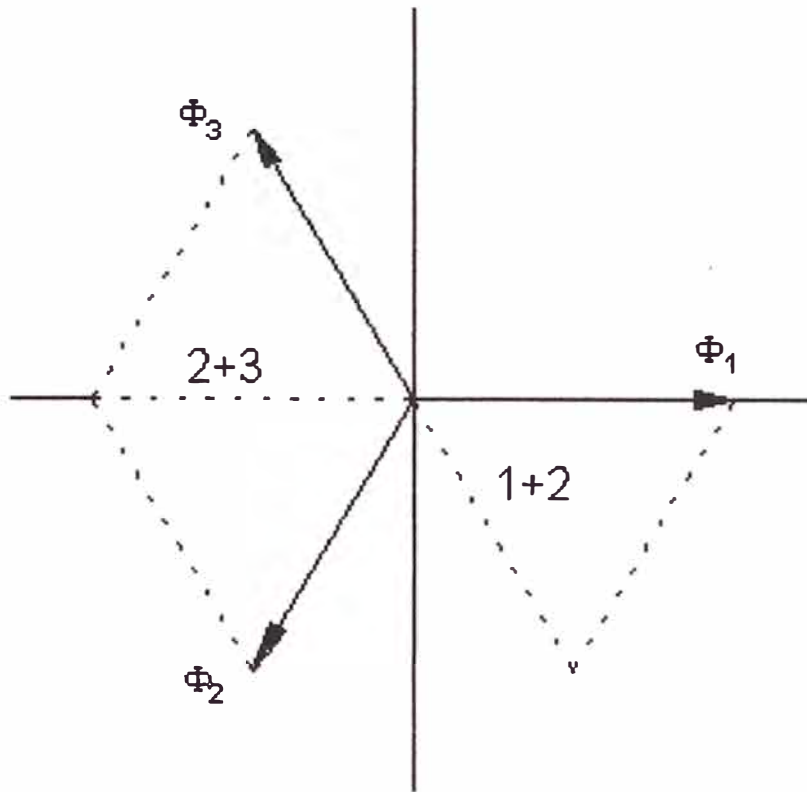


Diagrama 2.3 - 2 Diagrama vectorial de suma de flujos

Esta posibilidad ha sugerido varias maneras de construir bobinas, de modo que una pierna o rama común puedan llevar dos flujos, permitiendo economía en la construcción del núcleo como consecuencia de reducir pérdidas.

CAPÍTULO III PRINCIPALES DESCRIPCIONES

3.1 El Araldit CW 229 y sus componentes para la mezcla.

Dentro de los materiales sólidos empleados en la industria eléctrica, los plásticos juegan un papel muy importante. Es que son compuestos orgánicos sintéticos conformados por carbono e hidrogeno que están constituidos por macromoléculas las cuales se denominan polímeros, de allí que cuando se quiere hablar de un plástico se le llama de esa forma. La resina epóxica es un polímero termoestable porque al internar quemarse sus moléculas sólo pueden carbonizarse.

Para conocer más de las resinas epóxicas, a continuación se detallarán las principales propiedades de todos los componentes utilizados en la mezcla para realizar el encapsulado de los arrollamientos tanto de AT como de BT en este diseño.

3.1.1 Datos de los Productos

Tanto el ARALDITE CW229 como el ENDURECEDOR HW229 presentan a considerar datos los cuales se dan a conocer en las tablas 3.1 – 1 y 3.1 – 2.

Descripción	Unidad	Valor
Viscosidad a 25°C	mpas	150000 - 280000
Viscosidad a 40°C	mpas	28000
Viscosidad a 50°C	mpas	11000
Viscosidad a 60°C	mpas	5000 - 6000
Volumen de relleno	% por peso	57 - 58
Punto Flash (DIN 51758)	°C	aprox. 1.35
Gravedad Especifica a 25°C	g/cm ³	aprox. 1.7
Forma del suministro	Líquido, opaco, rojizo castaño	
Tiempo de almacenamiento	6 meses	
Descomposición peligrosa	Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono cuando hace contacto con el fuego	
Disposición	Procedimientos regulares aprobados por las autoridades nacionales y/o locales	

Tabla 3.1-1 ARALDITE CW 229 producto 100% difuncional, pigmentado, relleno con productos inorgánicos.

Descripción	Unidad	Valor
Viscosidad a 25°C	mpas	22500 - 37500
Volumen de relleno	% por peso	64 - 65
Punto Flash (DIN 51758)	°C	aprox. 1.4
Gravedad Especifica a 25°C	g/cm ³	aprox. 1.9
Forma del suministro	Líquido, opaco, beige claro	
Tiempo de almacenamiento	6 meses	
Descomposición peligrosa	Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y Oxido de Nitrógeno cuando hace contacto con el fuego	
Disposición	Procedimientos regulares aprobados por las autoridades nacionales y/o locales	

Tabla 3.1-2 Endurecedor HW 229 formulado con anhídridos líquidos

3.1.2 Propiedades Físicas y Mecánicas

Es importante conocer las principales propiedades físicas, las cuales son cumplidas a cabalidad por las resinas anteriormente mencionadas. Cabe mencionar que no todas las resinas cumplen estas características motivo por el cual deben tenerse presentes y que son:

- a) Peso específico
- b) Porosidad
- c) Higroscopicidad
- d) Calor específico
- e) Conductividad térmica
- f) Inflamabilidad
- g) Temperatura de seguridad
- h) Resistencia al ozono
- i) Resistencia a los ácidos y a los aceites
- j) Resistencia a la tracción
- k) Resistencia a la compresión
- l) Resistencia a la flexión
- m) Resistencia a la cortadura
- n) Resistencia al choque
- o) Dureza y límite elástico
- p) Maquinalabilidad

Asimismo, se muestra la tabla 3.1-3 con mediciones que se realizaron con especificaciones estandar y con los siguientes tiempos de curado: 20 minutos a 150°C + 10 horas a 140°C

Descripción	Referencia	Unidad	Valor
Densidad a 25°C	-	g/cm ³	1.83
Fuerza tensora	ISO/R 527 (1966)	N/mm ²	80 - 95
Elongación y rotura	ISO/R 527 (1966)	%	0.8 - 1.2
Modulo de elasticidad	ISO/R 527 (1966)	N/mm ²	9000 - 13000
Fuerza flexora	ISO 178 (1975)	N/mm ²	110 135
Modulo de elasticidad	ISO 178 (1975)	N/mm ²	8000 - 11000
Fuerza de impacto	BS 2782 Método 306 A (1970)	J	0.3 - 0.5
Distorsión a temperaturas calientes	ISO 75 (1974)	°C	110 - 115
Fuerza de compresión	BS 2782 Método 306 A (1970)	N/mm ²	170 - 195
Dureza D a 25°C	BS 2782 Método 365 B (1981)	-	D 91/1 D/90/15
Coefficiente Lineal de Expansión Térmica	ASTM D 696-70	K ⁻¹ . 10 ⁻⁶	22 - 24
Conductividad Térmica	BS 874 Sección 4.2.3 (1973)	W/m°C	0.56
Resistencia térmica al shock Inserción metálica de 3mm a 6mm	BS 5664 Parte 2, Sección 31 (1979)	-	a -70°C con 3mm de inserción a -30°C con 6mm de inserción

Tabla 3.1- 3 Propiedades físicas y mecánicas de la mezcla

Descripción	Referencia	Unidad	Valor
Resistividad Volumétrica a 25°C	IEC 93 (1980)	Ω - cm	> 10 ¹⁵
Fuerza de ruptura (Tiempo corto a 50Hz, 2mm de placa)	IEC 243	KV	>36
Constante dieléctrica	-	-	3.5

Tabla 3.1- 4 Propiedades eléctricas de la mezcla

3.1.3 Propiedades Eléctricas

Para elegir un material aislante sólido deben tenerse en cuenta las siguientes propiedades eléctricas:

- a) Resistencia de aislamiento
- b) Rigidez dieléctrica
- c) Constante dieléctrica
- d) Factor de pérdidas dieléctricas
- e) Factor de potencia

Los valores que usaremos para efectuar los cálculos son de los puntos b) y c).

La tabla 3.1-4 muestra los valores de la mezcla obtenido por la mezcla de las resinas y sus componentes.

Las mediciones se realizaron con especificaciones estándar y con los siguientes tiempos de curado: 20 minutos a 150°C + 10 horas a 140°C

Asimismo, en el apéndice N° 01 de éste documento, se podrá apreciar una gráfica donde se observa el valor en pérdidas por medio de la $\tan \delta$ en función de la temperatura, de acuerdo a la norma IEC 250.

La mezcla finalmente estará conformada por Araldite CW 229, Endurecedor HW 229, carga de harina de cuarzo y un colorante de tipo orgánico. Es importante recordar que el Araldite CW 229 contiene en su composición resina flexibilizadora lo que evitará posteriormente posibles rajaduras de la mezcla terminada en el momento de la dilatación de los arrollamientos al paso de la corriente eléctrica.

3.2 Sistema de Encapsulado al Vacío

El sistema que se utilizará en este caso es el centrifugado y llenado al vacío para evitar por todos los medio, la inclusión de burbujas de aire dentro de la mezcla, lo que podría generar en el encapsulado potenciales en algunos puntos y el deterioro del aislamiento que posibilitaría el quemado del arrollamiento.

Es importante subrayar que también se suele realizar el centrifugado al vacío y el llenado de tipo colado para aplicaciones de resina, pero en trabajos de mayor magnitud y riesgo como es nuestro caso no es recomendable. Debemos tener en claro que el diseño presentado es para un transformador de distribución; sin embargo, la tendencia de esta tecnología es hacia los transformadores de potencia.

3.2.1 Centrifugado de la mezcla

Para realizar el centrifugado de la mezcla es necesario definir las cantidades por peso de los componentes los cuales se observan en la tabla 3.2-1:

Productos	Partes por volumen
Araldite CW 229	100
Endurecedor HW 229	90
Harina de cuarzo	350
Colorante Orgánico	Máx. 5

Tabla 3.2-1 Proporción de la mezcla

Con respecto al colorante, se agregará la cantidad necesaria de acuerdo a lo que se indique. La cantidad de colorante no influye en las propiedades mecánicas de la mezcla.

Esta mezcla debe efectuarse de acuerdo a las indicaciones que prescribe el fabricante de los productos.

Posteriormente esta mezcla debe ser centrifugada en vacío por un tiempo de 15 minutos, bajo una presión de 2mbar aproximadamente para producir una mezcla homogénea y sin burbujas de aire.

3.2.2 Gelificación bajo presión - APG

El proceso de gelificación se efectúa de la siguiente manera:

Una vez que la mezcla se encuentra centrifugada, y sin burbujas, es necesario realizar automáticamente el llenado de los moldes con los arrollamientos en su interior. Para ello, bajo una presión de 2mbar y a una temperatura que se indica en la tabla 3.2-1 se realiza el llenado.

No se debe de olvidar que antes de realizar el llenado se debe de impregnar internamente los moldes con un desmoldante para que el retiro de la mezcla endurecida no presente problemas durante su extracción, de acuerdo a las indicaciones de tiempo, presión y temperatura que prescribe el fabricante del Araldite:

Variable	Valor
Temperatura de moldeo	140 - 180°C
Temperatura de la mezcla	25 - 65°C
Tiempo de ocupación del molde	10 - 30min
Tiempo de post cura a 140°C	6 - 10H

Tabla 3.2-2 Valores de temperatura y tiempo para la mezcla

Luego del llenado, la viscosidad de la mezcla dependerá de las temperaturas que se dan a continuación en la tabla 3.2-3:

Temperatura de la mezcla	Viscosidad inicial
25°C	60000 – 80000mPas
40°C	20000 – 30000mPas
60°C	3500 – 5000mPas

Tabla 3.2–3 Relación temperatura de la mezcla vs. Viscosidad

En el apéndice N° 01, se presenta una gráfica que muestra una relación directa entre Viscosidad y tiempo que se obtiene durante la mezcla, como información complementaria.

En el diagrama 3.2–1 se muestra un sistema básico de centrifugado y llenado para ser conectado a los moldes de encapsulado.

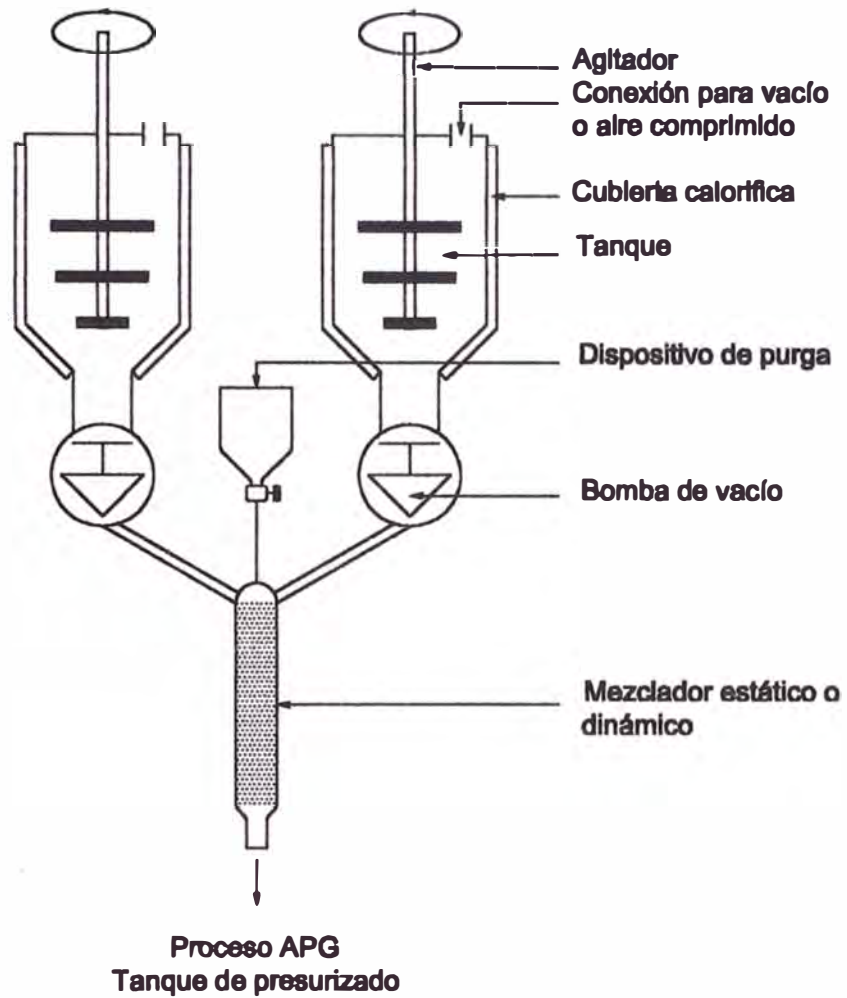
3.3 Formas de Transferencia de Calor en un Transformador encapsulado en resina epóxica

El calor producido por las pérdidas en los transformadores afecta la vida de los aislamientos, por esta razón es importante que este calor producido se disipe de manera que la temperatura se mantenga dentro de los límites tolerables por los distintos tipos de aislamiento.

En el caso de los Transformadores encapsulados en resina, estos pueden transferir calor al medio ambiente de las siguientes formas:

3.3.1 Por Convección

Es el transporte de calor en un fluido a través del movimiento del propio fluido, cuando existe una diferencia de temperatura en el interior de dicho fluido. Si se calienta el fluido, su densidad disminuye. Si el fluido se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo



SISTEMA BÁSICO DE CENTRIFUGADO Y LLENADO
Diagrama 3.2 - 1

CAPITULO IV FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ECUACIONES PARA EL DISEÑO

4.1 Criterios de optimización para el diseño

La optimización de un transformador de distribución debe de basarse sobre el aparato si responde a los siguientes conceptos: costo mínimo de adquisición (precio de costo para el cliente y de venta para el fabricante) y el costo mínimo de explotación incluyendo solamente el valor de las pérdidas de energía. En función a estos costos es posible encontrar una optima solución al diseño solicitado y para ello, en este caso usaremos como conductor eléctrico aluminio, y durante la obtención del diámetro del núcleo adoptaremos el principio de mínimo costo de fabricación. Para ello, utilizaremos el programa computacional o software de cálculo DDT, utilizado en el curso de "Diseños de Máquinas Eléctricas I-EE235"; curso dictado por el Ing. Manuel Carranza Arevalo en la Universidad Nacional de Ingeniería.

4.1.1 Objetivo

El cálculo de todo transformador para determinada potencia y tensión aun cuando se fije las condiciones de calentamiento es susceptible de infinitas soluciones. Sin embargo en la medida que otras características técnicas adicionales llámese pérdidas tensión de corto circuito; o económicas va limitando el grado de libertad del constructor. y nos va

de movimiento, debido exclusivamente a la no-uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

3.3.2 Por Conducción

Es un proceso lento por el cual se transmite el calor a través de una sustancia sólida por actividad molecular. El factor de proporcionalidad se denomina conductividad térmica del material. Los materiales como el cobre y el aluminio tienen conductividad térmica elevada y conduce bien el calor, mientras que materiales aislantes como la resina tiene conductividad térmica muy baja.

3.3.3 Por Radiación (en vacío)

Es la emisión o absorción de ondas electromagnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz y representa en temperaturas elevadas un mecanismo de pérdidas de calor. Para los transformadores secos se da junto con la transferencia por convección.

A fin de evitar el deterioro de los materiales aislantes, los límites de calentamiento para los transformadores en general se dan a continuación en la tabla 3.3–1.

1	2	3
Parte	Clase de temperatura de aislamiento *	Máxima elevación de temperatura °C
Devanados (elevación de temperatura medido por el método de resistencia.	105 (A)	60
	120 (E)	75
	130 (B)	80
	155 (F)	100
	185 (H)	125
	220 (C)	150
Núcleo, partes metálicas y materiales contiguos.	—	La temperatura no debe, en ningún caso, alcanzar un valor que dañará el núcleo, otras partes o los materiales contiguos.

Tabla 3.3 – 1 LIMITES DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA PARA TRANSFORMADORES SECOS DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60726

CAPITULO IV FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ECUACIONES PARA EL DISEÑO

4.1 Criterios de optimización para el diseño

La optimización de un transformador de distribución debe de basarse sobre el aparato si responde a los siguientes conceptos: costo mínimo de adquisición (precio de costo para el cliente y de venta para el fabricante) y el costo mínimo de explotación incluyendo solamente el valor de las perdidas de energía. En función a estos costos es posible encontrar una optima solución al diseño solicitado y para ello, en este caso usaremos como conductor eléctrico aluminio, y durante la obtención del diámetro del núcleo adoptaremos el principio de mínimo costo de fabricación. Para ello, utilizaremos el programa computacional o software de cálculo DDT, utilizado en el curso de "Diseños de Máquinas Eléctricas I-EE235"; curso dictado por el Ing. Manuel Carranza Arevalo en la Universidad Nacional de Ingeniería.

4.1.1 Objetivo

El cálculo de todo transformador para determinada potencia y tensión aun cuando se fije las condiciones de calentamiento es susceptible de infinitas soluciones. Sin embargo en la medida que otras características técnicas adicionales llámese perdidas tensión de corto circuito; o económicas va limitando el grado de libertad del constructor. y nos va

llevando hacia un número finito de soluciones una solución única o provocar una incompatibilidad matemática.

El objetivo de este trabajo es presentar una solución constructiva utilizando un programa computacional y a partir de allí, complementar los cálculos una hoja de cálculo electrónica con los obtenidos de dicho programa.

4.1.2 Ecuaciones fundamentales del programa computacional DDT

4.1.2.1 Sección de Fierro

$$SF = \left(\frac{PI}{4} \right) * D^2 * FF \quad (4.1)$$

Donde :

SF : Sección de Fierro sin troquelado [m²]

PI : Constante $\pi = 3.14159\dots$

D : Diámetro del Núcleo [m]

FF : Factor de plenitud del Fierro

4.1.2.2 Sección de Conductor por Arrollamiento

$$SC = \left(\frac{1}{4} \right) * A * H * FC \quad (4.2)$$

Donde :

SC : Sección de conductor del Arrollamiento [m²]

A : Ancho de Ventana [m]

H : Altura de la ventana [m]

FC : Factor de plenitud del conductor

4.1.2.3 Tensión de Fase

$$U = R2 * PI * F * N * B * \left(\frac{PI}{4} \right) * D^2 * FF \quad (4.3)$$

Donde :

U	:	Tensión de Fase [V]
R2	:	Constante $\sqrt{2} = 1.41421\dots$
PI	:	Constante $\pi = 3.14159\dots$
F	:	Frecuencia [Hz]
N	:	Numero de Espiras.
B	:	Densidad de Flujo [T]
D	:	Diametro del Núcleo [m]
FF	:	Factor de plenitud del Fierro

4.1.2.4 Intensidad de Fase

$$I = \frac{J * A * H * FC}{(4 * N)} \quad (4.4)$$

Donde :

I	:	Intensidad de Fase [A]
J	:	Densidad de Corriente [A/m^2]
A	:	Ancho de Ventana [m]
H	:	Altura de la ventana [m]
FC	:	Factor de plenitud del conductor
N	:	Numero de espiras

4.1.2.5 Potencia

$$P = \left(\frac{3 * R2 * PI}{4} \right) * F * J * B * \left(\frac{PI}{4} \right) * D^2 * FF * A * H * FC \quad (4.5)$$

Donde :

P	:	Potencia [VA]
R2	:	Constante $\sqrt{2} = 1.41421\dots$
PI	:	Constante $\pi = 3.14159\dots$
F	:	Frecuencia [Hz]
J	:	Densidad de corriente [A/m^2]
B	:	Densidad de flujo [T]
D	:	Diametro del núcleo [m]
FF	:	Factor de plenitud del fierro
A	:	Ancho de ventana [m]
H	:	Altura de la ventana [m]
FC	:	Factor de plenitud del Conductor

4.1.2.6 Solicitud Especifica

$$E = \left(\frac{3 * R2 * PI}{4} \right) * F * J * B \quad (4.6)$$

Donde :

E	:	Solicitud Especifica [VA/m^4]
R2	:	Constante $\sqrt{2} = 1.41421\dots$
PI	:	Constante $\pi = 3.14159\dots$
F	:	Frecuencia [Hz]

- J : Densidad de corriente [A/m²]
 B : Densidad de flujo [T]

4.1.2.7 Volumen de fierro

$$VF = \left(\frac{PI}{4} \right) * D^2 * FF * (3 * H + 4 * A + 6 * CN * D) \quad (4.7)$$

Donde :

- VF : Volumen de fierro [m³]
 PI : Constante $\pi = 3.14159...$
 D : Diametro del núcleo [m]
 FF : Factor de plenitud del fierro
 H : Altura de la ventana [m]
 A : Ancho de ventana [m]
 CN : Coeficiente del núcleo

4.1.2.8 Volumen de conductor

$$VC = 3 * \left(\frac{H.A}{2} \right) * FC * PI * \left(D + \frac{A}{2} \right) \quad (4.8)$$

Donde :

- VC : Volumen de conductor [m³]
 H : Altura de la ventana [m]
 A : Ancho de ventana [m]
 FC : Factor de plenitud del conductor
 PI : Constante $\pi = 3.14159...$
 D : Diametro del núcleo [m]

4.1.2.9 Costo de la parte activa

$$KM = CF * GEF * VF + CC * GEC * VC \quad (4.9)$$

Donde :

KM	:	Costo de material [\$]
CF	:	Precio del fierro [\$]
GEF	:	Peso especifico del fierro [Kg/m ³]
VF	:	Volumen del fierro [m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]
GEC	:	Peso especifico del conductor [Kg/m ³]
VC	:	Volumen de conductor [m ³]

4.1.2.10 Costo de las perdidas

$$KQ = WF * GEF * VF * QEF + WC * GEC * VC * QEC \quad (4.10)$$

Donde :

KQ	:	Costo de perdidas [\$]
WF	:	Valorización de perdidas en el fierro [\$/W]
GEF	:	Peso especifico del fierro [Kg/m ³]
VF	:	Volumen del fierro [m ³]
QEF	:	Perdidas especificas en el fierro [W/Kg]
WC	:	Valorización de perdidas en el conductor [\$/W]
GEC	:	Peso especifico del conductor [Kg/m ³]
VC	:	Volumen de conductor [m ³]
QEC	:	Perdidas especificas en el conductor [W/Kg]

4.1.2.11 Costo total

$$KT = (CF + WF * QEF) * GEF * VF + (CC + WC * QEC) * GEC * VC \quad (4.11)$$

Donde :

KT	:	Costo total [\$]
CF	:	Precio del fierro [\$]
WF	:	Valorización de perdidas en el fierro [\$/W]
QEF	:	Perdidas especificas en el fierro [W/Kg]
GEF	:	Peso especifico del fierro [Kg/m ³]
VF	:	Volumen del fierro [m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]
GEF	:	Peso especifico del fierro [Kg/m ³]
WC	:	Valorización de perdidas en el conductor [\$/W]
QEC	:	Perdidas especificas en el conductor [W/Kg]
GEC	:	Peso Especifico del Conductor [Kg/m ³]
VC	:	Volumen de conductor [m ³]

4.1.2.12 Cambio de variables

$$D = X * \left[\frac{P * GEC * CC}{E * GEF * CF * FF^2} \right]^{1/4} \quad (4.12)$$

Donde :

D	:	Diametro del núcleo [m]
X	:	Variable auxiliar (diametro)
P	:	Potencia [VA]
GEC	:	Peso especifico del conductor [Kg/m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]

E	:	Solicitud específica [VA/m ⁴]
GEF	:	Peso específico del hierro [Kg/m ³]
CF	:	Precio del hierro [\$]
FF	:	Factor de plenitud del hierro

4.1.2.13 Ancho de ventana

$$A = Y * \left[\frac{P * GEF * CF}{E * GEC * CC * FC^2} \right]^{1/4} \quad (4.13)$$

Donde :

A	:	Ancho de ventana [m]
Y	:	Variable auxiliar (ancho de ventana)
P	:	Potencia [VA]
GEF	:	Peso específico del hierro [Kg/m ³]
CF	:	Precio del hierro [\$]
E	:	Solicitud específica [VA/m ⁴]
GEC	:	Peso específico del Conductor [Kg/m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]
FC	:	Factor de plenitud del conductor

4.1.2.14 Parámetro de relación de costos

$$T = \frac{[GEC * CC * FC]^{-1/2}}{[GEF * CF * FF]} \quad (4.14)$$

Donde :

T	:	Relación de costos
GEC	:	Peso específico del Conductor [Kg/m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]

FC	:	Factor de plenitud del conductor
GEF	:	Peso específico del fierro [Kg/m ³]
CF	:	Precio del fierro [\$]
FF	:	Factor de plenitud del fierro

4.1.2.15 Parámetro de costo

$$KP = \left[\frac{P^3 * GEC * CC * GEF^3 * CF^3}{E^3 * FC^2} \right]^{1/4} \quad (4.15)$$

Donde :

KP	:	Parametro de costo
P	:	Potencia [VA]
GEC	:	Peso específico del conductor [Kg/m ³]
CC	:	Precio del conductor [\$]
GEF	:	Peso específico del fierro [Kg/m ³]
CF	:	Precio del fierro [\$]
E	:	Solicitud específica [VA/m ⁴]
FC	:	Factor de plenitud del conductor

4.1.2.16 Costo de material

$$KM = KP * \left[\frac{3}{Y} + PI * X^2 * Y + \frac{3 * PI}{2} * CN * T * X^3 + \frac{6 * T}{X} + \frac{3 * Y}{X^2} \right] \quad (4.16)$$

Donde :

KM	:	Costo de material [\$]
KP	:	Parametro de costo.
PI	:	Constante $\pi = 3.14159...$
X	:	Variable auxiliar (diametro)

- Y : Variable auxiliar (ancho de ventana)
 CN : Coeficiente del núcleo
 T : Parametro de relación de costos.

4.1.2.17 Minimización del costo

Para encontrar el costo mínimo, la función objetivo es :

$$Z = \frac{3}{Y} + PI * X^2 * Y + \frac{3 * PI}{2} * CN * T * X^3 + \frac{6 * T}{X} + \frac{3 * Y}{X^2} \quad (4.17)$$

Donde :

- Z : Variable auxiliar de costo
 PI : Constante $\pi = 3.14159...$
 X : Variable auxiliar (diametro)
 Y : Variable auxiliar (ancho de ventana)
 CN : Coeficiente del núcleo
 T : Parametro de relación de costos.

4.1.2.18 Descripción del cálculo numérico

La función objetivos es derivada con respecto a X e igualada a cero y obtenemos la siguiente expresión:

$$T = \frac{X}{Y} * \left[\frac{12 - 4 * PI * X^4}{9 * PI * CN * X^4 - 12} \right] \quad (4.18)$$

Donde :

- T : Parametro de relación de costos.
 X : Variable auxiliar (diametro)
 Y : Variable auxiliar (ancho de ventana)
 PI : Constante $\pi = 3.14159...$

CN : Coeficiente del núcleo

De la misma forma, la función objetivos es derivada con respecto a Y e igualada a cero y obtenemos la siguiente expresión:

$$RXY = \frac{X}{Y} = \left[1 + \left(\frac{PI}{3} \right) * X^4 \right]^{1/2} \quad (4.19)$$

Donde :

RXY : Variable auxiliar = X/Y
 X : Variable auxiliar (diametro)
 Y : Variable auxiliar (ancho de ventana)
 PI : Constante $\pi = 3.14159\dots$

De las dos expresiones anteriores obtenemos lo siguiente:

$$X^4 = \left[\frac{3 * (1 + RXY * T)}{PI * (1 + 2.25 * CN * RXY * T)} \right] \quad (4.20)$$

Donde :

X : Variable auxiliar (diametro)
 RXY : Variable auxiliar = X/Y
 T : Parametro de relación de costos.
 PI : Constante $\pi = 3.14159\dots$
 CN : Coeficiente del núcleo

A fin de determinar X e Y, partiendo de un valor dado para T, un procedimiento aplicable consiste en:

- Asumir un valor inicial para $RXY = 1.4142$
- Calcular X^4 con el valor actual de RXY en la ecuación (4.20)
- Calcular RXY con el valor actual de X^4 en la ecuación (4.19)

- d) Calcular la diferencia entre los dos últimos valores de RXY
 e) Volver a b), hasta que la diferencia de RXY sea aceptable.

4.2 El núcleo y sus características

4.2.1 Dimensiones óptimas

La sección del núcleo ensamblado será de forma escalonada y el número de escalones de cada columna será directamente proporcional del valor del diámetro circunscrito (D). Para elegir el número de escalones. tomamos como referencia la tabla 4.2 - 1:

Diámetro Circunscrito (D) en mm	Número de escalones
100	4
100 – 500	5 - 6
500 – 1000	7 - 10

Tabla 4.2 – 1 Referencia del número de escalones

Luego de ello, se realiza el troquelado del hierro silicoso, previo incremento del diámetro del orificio en el ancho de las dimensiones obtenidas.

Las secciones normales del núcleo para 05 escalones con sus respectivos factores se encuentran mostrados en la tabla 4.2 – 2:

Anchos	N	Espesor	Ff	Fn	Fe
5	1	0.9495	0.9078	1.0067	0.655
	2	0.8458			
	3	0.7071			
	4	0.5336			
	5	0.3138			

Tabla 4.2 – 2 Factores de cálculo para 5 escalones

4.2.2. Cálculo del número de planchas

El número de planchas se calcula tomando como referencia la figura 4.2 – 1, así como el cociente entre la superficie de una columna del núcleo y el espesor de cada plancha de FeSi.

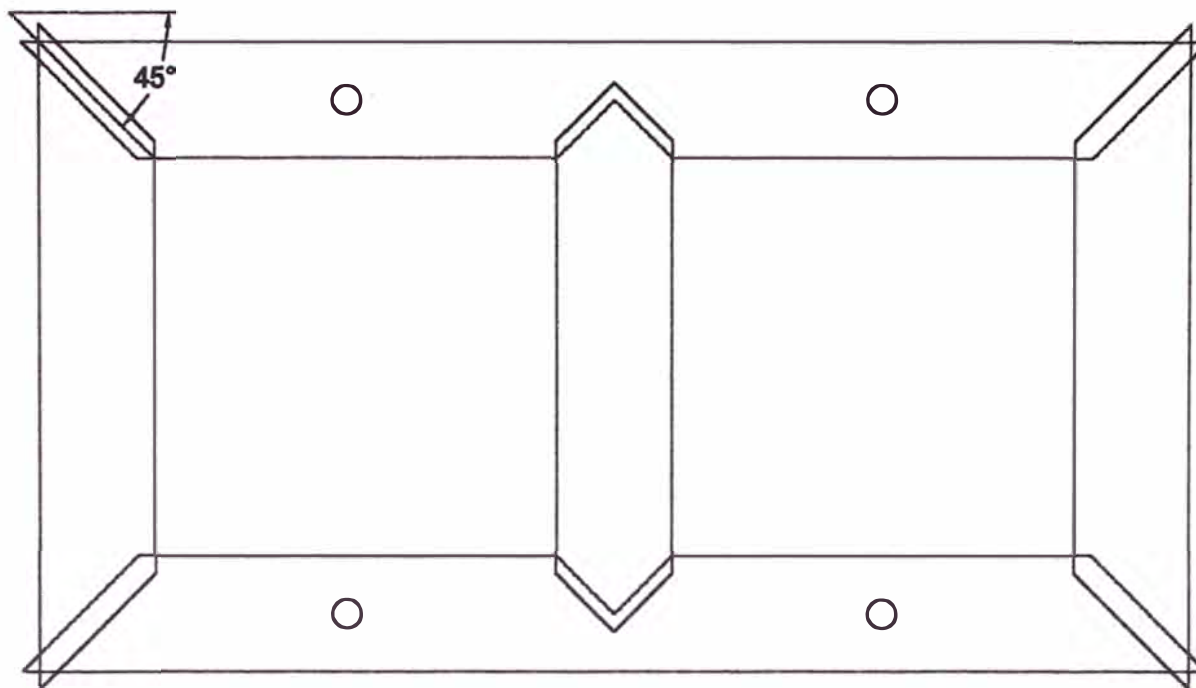
4.2.3 Especificaciones del fierro silicoso

Definir las características del fierro silicoso con que se va a trabajar es sumamente importante para poder definir la inducción de trabajo y como consecuencia las perdidas en el fierro silicoso y la corriente de magnetización. Actualmente se usan aceros laminados en frío de grano orientado con un recocido final para contrarrestar los efectos de mecanizado y aislados por fosfatación con lo que conseguimos un factor de apilamiento (f_a) de 0.96. El fierro silicoso del tipo M5 el cual usaremos se puede proyectar con inducciones de 1.6T.

En las curvas mostradas en el apéndice podemos observar los W/Kg y los VA/Kg a las diferentes inducciones de trabajo.

4.2.4 Perdidas en el fierro

Las ecuaciones matemáticas que tratan de hallar las perdidas en el fierro son un poco imprecisas, debido a que no se consideran los defectos constructivos por los cortes efectuados. Para ello, utilizaremos las curvas de W/Kg vs B , y VA/Kg vs B , proporcionados por la compañía fabricante de fierro silicoso y mostrados en el apéndice.



FORMA Y CORTE DE LAS PLANCHAS DEL NÚCLEO DE FeSi
Figura 4.2 - 1

4.2.5 Corriente de excitación

Se calcula de la siguiente forma:

$$I_u \% = 100 \left(\frac{VA_m}{P} \right) \quad (4.21)$$

$$I_w \% = 100 \left(\frac{P_{fe}}{P} \right) \quad (4.22)$$

$$I_e \% = \sqrt{(I_u \%^2 + I_w \%^2)} \quad (4.23)$$

Donde :

$I_u\%$:	Corriente magnetizante [%]
VA_m	:	Potencia por kilogramo de fierro, requerido para magnetizar el núcleo [VA/Kg]
P	:	Potencia aparente del transformador [W]
$I_w\%$:	Corriente de perdidas en el núcleo [%]
P_{fe}	:	Perdidas en el fierro [W]
$I_e\%$:	Corriente de excitación [%]

Los valores de VA_m y P_{fe} se obtendrán de las gráficas correspondientes que se encuentran en el apéndice.

4.3 Los devanados de AT - BT y sus características eléctricas

Con las definiciones realizadas anteriormente podremos realizar los cálculos de diseño de los devanados tanto de AT como de BT. Asimismo, debemos tener presente que el arrollamiento de AT será de tipo galleta en platinas muy delgadas y el arrollamiento de BT será en bandas ó folio,

motivo por el cual, las ecuaciones que se presentan están planteadas para ello, las cuales se detallan a continuación:

4.3.1 Cálculo del número de espiras de AT y BT

$$V = 4.44 f N B S_n 10^{-8} \quad (4.24)$$

$$V_e = 4.44 f B S_n 10^{-8} \quad (4.25)$$

$$N_1 = \frac{V_1}{V_e} \quad (4.26)$$

$$N_2 = \left(\frac{V_1}{V_2} \right) N_1 \quad (4.27)$$

Donde :

V	:	Voltaje inducido en el arrollamiento [V]
f	:	Frecuencia alterna de la red [Hz]
B	:	Inducción máxima en el núcleo [Tesla]
N	:	Numero de espiras del arrollamiento
S _n	:	Sección neta del núcleo [cm ²]
V ₁	:	Fuerza electromotriz por fase del arrollamiento primario [V]
V ₂	:	Fuerza electromotriz por fase del arrollamiento secundario [V]
N ₁	:	Numero de espiras en serie por fase del arrollamiento primario.
N ₂	:	Numero de espiras en serie por fase del arrollamiento secundario.

4.3.2 Cálculo de sección para las espiras de conductor en AT y BT

Las espiras de conductor utilizadas para elaborar el arrollamiento en el arrollamiento tanto de AT como de BT se calculan de la siguiente forma:

$$I_1 = 1000 \left(\frac{S}{V_1} \right) \quad (4.28)$$

$$S_1 = \left(\frac{I_1}{J_1} \right) \quad (4.29)$$

$$S_2 = \left(\frac{I_2}{J_2} \right) \quad (4.30)$$

Donde:

- I_1 : Corriente por fase del arrollamiento primario [A]
- I_2 : Corriente por fase del arrollamiento secundario [A]
- S : Sección aparente [KVA]
- S_1 : Sección de conductor del arrollamiento primario [mm²].
- S_2 : Sección de conductor del arrollamiento secundario [mm²]
- J_1 : Densidad de corriente en el arrollamiento primario [A/mm²]
- J_2 : Densidad de corriente en el arrollamiento secundario [A/mm²]

4.3.3 Cálculo de densidad de corriente en el transformador

$$J = \frac{(J_1 * S_1 + J_2 * S_2)}{(S_1 + S_2)} \quad (4.31)$$

Donde:

- J** : Densidad de corriente en el transformador
[A/mm²]
- S₁** : Sección de conductor del arrollamiento primario
[mm²]
- S₂** : Sección de conductor del arrollamiento secundario [mm²]
- J₁** : Densidad de corriente en el arrollamiento primario
[A/mm²]
- J₂** : Densidad de corriente en el arrollamiento secundario [A/mm²]

4.3.4 Forma y posición de los arrollamientos

Para los transformadores de distribución secos encapsulados en resina epóxica se construyen los arrollamientos tanto en AT como en BT con conductor de Aluminio ó Cobre en bandas y folio. Con respecto a la posición de los arrollamientos estos son de tipo concéntrico. Los devanados primario y secundario se encuentran montados uno dentro del otro sobre el núcleo estando por razones de aislamiento principalmente el devanado de menor voltaje mas cerca del núcleo.

4.3.5 Características físicas de los arrollamientos

4.3.5.1 Longitud axial de los arrollamientos

En el arrollamiento de AT :

$$H_1 = h_1 * \#c + h_R * \#r \quad (4.32)$$

Donde :

- H_1 : Longitud axial del arrollamiento de AT [mm]
- h_1 : Longitud axial de la banda de conductor
incluyendo el aislamiento [mm]
- $\#c$: Nro. de capas del arrollamiento.
- h_R : Longitud axial del canal de refrigeración [mm]
- $\#r$: Nro. de canales axiales de refrigeración.

En el arrollamiento de BT :

$$H_2 = h_2 \quad (4.33)$$

Donde :

- H_2 : Longitud axial del arrollamiento de BT [mm]
- h_2 : Longitud axial de la banda de folio por capa
incluyendo el aislamiento [mm]

4.3.5.2 Longitud radial del arrollamiento

$$e = (a_e \#c + \sum \text{aisl.}) f_{pb} \quad (4.34)$$

Donde :

- e : Longitud radial del arrollamiento [mm]
- a_e : Longitud radial del conductor incluyendo el
aislamiento [mm]

- #c** : Numero de capas del arrollamiento.
- ΣA_{isl}** : Sumatoria de todos los aislamientos entre capas incluyendo los canales axiales de refrigeración [mm]
- f_{pb}** : Factor practico del arrollamiento (1.06) considerado por la acumulación de incrementos de espesor debido a la “imperfección” en la construcción del arrollamiento, ya que no se puede realizar una arrollamiento muy tenso.

4.3.5.3 Longitud media de cada espira

$$L_m = \pi D_m \quad (4.35)$$

Donde :

- L_m** : Longitud media de cada espira [mm]
- D_m** : Diámetro medio del arrollamiento en cuestión [mm]

4.3.5.4 Peso del conductor por arrollamiento

El peso del conductor por arrollamiento se calcula de la siguiente

forma:

$$G_{cond} = \gamma_{cond} \cdot (L_m \cdot S \cdot N \cdot 10^{-6}) \quad (4.36)$$

Donde :

- G_{cond}** : Peso de conductor en todo el arrollamiento [Kg]
- γ_{cond}** : Peso especifico del material del conductor [aluminio=2700Kgr/m³ , cobre= 8900Kgr/m³]

- L_m : Longitud media de cada espira [mm].
 S : Sección aparente [mm²]
 N : Numero de espiras del arrollamiento

4.3.5.5 Resistencia ohmica del arrollamiento

$$R = \rho_{20^{\circ}C} \left(\frac{L_m N}{S} \right) \quad (4.37)$$

$$R' = \frac{R(235 + T')}{255} \quad (4.38)$$

Donde :

- R : Resistencia del arrollamiento a 20°C [Ω]
 $\rho_{20^{\circ}C}$: Resistividad del material del conductor a 20°C
 [aluminio = 0.0278 Ω-m, cobre = 0.0172 Ω-m]
 L_m : Longitud media de cada espira [mm].
 S : Sección aparente [mm²]
 N : Numero de espiras del arrollamiento
 R' : Resistencia del arrollamiento a la temperatura
 T' [Ω]
 T' : Temperatura ambiente en °C.

