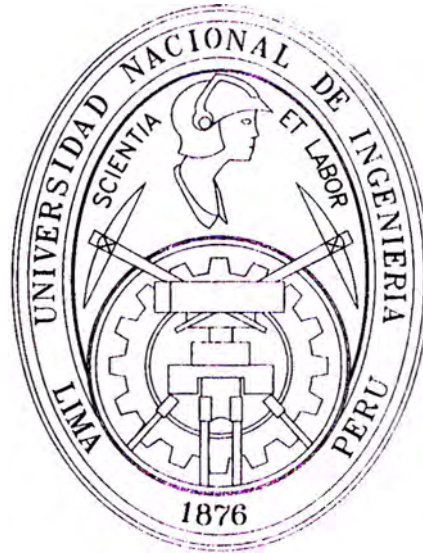


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA TRANSFORMADORES
DE POTENCIA HASTA 30 MVA CON NIVELES DE
TENSIÓN MENORES A 72,5 kV.**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

RAÚL REYES SOTO

PROMOCION

2002-I

LIMA – PERU

2007

CONTENIDO:

Prologo

1.- Introducción

1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Alcance	2
1.4 Descripción del Departamento de diseño	3
1.4.1 Misión y Visión	
1.4.2 Personal Involucrado Directamente en el Proceso de Diseño	
1.4.3 Organigrama del Departamento de diseño	
1.5 Antecedentes referentes al diseño de transformadores	12

2.- Fundamento teórico para el diseño de transformadores de potencia

2.1 Diseño del transformador	14
2.1.1 El núcleo	14
2.1.2 Bobinas	17
2.1.2.1 Bobina de capas	19
2.1.2.2 Bobina helicoidal	19
2.1.2.3 Bobina de discos	20
2.1.2.4 Bobina tipo folio	21
2.1.3 Bobinas de regulación	21
2.1.4 Aislamiento principal	22
2.1.5 Refrigeración de bobinas	24
2.1.6 Resistencia a cortocircuitos	25
2.1.7 Tanque	27
2.1.8 Capacidad para soportar movimientos sísmicos	28
2.2 Componentes del transformador	28
2.2.1 Terminales	28
2.2.2 Refrigeración	31
2.2.3 Equipos de regulación de voltaje	34
2.2.4 Accesorios	37
2.3 Datos relativos al calculo de transformadores	43
2.3.1 Circuito magnético	43
2.3.1.1 Calculo de perdidas en el hierro	44
2.3.1.2 Calculo de la potencia magnetizante	46
2.3.1.3 Calculo de la corriente de inserción	48
2.3.2 Devanados	50
2.3.2.1 Calculo de dimensiones	50
2.3.2.2 Calculo de perdidas	50
2.3.2.3 Calculo de Fuerzas electrodinámicas	61
2.3.3 Aislamiento	63
2.3.3.1 Estudio de los aislantes	63

2.3.3.2 Estudio de los esfuerzos dieléctricos	72
2.3.3.3 Ensayos dieléctricos normalizados	74
2.3.3.4 Determinación de los esfuerzos dieléctricos	75
2.3.4 Calentamiento y refrigeración	89

3.- Metodología de diseño propuesta

3.1 Comprensión de la solicitud	100
3.1.1 Lista de Exigencias	101
3.1.1.1 Análisis del problema en forma crítica	101
3.1.1.2 Estado de la tecnología	102
3.1.1.3 Análisis de la situación del problema	102
3.1.1.4 Comprobación de las posibilidades de realización	102
3.1.1.5 Ordenamiento y cuantificación de las exigencias	103
3.1.1.6 Lista de exigencias detallada	103
3.1.1.7 Preparación, planeamiento y organización del desarrollo del problema	104
3.2 Concepción de la solución	110
3.2.1 Elaboración del concepto	110
3.2.1.1 Estructura de funciones	110
3.2.1.2 Concepto de solución	114
3.3 Elaboración del Proyecto	119
3.3.1 Proyecto Preliminar	119
3.3.2 Proyecto Preliminar Optimo	121
3.3.3 Proyecto definitivo	124
3.4 Elaboración de detalles	127
3.4.1 Proporcionar fundamentación	127
3.4.2 Elaboración de formas, dimensiones definitivas y completas	127
3.4.3 Determinación completa y definitiva del material y clase de fabricación.	127
3.4.4 Determinación del estado del montaje.	128
3.4.5 Representación de piezas, dimensionado, tolerancias y material. ..	128
3.4.6 Detalles de planos en conjunto, lista de piezas y otros documentos.	129
3.4.7 Mejora, evaluación y verificación.	129
3.5 Aseguramiento de la Calidad	130
3.6 El diseño y los costos	132

4.- Resultados de la metodología aplicada a un transformador de 10/12 MVA , 13.8/4.16 kv , 60hZ

4.1 Lista de Exigencias	136
4.2 Cálculos Electromecánicos	140

4.2.1	Hoja básica de Trabajo	140
4.2.2	Radiadores y Ventiladores	144
4.2.3	Transformadores de corriente	146
4.2.4	Distancias Eléctricas	148
4.3	Planos para la Aprobación del Cliente	150
4.3.1	Croquis de dimensiones	150
4.3.2	Placa de Características	151
4.3.3	Esquema de conexión de accesorios	152
4.3.4	Batería de ventiladores	154

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Distancias eléctricas en aceite y aire

Uso de números para identificación de documentos

IEEE Recommended Practice for establishing Transformer Capability When supplying
Nonsinusoidal Load Currents.

Planos

- Planos de construcción

PROLOGO

El presente informe trata acerca de los transformadores de potencia y una metodología que pueda hacer de su diseño un proceso racional y metódico. La materia de estudio se ha dividido en 4 partes. La primera de ellas trata acerca del diseño de transformadores como un área específica dentro de una organización con una misión y visión acorde con los objetivos de la empresa, así como las capacidades y responsabilidades que deben tener las personas que se desempeñan en el diseño de transformadores. En la segunda parte se presenta el fundamento teórico para el diseño de cada componente del transformador de potencia, así como los conceptos básicos para su cálculo y dimensionado.

En la tercera parte se desarrolla una metodología de diseño adecuada para el desarrollo de transformadores de potencia con el cual se desea mejorar el proceso de diseño haciendo que este sea controlable en todas sus etapas y pueda adaptarse a los cambios y necesidades de los clientes. En la última parte se exponen los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta en el diseño de un transformador de potencia, que abarca desde los cálculos preliminares y planos para aprobación del cliente, hasta el desarrollo de los planos de construcción y sus especificaciones de fabricación.

Se espera que este aporte sea útil para aquellas personas que recién se inician en esta extensa rama que es la de diseñar transformadores, así como la de ayudar a ingenieros proyectistas en la correcta selección de las características que debe tener un transformador de potencia.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Generalidades

En casi todo lugar en donde la gente vive y trabaja encontrará por lo menos un transformador. Pero mientras se mantenga trabajando y entregando energía a los focos de las calles y casas, los ascensores de los edificios, la computadora de la oficina o la maquinaria de las industrias nadie pensara en ellos. Sin embargo, los transformadores son una de las unidades más importantes de cada proceso de producción. Sin ellos las actividades básicas de casi todas las empresas e industrias se detendrían, trayendo esto consecuencias financieras muy serias.

Hay un aumento continuo en el tamaño de los transformadores de potencia y auto transformadores. Además, la tendencia de migrar a voltajes más altos en sistemas de transmisión de energía eléctrica aumenta el nivel de voltaje de los transformadores. El aumento de la corriente y del voltaje exige consideraciones especiales de diseño y fabricación. Las técnicas computacionales usadas en el diseño de transformadores de potencia que se deben sostener por la verificación experimental para asegurar la calidad

del diseño y de los procesos de fabricación. Algunos de los desafíos del diseño son: el control de las pérdidas por corrientes parasitas, la predicción exacta de los puntos calientes de las bobinas, la capacidad de soportar cortocircuitos y el diseño confiable del aislamiento. Con el aumento de la potencia, el peso y el tamaño de los transformadores se acercan o exceden los límites de la capacidad del transporte y fabricación. También, debido a la competencia cada vez mayor del mercado global, se hacen esfuerzos continuos de optimizar el material usado en la fabricación de transformadores. Por lo tanto, la diferencia entre los niveles de resistencia a cortocircuitos o la capacidad dieléctrica y los niveles de esfuerzo correspondientes al funcionamiento normal está disminuyendo. También, los valores garantizados de funcionamiento y los valores reales de las pruebas están muy cercanos ahora. Todos estos factores exigen mayores esfuerzos de los investigadores y diseñadores para el cálculo exacto de los niveles de esfuerzo y de funcionamiento en los transformadores.

1.2 Objetivo

Presentar los criterios de una metodología para optimizar el proceso de diseño de transformadores de potencia hasta 30 MVA con niveles de tensión menores a 72.5 KV.

1.3 Alcance

El presente informe pretende dar lineamientos para que departamentos de diseño de transformadores puedan mejorar su proceso de diseño teniendo en cuenta la limitación en la potencia y en especial el nivel de tensión del transformador ya que si esta es mayor a 72.5 kV el diseño del transformador se dificulta volviéndose mas complejo por lo que a este nivel cada caso suele convertirse en un diseño único. Sin embargo, los lineamientos que a continuación se van a presentar también pueden ser usados en el diseño de transformadores de distribución de pequeña potencia, siempre y cuando se

hagan algunas modificaciones y simplificaciones de acuerdo a las condiciones de cada empresa.

1.4 Descripción del Departamento de diseño.

1.4.1 Misión y Visión

1.4.1.1 Misión de la empresa

Es la fabricación de transformadores de pequeña y mediana potencia para la industria nacional, cumpliendo los mas rigurosos estándares de calidad y protección del medio ambiente, así como el de asesorar permanentemente a nuestros clientes a utilizar la energía eléctrica con eficacia para que aumenten su productividad industrial de una manera sostenible.

1.4.1.2 Visión de la empresa

La visión de la empresa es la de convertirse en uno de las principales fabricantes de transformadores de potencia en América latina, además de ser reconocidos nacional e internacionalmente por nuestra alta calidad e innovación constante, guiada por un espíritu de equipo, donde se trabaje en armonía, con posibilidades de desarrollo del personal, en que los empleados se sientan orgullosos de trabajar en ella, generando beneficios a la familia, a la empresa y al país.

1.4.1.3 Misión del departamento de diseño

Es el diseño de transformadores de pequeña y mediana potencia para la industria nacional, usando metodologías y programas computacionales que permiten la optimización y calidad del diseño y a la vez dando soluciones innovadoras en energía

eléctrica a nuestros clientes para que aumenten su productividad industrial de una manera sostenible.

1.4.1.4 Visión del departamento de diseño

Convertir al departamento de diseño en un centro de excelencia tecnológica, con suficiente flexibilidad y capacidad para adecuarse a los cambios y que a la vez responda y pueda dar respuesta a las necesidades energéticas y económicas de nuestros clientes, colaborando y trabajando como un equipo con otras áreas de la empresa para el beneficio mutuo.

1.4.2 Personal Involucrado Directamente en el Proceso de Diseño

1.4.2.1 Tareas de los diseñadores

El proceso de diseño es visto como una ejecución de la transformación exigida para la operación de una gran cantidad de efectos diferentes a través de las actividades de los diseñadores. La aspiración de minimizar las proporciones de una determinada tarea en el trabajo de diseño debe ser soportada por la teoría a través del correspondiente conocimiento.

1.4.2.2 Tipos de diseñadores

Se pueden ver bajo dos puntos de vista, como un diseñador – operador, que esta dentro de una estructura como ingenieros Individuales en los cuales cada uno debe resolver una o varias tareas parciales, como un grupo de diseñadores que tienen diferente especializaciones o como un grupo con igual nivel o capacidad quienes deben resolver las tareas como un conjunto. Por otro lado es posible formar grupos adecuados de diseñadores acorde a sus empleos y calificaciones.

1.4.2.3 Capacidades y exigencias del diseñador a partir de las propiedades características del diseño

Para lograr un diseño exitoso no solo son necesarios conocimiento y capacidad, se requiere de la experiencia en diferentes campos y también el entusiasmo para el trabajo. El nivel de formación general y el nivel cultural alcanzado tienen una gran influencia.

Tabla 1.1

Características del diseño	Exigencias correspondientes para el diseñador
Exigencia técnica y económica especializada para crear una estructura no existente	Buena formación, conocimientos de ciencias naturales, tecnología y economía, horizonte amplio; pensamiento lógico, idea de costos, imaginación, buena memoria, posiciones críticas, capacidad para ver relaciones, responsabilidad, orden.
Expresión comunicativa	Capacidad para expresarse en diferentes formas de presentación y para expresarse con dibujos, capacidad de negociación.
Muchas síntesis, análisis y decisiones	Imaginación, decisión, fuerza de convencimiento, ideas de costos, ganas y deseos para resolver problemas, capacidad para trabajar en forma sistemática.
Actividad creadora	Imaginación, buena memoria, habilidad para combinar, capacidad para abstraerse.
Dominar el último estado de la tecnología	Capacidad para procurarse la información, espíritu flexible, aprendizaje continuo y permanente.
Trabajo preciso, con detalles claros	Escrupuloso, cuidadoso, ordenado
Comprobación permanente de las decisiones tomadas	Capacidad para trabajar en forma sistemática, posición crítica, conocimiento.
Tareas a largo plazo	Resistencia, concentración, fuerza de voluntad, decisión, organizado, responsabilidad, trabajo planificado.
Necesidad de trabajo en equipo	Espíritu de equipo, facilidad para hacer contacto con la gente, amigable, abierto, leal, compañerismo.
Cierta probabilidad de fracasos	Confianza en sí mismo, capacidad para la crítica de discernimiento, habilidad para observar.
Necesidad de planear libremente el trabajo	Entusiasmo para el trabajo, curiosidad, entusiasmo por resolver problemas.
Tiempo largo de maduración del diseñador.	Resistencia, entusiasmo por el trabajo, estar convencido del significado del trabajo.

El diseñador ideal debe poseer las siguientes características

Tabla 1.2

Saber y conocimiento	Habilidades y capacidades	Cualidades personales
Conocimientos generales	Inteligencia Memoria Pensamiento lógico	Capacidad de rendimiento
Idiomas Literatura Historia Geografía	Capacidad de síntesis Pensamiento en los costos	Resistencia Fuerza de voluntad
Matemáticas Geometría Física Química	Capacidad de imaginación Habilidad para combinación	Autenticidad Responsabilidad
Conocimientos técnicos Especializados	Creatividad Mentalidad flexible Trabajo metódico Procurara información	Ser consciente se sus obligaciones Franqueza
Conocimientos básicos	Creatividad Mentalidad flexible Trabajo metódico Procurara información	Minuciosidad Escrúpulo
Conocimientos especializados	Capacidad para tomar decisiones	Cuidadoso Amigable
Conocimientos de métodos de diseño ..tecnologías de Ing. Mecánica	Capacidad de representación	De horizonte abierto Objetivo
..tecnologías de Ing. Eléctrica	Capacidad de observación Capacidad de concentración Planificación	Posición critica, inclusive autocrítica
..conocimiento de materiales	Aptitud para dirigir Habilidad para organizar	Confianza en si mismo Entusiasmo y alegría para diseñar
Economía Derecho Psicología	Orden en su trabajo Presencia personal Expresión precisa	Disponibilidad para la cooperación y estudio
Tecnología estética Ergonomía	Fuerza de convencimiento	Permanente leal

1.4.2.4 Evolución de las cualidades del diseñador

Los conocimientos de la capacidad necesarias para diseñar evolucionan con la actividad practica y la experiencia.

Tabla 1.3

Cualidades	Inicio	Después de varios años de practica
Conocimiento básico	3	1
Capacidad para resolver problemas	1	3
Minuciosidad Escrupuloso	1	2
Capacidad de organización y de coordinación del trabajo	1	3
Conocimiento especializado y profundo	0	3

1.4.2.5 Calificación y responsabilidades del diseñador

Los diseñadores determinan las propiedades de cada producto en términos de función, seguridad, ergonomía, producción, transporte, operación, mantenimiento, reciclaje y eliminación. Una fuerte razón para el rol central del diseñador en una compañía es la posición del diseño dentro del proceso del desarrollo del producto. Como se muestra en la figura 1.1, dentro del cual puede verse que la producción y el ensamble dependen de la información para el planeamiento del producto, diseño y desarrollo. Por esta razón, el diseño y desarrollo están fuertemente influenciados por el conocimiento y la experiencia de la producción y el ensamble. Normalmente se debe considerar en toda oficina de diseño tres tipos de profesionales:

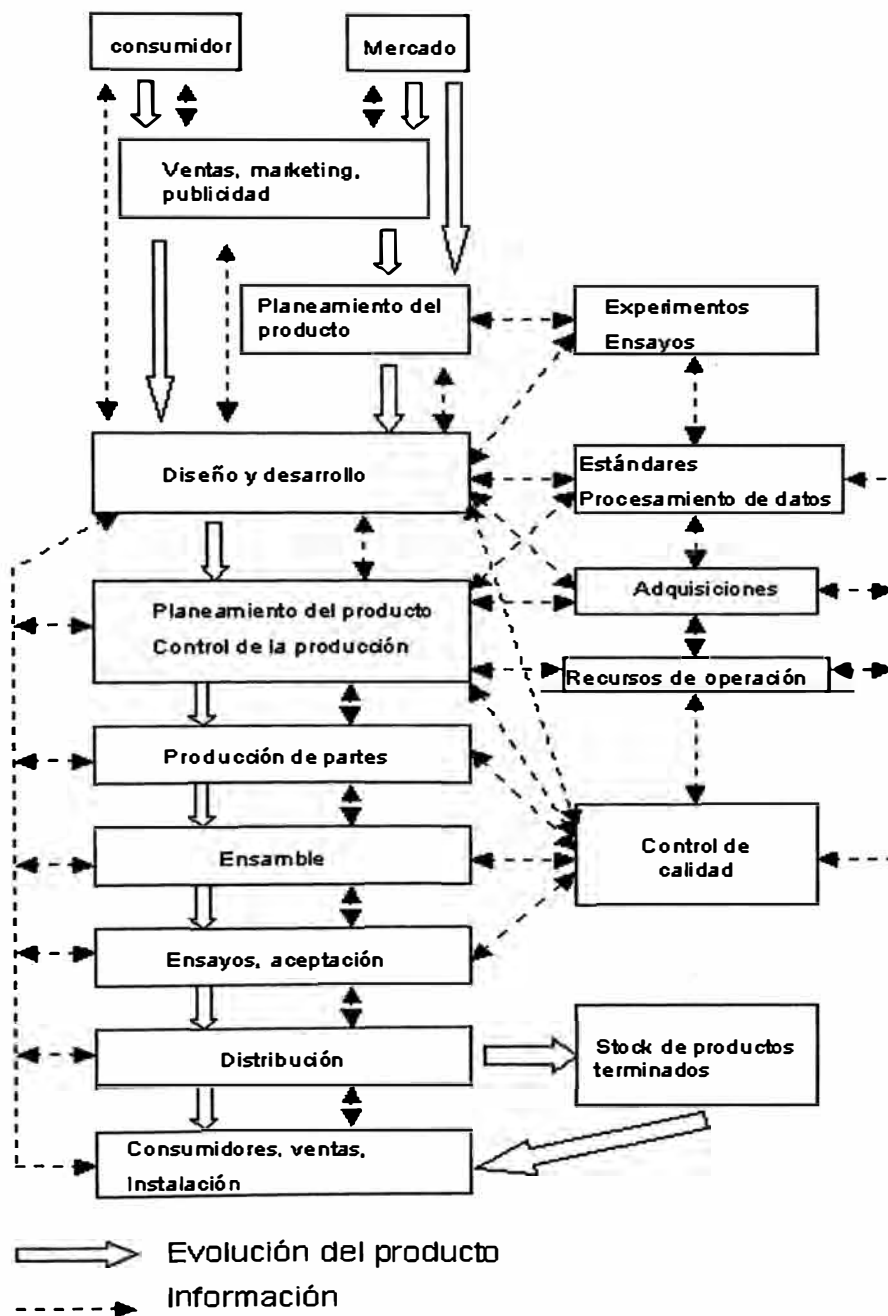


Fig. 1.1 Flujo de información entre departamentos

1.4.2.6 Ingeniero de proyecto

Debe tener una formación universitaria, con conocimientos profundos de la especialidad, debe ser capaz de tomar decisiones asociadas al mismo, alguien que pueda

manejar el balance entre direcciones de diseño deseables y problemas de implementación, así como, poder comunicarse y coordinar con altos ejecutivos del proyecto.

1.4.2.7 El Ingeniero de detalles

Debe tener una formación más tecnológica que analítica, en este caso prima la experiencia en el trabajo. Se le delega cierta capacidad de decisión y muchas veces absolución de consultas que pide el cliente en detalles específicos del diseño, de manera coordinada y aprobada por el jefe del proyecto.

1.4.2.8 El dibujante técnico

El dibujante debe tener destreza para la expresión gráfica, este debe haber seguido estudios de dibujo técnico, dibujo mecánico, etc.

La calificación del personal de diseño dependerá de las necesidades del puesto de trabajo, esta calificación deberá comprender varios aspectos como: conocimientos, habilidades y destrezas.

Tabla 1.4

CONOCIMIENTO, ACTITUD Y CUALIDADES	a	b	c	CAPACIDADES	a	b	c
Saber y conocimiento				Capacidad y habilidades			
Conocimiento general	2	1	1	Pensamiento lógico	3	2	2
Conocimientos técnicos básicos	3	2	1	Capacidad de síntesis	3	2	0
Conocimiento especializado	3	3	1	Idea de costos	3	3	1
Actitud, cualidades personales	3	3	2	Memoria	2	3	2
Capacidad de rendimiento	3	3	2	Imaginación	3	2	2
Resistencia	3	2	1	Creatividad	3	2	0
Responsabilidad	2	3	3	Mentalidad flexible	3	2	1
Minucioso	3	2	0	Trabajo metódico	3	2	1
Confianza en sí mismo	3	2	1	Capacidad de decisión	3	2	0
Entusiasmo	3	2	2	Capacidad de representación	3	3	1
Disponibilidad para la cooperación y el estudio permanente.	3	1	0	Capacidad de dibujar	1	3	3
				Aptitud para dirigir	3	1	0
				Habilidad para organizar	2	1	1
				Capacidad de concentración	3	2	2
				Expresión precisa	3	1	0
Donde: a) El Ing. de proyecto (diseñador) b) El Ing. de detalles (Ing. De ejecución) c) El dibujante				Donde las exigencias son: 3 alta 2 media 1 baja y 0 ninguna exigencia			