4.3.6 Pérdidas por efecto Joule

Las perdidas por Efecto Joule varían con la temperatura debido a la variación que sufre el coeficiente de resistividad del material. Para computar las perdidas a una temperatura T' usaremos la siguiente formula :

$$W'_J = I^2 R' \quad (4.39)$$

Donde :

- W_j : Perdidas por efecto joule en el arrollamiento a una temperatura T' [W]
- I : Intensidad de corriente en el arrollamiento [A]
- R' : Resistencia del arrollamiento a la temperatura T' [Ω]

4.3.7 Pérdidas en el conductor

Para evaluar las perdidas en el conductor, usaremos las formulas:

$$P_{cond.75^{\circ}C} = \left(\frac{\rho_{cond.}}{\gamma_{cond.}} \right) * J^2 * G_{cond.} \quad (4.40)$$

Donde :

- $P_{cond.75^{\circ}C}$: Perdidas en el conductor a una temperatura de $75^{\circ}C$ [W]
- $\rho_{cond.75^{\circ}C}$: Resistividad del material del conductor
[aluminio = $0.0278 \Omega\cdot m$, cobre = $0.0172 \Omega\cdot m$]
- $\gamma_{cond.}$: Peso especifico del material del conductor
[aluminio= $2700Kgr/m^3$, cobre= $8900Kgr/m^3$]
- J : Densidad de corriente en el transformador
[A/mm^2]
- $G_{cond.}$: Peso del aluminio en el transformador [Kg]

4.3.7.1 Pérdidas suplementarias en el conductor

Las perdidas suplementarias en conductores laminados, se calcula de la siguiente forma:

$$P_{\text{sup}} = \left(20 * \pi * \frac{\mu}{\rho} \right)^2 * 10^{-4} * \left(\frac{f}{60} \right)^2 * \left(\frac{m * b}{h} \right)^2 * a^4 * (n^2 - 0.2) \quad (4.41)$$

Donde :

P_{sup} : Perdidas suplementarias en el Conductor a una temperatura [W]

μ : $4\pi * 10^{-7}$ V.s/mA

$\rho_{\text{cond.75}^\circ\text{C}}$: Resistividad del material del conductor
[aluminio= $0.0337\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$,
cobre= $0.02162\Omega\text{-mm}^2/\text{m}$]

$\gamma_{\text{cond.}}$: Peso especifico del material del conductor
[aluminio= $2700\text{Kgr}/\text{m}^3$, cobre= $8900\text{Kgr}/\text{m}^3$]

f : Frecuencia de la red [Hz]

m : Numero de conductores por capa

b : Espesor del conductor completo [mm]

h : Altura de la columna [mm]

a : Grosor del conductor [mm]

n : Numero de capas

4.3.8 Calculo de rendimiento

Es calculado de la siguiente forma:

$$\eta = 100 - \left(\frac{100 * (P'_{\text{tot.cond.}} + P'_{\text{fe}})}{100 + P'_{\text{tot.cond.}} + P'_{\text{fe}}} \right) \quad (4.42)$$

Donde:

η : Rendimiento del transformador [%]

$P'_{\text{tot.cond.}}$: Perdidas totales en el conductor en % de la potencia del transformador [W]

P'_{fe} : Perdidas totales en el fierro en % de la potencia del transformador [W]

4.3.9 Tensión de cortocircuito

Presenta los siguientes componentes:

4.3.9.1 Tensión de corto circuito resistiva ($V_r\%$)

$$V_r \% = 100(P_{\text{cond.}} / S) \quad (4.43)$$

Donde :

$V_r\%$: Tensión de corto circuito resistiva [%]

$P_{\text{cond.}}$: Perdidas en el conductor [W]

S : Potencia aparente [KVA]

4.3.9.2 Tensión de corto circuito reactiva ($V_x\%$)

$$V_x \% = C_x \cdot \left(\frac{A}{D}\right)^2 (2D + A) \quad (4.44)$$

$$C_x = \frac{3.528 \rho_x f_{\text{cond.}} J}{\rho_1 f_{fe} B} \quad (4.45)$$

$$\rho_x = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot \left\{ \frac{D_1 e_1 + D_2 e_2 + 3D_0 e_0}{A(2D + A)} \right\} \quad (4.46)$$

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) + e_1 + e_2}{L} \quad (4.47)$$

Donde :

$V_x\%$: Tensión de corto circuito reactiva [%]

C_x	:	Factor de caída relativa de reactancia [%/cm]
A	:	Ancho de la ventana entre circunferencias del núcleo [cm]
D	:	Diámetro de la circunferencia que circunscribe a la sección del núcleo [cm]
ρ_x	:	Relación de la sección efectiva del circuito de dispersión a la corona circular comprendida entre el núcleo y el eje longitudinal de la ventana.
$f_{\text{cond.}}$:	Factor de utilización de la ventana
J	:	Densidad media de corriente a 75°C [A/mm ²]
ρ_1	:	Relación entre la longitud equivalente del circuito de dispersión magnética a la de la columna.
f_{fe}	:	Factor rectangular de utilización del fierro. (Ver tabla 4.2. - 2)
B	:	Inducción máxima en el núcleo [Tesla]
D_1	:	Diámetro medio del arrollamiento primario [cm]
e_1	:	Longitud radial del arrollamiento primario [cm]
D_2	:	Diámetro medio del arrollamiento secundario [cm]
e_2	:	Longitud radial del arrollamiento secundario [cm]
D_o	:	Diámetro medio de la separación radial entre los arrollamientos primario y secundario [cm]

e_0	:	Separación radial entre los arrollamientos primario y secundario [cm]
A	:	Ancho de la ventana entre circunferencias del núcleo [cm]
D	:	Diámetro de la circunferencia que circunscribe a la sección del núcleo [cm]
H_1	:	Longitud axial del arrollamiento primario [cm]
H_2	:	Longitud axial del arrollamiento secundario [cm]
H	:	Altura de la ventana del núcleo [cm]

Finalmente, la tensión de cortocircuito se calcula de la siguiente

manera:

$$V_{cc} \% = \sqrt{(V_r \%^2 + V_x \%^2)} \quad (4.48)$$

Donde :

$V_{cc} \%$: Tensión de cortocircuito [%]

4.3.10 Calentamiento durante el cortocircuito

El máximo calentamiento admisible para diseñar un transformador se deduce asumiendo que todo el calor se almacena en los arrollamientos y estos se encuentran soportando en la parte superior a 100°C. y no deben exceder los 180°C al final del corto circuito para nuestro caso.

Para determinar la duración de la corriente de cortocircuito proporcionamos la tabla 4.3-1 la cual indica los valores de impedancia equivalente (%) y el límite superior de la sobreintensidad expresada en múltiplo de la corriente nominal. El valor del tiempo de duración en segundos

se toma de las referencias dadas en el punto 4.6.4 de la norma NTP 370.002. Asimismo para el cálculo de la constante "a" proporcionamos la tabla 4.3-2. rescatada de la misma norma.

$$T_f = T_1 + a \cdot J_{cc}^2 \cdot t_{cc} \cdot 10^{-3} \quad (4.49)$$

$$J_{cc} = 100(J / V_{cc} \%) \quad (4.50)$$

Donde :

- T_f : Temperatura final en el transformador [°C]
 T_1 : Temperatura inicial en el transformador [°C]
 a : Constante función de $\frac{1}{2}(T_1 + T_f)$ definido en la tabla 4.3 - 2
 J_{cc} : Densidad de corriente de cortocircuito [A/mm²]
 t_{cc} : Tiempo de duración del cortocircuito [seg]
 J : Densidad media de corriente a 75°C [A/mm²]
 $V_{cc}\%$: Tensión de cortocircuito [%]

Potencia Nominal(KVA)	Limite superior de la sobre intensidad(valor eficaz simétrico) expresado en múltiplo de la corriente nominal	Impedancia equivalente (%)	tcc (seg)
Hasta 630	25	4.00	2
631 a 1250	20	5.00	2
1251 a 3150	16	6.25	3
3151 a 6300	14	7.15	3
6301 a 12500	12	8.35	3
12501 a 25000	10	10.00	3
25001 a 100000	8	12.50	3

Tabla 4.3 – 1 Duración de la corriente de cortocircuito

$\frac{1}{2}(T_f + T_i) \text{ } ^\circ\text{C}$	Arrollamiento de Cobre	Arrollamiento de Aluminio
140	7.41	16.5
160	7.80	17.4
180	8.20	18.3
200	8.59	19.1
220	8.99	20.0
240	9.38	20.9

Tabla 4.3 – 2 Valores de la constante "a"

4.3.11 Aislamiento entre arrollamientos y devanados

El aislamiento de los arrollamientos de AT y BT será con cinta y papel Nomex entre espiras y con resina que se adhiere al encapsular los arrollamientos al vacío.

4.3.12 Esfuerzos Electrodinámicos

Al ocurrir una falla de cortocircuito, se producen esfuerzos electromecánicos pero su valor es casi despreciable, y estos esfuerzos crecen debido a que varían proporcionalmente con el cuadrado de la intensidad de la corriente eléctrica. Al efectuar los cálculos para el diseño del transformador debemos tener en cuenta estos esfuerzos, los cuales no deben sobrepasar de 698 Kg/cm^2 o 4.5 Tn/pulg^2 .

4.3.12.1 Fuerzas radiales de expansión

$$F_{re} = 219 \frac{F^2 P_{cond.}}{HV_{cc} \%} \quad (4.51)$$

Donde :

F_{re} : Esfuerzo radial de expansión [Tn/pulg^2]

F : Relación $V_x\%/V_r\%$ de reducción de los esfuerzos de cortocircuito.

H : Altura del arrollamiento [pulg]

P_{cu} : Perdidas en el conductor [Kw]

El valor de F será obtenido en función al valor de Kr de la gráfica

4.3 – 1.

4.3.12.2 De compresión

$$F_{rc} = F_{re} \left(1 - \frac{1}{1 + 50 \text{Sen} \alpha} \right) \quad (4.52)$$

Donde :

F_{rc} : Esfuerzo radial de compresión

[Tn/pulg²]

F_{re} : Esfuerzo radial de expansión [Tn/pulg²]

α : Angulo que comprende a la longitud equivalente del espacio libre entre soporte del arrollamiento interior

4.3.12.3 Fuerzas axiales de flexión o compresión

$$F_{ax} = 10.2 \left(\frac{\psi \cdot I_{cc}^2 \cdot 10^{-12}}{\pi D \cdot e} \right) \quad (4.53)$$

$$I_{ccM} = 2.55 \left(100 \frac{1}{V_{cc} \%} \right) \frac{N}{2} \quad (4.54)$$

Donde :

F_{ax} : Esfuerzo axial [Tn/pulg²]

ψ : Coeficiente que depende de la relación (X/D) entre la separación y diámetro de las espiras: Se obtiene de la gráfica 4.3 - 2

I_{ccM}	:	Corriente eficaz permanente de cortocircuito multiplicada por la mitad del numero de espiras del arrollamiento (N) [Amp]
D	:	Diámetro medio del arrollamiento [pulg]
e	:	Grueso del arrollamiento [pulg]
$V_{cc}\%$:	Tensión de cortocircuito [%]
N	:	Numero de espiras del arrollamiento.

4.3.12.4 Esfuerzo final critico

$$\sigma_1 = \sqrt{[(F_{re})^2 + (F_{ax})^2]} \quad (4.55)$$

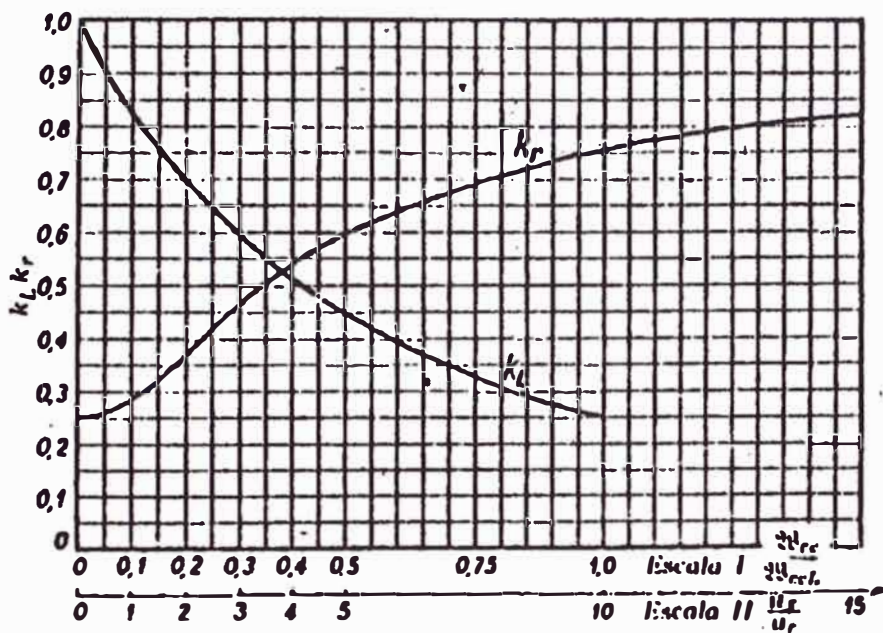
$$\sigma_2 = \sqrt{[(F_{rc})^2 + (F_{ax})^2]} \quad (4.56)$$

Donde :

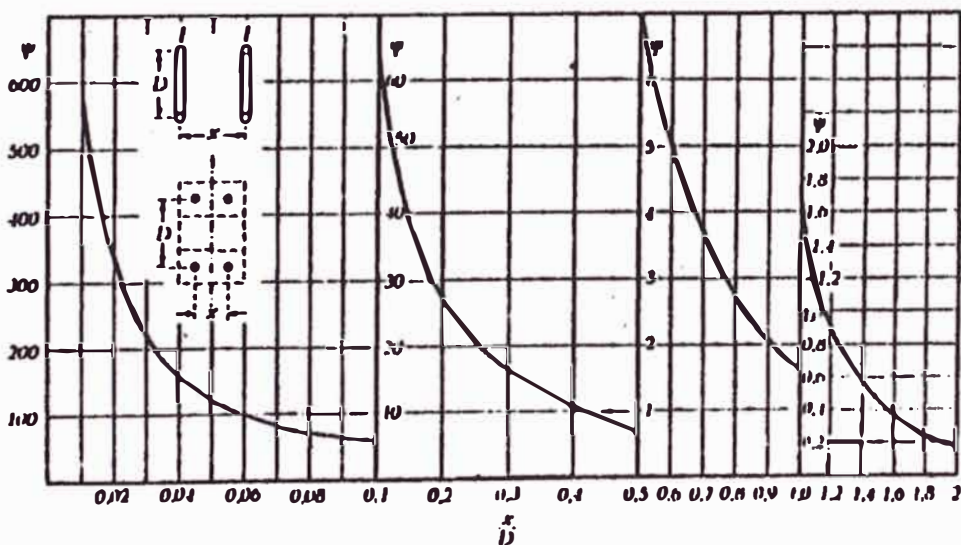
σ_1	:	Esfuerzo final critico en el arrollamiento de AT [Tn/pulg ²]
σ_2	:	Esfuerzo final critico en el arrollamiento de BT [Tn/pulg ²]
F_{ax}	:	Esfuerzo axial [Tn/pulg ²]
F_{rc}	:	Esfuerzo radial de compresión [Tn/pulg ²]
F_{re}	:	Esfuerzo radial de expansión [Tn/pulg ²]

4.3.13 Disipación térmica

A fin de efectuar los cálculos de la disipación térmica, sólo es necesario tener presente la tabla 4.3-3 referente a "Limites de sobre-elevación de temperatura °C " indicado en la NTP 370.002, la cual indica que para arrollamientos de transformadores secos aislados con clase F, la



Gráfica 4.3 - 1 Relación $V_x\%/V_r\%$ de los esfuerzos de cortocircuito



Gráfica 4.3 - 2 Coeficiente (ψ) que depende de la relación (X/D) entre la separación y el diámetro de las espiras

máxima temperatura de 100°C y para nuestro caso, asumiremos una temperatura ambiente máxima de 40°C .

PARTE DEL TRANSFORMADOR	Clase de Aislamiento						METODO DE MEDICION
	A	E	B	F	H	C	
Arrollamiento de Transformadores en Seco	60	75	80	100	125	Más 125	Variación de resistencia
Arrollamientos de Transformadores en Aceite	65						Variación de resistencia
Aceite (en el interior de la caja lo más cerca posible de la superficie del aceite)	60						Termómetro
	La temperatura no debe llegar en ningún caso a un valor susceptible de deteriorar las partes aislantes y otras.						

Tabla 4.3 - 3 Limites de sobreelevación de temperatura

4.3.14 Transmisión de calor

4.3.14.1 Transmisión de calor por conducción

Se calcula de la siguiente forma:

$$\delta T = T_2 - T_1 = \frac{(e * P)}{(\lambda * S)} \quad (4.57)$$

Donde :

- δT : Variación de temperatura [°C]
- T_1 : Temperatura del arrollamiento [°C]
- T_2 : Temperatura ambiente [°C]
- e : Espesor del aislamiento [mm]
- P : Potencia del devanado [W]
- λ : Conductividad térmica del material [W/m²°C]

S : Sección de conducción de calor [m²]

4.3.14.2 Transmisión de calor por convección y radiación

Se calcula de la siguiente forma:

$$\delta T = T_2 - T_1 = \frac{P}{(\lambda * S)} \quad (4.58)$$

Donde :

- δT : Variación de temperatura [°C]
 T_1 : Temperatura del arrollamiento [°C]
 T_2 : Temperatura ambiente [°C]
 P : Potencia del devanado [W]
 λ : Coeficiente de película [W/ m²]
 S : Sección de conducción de calor [m²]

A continuación daremos la tabla 4.3-4 con los valores de calentamiento necesarios:

Calentamiento o Θ (°C)	CONVECCION		RADIACION	
	Coeficiente de película para el aire (W/m ² °C)	Potencia por unidad de área (W/m ²)	Coeficiente de película para el aire (W/m ² °C)	Potencia por unidad de área (W/m ²)
10	4.45	44.5	5.56	55.6
20	5.28	105.6	5.90	118.0
30	5.87	176.1	6.15	184.5
40	6.29	251.6	6.50	260.0
50	6.64	332.0	6.88	344.0
60	6.95	417.0	7.16	429.6

Tabla 4.3 – 4 Valores de calentamiento por convección y radiación

4.3.15 Verificación del aislamiento

4.3.15.1 Gradiente de potencial

$$E_x = \frac{0.434 * V\pi}{r_x \epsilon_x \sum \frac{1}{\epsilon_i} * \log\left(\frac{r_{i+1}}{r_i}\right)} \quad (4.59)$$

Donde:

- E_x : Gradiente potencial del dieléctrico "X" [KV/mm]
 $V\pi$: Tensión de prueba [KV]
 r_x : Radio del dieléctrico "X" [mm]
 ϵ_x : Constante del dieléctrico "X"

4.3.15.2 Gradiente de potencial para capas paralelas

$$\frac{E_i}{E_m} = \frac{\tau}{\epsilon_i \sum \frac{\tau_i}{\epsilon_i}} \quad (4.60)$$

Donde:

- E_i : Gradiente potencial del dieléctrico "X" [KV/mm]
 E_m : Gradiente medio potencial del dieléctrico "X"
 [KV/mm]
 τ_i : Grosor del dieléctrico [mm]
 ϵ_x : Constante del dieléctrico "X"

CAPÍTULO V DISEÑO PROPIO Y CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR

5.1 Dimensiones óptimas del núcleo y arrollamientos

Para realizar el diseño de un transformador, es necesario primero definir las dimensiones del núcleo magnético y posteriormente calcular las características de los arrollamientos, aislamiento y demás componente de la maquina. Además, es necesario definir los datos primarios y los parámetros asumidos en el cálculo. De este modo al efectuar el cálculo, obtendremos una a una las constantes involucradas para la optimización de la maquina.

En nuestro caso, al desconocer el valor de la densidad de corriente J (A/mm^2), estamos tomando como hipótesis valores que pueden fluctuar entre 2 a $2.5 A/mm^2$, valores que serán confirmados o negados al momento de hacer el cálculo.

También debemos indicar que usaremos como referencia el cálculo de un transformador de las mismas características eléctricas aislado con aceite dieléctrico calculado con el programa DDT y un catálogo de transformadores secos en resina colada GEA FOL de la marca SIEMENS que se encuentra en el apéndice No 03 de esta tesis.

Para el corrimiento del programa DDT de un transformador aislado en aceite dieléctrico, los datos que se asuman son los siguientes:

Frecuencia	:	60	Hz
Densidad de corriente	:	3.5	A/mm ²
Densidad de flujo	:	1.6	Tesla
Precio del Cobre	:	3.6	\$/Kg
Precio del Fierro	:	1.6	\$/Kg
Perdidas especificas Cu	:	30	W/Kg
Perdidas especificas Fe	:	1.1	W/Kg
Valorización de perdidas de Cu	:	12	\$/W
Valorización de perdidas de Fe	:	4	\$/W
Factor de plenitud de Fe	:	0.9078	-
Factor de plenitud de Cu	:	0.3	-
Tensión	:	10000	V
Potencia	:	1000	KVA

Para el transformador seco aislado en resina epóxica con arrollamientos de aluminio, los datos inicialmente asumidos son los siguientes:

Frecuencia	:	60	Hz
Densidad de corriente	:	2 a 2.5	A/mm ²
Densidad de flujo	:	1.6	Tesla
Precio del Aluminio	:	3.1	\$/Kg
Precio del Fierro	:	1.6	\$/Kg
Perdidas especificas Cu	:	51.84	W/Kg
Perdidas especificas Fe	:	1.1	W/Kg
Valorización de perdidas de Cu	:	12	\$/W
Valorización de perdidas de Fe	:	4	\$/W
Factor de plenitud de Fe	:	0.9078	-
Factor de plenitud de Cu	:	0.3	-

Tensión	:	10000	V
Potencia	:	1000	KVA

5.2 Resultados del Programa DDT

El programa DDT, presenta 03 criterios de cálculo los cuales son los siguientes:

- Criterio 1 : Mínimo costo de material
- Criterio 2 : Mínimo costo de perdidas
- Criterio 3 : Costo intermedio de los criterios 1 y 2

Los resultados obtenidos al corrimiento del programa DDT para el transformador aislado con aceite dieléctrico, usando el criterio 3 es el siguiente:

Referencia	TESIS - COBRE EN ACEITE		Anterior	Siguiete	Nro	5
Calculista	EDUARDO ZAPATA SALAZAR		Nuevo	Salvar	Criterio	3
Potencia	[kVA]	1000	Diámetro	[mm]	271.03	
Tensión AT	[kV]	10	Ancho de Ventana	[mm]	122.05	
Frecuencia	[Hz]	60	Altura de columna	[mm]	465.73	
Densidad de Flujo	[Tesla]	1.6	Peso de Hierro	[kg]	1407.01	
Dens. de Corriente	[A/mm2]	3.5	Peso de Cobre	[kg]	237.49	
Factor de plenitud del Fe	[-]	0.9078	Costo de Hierro	[\$]	2251.22	
Factor de plenitud del Cu	[-]	0.3	Costo de Cobre	[\$]	831.22	
Precio del Hierro	[\$/kg]	1.6	Costo de Material	[\$]	3082.43	
Precio del Cobre	[\$/kg]	3.5	Pérdidas Fe	[W]	1547.71	
Pérdidas específicas Fe	[W/kg]	1.1	Pérdidas Cu	[W]	7124.71	
Pérdidas específicas Cu	[W/kg]	30	Costo Pérdidas Fe	[\$]	18572.54	
Valorización Pérdidas Fe	[\$/W]	12	Costo Pérdidas Cu	[\$]	28498.86	
Valorización Pérdidas Cu	[\$/W]	4	Costo de Pérdidas	[\$]	47071.4	
			Costo total	[\$]	50153.83	

Manuel Carranza / 2000

Figura 5.2 – 1 Primer corrimiento del programa DDT

De allí obtenemos los siguientes datos como referencia:

- Diámetro : 271.03mm
- Peso de Fierro : 1407.01Kg
- Peso de Cobre : 237.48Kg
- Perdidas en el Fierro : 1547.71W
- Perdidas en el Cobre : 7124.71W

Debemos indicar que aquí solo estamos obteniendo algunos valores del transformador que sólo nos servirá como referencia. En este caso no se obtiene el peso del aceite dieléctrico, el peso total y dimensiones finales del transformador porque se tiene que realizar un cálculo independiente en función de lo que se desea.

De la misma forma, lo haremos para el transformador encapsulado en resina, pero debido a que se desconoce el criterio a usar en el diseño, realizaremos el cálculo con los 3 criterios para luego elegir el mejor de ellos. En este caso tomaremos como hipótesis el valor de densidad de corriente entre 2.0 a 2.5A/mm² y calcularemos los diámetros. Los valores obtenidos del corrimiento del programa DDT son los siguientes:

J	CRITERIO		
	1	2	3
2.5 A/mm ²	210.84 mm	341.83 mm	333.92 mm
2.4 A/mm ²	213.00 mm	345.34 mm	337.39 mm
2.3 A/mm ²	215.28 mm	349.03 mm	340.96 mm
2.2 A/mm ²	217.68 mm	352.93 mm	344.77 mm
2.1 A/mm ²	220.23 mm	357.06 mm	348.80 mm
2.0 A/mm ²	222.93 mm	361.44 mm	353.08 mm

Tabla 5.2 – 1 Corrimiento del programa DDT con 3 criterios

Estos resultados obtenidos, son tomados como referencia para las siguientes tabulaciones en la hoja de cálculo electrónica.

5.3 Consideraciones para el cálculo

Para complementar estos datos, debemos mencionar lo siguiente:

a) Núcleo Magnético

- La forma de las planchas se asumen tomando como referencia la figura 4.2 – 1.
- Con respecto al numero de escalones, de acuerdo a la tabla 4.2 – 2, asumiremos el valor de 5 escalones con el fin de reducir costos.
- El espesor de cada plancha de FeSi es de 0.3mm debido a que es un valor comercial.
- Lo valores de perdidas en el fierro P_{fe} y potencia de magnetización VA_m son obtenidas de la gráfica del apéndice No 04.

b) Arrollamientos

- Para el arrollamiento de AT como para BT se usará material NOMEX en cinta y en bandas respectivamente, para el aislamiento entre espiras.
- Se incluye en el cálculo un valor "varios" que consiste en la cantidad de conductor aproximado para realizar las uniones, conexiones y terminales de los arrollamientos.

c) Materiales aislantes

- Los aislamientos de los arrollamientos y del encapsulado deberán soportar las exigencias de las pruebas a las que serán sometidas. Para ello, damos una tabla con características dieléctricas y valores

aproximados de los materiales aislantes usados en la fabricación, los cuales son los siguientes:

Material	Espesor τ (mm)	Rigidez Dieléctrica (KV/mm)	Tensión Disruptiva (KV)	Coefficiente Dieléctrico
Nomex en AT	0.1	35	3.5	0.25
Nomex en BT	0.1	26	2.6	0.25
Resina	3	16	48	3.5

Tabla 5.3 – 1 Tabla de materiales eléctricos aislantes

- Las cintas y papel NOMEX serán utilizados como separación entre espiras del arrollamiento de AT y BT respectivamente.
- La resina tendrá un peso específico de 2358Kg/m^3 , esto debido a que la mezcla contiene gran cantidad de harina de cuarzo lo que hace un incremento notorio de este valor.
- Los valores de los Coeficientes Dieléctricos son valores promedio. Específicamente para la rigidez dieléctrica del aire se toma un valor promedio de 1KV/mm , pues este depende de la humedad relativa y de la temperatura en el instante de la prueba.

Finalmente, obtendremos con estas consideraciones debemos de complementar el cálculo con una de cálculo electrónica, previa confirmación del criterio de diseño, pues para ello debemos de realizar diseños referenciales y elegir la mejor opción.

5.4 Modelo térmico del transformador

Independientemente del criterio del cálculo con que se diseñará el transformador es necesario que se tenga muy claro que la transferencia de calor en el transformador se da en sus tres formas las cuales son:

- Por convección
- Por conducción
- Por radiación

Para nuestro caso tomaremos como modelo térmico sólo una mitad de uno de los arrollamientos encapsulados pues la otra mitad tendrá el mismo comportamiento. El análisis debe realizarse para el arrollamiento tanto de AT como de BT. La diferencia de temperaturas indicará un cierto desplazamiento de calor hacia el lado donde existe mayor temperatura.

Para ello presentamos el siguiente modelo térmico:

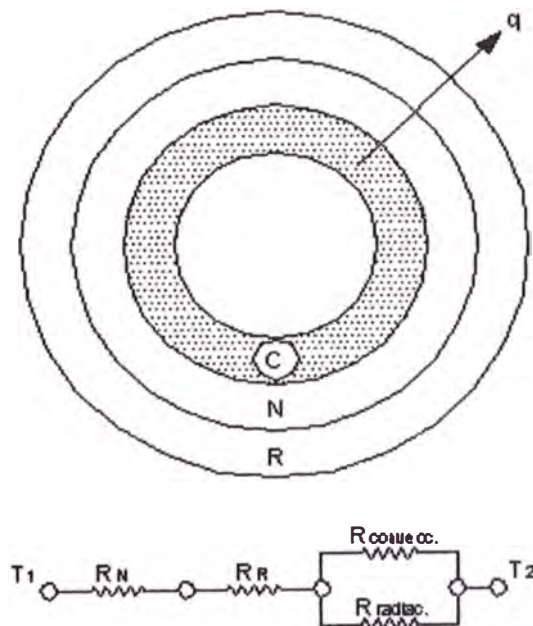


Figura 5.4 – 1 Transferencia de calor en los arrollamientos

Donde:

q	:	Calor disipado
C	:	Material de cobre (conductor)
N	:	Material de NOMEX (aislamiento entre espiras)
R	:	Material de resina (aislamiento de encapsulado)
R _N	:	resistencia térmica del NOMEX
R _R	:	Resistencia térmica de la resina
R _{convecc.}	:	Resistencia térmica por convección
R _{radiac.}	:	Resistencia térmica por radiación

5.5 Cálculo eléctrico referencial

Para realizar el cálculo, se necesitaron realizar algunas operaciones elementales, las cuales se presentan a continuación:

- Perdidas específicas en el conductor de aluminio = $12.96 \times (2)^2 = 51.84 \text{Kg/mm}$
- El diámetro final de la columna debe ser incrementado por la distancia de troquelado de la siguiente forma:

$$D = \sqrt{(D_{dato}^2 + 1.332 * D_{dato} * DT)}$$

- El volumen de resina debe ser calculado como una diferencia de cilindros menos los volúmenes ocupados por el aluminio y el nomex en cada arrollamiento.
- Para el cálculo de la transmisión de calor, la potencia de arrollamiento debe ser compartida por igual, tanto como para el área interior como exterior.

- La tensión disrruptiva de los materiales aislantes se obtiene multiplicando el valor de su rigidez dieléctrica por su espesor.
- Los coeficientes de seguridad para la prueba de tensión inducida se obtienen dividiendo la tensión disyuntiva entre la tensión máxima aplicable.
- Para la prueba de tensión aplicada, los coeficientes de seguridad se obtienen, dividiendo el valor de la rigidez dieléctrica entre el gradiente de potencial.

Con todo ello, realizaremos primero la evaluación del criterio de diseño del transformador y para ello utilizamos los valores de la tabla 5.2 – 1 y mediante una hoja electrónica realizamos el cálculo complementario y para ello tomaremos el valor de densidad de corriente igual a 2.5 A/mm². Al realizar cálculos referenciales obtenemos una tabla de valores los cuales se dan a continuación en la tabla 5.5 – 1.

		CRITERIO		
		1	2	3
J	A/mm2	2.39	2.52	2.46
Ddato	(mm)	210.84	341.83	333.92
Htot	(mm)	2321.44	1482.37	1484.55
Vcc	(%)	6.09	6.01	6.02
Gcond.1	Kg	62.42	35.88	37.31
Tint1-TOT	°C	71.22	63.17	64.62
Text1-TOT	°C	71.35	69.38	71.11
Gcond.2	Kg	28.91	15.84	17.67
Tint2-TOT	°C	32.21	27.75	29.72
Text2-TOT	°C	29.15	26.45	28.16
Ptot-cond.	W	6695.61	6726.95	6665.30
Gcond.	Kg	91.33	51.72	54.98
GF	Kg	1960.75	3662.9	3517.15

Tabla 5.5 – 1 Evaluación del criterio de diseño

Como se puede apreciar, sólo el peso del conductor más el peso del hierro silicoso es extremadamente alto lo cual imposibilita la construcción con cualquiera de estos dos criterios porque será excesivamente caro y pesado incluso al de un transformador aislado en aceite dieléctrico.

Quedándonos con el criterio 1 (mínimo costo de material), realizaremos los cálculos con la hipótesis de la densidad de corriente (2.0 - 2.5 A/mm²) para confirmar este valor. Al hacer los cálculos, obtuvimos resumidamente los siguientes resultados que se aprecian en la tabla 5.5 – 2.

Como se puede apreciar, todos cálculos para los diferentes valores de densidad de corriente son aceptables, lo que confirma como verdadera la hipótesis que se tomó como referencia. Ya dependerá del diseñador decidir de acuerdo a sus necesidades la elección de la mejor alternativa.

Los cálculos obtenidos en las diferentes hojas de cálculo electrónicas se encuentran en el apéndice N° 05 de este volumen.

Finalmente, los resultados obtenidos son sólo una de las muchas soluciones que se pueden obtener para el diseño.

5.6 Obtención del cálculo eléctrico final

Una vez que hemos confirmado la hipótesis de diseño, es necesario decidir por una de las alternativas que nos muestra la tabla 5.5 – 2. Con la finalidad de minimizar peso y espacio, la mejor alternativa es la diseñada con densidad de corriente igual a 2A/mm² y además concuerda casi con los valores de dimensiones que nos presenta el catalogo de transformadores GEAFOL de la marca SIEMENS. Este cálculo puede afinarse para obtener algún valor de tensión de cortocircuito de ser necesario.

**COMPARACIÓN DE DISEÑO DE TRANSFORMADORES ENCAPSULADOS
EN RESINA EPÓXICA**

		12 GALLETAS		11 GALLETAS		10 GALLETAS	
J-diseño	A/mm²	2.50	2.40	2.30	2.20	2.10	2.00
J-calculado	A/mm²	2.52	2.40	2.30	2.21	2.11	2.02
Ddato	(mm)	210.84	213.00	215.28	217.68	220.23	222.93
Vcc	(%)	6.00	6.01	6.02	5.96	5.99	5.98
Gcond.1	Kg	105.07	89.24	104.89	99.71	114.23	110.11
G.resina.1	Kg	184.03	149.41	183.77	165.84	179.54	153.96
Tint1-TOT	°C	42.61	42.13	38.96	43.09	38.33	39.82
Text1-TOT	°C	38.00	38.81	32.48	37.00	30.93	34.15
Gcond.2	Kg	28.57	30.79	30.97	32.81	33.11	35.24
G.resina.2	Kg	25.98	24.81	23.18	22.38	21.46	21.17
Tint2-TOT	°C	52.67	43.49	43.45	44.59	42.82	42.68
Text2-TOT	°C	48.73	39.09	38.86	39.54	37.83	37.40
Ptot-cond.	W	3944.54	4074.93	3675.22	3662.18	3327.14	3295.58
Pfe	W	2096.45	2041.51	1996.10	1967.11	1968.85	1972.29
Htot	(mm)	2272.44	2159.33	2045.44	1963.76	1900.36	1855.22
Gcond.	Kg	133.64	120.03	135.86	132.52	147.34	145.34
GF	Kg	1905.86	1855.91	1814.63	1788.28	1789.86	1792.99
Gtotal	Kg	2484.12	2384.93	2392.45	2344.35	2373.10	2348.38

Tabla 5.5 - 2

Sin embargo con la finalidad de profundizar el estudio de este tipo de transformadores, vamos realizar el cálculo de este tipo de transformadores pero en este caso usaremos como conductor al cobre electrolítico comúnmente en la industria eléctrica.

Para realizar un estudio comparativo, trataremos de mantener invariables los datos del transformador con conductor de aluminio y de aceite dieléctrico.

Es necesario correr el programa DDT, para un transformador seco con conductor de cobre y los resultados son los siguientes:

DTT - Dimensionamiento de Transformador Trifásico

Referencia: TESIS - COBRE EN RESINA Anterior Siguiente Nro 4

Calculista: EDUARDO ZAPATA SALAZAR Nuevo Salvar

Criterio 1

Potencia [kVA]	1000	Diámetro [mm]	229.17
Tensión AT [kV]	10	Ancho de Ventana [mm]	197.66
Frecuencia [Hz]	60	Altura de columna [mm]	703.96
Densidad de Flujo [Tesla]	1.6	Peso de Hierro [kg]	1225.3
Dens. de Corriente [A/mm ²]	2	Peso de Cobre [kg]	574.22
Factor de plenitud del Fe [-]	0.9078	Costo de Hierro [\$]	1960.48
Factor de plenitud del Cu [-]	0.3	Costo de Cobre [\$]	2009.76
Precio del Hierro [\$ /kg]	1.6	Costo de Material [\$]	3970.24
Precio del Cobre [\$ /kg]	3.5	Pérdidas Fe [W]	1347.83
Pérdidas específicas Fe [W/kg]	1.1	Pérdidas Cu [W]	17226.52
Pérdidas específicas Cu [W/kg]	30	Costo Pérdidas Fe [\$]	16173.93
Valorización Pérdidas Fe [\$ /W]	12	Costo Pérdidas Cu [\$]	68906.09
Valorización Pérdidas Cu [\$ /W]	4	Costo de Pérdidas [\$]	85080.03
		Costo total [\$]	89050.26

Manuel Carranza / 2000

Buttons: Calcular, Imprimir, Salir

Figura 5.6 – 1 Diseño con arrollamiento de Cobre y criterio 1

Como vemos en la figura 5.6 – 1, con el criterio de diseño 1 y con densidad de corriente igual a $2A/mm^2$, el diámetro de la columna es 229.17mm.

Con este dato calculado, realizamos el cálculo con la hoja electrónica obteniendo resultados comparados con un transformador de las mismas características pero usando como conductor al aluminio, la tabla 5.6 – 1.

Allí podemos apreciar que al diseñar el transformador con cobre electrolítico, las dimensiones y peso del transformador se ven incrementados notablemente, lo que supone un costo mayor al de aluminio.

Es importante indicar que si se deseara realizar un diseño con una tensión de cortocircuito igual a 4%, el tamaño y costo se verían incrementados, motivo por el cual los transformadores para esta potencia se diseñan con una tensión de cortocircuito igual a 6%.

COMPARACIÓN DE DISEÑO DE TRANSFORMADORES ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA USANDO COMO CONDUCTORES AL COBRE Y ALUMINIO

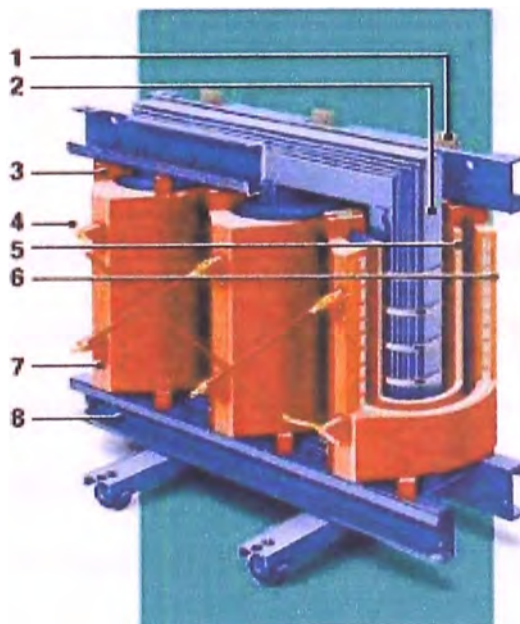
		10 GALLETAS	
		Aluminio	Cobre
J-diseño	A/mm²	2.00	2.00
J-calculado	A/mm²	2.02	2.01
Ddato	(mm)	222.93	229.17
Vcc	(%)	5.98	5.96
Gcond.1	Kg	110.11	352.19
G.resina.1	Kg	153.96	177.43
Tint1-TOT	°C	39.82	43.19
Text1-TOT	°C	34.15	26.90
Gcond.2	Kg	35.24	114.22
G.resina.2	Kg	21.17	19.92
Tint2-TOT	°C	42.68	36.14
Text2-TOT	°C	37.40	21.98
Ptot-cond.	W	3295.58	2099.06
Pfe	W	1972.29	2028.15
Htot	(mm)	1855.22	1779.46
Gcond.	Kg	145.34	466.41
GF	Kg	1792.99	1843.77
Gtotal	Kg	2348.38	2747.82

Tabla 5.6 - 1

CAPÍTULO VI CONSTRUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR

6.1 Consideraciones generales

Como se ha mencionado anteriormente, 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 eléctricas entre las distintas partes del equipo. A fin de conocer este tipo de transformador, la figura 6.1 – 1 tomada como referencia, detalla sus partes básicas, las cuales son las siguientes:



**Figura 6.1 – 1 Composición básica de un transformador seco
encapsulado**

- 1.- Circuito Magnético
- 2.- Bobinado de BT
- 3.- Bobinado de AT
- 4.- Terminales de BT
- 5.- Bornes de AT
- 6.- Distanciadores elásticos
- 7.- Marco de fijación, chasis y ruedas
- 8.- Aislamiento en resina epóxica

En los próximos puntos, se explicarán partes y procesos para la construcción de estos transformadores.

6.2 La manufactura del núcleo

El núcleo magnético esta formado por laminaciones de acero que tienen pequeños porcentajes de Silicio (alrededor del 4%) y que se denominan "Laminaciones Magnéticas" porque tienen la propiedad de tener perdidas relativamente bajas por efectos de Histéresis y de corrientes circulantes.

Las laminaciones de grano orientado y laminados en frío se disponen o colocan en la dirección del flujo magnético, de manera que el núcleo para transformadores está formado por un conjunto de laminaciones acomodadas en la forma y dimensiones requeridas (sesgadas a 45°).

Con respecto al troquelado que se realiza es importante recordar que el área en que se encuentra troquelada, no es considerada como superficie de conducción por lo que no debe ser considerada en el cálculo del núcleo.

La razón de usar laminaciones de FeSi de grano orientado y laminado en frío en los núcleos de los transformadores es que el silicio aumenta la resistividad del material y como consecuencia disminuye la magnitud de las corrientes parásitas ó las perdidas por estas corrientes eléctricas.

La figura 6.2 – 1 se muestra un núcleo cortado y troquelado.

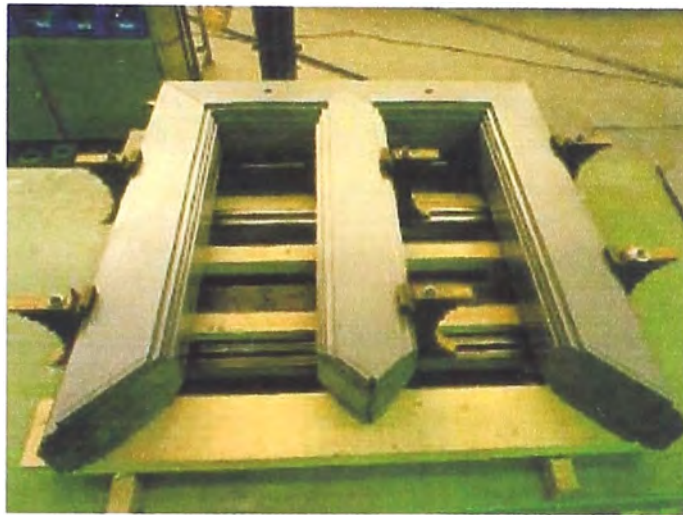


Figura 6.2 – 1 Corte y troquelado del núcleo

6.3 Herrajes, ferretería y armaduras

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. Para nuestro caso usaremos perfiles, espárragos y ruedas de acero ST37, previamente aislados de ser necesario, así como zunchos para la sujeción de las columnas de FeSi, pues el nivel de tensión a la que trabajará el transformador así lo permite. En otros casos, cuando el nivel de tensión y la potencia del transformador es mucho mayor, es necesario usar accesorios de sujeción aislados en resinas de poliéster insaturadas. Los planos 6.3 – 1, 6.3 - 2, 6.3 - 3 y 6.3 - 4 detallan las formas y

dimensiones de los accesorios antes mencionados. Para la unión de los perfiles y facilitar el izamiento del transformador se usan flejes de sujeción de acero antimagnético por la cercanía al núcleo. Estos perfiles también deben estar previamente aislados antes de hacer contacto con el núcleo.

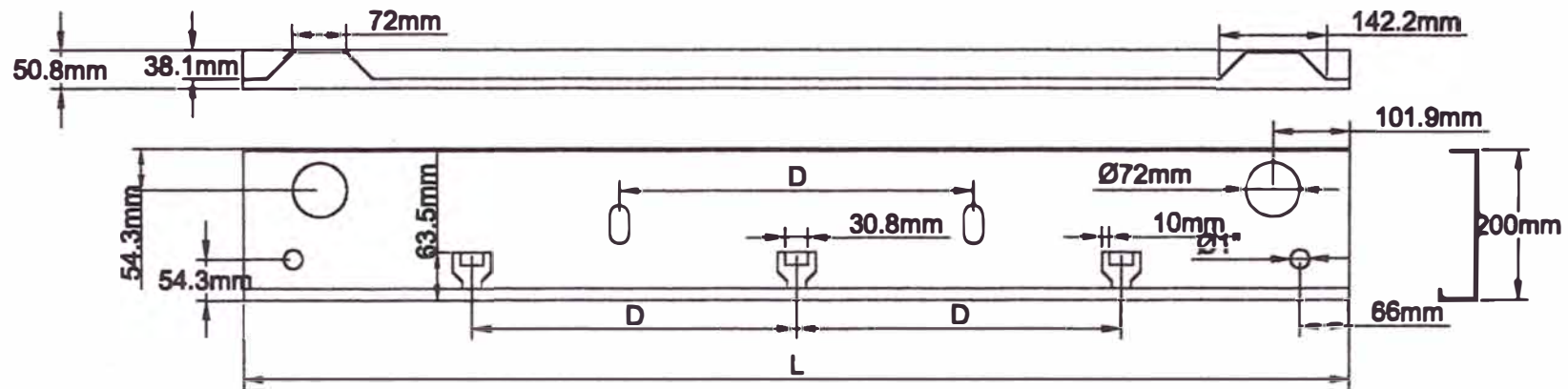
6.4 Materiales Aislantes utilizados

Uno de los puntos más importantes que se debe tener en cuenta durante el diseño y la construcción del transformador es la selección de los materiales aislantes a utilizarse. Actualmente existen en el mercado materiales aislantes en diferentes presentaciones; sin embargo, es necesario utilizar aquel que brinde las mejores ventajas dieléctricas, térmicas y mecánicas para evitar problemas como rajaduras, falta de maleabilidad, etc.

Para este tipo de transformador, tenemos 02 tipos de materiales aislantes los cuales son: el papel y cinta NOMEX, que se utilizará para aislamiento entre espiras y la resina para el aislamiento con el medio.