1.4.2.9 Evaluación del personal de diseño

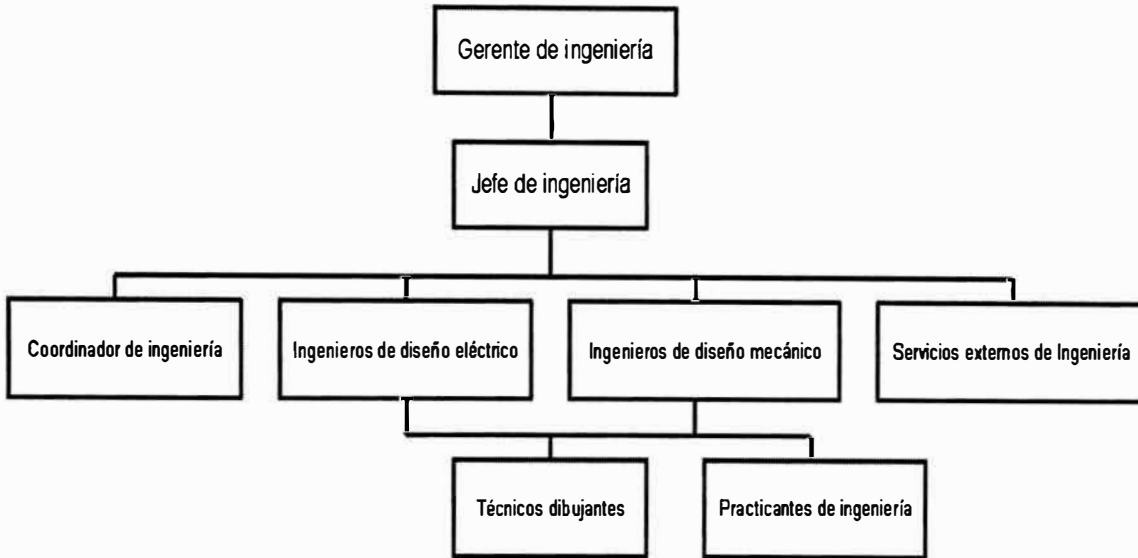
Tabla 1.5

Exigencias	Unidades de evaluación de los diferentes grupos de profesionales que intervienen en el diseño		
	Ing. diseñador	Ing. de detalles	Dibujante
Conocimiento especializado	13,0	7,2	4,5
Destreza corporal	2,4	2,4	1,9
Responsabilidad para la ejecución del trabajo	4,5	1,8	1,0
Responsabilidad por terminar el trabajo	1,8	0,5	0,5
Grado de dificultad del trabajo	0,7	0,7	0,9
Reflexionar, pensar	20,5	7,0	2,8
Capacidad de observación	1,5	1,5	1,5
Concentración	5,5	3,0	-
Agilidad para relacionar y expresar	1,0	-	-
Capacidad para disponer	5,2	-	-
Suma de unidades de evaluación	56,1	24,1	13,1

Tabla 1.6 Distribución de tiempos según la fase del diseño

Fase	Actividad	Distribución (Rango)
Precisión y aclaración del problema	Analizar, estructurar y formular las exigencias del problema	?
Concepción	Determinar las funciones y estructurarlas	0 – 10 %
Proyectar	Configurar 17%	20 – 40 %
	Calcular 4 %	
	Informar 8 %	
Elaboración de detalles	Dibujar 30 %	50 – 60 %
	Modificar 10 %	
	Lista de piezas 10 %	
	Revisar 6 %	
Otros	Intercambio de información	10 – 20 %
	Apoyo a compras	

1.4.3 Organigrama del departamento de diseño



1.5 Antecedentes referentes al diseño de transformadores

La construcción y explotación de los transformadores de potencia ha planteado a los diseñadores una serie de problemas difíciles e importantes, así como:

- La elevación del rendimiento del transformador
- El enfriamiento del transformador
- La protección del transformador contra sobre tensiones

El problema del rendimiento de los transformadores de potencia tiene para el servicio de estos una importancia muy grande. Para elevar el rendimiento del transformador se ha necesitado perfeccionar métodos de cálculo de los transformadores y mejorar su construcción, utilizar nuevos materiales de mejor calidad y utilizarlos de un modo racional.

El problema del enfriamiento admite diferentes soluciones. Al principio los tanques de los transformadores de poca potencia se hacían de planchas onduladas y en los de gran potencia se utilizaba ampliamente la refrigeración interior del aceite por agua. Con el tiempo aparecieron soluciones como los tanques tipo tubulares para pequeñas potencias y tanques tipo radiador para potencias mayores.

Las investigaciones han demostrado que algunos aditamentos de protección como: el reforzamiento de los aislamientos de las bobinas de los extremos son algunas veces insuficientes, en especial para niveles de tensión mayores a 110kV por lo que es necesario utilizar una protección capacitiva con el objeto de que los impulsos de sobre tensión se distribuya en las bobinas con suficiente uniformidad. Además se han creado varios tipos de transformadores de esta clase con características especiales, en la segunda mitad del siglo pasado ya estaban ampliamente difundidos los transformadores con devanado de compensación.

De lo antedicho se deduce que el diseño de transformadores ha alcanzado un nivel de desarrollo muy alto y es capaz de satisfacer las exigencias que ante estas se plantean.

CAPITULO 2

FUNDAMENTO TEORICO PARA EL DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

2.1 Diseño del transformador

En este capitulo se dará una descripción detallada de las principales partes de un transformador. La parte activa del transformador lo conforman el núcleo y los bobinados.

2.1.1 El Núcleo

Estos son construidos de láminas delgadas de acero, que son fabricadas específicamente. Este acero tiene bajo contenido de carbono (menor a 0.1%) y es aleado con silicio, esto tiene efecto en la disminución de las perdidas por histéresis, la reducción de perdidas por corrientes de Foucault y la eliminación del fenómeno de envejecimiento. Las pérdidas por corrientes de Eddy son proporcionales al cuadrado del espesor, por lo que las láminas de acero deben ser delgadas para reducir las perdidas en vacío. La Figura 2.1 muestra un **núcleo trifásico de tres columnas**, los cuales están

magnéticamente conectados uno con otro en la parte superior e inferior por los **yugos o culatas**. El espacio disponible para los bobinados es llamado **Ventana**.

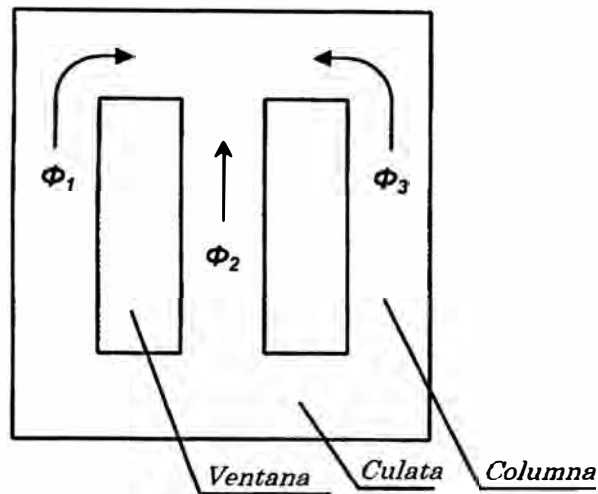


Fig. 2.1. Núcleo trifásico de tres columnas

Las tres columnas están magnéticamente unidas por los yugos superior e inferior. En el yugo el flujo se divide y para un núcleo de tres columnas se tiene el retorno de una columna en las otras dos columnas como se puede apreciar en la Figura 2.1. En los núcleos trifásicos de tres columnas los yugos deben ser capaces de llevar el mismo flujo que en las columnas. En la práctica la sección de los yugos es el mismo que el de las columnas o algo mayor. En los **núcleos trifásicos de cinco columnas** el flujo que proviene de las tres columnas principales que contienen las bobinas tiene un camino de retorno adicional a través de las dos columnas de los costados, como se aprecia en la Figura 2.2.

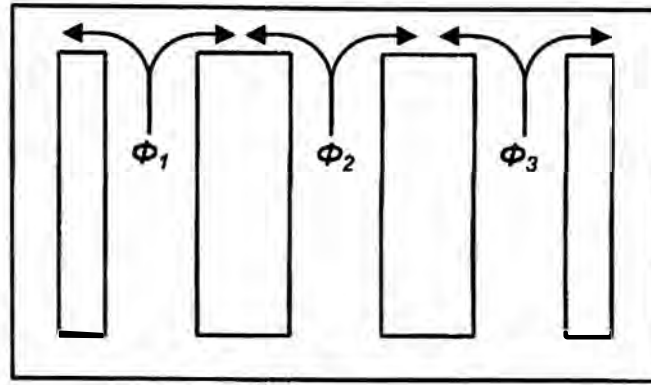


Fig. 2.2 . Núcleo trifásico de cinco columnas.

Un núcleo de cinco columnas es más caro que un núcleo de tres columnas, por lo que este último es la opción preferida tanto como el transporte lo permita. Otra posibilidad es el de hacer tres transformadores monofásicos en vez de uno trifásico. El núcleo para transformadores monofásicos puede ser hecho de dos diferentes formas, una con una columna al medio en donde están ubicadas las bobinas y dos columnas laterales para el retorno del flujo o un núcleo de dos columnas con bobinas. Ver figuras 2.3 y 2.4.

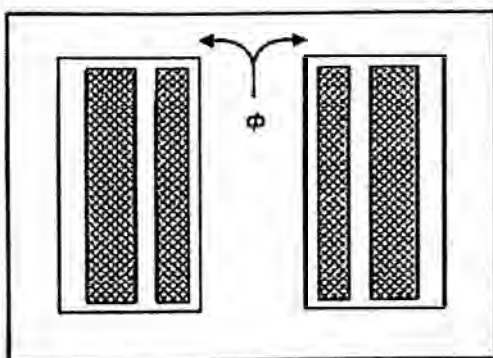


Fig.2.3

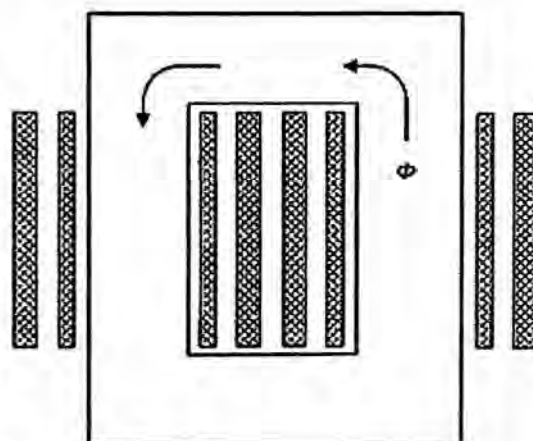


Fig.2.4

El diseño de la figura 2.3 es en general más económico que el de la figura 2.4, Otra ventaja con un transformador monofásico es que una unidad de repuesto es mas barata que una unidad trifásica.

La conexión entre las columnas y los yugos es hecha por medio de juntas a 45 grados para lograr una sección lo mas grande posible y una densidad de flujo baja dónde el flujo magnético no sigue la dirección de la orientación de los granos de las hojas de acero.

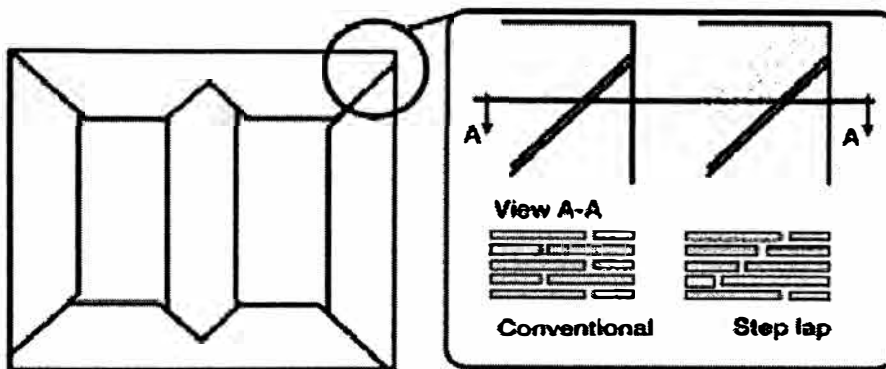


Fig.2.5

La junta traslapada en escalón es el tipo mayormente aplicado. Haciendo que las juntas cambien por etapas es posible reducir aun más las pérdidas por magnetización en las juntas entre las columnas y los yugos.

2.1.2 Bobinas

La forma del conductor devanado en transformadores de potencia es usualmente rectangular para utilizar de la forma mas efectiva el espacio disponible, con el incremento del área conductora, los conductores deben ser divididos en 2 o mas elementos conductores paralelos con el fin de reducir las perdidas por corrientes de Eddy en las bobinas y también facilitar su construcción. Cada pletina es aislada con

cintas de papel solapadas a mitad y luego barnizadas en caliente con laca tipo esmalte. El aislante esta constituido de delgadas cintas de papel, arrollado a lo largo de las pletinas como se indica en la figura 2.6.