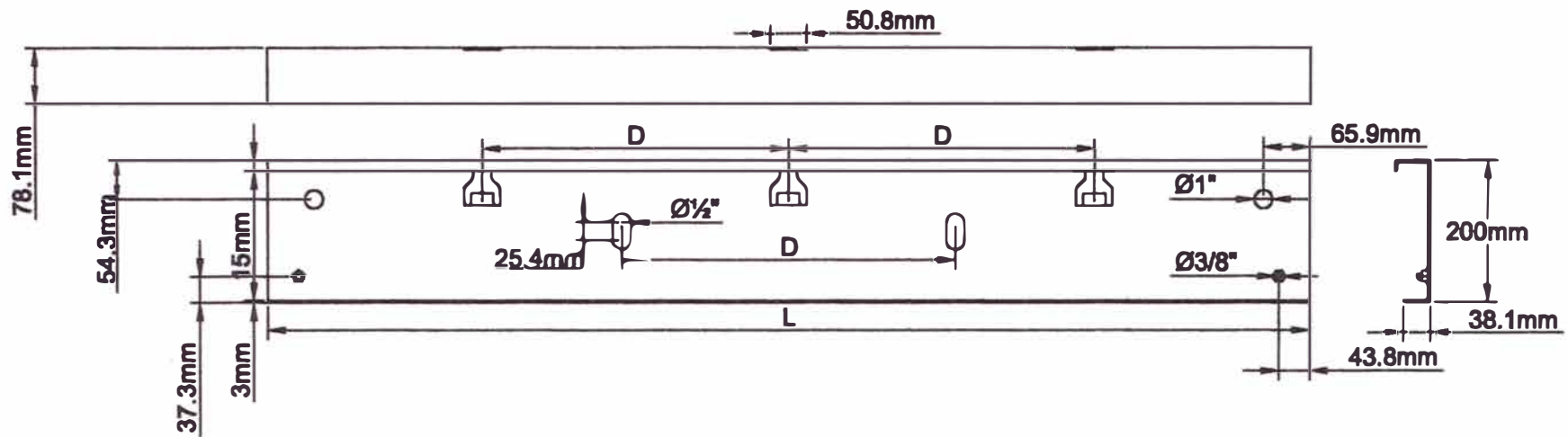
En el apéndice N° 06 se presenta información complementaria del material NOMEX y del Araldite usado.

Para nuestro caso usaremos la composición de resina con harina de cuarzo como carga, la cual aparte de tener buenas características eléctricas, también tendrá buena resistencia mecánica. Sin embargo, el exceso de esta harina puede producir pérdidas relativamente altas, reducir el coeficiente de dilatación de la mezcla, motivo por lo cual, debemos ceñirnos a lo sugerido por el fabricante.



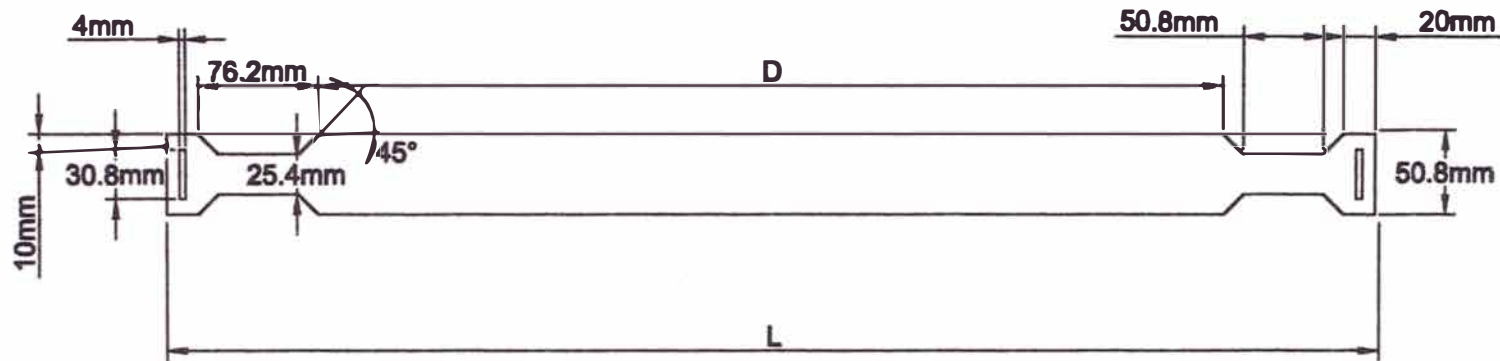
	AL	CU
D	481.66mm	505.28mm
L	1492.99mm	1563.85mm

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: PERFIL SUPERIOR DE SUJECIÓN PARA YUGOS EN AT Y BT	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No PLANO: 6.3 - 1



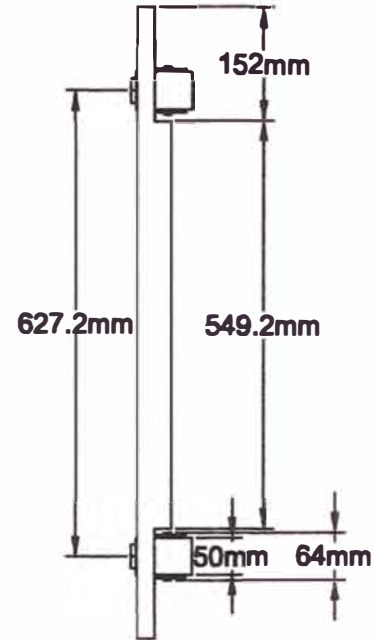
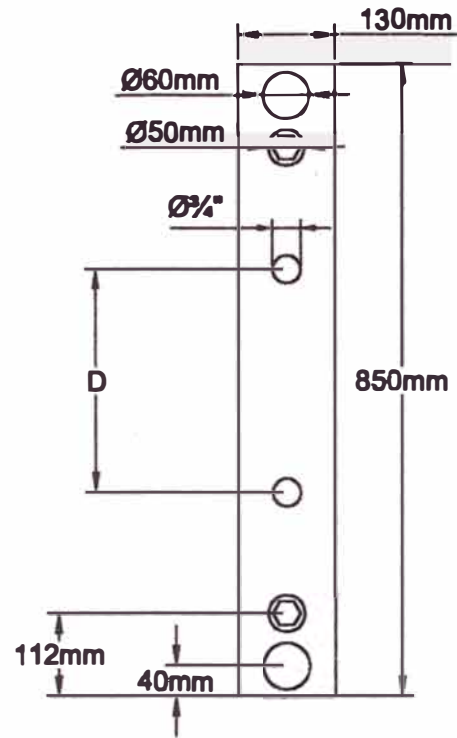
	AL	CU
D	481.66mm	505.28mm
L	1492.99mm	1563.85mm

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.		CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02	USO: PERFIL INFERIOR DE SUJECIÓN PARA YUGOS EN AT Y BT	No PLANO: 6.3 - 2

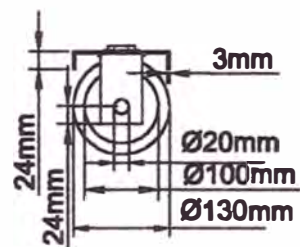


	AL	CU
D	1209.03mm	1128.28mm
L	1412.23mm	1331.48mm

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	ESCALA: S/E
APROBADO: E.Z.S.	USO: FLEJE DE SUJECIÓN DE ACERO ANTIMAGNÉTICO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02		No PLANO: 8.3 - 3



	AL	CU
D	272.33mm	278.58mm



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO:
E.Z.S.

DESCRIPCIÓN:
PLANO MECÁNICO

ESCALA:
S/E

APROBADO:
M.C.A.

USO:
PERFIL CON RUEDAS ORIENTABLES

CANTIDAD:
1/1

FECHA:
21.10.02

No PLANO:
6.3 - 4

6.5 Construcción de los devanados

Para la construcción de este transformador, podemos usar como material conductor al aluminio ó cobre electrolítico. El aluminio tiene menos conductibilidad que el cobre; por lo tanto, a igualdad de resistencia, se necesita mayor sección en el conductor de aluminio que en el cobre. A igualdad de carga y de caída de tensión la sección de aluminio es un 60% mayor que la de cobre, pero el aluminio pesa sólo la mitad que cobre de igual longitud y resistencia.

Para la construcción del bobinado de BT, se efectuará la construcción de tipo bandas helicoidales continuas (folio) con una altura igual al del arrollamiento completo.

De similar forma, para el bobinado de AT, se construirá espiras por medio de bandas o platinas muy delgadas, dispuestas en galletas.

La figura 6.5 – 1 muestra un arrollamiento de aluminio encapsulado con resina para tener una idea clara de lo referido.

Presentación del arrollamiento de AT en bandas y encapsuladas con resina epóxica



Figura 6.5 – 1 Interior de un arrollamiento de AT encapsulado

La disposición del arrollamiento se realizará por medio de enrollados concéntricamente por cada capa con respecto a la columna del transformador. De esta forma daremos seguridad eléctrica al bobinado. La gráfica 6.5 – 1 muestra como en el arrollamiento helicoidal continuo de alambre redondo la tensión de espira puede sumarse hasta alcanzar el doble de la tensión de la capa, mientras que en los arrollamientos en bandas la tensión de la capa no sobrepasa la tensión de espira. Además, esta misma figura muestra en el bobinado de AT la posición del arrollamiento por medio de bandas.

El diagrama 6.5 – 1 muestra un croquis de la forma del bobinado del arrollamiento de AT.

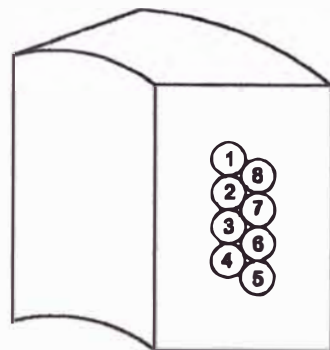
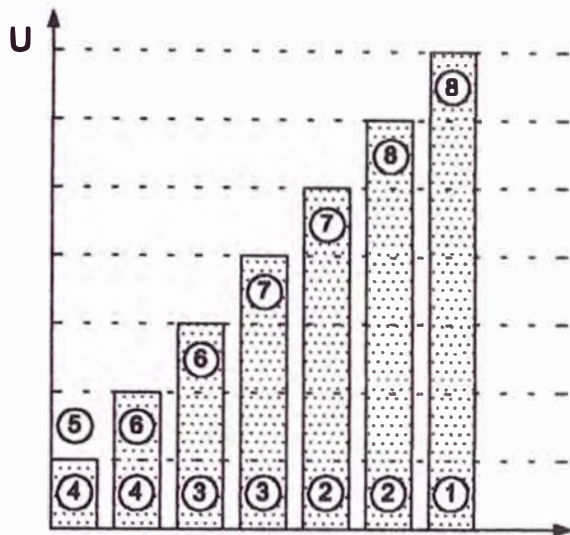
6.6 Instalación de sensores de temperatura

Es muy importante la instalación de sensores de temperatura para el monitoreo de cada uno de los bobinados del transformador. Estos sensores deben ser instalados cercanos a los puntos más calientes de los bobinados antes del encapsulamiento y pueden ser los termistores PT100, pero de acuerdo a solicitud del cliente, se pueden instalar termómetros o todos aquellos que el cliente necesite para su instalación.

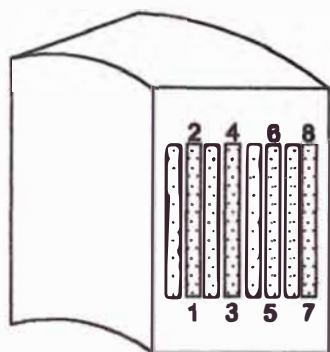
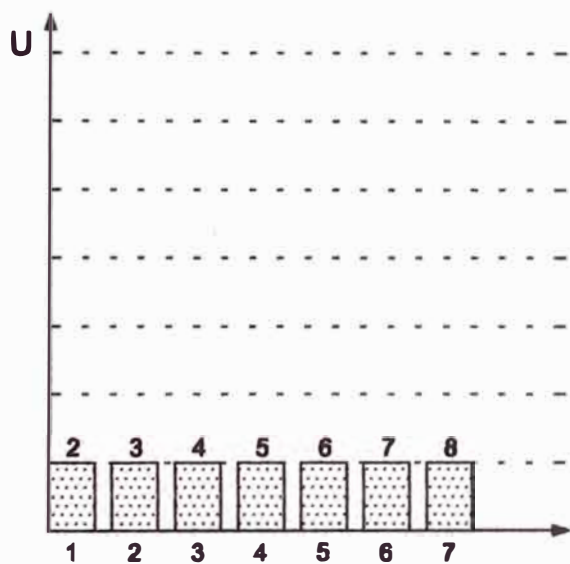
En el apéndice N° 07 se presenta una tabla con valores de resistencia en función de la temperatura de 0°C a 400°C, así como un modelo de controlador/indicador digital de temperatura usado para este caso.

6.7 Encapsulado de los devanados

Para nuestro caso encapsularemos ambos arrollamientos y deben de realizarse de acuerdo a las exigencias que se recomiendan.



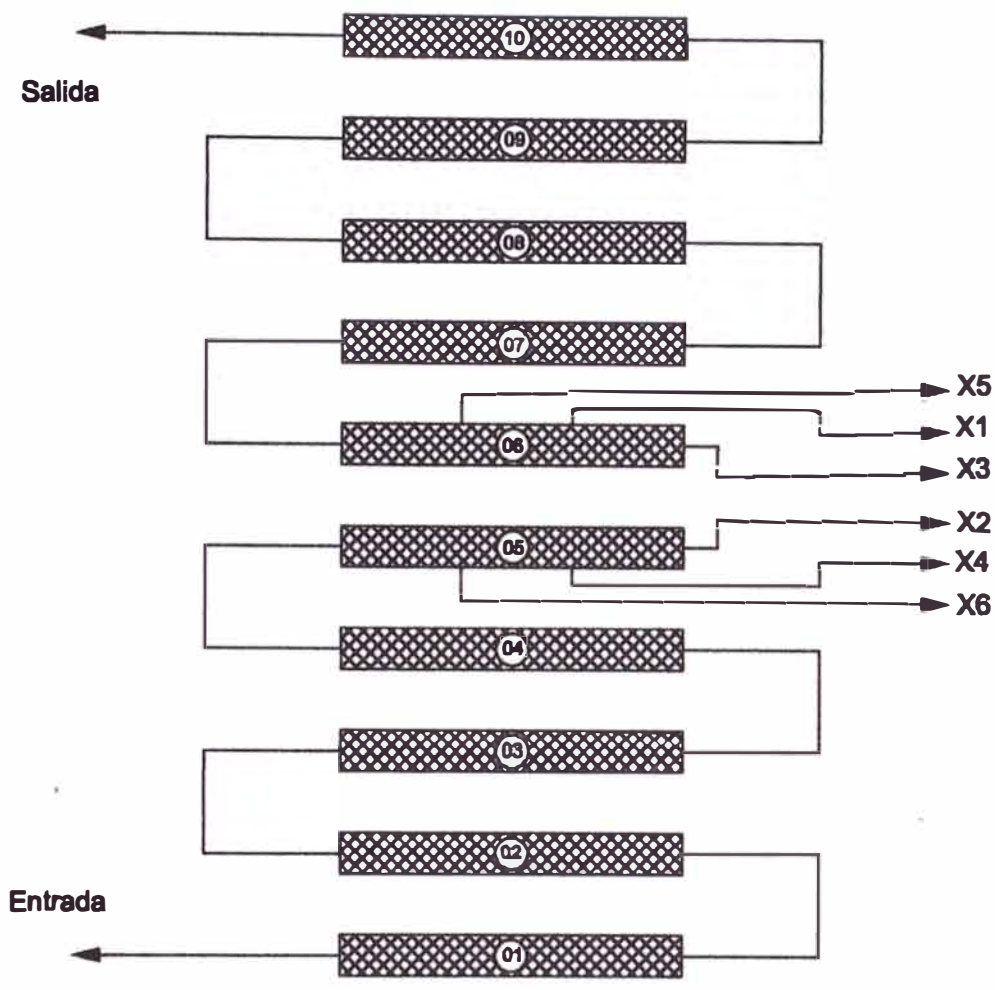
Arrollamiento con hilo redondo y capas continuas



Arrollamiento en banda de 01 espira por capa

GRÁFICA COMPARATIVA ENTRE EL ARROLLAMIENTO HELICOIDAL CONTINUO Y EL ARROLLAMIENTO EN BANDAS

Gráfica 6.5 - 1



LEYENDA:

 : Galleta con conductor desnudos aislado entre espiras con NOMEX.

Derivaciones
 X1 - X2 : 10500V
 X1 - X4 : 10250V
 X3 - X4 : 10000V
 X3 - X6 : 9750V
 X5 - X6 : 9500V

DIBUJADO: E.Z.S.	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI	ESCALA S/E
APROBADO: M.C.A.	DESCRIPCIÓN: CROQUIS DE ARROLLAMIENTO DE A.T.	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02	USO: BOBINADO DEL ARROLLAMIENTO DE A.T. ENCAPSULADO	No DIAGRAMA 6.5 - 1

El encapsulado se realiza en 2 etapas bien definidas, las cuales son las siguientes:

- a) El centrifugado de la mezcla de resinas por un periodo de 15 minutos a una presión de 2mbar, a fin de obtener una masa homogénea.
- b) El llenado al vacío bajo el sistema APG que incluye el tratamiento térmico de cada uno de los encapsulados.

De esta forma, se garantiza que cada una de las bobinas se encontrará completamente aisladas con resina epóxica y sin probabilidad de burbujas de aire en su interior. El color final de la presentación dependerá del colorante orgánico utilizado.

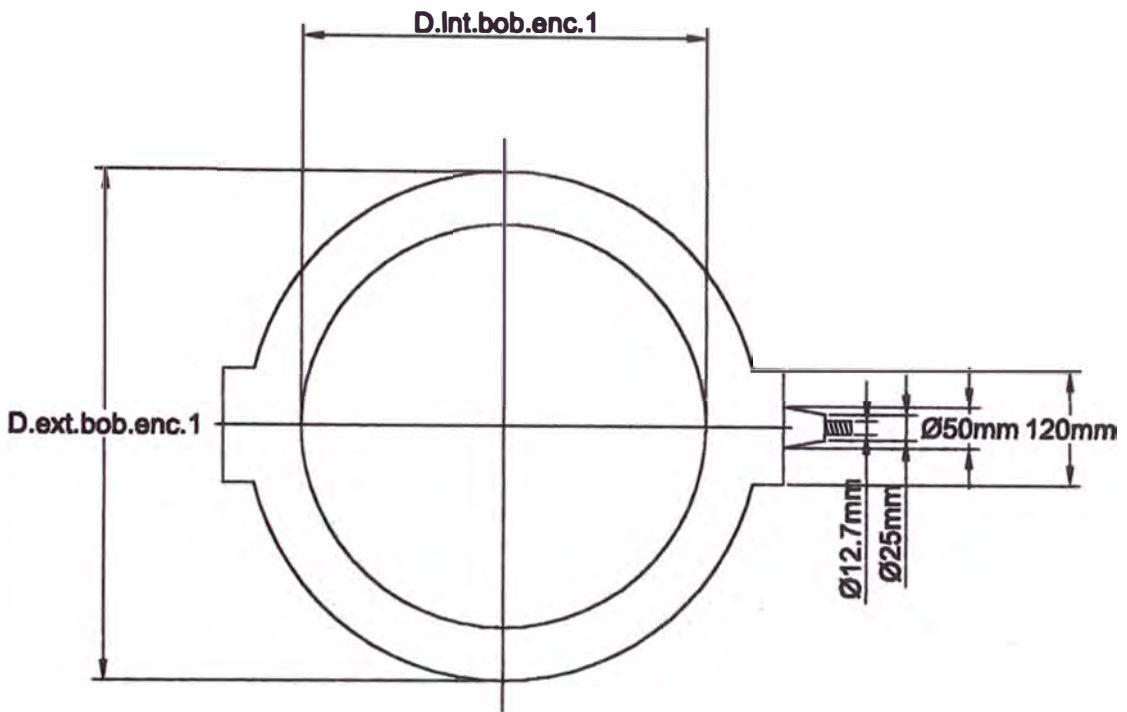
Es necesario recordar que el Araldite CW 229 incluye un flexibilizador orgánico lo que garantiza una mínima probabilidad de rajadura durante la presión o dilatación de la masa final.

Los planos 6.7 – 1, 6.7 – 2 y 6.7 – 3 muestran las formas y dimensiones de un arrollamiento encapsulado en resina.

En el apéndice N° 09 se muestran modelos de instalaciones típicas para encapsulados de arrollamientos de transformadores secos.

6.8 Recubrimiento interior con barniz de semi conducción eléctrica

En máquinas eléctricas que tienen una tensión mayor a 5kV con frecuencia se puede notar descargas producto del efecto de corona. El campo eléctrico es mucho más alto con la inclusión del aire entre ambos devanados, lo que originaría descargas que pueden destruir los aislamientos y como consecuencia a la maquina.

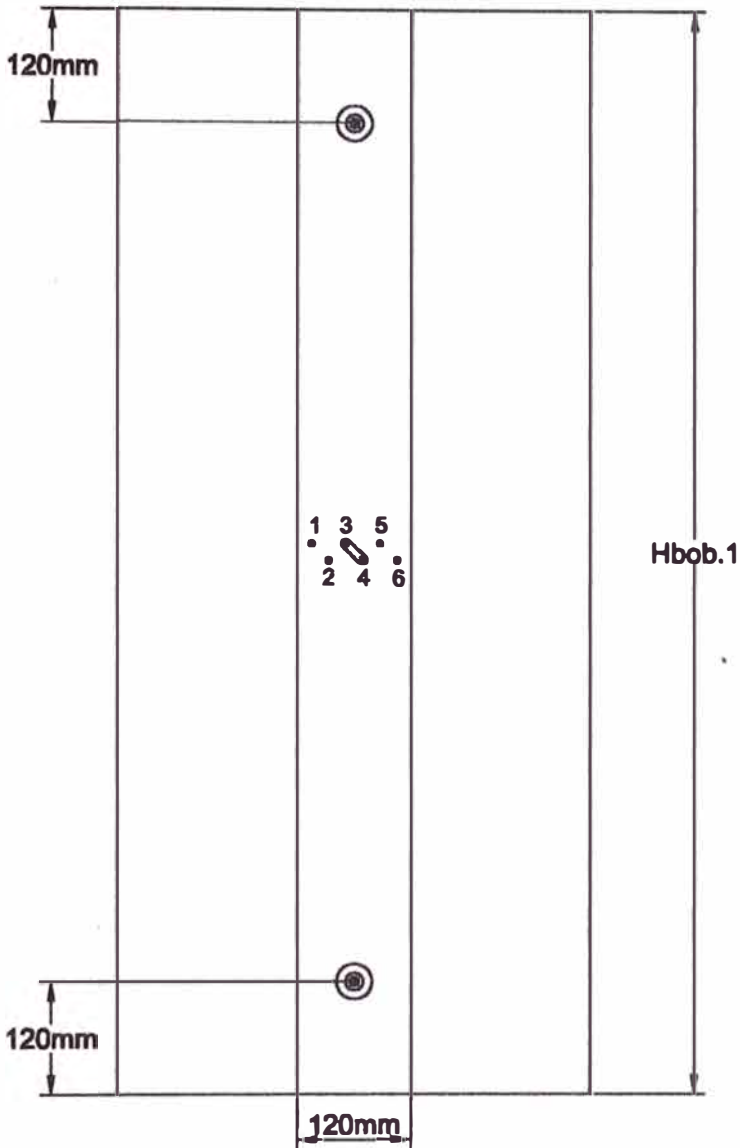


LEYENDA:

 : Resina

	AL	CU
$D.int.bob.enc.1$	331.66mm	322.12mm
$D.ext.bob.enc.1$	469.66mm	493.28mm

DIBUJADO: E.Z.S.	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02	USO: BOBINA DE A.T. ENCAPSULADA EN RESINA	No PLANO: 6.7 - 1

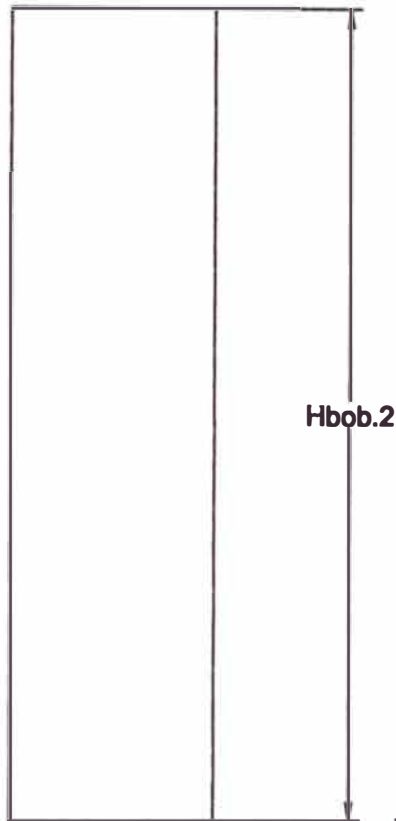
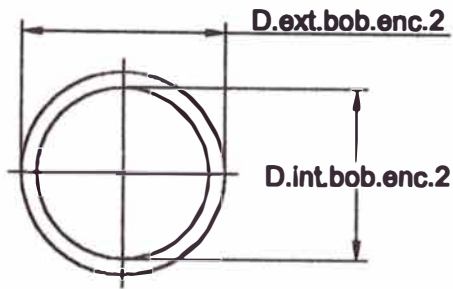


LEYENDA:

□ : Resina

	AL	CU
Hbob.1	1228mm	1141mm

DIBUJADO: E.Z.S.	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.08.02	USO: BOBINA DE A.T. CON ENCAPSULADO DE RESINA	No PLANO: 6.7 - 2



LEYENDA:

: Resina

	AL	CU
D.int.bob.enc.2	243.87mm	250.44mm
D.ext.bob.enc.2	286.97mm	294.27mm
Hbob.2	1228mm	1141mm

DIBUJADO: E.Z.S.	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	DESCRIPCIÓN: PLANO MECÁNICO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.08.02	USO: BOBINA DE B.T. ENCAPSULADO EN RESINA EPÓXICA	No PLANO: 8.7 - 3

Ante esta situación, es necesario aplicar una capa de barniz semi conductor en la superficie del aislamiento. De no colocar este barniz semi conductor, con el tiempo, las pérdidas y $\text{tg}\delta$ se incrementan. En la figura 6.8 - 1 se muestra un devanado de AT con el recubrimiento de una capa de barniz conductor.



Figura 6.8 – 1 Arrollamiento encapsulado cubierto interiormente con barniz semi conductor

6.9 Selección y montaje de los aisladores

Para este tipo de transformadores, sólo es necesario colocar aisladores en el lado de BT, los cuales sirven esencialmente para brindar una fijación mecánica y un aislamiento contra masa.

Para el lado de AT no es necesario aisladores, pues solo puede realizarse las conexiones del transformador al sistema eléctrico en los terminales que define la conexión del transformador. Recordemos que para el neutro es necesario considerar un aislador en el lado de BT y brindar la salida, tal como se indica en la conexión del transformador.

6.10 Conexión de los devanados

La conexión de los devanados se encontrará en Dyn5, tal como lo indica su diseño, pero si se desea cambiar la conexión del transformador, se puede realizar sin restricción alguna. Los conectores son varillas de cobre con terminales para realizar las conexiones. Asimismo, estas varillas de cobre se encuentran aisladas por medio de la resina utilizada en el encapsulamiento de las bobinas. Si se desea cambiar el grupo de conexión es posible usar cables debidamente aislados. El plano 6.14 – 1 muestra un transformador encapsulado con las conexiones en el lado de AT.

6.11 Tomas para la conmutación

Debido a que en la mayoría de transformadores de distribución se necesita un conmutador sin carga, este diseño no es la excepción, pues también es posible realizarlo. Para ello, en el exterior del encapsulamiento de cada bobina se instalaron tuercas conectadas interiormente con los arrollamientos de la bobina de acuerdo a los cálculos obtenidos. La conmutación se debe realizar cuando el transformador se encuentre desenergizado y por medio de una platina se realiza el puente necesario. El plano 6.14 – 2 muestra un transformador seco encapsulado en resina epóxica con taps de conmutación en lado de AT.

6.12 Distanciadores flexibles

Para fijar los arrollamientos encapsulados entre sí, es necesario utilizar distanciadores flexibles que son fabricados también de Araldite CW 229, Endurecedor HW 229 y colorante orgánico. Estos distanciadores flexibles tienen una ranura en la cual se encuentra una cuña de vetronite

semi puesta para que los arrollamientos durante su funcionamiento se dilaten y estos distanciadores puedan desplazarse sin problema. El plano 6.12 -1 muestra la forma y dimensiones de estos distanciadores flexibles.

6.13 Placas de datos

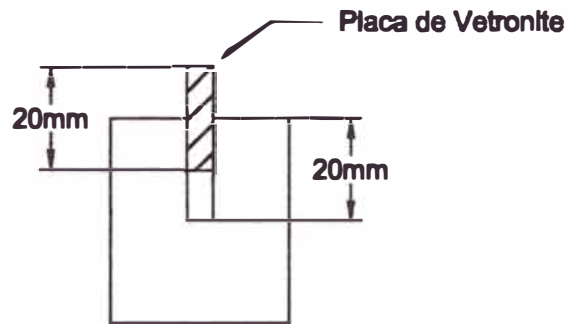
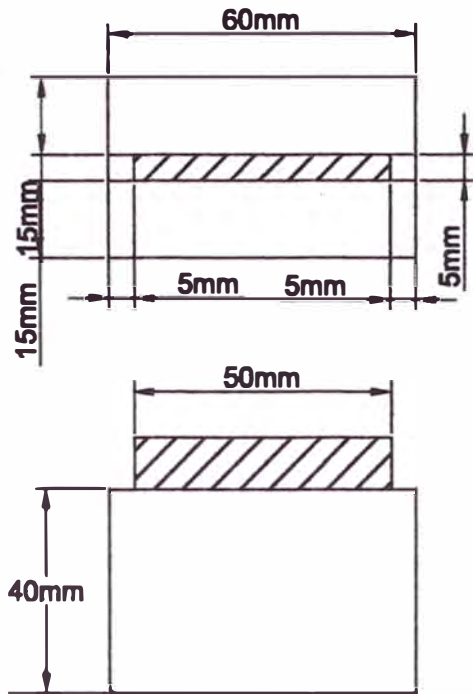
Es importante tener presente en el equipo, una buena placa de datos, a fin de evitar dudas y equivocaciones al personal que va realizar el montaje del transformador. Esta placa deberá ser instalada por medio de Stove Bolts o remaches de aluminio para garantizar su permanencia en el equipo en todo momento, evitar extravíos y el desconocimiento de las características eléctricas del equipo.

Esta placa de datos deberá estar fabricada de plancha aluminio de aproximadamente 1mm de espesor, con una grabación que permita la lectura clara de las características eléctricas del equipo.

6.14 Pintado y acabado

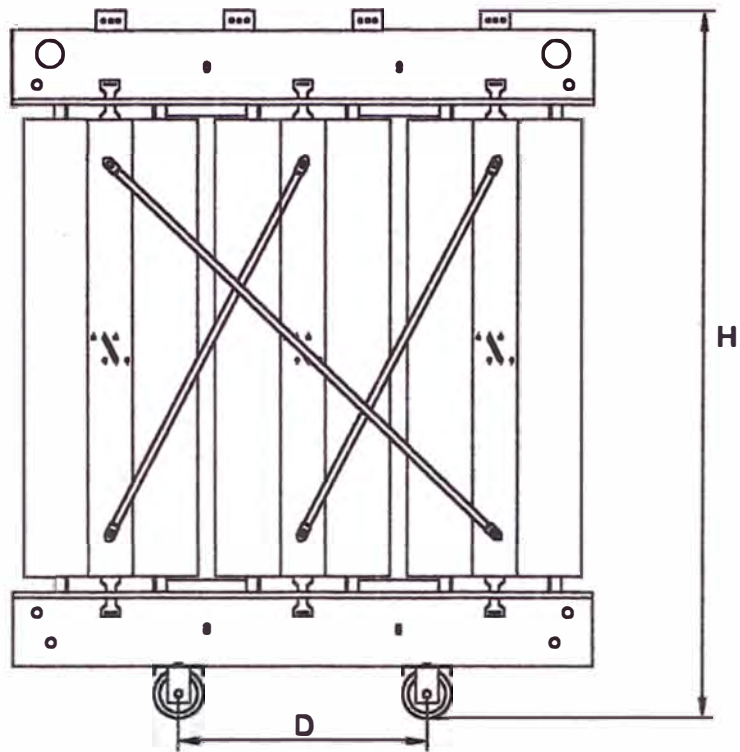
Finalmente, la maquina debe ser cubierta con una pintura de acabado. Previamente, todos los accesorios debieron ser arenados y pintados con Zincromato Epóxico, que es un producto formulado con resinas epóxica y es utilizado como fondo anticorrosivo. Este fondo confiere resistencia contra todos los agentes atmosféricos, aun en zonas marinas. Con ello, se puede complementar el proceso con una pintura esmalte epóxica que opondrá resistencia a los ambientes corrosivos en el transformador.

En el apéndice N° 10 se brinda información referencial de un tipo de pintura a usar en la construcción de los transformadores secos.



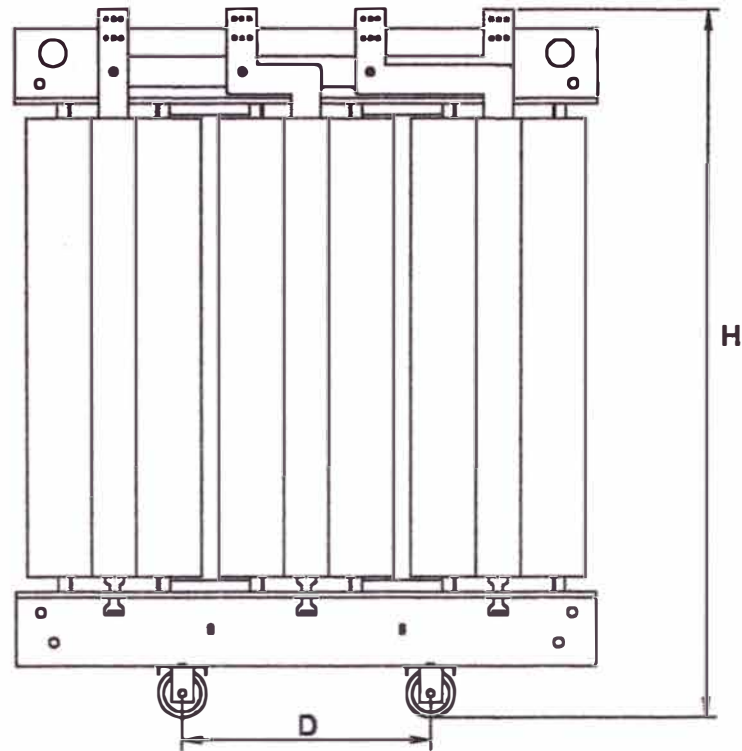
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S	DESCRIPCION: PLANO MECANICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A	USO: DISTANCIADORES FLEXIBLES	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02		No PLANO: 6.12 - 1

Al cabo del todo el trabajo descrito, obtendremos un transformador seco encapsulado en resina epóxica, tal como lo muestran los planos 6.14 – 1 y 6.14 - 2.



	AL	CU
D	1779.46mm	670mm
H	1855.22mm	670mm

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: PLANO ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: FRONTIS DE TRANSFORMADOR SECO ENCAPSULADO EN RESINA EPÓXICA - LADO AT	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02		No PLANO: 6.14 - 1



	AL	CU
D	1779.46mm	670mm
H	1855.22mm	670mm

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: PLANO ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: POSTERIOR DE TRANSFORMADOR SECO ENCAPSULADO EN RESINA EPÓXICA - LADO BT	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02		No PLANO: 6.14 - 2

CAPITULO VII

PRUEBAS Y CONTROLES REALIZADOS EN EL TRANSFORMADOR

7.1 Pruebas y controles previos

Durante los trabajos de fabricación, el transformador se encuentra sujeto a pruebas previas y controles durante el proceso, lo que determinan la continuación de los trabajos que se encuentran realizando. Estas pruebas y controles se presentan a continuación.

7.1.1 Control y verificación de las dimensiones según hoja de fabricación y calculo

Durante el proceso de construcción del transformador y antes de realizar los trabajos de montaje y encapsulado de las bobinas, es necesario un control integral de las dimensiones de todo los componentes del transformador a fin de evitar errores durante las pruebas finales. Entre las medidas más importantes de controlar tenemos:

- a) Dimensiones del núcleo magnético
- b) Control de las dimensiones de las bandas de folio para AT
- c) Control de las dimensiones de las bandas de folio para BT
- d) Dimensiones de las bobinas sin encapsulamiento
- e) Dimensiones de las bobinas con encapsulamiento

7.2 Pruebas y mediciones finales

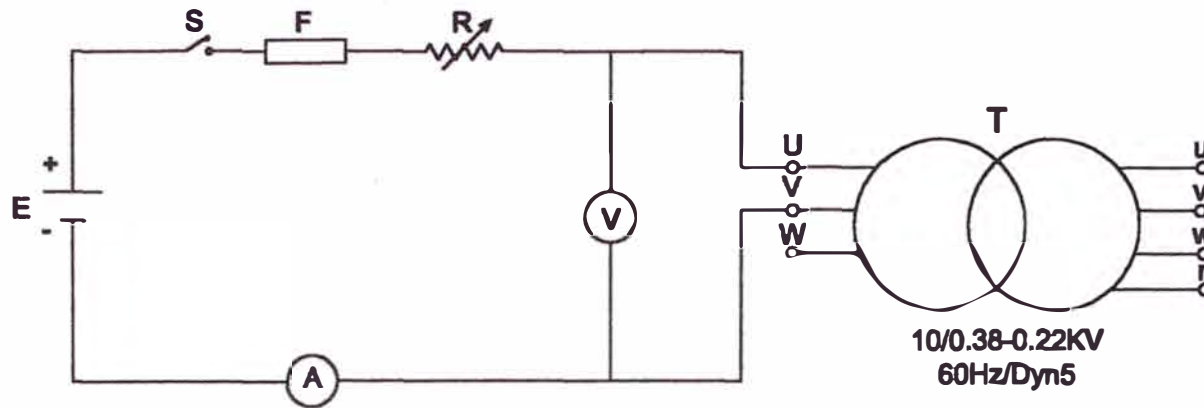
Una vez concluidos los trabajos descritos en los capítulos anteriores, se procede a realizar las pruebas finales, las cuales se basan en la norma IEC 60076, IEC 60726 y NTP 370.002, quienes fueron tomados en un inicio como referencia.

7.2.1 Medición de la resistencia ohmica de los devanados

Esta prueba se utiliza para medir la resistencia ohmica de cada devanado y de esta manera verificar el cálculo de las perdidas por efecto Joule (I^2R), así como la componente de caída de voltaje por resistencia y la elevación de temperatura bajo carga. Otro aspecto que revela a esta prueba, es para verificar de que las conexiones internas están hechas correctamente.

Para efectuar estas mediciones, se hace uso de una fuente de corriente Directa con voltímetros y amperímetros de rangos apropiados. Durante la prueba se debe tomar la medición de la temperatura por medio de un termómetro. Como medida de precaución para evitar riesgos por voltajes inducidos, se debe poner en corto circuito el devanado al que se efectúa la medición.

La resistencia de cada devanado se obtiene por simple aplicación de la ley de Ohm $R=E/I$, es decir, dividiendo el voltaje aplicado entre la corriente que circula. En el diagrama 7.2 – 1, se observa la forma de efectuar la medición.



LECTURAS:

Tambiente			
AT	RU-v	BT	RU-v
	RU-w		Rv-n
	RV-w		Rw-n

LEYENDA:

- E : Fuente de tensión continua de 12VDC
- S : Interruptor
- F : Fusible de 1A
- R : Reóstato de 100Ω, 1A
- V : Voltímetro de CC
- A : Amperímetro de CC
- T : Transformador bajo prueba
- U, V, W : Terminales de AT del transformador
- u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA OHMICA DE LOS DEVANADOS	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 1

7.2.2 Medida de resistencia de aislamiento

La medida de Resistencia de aislamiento en el transformador sirve no solo para verificar la calidad del aislamiento en el transformador, sino que también permite verificar el grado de humedad y en ocasiones defectos severos de aislamiento.

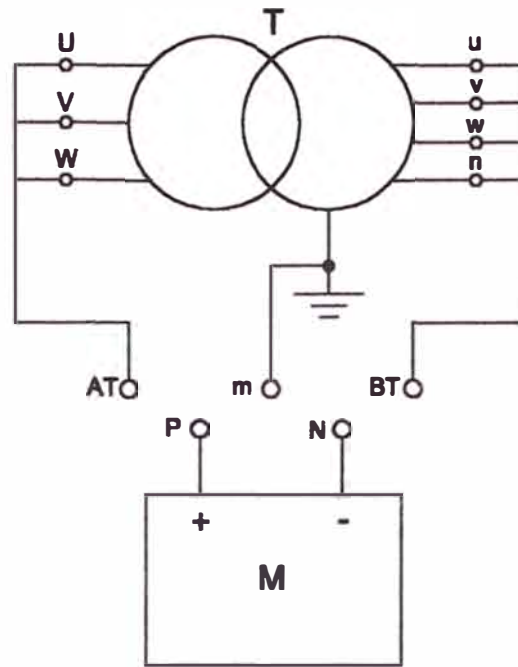
En el diagrama 7.2 – 1, se especifica las medidas que se deben efectuar.

Para determinar el valor, la regla establece que el valor mínimo de resistencia de aislamiento debe ser de $1M\Omega$ por cada 1000V de prueba, aplicados durante 1 minuto (60 segundos)

7.2.3 Prueba de polaridad

Esta prueba se realizan para determinar (cuando es necesario) como se encuentran devanadas unas con respecto a otras las bobinas de un transformador de modo que la dirección del voltaje secundario se puede conocer cuando se conecte en paralelo los transformadores o bien formando bancos polifásicos. En general los terminales se marcan del lado de AT como H1, H2 y H3 leyendo hacia el lado izquierdo. En el lado de BT con las letras X1, X2, X3 leyendo del lado izquierdo hacia el lado derecho para polaridad sustractiva y de derecha a izquierda para polaridad aditiva.

La forma de determinar la polaridad de un transformador es por medio del uso de una fuente de corriente continua y por medio del llamado “Golpe Inductivo”. Se conecta una batería o fuente de corriente continua en serie con switch abierto al devanado de BT del transformador la terminal conectada al lado positivo de la fuente se marca con X₁. Un voltímetro de



LECTURAS

T ambiente	
5KV	AT/BT
	AT/m
0.5KV	BT/m

LEYENDA:

M : Megóhmetro

A : Lado de AT en cortocircuito

B : Lado de BT en cortocircuito

m : Punto a masa del transformador

T : Transformador bajo prueba

U, V, W : Terminales de AT del transformador

u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO:
E.Z.S.

DESCRIPCIÓN:
DIAGRAMA ELÉCTRICO

ESCALA:
S/E

APROBADO:
M.C.A.

USO:
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE
AISLAMIENTO

CANTIDAD:
1/1

FECHA:
21.09.02

No DIAGR.:
7.2 - 2

corriente continua se conecta a través de las terminales de AT, cuando el switch se cierra se induce momentáneamente un voltaje en el devanado de AT. Si en este momento, la aguja del voltímetro se mueve al interior de la escala, la terminal del transformador conectada al lado positivo del voltímetro se marca con H_1 y la otra con H_2 .

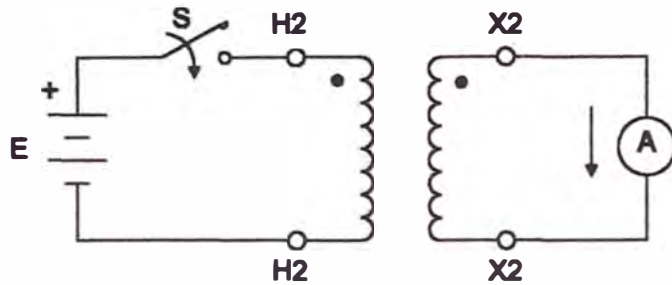
El diagrama 7.2 – 1 muestra la forma de realizar la prueba de polaridad por cada bobina de un transformador.

7.2.4 Medida de la relación de Transformación y verificación del grupo de conexión

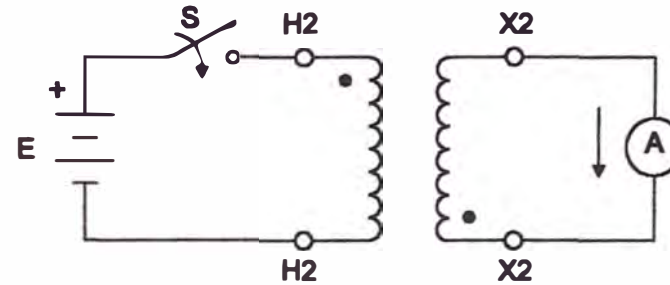
La relación de transformación de un transformador es la relación de voltajes del devanado de AT al devanado de BT para transformadores de dos devanados.

Actualmente, el método de medición de la relación de transformación es por medio de un aparato denominado DTR (Digital Transformer Ratiometer) y que consiste de una serie de ajustes para dar suficiente precisión a la lectura, que se toma conectando cables a cada uno de los devanados del transformador (por parejas). El aparato es en realidad una fuente de voltaje regulada.

Como se ha mencionado antes, para los transformadores trifásicos, es necesario conocer la polaridad de cada grupo de devanados de fase, así como el desplazamiento angular que puede existir entre los correspondientes devanados secundarios antes de que las unidades se conecten en paralelo o formando bancos.