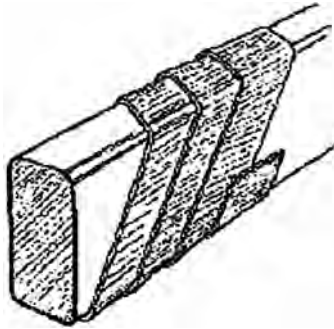


Fig.2.6 Pletina conductora con aislamiento de papel

Un tipo especial de conductor es el cable continuamente transpuesto. Este cable se construye de hasta dos capas de platinas aisladas con esmalte colocadas axialmente una sobre otra, como se muestra en la figura 2.7. Cuando atraviesa el mismo flujo en un ciclo de transposición completa, todas las pletinas reciben el mismo voltaje inducido y se evitan corrientes circulantes entre estas.

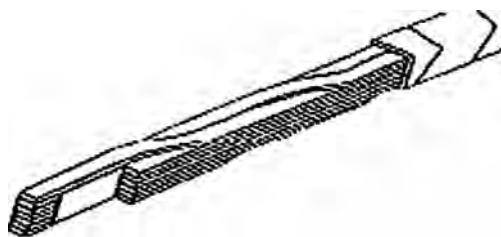


Fig.2.7 Cable continuamente transpuesto.

Para evitar los esfuerzos dieléctricos locales la superficie del conductor debe ser lisa y sin rugosidades, además las esquinas deben estar redondeadas adecuadamente. El número de vueltas y la corriente en el bobinado determinan principalmente la elección del tipo de bobinado, estas pueden ser divididas en cuatro tipos principales:

- Bobinas de capas
- Bobinas Helicoidales
- Bobinas de discos
- Bobinas tipo folio

2.1.2.1 Bobina de capas

Las vueltas son dispuestas axialmente a lo largo del bobinado. Las vueltas consecutivas son encerradas una dentro de las otras sin espacios intermedios, el bobinado puede ser hecho de una sola capa o de capas múltiples.



Fig.2.8 Bobina de regulación a base de un bobinado del tipo capa

2.1.2.2 Bobina Helicoidal

El bobinado helicoidal es usado para altas corrientes, donde la corriente es repartida entre varias platinas paralelas. Debido a esto las dimensiones de cada platina puede ser razonablemente pequeña para obtener bajas pérdidas por corrientes de Eddy. Para evitar las corrientes circulantes entre platinas, la posición de cada una de estas debe ser cambiada de tal manera que cada una encierre la misma cantidad de campo magnético. El voltaje inducido en cada ciclo formado por cada platina deberá ser el mismo. Sin esta precaución llamada transposición, la distribución de corriente en las

platinas sería muy desigual, esto crearía zonas de alta temperatura e incremento de pérdidas.

El material conductor que puede ser dispuesto dentro de un volumen es alto comparado con otros tipos de bobinados. Por esto el bobinado helicoidal tiene un alto factor de espacio, el cual es beneficioso para obtener una buena relación entre la masa total y las pérdidas totales. Además es mecánicamente más robusto y de fácil fabricación, particularmente cuando se usa cable continuamente transpuesto.

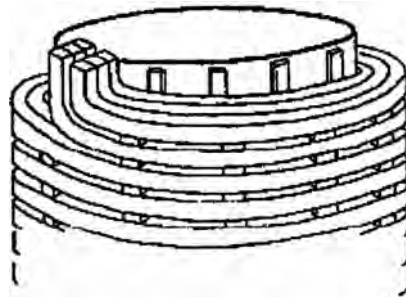


Fig.2.9 Esquema de un bobinado helicoidal doble.

2.1.2.3 Bobinas de discos

Este concepto es usado para bobinados con un gran número de vueltas y corrientes relativamente pequeñas. El bobinado de discos es construido a partir de un número de discos conectados en serie. Generalmente son preferidas al bobinado helicoidal cuando el número de vueltas es alto. La mayor aplicación para el bobinado de discos es en bobinas para altos voltajes.

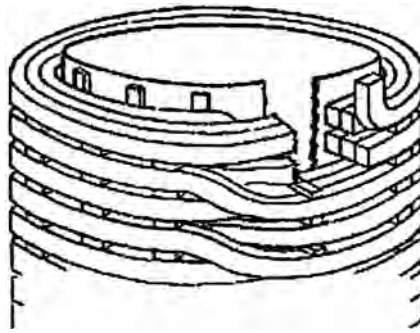


Fig.2.10 Esquema de un bobinado de discos.

2.1.2.4 Bobina de Folio

Esta hecha de láminas de cobre o aluminio cuyos espesores varían desde algunas décimas de milímetro hasta unos pocos milímetros. La principal ventaja es que las fuerzas mecánicas axiales que actúan sobre los bobinados dentro del transformador debido a la corriente de cortocircuito son pequeñas, además tienen otra ventaja: el tiempo de fabricación es corto. Las bobinas de folio son ampliamente aplicadas en bobinados de bajo voltaje de transformadores de distribución.

2.1.3 Bobinas de Regulación

Las conmutaciones para cambiar la relación de regulación del voltaje pueden ser hechas en bobinas cuando la corriente no es muy alta y el rango de regulación tampoco es muy extenso. Para grandes rangos de regulación del voltaje las vueltas de regulación son dispuestas en una bobina separada. El tipo de bobinado es de capas o helicoidal. Las vueltas para cada escalón de regulación están distribuidas a lo largo de la altura del bobinado y están conectadas en serie por medio de conexiones de cables fuera del bobinado.

La solución de diseño mas económica es la de localizar la bobina de regulación (eléctricamente) en el punto neutro de una bobina conectada en estrella, donde la diferencia de potencial entre las tres fases es pequeña. Con esto se obtiene una conmutación de tomas simple y barata.

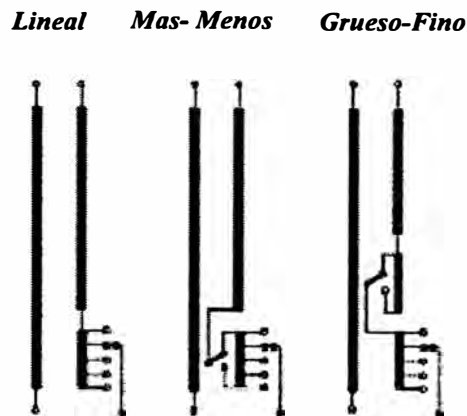


Fig.2.11 Tres formas básicas de disponer la regulación del voltaje ; Lineal, mas-menos y Grueso-fino

Para pequeños rangos de regulación (10% del valor nominal) es común el uso de la regulación lineal. Para grandes rangos de regulación, una regulación mas-menos puede ser mas adecuada, La tercera disposición es la regulación Gruesa-Fina, donde la función de regulación es dispuesta en dos bobinados, uno para los escalones gruesos y otro para los escalones finos.

2.1.4 Aislamiento principal

Las bobinas están dispuestas como cascarones concéntricos alrededor de la columna del núcleo. El aislamiento entre bobina y núcleo y entre bobinas es construido como un sistema de barreras. La distancia de aislamiento entre dos componentes de diferente potencial es dividida en un número de segmentos por medio de planchas de cartón prensado perpendicularmente al campo de esfuerzo. Gruesas planchas de cartón

presado orientadas verticalmente gobiernan la distancia entre dos barreras adyacentes así como también los bobinados.

Bobinas con un alto potencial en sus terminales tienen un sistema de barrera extendido para cubrir la distancia al yugo, elementos de cartón prensado con formas angulares son posicionados alternadamente en el interior y exterior del sistema de barrera del bobinado. El diseño debe prever necesariamente canales para la circulación de aceite en la bobina. La figura 2.14 muestra una disposición con anillos protectores. Un anillo de protección con su gran radio de borde y su aislamiento uniformiza los esfuerzos en las salidas de la bobina. Además un anillo de protección incrementa la capacitancia en serie en una bobina de discos, el cual reduce la no linealidad de la distribución del voltaje a lo largo del bobinado durante condiciones transitorias de voltaje y reduce los esfuerzos dieléctricos en el bobinado.

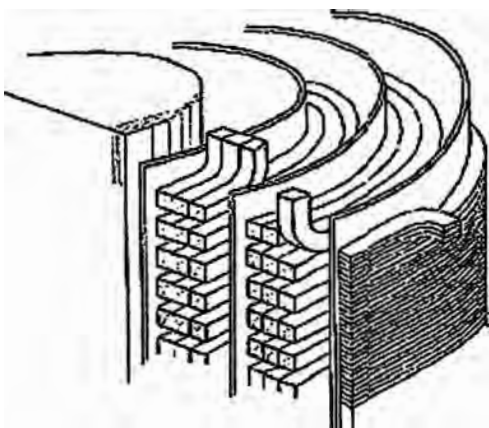


Fig.2.12 Una bobina helicoidal que envuelve al núcleo, una bobina de discos que envuelve a ambos y por último una bobina de capas para la regulación.

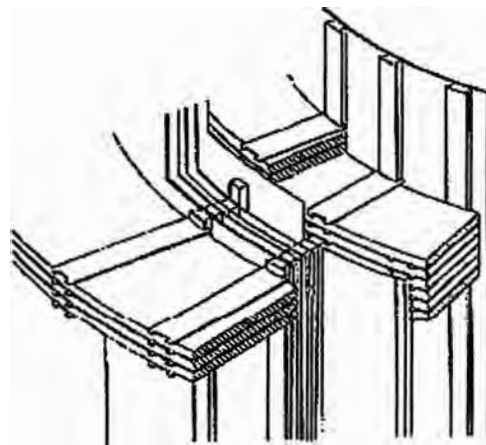


Fig.2.13 Disposición de barreras entre bobinas.

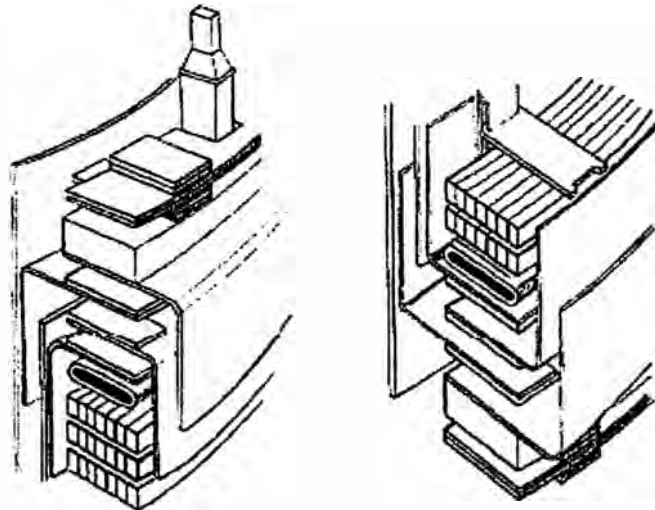


Fig.2.14 Bobinas de alto voltaje encerradas por barreras angulares para aislamiento del yugo y anillos protectores en los terminales del bobinado para control dieléctrico.

2.1.5 Refrigeración de bobinas

Las bobinas son grandes productores de calor, por lo cual necesitan refrigeración. La capacidad del aceite para transportar el calor disipado es también grande, pero hay aun necesidad de que una considerable cantidad fluya a través de los ductos de refrigeración dentro de las bobinas.

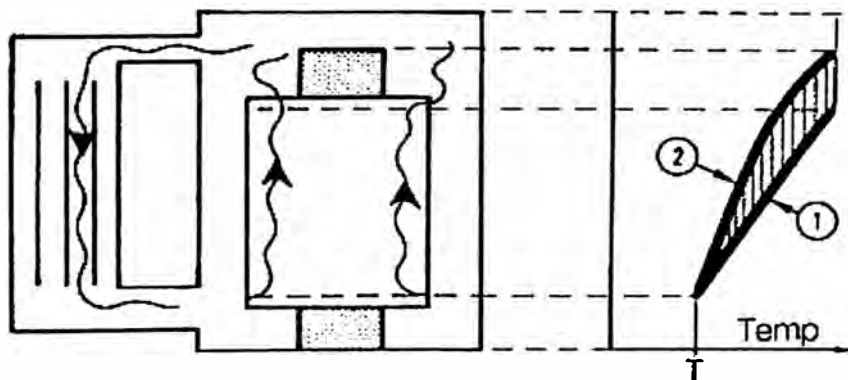


Fig.2.15.