POLARIDAD SUSTRATIVA



POLARIDAD ADITIVA

LEYENDA:

E : Fuente de tensión continua de 12VDC

S : Interruptor

A : Amperímetro de CC de aguja

H1, H2 : Terminales de AT de la bobina

X1, X2 : Terminales de BT de la bobina

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO M.C.A.	USO: PRUEBA DE POLARIDAD POR BOBINA	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 3

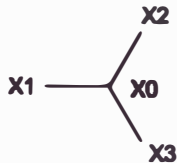
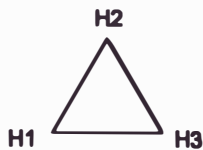
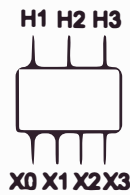
Un transformador trifásico típico tiene una placa de datos o características que incluye un diagrama (llamado diagrama de vector de voltajes) que muestra las relaciones entre los voltajes de las tres fases de acuerdo a lo mostrado en la tabla figura 7.2 – 1. El desplazamiento angular entre los devanados de AT y BT, es el ángulo entre las líneas que pasan del punto neutro del diagrama de vector de voltajes, a través de H_1 y X_1 respectivamente.

Para verificar el desplazamiento de fases una de las terminales H se conecta a una de las terminales X como se muestra en la figura 7.2 – 1. El primario del transformador se conecta a una fuente de voltaje trifásica a bajo voltaje (preferentemente mucho más baja que el voltaje nominal que el secundario, como medida de seguridad) y el voltaje se mide entre terminales como se muestra en diagrama 7.2 – 4. Las relaciones de voltaje deben estar de acuerdo con las comparaciones indicadas.

Para nuestro caso, el transformador diseñado presenta la siguiente tabla de medidas de relación de transformación con el instrumento DTR:

AT	BT	Relación DTR
10500	220	82.666
10250	220	80.698
10000	220	78.730
9750	220	76.761
9500	220	72.825

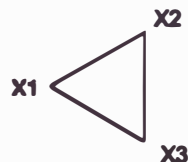
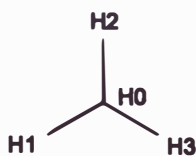
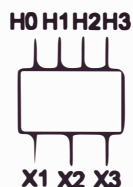
Tabla 7.2 – 1 Resultados obtenidos en el DTR



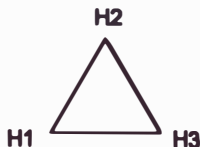
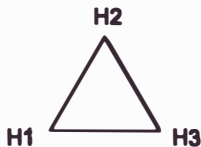
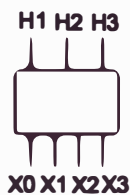
Conectar H1 a X1
Medir :
H3X2, H3X3, H1H3, H2X2,
H2X3

Relaciones de voltaje:

- (1) $H3X2 = H3X3$
- (2) $H3X2 < H1H3$
- (3) $H2X2 < H2X3$
- (4) $H2X2 < H1H3$



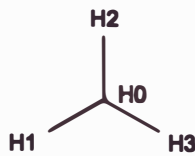
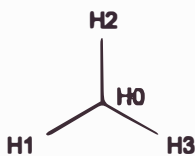
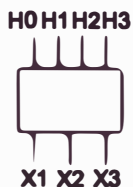
DEZPLAZAMIENTO ANGULAR DE 30°



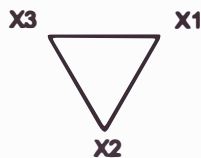
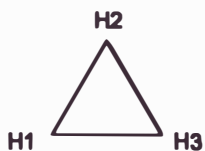
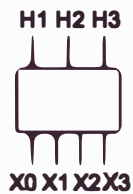
Conectar H1 a X1
Medir :
H2X2, H3H3, H1H2, H1H3

Relaciones de voltaje:

- (1) $H2X3 = H3X2$
- (2) $H2X2 < H1H2$
- (3) $H1X2 < H2H3$



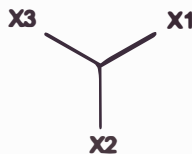
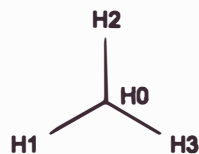
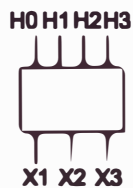
DEZPLAZAMIENTO ANGULAR DE 0°



Conectar H1 a X1
Medir :
H2X2, H3H3, H1H2, H1H3

Relaciones de voltaje:

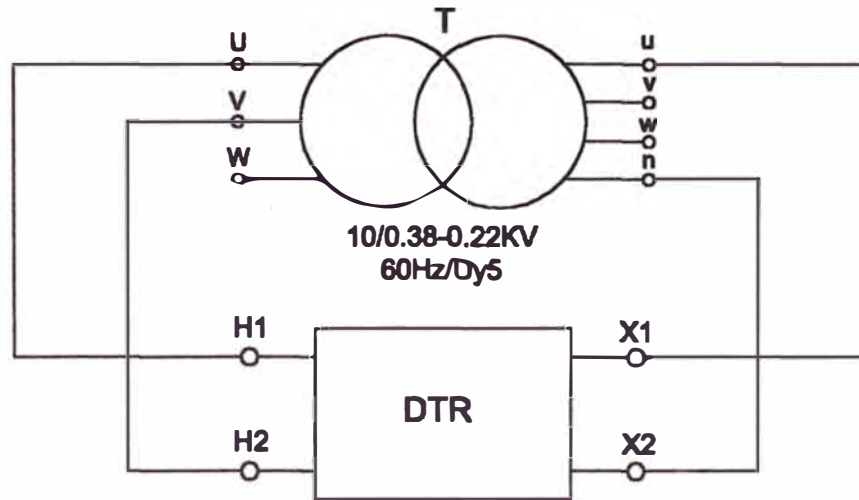
- (1) $H2X2 = H3X3$
- (2) $H1H2 < H1X2$
- (3) $H1H3 < H3X3$



DEZPLAZAMIENTO ANGULAR DE 180°

MARCAS DE POLARIDAD DE TRANSFORMADORES MOSTRANDO LOS
DIAGRAMAS VECTORIALES DE VOLTAJE

Figura 7.2 - 1



LECTURAS

R_{Uv}
R_{Uw}
R_{vw}

NOTA : La medición deberá efectuarse para cada posición del tap

LEYENDA:

- DTR : Digital transformer ratiometer
- H1, H2 : Terminales de AT para el DTR
- X1, X2 : Terminales de BT para el DTR
- T : Transformador bajo prueba
- U, V, W : Terminales de AT del transformador
- u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN CON DTR	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 4

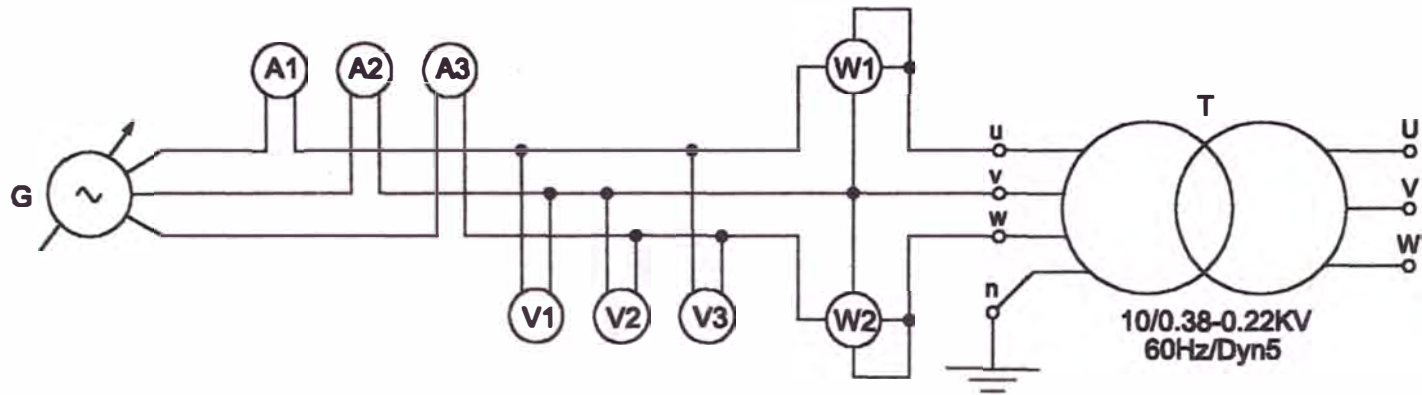
7.2.5 Prueba de vacío

Tiene por finalidad medir las pérdidas cuando el transformador se encuentra en circuito abierto. Durante la prueba de vacío del transformador en circuito abierto, se aplica el voltaje nominal del transformador por el devanado de bajo voltaje y se miden los voltajes del arrollamiento de AT y de BT, se mide la corriente de vacío y la potencia generada que representa las pérdidas de vacío en el núcleo del transformador. En el diagrama 7.2 – 5 se presenta el circuito para realizar esta prueba.

En conclusión, las pérdidas en vacío son la suma de las pérdidas por Histéresis, más las pérdidas por corrientes inducidas en el núcleo (corriente de Foucault).

7.2.6 Prueba de cortocircuito

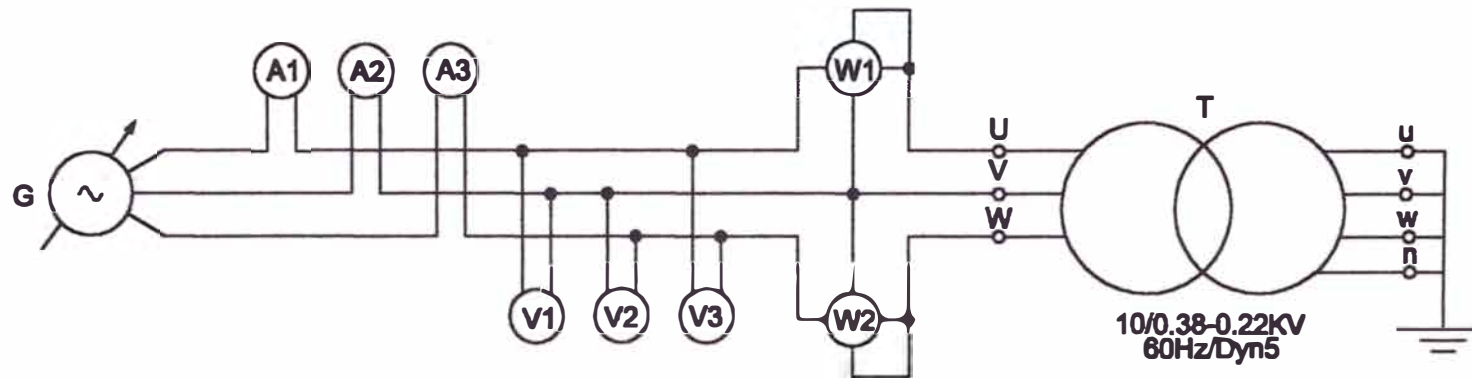
Durante la prueba el devanado BT se conecta en corto circuito y se aplica por el devanado de AT, el voltaje regulado que por lo general es del orden del 5% referencialmente del voltaje del devanado alimentado. La corriente primaria medida no debe exceder al valor nominal de la corriente del devanado alimentado (primario), la aplicación del voltaje se hace regulada para evitar sobrecalentamiento y en consecuencia un cambio rápido de la resistencia del devanado. Con esta prueba se miden directamente los valores de las pérdidas de los devanados, la corriente de cortocircuito o nominal del devanado alimentado y la caída de voltaje por impedancia o voltaje de cortocircuito. En el diagrama 7.2 – 6 se muestra el circuito eléctrico para realizar esta prueba.



LEYENDA:

G : Generador de tensión alterna regulada
 A1, A2, A3 : Amperímetros de corriente alterna
 V1, V2, V3 : Voltímetros de corriente alterna
 W1, W2 : Watímetros de corriente alterna
 T : Transformador bajo prueba
 U, V, W : Terminales de AT del transformador
 u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: PRUEBA DE VACÍO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 5



LEYENDA:

G : Generador de tensión alterna regulada
 A1, A2, A3 : Amperímetros de corriente alterna
 V1, V2, V3 : Voltímetros de corriente alterna
 W1, W2 : Watímetros de corriente alterna
 T : Transformador bajo prueba
 U, V, W : Terminales de AT del transformador
 u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: PRUEBA DE CORTOCIRCUITO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 6

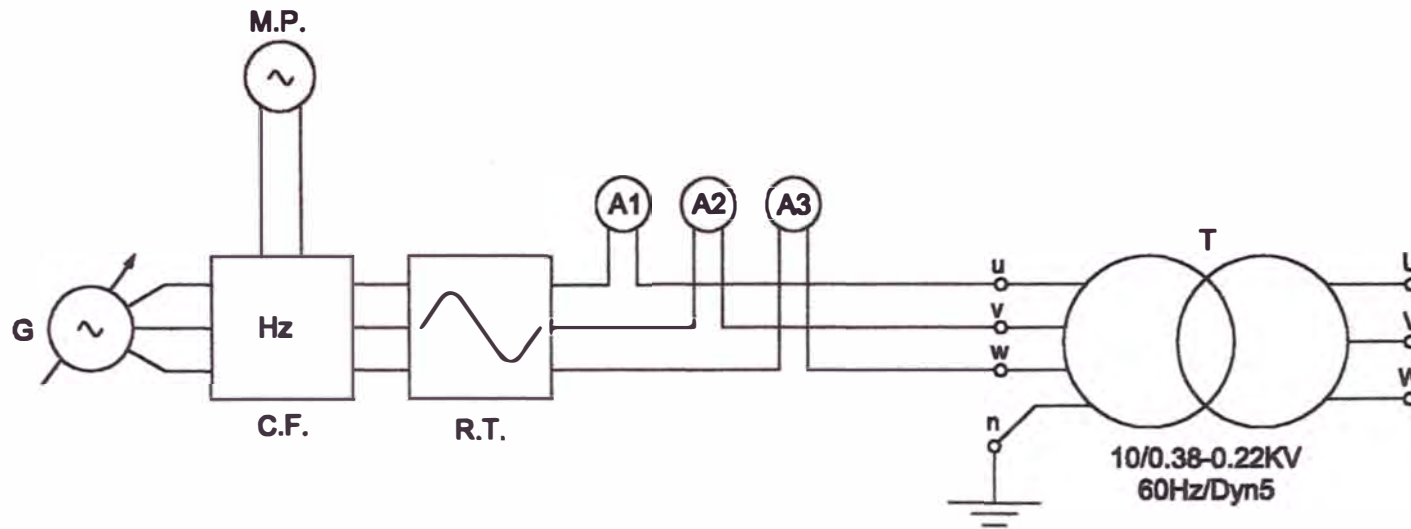
7.2.7 Prueba de tensión inducida

La resistencia dieléctrica entre espiras, entre capas de espiras, entre bobinas y entre fases de aislamiento se prueba por medio de esta prueba. Aquí, uno de los devanados, por lo general, el de bajo voltaje, se energiza, en tanto que los otros se dejan en circuito abierto. Se miden las corrientes y voltajes del lado del suministro por medio de amperímetros y selectores para el voltímetro. El voltaje de prueba se proporciona por medio de una fuente externa, que consiste en un grupo motor-generador, mediante el cual el voltaje se eleva gradualmente desde cero hasta el doble de su valor nominal. De la misma forma sucede con la frecuencia pues se duplica a 120Hz. La prueba se mantiene durante 1 minuto y después se reduce el voltaje suavemente hasta cero. El diagrama 7.2 – 7 muestra el esquema eléctrico para realizar la prueba.

7.2.8 Prueba de tensión aplicada

Esta prueba se realiza para verificar la resistencia de aislamiento entre los devanados que operan a distintos voltajes y entre cada uno de estos devanados y las partes conectadas a tierra del transformador.

El devanado que se va a probar se conecta en corto circuito y se conecta al terminal de AT del transformador en cascada que sirve para alimentar al transformador bajo prueba. El circuito de retorno se conecta al punto de tierra del transformador bajo prueba. El voltaje se aplica en forma gradual (regulada) y continua desde cero hasta el valor que indica la norma, dependiendo de las características eléctricas del transformador.



LEYENDA:

G : Generador de tensión alterna regulada

M.P. : Motor primo

C.F. : Convertidor de frecuencia

R.T. :Regulador de tensión

A1, A2, A3 : Amperímetros de corriente alterna

T : Transformador bajo prueba

U, V, W : Terminales de AT del transformador

u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO:
E.Z.S.

DESCRIPCIÓN:
DIAGRAMA ELÉCTRICO

ESCALA:
S/E

APROBADO:
M.C.A.

CANTIDAD:
1/1

FECHA:
21.08.02

USO:
PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA

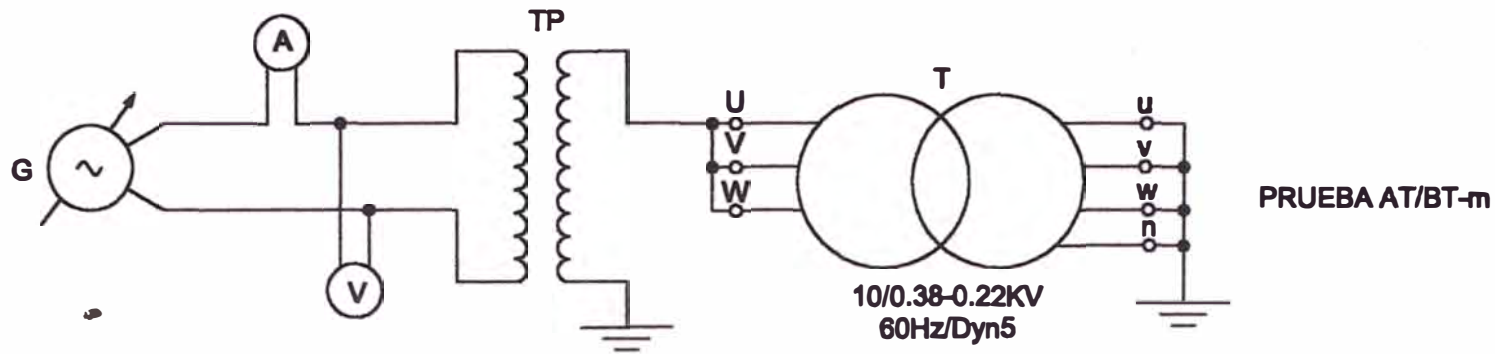
No DIAGR.:
7.2 - 7

El voltaje de prueba se aplica durante 1 minuto y si desde el momento de inicio de la prueba la corriente no muestra ningún incremento, el voltaje de alimentación no decrece y no se presenta ruptura dieléctrica o se escucha explosión en el interior del transformador, se dice que el devanado soportó la prueba. El mismo procedimiento se aplica para cada devanado. Por lo general se inicia la prueba por el devanado de AT. A continuación se da la tabla de prueba 7.2 – 2, obtenida de la Norma IEC 60726:

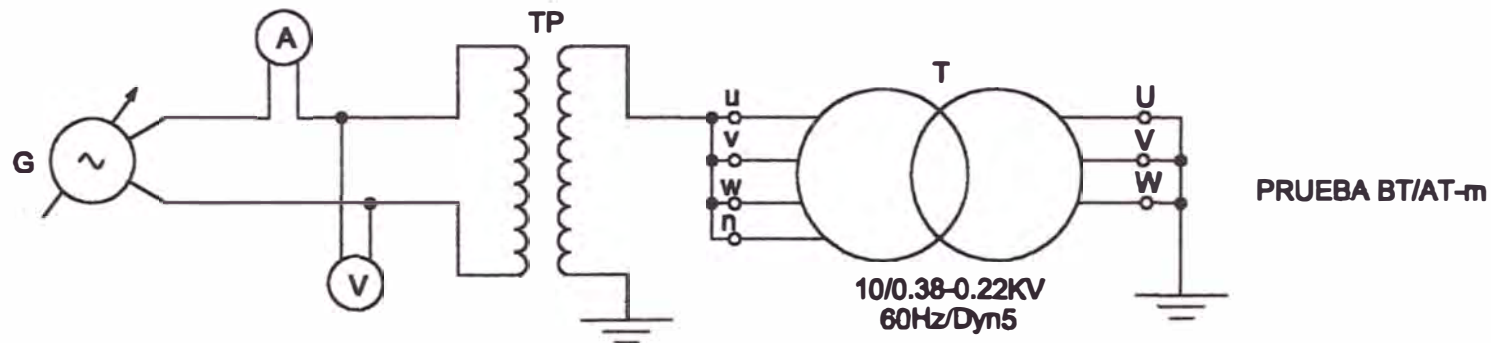
El voltaje máximo para el equipo U_m (r.m.s) (KV)	La frecuencia de poder de duración corta tasada resiste el voltaje	El impulso del relámpago tasado resiste el voltaje (valor máximo) (KV)	
		Lista 1	Lista 2
≤ 1.1	3	-	-
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170

Tabla 7.2 – 2 Tabla patrón para prueba de tensión aplicada

El diagrama 7.2 – 8 muestra el conexionado para realizar la prueba.



PRUEBA AT/BT-m



PRUEBA BT/AT-m

LEYENDA:

G : Generador de tensión alterna regulada

A : Amperímetro de corriente alterna

V : Voltímetro de corriente alterna

TP : Transformador para prueba (cascada)

T : Transformador bajo prueba

U, V, W : Terminales de AT del transformador

u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO:
E.Z.S.

DESCRIPCIÓN:
DIAGRAMA ELÉCTRICO

ESCALA:
S/E

APROBADO:
M.C.A.

CANTIDAD:
1/1

FECHA:
21.09.02

USO:
PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA

No DIAGR.:
7.2 - 8

7.2.9 Prueba de descargas parciales

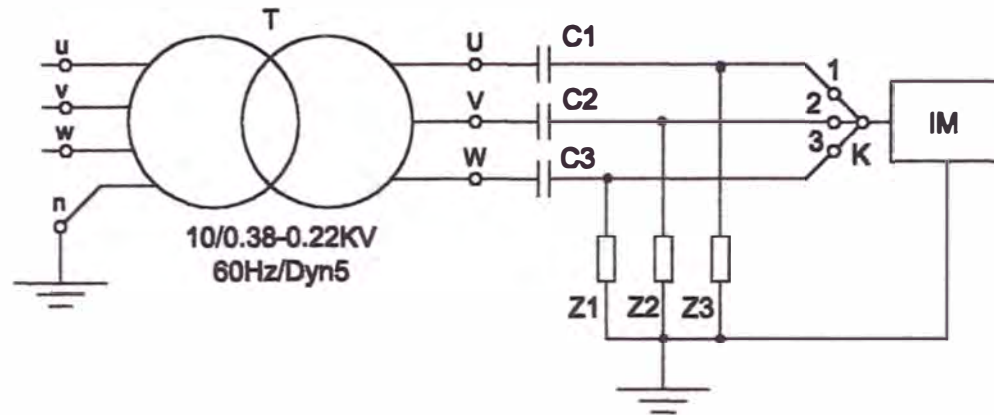
En transformadores de alta tensión, uno de los principales problemas es conocer los puntos débiles del aislamiento, sin causar daños al mismo (una descarga franca durante la verificación del aislamiento puede traer consigo un reprocesamiento costoso). El método de evaluar las descargas parciales, es un método no destructivo y se basa en el hecho de que antes de producirse la descarga franca, se producen pequeñas descargas localizadas dentro del aislamiento, las cuales originan cambios en la tensión, carga y energía en el objeto en prueba visto como un todo.

Como las mediciones pueden ser efectuadas por disturbios ajenos al objeto en prueba se acondiciona adecuadamente el local de prueba, con un apantallamiento completo para evitar disturbios externos y con filtros en las conexiones eléctricas que provienen del exterior del local. Además se deben evitar disturbios dentro del local evitando partes metálicas flotantes, conexiones sin blindajes adecuados, etc.

En el diagrama 7.2 – 9, se conecta un condensador de descarga libre parcial (teniendo un valor de la capacitancia grande comparado con la capacitancia de generador de calibración, C_0) en serie con una impedancia Z_m que se conecta a cada uno de los terminales de AT.

La medida de la descarga parcial se lleva a cabo después de que toda la prueba se completa. El voltaje ser lo mas senoidal posible y de una frecuencia adecuada para evitar la excitación excesiva durante la prueba.

Los bobinados destinados para la conexión al sistema deben ser sólidamente aterrados directamente a tierra o por medio de una baja



LEYENDA:

T : Transformador bajo prueba

U, V, W : Terminales de AT del transformador

u, v, w, n : Terminales de BT del transformador

C1, C2, C3 : Capacitores

Z1, Z2, Z3 : Impedancias

K : Conmutador

1, 2, 3 : Terminales del conmutador

IM : Instrumento electrónico de medición

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: PRUEBA DE DESCARGA PARCIAL	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No DIAGR.: 7.2 - 9

impedancia. Luego de ello se induce un voltaje de pre-tensión de línea-tierra de $1.5U_m/V^3$ por 30s (U_m es el voltaje generado por el equipo), seguido y sin interrupción por un voltaje de línea-tierra de $1.1U_m/V^3$ durante 3 minutos, tiempo en que la descarga parcial puede ser medida. Este circuito tendrá un circuito paralelo de iluminación, de manera que cuando existan fallas exteriores al instrumento, estas lamparas presentaran indicaciones.

Para la diagnosis de la falla son elementos importantes de juicio, la dirección del impulso y la magnitud del mismo que son registrados en la medida, así como la forma de los oscilogramas. La figura 7.2 – 2 presenta las formas de los oscilogramas de fallas.

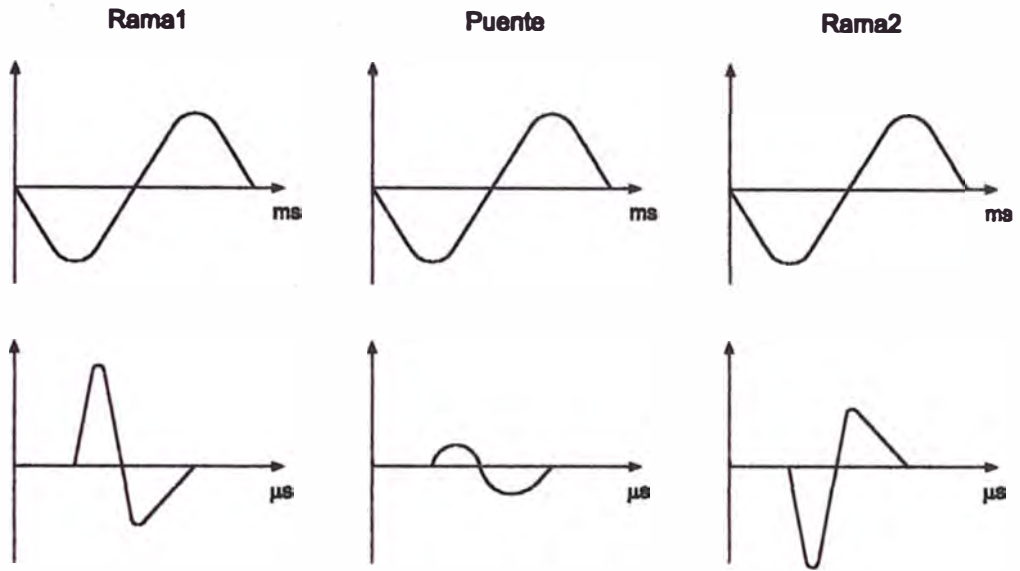
7.3 Pruebas complementarias

Estas pruebas se realizan bajo solicitud, a fin de evitar el incremento en el costo de venta del transformador, pues con todas las pruebas anteriormente descritas se garantiza el buen estado de funcionamiento del transformador. A continuación se detallan estas pruebas complementarias:

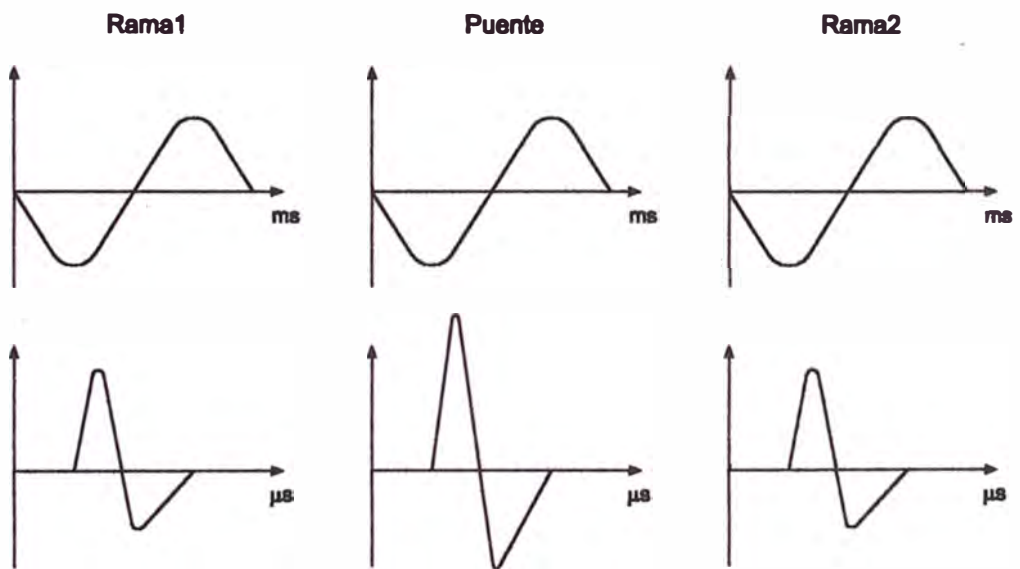
7.3.1 Medición del factor de disipación

Al aplicar una tensión alterna entre el arrollamiento que se quiere probar y tierra, aparece una corriente que tiene una componente capacitiva debida al aislamiento utilizado; y otra debido a la conductancia transversal (diagrama 7.3 – 1). Esta última componente depende de la calidad del aislamiento a hacia tierra y está en relación directa con las descargas parciales, corrientes superficiales e Histéresis del dieléctrico.

1) Descarga a tierra



2) Falla del objeto en prueba



OSCILOGRAMAS DE MEDICIÓN DE DESCARGAS PARCIALES
Figura 7.2 - 2

El factor de disipación se define como la tangente del ángulo δ . Si se considera un ángulo pequeño, resulta que la $\text{tg } \delta$ puede ser reemplazada por el factor de potencia, entonces:

$$\text{tg } \delta = \frac{I_w}{I_c} = \frac{I_w}{I} = \text{Cos } \phi$$

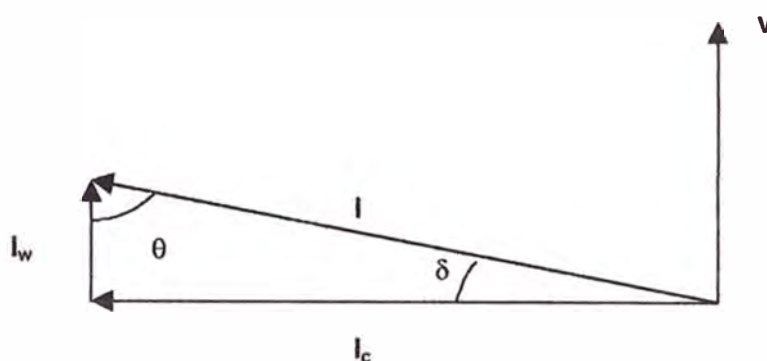
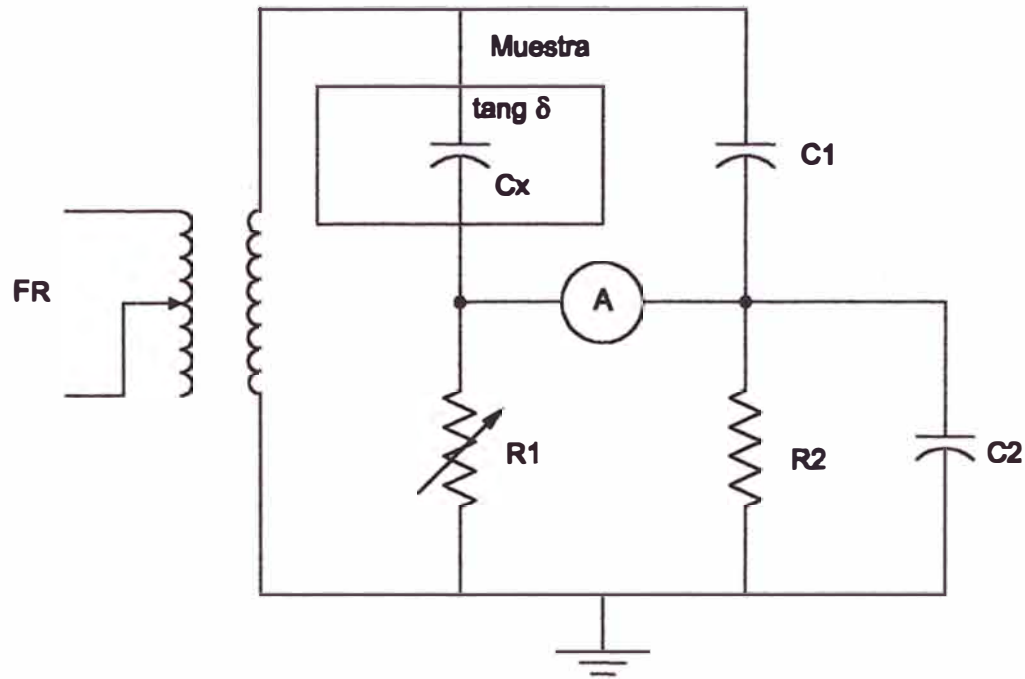


Diagrama 7.3 – 1 DIAGRAMA VECTORIAL DEL FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

La medida de la $\text{tg } \delta$, se efectúa con un equipo llamado puente de Schering (diagrama 7.3 – 2). Esta medida, se debe realizar a una temperatura de 20°C , para evitar posibles errores al corregirla a dicha temperatura. Para más seguridad sobre la respuesta del aislamiento se efectúan pruebas con varias tensiones y se comprueba su variación la que debe ser uniforme. Se debe tener en cuenta la influencia de factores externos que puedan alterar el valor que corresponde al objeto en prueba, estos factores pueden ser estado superficial de bornes, falsos contactos, etc.



LEYENDA:

FR : Fuente regulada de corriente alterna a 60Hz

Cx : Muestra

C1, C2 : Condensadores

R1, R2 : Resistencias

A : Amperímetro de corriente alterna

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO:
E.Z.S.

DESCRIPCIÓN:
DIAGRAMA ELÉCTRICO SIMPLIFICADO

ESCALA:
S/E

APROBADO
1/1

USO:
EQUIPO DE PRUEBA DE FACTOR DE DISIPACIÓN

CANTIDAD:
1/1

FECHA:
21.09.02

No DIAGR:
7.3 - 2

7.3.2 Prueba de calentamiento

Esta prueba tiene por objeto, determinar el calentamiento final de los arrollamientos y del aislamiento al medio ambiente, en condiciones nominales de funcionamiento.

En la Sala de Pruebas generalmente se emplea el método de cortocircuito. Este método se basa en que el calentamiento de la resina respecto al medio ambiente se debe a las pérdidas totales del transformador, es decir, a la suma de pérdidas nominales de los arrollamientos y del núcleo y que el calentamiento de los bobinados respecto a la resina se debe sólo a las pérdidas de los arrollamientos.

Por tal motivo, para determinar el calentamiento de la resina, poniendo en cortocircuito uno de los arrollamientos, se alimenta por el otro arrollamiento con una tensión de manera que obtengamos las pérdidas totales, hasta que se establezca el calentamiento de la resina respecto al medio ambiente y en ese momento se hacen las mediciones. Se considera que el calentamiento está establecido cuando no sube más de 1°C durante tres horas. Después de determinado el calentamiento de la resina, se hace circular la corriente nominal en los arrollamientos para determinar el calentamiento de los mismos respecto a la cubierta de resina.

Para determinar el calentamiento de los arrollamientos se utiliza el método de variación de resistencia. Se mide la resistencia en frío y en caliente y por su variación se determina la temperatura media de las bobinas. El calentamiento será calculado como la diferencia numérica de esta temperatura menos la temperatura media de la resina respecto a la

temperatura ambiente, que se mide inmediatamente antes de la medida de la resistencia.

7.3.3 Medida de Nivel Sonoro.

La medida del nivel sonoro en transformadores es efectuada de acuerdo a las condiciones y procedimientos que propone la norma IEC60076-10. Para esta medida, es necesario contar con una cámara anecoica de tal forma que sea posible aislar sonoramente al transformador de ruidos externos y la diferencia de ruido no debe ser menor de 10db. De no ser posible obtener esta diferencia, se deberá de realizar correcciones a los valores medidos, de acuerdo a la tabla 7.3 - 1:

Diferencia entre la presión de nivel de sonido medido con el equipo utilizado y el nivel de la presión sonora del fondo solo	Corrección a ser sustraído del nivel de presión sonora medido con el equipo utilizado para obtener el nivel de presión sonora conveniente para el equipo
(db)	(db)
3	3
4-5	2
6-8	1
9-10	0.5

Tabla 7.3 – 1 Factores de corrección por ruidos externos

Para efectuar esta medición será necesario energizar el transformador sin ventiladores para refrigeración forzada, si es que los tuviera, y realizar la medición por medio decibelímetros o micrófonos de alta sensibilidad

instalados a una distancia de 0.3m ó 1m para casos de riesgo eléctrico, tal como lo muestra el diagrama 7.3 – 1. En la siguiente pagina, se muestra un reporte base como la figura 7.3 – 1 que recomienda la norma nombrada, para la toma de valores obtenidos durante la prueba.

Debemos aclarar que la norma IEC60076-10 no establece limites de niveles sonoros, pues allí solo se indica la manera de realizar la medición.

También debemos recordar que el nivel sonoro en un recinto aceptable para el oído humano no debe ser mayor a 75 db, caso contrario deberá utilizarse protecciones personales.

7.3.4 Prueba de impulso (Descargas atmosféricas)

Como en muchas ocasiones las fallas en los transformadores son causadas por descargas atmosféricas, es indispensable saber si el aislamiento del transformador, puede soportar dichas descargas a que está sometido durante su operación. Para proteger un transformador de las descargas atmosféricas es necesario ver primeramente que tipo de onda se produce. Los disturbios producidos por descargas atmosféricas pueden ser representados por tres tipos básicos de ondas: onda completa, onda cortada y frente de onda.

Los generadores de impulso están formados por una serie de capacitores (C'_1) los cuales son cargados en paralelo y descargados en serie por medio de explosores (E).

Estos capacitores se cargan a través de una resistencia de carga (R'_3), los cuales deben de ser de un valor mucho más grandes que las

REPORTE DE MEDICION DE NIVEL DE SONIDO

Contrato y numero de lugar
 Fabricante Lugar de medición Fecha de medición
 Lugar de fabricación Especificación de medida

Información del transformador:

No serie MVA Conexión Rel. voltaje
 Rango de conmutación

Detalles de instrumentos de medición:

Marca Tipo No serie
 Tipo de microfono No serie del microfono
 Fecha de calibración del instrumento y microfono

Condiciones de la prueba:

Tension de excitación Frecuencia Hz Posición del tap

Nivel de presión de sonido favorab L_{pA}

- Transf./Reactor sin ventiladores
- Transf./Reactor con ventiladores
- Ventiladores sin Transf./Reactor
- Transformador seco sin refrigeración
- Transformador seco con refrigeración

Plan posición	db			Plan posición	db			Plan posición	db			Plan posición	db		
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1				13				25				37			
2				14				26				38			
3				15				27				39			
4				16				28				40			
5				17				29				41			
6				18				30				42			
7				19				31				43			
8				20				32				44			
9				21				33				45			
10				22				34				46			
11				23				35				47			
12				24				36				48			

1= Ruido del equipo 2=Ruido de fondo 3=Ruido corregido del equipo aritmetica/energia promedio

Corrección ambiental K L_{pA}

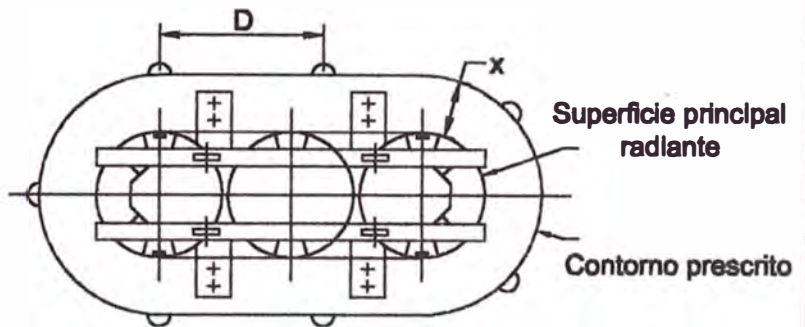
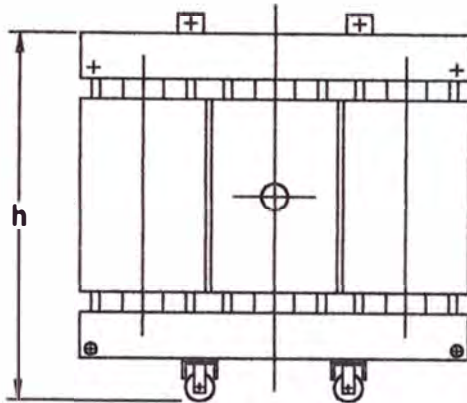
Area efectiva de la superficie:

- a) Para mediciones a 0.3m de la superficie principal irradiada m²
- b) Para mediciones a 2m de la superficie principal irradiada m² 10log S/So
- c) Para mediciones a 1m de la superficie principal irradiada m²

L_{WA}

Figura 7.3 - 1

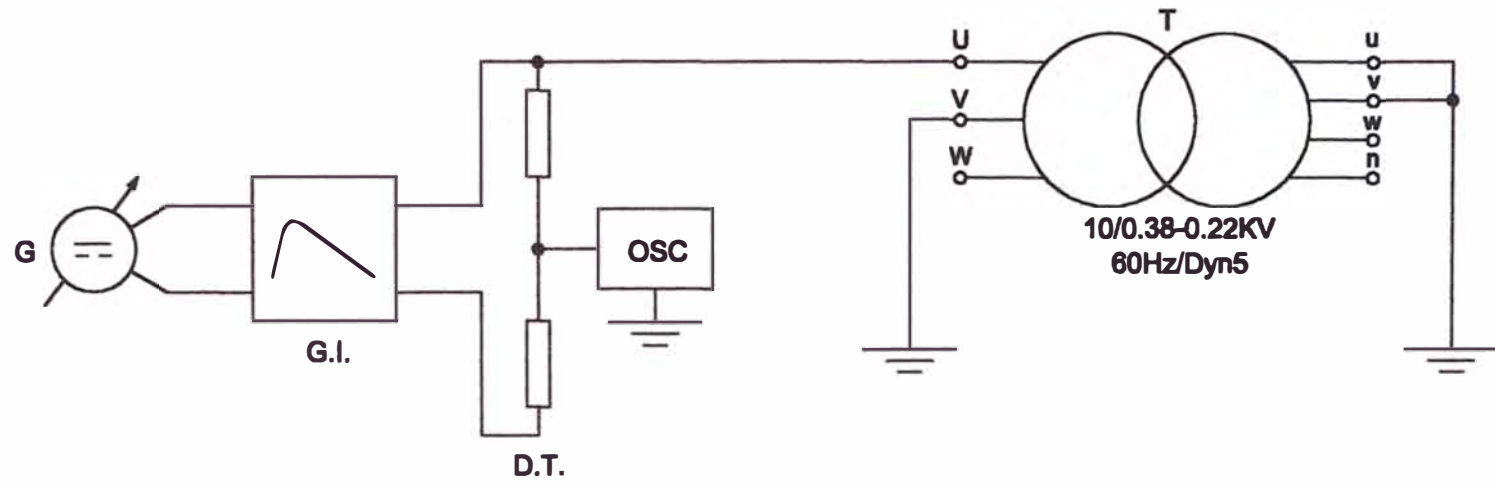
Altura del núcleo con perfiles de trabajo



Nota:

- 1.- La distancia es 0.3m ó 1m en caso de haber peligro
- 2.- D no debe exceder de 1m
- 3.- Para transformadores secos sin refrigeración forzada

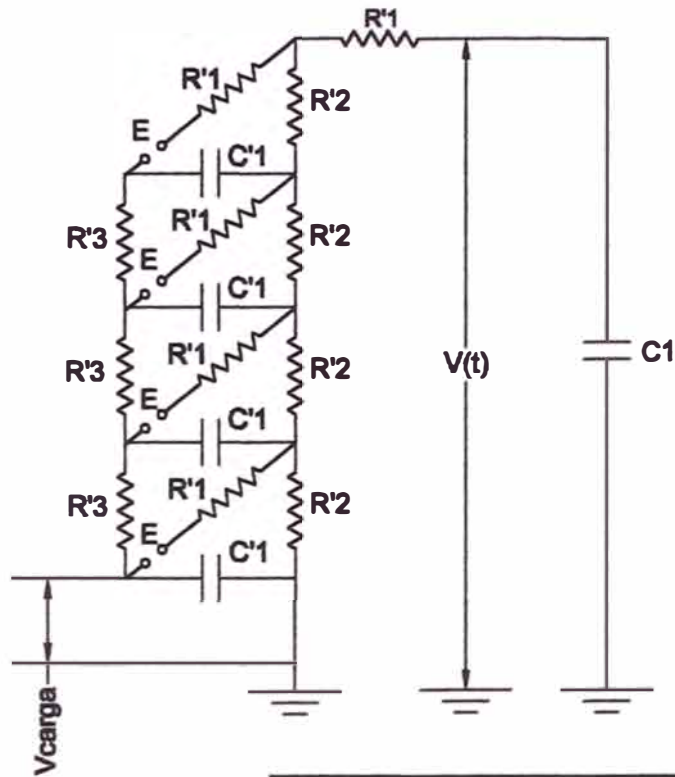
DIBUJADO: E.Z.S.	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	DESCRIPCIÓN: POSICIÓN DE MICROFONOS PARA MEDICIÓN DE RUIDO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.10.02	USO: PRUEBA DE NIVEL SONORO	No DIAGRAMA: 7.3 - 3



LEYENDA:

- G :** Generador de tensión continua regulada
- G.I. :** Generador de impulsos
- D.T. :** Divisor de tensión
- OSC :** Osciloscopio
- T :** Transformador bajo prueba
- U, V, W :** Terminales de AT del transformador
- u, v, w, n :** Terminales de BT del transformador

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI		
DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.		CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02	USO: PRUEBA DE IMPULSO POR BOBINA	No DIAGR.: 7.3 - 4



LEYENDA:

- C'1 : Capacitores de impulso
- R'1 : Resistencia de frente
- R'2 : Resistencia de cola
- R'3 : resistencia de carga
- E : Explosor

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - UNI

DIBUJADO: E.Z.S.	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA ELÉCTRICO	ESCALA: S/E
APROBADO: M.C.A.	USO: GENERADOR PARA PRUEBA DE IMPULSO	CANTIDAD: 1/1
FECHA: 21.09.02		No PLANO: 7.3 - 5

resistencias de cola (R'_2), para que no influyan apreciablemente en el circuito al momento de la descarga.