La circulación del aceite se da través de las bobinas se da por el efecto termosifón dentro el tanque. El flujo se ajustara a si mismo hasta que haya un equilibrio²⁴

entre la altura y la resistencia del flujo en el ducto. La figura 2.15 muestra un transformador con circulación natural de aire. La curva 1 en el diagrama de la derecha es el perfil de temperatura dentro del bobinado y el tanque, mientras que la curva 2 es el perfil de temperatura en los radiadores. El área sombreada entre ambas curvas indica la altura disponible.

2.1.6 Resistencia a corto circuitos

De acuerdo al criterio estas fuerzas pueden dividirse en dos direcciones. Las fuerzas electromagnéticas son proporcionales al cuadrado del valor instantáneo de la corriente, con la corriente alterna, las fuerzas correspondientes varían con el tiempo y son repetitivas, como la corriente incluye una componente de amortiguamiento y otra componente DC en decaimiento, el primer pico de corriente invocara a la más alta fuerza electromagnética. El criterio de resistencia al cortocircuito esta basado sobre el valor de las fuerzas y corrientes en el primer pico.

En un transformador bien equilibrado los bobinados internos y externos están sujetos a fuerzas de compresión axial. Las fuerzas radiales tienden a comprimir el bobinado interno y expandir el externo. Las fuerzas actúan de tal forma que tienden a incrementar el volumen de espacio del flujo de dispersión entre los bobinados. Las fuerzas axiales permisibles están limitadas a los esfuerzos mecánicos de los soportes finales del bobinado y a los espaciadores entre discos, para bobinados helicoidales y de discos hay una probabilidad de incrementar estos soportes y espaciadores, debido a la inclinación de los conductores cuando se incrementan las fuerzas axiales.

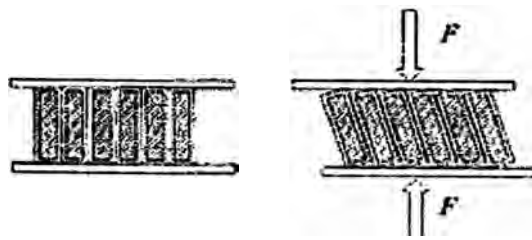


Fig.2.16 *Inclinación de conductores bajo esfuerzos axiales*

La máxima fuerza radial permisible en un bobinado interno esta limitado al esfuerzo por pandeo.

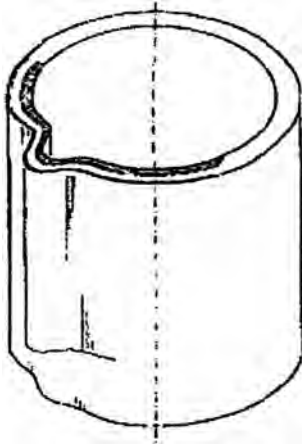


Fig.2.17 *Típico ejemplo de pandeo en un bobinado interior*

La forma de visualizar un modo de falla por pandeo en una bobina (helicoidal o discos) puede ser representada por un numero de vigas paralelas entre dos espaciadores. Las vigas están aseguradas del giro por los espaciadores. El ángulo entre el espaciador y las vigas se mantiene inalterado pero el espaciador junto con los extremos de las vigas son libres de moverse axialmente. La resistencia al pandeo es frecuentemente un factor a tomar en cuenta para el dimensionamiento interno de las bobinas y consecuentemente para el transformador entero.

2.1.7 Tanque

El tanque es básicamente el contenedor para el aceite y la protección física de la parte activa, también sirve como estructura de soporte para los accesorios y el equipo de control. Antes del llenado del tanque con aceite con la parte activa dentro, este es sometido a ensayos de vacío, por lo que debe ser diseñado para soportar la presión de la atmósfera con un mínimo de deformación.

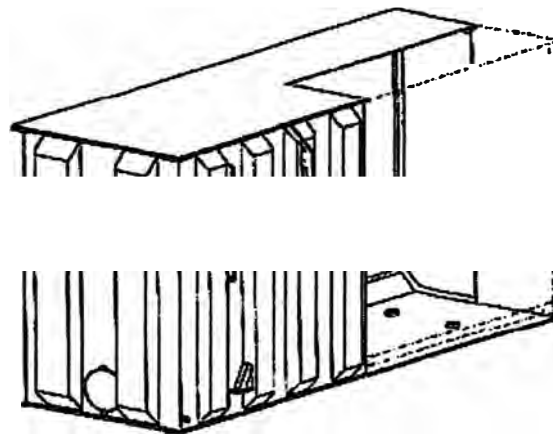


Fig.2.18 Tanque con refuerzos rigidizadores tipo cajón, se muestran los ganchos de izaje y los soportes para el uso de gatas hidráulicas

Obtener dimensiones del tanque de acuerdo con un perfil de transporte específico y al mismo tiempo encerrar la parte activa dentro del tanque con las distancias de aislamiento necesarias y así obtener un diseño razonable y simple es un desafío para el diseñador, en especial cuando se diseñan grandes transformadores de potencia.

El tanque es diseñado para permitir que la expansión del aceite dependa de la temperatura, muchas veces un depósito de expansión separado es instalado, comúnmente se le llama conservador. Mientras el conservador tenga conexión con el aire exterior la presión de aceite en el transformador permanece constante e independiente de la temperatura. El acceso libre del aire circundante está limitado. Las

buenas propiedades dieléctricas del aceite requieren que esté limpio y con un nivel muy bajo de humedad. En muchos casos un diafragma en forma de bolsa de caucho separa el aceite del aire que ingresa del exterior.

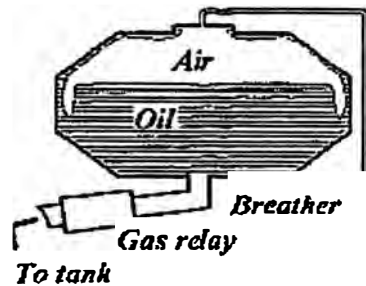


Fig.2.19 Conservador con diafragma entre el aceite y el aire

2.1.8 Capacidad para soportar movimientos sísmicos

Los transformadores a ser instalados en áreas de actividad sísmica deben ser sujetos a un análisis de interacción sísmica. La magnitud de la carga sísmica a esperar y la que el transformador es capaz de soportar debe ser evaluada. En ciertas áreas hay requerimientos locales que deben ser sujetos a análisis. Las fuerzas sísmicas y los efectos sobre el transformador, sus componentes y soportes deben ser evaluados.

2.2 Componentes del transformador

2.2.1 Terminales

Bushings

Los dispositivos terminales llamados bushings llevan las conexiones del medio aislado dentro del transformador al medio aislado externo el cual la mayoría de las veces es aire. Los bushings proveen el aislamiento necesario entre las conexiones eléctricas de las bobinas y el tanque principal que está al potencial de tierra; estos proveen también el aislamiento necesario en el medio externo.

Bushings de bajo voltaje

Un bushing de bajo voltaje aceite-aire puede ser una barra de material conductor insertado dentro de un tubo de porcelana. El aislamiento esta dado por una combinación de una pared de porcelana y el aceite del transformador. Bajo aceite el esfuerzo de ruptura de la superficie de la porcelana es mucho mayor que en el aire, por lo que la porción del bushing que esta en aceite es corta. La porción que esta en contacto con el aire es mucho mas larga y tiene un perfil acampanado para proveer una mayor distancia disruptiva. El Limite normal para estos bushings de porcelana es hasta voltajes de 52kV y corrientes hasta 10kA.

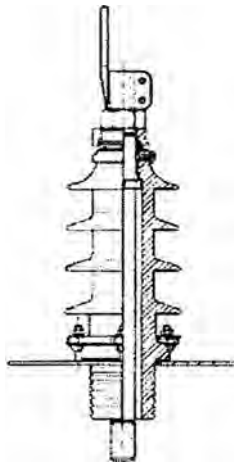


Fig.2.20 Bushing de porcelana

Bushings tipo condensador

Para bushings con un alto rango de voltaje mayor a 52 kV, que dependen de los requisitos del cliente, es necesario introducir un control activo de la distribución del voltaje entre el terminal central de alto voltaje y la brida de montaje externa, que esta al potencial de tierra.

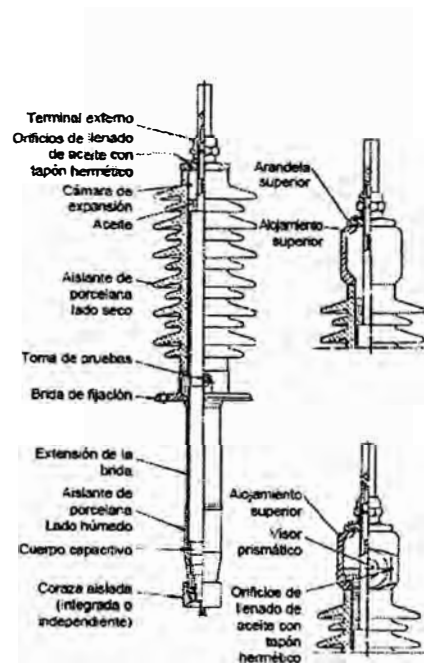


Fig.2.21 Bushing aislador tipo GOB de la marca ABB

Tal control es logrado por una distribución del voltaje del tipo capacitivo. En una forma simple la barra central es envuelta con papel en un número de capas y a la vez dispuestos concéntricamente cilindros de láminas metálicas entre las capas de papel, las longitudes de estas láminas metálicas van disminuyendo a medida que el radio aumenta de modo que las capacidades entre cilindros consecutivos sean aproximadamente iguales.

Bushings de alta corriente

Los terminales para muy altas corrientes, están en el rango hasta 30kA y tienen un conductor central de grandes dimensiones y su propósito es el de conducir calor. La corriente fluye cerca de la superficie y penetra solo alrededor de 1 o 2 cm. El calor generado en la superficie de contacto del lado que esta en el aire es absorbido por el aceite que se encuentra en la parte superior del transformador. Debido al efecto superficial es ventajoso colocar en las salidas del lado del aire terminales en forma rectangular, este recoge la corriente de la circunferencia donde este flota y este puede

ser fácilmente conectado a un conjunto de cables flexibles. Las salidas de alta corriente de los transformadores son frecuentemente montados en ductos, dentro del cual se pueden generar altas temperaturas por lo que diseños especiales para alta temperatura deben ser usados.

2.2.2 Refrigeración

El equipo de refrigeración recolecta el aceite caliente en la parte superior del tanque y retorna el aceite refrigerado por la parte inferior. La disposición de la refrigeración puede ser vista como dos circuitos de aceite con una interacción indirecta, un circuito interno y otro externo. El circuito interno transfiere las pérdidas de energía en forma de calor producido en la superficie del aceite mientras que el externo transfiere el calor del aceite a un medio refrigerante secundario. Esto es posible construyendo radiadores con ventilación natural, o con ventilación forzada de aire, en algunas ocasiones se necesita que el aceite sea bombeado a través de los radiadores, en transformadores cuya ubicación se encuentran bajo tierra o en ambientes interiores cerrados, el aire para refrigeración no se encuentra disponible por lo que se usan intercambiadores de calor de aceite-agua, este sistema también permite pequeñas dimensiones físicas. Los estándares dan claras definiciones de los diferentes tipos de refrigeración junto con designaciones especiales.

ONAN - Oil natural - air natural

ONAF – Oil natural – air forced

OFAN - Oil forced - air natural

OFAF – Oil forced – air forced

OFWF - Oil forced – water forced

Radiadores

Consisten básicamente en ductos planos hechos de planchas embutidas y soldadas que se conectan a un conducto superior e inferior. Es posible hacer radiadores que sean más altos que el tanque, haciendo que el conducto superior tenga una forma de codo, esto tiene un beneficio adicional ya que incrementa la circulación del aceite a través del radiador debido al incremento de altura entre los centros del radiador y las bobinas. Los radiadores son normalmente conectados directamente al transformador mediante juntas embridadas, intercalando entre estas válvulas tipo mariposa que cerrándola permiten remover fácilmente a los radiadores individualmente con una pérdida mínima de aceite.

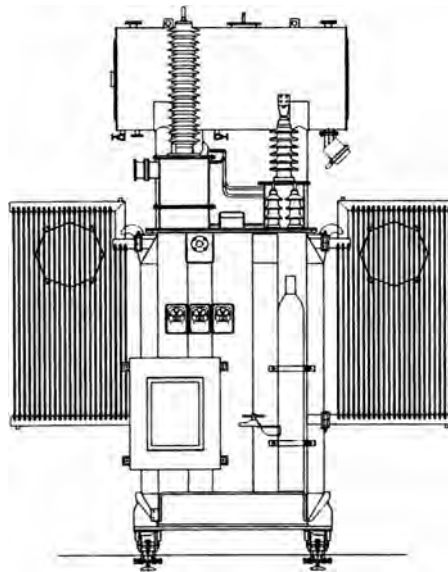


Fig.2.22 Disposición común de radiadores en un transformador

Ventiladores

En grandes transformadores es posible instalar ventiladores debajo o a los lados de los radiadores para proveer de un flujo de aire forzado con lo que se logra una disposición de refrigeración tipo ONAF. Esto puede incrementar la capacidad de carga del transformador en un 25%.

Intercambiadores de calor de aire forzado y aceite forzado

Los grandes transformadores necesitan el uso de grandes espacios para remover el calor con ventilación natural a través de radiadores. Por razones de espacio puede ser mas económico el uso el uso de refrigeradores compactos, estos tienen una resistencia al flujo apreciable por lo que requieren circulación forzada del aceite mediante bombas y ventiladores robustos para el soplado del aire. Los intercambiadores de calor (OFAF) usualmente consisten en tubos redondos con delgadas aletas refrigerantes o elementos de tubos corrugados planos.

Refrigeración aceite – agua

La refrigeración por agua puede ser una interesante alternativa cuando los transformadores son instalados en instalaciones cerradas o bajo tierra, sin embargo esta opción debe ser evaluada contra ventilación por bombeo de aceite hacia el ambiente externo y la refrigeración por aire. Los refrigeradores de agua son compactos, están compuestos de intercambiadores de calor con tubos removibles; debido a esto los intercambiadores de calor son muy comunes y representan una tecnología clásica.

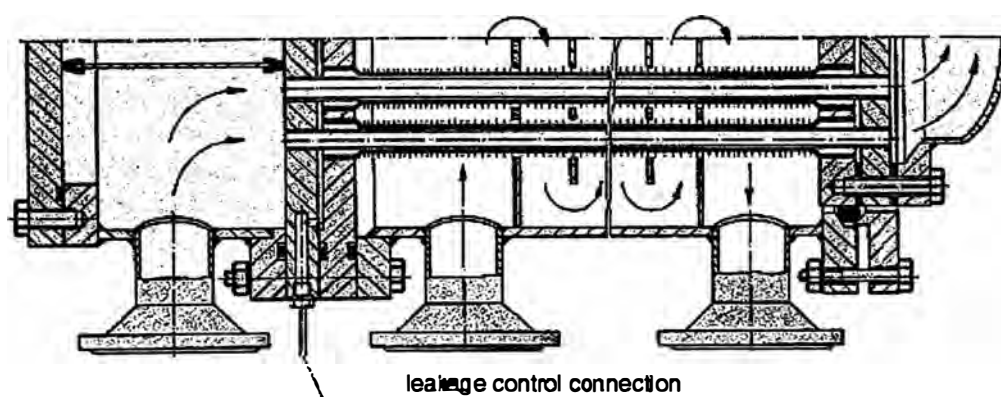


Fig.2.23

El principal problema de los intercambiadores de calor es la corrosión de los tubos por el agua, además la filtración del agua en el circuito del aceite es fatal para el transformador por lo que este sistema debe ser monitoreado cuidadosamente. La

instalación debe ser dispuesta de tal forma que la presión del lado del aceite sea mayor que la del lado del agua.

2.2.3 Equipos de regulación de voltaje

La mayoría de los transformadores incorporan equipos que ajustan la relación de voltaje mediante la adición o retiro de determinada cantidad de vueltas en las bobinas de regulación (llamados taps). Este ajuste puede ser hecho por un cambiador de tomas bajo carga o sin carga o por posiciones de enlaces empernados con el transformador desconectado y aterrado.

Conmutador de tomas en vacío

El conmutador de tomas en vacío es un diseño algo simple, realiza la conexión en un escalón seleccionado en la bobina. Esta diseñado para funcionar solamente cuando el transformador esta sin energía. La presión del contacto puede conservarse mediante algún arreglo del tipo resorte si es que existe algo de vibración. En conmutadores de tomas en vacío que funcionan en la misma posición del escalón por años, la resistencia de contacto puede aumentar lentamente debido a la degradación y a la oxidación local del material en el punto de contacto, podría ocurrir un calentamiento dando como resultado una acumulación de carbón, que incrementa la resistencia de contacto y también reduce la refrigeración. En última instancia se puede alcanzar una situación de fuga y el transformador disparará probablemente la protección del actuador de gas o peor, un cortocircuito del paso podría ocurrir, por lo que evitar esto es vital cuando el conmutador de tomas está funcionando.

Conmutador de tomas bajo carga

El conmutador de tomas bajo carga debe proporcionar un flujo de corriente ininterrumpida durante la operación de transición a partir de un escalón de la bobina de regulación hacia otro. La operación de un conmutador de tomas bajo carga se puede entender por dos funciones: La primera implica un dispositivo de conmutación que transfiere la energía del rendimiento de procesamiento a partir de un escalón del transformador. Durante esta operación dos escalones serán conectados a través de una impedancia transición. En esta fase los dos escalones compartirán la corriente de la carga. La conexión del escalón anterior será interrumpida después de eso y la carga se habrá transferido al escalón nuevo. El dispositivo que realiza esta conmutación es un interruptor desviador (diverter switch).

Cuando solamente se requiere un rango de regulación limitado, aproximadamente hasta el 10% del valor nominal, es común disponer una bobina de regulación para una regulación lineal. Esto significa que el voltaje inducido en la bobina de regulación está adicionado al voltaje en la bobina principal. Para un rango de regulación más grande una regulación “más-menos” puede ser más adecuada; En esta regulación los escalones de la bobina de regulación están conectados a la bobina principal por medio de un interruptor “mas-menos” separado. Este permite inducir voltaje en la bobina de regulación para restar o adicionar al voltaje de la bobina principal. El tercer arreglo es una regulación “grueso-fino” donde la función de regulación del voltaje está dividida en dos bobinas, una para los pasos gruesos y otra para los pasos finos.

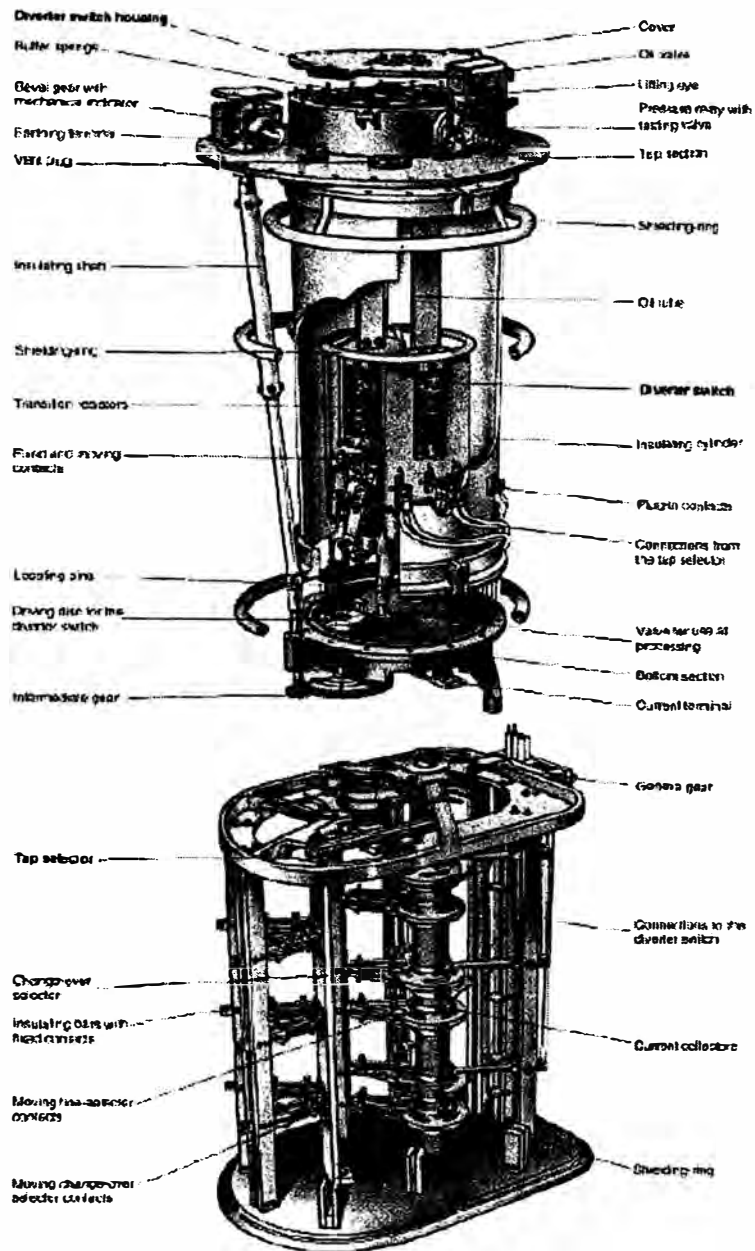


Fig.2.24

Regulación automática del voltaje

El conmutador de tomas bajo carga está instalado para controlar la variación del voltaje en los sistemas conectados con el transformador. No es cierto que el objetivo es la de mantener un voltaje secundario constante siempre. La red saliente puede también tener caída de voltaje y ésta debe ser compensada también. El equipo para el control del conmutador de tomas bajo carga no pertenece al conmutador como tal sino al sistema de

reles en la subestación. En principio el conmutador solo recibe órdenes: aumentar o bajar la tensión. Sin embargo, ciertas funciones para la coordinación entre diversos transformadores en la misma subestación son parte de la tecnología del conmutador de tomas bajo carga. Cuando diversos transformadores son directamente conectados en paralelo sus conmutadores de tomas bajo carga debes moverse al mismo tiempo., esto se dispone de una manera tal que uno esta configurado como maestro y los otros como esclavos.

2.2.5 Accesorios

Rele actuador de gas

En el tubo de la conexión entre el tanque y el conservador hay normalmente un rele actuador de gas. Este tiene dos funciones: Recoge las burbujas libres del gas que van desde el tanque del transformador hacia el conservador y mide la sensibilidad cuando el flujo del aceite entre el tanque y el conservador excede de un valor preestablecido.

El gas libre puede ser una indicación de una avería dentro del transformador. El gas desplazará el líquido en el rele y un flotador se hundirá hacia abajo. La protección esta dispuesta de tal manera que cuando una cantidad de menor importancia de gas se recoge en el rele del gas, este actúa con una señal de alarma. Si una cantidad adicional de gas se recoge, el contacto que desconecta el transformador puede actuar. Cuando una avería seria como la formación de arcos ocurre en el transformador, la expansión del gas empujará una explosión del aceite hacia el recipiente del conservador y actuará una aleta en el rele de gas. El aumento repentino en flujo del aceite se juzga como una indicación del servicio y la señal de la aleta entonces se lleva al circuito de desconexión.

Indicadores de temperatura

Los termómetros normalmente están instalados para la medida de la indicación de la temperatura de aceite superior y de la temperatura en la bobina. La temperatura de aceite superior se puede medir directamente por el sensor en la capa superior del aceite en el tanque. Para la indicación remota de la temperatura del aceite superior, se puede disponer como el sensor del termómetro un elemento resistivo (Sensor RDT Pt100 o Cu10).