Asimismo, se debe hacer un oscilograma de tensión y corriente al 50 y 100% del valor de prueba. La prueba se considera satisfecha cuando no hay variación en las figuras (salvo la escala).

Los valores de la onda impulso son obtenidas de la tabla 7.2 – 4. Esta prueba debe realizarse individualmente por bobina.

El diagrama 7.3 – 4 muestra el circuito para realizar la prueba de impulso y el diagrama 7.3 - 5 muestra el diagrama eléctrico del generador de impulso.

CAPITULO VIII CONSIDERACIONES PARA EL TRANSFORMADOR

8.1 Modalidad de pedido de compra del transformador

Es muy importante indicar todos los datos necesarios para realizar el pedido de fabricación del transformador, los cuales son los siguientes:

a)	Potencia	:	1000KVA
b)	Relación de transformación en vacío	:	10000/380-220V
c)	Regulación en el lado de AT	:	$\pm 2 \times 2.5\%$
d)	Frecuencia	:	60Hz
e)	Conexión	:	Dyn5
f)	No de fases	:	3
g)	Numero de aisladores en AT/BT	:	3/4
h)	Material conductor	:	Aluminio ó Cobre
i)	Clase de aislamiento	:	F
j)	Tipo de enfriamiento	:	SNAN
k)	Nivel de aislamiento en el lado de AT	:	12/28/75
l)	Nivel de aislamiento en el lado de BT	:	0.6/3
m)	Altitud máxima de operación	:	1000 msnm.
n)	Montaje	:	Interior
o)	Servicio	:	Continuo

p)	Norma de fabricación	NTP 370.002
		IEC 60076
		IEC 60726

Accesorios:

- a) Ruedas orientables en dos direcciones
- b) Anillos de elevación
- c) Enganche para arrastre
- d) Terminales de tierra
- e) Placa de características
- f) Bornes para cambio de tomas en lado A.T. por puentes atornillables
- g) Terminales positivo de control de temperatura
- h) Bornera de salida para dispositivos de control de temperatura
- i) Dispositivo digital de control de temperatura (Controlador termoelectrónico)
- j) Ventilación para refrigeración forzada (bajo pedido)

8.2 Consideraciones en la Celda usada para el Transformador

Debido a que estos Transformadores no son comunes en el mercado nacional, se debe de tener muy en cuenta la ventilación que debe presentar este para asegurar la evacuación del calor que generan las pérdidas en el núcleo y en los arrollamientos.

Es muy importante la instalación del dispositivo del control de temperatura pues de esta forma se tendrá un control del estado del arrollamiento de BT.

Cuando se monta el transformador dentro de una celda, hay que asegurar en ella una buena ventilación y el buen dimensionamiento de la entrada y salida del aire.

El transformador debe de estar como mínimo a 100mm de las paredes de la celda y sus aisladores a una distancia mínima del techo y las paredes de la misma de 350mm.

Las superficies de entrada, E y salida S, deben tener como mínimo en m², las superficies que dan las formulas siguientes:

$$E = P / 5.4 \sqrt{H} \quad (8.1)$$

$$S = 1.15 * E \quad (8.2)$$

Donde :

- H Distancia entre los centros de las ventanas, expresada en metros.
- P La suma de las pérdidas en vacío y a plena carga del transformador en KW.

Es importante aclarar que estas formulas son validas para una temperatura máxima de 40°C y una altura máxima de 1000m.

El transformador deberá ser instalado en un local seco y bien ventilado, no sirviendo a ningún otro uso; los cimientos (base) deben ser calculados para soportar el peso de la unidad y deben estar nivelados.

8.3 Programa y trabajos de Mantenimiento Preventivo

Debido a que los Transformadores encapsulados en resina epóxica son de casi exentos de mantenimiento, solo se debe cumplir con los trabajos que a continuación se indican en la tabla 8.3 - 1:

TRANSFORMADOR ENCAPSULADO EN RESINA EPÓXICA		
ACTIVIDAD	PERIODO	
VERIFICAR / CONTROLAR	6 MESES	12 MESES
- El funcionamiento del dispositivo de protección	X	X
- La limpieza de los aisladores y demás accesorios		X
- Ajuste de los pernos de conexión		X
- Valor de la resistencia de la puesta a tierra		X

Tabla 8.3 – 1 Programa de mantenimiento preventivo para transformadores secos encapsulados en resina epóxica

Cumpliendo con las consideraciones de ventilación y de mantenimiento para el Transformador encapsulado en resina, el funcionamiento de éste es satisfactorio y sin probabilidades de fallas.

CAPÍTULO IX

COMPARACIÓN ENTRE LOS TRANSFORMADORES SECOS EN RESINA Y LOS TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE DIELÉCTRICO

9.1 Comparación por costo de Fabricación

Con la finalidad de hacer una comparación de costos con respecto a un transformador con aceite dielectrico de similares características, hemos realizado las tablas 9.1 – 1, 9.1 - 2, 9.1 – 3 y 9.1 - 4 donde se indican en detalle los costos de fabricación, precio de venta así como los costo de capitalización por las perdidas generadas en el transformador. Estos valores finalmente son los siguientes:

a) Transformador sumergido en aceite dielectrico:

- Precio de venta : \$ 10683.6
- Costo total : \$ 25239.9

b) Transformador seco en resina con arrollamiento de aluminio:

- Precio de venta : \$ 13052.2
- Costo total : \$ 22926.3

c) Transformador seco en resina con arrollamiento de cobre:

- Precio de venta : \$ 14842.9
- Costo total : \$ 23061.8

**Transformador de distribución sumergido en aceite dieléctrico
con arrollamiento de cobre electrolítico
1000KVA, 10000/380-220V, 3.5A/mm², 5%, Dyn5**

Materiales	Unidades	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo (\$)	Costo (%)
Araldite D preparado	Kg	2	32.0	64.0	0.6%
Fierro Silicoso	Kg	1407.01	1.6	2251.2	21.1%
Herrajes de fierro	Kg	70	0.8	56.0	0.5%
Madera caoba	Pie	170	1.2	204.0	1.9%
Sunchos, pernos y esparragos	-	1	70.0	70.0	0.7%
Aceite dielectrico	Gln	200	1.8	360.0	3.4%
Conmutador	Pzs	1	85.0	85.0	0.8%
Fierro para tanque	Kg	750	0.6	412.5	3.9%
Grifo de vaciado	Pzs	1	6.5	6.5	0.1%
Nivel de aceite	Pzs	1	10.0	10.0	0.1%
Ruedas orientables	Pzs	4	25.0	100.0	0.9%
Aisladores de AT	Pzs	3	65.0	195.0	1.8%
Aisladores de BT	Pzs	4	40.0	160.0	1.5%
Cobre para bobina con aislam.	Kg	237.48	3.7	878.7	8.2%
Rele Buchols	Pzs	1	280.0	280.0	2.6%
Valvula de sobrepresión	Pzs	1	25.0	25.0	0.2%
Gastos administrativos	%	-	15.0	985.7	9.2%
Mano de obra	H-H	540	8.0	4320.0	40.4%
Otros insumos	\$	1	120.0	120.0	1.1%
Otros trabajos	\$	1	100.0	100.0	0.9%
Precio de venta	\$			10,683.6	100.0%
Costo de capitalización FeSi	(KW)*(\$/KW)	1.55	2500.0	3,869.3	
Costo de capitalización Cu	(KW)*(\$/KW)	7.12	1500.0	10,687.1	
Costo total	\$			25,239.9	

Tabla 9.1 - 1

**Transformador de distribución con arrollamiento de aluminio
encapsulado con resina epóxica**

1000KVA, 10000/380-220V, 2A/mm², 5.98%, Dyn5

Materiales	Unidades	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo (\$)	Costo (%)
Araldite D preparado	Kg	2	32.0	64.0	0.5%
Fierro Silicoso	Kg	1792.99	1.6	2868.8	22.0%
Herrajes de fierro	Kg	100	0.8	80.0	0.6%
Sunchos, pemos y esparragos	-	1	50.0	50.0	0.4%
Araldite CW229 preparado	Kg	63.68	45.0	2865.8	22.0%
Harina de cuarzo	Kg	111.45	0.2	22.3	0.2%
Conmutador	Pzs	1	5.0	5.0	0.0%
Ruedas orientables	Pzs	4	25.0	100.0	0.8%
Aisladores de BT	Pzs	4	25.0	100.0	0.8%
Aluminio para bobinas	Kg	145.34	3.0	436.0	3.3%
Material NOMEX	Kg	0.92	25.0	23.1	0.2%
Encapsulado para AT	Pzs	3	250.0	750.0	5.7%
Encapsulado para BT	Pzs	3	150.0	450.0	3.4%
Controlador termoelectrico	Pzs	1	225.0	225.0	1.7%
PT100	Pzs	6	25.0	150.0	1.1%
Gastos administrativos	%	-	15.0	982.3	7.5%
Mano de obra	H-H	460	8.0	3680.0	28.2%
Otros insumos	\$	1	100.0	100.0	0.8%
Otros trabajos	\$	1	100.0	100.0	0.8%
Precio de venta	\$			13,052.2	100.0%
Costo de capitalización FeSi	(KW)*(\$/KW)	1.97	2500	4,930.7	
Costo de capitalización Cu	(KW)*(\$/KW)	3.30	1500	4,943.4	
Costo total	\$			22,926.3	

Tabla 9.1 - 2

**Transformador de distribución con arrollamiento de cobre
encapsulado con resina epóxica**

1000KVA, 10000/380-220V, 2A/mm², 5.96%, Dyn5

Materiales	Unidades	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo (\$)	Costo (%)
Araldite D preparado	Kg	2	32.0	64.0	0.4%
Fierro Silicoso	Kg	1843.77	1.6	2950.0	19.9%
Herrajes de fierro	Kg	100	0.8	80.0	0.5%
Sunchos, pemos y esparragos	-	1	50.0	50.0	0.3%
Araldite CW229 preparado	Kg	71.76	45.0	3229.3	21.8%
Harina de cuarzo	Kg	125.59	0.2	25.1	0.2%
Conmutador	Pzs	1	5.0	5.0	0.0%
Ruedas orientables	Pzs	4	25.0	100.0	0.7%
Aisladores de BT	Pzs	4	25.0	100.0	0.7%
Cobre para bobinas	Kg	466.41	3.5	1632.4	11.0%
Material NOMEX	Kg	6.30	25.0	157.5	1.1%
Encapsulado para AT	Pzs	3	250.0	750.0	5.1%
Encapsulado para BT	Pzs	3	150.0	450.0	3.0%
Controlador termoelectrico	Pzs	1	225.0	225.0	1.5%
PT100	Pzs	6	25.0	150.0	1.0%
Gastos administrativos	%	-	15.0	994.5	6.7%
Mano de obra	H-H	460	8.0	3680.0	24.8%
Otros insumos	\$	1	100.0	100.0	0.7%
Otros trabajos	\$	1	100.0	100.0	0.7%
Precio de venta	\$			14,842.9	100.0%
Costo de capitalización FeSi	(KW)*(\$/KW)	2.03	2500	5,070.4	
Costo de capitalización Cu	(KW)*(\$/KW)	2.10	1500	3,148.6	
Costo total	\$			23,061.8	

Tabla 9.1 - 3

**TABLA DE COMPARACIÓN GENERAL DE LOS TRANSFORMADORES EN RESINA
CON RESPECTO A UN TRASFORMADOR AISLADO EN ACEITE DIELECTRICO**

Descripción	Unidad	En aceite con Cobre Vcc=5%	Seco con Aluminio Vcc=6%		Seco con Cobre Vcc=6%	
		Valor referencial	Valor	%	Valor	%
Perdidas en el FeSi	W	1547.71	1972.29	127.43%	2028.15	131.04%
Perdidas en el Cobre	W	7124.71	3295.58	46.26%	2099.06	29.46%
Eficiencia	%	99.991%	99.995%	-	99.996%	-
Peso	Kg	2670.00	2348.38	87.95%	2747.82	102.91%
Altura	mm	2365.00	1855.22	78.44%	1779.46	75.24%
Ancho	mm	2055.00	1492.99	72.65%	1563.85	76.10%
Precio de venta	\$	10790.40	13052.22	120.96%	14842.87	137.56%
Costo de capitalización	\$	14556.34	9874.08	67.83%	8218.96	56.46%
Costo total	\$	25239.91	22926.30	90.83%	23061.83	91.37%

Tabla 9.1 - 4

Como se puede apreciar, como costo de fabricación de los transformadores, el orden sería a), b) y c); es decir el transformador seco con arrollamientos de aluminio y cobre son 20.96 y 37.56% mayores en costo con respecto a un transformador aislado en aceite dieléctrico, pero este costos es recuperado en los costos por los trabajos de mantenimiento.

Asimismo, en el momento de decidir por la comprar del transformador, sólo debemos guiarnos por el costo total, por lo que el orden sería b), c) y a), es decir que el mejor costo es para el transformador con arrollamientos de aluminio, sin embargo, el transformador seco con arrollamientos de cobre también es una buena alternativa por la poca diferencia de costos que presenta.

Debe indicarse que los valores de los coeficientes de capitalización (2500 \$/KW para el FeSi y 1500 \$/KW para los conductores) son utilizados por la empresa de distribución de energía eléctrica "LUZ DEL SUR" para el año 2002.

9.2 Comparación por Costo de Mantenimiento

En lo que concierne a los costos de mantenimiento, a continuación se detalla la tabla 9.2 -1 sugerida para la frecuencia del mantenimiento que debe tener tanto un Transformador sumergido en aceite:

TRANSFORMADOR SUMERGIDO EN ACEITE			
ACTIVIDAD	PERIODO		
VERIFICAR / CONTROLAR	6 MESES	12 MESES	24 MESES
- El nivel de aceite	X		
- El estado del desecador		X	
- El funcionamiento de la protección		X	
- La limpieza de los aisladores		X	
- Ajuste de los pernos de conexión		X	
- La rigidez dieléctrica y análisis Fisico-Químico del aceite		X	
- Analisis Cromatico del aceite		X	
- Valor de la resistencia de la puesta a tierra			X

Tabla 9.2 – 1 Frecuencia de mantenimiento para transformadores sumergidos en aceite dieléctrico

Es importante referirnos especialmente al mantenimiento del aceite.

Si en las evaluaciones a la que se somete el aceite no se obtiene resultados satisfactorios, se deberá de realizar un mantenimiento integral del transformador. Para la frecuencia de mantenimiento del transformador seco encapsulado en resina epoxica, debemos remitirnos a la tabla 8.3 –1 del capitulo anterior.

Debido a que la resina epóxica utilizada en el encapsulado es un producto insensible a la humedad, solo se necesita cumplir con la tabla mencionada anteriormente.

Como se puede apreciar a simple vista, el costo de mantenimiento para los transformadores secos encapsulados en resina epoxica es bastante menor y casi despreciable con respecto al transformador en aceite.

9.3 Comparación por riesgos de falla

Como se observó en las tablas anteriores, los riesgos de falla son menores en los transformadores encapsulados en resina epoxica por las siguientes razones:

- a) No existe ingreso de humedad en parte activa del Transformador.
- b) No existe riesgo de descargas parciales.
- c) No existe riesgo de posibles fugas (aceite dieléctrico)
- d) No existe riesgo de falla por baja rigidez dieléctrica
- e) No existe riesgo de falla por almacenamiento.
- f) No existe riesgo de falla por descargas internas parciales

9.4 Daños al medio ambiente

Debe darse importancia a tres aspectos ecológicos de los transformadores secos de resina epoxica frente a los transformadores sumergidos en aceite:

- a) Ruido emitido en funcionamiento
- b) Combustibilidad y emisión de gas tóxico en caso de incendio.
- c) Reciclaje de los materiales cuando el transformador se desecha

9.4.1 Ruido emitido en funcionamiento

El diseño de un transformador de resina epoxica depende de varios parámetros lo que hace difícil prever cuál será su nivel sonoro generacional y su espectro de frecuencia en particular. De no encontrarse debidamente fijadas las bobinas de alta y baja tensión, estas forman cilindros cerrados los cuales pueden entrar todos en resonancia. Las columnas de aire entre estos cilindros pueden también, ser excitadas.

Además, la corriente de magnetización a la que la inducción puede comunicar un fuerte espectro armónico, tiene una significativa influencia sobre el espectro de frecuencias.

Si la predicción de un espectro de frecuencias es algo todavía muy difícil, si se ha progresado en la reducción del nivel de presión y potencia acústicas. Aunque las leyes de la física dictan que un transformador de resina epoxica debe tener un núcleo magnético más grande y, por lo tanto, un componente activo más grande que el de un transformador de enfriamiento por aceite de igual capacidad, ambos tipos deben, actualmente, cumplir con las mismas exigencias de emisiones sonoras.

9.4.2 Combustibilidad y emisión de gas tóxico.

Los diversos materiales utilizados actualmente como aislantes tienen valores caloríficos muy variables. Y en la contribución a la intensidad de un incendio hay una notable diferencia entre los transformadores de igual capacidad, pero de diferente construcción.

La tabla 9.4.2 – 1 muestra los valores caloríficos de diversos materiales y, principalmente, de aislantes para transformadores, en comparación con dos combustibles muy conocidos, la gasolina y la madera. El valor calorífico del aceite está, naturalmente, muy cerca del de la gasolina (98%), pero el de la resina sólo llega a 60%.

Un transformador aporta a un incendio una contribución que se expresa por el valor calorífico de sus componentes:

Material	Valor Calorifico (MJ/Kg)
Bencina	47
Aceite mineral	46
Ether	37
Silicona liquida	32
Resina	29
Madera	12

Tabla 9.4.2 – 1 Valores calorificos de materiales

El calor de la combustión producido por un transformador seco depende de su diseño y, basicamente, del espesor de la capa externa del aislamiento.

La contribución a un incendio de un transformador seco clásico es ligeramente inferior al de un transformador de resina epoxica porque los bobinados son aislados por simple inmersión bajo presión atmosférica.

En un incendio de muy fuerte intensidad, no debe considerarse sólo el aporte del calor del transformador sino su capacidad de generar gases tóxicos y corrosivos lo cual es de una importancia decisiva. Los gases generados en la combustión de sustancias orgánicas, contienen gran número de diferentes componentes. La composición química de estos gases depende no sólo de la composición de los materiales en combustión sino de otros varios parámetros como la temperatura de combustión, la cantidad de oxígeno disponible o la presencia de otras sustancias químicas.

La combustión de materias orgánicas genera, en cantidades substanciales, los productos:

- a) Monóxido de carbono - CO
- b) Dioxido de carbono - CO₂
- c) Hollín - (c)X
- d) Agua - H₂O

Un centenar más de productos de la combustión se generan en cantidades pequeñas o infimas. Por ello, se ha podido constatar que los gases permanentes eran los más abundantes (80,6% en volumen), seguidos del dióxido de etileno (8,7%) y del benceno (5,4%). Se observará que, cualquiera que sea la temperatura, los gases producidos no contienen ni componentes a base de halógeno ni dioxinas.

9.4.3 Reciclaje

El reciclaje juega un papel determinante en la protección del medio ambiente, reduciendo al mínimo los desechos ecológicamente no deseables. Incluso para los productos de elevada tecnología, la publicidad insiste actualmente sobre la reutilización de materiales de fabricación.

No es, por tanto, sorprendente que el reciclaje tome una creciente importancia, incluso en el caso de bienes duraderos como los transformadores de resina epoxica cuya duración de servicio es, al menos, treinta años.

Dado que la energía es cara y los recursos de materias primas no son inagotables, la recuperación de los metales en buenas condiciones económicas y ecológicas toma una gran importancia.

La cantidad de metal incorporado a un transformador y el reciclarlo en condiciones financieras aceptables dependen estrechamente del material

aislante utilizado. Si en futuro el volumen de desechos alcanza grandes proporciones, se buscaran otras soluciones.

CONCLUSIONES

Luego de haber presentado toda la información detallada del cálculo y la construcción del transformador seco encapsulado en resina epóxica, podemos concluir lo siguiente

1. El transformador tipo seco encapsulado en resina epóxica es el más idóneo para instalar en lugares que requieren gran seguridad contra incendios, fundamentalmente en interiores, locales de pública concurrencia, centros comerciales, fabrica de productos combustibles, subterráneos, entre otros.
2. Los transformadores de tipo seco encapsulados en resina epóxica no contienen líquidos ni productos agresivos con el medio ambiente, y al final de su vida útil, más del 80% del material es fácilmente recuperable o reciclable, pues por los materiales utilizados que puede ser distinguido como un producto ecologico.
3. El criterio de cálculo para los transformadores secos encapsulados en resina epóxica debe ser el "Criterio 1" ó "Mínimo costo de material" porque en los otros casos, la fabricación se encarece y además se incrementa el costo de las perdidas.

4. Durante el cálculo se confirmó que el mejor para la densidad de corriente es de 2.0 A/mm^2 debido al menor costo de fabricación, menores dimensiones y menores costo de capitalización.
5. Durante el cálculo es importante no olvidar incrementar en el diametro del núcleo la distancia del troquelado, pues para este caso es un valor de 3.75% del diametro final.
6. A pesar de incrementarse el tamaño del núcleo por la menor densidad de corriente (2.0A/mm^2 a diferencia de los de aceite a 3.5A/mm^2), el tamaño y peso total del transformador seco encapsulado en resina es menor al de uno aislado con aceite dieléctrico.
7. Los flejes de sujeción para los perfiles del núcleo debe ser de fierro antimagnético para evitar su calentamiento.
8. Es importante tener muy presente que la manipulación y tratamiento de la resina debe realizarse por personal especializado y con los dispositivos de protección personal requeridos.
9. Es posible solo encapsular el arrollamiento de AT, y el de BT se puede construir de tipo seco impregnado en barniz aislante para de esa forma abaratar el costo de fabricación, pero reducimos la resistencia mecánica del transformador.
10. Debido al nivel de tension en el arrollamiento de AT y por la capacidad del transformador, no se recomienda realizar el encasulado colado porque no se garantiza la eliminación total de alguna burbuja de aire.

11. El control y monitoreo de la temperatura de los arrollamientos para este tipo de transformadores es muy importante porque es el único medio que nos permite controlar su funcionamiento. Asimismo, la ventilación del ambiente deberá ser la apropiada para evitar el incremento de la temperatura en el transformador.
12. Para este tipo de transformadores a partir de 500KVA se sugiere una VCC% de 6% con la finalidad de bajar los costos de fabricación, sin embargo es posible diseñarlo con 4%, a solicitud, pero el costo de fabricación y costo de capitalización se verá incrementado notablemente.
13. Es posible sobrecargar al transformador durante su funcionamiento hasta un 30% en promedio, siempre y cuando se instalen ventiladores radiales para la refrigeración forzada.
14. El tiempo de vida del transformador seco encapsulado en resina epoxica esta ligado inversamente con las descargas parciales internas que se puedan generar, motivo por el cual esta prueba debe ser de rutina.
15. En cuanto al costo de fabricación, los transformadores secos en resina epoxica tienen un costo mayor del 20.96% con arrollamiento de aluminio y del 37.56% con arrollamiento de cobre en comparación con un transformador aislado con aceite dieléctrico, pero este costo es recuperado posteriormente con el mínimo costo de mantenimiento.
16. Con respecto a las perdidas, los transformadores secos encapsulados presentan menores perdidas totales y menores costo de capitalización de

perdidas, lo que hace considerar como una razón más para el uso de estos transformadores.

17. En el futuro, muchos de los transformadores de distribución utilizados en nuestro país serán del tipo seco encapsulado en resina epóxica por las ventajas que brinda en cuanto al bajo mantenimiento, insensibilidad a la humedad, autoextinguible, menores gastos de instalación, buena resistencia a los cortocircuitos y el bajo riesgo de deterioro, entre otros.

APÉNDICE

ÍNDICE

APÉNDICE N° 01	RELACIÓN DE DIAGRAMAS, ECUACIONES, FIGURAS, GRÁFICAS, PLANOS Y TABLAS.
APÉNDICE N° 02	GRÁFICAS DE LA RESINA
APÉNDICE N° 03	CATÁLOGO GEAFOL
APÉNDICE N° 04	CURVA DE FeSi
APÉNDICE N° 05	CÁLCULOS DE LOS TRANSFORMADORES
APÉNDICE N° 06	CARACTERÍSTICAS DEL PAPEL NOMEX
APÉNDICE N° 07	CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA
APÉNDICE N° 08	INFORMACIÓN DEL PT100 Y CONTROLADOR DE TEMPERATURA
APÉNDICE N° 09	INFORMACIÓN DE SISTEMAS DE ENCAPSULADO PARA RESINA
APÉNDICE N°10	INFORMACIÓN DE PINTURAS EPÓXICAS

APÉNDICE N°01

**RELACION DE DIAGRAMAS, ECUACIONES, FIGURAS, GRÁFICAS,
PLANOS Y TABLAS**

RELACIÓN DE DIAGRAMAS, ECUACIONES, FIGURAS, GRÁFICAS, PLANOS Y TABLAS

DIAGRAMAS

01)	Diagrama	2.3 - 1	[23]
02)	Diagrama	2.3 - 2	[23]
03)	Diagrama	3.2 - 1	[20]
04)	Diagrama	6.5 - 1	[deducción]
05)	Diagrama	7.2 - 1	[04]
06)	Diagrama	7.2 - 2	[deducción]
07)	Diagrama	7.2 - 3	[08]
08)	Diagrama	7.2 - 4	[deducción]
09)	Diagrama	7.2 - 5	[deducción]
10)	Diagrama	7.2 - 6	[deducción]
11)	Diagrama	7.2 - 7	[23]
12)	Diagrama	7.2 - 8	[08]
13)	Diagrama	7.2 - 9	[23]
14)	Diagrama	7.3 - 1	[23]
15)	Diagrama	7.3 - 2	[23]
16)	Diagrama	7.3 - 3	[12]
17)	Diagrama	7.3 - 4	[12]
18)	Diagrama	7.3 - 5	[06]

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ECUACIONES

01)	Ecuación	4.1	[01]
02)	Ecuación	4.2	[01]
03)	Ecuación	4.3	[01]
04)	Ecuación	4.4	[01]
05)	Ecuación	4.5	[01]
06)	Ecuación	4.6	[01]
07)	Ecuación	4.7	[01]
08)	Ecuación	4.8	[01]
09)	Ecuación	4.9	[01]
10)	Ecuación	4.10	[01]
11)	Ecuación	4.11	[01]
12)	Ecuación	4.12	[01]
13)	Ecuación	4.13	[01]
14)	Ecuación	4.14	[01]
15)	Ecuación	4.15	[01]
16)	Ecuación	4.16	[01]
17)	Ecuación	4.17	[01]
18)	Ecuación	4.18	[01]
19)	Ecuación	4.19	[01]
20)	Ecuación	4.20	[01]
21)	Ecuación	4.21	[24]
22)	Ecuación	4.22	[24]
23)	Ecuación	4.23	[24]

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

24)	Ecuación	4.24	[08]
25)	Ecuación	4.25	[08]
26)	Ecuación	4.26	[08]
27)	Ecuación	4.27	[08]
28)	Ecuación	4.28	[06]
29)	Ecuación	4.29	[06]
30)	Ecuación	4.30	[06]
31)	Ecuación	4.31	[06]
32)	Ecuación	4.32	[deducción]
33)	Ecuación	4.33	[deducción]
34)	Ecuación	4.34	[deducción]
35)	Ecuación	4.35	[deducción]
36)	Ecuación	4.36	[24]
37)	Ecuación	4.37	[23]
38)	Ecuación	4.38	[23]
39)	Ecuación	4.39	[24]
40)	Ecuación	4.40	[07]
41)	Ecuación	4.41	[07]
42)	Ecuación	4.42	[26]
43)	Ecuación	4.43	[23]
44)	Ecuación	4.44	[06]
45)	Ecuación	4.45	[06]
46)	Ecuación	4.46	[06]
47)	Ecuación	4.47	[06]
48)	Ecuación	4.48	[23]
49)	Ecuación	4.49	[17]
50)	Ecuación	4.50	[23]
51)	Ecuación	4.51	[26]
52)	Ecuación	4.52	[26]
53)	Ecuación	4.53	[26]
54)	Ecuación	4.54	[26]
55)	Ecuación	4.55	[26]
56)	Ecuación	4.56	[26]
57)	Ecuación	4.57	[01]
58)	Ecuación	4.58	[01]
59)	Ecuación	4.59	[26]
60)	Ecuación	4.60	[26]
61)	Ecuación	8.1	[14]
62)	Ecuación	8.2	[14]

FIGURAS

01)	Figura	1.1 - 1
02)	Figura	2.3 - 1
03)	Figura	4.2 - 1
04)	Figura	5.2 - 1
05)	Figura	5.4 - 1
06)	Figura	5.6 - 1

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[05]
[23]
[03]
[18]
[deducción]
[18]

07)	Figura	6.1 - 1	[05]
08)	Figura	6.2 - 1	[03]
09)	Figura	6.5 - 1	[05]
10)	Figura	6.8 - 1	[Fotografía - ABB Perú Workshop]
11)	Figura	7.2 - 1	[08]
12)	Figura	7.2 - 2	[21]
13)	Figura	7.3 - 1	[11]

GRÁFICAS

01)	Gráfica	4.3 - 1
02)	Gráfica	4.3 - 2
03)	Gráfica	6.5 - 1

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[26]
[26]
[05]

PLANOS

01)	Plano	6.3 - 1
02)	Plano	6.3 - 2
03)	Plano	6.3 - 3
04)	Plano	6.3 - 4
05)	Plano	6.7 - 1
06)	Plano	6.7 - 2
07)	Plano	6.7 - 3
08)	Plano	6.12 - 1
09)	Plano	6.14 - 1
10)	Plano	6.14 - 2

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]
[deducción]

TABLAS

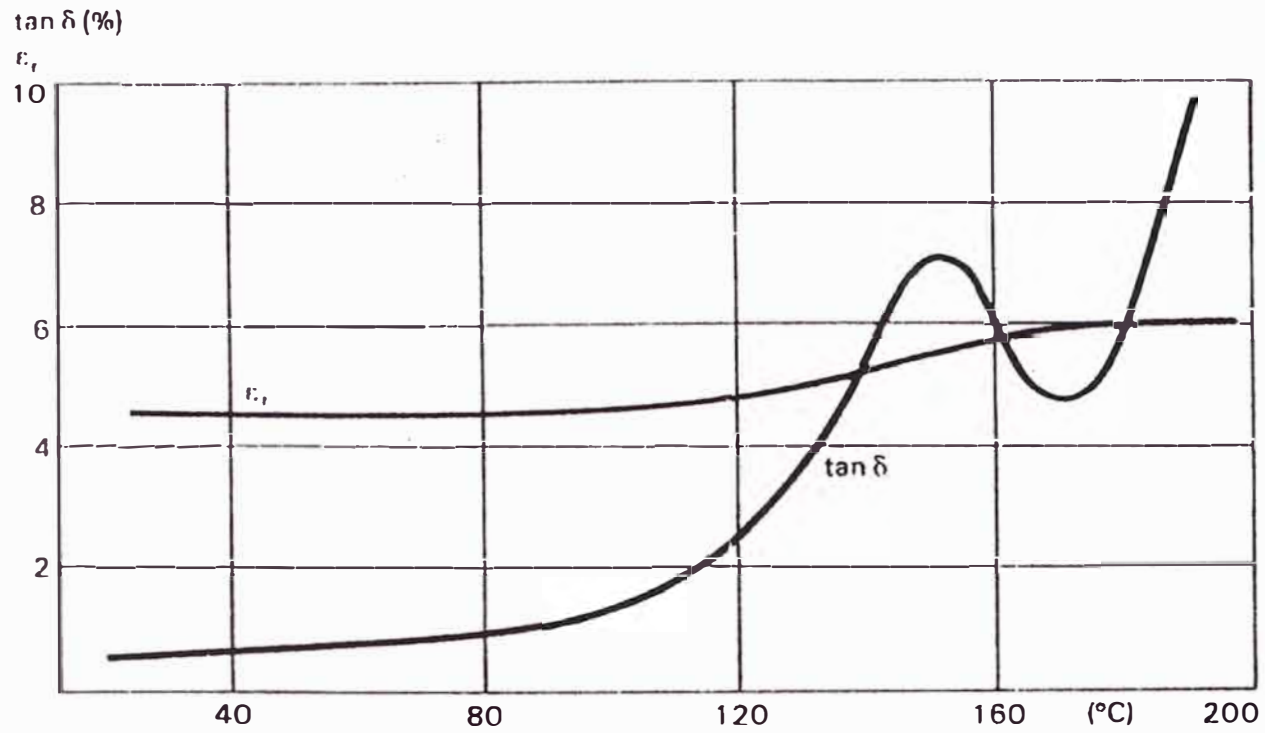
01)	Tabla	3.1 - 1
02)	Tabla	3.1 - 2
03)	Tabla	3.1 - 3
04)	Tabla	3.1 - 4
05)	Tabla	3.2 - 1
06)	Tabla	3.2 - 2
07)	Tabla	3.2 - 3
08)	Tabla	3.3 - 1
09)	Tabla	4.2 - 1
10)	Tabla	4.2 - 1
11)	Tabla	4.3 - 1
12)	Tabla	4.3 - 2
13)	Tabla	4.3 - 3
14)	Tabla	4.3 - 4
15)	Tabla	5.2 - 1
16)	Tabla	5.3 - 1
17)	Tabla	5.5 - 1
18)	Tabla	5.5 - 2
19)	Tabla	5.6 - 1
20)	Tabla	7.2 - 1
21)	Tabla	7.2 - 2

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

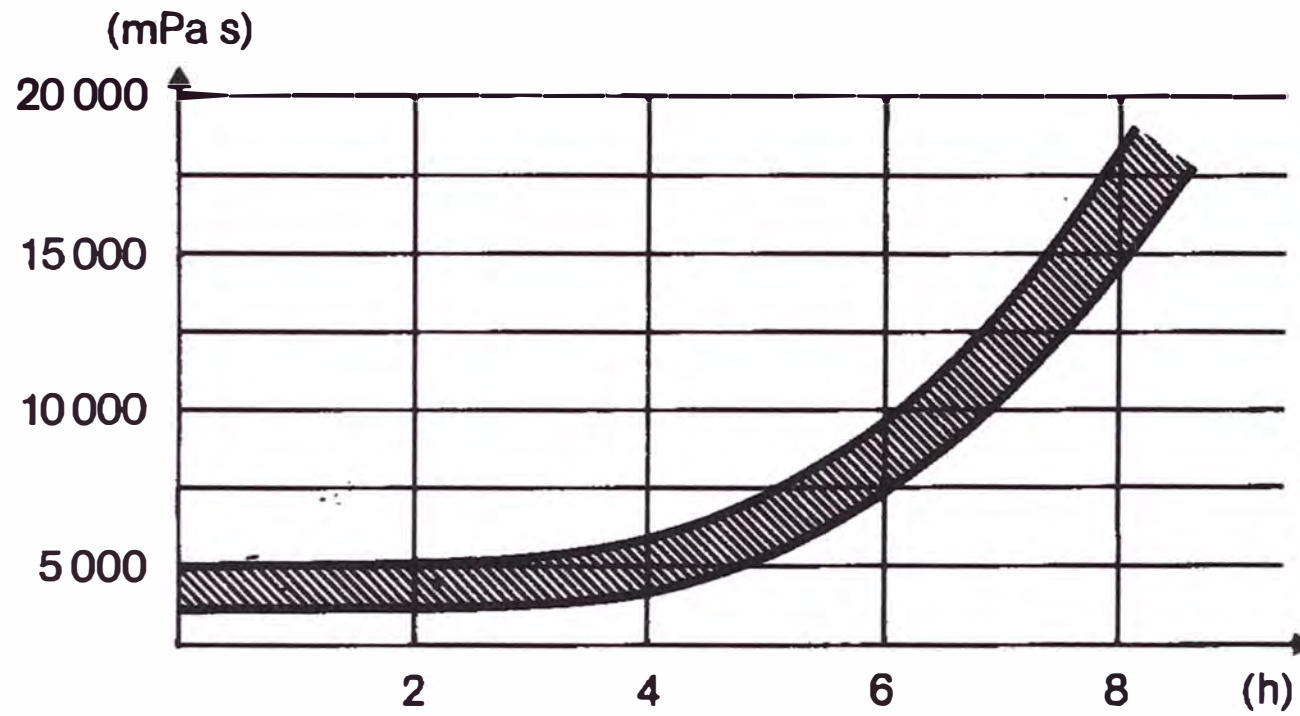
[19]
[19]
[19]
[19]
[15], [19]
[20]
[20]
[12]
[24]
[01]
[17]
[17]
[12]
[01]
[cálculo]
[cálculo]
[cálculo]
[cálculo]
[18]
[04]
[12]

22)	Tabla	7.3 - 1	[11]
23)	Tabla	8.3 - 1	[deducción]
24)	Tabla	9.1 - 1	[cálculo]
25)	Tabla	9.1 - 2	[cálculo]
26)	Tabla	9.1 - 3	[cálculo]
27)	Tabla	9.1 - 4	[cálculo]
28)	Tabla	9.2 - 1	[deducción]
29)	Tabla	9.4.2 - 1	[20]

APÉNDICE N°02
GRÁFICAS DE LA RESINA



**VALOR EN PERDIDAS POR MEDIO DE LA TAN δ EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA, DE ACUERDO
A LA NORMA IEC 250.**



RELACIÓN DIRECTA ENTRE VISCOSIDAD Y TIEMPO QUE SE OBTIENE DURANTE LA MEZCLA

APÉNDICE N°03
CATÁLOGO GEAFOL

SIEMENS

GEAFOL

Transformadores secos en resina colada

Los transformadores Geafol secos encapsulados en resina colada son recomendados para instalaciones abrigadas que deben ofrecer seguridad y confianza, especialmente donde hay presencia de personas tales como: fábricas en general, industrias químicas, petroquímicas, productos alimenticios, minería, transportes, edificaciones, hospitales, shopping-centers, etc.

Los transformadores Geafol fueron desarrollados para satisfacer a todos los requisitos técnicos de seguridad y de ecología. El transformador Geafol representa una innovación técnica introducida por Siemens en el mercado mundial en 1966 y en Brasil en 1978. Desde entonces viene perfeccionando continuamente, alcanzando hoy una posición de excelencia en el mercado mundial.

Seguridad y confiabilidad

Los transformadores inmersos en fluidos aislantes tales como: aceite mineral, silicona, R, Temp., al igual que los de punto de inflamación más alto no eliminan los riesgos de explosión derrame de fluido y la contaminación por el aceite, etc. Esta solución es pues paliativa y no efectiva. Los transformadores Geafol presentan excepcional seguridad y confiabilidad, ya sea por no explotar, por ser auto-extinguibles y por no propagar la llama.

Tiempo de vida

Cuanto menores son los niveles de descargas parciales internas, mayor es el tiempo de vida de un transformador seco. Por esta razón hacemos este ensayo como Prueba del Rutina.

Los transformadores Geafol son los únicos sin descargas parciales internas hasta el doble de la tensión nominal, lo que les garantiza un tiempo de vida igual o superior a la de los transformadores en aceite o de cualquier otro tipo.

Economía

Instalados en los centros de las cargas, se economizan cables y barras reduciendo en consecuencia, energía disipada en la baja tensión, disminuyendo la caída de tensión, y con esto reduciendo el costo operacional.

Obras civiles: Dispensan puertas cuertafuego, foso de recoger el aceite, sistema de combate contra incendios.



El transformador Geafol ocupa aproximadamente 40% de área y 35% del volumen de un transformador en líquido equivalente.

Accesorios: No necesitan accesorios y instrumentos de protección como: relé de gas, indicador de nivel, manómetro, válvula de sobrepresión, etc. Con esto se reducen los riesgos de defectos, costos de instalación y conservación.

Se recomienda solamente un monitorio de temperatura para la desconexión. Pueden colocarse sensores para alarma y control de ventilación forzada.

Libertad de ubicación

Al contrario de los transformadores aislados en fluidos aislantes, los que por razones de seguridad, requieren locales especiales para su ubicación, los transformadores Geafol pueden ubicarse prácticamente "en cualquier rincón". Adicionalmente requieren menor espacio, facilitan las modificaciones en los "lay-outs", ya que son más livianos, de menor tamaño y sin exigencias en las obras civiles.

Economía en la instalación total

La simplicidad de la instalación eléctrica y de las obras civiles, compensa ampliamente y con ventajas una eventual diferencia de costos del transformador Geafol tomado individualmente.

Características

Mantenimiento: óximos de mantenimiento.

Eléctricas: resistentes a las tensiones de impulso y de frecuencia industrial. Alta resistencia a las corrientes de fuga.

Mecánicas: resistentes al cortocircuito y robustos. A pedido, resistentes a terremotos.

Ambiente: no son afectados por la humedad ambiental.

Sobrecargas: soportan fácilmente fuertes sobrecargas. Con la instalación de ventilación forzada adecuada incrementan su capacidad nominal en 40%.

Ecología: bajo nivel de ruido. Construidos con materiales de difícil combustión y auto-extinguibles. En caso de estar rodeados por incendio, no explotan ni liberan gases o residuos tóxicos, libres de elementos que contaminen el subsuelo y manantiales.

Aplicaciones especiales

Recomendados para alimentación de rectificadores y convertidores para accionamiento en transportes y laminadores.

Normas:

Son superiores a las exigencias de las normas IEC 726 y NBR 10295.

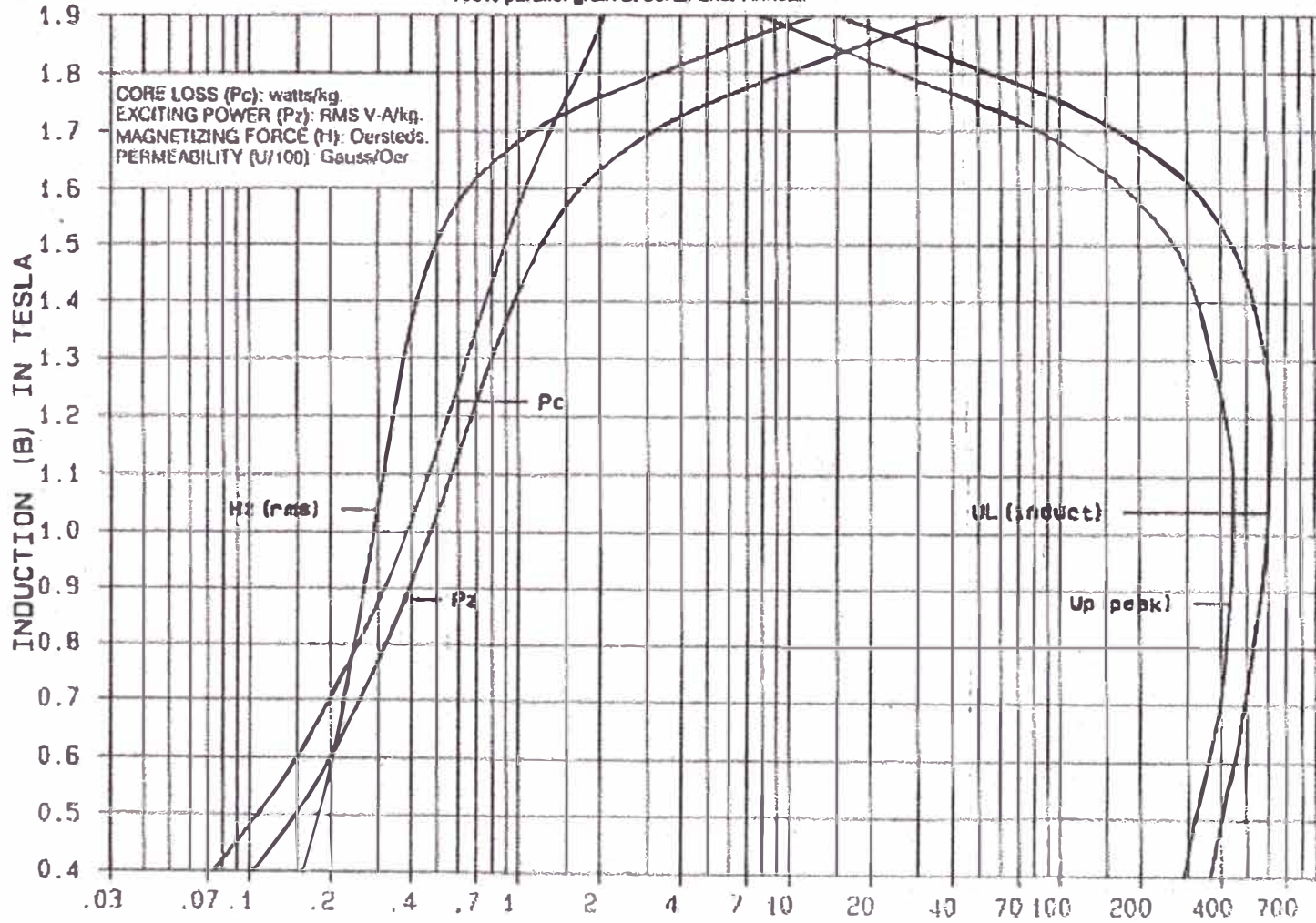
Suministrados a miles de clientes en todo el mundo, para las más diversas aplicaciones. Siemens ofrece una extensa lista de referencias a disposición de los interesados.