La medida de la temperatura de la bobina se realiza de una manera indirecta. El punto caliente de la bobina se asume cercano al extremo superior de la bobina donde es rodeado por la temperatura del aceite en la parte superior. Más lejos el gradiente de la temperatura entre el punto caliente de la bobina y el aceite superior es dependiente de las pérdidas en la bobina, que son proporcionales al cuadrado de la corriente. El termómetro por lo tanto mide la temperatura de aceite superior a la cual agrega la diferencia de temperatura de la bobina y el aceite circundante. Algunos diseños del termómetro de la bobina realizan la adición del gradiente de la bobina en la unidad del termómetro usando solamente el sensor de temperatura superior de aceite y la salida transformador de corriente de la bobina. Los termómetros están provistos de contactos eléctricos; los cuales para una alta temperatura preestablecida se da una señal de alarma. Una temperatura crítica preestablecida da una señal que dispara a los interruptores del transformador.

Transformadores de corriente

Los transformadores corrientes se pueden instalar dentro del transformador a menudo alrededor del tubo aterrado del lado del bushing que esta sumergido en aceite,

pero también en las barras de distribución en baja tensión. Ésta es una cuestión de costo y de espacio, así como de seguridad.

Desecadores de aire

Es necesario evacuar la humedad del espacio de aire sobre el nivel de aceite del conservador, para mantener la sequedad del aceite del transformador. Esto se logra a través de un dispositivo que contiene generalmente un gel de silicona como elemento deshidratante. La característica del gel de silicona es su alta energía de absorción de la humedad. El gel de silicona muestra una alteración de anaranjado a descolorido. Cuando el contenido de agua del gel de silicona llega a ser excesivo, es indicado por el cambio en color de más de 2/3 del contenido, se reduce su capacidad de extraer humedad y se recomienda que sea sustituido por otra carga de material seco. El secado en un horno reactiva el gel y el color se invierte.

Sistema de preservación de aceite

El sistema más común es el tanque conservador abierto donde el espacio de aire sobre el nivel de aceite se seca con un deshumidificador. El tanque conservador puede ser provisto con un sistema de bolsa de aire. Una bolsa de caucho sintético ocupa el espacio sobre el aceite. El interior de la bolsa está conectado con la atmósfera así que puede respirar aire cuando el transformador se ventila o se calienta. Una variación es un conservador dividido horizontalmente por un sistema de membrana o de diafragma, que permite la expansión y contracción del aceite sin permitir que este entre en contacto directo con el aire externo.

Indicadores de nivel de aceite

Los indicadores de nivel de aceite se utilizan para mostrar el nivel de aceite en el tanque conservador, normalmente como un instrumento de dial colocado directamente en el tanque conservador. Indicadores de nivel de aceite para la indicación remota en el nivel del piso también están disponibles. El indicador se puede equipar con interruptores para el nivel de aceite alto y bajo.

Dispositivos de sobre presión

Un cortocircuito que ocurre en un transformador lleno de aceite es acompañado generalmente por una sobre presión en el tanque debido al gas que es formado por la descomposición y la evaporación del aceite. Este dispositivo limita la sobre presión debido a una avería interna de tal modo que reduce el riesgo de la ruptura del tanque y del derramamiento incontrolado del aceite, que puede también agravar un incendio asociado a la avería.

Dispositivos de presión súbita

Está concebido para captar la onda de la presión del aceite en el tanque del transformador cuando ocurre una avería seria. Este puede distinguir entre los índices rápidos y lentos de la subida de la presión y disparará un interruptor si la presión aumenta más rápido que un valor especificado, con lo cual se detecta tempranamente una avería interna y permite así desconectar rápidamente el transformador. En un transformador sin tanque conservador puede sustituir la función de un rele actuador de gas en detectar el aumento repentino del flujo de aceite.

Dispositivos de protección contra sobre voltajes

Protección de sobre voltajes internos

En algunos sistemas de regulación de alto voltaje con un rango de regulación grande o en transformadores con auto regulación del alto voltaje, el diseñador puede considerar necesario elementos de protección contra voltajes excesivos de la bobina de regulación del sistema, para esto se prevee protección adicional a las vigas del núcleo para aislarlas de las bobinas.

Protección excesiva externa del voltaje

Los terminales del transformador tienen que ser protegidos siempre contra el voltaje excesivo. La manera más simple está por los llamados “cuernos de descarga” en los bushings. Pero se deben limitar solamente para bajar los voltajes del sistema y en las partes menos importantes de la red. Se recomienda reducir al mínimo la distancia de los cuernos de descarga para alcanzar la protección óptima del transformador. La distancia recomendada depende del nivel básico de aislamiento del transformador (BIL) y se fija en la tabla siguiente:

Tabla 2.1

System voltage kV	BIL kV	Distance mm
12	75	60
17.5	95	70
24	125	100
36	170	140

Una mejor protección es dada por los pararrayos, estos deben ser situados lo mas cerca de los terminales como sea posible, directamente en el tanque del transformador o adyacente a este. También la conexión a tierra de los pararrayos y del tanque del transformador debe ser lo mas breve y directa como sea posible.

Transporte mediante ruedas o patines

No es práctico levantar unidades grandes por la grúa directamente a la posición final respecto a la fundación, este tiene que ser movido de cierta manera hasta su posición final. Si existe algún sistema de rieles entre el área de descarga y la posición final, el transformador puede ser equipado con ruedas. El giro de 90 grados en la dirección del transporte se puede realizar mediante ruedas bidireccionales. En la posición final se puede dejar la unidad con sus ruedas bloqueadas o estas pueden ser quitadas y sustituidas por bloques soporte. Si no existe ningún sistema de rieles, se prepara un sistema temporal de vigas normalmente planas y la unidad se arrastra directamente sobre las vigas engrasadas o por la ayuda de unidades móviles tipo oruga. Cuando la unidad esta en su posición final se puede fijar a la fundación.

Sistemas de monitoreo en línea

Diferentes sistemas de supervisión en línea para diversos propósitos estan hoy disponibles. Existen sistemas para el registro de voltajes transitorios causados por operaciones de interruptores; Usando este sistema, las situaciones peligrosas causadas por sobre voltajes pueden ser reveladas, el sistema da la información sobre las diversas clases de sobre voltajes y las medidas correctivas pueden ser tomadas. Otros sistemas disponibles son los sistemas de vigilancia que registran continuamente algunos parámetros dominantes vía sensores, estos parámetros son esenciales para determinar la condición del transformador e identificar posibles averías. Tales sistemas trabajan con modelos, en los cuales se ingresan los valores de los sensores. Los modelos son algoritmos avanzados de cálculo basados en estándares, diseño y conocimiento del fabricante, que compara los datos de salida con límites preestablecidos. Los parámetros más importantes medidos son:

Gases disueltos en el aceite.

Contenido de agua en el aceite.

Temperaturas.

Corrientes de la carga.

Voltaje de línea.

Descargas parciales.

Factor de la energía de la disipación en bushings.

Los modelos disponibles son como sigue:

Cálculo continuo de la carga

Cálculo de puntos calientes en la bobina

Envejecimiento del aislamiento, tiempo de vida

Desgaste de los contactos del conmutador de tomas bajo carga

Análisis de la humedad

Humedad en el aceite y el papel aislante

Eficacia de la refrigeración

Control de la refrigeración

2.3 Datos relativos al cálculo de transformadores

2.3.1 Circuito magnético

Los circuitos magnéticos son objetos de tres cálculos:

Cálculo de pérdidas en el hierro.

Cálculo de la potencia magnetizante y de la corriente de vacío.

Cálculo de la corriente de inserción en la puesta en servicio.

Para efectuar estos cálculos es necesario conocer el tipo y las dimensiones del circuito magnético y el valor de la inducción. Si se trata de un aparato existente, las dimensiones del circuito magnético son conocidas y el valor de la inducción se calcula a partir de la tensión primaria de la frecuencia, de la sección del núcleo y del número de espiras del arrollamiento primario.

$$\text{Se sabe que } U_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 2 \times \pi \times f \times n_1 \times \phi_{\max} \text{ donde: } \phi_{\max} = 4.44 \times f \times n_1 \times B_m \times S_1$$

Además

$$B_m = \frac{U_1}{4.44} \times f \times n_1 \times S_1$$

B_m es la inducción máxima del núcleo y estará expresado en Telsa, y U_1 es el valor eficaz de la tensión primaria está expresada en voltios y S_1 es la sección del núcleo y se expresa en m^2 .

Si se trata de un proyecto, las dimensiones del circuito magnético se determinan en función de las características del aparato, en cuanto a la inducción se le elige a priori. Se sabe que desde el punto de vista de la economía del dimensionado, se tiene interés en elegir la inducción tan elevada como sea posible, ya que para el valor necesario del flujo, la sección del núcleo estaría por ello disminuida en la misma proporción. De ello resultaría una reducción de las dimensiones del aparato, de su peso y precio, pero otras consideraciones, como la calidad de la chapa magnética, las garantías que debe satisfacer, el calentamiento debido a los armónicos, el ruido, etc. limitan el valor de la inducción. Prácticamente no deben sobrepasar los siguientes valores.

- 1,4 Telsa para las chapas ordinarias al silicio
- 1,7 Telsa para las chapas de cristales orientados.

2.3.1.1 Cálculo de pérdidas en el hierro

Estas pérdidas comprenden:

- Las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault
- Pérdidas suplementarias en algunas partes del circuito magnético (rebabas, zonas con aplastamientos)
- Pérdidas suplementarias en las partes metálicas que entran en la constitución del circuito magnético (Pernos y piezas de apriete, bridas, etc).

Las pérdidas por histéresis en las chapas magnéticas se expresan por la fórmula empírica,

$$W_h = K_1 \times f \times B_{\max}^n$$

Siendo:

K_1 : Coeficiente característico de la chapa

f : Frecuencia en Hertz

B_{\max}^n : Exponente (ligeramente variable con la inducción) del orden de 2 para las inducciones usuales.

Las pérdidas por corrientes de Foucault en las chapas magnéticas se expresan por la fórmula aproximada.

$$W_F = K_2 \times f^2 \times e^2 \times B_{\text{eficaz}}^2$$

Siendo:

K_2 : Coeficiente característico de la chapa

f : Frecuencia de Hertz

e : Espesor de la chapa

B_{eficaz} : Valor eficaz de la inducción en Tesla.

La experiencia enseña que las pérdidas suplementarias señaladas anteriormente y que nacen fuera de la chapa magnética crecen con el tamaño del circuito. Para algunas aplicaciones, es útil disponer de una fórmula empírica, que indique aproximadamente como varían las pérdidas totales en función de la inducción y de los valores normales de la frecuencia. Estas variaciones son de la forma:

$$K \times B_{\max}^2 \times f^{1.3} \quad \text{Para chapas ordinarias.}$$

$$K \times B_{\max}^2 \times f^{1.45} \quad \text{Para chapas orientadas.}$$

Estas fórmulas no son validas mas que para B_{\max} comprendido entre 1 y 1,6 Telsa y frecuencias comprendidas entre 25 y 60 Hertz. Las perdidas por histéresis son función

de la inducción máxima y como consecuencia del valor medio de la tensión aplicada al devanado primario. Las pérdidas por corriente de Foucault son función de la inducción y por consecuencia del valor eficaz de la tensión aplicada. Las pérdidas totales pueden ser puestas bajo la forma:

$$W = \left[k_1' \times f \times \left(\frac{U_{med}}{f} \right)^2 + k_2' \times U_{eficaz} \times e^2 \right]$$

Son pues, función del factor de forma de la onda de tensión y conviene tenerlo en cuenta cuando se miden las pérdidas en vacío de un transformador, pues incluso si la tensión disponible es puramente sinusoidal en vacío, puede ser deformada por la corriente de magnetización.

2.3.1.2 Cálculo de la potencia magnetizante

Es la potencia necesaria para el mantenimiento del flujo normal en el hierro y en las juntas del circuito magnético. Se demuestra que la potencia magnetizante necesaria para el mantenimiento de un flujo de inducción dado en un circuito magnético, es proporcional al volumen y por consiguiente al peso de este circuito magnético y a la frecuencia.