APÉNDICE N°04

CURVA DE FeSi

MAGNETIZATION CURVES for 30M5

Typical curves based on Epstein Samples
100% parallel grain at 60Hz. after Anneal.



APÉNDICE N°05
CÁLCULO DE LOS TRANSFORMADORES

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	34220.27	mm ²	VF	0.25	m ³
Sn	35646.11	mm ²	B	1.60	T
J	2.52	A/mm ²	VC	0.18	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	15.19	V/esp	Ve.2	15.19	V/esp
Ve.1.f	9.50	V/esp	Ve.2.f	9.57	V/esp
Ne.1	1053.06	espiras	Ne.2	23.17	espiras
Ne.1.f	1053.00	espiras	Ne.2.f	23.00	espiras
Ne.1.G	87.75	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	88.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	835.71	Voltios	Ve.2.C	9.57	Voltios
NG.1	12.00	-	NC.2	23.00	-
J.1	1.06	A/mm ²	J.2	2.61	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	33.00	mm ²	S.2	581.35	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.50	mm	Ebanda.2	0.35	mm
h.1	66.00	mm	h.2	1661.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	11.00	-			
hr.1	79.00	mm			
Esp.cinta.1	0.07	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	52.67	mm	e.2	10.14	mm
H.1	1661.00	mm	H.2	1661.00	mm
Dm.1	346.09	mm	Dm.2	235.42	mm
Lm.1	1087.27	mm	Lm.2	739.59	mm
D.ext.Arroll.1	398.76	mm	D.ext.Arroll.2	245.56	mm
L.C.ext.Arroll.1	1252.74	mm	L.C.ext.Arroll.2	771.45	mm
D.int.Arroll.1	293.42	mm	D.int.Arroll.2	225.28	mm
L.C.int.Arroll.1	921.81	mm	L.C.int.Arroll.2	707.72	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	105.07	Kg	Gcond.2	28.57	Kg
Vol.cond.bob.1	0.03892	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01058	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	2.14E+03	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	0.56	Kg	Gnomex.bob.2	0.06	Kg
Vol.nomex.bob.1	2.59E-04	m ³	Vol.nomex.bob.2	4.39E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.17	Ω	Rcond.2	9.86E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	1053.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	1028.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	1003.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	978.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	953.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	5.98	%	f _{cu}	0.30	-
Cx	0.09	%/cm	f _{fe}	0.66	-
ρ _x	0.35	-	Vr%	0.39	%
ρ ₁	1.02	-	Vcc%	6.00	%
T _f	189.82	°C	Jcc	42.08	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	tcc	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.28	Kg/cm ²	Frc.2	42.29	Kg/cm ²
Vx%/Vr%	15.35	-	α.2	0.81	rad
Kr	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	2.68E-08	Kg/cm ²	Fax.2	9.76E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	2.40	-	x/D.2	3.53	-
lccM.1	22.39	KA	lccM.2	489.09	A
σ.1	0.28	Kg/cm ²	σ.2	42.29	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS

ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	302.86	mm	D.int.bob.enc.2	231.13	mm
D.ext.bob.enc.1	425.74	mm	D.ext.bob.enc.2	264.49	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1667.00	mm	Hbob.2	1667.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.08	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	184.03	Kg	G.resina.2	25.98	Kg
D/bob. AT	15.00	mm			
D/bob. AT-BT	18.00	mm			
eo	24.00	mm			
Do	253.28	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1475.22	W	Pcond.2	2422.18	W
αcond.1%	3.19	%	αcond.2%	0.00	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	47.03	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.11	W
$P_{\text{tot-cond.}}$	3944.54	W	P_{fe}	2096.45	W
			η	99.994	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.53	m ²	Aint2-CN	1.18	m ²
Aext1-CN	2.08	m ²	Aext2-CN	1.28	m ²
λ 1-CN	0.50	W/m ² °C	λ 2-CN	0.5	W/m ² °C
$\delta T_{\text{int1-CN}}$	0.07	°C	$\delta T_{\text{int2-CN}}$	0.14	°C
$\delta T_{\text{ext1-CN}}$	0.05	°C	$\delta T_{\text{ext2-CN}}$	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	4.81	m ²	Aint2-NR	3.69	m ²
Aext1-NR	6.54	m ²	Aext2-NR	4.03	m ²
λ 1-NR	1.00	W/m ² °C	λ 2-NR	1	W/m ² °C
$\delta T_{\text{int1-NR}}$	0.46	°C	$\delta T_{\text{int2-NR}}$	0.98	°C
$\delta T_{\text{ext1-NR}}$	0.34	°C	$\delta T_{\text{ext2-NR}}$	0.90	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-CD}}$	0.53	°C	$\delta T_{\text{int2-CD}}$	1.13	°C
$\delta T_{\text{ext1-CD}}$	0.39	°C	$\delta T_{\text{ext2-CD}}$	1.03	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	4.81	m ²	Aint2	3.69	m ²
Aext1	6.54	m ²	Aext2	4.03	m ²
δT 1-CV-20°C	105.60	W/m ²	δT 2-CV-20°C	105.60	W/m ²
δT 1-CV-30°C	176.10	W/m ²	δT 2-CV-30°C	176.10	W/m ²
P1/Aint1	153.34	W/m ²	P2/Aint2	327.94	W/m ²
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	26.77	°C	$\delta T_{\text{int2-CV}}$	51.54	°C
P1/Aext1	112.84	W/m ²	P2/Aext2	300.85	W/m ²
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	21.03	°C	$\delta T_{\text{ext2-CV}}$	47.69	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	4.81	m ²			
Aext1-RD	4.56	m ²			
δT 1-RD-20°C	118.00	W/m ²			
δT 1-RD-30°C	184.50	W/m ²			
P1/Aint1	153.34	W/m ²			
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	15.31	°C			
P1/Aext1	161.78	W/m ²			
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	16.58	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-TOT}}$	42.61	°C	$\delta T_{\text{int2-TOT}}$	52.67	°C
$\delta T_{\text{ext1-TOT}}$	38.00	°C	$\delta T_{\text{ext2-TOT}}$	48.73	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA					
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS		
E.nomex.1	0.07	mm	E.nomex.2	0.07	mm
T.D.nomex.1	2.45	KV	T.D.nomex.2	2.45	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44	KV
$\Delta V1.E$	18.99	V	$\Delta V2.E$	19.13	V
C.S.1.E	128.99	-	C.S.2.E	128.07	-
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS		
E.resina.1	79.00	mm	E.resina.2	0.07	mm
T.D.1-resina	1264.00	KV	T.D.resina.2	1.12	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46	KV
$\Delta V1.G$	1671.42	V	$\Delta V2.C$	19.13	V
C.S.1.G	756.25	-	C.S.2.C	58.55	-

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA								
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA					
E.nomex.1	0.07	mm	E.nomex.2	0.07	mm			
r.nomex.1	154.36	mm	r.nomex.2	112.50	mm			
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV			
Ex.nomex.1	4.45	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84	KV/mm			
C.S.nomex.1	7.87	-	C.S.nomex.2	30.90	-			
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00	mm			
r.resina.1	151.43	mm	r.resina.2	109.57	mm			
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV			
Ex.resina.1	0.32	KV/mm	Ex.resina.2	0.06	KV/mm			
C.S.resina.1	49.44	-	C.S.resina.2	259.25	-			
E.aire.1.2	18.00	mm						
r.aire.1.2	132.24	mm						
T.P.1.2	28.00	KV						
Ex.aire.1.2	1.30	KV/mm						
C.S.aire.1.2	0.77	-						
E.resina.2	3.00	mm						
r.resina.2	129.24	mm						
T.P.1.2	28.00	KV						
Ex.resina.1	0.38	KV/mm						
C.S.resina.2	50.09	-						
E.nomex.2	0.07	mm						
r.nomex.2	118.50	mm						
T.P.1.2	28.00	KV						
Ex.resina.1	5.79	KV/mm						
C.S.resina.2	218.29	-						
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN								
E.nomex.1	0.07	mm						
E.resina.1	3.00	mm						
E.aire.1.m	15.00	mm						
E.resina.1	3.00	mm						
E.nomex.1	0.07	mm						
Ettotal.1.m	21.14	mm						
Exnomex.1	4.90	KV/mm						

C.S.nomex.1	7.15	-	
Exresina.1	0.35	KV/mm	
C.S.resina.1	45.76	-	
Exaire.1.2.ax	1.22	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.82	-	
Exresina.1	0.35	KV/mm	
C.S.resina.1	45.76	-	
Exnomex.1	4.90	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.15	-	
ALTA TENSION - MASA			
Enomex.1	0.07	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.07	mm	
Exnomex.1	4.69	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.46	-	
Exresina.1	1.17	KV/mm	
C.S.resina.1	13.63	-	
Exaire.1.2.ax	1.17	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.85	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	210.84	mm	DT	12.7	mm
D	219.14	mm	FC	0.30	-
H	1693.00	mm	GF	1905.86	Kg
A	221.61	mm	GA	133.64	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	I ₀ %	209.64	%
P _{fe}	2096.45	W	I _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	I _e %	209.64	%
VA _m	3430.55	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.36	mm ²	No. Plan.1° Esca	58	unid.
2° Escalon	3226.95	mm ²	No. Plan.2° Esca	88	unid.
3° Escalon	5796.03	mm ²	No. Plan.3° Esca	124	unid.
4° Escalon	8571.60	mm ²	No. Plan.4° Esca	226	unid.
5° Escalon	14598.13	mm ²	No. Plan.5° Esca	234	unid.
Largo - 1° Escal.	984	mm	Ancho - 1° Escal.	92	mm
Largo - 2° Escal.	1015	mm	Ancho - 2° Escal.	123	mm
Largo - 3° Escal.	1048	mm	Ancho - 3° Escal.	156	mm
Largo - 4° Escal.	1079	mm	Ancho - 4° Escal.	186	mm
Largo - 5° Escal.	1101	mm	Ancho - 5° Escal.	208	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	133.64	Kg
FeSi	-	-	1905.86	Kg
Resina	-	-	260.01	Kg
Nomex	-	-	0.61	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2484.12	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1034.88	mm
Largo total incluyendo bobinados	1307.23	mm
Largo de los perfiles para yugo	1367.23	mm
Alto Núcleo	2087.44	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	2272.44	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	34898.71	mm ²	VF	0.24	m ³
Sn	36352.82	mm ²	B	1.60	T
J	2.40	A/mm ²	VC	0.17	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	15.50	V/esp	Ve.2	15.50	V/esp
Ve.1.f	9.68	V/esp	Ve.2.f	9.57	V/esp
Ne.1	1032.59	espiras	Ne.2	22.72	espiras
Ne.1.f	1033.00	espiras	Ne.2.f	23.00	espiras
Ne.1.G	86.08	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	86.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	832.53	Voltios	Ve.2.C	9.57	Voltios
NG.1	12.00	-	NC.2	23.00	-
J.1	1.25	A/mm ²	J.2	2.45	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	28.00	mm ²	S.2	617.60	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.40	mm	Ebanda.2	0.40	mm
h.1	70.00	mm	h.2	1544.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	11.00	-			
hr.1	64.00	mm			
Esp.cinta.1	0.10	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	45.15	mm	e.2	11.35	mm
H.1	1544.00	mm	H.2	1544.00	mm
Dm.1	353.15	mm	Dm.2	238.79	mm
Lm.1	1109.45	mm	Lm.2	750.17	mm
D.ext.Arroll.1	398.30	mm	D.ext.Arroll.2	250.14	mm
L.C.ext.Arroll.1	1251.29	mm	L.C.ext.Arroll.2	785.83	mm
D.int.Arroll.1	308.00	mm	D.int.Arroll.2	227.44	mm
L.C.int.Arroll.1	967.61	mm	L.C.int.Arroll.2	714.51	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	89.24	Kg	Gcond.2	30.79	Kg
Vol.cond.bob.1	0.03305	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01140	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	1.50E+03	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	0.72	Kg	Gnomex.bob.2	0.06	Kg
Vol.nomex.bob.1	4.77E-04	m ³	Vol.nomex.bob.2	4.47E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.38	Ω	Rcond.2	9.41E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	1033.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	1008.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	984.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	959.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	935.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	6.00	%	fcu	0.30	-
Cx	0.09	%/cm	f _{fe}	0.66	-
p _x	0.37	-	Vr%	0.41	%
p ₁	1.02	-	Vcc%	6.01	%
T _f	183.37	°C	Jcc	39.93	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	tcc	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.35	Kg/cm ²	Frc.2	53.44	Kg/cm ²
Vx%/Vr%	14.80	-	α.2	0.81	rad
Kr	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	2.93E-08	Kg/cm ²	Fax.2	8.55E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	2.19	-	x/D.2	3.23	-
lccM.1	21.91	KA	lccM.2	487.73	A
σ.1	0.35	Kg/cm ²	σ.2	53.44	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS
ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	318.21	mm	D.int.bob.enc.2	233.41	mm
D.ext.bob.enc.1	425.26	mm	D.ext.bob.enc.2	269.30	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1550.00	mm	Hbob.2	1550.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.06	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	149.41	Kg	G.resina.2	24.81	Kg
D/bob. AT	20.00	mm			
D/bob. AT-BT	23.00	mm			
eo	29.00	mm			
Do	259.15	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1740.41	W	Pcond.2	2312.64	W
αcond.1%	1.25	%	αcond.2%	0.01	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	21.71	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.17	W
$P_{\text{tot-cond.}}$	4074.93	W	P_{fe}	2041.51	W
			η	99.994	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.49	m ²	Aint2-CN	1.10	m ²
Aext1-CN	1.93	m ²	Aext2-CN	1.21	m ²
$\lambda_{1\text{-CN}}$	0.50	W/m ² °C	$\lambda_{2\text{-CN}}$	0.5	W/m ² °C
$\delta T_{\text{int1-CN}}$	0.12	°C	$\delta T_{\text{int2-CN}}$	0.15	°C
$\delta T_{\text{ext1-CN}}$	0.09	°C	$\delta T_{\text{ext2-CN}}$	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	4.69	m ²	Aint2-NR	3.47	m ²
Aext1-NR	6.07	m ²	Aext2-NR	3.81	m ²
$\lambda_{1\text{-NR}}$	1.00	W/m ² °C	$\lambda_{2\text{-NR}}$	1	W/m ² °C
$\delta T_{\text{int1-NR}}$	0.56	°C	$\delta T_{\text{int2-NR}}$	1.00	°C
$\delta T_{\text{ext1-NR}}$	0.43	°C	$\delta T_{\text{ext2-NR}}$	0.91	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-CD}}$	0.67	°C	$\delta T_{\text{int2-CD}}$	1.15	°C
$\delta T_{\text{ext1-CD}}$	0.52	°C	$\delta T_{\text{ext2-CD}}$	1.04	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	4.69	m ²	Aint2	3.47	m ²
Aext1	6.07	m ²	Aext2	3.81	m ²
$\delta T_{1\text{-CV-20°C}}$	105.60	W/m ²	$\delta T_{2\text{-CV-20°C}}$	105.60	W/m ²
$\delta T_{1\text{-CV-30°C}}$	176.10	W/m ²	$\delta T_{2\text{-CV-30°C}}$	176.10	W/m ²
P_1/A_{int1}	185.41	W/m ²	P_2/A_{int2}	333.63	W/m ²
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	21.32	°C	$\delta T_{\text{int2-CV}}$	42.35	°C
P_1/A_{ext1}	143.37	W/m ²	P_2/A_{ext2}	303.35	W/m ²
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	15.36	°C	$\delta T_{\text{ext2-CV}}$	38.05	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	4.69	m ²			
Aext1-RD	4.27	m ²			
$\delta T_{1\text{-RD-20°C}}$	118.00	W/m ²			
$\delta T_{1\text{-RD-30°C}}$	184.50	W/m ²			
P_1/A_{int1}	185.41	W/m ²			
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	20.14	°C			
P_1/A_{ext1}	204.01	W/m ²			
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	22.93	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-TOT}}$	42.13	°C	$\delta T_{\text{int2-TOT}}$	43.49	°C
$\delta T_{\text{ext1-TOT}}$	38.81	°C	$\delta T_{\text{ext2-TOT}}$	39.09	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA					
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS		
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07	mm
T.D.nomex.1	3.50	KV	T.D.nomex.2	2.45	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44	KV
$\Delta V1.E$	19.36	V	$\Delta V2.E$	19.13	V
C.S.1.E	180.78	-	C.S.2.E	128.07	-
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS		
E.resina.1	64.00	mm	E.resina.2	0.07	mm
T.D.1-resina	1024.00	KV	T.D.resina.2	1.12	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46	KV
$\Delta V1.G$	1665.05	V	$\Delta V2.C$	19.13	V
C.S.1.G	615.00	-	C.S.2.C	58.55	-

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA					
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA		
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07	mm
r.nomex.1	162.00	mm	r.nomex.2	113.58	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.nomex.1	4.07	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84	KV/mm
C.S.nomex.1	8.60	-	C.S.nomex.2	30.89	-
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00	mm
r.resina.1	159.10	mm	r.resina.2	110.65	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.resina.1	0.30	KV/mm	Ex.resina.2	0.06	KV/mm
C.S.resina.1	54.07	-	C.S.resina.2	259.29	-
E.aire.1.2	23.00	mm			
r.aire.1.2	134.65	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.aire.1.2	1.22	KV/mm			
C.S.aire.1.2	0.82	-			
E.resina.2	3.00	mm			
r.resina.2	131.65	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	0.36	KV/mm			
C.S.resina.2	54.14	-			
E.nomex.2	0.07	mm			
r.nomex.2	119.63	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	5.51	KV/mm			
C.S.resina.2	185.86	-			
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN					
E.nomex.1	0.10	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.aire.1.m	20.00	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.nomex.1	0.10	mm			
Ettotal.1.m	26.20	mm			
Exnomex.1	4.65	KV/mm			

C.S.nomex.1	7.52	-	
Exresina.1	0.33	KV/mm	
C.S.resina.1	48.12	-	
Exaire.1.2.ax	1.16	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.86	-	
Exresina.1	0.33	KV/mm	
C.S.resina.1	48.12	-	
Exnomex.1	4.65	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.52	-	
ALTA TENSIÓN - MASA			
Enomex.1	0.10	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.10	mm	
Exnomex.1	4.65	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.52	-	
Exresina.1	1.16	KV/mm	
C.S.resina.1	13.75	-	
Exaire.1.2.ax	1.16	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.86	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	213.00	mm	DT	12.7	mm
D	221.30	mm	FC	0.30	-
H	1576.00	mm	GF	1855.91	Kg
A	223.96	mm	GC	120.03	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	l _u %	204.15	%
P _{fe}	2041.51	W	l _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	l _e %	204.15	%
VA _m	3340.65	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.44	mm ²	No. Plan.1° Esca	59	unid.
2° Escalon	3290.93	mm ²	No. Plan.2° Esca	89	unid.
3° Escalon	5910.94	mm ²	No. Plan.3° Esca	125	unid.
4° Escalon	8741.54	mm ²	No. Plan.4° Esca	229	unid.
5° Escalon	14887.55	mm ²	No. Plan.5° Esca	236	unid.
Largo - 1° Escal.	995	mm	Ancho - 1° Escal.	93	mm
Largo - 2° Escal.	1026	mm	Ancho - 2° Escal.	124	mm
Largo - 3° Escal.	1059	mm	Ancho - 3° Escal.	157	mm
Largo - 4° Escal.	1090	mm	Ancho - 4° Escal.	188	mm
Largo - 5° Escal.	1112	mm	Ancho - 5° Escal.	210	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	120.03	Kg
FeSi	-	-	1855.91	Kg
Resina	-	-	224.21	Kg
Nomex	-	-	0.77	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2384.93	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1045.43	mm
Largo total incluyendo bobinados	1315.78	mm
Largo de los perfiles para yugo	1375.78	mm
Alto Núcleo	1974.33	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Tern.	50.00	mm
Alt. Total	2159.33	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	35622.06	mm ²	VF	0.24	m ³
Sn	37106.31	mm ²	B	1.60	T
J	2.30	A/mm ²	VC	0.17	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	15.82	V/esp	Ve.2	15.82	V/esp
Ve.1.f	9.88	V/esp	Ve.2.f	10.00	V/esp
Ne.1	1011.62	espiras	Ne.2	22.26	espiras
Ne.1.f	1012.00	espiras	Ne.2.f	22.00	espiras
Ne.1.G	92.00	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	92.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	909.09	Voltios	Ve.2.C	10.00	Voltios
NG.1	11.00	-	NC.2	22.00	-
J.1	1.06	A/mm ²	J.2	2.36	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	33.00	mm ²	S.2	641.70	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.50	mm	Ebanda.2	0.45	mm
h.1	66.00	mm	h.2	1426.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	10.00	-			
hr.1	70.00	mm			
Esp.cinta.1	0.12	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	59.89	mm	e.2	12.01	mm
H.1	1426.00	mm	H.2	1426.00	mm
Dm.1	359.49	mm	Dm.2	241.73	mm
Lm.1	1129.39	mm	Lm.2	759.42	mm
D.ext.Arroll.1	419.39	mm	D.ext.Arroll.2	253.74	mm
L.C.ext.Arroll.1	1317.54	mm	L.C.ext.Arroll.2	797.16	mm
D.int.Arroll.1	299.60	mm	D.int.Arroll.2	229.72	mm
L.C.int.Arroll.1	941.23	mm	L.C.int.Arroll.2	721.68	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	104.89	Kg	Gcond.2	30.97	Kg
Vol.cond.bob.1	0.03885	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01147	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	1.25E+03	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	0.95	Kg	Gnomex.bob.2	0.05	Kg
Vol.nomex.bob.1	7.60E-04	m ³	Vol.nomex.bob.2	4.02E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.17	Ω	Rcond.2	8.77E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	1012.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	988.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	964.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	940.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	916.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	6.01	%	f _{cu}	0.30	-
Cx	0.08	%/cm	f _{fe}	0.66	-
ρ _x	0.35	-	V _r %	0.36	%
ρ ₁	1.03	-	V _{cc} %	6.02	%
T _f	178.25	°C	J _{cc}	38.14	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	t _{cc}	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.32	Kg/cm ²	Frc.2	48.79	Kg/cm ²
V _x %/V _r %	16.57	-	α.2	0.81	rad
K _r	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	2.08E-08	Kg/cm ²	Fax.2	7.27E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	1.98	-	x/D.2	2.95	-
I _{ccM.1}	21.42	KA	I _{ccM.2}	465.68	A
σ.1	0.32	Kg/cm ²	σ.2	48.79	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS
ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	309.37	mm	D.int.bob.enc.2	235.81	mm
D.ext.bob.enc.1	447.46	mm	D.ext.bob.enc.2	273.10	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1432.00	mm	Hbob.2	1432.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.08	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	183.77	Kg	G.resina.2	23.18	Kg
D/bob. AT	12.00	mm			
D/bob. AT-BT	17.00	mm			
eo	23.00	mm			
Do	259.09	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1472.69	W	Pcond.2	2155.25	W
αcond.1%	3.19	%	αcond.2%	0.01	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	47.04	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.23	W
$P_{\text{tot-cond.}}$	3675.22	W	P_{fe}	1996.10	W
			η	99.994	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.34	m ²	Aint2-CN	1.03	m ²
Aext1-CN	1.88	m ²	Aext2-CN	1.14	m ²
λ 1-CN	0.50	W/m°C	λ 2-CN	0.5	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-CN}}$	0.13	°C	$\delta T_{\text{int2-CN}}$	0.15	°C
$\delta T_{\text{ext1-CN}}$	0.09	°C	$\delta T_{\text{ext2-CN}}$	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	4.22	m ²	Aint2-NR	3.23	m ²
Aext1-NR	5.90	m ²	Aext2-NR	3.57	m ²
λ 1-NR	1.00	W/m°C	λ 2-NR	1	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-NR}}$	0.52	°C	$\delta T_{\text{int2-NR}}$	1.00	°C
$\delta T_{\text{ext1-NR}}$	0.37	°C	$\delta T_{\text{ext2-NR}}$	0.91	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-CD}}$	0.66	°C	$\delta T_{\text{int2-CD}}$	1.15	°C
$\delta T_{\text{ext1-CD}}$	0.47	°C	$\delta T_{\text{ext2-CD}}$	1.04	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	4.22	m ²	Aint2	3.23	m ²
Aext1	5.90	m ²	Aext2	3.57	m ²
δT 1-CV-20°C	105.60	W/m ²	δT 2-CV-20°C	105.60	W/m ²
δT 1-CV-30°C	176.10	W/m ²	δT 2-CV-30°C	176.10	W/m ²
P 1/Aint1	174.63	W/m ²	P 2/Aint2	333.31	W/m ²
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	19.79	°C	$\delta T_{\text{int2-CV}}$	42.30	°C
P 1/Aext1	124.75	W/m ²	P 2/Aext2	301.75	W/m ²
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	12.72	°C	$\delta T_{\text{ext2-CV}}$	37.82	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	4.22	m ²			
Aext1-RD	4.09	m ²			
δT 1-RD-20°C	118.00	W/m ²			
δT 1-RD-30°C	184.50	W/m ²			
P 1/Aint1	174.63	W/m ²			
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	18.52	°C			
P 1/Aext1	179.83	W/m ²			
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	19.30	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-TOT}}$	38.96	°C	$\delta T_{\text{int2-TOT}}$	43.45	°C
$\delta T_{\text{ext1-TOT}}$	32.48	°C	$\delta T_{\text{ext2-TOT}}$	38.86	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA				
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS	
E.nomex.1	0.12	mm	E.nomex.2	0.07 mm
T.D.nomex.1	4.20	KV	T.D.nomex.2	2.45 KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44 KV
$\Delta V1.E$	19.76	V	$\Delta V2.E$	20.00 V
C.S.1.E	212.52	-	C.S.2.E	122.50 -
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS	
E.resina.1	70.00	mm	E.resina.2	0.07 mm
T.D.1-resina	1120.00	KV	T.D.resina.2	1.12 KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46 KV
$\Delta V1.G$	1818.18	V	$\Delta V2.C$	20.00 V
C.S.1.G	616.00	-	C.S.2.C	56.00 -

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA				
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA	
E.nomex.1	0.12	mm	E.nomex.2	0.07 mm
r.nomex.1	157.57	mm	r.nomex.2	114.72 mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50 KV
Ex.nomex.1	4.43	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84 KV/mm
C.S.nomex.1	7.89	-	C.S.nomex.2	30.89 -
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00 mm
r.resina.1	154.69	mm	r.resina.2	111.79 mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50 KV
Ex.resina.1	0.32	KV/mm	Ex.resina.2	0.06 KV/mm
C.S.resina.1	49.60	-	C.S.resina.2	259.32 -
E.aire.1.2	17.00	mm		
r.aire.1.2	136.55	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.aire.1.2	1.28	KV/mm		
C.S.aire.1.2	0.78	-		
E.resina.2	3.00	mm		
r.resina.2	133.55	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.resina.1	0.37	KV/mm		
C.S.resina.2	52.89	-		
E.nomex.2	0.07	mm		
r.nomex.2	120.83	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.resina.1	5.78	KV/mm		
C.S.resina.2	193.73	-		
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN				
E.nomex.1	0.12	mm		
E.resina.1	3.00	mm		
E.aire.1.m	12.00	mm		
E.resina.1	3.00	mm		
E.nomex.1	0.12	mm		
Etotal.1.m	18.24	mm		
Exnomex.1	4.97	KV/mm		

C.S.nomex.1	7.04	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	45.05	-	
Exaire.1.2.ax	1.24	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.80	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	45.05	-	
Exnomex.1	4.97	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.04	-	
ALTA TENSION - MASA			
Enomex.1	0.12	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.12	mm	
Exnomex.1	4.63	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.56	-	
Exresina.1	1.16	KV/mm	
C.S.resina.1	13.83	-	
Exaire.1.2.ax	1.16	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.86	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	215.28	mm	DT	12.7	mm
D	223.58	mm	FC	0.30	-
H	1458.00	mm	GF	1814.63	Kg
A	235.88	mm	GC	135.86	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	I _u %	199.61	%
P _{to}	1996.10	W	I _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	I _a %	199.61	%
VA _m	3266.34	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.51	mm ²	No. Plan.1° Esca	60	unid.
2° Escalon	3359.14	mm ²	No. Plan.2° Esca	89	unid.
3° Escalon	6033.46	mm ²	No. Plan.3° Esca	127	unid.
4° Escalon	8922.72	mm ²	No. Plan.4° Esca	231	unid.
5° Escalon	15196.12	mm ²	No. Plan.5° Esca	238	unid.
Largo - 1° Escal.	1024	mm	Ancho - 1° Escal.	94	mm
Largo - 2° Escal.	1055	mm	Ancho - 2° Escal.	125	mm
Largo - 3° Escal.	1089	mm	Ancho - 3° Escal.	159	mm
Largo - 4° Escal.	1120	mm	Ancho - 4° Escal.	190	mm
Largo - 5° Escal.	1142	mm	Ancho - 5° Escal.	212	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	135.86	Kg
FeSi	-	-	1814.63	Kg
Resina	-	-	256.95	Kg
Nomex	-	-	1.00	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2392.45	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1075.42	mm
Largo total incluyendo bobinados	1366.38	mm
Largo de los perfiles para yugo	1426.38	mm
Alto Núcleo	1860.44	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	2045.44	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	36391.48	mm ²	VF	0.23	m ³
Sn	37907.79	mm ²	B	1.60	T
J	2.21	A/mm ²	VC	0.16	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	16.16	V/esp	Ve.2	16.16	V/esp
Ve.1.f	10.10	V/esp	Ve.2.f	10.00	V/esp
Ne.1	990.23	espiras	Ne.2	21.79	espiras
Ne.1.f	990.00	espiras	Ne.2.f	22.00	espiras
Ne.1.G	90.00	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	90.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	909.09	Voltios	Ve.2.C	10.00	Voltios
NG.1	11.00	-	NC.2	22.00	-
J.1	1.11	A/mm ²	J.2	2.26	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	31.50	mm ²	S.2	670.00	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.45	mm	Ebanda.2	0.50	mm
h.1	70.00	mm	h.2	1340.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	10.00	-			
hr.1	57.00	mm			
Esp.cinta.1	0.16	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	57.65	mm	e.2	13.17	mm
H.1	1340.00	mm	H.2	1340.00	mm
Dm.1	365.96	mm	Dm.2	245.29	mm
Lm.1	1149.70	mm	Lm.2	770.59	mm
D.ext.Arroll.1	423.60	mm	D.ext.Arroll.2	258.45	mm
L.C.ext.Arroll.1	1330.79	mm	L.C.ext.Arroll.2	811.96	mm
D.int.Arroll.1	308.31	mm	D.int.Arroll.2	232.12	mm
L.C.int.Arroll.1	968.60	mm	L.C.int.Arroll.2	729.23	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	99.71	Kg	Gcond.2	32.81	Kg
Vol.cond.bob.1	0.03693	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01215	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	9.38E+02	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	1.27	Kg	Gnomex.bob.2	0.05	Kg
Vol.nomex.bob.1	1.36E-03	m ³	Vol.nomex.bob.2	4.06E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.22	Ω	Rcond.2	8.53E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	990.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	966.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	943.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	919.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	896.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	5.95	%	f _{cu}	0.30	-
Cx	0.08	%/cm	f _{fe}	0.66	-
ρ _x	0.36	-	V _r %	0.36	%
ρ ₁	1.03	-	V _{cc} %	5.96	%
T _f	175.37	°C	J _{cc}	37.10	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	t _{cc}	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.36	Kg/cm ²	Frc.2	54.70	Kg/cm ²
V _x %/V _r %	16.37	-	α.2	0.81	rad
K _r	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	2.07E-08	Kg/cm ²	Fax.2	6.69E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	1.83	-	x/D.2	2.73	-
I _{cc} M.1	21.19	KA	I _{cc} M.2	470.92	A
σ.1	0.36	Kg/cm ²	σ.2	54.70	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS
ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	318.54	mm	D.int.bob.enc.2	238.34	mm
D.ext.bob.enc.1	451.90	mm	D.ext.bob.enc.2	278.06	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1346.00	mm	Hbob.2	1346.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.07	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	165.84	Kg	G.resina.2	22.38	Kg
D/bob. AT	12.00	mm			
D/bob. AT-BT	19.00	mm			
eo	25.00	mm			
Do	263.65	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1536.42	W	Pcond.2	2094.59	W
αcond.1%	2.01	%	αcond.2%	0.02	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	30.81	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.35	W
Plot-cond.	3662.18	W	Pfe	1967.11	W
			η	99.994	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.30	m ²	Aint2-CN	0.98	m ²
Aext1-CN	1.78	m ²	Aext2-CN	1.09	m ²
λ 1-CN	0.50	W/m°C	λ 2-CN	0.5	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-CN}}$	0.19	°C	$\delta T_{\text{int2-CN}}$	0.15	°C
$\delta T_{\text{ext1-CN}}$	0.14	°C	$\delta T_{\text{ext2-CN}}$	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	4.08	m ²	Aint2-NR	3.07	m ²
Aext1-NR	5.60	m ²	Aext2-NR	3.42	m ²
λ 1-NR	1.00	W/m°C	λ 2-NR	1	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-NR}}$	0.57	°C	$\delta T_{\text{int2-NR}}$	1.02	°C
$\delta T_{\text{ext1-NR}}$	0.41	°C	$\delta T_{\text{ext2-NR}}$	0.92	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-CD}}$	0.75	°C	$\delta T_{\text{int2-CD}}$	1.17	°C
$\delta T_{\text{ext1-CD}}$	0.55	°C	$\delta T_{\text{ext2-CD}}$	1.05	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	4.08	m ²	Aint2	3.07	m ²
Aext1	5.60	m ²	Aext2	3.42	m ²
δT 1-CV-20°C	105.60	W/m ²	δT 2-CV-20°C	105.60	W/m ²
δT 1-CV-30°C	176.10	W/m ²	δT 2-CV-30°C	176.10	W/m ²
P1/Aint1	188.40	W/m ²	P2/Aint2	341.15	W/m ²
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	21.74	°C	$\delta T_{\text{int2-CV}}$	43.41	°C
P1/Aext1	137.12	W/m ²	P2/Aext2	306.39	W/m ²
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	14.47	°C	$\delta T_{\text{ext2-CV}}$	38.48	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	4.08	m ²			
Aext1-RD	3.89	m ²			
δT 1-RD-20°C	118.00	W/m ²			
δT 1-RD-30°C	184.50	W/m ²			
P1/Aint1	188.40	W/m ²			
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	20.59	°C			
P1/Aext1	197.67	W/m ²			
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	21.98	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-TOT}}$	43.09	°C	$\delta T_{\text{int2-TOT}}$	44.59	°C
$\delta T_{\text{ext1-TOT}}$	37.00	°C	$\delta T_{\text{ext2-TOT}}$	39.54	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA					
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS		
E.nomex.1	0.16	mm	E.nomex.2	0.07	mm
T.D.nomex.1	5.60	KV	T.D.nomex.2	2.45	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44	KV
$\Delta V1.E$	20.20	V	$\Delta V2.E$	20.00	V
C.S.1.E	277.20	-	C.S.2.E	122.50	-
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS		
E.resina.1	57.00	mm	E.resina.2	0.07	mm
T.D.1-resina	912.00	KV	T.D.resina.2	1.12	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46	KV
$\Delta V1.G$	1818.18	V	$\Delta V2.C$	20.00	V
C.S.1.G	501.60	-	C.S.2.C	56.00	-

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA					
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA		
E.nomex.1	0.16	mm	E.nomex.2	0.07	mm
r.nomex.1	162.11	mm	r.nomex.2	115.92	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.nomex.1	4.26	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84	KV/mm
C.S.nomex.1	8.22	-	C.S.nomex.2	30.88	-
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00	mm
r.resina.1	159.27	mm	r.resina.2	112.99	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.resina.1	0.31	KV/mm	Ex.resina.2	0.06	KV/mm
C.S.resina.1	51.71	-	C.S.resina.2	259.36	-
E.aire.1.2	19.00	mm			
r.aire.1.2	139.03	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.aire.1.2	1.24	KV/mm			
C.S.aire.1.2	0.81	-			
E.resina.2	3.00	mm			
r.resina.2	136.03	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	0.36	KV/mm			
C.S.resina.2	55.76	-			
E.nomex.2	0.07	mm			
r.nomex.2	122.10	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	5.65	KV/mm			
C.S.resina.2	161.39	-			
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN					
E.nomex.1	0.16	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.aire.1.m	12.00	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.nomex.1	0.16	mm			
Etotal.1.m	18.32	mm			
Exnomex.1	4.89	KV/mm			

C.S.nomex.1	7.16	-	
Exresina.1	0.35	KV/mm	
C.S.resina.1	45.83	-	
Exaire.1.2.ax	1.22	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.82	-	
Exresina.1	0.35	KV/mm	
C.S.resina.1	45.83	-	
Exnomex.1	4.89	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.16	-	
ALTA TENSIÓN - MASA			
Enomex.1	0.16	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.16	mm	
Exnomex.1	4.58	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.64	-	
Exresina.1	1.14	KV/mm	
C.S.resina.1	13.98	-	
Exaire.1.2.ax	1.14	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.87	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	217.68	mm	DT	12.7	mm
D	225.98	mm	FC	0.30	-
H	1372.00	mm	GF	1788.28	Kg
A	237.92	mm	GC	132.52	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	I _u %	196.71	%
P _{fe}	1967.11	W	I _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	I _e %	196.71	%
VA _m	3218.91	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.59	mm ²	No. Plan.1° Esca	60	unid.
2° Escalon	3431.70	mm ²	No. Plan.2° Esca	90	unid.
3° Escalon	6163.78	mm ²	No. Plan.3° Esca	128	unid.
4° Escalon	9115.45	mm ²	No. Plan.4° Esca	234	unid.
5° Escalon	15524.35	mm ²	No. Plan.5° Esca	241	unid.
Largo - 1° Escal.	1033	mm	Ancho - 1° Escal.	95	mm
Largo - 2° Escal.	1065	mm	Ancho - 2° Escal.	127	mm
Largo - 3° Escal.	1099	mm	Ancho - 3° Escal.	160	mm
Largo - 4° Escal.	1131	mm	Ancho - 4° Escal.	192	mm
Largo - 5° Escal.	1154	mm	Ancho - 5° Escal.	215	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	132.52	Kg
FeSi	-	-	1788.28	Kg
Resina	-	-	238.22	Kg
Nomex	-	-	1.32	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2344.35	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1085.98	mm
Largo total incluyendo bobinados	1379.70	mm
Largo de los perfiles para yugo	1439.70	mm
Alto Núcleo	1778.76	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	1963.76	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	37217.98	mm ²	VF	0.23	m ³
Sn	38768.73	mm ²	B	1.60	T
J	2.11	A/mm ²	VC	0.16	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	16.52	V/esp	Ve.2	16.52	V/esp
Ve.1.f	10.33	V/esp	Ve.2.f	10.48	V/esp
Ne.1	968.24	espiras	Ne.2	21.30	espiras
Ne.1.f	968.00	espiras	Ne.2.f	21.00	espiras
Ne.1.G	96.80	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	97.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	1002.07	Voltios	Ve.2.C	10.48	Voltios
NG.1	10.00	-	NC.2	21.00	-
J.1	0.96	A/mm ²	J.2	2.17	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	36.30	mm ²	S.2	699.60	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.55	mm	Ebanda.2	0.55	mm
h.1	66.00	mm	h.2	1272.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	9.00	-			
hr.1	68.00	mm			
Esp.cinta.1	0.10	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	66.20	mm	e.2	13.67	mm
H.1	1272.00	mm	H.2	1272.00	mm
Dm.1	372.08	mm	Dm.2	248.34	mm
Lm.1	1168.91	mm	Lm.2	780.19	mm
D.ext.Arroll.1	438.28	mm	D.ext.Arroll.2	262.01	mm
L.C.ext.Arroll.1	1376.90	mm	L.C.ext.Arroll.2	823.14	mm
D.int.Arroll.1	305.87	mm	D.int.Arroll.2	234.67	mm
L.C.int.Arroll.1	960.93	mm	L.C.int.Arroll.2	737.24	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	114.23	Kg	Gcond.2	33.11	Kg
Vol.cond.bob.1	0.04231	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01226	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	1.50E+03	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	0.85	Kg	Gnomex.bob.2	0.05	Kg
Vol.nomex.bob.1	5.69E-04	m ³	Vol.nomex.bob.2	3.76E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.05	Ω	Rcond.2	7.89E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	968.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	945.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	922.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	899.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	876.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	5.98	%	f _{cu}	0.30	-
Cx	0.07	%/cm	f _{fe}	0.66	-
ρ _x	0.34	-	Vr%	0.33	%
ρ ₁	1.04	-	Vcc%	5.99	%
T _f	170.24	°C	Jcc	35.16	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	tcc	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.33	Kg/cm ²	Frc.2	49.36	Kg/cm ²
Vx%/Vr%	18.33	-	α.2	0.81	rad
Kr	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	1.68E-08	Kg/cm ²	Fax.2	5.73E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	1.71	-	x/D.2	2.56	-
IccM.1	20.60	KA	IccM.2	446.88	A
σ.1	0.33	Kg/cm ²	σ.2	49.36	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS
ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	315.97	mm	D.int.bob.enc.2	241.02	mm
D.ext.bob.enc.1	467.35	mm	D.ext.bob.enc.2	281.80	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1278.00	mm	Hbob.2	1278.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.08	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	179.54	Kg	G.resina.2	21.46	Kg
D/bob. AT	12.00	mm			
D/bob. AT-BT	16.00	mm			
eo	22.00	mm			
Do	265.20	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1325.42	W	Pcond.2	1938.64	W
αcond.1%	4.73	%	αcond.2%	0.02	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	62.64	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.43	W
$P_{\text{tot-cond.}}$	3327.14	W	P_{fe}	1968.85	W
			η	99.995	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.22	m ²	Aint2-CN	0.94	m ²
Aext1-CN	1.75	m ²	Aext2-CN	1.05	m ²
λ 1-CN	0.50	W/m°C	λ 2-CN	0.5	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-CN}}$	0.11	°C	$\delta T_{\text{int2-CN}}$	0.14	°C
$\delta T_{\text{ext1-CN}}$	0.08	°C	$\delta T_{\text{ext2-CN}}$	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	3.84	m ²	Aint2-NR	2.95	m ²
Aext1-NR	5.50	m ²	Aext2-NR	3.29	m ²
λ 1-NR	1.00	W/m°C	λ 2-NR	1	W/m°C
$\delta T_{\text{int1-NR}}$	0.52	°C	$\delta T_{\text{int2-NR}}$	0.99	°C
$\delta T_{\text{ext1-NR}}$	0.36	°C	$\delta T_{\text{ext2-NR}}$	0.88	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-CD}}$	0.63	°C	$\delta T_{\text{int2-CD}}$	1.13	°C
$\delta T_{\text{ext1-CD}}$	0.44	°C	$\delta T_{\text{ext2-CD}}$	1.01	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	3.84	m ²	Aint2	2.95	m ²
Aext1	5.50	m ²	Aext2	3.29	m ²
δT 1-CV-20°C	105.60	W/m ²	δT 2-CV-20°C	105.60	W/m ²
δT 1-CV-30°C	176.10	W/m ²	δT 2-CV-30°C	176.10	W/m ²
P 1/Aint1	172.58	W/m ²	P 2/Aint2	329.02	W/m ²
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	19.50	°C	$\delta T_{\text{int2-CV}}$	41.69	°C
P 1/Aext1	120.44	W/m ²	P 2/Aext2	294.68	W/m ²
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	12.11	°C	$\delta T_{\text{ext2-CV}}$	36.82	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	3.84	m ²			
Aext1-RD	3.81	m ²			
δT 1-RD-20°C	118.00	W/m ²			
δT 1-RD-30°C	184.50	W/m ²			
P 1/Aint1	172.58	W/m ²			
$\delta T_{\text{int1-CV}}$	18.21	°C			
P 1/Aext1	173.75	W/m ²			
$\delta T_{\text{ext1-CV}}$	18.38	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
$\delta T_{\text{int1-TOT}}$	38.33	°C	$\delta T_{\text{int2-TOT}}$	42.82	°C
$\delta T_{\text{ext1-TOT}}$	30.93	°C	$\delta T_{\text{ext2-TOT}}$	37.83	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA				
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS	
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07 mm
T.D.nomex.1	3.50	KV	T.D.nomex.2	2.45 KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44 KV
$\Delta V1.E$	20.66	V	$\Delta V2.E$	20.95 V
C.S.1.E	169.40	-	C.S.2.E	116.93 -
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS	
E.resina.1	68.00	mm	E.resina.2	0.07 mm
T.D.1-resina	1088.00	KV	T.D.resina.2	1.12 KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46 KV
$\Delta V1.G$	2004.13	V	$\Delta V2.C$	20.95 V
C.S.1.G	542.88	-	C.S.2.C	53.45 -

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA				
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA	
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07 mm
r.nomex.1	160.89	mm	r.nomex.2	117.20 mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50 KV
Ex.nomex.1	4.39	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84 KV/mm
C.S.nomex.1	7.98	-	C.S.nomex.2	30.88 -
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00 mm
r.resina.1	157.99	mm	r.resina.2	114.27 mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50 KV
Ex.resina.1	0.32	KV/mm	Ex.resina.2	0.06 KV/mm
C.S.resina.1	50.16	-	C.S.resina.2	259.39 -
E.aire.1.2	16.00	mm		
r.aire.1.2	140.90	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.aire.1.2	1.25	KV/mm		
C.S.aire.1.2	0.80	-		
E.resina.2	3.00	mm		
r.resina.2	137.90	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.resina.1	0.37	KV/mm		
C.S.resina.2	56.53	-		
E.nomex.2	0.07	mm		
r.nomex.2	123.44	mm		
T.P.1.2	28.00	KV		
Ex.resina.1	5.72	KV/mm		
C.S.resina.2	190.35	-		
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN				
E.nomex.1	0.10	mm		
E.resina.1	3.00	mm		
E.aire.1.m	12.00	mm		
E.resina.1	3.00	mm		
E.nomex.1	0.10	mm		
Etotal.1.m	18.20	mm		
Exnomex.1	5.02	KV/mm		

C.S.nomex.1	6.98	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	44.66	-	
Exaire.1.2.ax	1.25	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.80	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	44.66	-	
Exnomex.1	5.02	KV/mm	
C.S.nomex.1	6.98	-	
ALTA TENSION - MASA			
Enomex.1	0.10	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.10	mm	
Exnomex.1	4.65	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.52	-	
Exresina.1	1.16	KV/mm	
C.S.resina.1	13.75	-	
Exaire.1.2.ax	1.16	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.86	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	220.23	mm	DT	12.7	mm
D	228.53	mm	FC	0.30	-
H	1304.00	mm	GF	1789.86	Kg
A	250.81	mm	GC	147.34	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	I _u %	196.88	%
P _{fe}	1968.85	W	I _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	I _e %	196.88	%
VA _m	3221.75	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.68	mm ²	No. Plan.1° Esca	61	unid.
2° Escalon	3509.64	mm ²	No. Plan.2° Esca	91	unid.
3° Escalon	6303.77	mm ²	No. Plan.3° Esca	130	unid.
4° Escalon	9322.48	mm ²	No. Plan.4° Esca	236	unid.
5° Escalon	15876.93	mm ²	No. Plan.5° Esca	244	unid.
Largo - 1° Escal.	1066	mm	Ancho - 1° Escal.	96	mm
Largo - 2° Escal.	1098	mm	Ancho - 2° Escal.	128	mm
Largo - 3° Escal.	1132	mm	Ancho - 3° Escal.	162	mm
Largo - 4° Escal.	1164	mm	Ancho - 4° Escal.	194	mm
Largo - 5° Escal.	1187	mm	Ancho - 5° Escal.	217	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	147.34	Kg
FeSi	-	-	1789.86	Kg
Resina	-	-	251.00	Kg
Nomex	-	-	0.90	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2373.10	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1118.66	mm
Largo total incluyendo bobinados	1426.04	mm
Largo de los perfiles para yugo	1486.04	mm
Alto Núcleo	1715.36	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	1900.36	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE ALUMINIO**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	38103.21	mm ²	VF	0.23	m ³
Sn	39690.84	mm ²	B	1.60	T
J	2.02	A/mm ²	VC	0.16	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	16.92	V/esp	Ve.2	16.92	V/esp
Ve.1.f	10.57	V/esp	Ve.2.f	10.48	V/esp
Ne.1	945.75	espiras	Ne.2	20.81	espiras
Ne.1.f	946.00	espiras	Ne.2.f	21.00	espiras
Ne.1.G	94.60	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	95.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	1004.23	Voltios	Ve.2.C	10.48	Voltios
NG.1	10.00	-	NC.2	21.00	-
J.1	1.00	A/mm ²	J.2	2.07	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	35.00	mm ²	S.2	733.20	mm ²
Conductor	aluminio	-	Conductor	aluminio	-
Ebanda.1	0.50	mm	Ebanda.2	0.60	mm
h.1	70.00	mm	h.2	1222.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	9.00	-			
hr.1	58.00	mm			
Esp.cinta.1	0.10	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	59.85	mm	e.2	14.77	mm
H.1	1222.00	mm	H.2	1222.00	mm
Dm.1	380.63	mm	Dm.2	252.15	mm
Lm.1	1195.79	mm	Lm.2	792.15	mm
D.ext.Arroll.1	440.48	mm	D.ext.Arroll.2	266.92	mm
L.C.ext.Arroll.1	1383.81	mm	L.C.ext.Arroll.2	838.56	mm
D.int.Arroll.1	320.78	mm	D.int.Arroll.2	237.37	mm
L.C.int.Arroll.1	1007.76	mm	L.C.int.Arroll.2	745.73	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	2700.00	Kg/m ³	PE.cond.	2700.00	Kg/m ³
Gcond.1	110.11	Kg	Gcond.2	35.24	Kg
Vol.cond.bob.1	0.04078	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01305	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	1.50E+03	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	0.87	Kg	Gnomex.bob.2	0.05	Kg
Vol.nomex.bob.1	5.81E-04	m ³	Vol.nomex.bob.2	3.90E-05	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0337	Ω-mm ² /m
Rcond.1	1.09	Ω	Rcond.2	7.65E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	946.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	923.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	901.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	878.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	856.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	5.97	%	fcu	0.30	-
Cx	0.07	%/cm	ffe	0.66	-
px	0.36	-	Vr%	0.33	%
p1	1.03	-	Vcc%	5.98	%
Tf	166.70	°C	Jcc	33.75	A/mm ²
T1	125.00	°C	tcc	2.00	seg
a	18.30	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.35	Kg/cm ²	Frc.2	53.34	Kg/cm ²
Vx%/Vr%	18.35	-	α.2	0.81	rad
Kr	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	1.74E-08	Kg/cm ²	Fax.2	5.25E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	1.61	-	x/D.2	2.42	-
lccM.1	20.18	KA	lccM.2	447.89	A
σ.1	0.35	Kg/cm ²	σ.2	53.34	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS

ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	331.66	mm	D.int.bob.enc.2	243.87	mm
D.ext.bob.enc.1	469.66	mm	D.ext.bob.enc.2	286.97	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1228.00	mm	Hbob.2	1228.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.07	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	153.96	Kg	G.resina.2	21.17	Kg
D/bob. AT	12.00	mm			
D/bob. AT-BT	21.00	mm			
eo	27.00	mm			
Do	271.51	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	1374.30	W	Pcond.2	1878.14	W
αcond.1%	3.10	%	αcond.2%	0.03	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	42.55	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	0.59	W
Plot-cond.	3295.58	W	Pfe	1972.29	W
			η	99.995	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.23	m ²	Aint2-CN	0.91	m ²
Aext1-CN	1.69	m ²	Aext2-CN	1.02	m ²
λ_1 -CN	0.50	W/m ² °C	λ_2 -CN	0.5	W/m ² °C
δT_{int1} -CN	0.11	°C	δT_{int2} -CN	0.14	°C
δT_{ext1} -CN	0.08	°C	δT_{ext2} -CN	0.13	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	3.87	m ²	Aint2-NR	2.86	m ²
Aext1-NR	5.31	m ²	Aext2-NR	3.22	m ²
λ_1 -NR	1.00	W/m ² °C	λ_2 -NR	1	W/m ² °C
δT_{int1} -NR	0.53	°C	δT_{int2} -NR	0.98	°C
δT_{ext1} -NR	0.39	°C	δT_{ext2} -NR	0.88	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
δT_{int1} -CD	0.64	°C	δT_{int2} -CD	1.13	°C
δT_{ext1} -CD	0.47	°C	δT_{ext2} -CD	1.00	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	3.87	m ²	Aint2	2.86	m ²
Aext1	5.31	m ²	Aext2	3.22	m ²
δT_1 -CV-20°C	105.60	W/m ²	δT_2 -CV-20°C	105.60	W/m ²
δT_1 -CV-30°C	176.10	W/m ²	δT_2 -CV-30°C	176.10	W/m ²
P1/Aint1	177.61	W/m ²	P2/Aint2	328.01	W/m ²
δT_{int1} -CV	20.21	°C	δT_{int2} -CV	41.55	°C
P1/Aext1	129.35	W/m ²	P2/Aext2	291.70	W/m ²
δT_{ext1} -CV	13.37	°C	δT_{ext2} -CV	36.40	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	3.87	m ²			
Aext1-RD	3.68	m ²			
δT_1 -RD-20°C	118.00	W/m ²			
δT_1 -RD-30°C	184.50	W/m ²			
P1/Aint1	177.61	W/m ²			
δT_{int1} -CV	18.96	°C			
P1/Aext1	186.59	W/m ²			
δT_{ext1} -CV	20.31	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
δT_{int1} -TOT	39.82	°C	δT_{int2} -TOT	42.68	°C
δT_{ext1} -TOT	34.15	°C	δT_{ext2} -TOT	37.40	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA					
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS		
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07	mm
T.D.nomex.1	3.50	KV	T.D.nomex.2	2.45	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44	KV
$\Delta V1.E$	21.14	V	$\Delta V2.E$	20.95	V
C.S.1.E	165.55	-	C.S.2.E	116.93	-
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS		
E.resina.1	58.00	mm	E.resina.2	0.07	mm
T.D.1-resina	928.00	KV	T.D.resina.2	1.12	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46	KV
$\Delta V1.G$	2008.46	V	$\Delta V2.C$	20.95	V
C.S.1.G	462.05	-	C.S.2.C	53.45	-

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA					
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA		
E.nomex.1	0.10	mm	E.nomex.2	0.07	mm
r.nomex.1	168.73	mm	r.nomex.2	118.55	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.nomex.1	4.01	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84	KV/mm
C.S.nomex.1	8.73	-	C.S.nomex.2	30.88	-
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00	mm
r.resina.1	165.83	mm	r.resina.2	115.62	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.resina.1	0.29	KV/mm	Ex.resina.2	0.06	KV/mm
C.S.resina.1	54.93	-	C.S.resina.2	259.43	-
E.aire.1.2	21.00	mm			
r.aire.1.2	143.48	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.aire.1.2	1.18	KV/mm			
C.S.aire.1.2	0.85	-			
E.resina.2	3.00	mm			
r.resina.2	140.48	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	0.34	KV/mm			
C.S.resina.2	61.49	-			
E.nomex.2	0.07	mm			
r.nomex.2	124.86	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	5.42	KV/mm			
C.S.resina.2	171.35	-			
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN					
E.nomex.1	0.10	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.aire.1.m	12.00	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.nomex.1	0.10	mm			
Etotal.1.m	18.20	mm			
Exnomex.1	5.02	KV/mm			

C.S.nomex.1	6.98	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	44.66	-	
Exaire.1.2.ax	1.25	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.80	-	
Exresina.1	0.36	KV/mm	
C.S.resina.1	44.66	-	
Exnomex.1	5.02	KV/mm	
C.S.nomex.1	6.98	-	
ALTA TENSIÓN - MASA			
Enomex.1	0.10	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.10	mm	
Exnomex.1	4.65	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.52	-	
Exresina.1	1.16	KV/mm	
C.S.resina.1	13.75	-	
Exaire.1.2.ax	1.16	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.86	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	222.93	mm	DT	12.7	mm
D	231.23	mm	FC	0.30	-
H	1254.00	mm	GF	1792.99	Kg
A	250.43	mm	GC	145.34	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	l _u %	197.23	%
P _{fe}	1972.29	W	l _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	l _o %	197.23	%
VA _m	3227.38	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.77	mm ²	No. Plan.1° Esca	62	unid.
2° Escalon	3593.11	mm ²	No. Plan.2° Esca	92	unid.
3° Escalon	6453.70	mm ²	No. Plan.3° Esca	131	unid.
4° Escalon	9544.21	mm ²	No. Plan.4° Esca	239	unid.
5° Escalon	16254.56	mm ²	No. Plan.5° Esca	247	unid.
Largo - 1° Escal.	1073	mm	Ancho - 1° Escal.	97	mm
Largo - 2° Escal.	1105	mm	Ancho - 2° Escal.	129	mm
Largo - 3° Escal.	1140	mm	Ancho - 3° Escal.	164	mm
Largo - 4° Escal.	1172	mm	Ancho - 4° Escal.	197	mm
Largo - 5° Escal.	1195	mm	Ancho - 5° Escal.	220	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	145.34	Kg
FeSi	-	-	1792.99	Kg
Resina	-	-	225.13	Kg
Nomex	-	-	0.92	Kg
Pemos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2348.38	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1125.19	mm
Largo total incluyendo bobinados	1432.99	mm
Largo de los perfiles para yugo	1492.99	mm
Alto Núcleo	1670.22	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	1855.22	mm

**HOJA DE CÁLCULO PARA TRANSFORMADORES
TRIFASICOS - ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA
Y ARROLLAMIENTO DE COBRE**

DATOS PARA EL CÁLCULO

P	1000	KVA	Altitud	1000	msnm
V1	10000	V	Fases	3	
V2	220	V	f	60	Hz
I1	33.33	A	Conexión	Dyn5	
I2	1515.15	A	Enfriamiento	SNAN	
Vmax	12000	V	Norma	IEC PUB. 76	
No Taps	5	-		IEC PUB. 726	
% Regulacion	2.5	-	Montaje	Interior	

CÁLCULO DE PARAMETROS

Fa	0.95	-	FF	0.9078	-
SF	40188.82	mm ²	VF	0.24	m ³
Sn	41863.35	mm ²	B	1.60	T
J	2.01	A/mm ²	VC	0.16	m ³

CÁLCULO ELÉCTRICO DE LOS ARROLLAMIENTOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
V.1	10500.00	V	V.2	220.00	V
I.1	35.00	A	I.2	1515.15	A
Ve.1	17.84	V/esp	Ve.2	17.84	V/esp
Ve.1.f	11.15	V/esp	Ve.2.f	11.00	V/esp
Ne.1	896.67	espiras	Ne.2	19.73	espiras
Ne.1.f	897.00	espiras	Ne.2.f	20.00	espiras
Ne.1.G	89.70	esp/g	Ne.2.C	1.00	esp/c
Ne.1.Gf	90.00	esp/g	Ne.2.Cf	1.00	esp/c
Ve.1.G	1003.34	Voltios	Ve.2.C	11.00	Voltios
NG.1	10.00	-	NC.2	20.00	-
J.1	0.99	A/mm ²	J.2	2.05	A/mm ²
Paral.1	1.00	unid	Paral.2	1.00	unid
S.1	35.20	mm ²	S.2	737.75	mm ²
Conductor	cobre	-	Conductor	cobre	-
Ebanda.1	0.55	mm	Ebanda.2	0.65	mm
h.1	64.00	mm	h.2	1135.00	mm
D.ax.nuc.1	10.00	mm	D.ax.nuc.2	10.00	mm
Nr.1	9.00	-			
hr.1	55.00	mm			
Esp.cinta.1	0.25	mm	Esp.cinta.2	0.00	mm
Esp. Papel.1	0.00	mm	Esp. Papel.2	0.07	mm
e.1	75.60	mm	e.2	15.12	mm
H.1	1135.00	mm	H.2	1135.00	mm
Dm.1	387.32	mm	Dm.2	258.74	mm
Lm.1	1216.80	mm	Lm.2	812.85	mm
D.ext.Arroll.1	462.92	mm	D.ext.Arroll.2	273.86	mm
L.C.ext.Arroll.1	1454.30	mm	L.C.ext.Arroll.2	860.35	mm
D.int.Arroll.1	311.72	mm	D.int.Arroll.2	243.62	mm
L.C.int.Arroll.1	979.29	mm	L.C.int.Arroll.2	765.35	mm
Varios.1	3.00	%	Varios.2	7.00	%
PE.cond.	8900.00	Kg/m ³	PE.cond.	8900.00	Kg/m ³
Gcond.1	352.19	Kg	Gcond.2	114.22	Kg
Vol.cond.bob.1	0.03957	m ³	Vol.cond.bob.2	0.01283	m ³
Nomex Tipo	410	-	Nomex Tipo	410	-

G/A.nomex.1	0.15	Kgr/m ²	G/A.nomex.2	0.09	Kgr/m ²
PE.nomex.1	6.00E+02	Kgr/m ³	PE.nomex.2	1.29E+03	Kgr/m ³
Gnomex.bob.1	6.15	Kg	Gnomex.bob.2	0.15	Kg
Vol.nomex.bob.1	1.03E-02	m ³	Vol.nomex.bob.2	1.15E-04	m ³
R.D.nomex.1	35.00	KV/mm	R.D.nomex.2	26.00	KV/mm
Res.75°C	0.0216	Ω-mm ² /m	Res.75°C	0.0216	Ω-mm ² /m
Rcond.1	0.67	Ω	Rcond.2	4.76E-04	Ω

CÁLCULO DE ESPIRAS EN AT

Tap No1	10500.00	V	X1 - X2	897.00	Espiras
Tap No2	10250.00	V	X2 - X3	876.00	Espiras
Tap No3	10000.00	V	X3 - X4	854.00	Espiras
Tap No4	9750.00	V	X4 - X5	833.00	Espiras
Tap No5	9500.00	V	X5 - X6	812.00	Espiras

CÁLCULOS EN CORTOCIRCUITO

Vx%	5.96	%	f _{cu}	0.30	-
Cx	0.06	%/cm	f _{fe}	0.66	-
ρ _x	0.33	-	V _r %	0.20	%
ρ ₁	1.05	-	V _{cc} %	5.96	%
T _f	143.55	°C	J _{cc}	33.63	A/mm ²
T ₁	125.00	°C	t _{cc}	2.00	seg
a	8.20	-			
ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Fre.1	0.23	Kg/cm ²	Frc.2	35.33	Kg/cm ²
V _x %/V _r %	29.59	-	α.2	0.81	rad
K _r	0.35	-			
F	0.70	-			
Fax.1	1.22E-08	Kg/cm ²	Fax.2	4.55E-05	Kg/cm ²
Ψ.1	3.00	Grafico	Ψ.2	3.00	Grafico
x/D.1	1.47	-	x/D.2	2.19	-
I _{ccM.1}	19.18	KA	I _{ccM.2}	427.58	A
σ.1	0.23	Kg/cm ²	σ.2	35.33	Kg/cm ²

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE ARROLLAMIENTOS
ENCAPSULADOS

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
D.int.bob.enc.1	322.12	mm	D.int.bob.enc.2	250.44	mm
D.ext.bob.enc.1	493.28	mm	D.ext.bob.enc.2	294.27	mm
E.resina-rad.1	3.00	mm	E.resina-rad.2	3.00	mm
E.resina-ax.1	3.00	mm	E.resina-ax.2	3.00	mm
Hbob.1	1141.00	mm	Hbob.2	1141.00	mm
PE.resina	2358.00	Kgr/m ³	PE.resina	2358.00	Kgr/m ³
Vol.resina.1	0.08	m ³	Vol.resina.2	0.01	m ³
G.resina.1	177.43	Kg	G.resina.2	19.92	Kg
D/bob. AT	12.00	mm			
D/bob. AT-BT	13.00	mm			
eo	19.00	mm			
Do	274.10	mm			

CÁLCULO DE LAS PERDIDAS EN EL TRANSFORMADOR

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Pcond.1	845.07	W	Pcond.2	1169.18	W
αcond.1%	9.90	%	αcond.2%	0.10	%

$\alpha_{\text{cond.1}}$	83.69	W	$\alpha_{\text{cond.2}}$	1.11	W
Ptot-cond.	2099.06	W	Pfe	2028.15	W
			η	99.996	%

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN CONDUCTOR - NOMEX

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-CN	1.11	m ²	Aint2-CN	0.87	m ²
Aext1-CN	1.65	m ²	Aext2-CN	0.98	m ²
λ 1-CN	0.50	W/m ² °C	λ 2-CN	0.5	W/m ² °C
δ Tint1-CN	0.19	°C	δ Tint2-CN	0.09	°C
δ Text1-CN	0.13	°C	δ Text2-CN	0.08	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN NOMEX - RESINA

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-NR	3.49	m ²	Aint2-NR	2.73	m ²
Aext1-NR	5.19	m ²	Aext2-NR	3.07	m ²
λ 1-NR	1.00	W/m ² °C	λ 2-NR	1	W/m ² °C
δ Tint1-NR	0.36	°C	δ Tint2-NR	0.64	°C
δ Text1-NR	0.24	°C	δ Text2-NR	0.57	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONDUCCIÓN FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
δ Tint1-CD	0.55	°C	δ Tint2-CD	0.74	°C
δ Text1-CD	0.37	°C	δ Text2-CD	0.66	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR CONVECCIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1	3.49	m ²	Aint2	2.73	m ²
Aext1	5.19	m ²	Aext2	3.07	m ²
δ T1-CV-20°C	105.60	W/m ²	δ T2-CV-20°C	105.60	W/m ²
δ T1-CV-30°C	176.10	W/m ²	δ T1-CV-30°C	176.10	W/m ²
P1/Aint1	121.01	W/m ²	P2/Aint2	214.21	W/m ²
δ Tint1-CV	22.19	°C	δ Tint2-CV	35.41	°C
P1/Aext1	81.48	W/m ²	P2/Aext2	190.56	W/m ²
δ Text1-CV	6.58	°C	δ Text2-CV	21.32	°C

TRANSMISIÓN DE CALOR POR RADIACIÓN

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
Aint1-RD	3.49	m ²			
Aext1-RD	3.59	m ²			
δ T1-RD-20°C	118.00	W/m ²			
δ T1-RD-30°C	184.50	W/m ²			
P1/Aint1	121.01	W/m ²			
δ Tint1-CV	20.45	°C			
P1/Aext1	117.66	W/m ²			
δ Text1-CV	19.95	°C			

TRANSMISIÓN DE CALOR FINAL

ALTA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN		
δ Tint1-TOT	43.19	°C	δ Tint2-TOT	36.14	°C
δ Text1-TOT	26.90	°C	δ Text2-TOT	21.98	°C

CONTROL DEL AISLAMIENTO

Rigidez Dieléctrica			Coeficiente Dieléctrico	
R.D.nomex.1	35	KV/mm	0.25	
R.D.nomex.2	26	KV/mm	0.25	
R.D.resina	16	KV/mm	3.5	
R.D.aire	1	KV/mm	1	

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA					
ALTA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE ESPIRAS		
E.nomex.1	0.25	mm	E.nomex.2	0.07	mm
T.D.nomex.1	8.75	KV	T.D.nomex.2	2.45	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.44	KV
$\Delta V1.E$	22.30	V	$\Delta V2.E$	22.00	V
C.S.1.E	392.44	-	C.S.2.E	111.36	-
ALTA TENSIÓN - ENTRE GALLETAS			BAJA TENSIÓN - ENTRE CAPAS		
E.resina.1	55.00	mm	E.resina.2	0.07	mm
T.D.1-resina	880.00	KV	T.D.resina.2	1.12	KV
T.P.1	21.00	KV	T.P.2	0.46	KV
$\Delta V1.G$	2006.69	V	$\Delta V2.C$	22.00	V
C.S.1.G	438.53	-	C.S.2.C	50.91	-

PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA					
ALTA TENSIÓN - BAJA TENSIÓN			BAJA TENSIÓN - MASA		
E.nomex.1	0.25	mm	E.nomex.2	0.07	mm
r.nomex.1	163.81	mm	r.nomex.2	121.67	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.nomex.1	4.62	KV/mm	Ex.nomex.2	0.84	KV/mm
C.S.nomex.1	7.57	-	C.S.nomex.2	30.87	-
E.resina.1	3.00	mm	E.resina.2	3.00	mm
r.resina.1	161.06	mm	r.resina.2	118.74	mm
T.P.1.2	28.00	KV	T.P.1.2	2.50	KV
Ex.resina.1	0.34	KV/mm	Ex.resina.2	0.06	KV/mm
C.S.resina.1	47.62	-	C.S.resina.2	259.52	-
E.aire.1.2	13.00	mm			
r.aire.1.2	147.14	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.aire.1.2	1.29	KV/mm			
C.S.aire.1.2	0.78	-			
E.resina.2	3.00	mm			
r.resina.2	144.14	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	0.38	KV/mm			
C.S.resina.2	59.39	-			
E.nomex.2	0.07	mm			
r.nomex.2	128.15	mm			
T.P.1.2	28.00	KV			
Ex.resina.1	5.91	KV/mm			
C.S.resina.2	148.86	-			
ALTA TENSIÓN - ALTA TENSIÓN					
E.nomex.1	0.25	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.aire.1.m	12.00	mm			
E.resina.1	3.00	mm			
E.nomex.1	0.25	mm			
Ettotal.1.m	18.50	mm			
Exnomex.1	4.71	KV/mm			

C.S.nomex.1	7.43	-	
Exresina.1	0.34	KV/mm	
C.S.resina.1	47.57	-	
Exaire.1.2.ax	1.18	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.85	-	
Exresina.1	0.34	KV/mm	
C.S.resina.1	47.57	-	
Exnomex.1	4.71	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.43	-	
ALTA TENSION - MASA			
Enomex.1	0.25	mm	
Eresina.1	3.00	mm	
Eaire.1.m	10.00	mm	
Ettotal.1.m	13.25	mm	
Exnomex.1	4.47	KV/mm	
C.S.nomex.1	7.83	-	
Exresina.1	1.12	KV/mm	
C.S.resina.1	14.32	-	
Exaire.1.2.ax	1.12	KV/mm	
C.S.aire.1.2.ax	0.89	-	

CÁLCULOS DEL NÚCLEO

Ddato	229.17	mm	DT	12.7	mm
D	237.48	mm	FC	0.30	-
H	1167.00	mm	GF	1843.77	Kg
A	267.80	mm	GC	466.41	Kg
P _c (gráfica)	1.10	W/Kg	I _u %	202.81	%
P _{fe}	2028.15	W	I _w %	0.11	%
P _z (gráfica)	1.80	VA/Kg	I _e %	202.81	%
VA _m	3318.79	VA/Kg			
No Escalones	5.00	-	Esp. Plancha	0.30	mm
1° Escalon	7.98	mm ²	No. Plan.1° Esca	63	unid.
2° Escalon	3789.79	mm ²	No. Plan.2° Esca	95	unid.
3° Escalon	6806.95	mm ²	No. Plan.3° Esca	135	unid.
4° Escalon	10066.62	mm ²	No. Plan.4° Esca	245	unid.
5° Escalon	17144.27	mm ²	No. Plan.5° Esca	253	unid.
Largo - 1° Escal.	1122	mm	Ancho - 1° Escal.	100	mm
Largo - 2° Escal.	1155	mm	Ancho - 2° Escal.	133	mm
Largo - 3° Escal.	1191	mm	Ancho - 3° Escal.	169	mm
Largo - 4° Escal.	1224	mm	Ancho - 4° Escal.	202	mm
Largo - 5° Escal.	1248	mm	Ancho - 5° Escal.	226	mm

PESO FINAL DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Cantidad	Peso unitario	Peso total	
Perfiles para yugos del núcleo	4	25	100.00	Kg
Perfiles para ruedas orientables	2	5	10.00	Kg
Ruedas orientables	4	6	24.00	Kg
Conductor	-	-	466.41	Kg
FeSi	-	-	1843.77	Kg
Resina	-	-	247.35	Kg
Nomex	-	-	6.30	Kg
Pernos, esparragos, flejes y otros	-	-	50.00	Kg
TOTAL			2747.82	Kg

DIMENSIONES FINALES DEL TRANSFORMADOR

Descripción	Medidas	
Largo Núcleo	1176.80	mm
Largo total incluyendo bobinados	1503.85	mm
Largo de los perfiles para yugo	1563.85	mm
Alto Núcleo	1594.46	mm
Alto ruedas y perfiles	135.00	mm
Alt. Term.	50.00	mm
Alt. Total	1779.46	mm

LEYENDA

A.B.C.x.y		
.x=1	Interior	
.x=2	Exterior	
.y=1	En AT	
.y=2	En BT	
<hr/>		
a	Constante - Tabla 4.3 - 2	-
A	Ancho de ventana	mm
α	Angulo que comprende a la longitud equivalente del espacio libre entre soporte del arrollamiento interior	rad
A.x.y	Área del encapsulado	m ²
A.x.y-CN	área interior del conductor al nomex en AT	m ²
A.x.y-NA	Área interior del nomex al araldite en AT	m ²
A.x.y-RD	Área interior del nomex al araldite en AT	m ²
a.cond.y	Perdidas suplementarias en el conductor	W
B	Inducción máxima en el núcleo	T
C.S.1.D	Coeficiente de seguridad entre galletas de AT	-
C.S.2.C	Coeficiente de seguridad entre capas de BT	-
C.S.aire.1.2	Coeficiente de seguridad del aire entre AT y BT	-
C.S.aire.1.2.ax	Coeficiente de seguridad del aire entre AT y BT axialmente	-
C.S.aire.1.m.ax	Coeficiente de seguridad del aire entre AT y masa axialmente	-
C.S.nomex.1	Coeficiente de seguridad del nomex entre AT y BT	-
C.S.nomex.y	Coeficiente de seguridad del nomex	-
C.S.resina.y	Coeficiente de seguridad de la resina	-
C.S.y.E	Coeficiente de seguridad entre espiras	-
Cx	Factor de caída relativa de reactancia	%/cm
D	Diámetro del núcleo	mm
D.ax.nuc.y	Distancia axial del arrollamiento al núcleo	mm
D.xbob.enc.y	Diámetro del encapsulado	mm
D.x.Arroll.y	Diámetro del arrollamiento	mm
D/bob.AT	Distancia entre bobinados de AT	mm
D/bob.AT.AT-BT	Distancia entre bobinados de AT y BT	mm
Ddato	Diámetro del núcleo obtenido del DDT	mm
Dm.y	Diámetro medio	mm
Do	Diámetro medio de la separación radial entre los arrollamientos primario y secundario	mm
$\delta T.x.y-CN$	Diferencia de temperaturas entre el medio ambiente y el arrollamiento del conductor al nomex	°C
$\delta T.x.y-CV$	Transmisión de calor por convección	°C
$\delta T.x.y-NR$	Diferencia de temperaturas entre el medio ambiente y el arrollamiento del nomex al araldite	°C
$\delta T.x.y-TOT$	Transmisión de calor total	°C
$\delta T.y-CD$	Transmisión de calor por conducción final	°C
$\delta T.y-RD$	Transmisión de calor por radiación	W/m ²
$\Delta V.1.D$	Diferencia de tensión por disco en AT	V
$\Delta V.2.C$	Diferencia de tensión por capa en BT	V

$\Delta V.y.E$	Diferencia de tensión por espira	V
E.nomex.y	Espesor de nomex	mm
E.resina.y	Espesor de resina	mm
E.resina-ax.y	Espesor axial de resina	mm
E.resina-rad.y	Espesor radial de resina	mm
e.y	Espesor del arrollamiento	mm
Eaire.1.m	Espesor del aire entre AT y masa	mm
Ebanda.y	Espesor de la banda	mm
eo	Separación radial entre los arrollamientos primarios y secundario	mm
Esp.papel.y	Espesor de papel separador	mm
Esp.cinta.y	Espesor de cinta aislante	mm
Etotal.1.m	Espesor total entre AT y masa	mm
Etotal.2.m	Espesor total entre BT y masa	mm
Ex.aire.1.2	Intensidad máxima de campo del aire entre AT y BT	KV/mm
Ex.nomex.y	Intensidad máxima de campo en el nomex	KV/mm
Ex.resina.y	Intensidad máxima de campo de la resina	KV/mm
Ex.aire.1.2	Intensidad máxima de campo del aire entre AT y BT axialmente	KV/mm
Ex.nomex.y	Intensidad máxima de campo en el nomex	KV/mm
Ex.resina.y	Intensidad máxima de campo en la resina	KV/mm
Ex.aire.1.2.ax	Intensidad máxima de campo del aire entre AT y BT axialmente	KV/mm
Ex.resina.y	Intensidad máxima de campo en la resina	KV/mm
F	Relación $V_x\%/V_r\%$ de reducción de esfuerzos de cortocircuito	-
Fa	Factor de apilamiento	-
Fax.y	Esfuerzo axial	Tn/pulg ²
FC	Factor de plenitud del conductor	-
f _{cond.}	Factor de utilización de la ventana	-
FF	Factor de forma	-
ffe	Factor rectangular de utilización del fierro	-
Frc.2	Esfuerzo radial de compresión en BT	Tn/pulg ²
Fre.1	Esfuerzo radial de expansión en AT	Tn/pulg ²
GC	Peso del conductor	Kg
Gcond.y	Peso de conductor por arrollamiento	Kg
Gnomex.y	Peso del nomex por unidad de área	gr/cm ²
Gresina.y	Peso de resina en 1 bobina	gr/cm ³
GF	Peso del fierro	Kg
H	Altura de ventana	mm
η	Eficiencia del transformador	%
h.y	Altura del conductor	mm
H.y	Altura total del arrollamiento	mm
Hbob.y	Altura de la bobina encapsulada	mm
hr.1	Altura de ranura de separación en AT	mm
I.y	Corriente de fase	A
lccM.y	Corriente eficaz permanente de cortocircuito	KA

le%	Corriente de excitación	%
Iu%	Corriente magnetizante	%
Iw%	Corriente de pérdidas en el núcleo	%
J	Densidad media de corriente	A/mm ²
J.y	Densidad de corriente	A/mm ²
Jcc	Densidad de corriente de cortocircuito	A/mm ²
Kr	Coefficiente de reducción de los esfuerzos de	-
L.C.x.arroll.y	Longitud de circunferencia del arrollamiento	mm
λ.y-CN	Conductividad térmica del conductor al nomex	W/m°C
λ.y-NR	Conductividad térmica del nomex al araldite	W/m°C
Lm.y	Longitud media de cada espira	mm
NC.2	Numero de capas en BT	-
Ne.1.f	Numero de espiras final en AT	espiras
Ne.1.G	Numero de espiras por galleta en AT	esp/g
Ne.1.Gf	Numero de espiras final por galleta en AT	esp/g
Ne.2.C	Numero de espiras por capa en BT	esp/c
Ne.2.Cf	Numero de espiras final por capa en BT	esp/c
Ne.y	Numero de espiras	espiras
NG.1	Numero de galletas en AT	-
Nr.1	Numero de ranuras de separación en AT	-
P.y/A.x.y	Potencia por unidad de área	W/m ²
Paral.y	En paralelo	unid
P _c (gráfica)	Perdidas en el núcleo	W/Kg
Pcond.y	Perdidas en el conductor	W
PE.cond	Peso específico del conductor	Kg/m ³
PE.nomex	Peso específico de nomex	gr/cm ³
PE.resina	Peso específico de la resina	gr/cm ³
Pfe	Perdidas en el hierro	W
Ptot-cond	Perdidas totales en el conductor	W
Pz(gráfica)	Potencia de excitación	VA/Kg
R.D.nomex.y	Rigidez dieléctrica del nomex	KV/mm
R.D.resina	Rigidez dieléctrica de la resina	KV/mm
R.D.aire	Rigidez dieléctrica del aire	KV/mm
r.aire.1.2	Radio interior de la capa de aire entre AT y BT	mm
Rcond.y	Resistencia ohmica del arrollamiento	Ω
r.nomex.y	Radio interior de la capa de nomex	mm
r.resina.y	Radio interior de la capa de resina	mm
ρ.1	Relación entre la longitud equivalente del circuito de dispersión magnética a la de la columna.	-
ρ.x	Relación de la sección efectiva del circuito de dispersión magnética a la corona comprendida entre el núcleo y el eje longitudinal de la ventana	-
S.y	Sección del conductor	mm ²
σ.y	Esfuerzo final crítico	Tn/pulg ²
SF	Sección del hierro	mm ²
Sn	Sección nominal del hierro	mm ²
T.D.nomex.y	Tensión disrruptiva del nomex	KV

T.D.resina.y	Tensión disrruptiva de la resina	KV
T.P.1.2	Tensión de prueba entre AT y BT	KV
T.P.1.m	Tensión de prueba entre AT y masa	KV
T.P.2.m	Tensión de prueba entre BT y masa	KV
T1	Temperatura inicial en el transformador	°C
tcc	Tiempo de duración de cortocircuito por efecto de la resistencia interna por la mitad del numero de espiras del arrollamiento	seg
Tf	Temperatura final en el transformador	°C
V.2.C	Tensión por capa en BT	V
V.y	Tensión entre líneas	V
Va _m	Potencia por kilogramo de fierro requerido para magnetizar el núcleo	VA/Kg
VC	Volumen del conductor	m ³
Vcc%	Tensión de cortocircuito	%
Ve.1.G	Tensión por galleta en AT	V
Ve.y	Tensión por espiras	V/esp
Ve.y.f	Tensión por espiras final	V/esp
VF	Volumen de fierro	m ³
Vol.cond.y	Volumen del conductor	m ³
Vol.nomex.y	Volumen del nomex	m ³
Vol.resina.y	Volumen de resina en 1 bobina	m ³
Vr%	Tensión de cortocircuito resistiva	%
Vx%	Tensión de cortocircuito reactiva	%
Ψ.y	Coefficiente que depende de la relación (X/D) entre la separación y diámetro de las espiras	Gráfico

APÉNDICE N°06

CARACTERÍSTICAS DEL PAPEL NOMEX

Papel Aramido NOMEX®

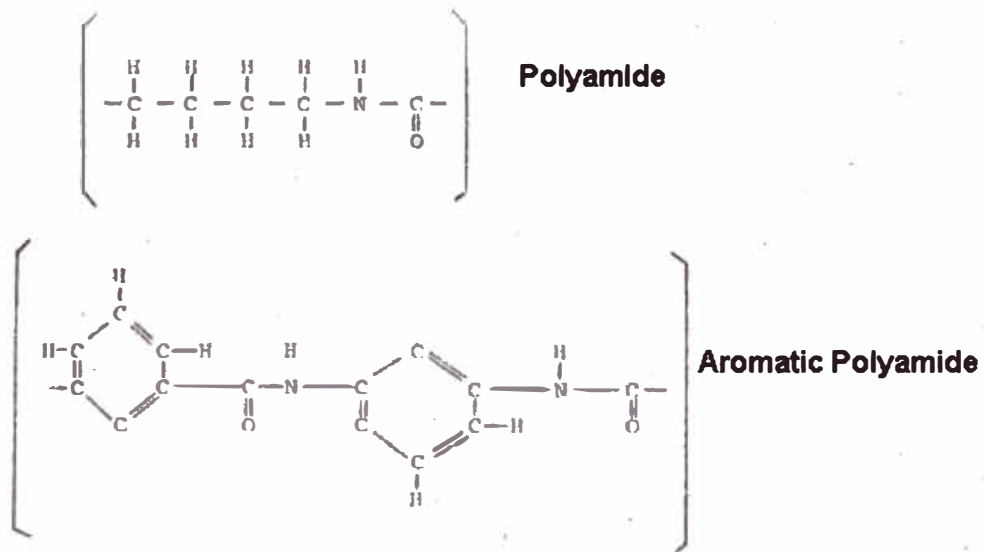
Estructura

El papel NOMEX es un papel sintético, compuesto de fibras cortas (barras) y pequeñas partículas fibrosas ligantes (fibrinas) de una poliamida aromática (aramídico), polímero resistente a altas temperaturas.

Durante la fabricación, las fibras más largas (barra) tienden a orientarse en la dirección del papel que va saliendo de la máquina. Por eso existe una diferencia notable entre las propiedades mecánicas del papel NOMEX en dirección de la máquina y en dirección transversal, y estas propiedades son siempre dadas para ambas direcciones.

Tipos de papel NOMEX

Hay cinco tipos de papel NOMEX en venta para aislamiento eléctrico, y dos para aplicaciones mecánicas. Los distintos tipos de NOMEX se diferencian entre ellos de la siguiente manera:



Los dos componentes son mezclados en un baño a base de agua y se les da la forma de una hoja continua con una máquina es bastante voluminoso (densidad 0,3), de propiedades mecánicas y eléctricas más que medianas. Se suele utilizar en algunas aplicaciones en que se necesita un material blando y maleable o con propiedades de impregnación. La densificación y la unión interna se obtienen al calentarlo a altas temperaturas, con lo que se produce un papel mecánicamente resistente, flexible y con buenas propiedades eléctricas, que se mantienen hasta 220°C

Disponibilidad

Todos los tipos de NOMEX se venden en rollos de 610mm y 914 mm (tipo 411), y en tiras de 4mm de ancho en adelante.

Puede obtenerse espesores varios de hasta 0.76mm.

Características generales

El NOMEX tipo 410 ha sido aprobado por Underwriters Laboratories para uso continuo como aislante eléctrico a 22°C. La clasificación del ensayo de inflamabilidad es 94V-0, lo que significa que se autoextingue sin que goteen llamas, y que ninguna probeta de un lote de material determinado arda por más de diez segundos después de haberla separado de la fuente de ignición en la prueba de llama vertical. La no inflamabilidad del papel NOMEX ha motivado su adopción en situaciones que presentan un riesgo de incendio grande. El índice limitativo de oxígeno es de 0,27 a 0,28.

Las siguientes autoridades han aprobado el NOMEX como material aislante de clase C (122°C):

- Underwriters Laboratories (EEUU)
- Lloyds Register of Shipping (Gran Bretaña)
- American Bureau of Shipping (EEUU)
- U.S. Military Spec. (MIL-1-24204)
- y como material clase H (180°C):
- VDE 0530 (República Federal de Alemania)
- Germanischer Lloyd (República Federal de Alemania)
- Det Norske Veritas (Noruega)
- Registro Navale Italiano (Italia)
- Bureau Veritas (Francia)

Como el NOMEX no se funde, puede resistir cortas exposiciones a temperaturas superiores a 300°C con solo reducciones mínimas de sus propiedades eléctricas y mecánicas. A partir de los 400°C el NOMEX comienza a degradarse.

Ensayos intensivos en los sistemas de "motorettes" según IEEE 117 han demostrado que el papel NOMEX es compatible con resinas, esmaltes de alambres y barnices eléctricos de materiales del tipo fenólico, poliéster, epóxico, poliamídico y siliconas.

La rigidez dieléctrica de todos los papeles NOMEX calandrados es alta en comparación con la de muchos otros materiales aislantes fibrosos (por ej. el papel de amianto 3/5 Kv/mm, el cartón prensado 19/15kv/mm), y es más que adecuada para resistir las tensiones eléctricas que se encuentran generalmente en aparatos eléctricos (aprox. 2kv/mm). Incluso a 250°C el NOMEX conserva casi el 95% de su valor a temperatura ambiente.

La rigidez dieléctrica y el factor de disipación a 1Khz son bajos a temperaturas ambiente, y solo aumentan ligeramente hacia los 225°C.

La resistividad volumétrica y en superficie del NOMEX exceden 10^{16} OHM cm a temperatura ambiente. Estos valores disminuyen cuando aumenta la temperatura, como lo muestra la siguiente figura; sin embargo, incluso a 250°C todavía exceden los 10^{12} OHMcm.

Propiedades Eléctricas

La tabla siguiente da las propiedades eléctricas importantes de los diferentes tipos de papel NOMEX a 50% de humedad relativa.

Caractrísticas eléctricas del papel NOMEX a 50% de humedad relativa y 23°C de temperatura.

	NOMEX				
	T410		T411	T418	
Espesor (mm)	0.08	0.25	0.25	0.08	0.25
Rigidez dieléctrica (10^3 v/mm)	26	35	12.9	39	40.6
Constante dieléctrica a 10^3 Hz	2.1	2.6	1.6	2.9	4.1
Factor de disipación a 10^3 Hz	0.00	0.014	0.014	0.13	0.14
	8				
Resistividad volumétrica (OHM Cm)	10^{16}	10^{16}	10^{16}	10^{12}	10^{12}

Espeso Rendimient

r	o
0.05	25.60 m ² /kg
0.08	15.90 m ² /kg
0.13	8.80 m ² /kg

0.18	5.80 m ² /kg
0.25	4.30 m ² /kg
0.30	3.30 m ² /kg
0.38	2.60 m ² /kg
0.51	1.90 m ² /kg
0.61	1.40 m ² /kg
0.74	1.20 m ² /kg
0.76	1.10 m ² /kg

Nomex Mylar® Nomex® (Pre Impregnado)

Este material compuesto ternario, es sometido a impregnación con resina epoxi modificando y llevada al estado B de polimerización que sometido a presión y temperatura forma un producto rígido. La resina después de polimerizada tiene buena adherencia sobre el cobre.

Se utiliza para la aislación general de rotores y estatores en ranura y entre frases, se puede moldear bajo presión y temperatura para conformar cualquier tipo de figura geométrica que fuere necesaria.

Características técnicas

Características	Unidad	Norma	Especificación			
Espesor total	mm	DIN7739	0.25	0.20	0.36	0.32
Tolerancias	mm	DIN7739	+/-0.03	+/-0.03	+/-0.03	+/-0.04
Rendimiento	g/m ²	DIN7739	290	330	415	520
Tolerancia	g/m ²		+/-20	+/-20	+/-25	+/-25
Rigidez Dieléctrica	kv/mm	ASTM149	16	20	26	28

NOMEX® Impregnado

Esta constituido por papel aramido (Nomex® 410) impregnado en ambas lados con resina epoxi modificada, en estado B, que sometido a presión y temperatura forma un producto rígido. La resina después de polimerizada, tiene buena adherencia sobre el cobre, generando aislaciones de clase F.

Su mejor utilización es en la aislación entre espiras de bobinas de campo de máquinas rotantes.

Características Técnicas

Propiedades	Unidad	Norma	Especificaciones		
Tipo	-	-	N11	N16	N22
Espesor Nomex	Mm	IEC371.2	0.08	0.13	0.18
Espesor Impregnado	Mm	IEC371.2	0.11 +- 0.02	0.16+- 0.02	0.22+-0.03
Peso Nomex	g/m ²	IEC371.2	60+-10	115+-15	175+-15
Contenido Resna	g/m ²	IEC371.2	30-40	35-45	35-45
Adherencia S/cobre	N/mm ²	-	Min 7.0	Min 7.0	Min 7.0

Presentación: En bobinas de 610 y 910 mm de ancho, y peso de 35 y 55kg respectivamente.

Nota: Se corta en rollos del ancho que el cliente solicite.

Nomex y Mylar: Marcas registradas por DuPont

VOLVER AL ÍNDICE

© Imavolt S.A. 1999

APÉNDICE N°07
CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA

METTLER TOLEDO

Caracterización de resinas termoestables mediante análisis térmico y mediciones reológicas

Rudolf Riesen
y Juergen de Buhr
Mettler-Toledo SA,
Analytical,
CH-8603 Schwerzenbach,
Switzerland

Introducción

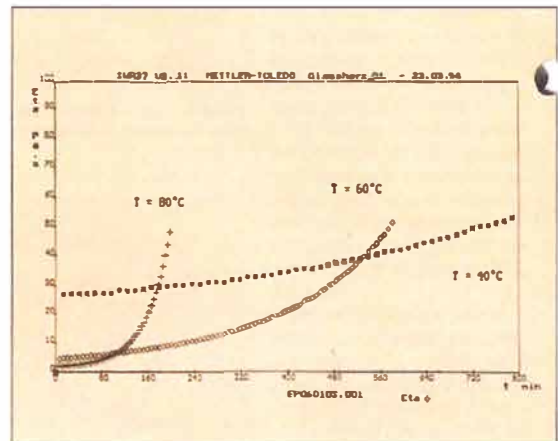
Durante el desarrollo, la producción, el uso y la aplicación de resinas termoestables es necesario que el producto cumpla con unas especificaciones determinadas. La composición química de la resina, el agente reticulante, la proporción de mezcla y las condiciones en que se lleva a cabo el proceso tienen una gran influencia en las propiedades y aplicaciones del producto.

Así mismo, la facilidad de manipulación y la automatización del proceso viene determinada por el tiempo de reticulación y el perfil de viscosidad.

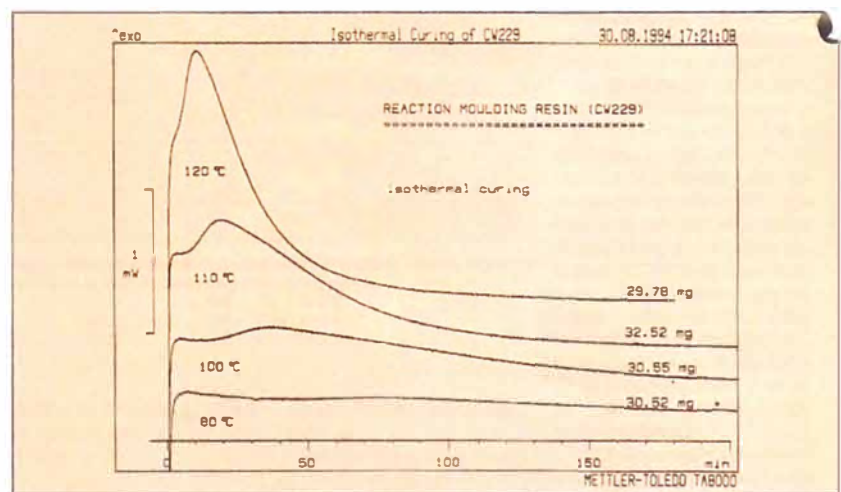
Los datos reológicos [figura 1] son la base para el diseño de las plantas de producción (agitadores y bombas) y son relevantes para decidir el tiempo de almacenaje de las resinas y el tiempo máximo de procesamiento de las mezclas.

Las mediciones termoanalíticas suministran datos sobre la cinética de reacción, que nos permitirá fijar la temperatura y el tiempo de reticulación. Se obtiene además, otros parámetros

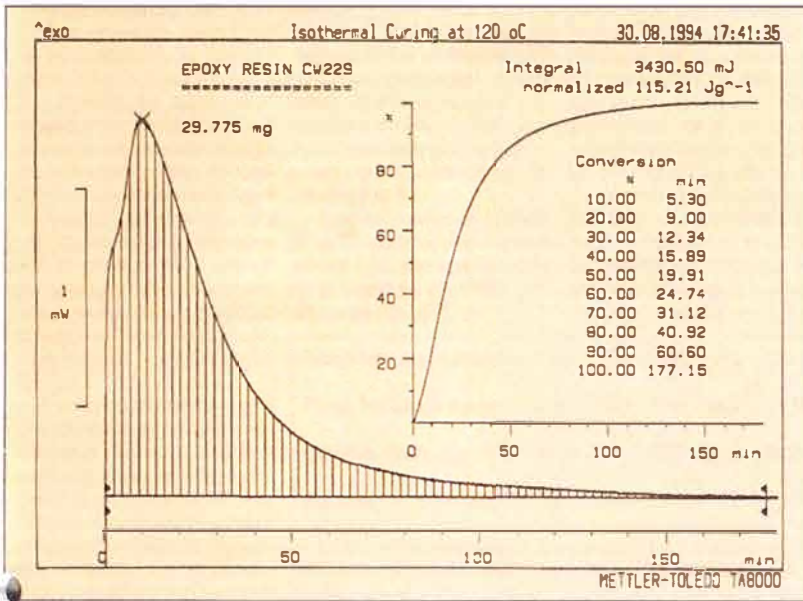
tales como la temperatura de transición vítrea, el punto de reblandecimiento de los termosets, el coeficiente de expansión lineal, el contenido de aditivos así como las sustancias de



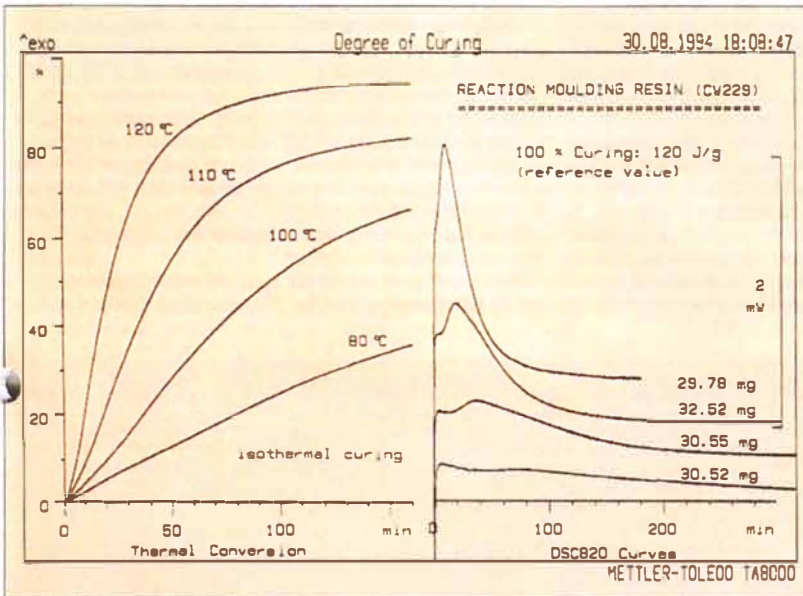
Gráfica 1. Aumento de la viscosidad con el tiempo de reacción de moldeo de la resina CW299 después del mezclado, procesado a 3 temperaturas distintas. Las medidas se realizaron con un METTLER-TOLEDO RM265 con CP3 con una velocidad de cizalla de 10 s⁻¹.



Gráfica 2. La representación del calor de reacción producido durante el curado isotérmico de la resina CW299 nos permite ver el perfil del avance de reacción. El calor de reacción se ha medido con el METTLER-TOLEDO DSC820. Se introducen en un crisol de aluminio herméticamente cerrado aproximadamente 30 mg de resina recién mezclada. La reacción se inicia introduciendo la muestra en el horno a la temperatura deseada.



Gráfica 3. Se muestra el grado de conversión determinado por integración parcial del pico utilizando una línea base horizontal hasta el tiempo especificado. El valor obtenido se ha normalizado respecto al calor total de reacción. Se muestra la conversión desde el 0 al 100 %.



Gráfica 4. Grado de conversión para 4 temperaturas de reacción, normalizadas al 100% de calor de reacción de 120 J/g. Los siguientes valores numéricos se han obtenido a partir de las curvas:

Temp. reacción isotérmica:	80	100	110	120 °C
Convers. isotér. 150 min:	33,8	64,3	81,1	94,0%
Convers. isotér. 350 min:	47,1	73,6	82,9	94,2%

relleno [figura 2].

Resinas epoxi con base de dos componentes (por ejemplo, [®]Araldít CW229 de Ciba) se usan frecuentemente en la producción de componentes eléctricos como aislantes, interruptores o transformadores. Los componentes se mezclan, moldean y

reticulan en procesos a diferentes temperaturas (entre 40 y 140°C).

Experimental

Como un ejemplo de aplicación se ha hecho el análisis de una mezcla de entrecruzado rápido; Araldit CW 229-2 y reti-

culante HW229-1 de Ciba-Geigy [figura 3].

Se calentaron 100 g. de resina y 100 g. de reticulante a 60°C agitando con una espátula durante diez minutos aproximadamente. La mezcla final se guardó en el refrigerador para su posterior análisis.

Las mediciones y evaluaciones de Análisis Térmico se realizaron con el sistema METTLER-TOLEDO TA8000. Las mediciones reológicas se llevaron a cabo usando el Reomant METTLER-TOLEDO RM265 con el cabezal de cono-placa CP3, que permite la manipulación de las muestras de una forma fácil y rápida. Para controlar las mediciones y evaluar los resultados absolutos se utilizó el software SW37.

Resultados

A) POT en función de la temperatura

A fin de garantizar un cierto periodo de manipulación después de mezclar los componentes, la viscosidad de la mezcla debe estar por debajo de un cierto valor. En consecuencia, es muy importante conocer la variación de la viscosidad de la mezcla en función de la temperatura y el tiempo (figura 1).

B) Tiempo de reticulación - Temperatura de reticulación

El tiempo de reticulación necesario para una temperatura dada puede ser fácilmente determinado usando la calorimetría diferencial de barrido (DSC), (figura 2).

La conversión se calcula a partir de la curva DSC mediante una integración parcial, tal y como se muestra en la figura 3. Hasta 120°C el perfil de conversión muestra que después de 60,6 min. se ha alcanzado el 90% de la reticulación. Normalmente, el gel se forma cuando el grado de reticulación es del 60%. En consecuencia, el tiempo de formación del gel se puede estimar en 25 min. a partir de la curva de conversión (figura 6).

La comparación de las conversiones a diferentes temperaturas (figura 4), revela que solo a temperaturas más elevadas la reacción se completa y alcanza un calor de reacción de 120 J/g. El calor de reacción de la resina es de 290 J/g aproximadamente, pero el CW299 contiene hasta un 58 % de sustancias de relleno inertes. La reticulación incompleta, a baja temperatura, tiene influencia en el resultado de la transición vítrea y en el procedimiento de reticulación posterior (figura 6).

Se puede predecir la influencia de la temperatura en el grado de reticulación utilizando la aproximación de Arrhenius. Para determinar los parámetros cinéticos según el procedimiento estándar ASTM son necesari-

nas, por lo menos, tres curvas DSC a diferentes velocidades de calentamiento. Se seleccionaron 2, 5 y 10 K/min (figuras 4, 5). Usando los parámetros cinéticos calculados K_0 , E_a y n (factor pre-exponencial, energía de activación y orden de reacción) se pueden estimar tiempos de reacción, por ejemplo a 60 y 120°C, haciendo uso del programa de cálculo cinético. Usando las curvas y la tabla que se muestran en la figura 5, se determinó el tiempo estimado para una conversión del 90% a 120°C en 58 min.

Esto coincide perfectamente con los valores medidos anteriormente (figura 3). El tiempo estimado para una conversión del 30% a 60°C es de 581 min. Este valor coincide con el tiempo determinado mediante mediciones reológicas cuando la viscosidad aumenta en un factor de 10 (de 5 a 50 Pa.s durante 580 min).

Por otro lado, de la figura 3, se determina un tiempo de moldeo de 360 min a 80°C, ligeramente por encima de los 319 min previstos para la formación del gel (60% de conversión).

En consecuencia, con sólo algunas mediciones de reología y análisis térmico se puede predecir la influencia de la temperatura en las reacciones de reticulación.

C) Influencia del curado posterior

En general se recomienda un curado posterior hasta alcanzar

las especificaciones del producto, por ej. a 140°C durante un periodo de 6 a 10. En el control de calidad, se controla la temperatura de transición vítrea (T_g) mediante mediciones DSC. Junto a otros parámetros, la temperatura y el tiempo de reticulación afectan a la T_g .

Esto se muestra en la figura 6, en la que aparecen distintas curvas DSC tras la reticulación de la muestra a diferentes temperaturas (figura 2):

Temp. reacción isotérmica:	80	90	100	110	120 °C
Temp. transición vítrea:	< 40	72,0	91,6	94,7	- °C
Convers. isoter. 350 min:	47,1	-	73,6	82,9	94,2%
Convers. dinam. (a 250°C):	30,0	18,8	4,9	3,1	- %

La conversión después de la reticulación isotérmica posterior no alcanza el 100%. Esto se debe a que el calor de reacción (grado de reticulación) varía según el proceso, como se comentó anteriormente.

D) Influencia de la proporción de resina y reticulante en la mezcla

Esta relación es un parámetro importante que debe ser controlado por el usuario. La influencia en las especificaciones del producto final es relativamente pequeña, pero sí afecta al bombeo y mezclado por el fenómeno de espesamiento. En la figura 7 se estudia la viscosidad de una mezcla inicial con un 20% menos de reticulante (relación 100:80) res-

pecto a la mezcla estándar (100:100). Se observa que la reticulación es más rápida cuando la proporción de reticulante es menor. Las medidas DSC, sin embargo, no muestran ninguna diferencia apreciable entre las dos muestras (figura 8).

La forma de la curva de reacción DSC es muy similar y el calor de reacción es el mismo. Se detecta, sin embargo, una pequeña diferencia en la temperatura de transición vítrea. Para

de la reticulación. Este comportamiento reológico debe ser tenido en cuenta especialmente en el control de calidad, es decir, las mediciones de viscosidad sólo deben ser comparadas si se ha usado la misma velocidad de cizallamiento (ver comentarios y figura 1). Las desviaciones en el grado de reticulación y temperatura de gelificación debido a causas mecánicas no pueden ser detectados, normalmente, mediante técnicas DSC.

Conclusión

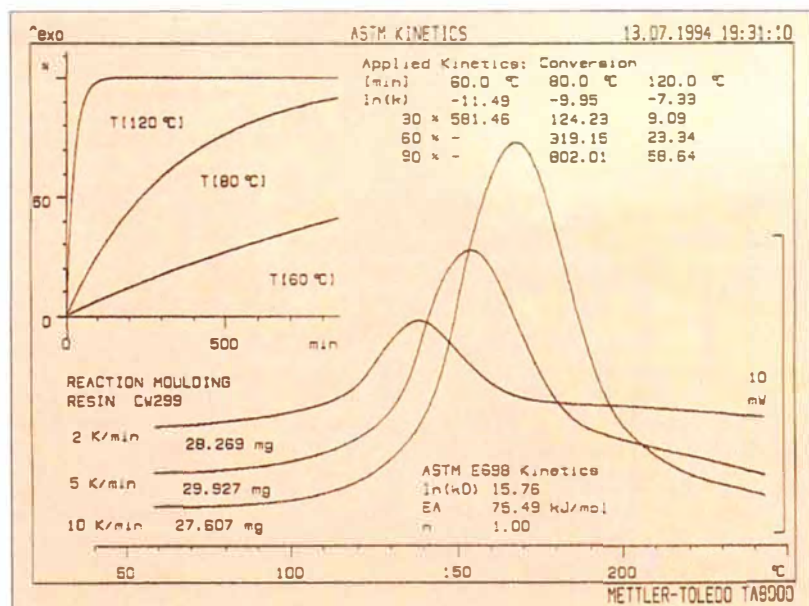
Las técnicas reológicas y termoanalíticas son medios fáciles y rápidos para describir comportamientos en los procesos de reticulación de las resinas termoestables y para diferenciar los parámetros que influyen en estos comportamientos. Además, sirve para describir la naturaleza de la resina, de los aditivos y del proceso.

El análisis reológico y térmico suministran una información complementaria, mientras la reología está especialmente indicada para la caracterización en estado líquido, por ejemplo, las condiciones de almacenamiento y moldeo antes de que la reacción de reticulación principal haya tenido lugar, el DSC puede suministrar información sobre el estado sólido, sus propiedades finales y especificaciones físico-químicas (por ejemplo transición vítrea).

Estos métodos se aplican no sólo en la investigación y el desarrollo, sino también en el control de calidad de los procesos de fabricación.

Las técnicas termoanalíticas tales como TGA y TMA se emplean también frecuentemente en los análisis de rutina. La termogravimetría se emplea para controlar la estabilidad térmica y el contenido en sustancias de relleno. El análisis termomecánico se utiliza para medir el coeficiente de expansión, la transición vítrea y el comportamiento en ensayos de flexión.

La metodología descrita en

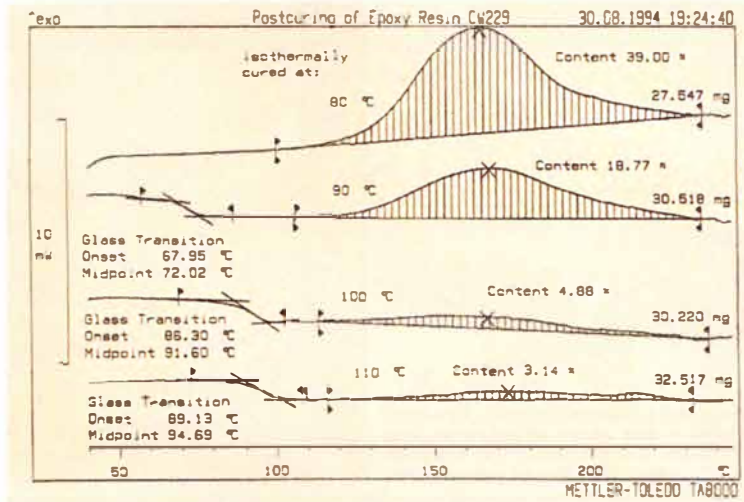


Gráfica 5. Curvas DSC dinámicas a 2, 5 y 10 K/min, muestras herméticamente selladas en crisoles de aluminio. Evaluación cinética según la norma ASTM E698 (4) para obtener la energía de activación y calcular la conversión isotérmica a 60, 80 y 120 °C.

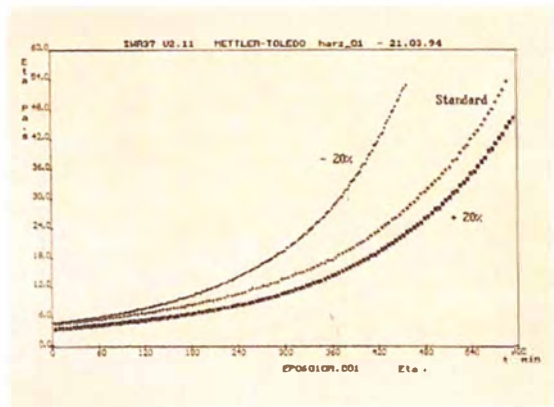
este artículo no está restringida a la reacción de las resinas termoestables, sino que se puede aplicar a cualquier otro sistema reaccionante tales como pegamentos, lacas, pinturas o cauchos.

Bibliografía

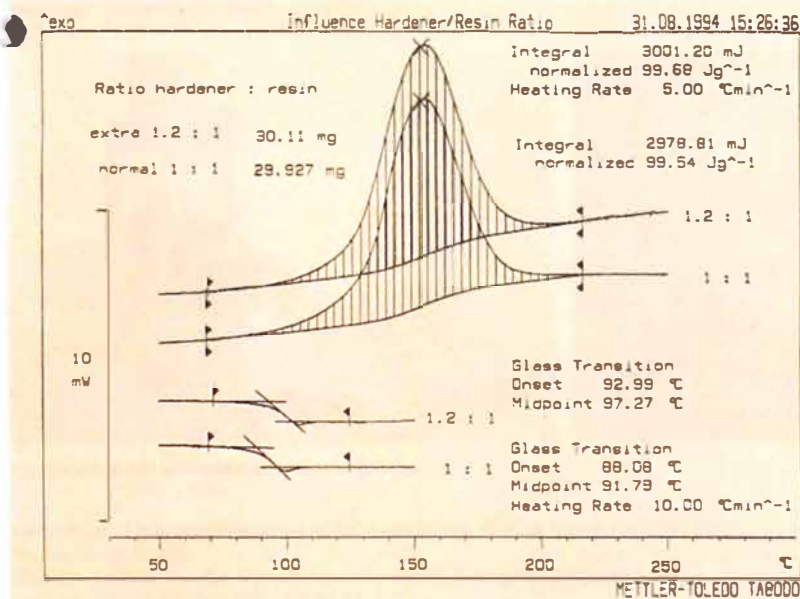
- [1] H.A. Barnes, J.F. Hutton, K. Walters, *An Introduction to Rheology*, Rheology Series, 3, Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [2] E.A. Turi (Ed.) *Thermal Characterization of Polymeric Materials*, Academic Press, New York, 1981.
- [3] Product brochure "Quick Mix Casting" System, Ciba-Geigy, Publication No. 247/1/d.
- [4] ASTM E698, Standard Test Method for Arrhenius Kinetic Constants for Thermally Unstable materials. Vol. 14.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- [5] R. Riesen, H. Sommerauer, *Curing of Reaction Molding Resins*, American Laboratory, January (1983) 30.
- [7] V.B.F. Mathod (Ed.), *Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers*, Hanser Publisher, Munich, 1994, Chap. 7.



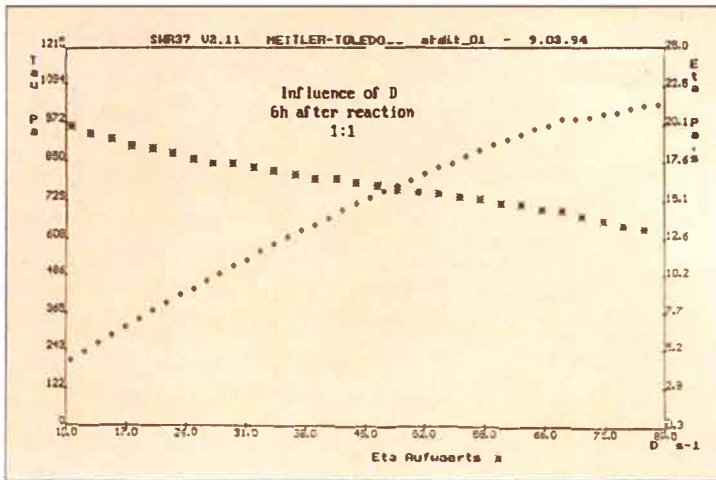
Gráfica 6. Medidas DSC de postcurado de sustancias curadas a diferentes temperaturas durante 350 min. El contenido se ha calculado a partir del calor residual de reacción (integral del pico exotérmico) normalizado a 120 J/g como valor de referencia del calor de reacción.



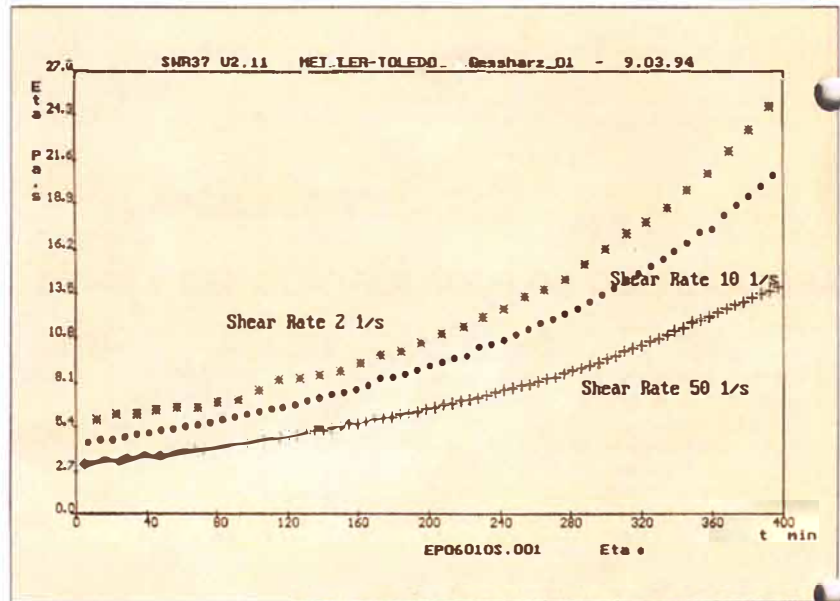
Gráfica 7. Aumento de la viscosidad durante el inicio de curado a 60 °C (medido a una velocidad de cizalla de 10 s⁻¹). Porcentaje de mezcla resina/relleno en peso: 100:80 (20% menos de lo normal), 100:100 y 100:120.



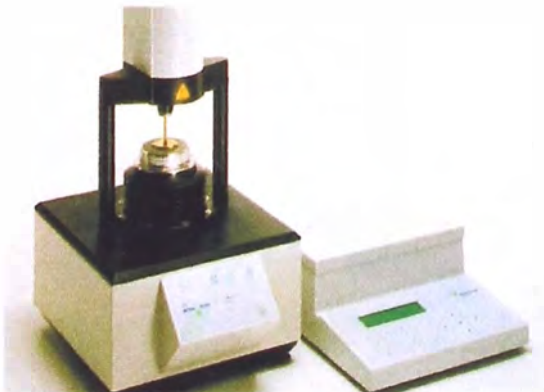
Gráfica 8. Comparación de dos mezclas (ver fig. 7) utilizando DSC para determinar la reacción de curado en un primer calentamiento y a continuación la temperatura de transición vítrea (punto medio) en un segundo calentamiento (a la misma velocidad de calentamiento).



Gráfica 9. La fuerza de cizalla (Tau) y viscosidad (Eta) velocidad de cizalla con el sistema conopla CP3. Anteriormente la muestra fue curada durante 6 h a 60°C sin cizalla.



Gráfica 10. Incremento de la viscosidad (Eta) durante el curado a diferentes velocidades de cizalla (D: 2, 10 y 50 s⁻¹) a 60°C.



Equipo con el que se han realizado las mediciones.

Para obtener más información o realizar consultas, sirvase tomar contacto con:
 Sr. Francesc Català
 Mettler - Toledo, S.A.E. - C/ Motores, 178 - 08038 Barcelona (España)
 Tel.: 93 - 223.22.22 - Fax: 93 - 223.02.71

APÉNDICE N°08

INFORMACIÓN DEL PT100 Y DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

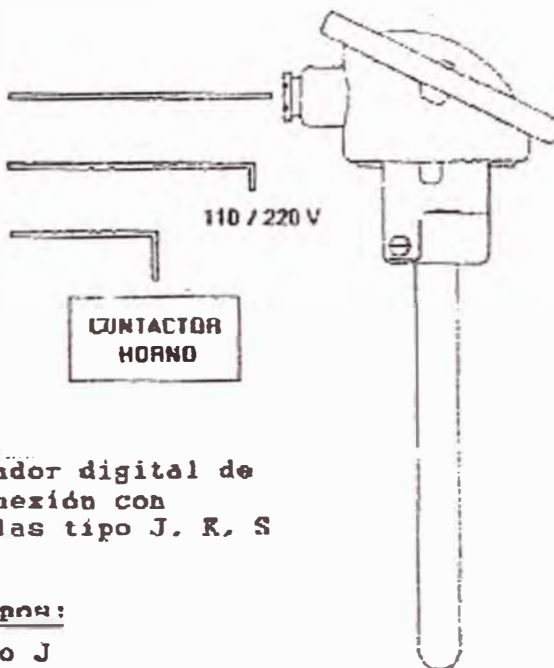
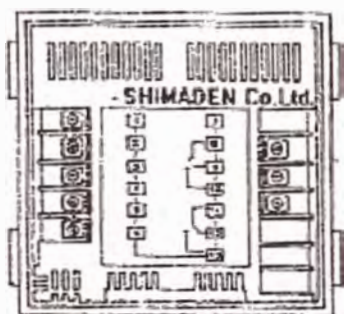
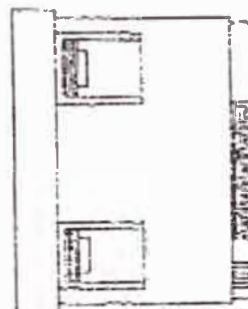
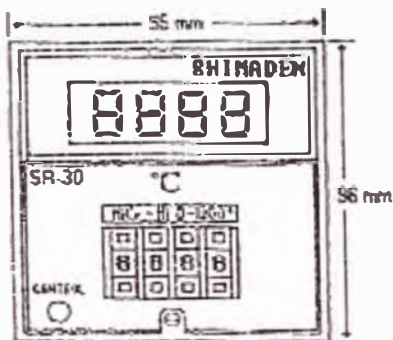
PT100 RESISTENCE TABLE (0°C To 400°C)

°C	0°C	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C
0°C	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10°C	103.90	103.90	104.29	104.68	105.07	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20°C	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28
30°C	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40°C	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.85	118.24	118.62	119.01
50°C	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.86
60°C	123.24	123.62	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69
70°C	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80°C	130.89	131.27	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90°C	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100°C	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110°C	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.17	144.55	144.93	145.31	145.68
120°C	146.06	146.44	146.81	147.19	147.57	147.94	148.32	148.70	149.07	149.45
130°C	149.82	150.20	150.57	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140°C	153.58	153.95	154.32	154.70	155.07	155.45	155.82	156.19	156.57	156.94
150°C	157.31	157.69	158.06	158.43	158.81	159.18	159.55	159.93	160.30	160.67
160°C	161.04	161.42	161.79	162.16	162.53	162.90	163.27	163.65	164.02	164.39
170°C	164.76	165.13	165.50	165.87	166.24	166.61	166.98	167.35	167.72	168.09
180°C	168.46	168.83	169.20	169.57	169.94	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190°C	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200°C	175.84	176.21	176.57	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210°C	179.51	179.88	180.24	180.61	180.97	181.34	181.71	182.07	182.44	182.80
220°C	183.17	183.53	183.90	184.26	184.63	184.99	185.36	185.72	186.09	186.45
230°C	186.82	187.18	187.54	187.91	188.27	188.63	189.00	189.36	189.72	190.09
240°C	190.45	190.81	191.18	191.54	191.90	192.26	192.63	192.99	193.35	193.71
250°C	194.07	194.44	194.80	195.16	195.52	195.88	196.24	196.60	196.96	197.33
260°C	197.69	198.05	198.41	198.77	199.13	199.49	199.85	200.21	200.57	200.93
270°C	201.29	201.65	202.01	202.36	202.72	203.08	203.44	203.80	204.16	204.52
280°C	204.88	205.23	205.59	205.95	206.31	206.67	207.02	207.38	207.74	208.10
290°C	208.45	208.81	209.17	209.52	209.88	210.24	210.59	210.95	211.31	211.66
300°C	212.02	212.37	212.73	213.09	213.44	213.80	214.15	214.51	214.86	215.22
310°C	215.57	215.93	216.28	216.64	216.99	217.35	217.70	218.05	218.41	218.76
320°C	219.12	219.47	219.82	220.18	220.53	220.88	221.24	221.59	221.94	222.29
330°C	222.65	223.00	223.35	223.70	224.06	224.41	224.76	225.11	225.46	225.81
340°C	226.17	226.52	226.87	227.22	227.57	227.92	228.27	228.62	228.97	229.32
350°C	229.67	230.02	230.37	230.72	231.07	231.42	231.77	232.12	232.47	232.82
360°C	233.17	233.52	233.87	234.22	234.56	234.91	235.26	235.61	235.96	236.31
370°C	236.65	237.00	237.35	237.70	238.04	238.39	238.74	239.09	239.43	239.78
380°C	240.13	240.47	240.82	241.17	241.51	241.86	242.20	242.55	242.90	243.24
390°C	243.59	243.93	244.28	244.62	244.97	245.31	245.66	246.00	246.35	246.69
400°C	247.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota : Valores en Ω.

Controlador / Indicador digital de temperatura

modelo SR-30



Controlador / Indicador digital de temperatura para conexión con sensores / termocuplas tipo J, K, S y PT100 Ω

Rangos y tipos:

- 0/400°C tipo J
- 0/1200°C tipo K
- 0/1700°C tipo S
- 99/+99°C PT100 Ω
- 0/400°C PT100 Ω

APÉNDICE N°09

INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE ENCAPSULADO PARA RESINA

Typical Installations

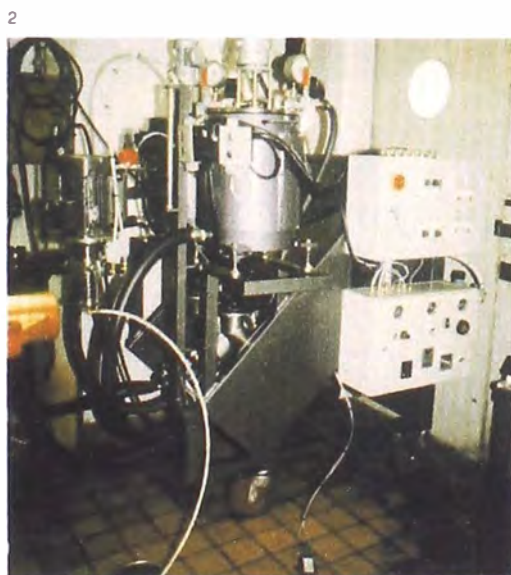
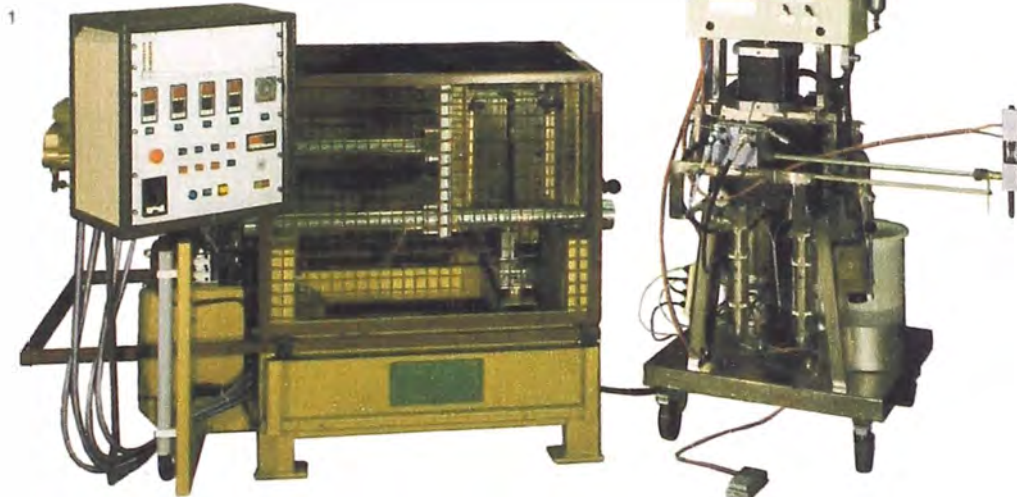
for processing Araldite CW 229/Hardener HW 229

1 Straightforward feeding and mixing installation with static mixer, combined with an APG mould closing unit.
Feeding and mixing installation: DOPAG, Cham/CH
Mould closing unit: M. Vogel, Reinach/CH

2 Feeding and mixing installation with mechanical mixer
Liquid Control Limited/UK

3 Vacuum processing and mixing installation for prefilled 2-component systems with heating and emptying station for containers
W. Hedrich, Vakuumanlagen GmbH, Ehringshausen/FRG

In addition to the installations shown here, Araldite CW 229/Hardener HW 229 can also be processed on existing setups designed to handle EP or PUR systems.



APÉNDICE N°10
INFORMACIÓN DE PINTURAS EPÓXICAS

TEKNO

ZINCROMATO EPOXI (22.0329)

DESCRIPCIÓN

Producto formulado con resinas epóxicas y pigmentos que le confieren excelente resistencia a la corrosión, agentes atmosféricos y químicos.

CARACTERÍSTICAS

Acabado	:	Satinado
Color	:	Verde (22.039) Rojo (22.0390)
% Sólidos volumen (mezcla)	:	40.0 - 44.0
Peso específico	:	1.64 - 1.74
Almacenaje	:	12 meses

PREPARACIÓN DE SUPERFICIES

Toda superficie a pintar deberá estar libre de polvo, grasa o cualquier tipo de contaminación o deberá prepararse según especificaciones SSPC-SP-5, SSPC-SP10, SSPC-SP-6.

APLICACIÓN

Método aplicación	:	Brocha, rodillo o soplete Airless
Tipo de sustrato	:	Metal tratado
Pre-tratamiento	:	SSPC-SP10, SSPC-SP-6, SSPC-SP-5 ó Wash Primer
Endurecedor	:	17.0045
Diluyente	:	23.1702
Relación de la mezcla	:	1 vol. Zincromato Epóxi 1 vol. Endurecedor
Tiempo de inducción	:	15 - 30 minutos
Pot - life	:	Máximo 6 horas (mezcla)
% Dilución	:	Puro
Brocha	:	
Soplete	:	10% máximo sobre la mezcla
Nº de capas	:	Dos
Secado tacto	:	4 horas
Secado duro	:	6 - 8 horas
Repintado	:	12 horas mínimo
Espesor película	:	2.0 mils/capa
Rendimiento teórico; m ² /l	:	8.0 a 2.0 mils seco

USOS

Se le utiliza como fondo anticorrosivo para metales, en franja de flotación y obra muerta de embarcaciones marinas.

TEKNO

ESMALTE EPOXI (LINEA 17)

DESCRIPCIÓN

Acabado a base de resinas epóxicas de gran impermeabilidad y resistencia a ambientes corrosivos.

CARACTERÍSTICAS

		PARTE "A"
Peso específico	:	0.90 - 1.72 (según color)
Color	:	Según carta de colores
Viscosidad envío (25°C), KU	:	45 - 85
% Sólidos en volumen (mezcla)	:	30 - 36 (según color)

ENDURECEDOR PARA EPÓXI

		PARTE "B" 17.0045
Peso específico	:	0.84 - 0.95
Estado físico	:	Líquido
Color	:	Ligeramente ámbar
Viscosidad, KU	:	55 - 65
% Sólidos en volumen	:	32.0 - 36.0

PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

Sobre cemento ó madera asegurarse que esté libre de polvo, grasa y/o suciedad. Tratar de darle rugosidad a la superficie mediante una lija apropiada. Sobre metal, aplicar sobre un anticorrosivo ó primer epóxi conveniente, el cual debe hallarse limpio de todo contaminante.

APLICACIÓN

Método aplicación	:	Soplete convencional, Airless, brocha o rodillo
Nº de Capas recomendadas	:	Dos
Espesor seco recomendado	:	1.5 - 2.0 mils/capa
Mezcla	:	1 volumen de Esmalte (A) 1 volumen de Endurecedor (B)
Endurecedor	:	Endurecedor Epóxi (17.0045)
Diluyente	:	Disolvente Epóxi (23.1702) Usar máximo 15% sobre la mezcla
Tiempo de secado	:	Tacto : 2 - 6 hrs. Duro : Entre 24 hrs. Total : 7 días apróx.
Repintado	:	Mínimo 12 horas
Duración de la mezcla	:	8 horas (sin solvente)
Rendimiento teórico; m ² /l	:	7.90 - 9.50 a 1.5 mils seco (según color)
Observación	:	Preparada ya la mezcla dejar reposar 30 minutos antes de aplicar

TEKNO

USOS

En equipos industriales, embarcaciones marinas, superficies de concreto en contacto con agua, cámaras frigoríficas, exterior e interior de tanques de agua, estructuras ó construcciones metálicas en ambientes químicos ó corrosivos.

NOTA

Esta pintura es recomendable para ambientes en donde la concentración de ácidos no sea mayor del 10%.

BIBLIOGRAFÍA

- [01] APUNTES DE CLASE: CURSO DE DISEÑO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS I - EE235, Ing. Manuel Carranza Arévalo, 1997.
- [02] ASPECTS, Ciba polímeros 34, Ciba-Geigy S.A. 1995.
- [03] BROCHURE OIL AND SILICONES IMMERSED TRANSFORMERS, ABB Trafo S.A., Distribution Transformer Division, Zaragoza - España, 1999.
- [04] CATALOGO DE PRUEBAS ELÉCTRICAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, Compañía Electro Andina S.A., 1997.
- [05] CATALOGO: GEAFOL, TRANSFORMADORES SECOS EN RESINA EPÓXICA, Siemens Ltda, 1997.
- [06] CÁLCULO ÓPTIMO DE TRANSFORMADORES, Juan Corrales Martín, Marcombo S.A. de Boixareu editores, 1978.
- [07] CORRIENTES PARÁSITAS EN TRANSFORMADORES, Ing. Manuel Carranza Arévalo, 2002
- [08] EL ABC DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS TRANSFORMADORES, Gilberto Enríquez Harper, 1996.
- [09] EPOXY RESIN TECHNOLOGY, Paul F. Bruins, Polytechnic

- Institute of Brooklyn, New York, Interscience Publishers, 1968.
- [10] IMEFY –TRANSFORMADORES ENCAPSULADOS EN RESINA EPÓXICA, 1997.
- [11] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC60076-1,2,3,5,8,10, 1993 al 2001
- [12] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC Pub 726, first edition, 1982.
- [13] LA ESCUELA DEL TÉCNICO ELECTRICISTA, Tomo VII, Teoría, cálculo y construcción de transformadores, Juan Corrales Martín, Editorial Labor S.A., 1945.
- [14] MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO SECO MITS/97, ABB Power Technology S.A. Zaragoza – España, 2001.
- [15] MATERIALES ELECTROTÉCNICOS, Dr. José Ramírez Vázquez, Enciclopedia CEAC de electricidad, España, 1983
- [16] MESURES CONTRE L'EFFLUVE DANS DES MACHINES Á HAUTE TENSION, Bruno Jeger, Fabrique Suisse d'Isolants, Breitenbach, 1983.
- [17] NORMA TÉCNICA PERUANA – ITINTEC 370.002, 1967.
- [18] PROGRAMA COMPUTACIONAL DDT, Software para cálculo para transformadores, Ing. Manuel Carranza Arévalo – Marzo 2000.
- [19] QUICK MIX CASTING SYSTEM, Ciba Geigy - Switzerland, 1986.

- [20] QUICK MIX CASTING, Ciba Geigy – Switzerland, 1985.
- [21] SEMINARIO PROFESIONAL MÁQUINAS ELÉCTRICAS EN LA INDUSTRIA, Ing. Willy Vidalón G. – Universidad Nacional de Ingeniería, Promoción de Ingeniería Eléctrica 85 - I, 1985.
- [22] TRANSFERENCIA DE CALOR, J. P. Holman – Mc Graw Hill, 1998
- [23] TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN, Teoría, cálculo, construcción y pruebas, Avelino Pérez Pedro, Reverté Ediciones, A.A. de C.V., 1998.
- [24] TESIS DE GRADO: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 160KVA, 10000 \pm 2x2.5% / 380 - 220V, Raúl Iván Soto Bringas, Universidad Nacional de Ingeniería - FIEE, 1994.
- [25] TEINSER, Catálogo de materiales aislantes, Grupo Isovolta - Austria, 1993.
- [26] TEORÍA, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE TRANSFORMADORES, Juan Corrales Martín, Editorial Labor S.A., 1968.