Corriente de vacío

La corriente absorbida en vacío, expresada en porcentaje de la corriente normal a plena carga:

$$\frac{I_0}{I_n} \times 100\% = \frac{U_1 \times I_c}{U_1 \times I_n} \times 100\%$$

La corriente de vacío, no es otra que la potencia magnetizante en VA, referida a la potencia nominal aparente del transformador expresada también en VA. Razonando así, se confunde la corriente de magnetización y la corriente en vacío, lo que no es rigurosamente exacto, puesto que la corriente en vacío es una componente de magnetización y una componente en watts, pero esta, para las inducciones normales, es mucho mas débil que la precedente y puede ser suprimida en la expresión de la corriente de vacío.

$$B_{\max} = f_{(A/m)}$$

A todo valor de la inducción que existe en un elemento del circuito magnético, corresponde un cierto número de amperios por metro que se deberá multiplicar por la longitud de la línea de fuerza media del elemento considerado. A estos amperios, debidos al hierro, convendrá añadir los amperios de las juntas, calculados por la formula:

$$\text{Amperios eficaces de una junta} = \frac{10^7}{4\pi} \times \frac{l}{\sqrt{2}} \times B_{\max} \times \ell$$

Siendo B_{\max} la inducción máxima (perpendicular) de la junta en Telsa, y siendo l la longitud del recorrido del flujo en el aire, en metros.

Para una junta plana, el intervalo de aire esta fijado por una lamina aislante interpuesta del orden de 0,2 mm. de espesor. En una junta entrelazada no hay más que una parte del flujo que pasa por el aire, desviándose la otra por el hierro contiguo. La reluctancia de una junta entrelazada varia pues un poco con la inducción.

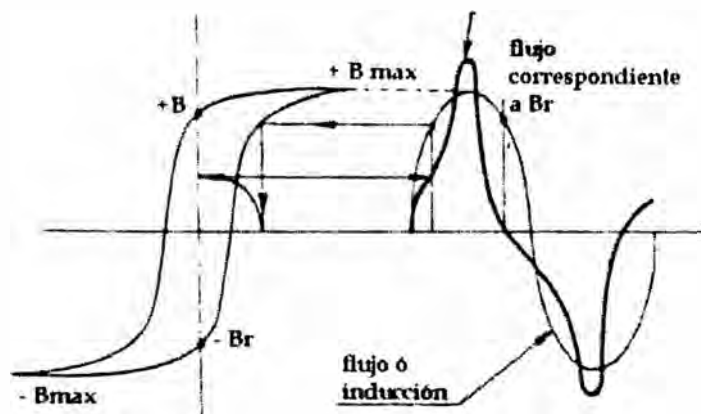


Fig.2.25 Trazado de la onda de corriente magnetizante a partir del ciclo de histéresis

Dividiendo el número total de amperios calculados en el trayecto del flujo correspondiente a una fase, por el número de espiras del derivado primario de esta fase, se obtiene directamente la corriente de vacío. Como consecuencia de la forma del ciclo de histéresis, la curva de corriente de magnetización contiene principalmente los armónicos tres, cinco y siete de la amplitud variable con la inducción y con la calidad de la chapa. La importancia relativa de estos armónicos se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2.2

Onda	Inducciones moderadas	Inducciones bajas
Fundamental	100	100
3 ^{er} Armónico	15	50
5 ^{to} Armónico	3	25
7 ^{mo} Armónico	2	10

Es necesario saber que la potencia de magnetización varía para los valores normales de la inducción, como una potencia elevada de esta.

Corriente de inserción en la puesta en servicio

Se comprueba a menudo una sobre intensidad considerable en el curso de una operación de explotación muy corriente; la puesta en servicio del primario de un transformador, estando abierto el secundario. En este caso se comporta el transformador

como una bobina de reactancia. Cuando una de estas bobinas no contienen hierro, se sabe que si se aplica bruscamente una tensión alterna, la sobreintensidad puede alcanzar un valor pico, cuyo máximo valor es igual a dos veces la intensidad máxima en régimen normal. La determinación de la corriente hace necesario un cálculo riguroso.

La presencia de hierro complica el fenómeno, como consecuencia de las variaciones del coeficiente de autoinducción con la saturación y hace difícil obtenerlo por cálculo. Por lo que se hacen aproximaciones que son suficientes en la práctica.

2.3.2 Devanados

Los devanados son objeto de los cálculos siguientes:

- Cálculo de dimensiones.
- Cálculo de pérdidas.
- Cálculo de caídas de tensión.
- Cálculo de esfuerzos electrodinámicos.

2.3.2.1 Cálculo de dimensiones

Es necesario conocer las dimensiones de los devanados para deducir las dimensiones del núcleo y del tanque, así como para efectuar ciertos cálculos adicionales. Los espesores y alturas de las bobinas son en general, mayores que el resultado teórico, este aumento varía con el tipo de devanado, el equipo bobinador y con el operario. Aproximadamente se puede admitir que es el orden de un 3%.

2.3.2.2 Cálculo de pérdidas.

Hay una cierta analogía entre la inducción en el hierro, que es el cociente del flujo por la sección neta de hierro, $\frac{\beta = \Phi}{S_f}$ y la densidad de corriente, que es el cociente de los amperios-vuelta por la sección total del cobre $\frac{\delta = nI}{S}$. Esta es también el cociente de la intensidad de la corriente nominal por la sección del hilo conductor.

$$\frac{nI}{S_{cu}} = \frac{nI}{n \cdot s_{cu}} = \frac{I}{s_{cu}} \text{ se expresa en } A/m^2$$

Como la inducción, la densidad de corriente es una característica primordial, es función de las garantías de rendimiento y de la caída de tensión que ha de obtenerse, pero sobre todo del tipo de refrigeración. Varía entre límites muy amplios:

- 1 a $1,25 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$, para transformadores secos de refrigeración natural.
- 2 a $2,25 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$, para transformadores sumergidos, de refrigeración natural.
- 3 a $3,25 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$, para transformadores secos o sumergidos, de refrigeración forzada (circulación de aire, agua o aceite).

Puede incluso alcanzar 10^7 A/m^2 para aparatos de funcionamiento intermitente como auto transformadores de arranque. Se atribuye generalmente a los devanados el conjunto de las pérdidas que se miden en el curso del ensayo de corto circuito. En efecto, estas pérdidas son las debidas al efecto Joule y a las corrientes de Foucault en los conductores de los devanados, pero también comprenden a las creadas por el flujo de dispersión en las bridas y las paredes del tanque.

Pérdidas por efecto de Joule

Las pérdidas por efecto Joule se obtienen por la fórmula ya conocida.:

$$W = I^2 \times r$$

Se expresan en watios si r lo está en Ohms. é I en amperios. La resistencia r tiene

como expresión $r = \rho \frac{\ell}{s}$ en la que:

r : se expresa en Ohmios.

ρ : Resistividad del metal

ℓ : Longitud del devanado, en m.

s : sección del conductor, en m^2 .

La resistencia debe comprender no solamente la del devanado, sino también la de las conexiones de unión entre fases y entre fases y bornes, ya que no debe ser olvidada si la

intensidad de corriente sobrepasa los 630 A. La resistencia varia con la temperatura, según la formula:

$$r_t = r_o (1 + \alpha t)$$

r_t : Valor de la resistencia a $t^\circ C$

r_o : valor de la resistencia a $0^\circ C$

α : Coeficiente de aumento de la resistencia con la temperatura = 0,004

También se puede calcular las pérdidas por efecto Joule utilizando otra fórmula en la que intervienen el peso y la densidad de la corriente. Fácilmente se ve que:

$$rI^2 \rho \frac{\ell}{s} = \rho \ell s \frac{I^2}{s^2} = \frac{\rho}{d} \ell s d \frac{I^2}{s^2} = \frac{\rho}{d} \pi \delta^2$$

Las pérdidas por efecto Joule están dadas a $20^\circ C$, por las fórmulas:

$$1,29 \cdot 10^{-12} \cdot \pi \cdot \delta^2$$

$$10,4 \cdot 10^{-12} \cdot \pi \cdot \delta^2$$

Siendo:

δ : la densidad de corriente, en A/m^2 .

Π : peso del metal conductor, en kg.

Pérdidas de corrientes de Foucault en los conductores

Los devanados, cuando son recorridos por una corriente, crean un campo magnético en el espacio que ocupan. En sus conductores se crean pues, corrientes inducidas por este campo. Este varía linealmente en el sentido radial y alcanza su máximo en el intervalo entre devanados. Las pérdidas suplementarias varían, pues de una capa a otra. Generalmente interesa conocer el valor total de estas pérdidas para cada devanado. Vidmar ha establecido una fórmula general, que da en coeficiente K por el que es preciso multiplicar las pérdidas

por efecto Joule, para obtener el suplemento de pérdidas debidas a las corrientes de Foucault.

$$K = 1 + \frac{(8 \times \pi^2 \times m \times b \times f)^2}{12 \times \rho \times h} \times a^2 \left(\frac{4n^2 - 1}{12} + \frac{1}{60} \right)$$

Donde:

- ρ : Se expresa en W/m, es la resistividad del metal a la temperatura considerada
- f : Es la frecuencia en Hz;
- h : Es la longitud en metros del recorrido de las líneas de fuerza del flujo de dispersión (se toma igual a la altura del bobinado)
- a : Es la dimensión en metros del conductor perpendicular a la dirección del flujo de dispersión (si hubiera varios conductores en paralelo, y no transpuestos, sería necesario tomar para "a" el espesor total de estos conductores)
- b : Es la dimensión en metros del conductor paralelo a la dirección del flujo de dispersión.
- m : Es el número de conductores contados paralelamente a la dirección del flujo de dispersión.
- n : Es el número de conductores no subdivididos en elementos transpuestos contados perpendicularmente a la dirección del flujo de dispersión.

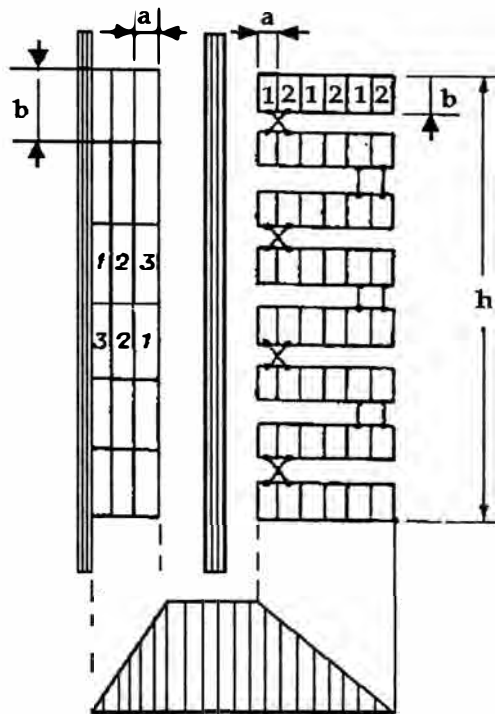


Fig.2.26

Es el caso de la figura 2.31

$m = 6$
 $n = 3$ } Para la baja tensión.

$m = 8$
 $n = 6$ } Para la alta tensión.

Se observará que si los conductores no hubieran sido subdivididos y transpuestos en cada devanado, el espesor “a” sería triple para la baja tensión y doble para la alta tensión. Las pérdidas por corrientes de Foucault serían considerablemente más elevadas. Los valores para \underline{m} y \underline{n} serían en este caso:

$m = 6$
 $n = 1$ } Para la baja tensión.

$m = 8$
 $n = 3$ } Para la alta tensión.

Pérdidas suplementarias en las bridas y las paredes del tanque

El flujo de dispersión se cierra parcialmente por el exterior de los devanados. El encuentra, en su camino, piezas metálicas (alas de las bridas, paredes del tanque) donde se encuentra y produce pérdidas, a la vez por histéresis y por corrientes de Foucault. Las fórmulas que dan el valor de estas pérdidas son poco exactas y deben ser corregidas por coeficientes prácticos, según cada tipo de construcción. En general., estas pérdidas parásitas son acrecentadas por un funcionamiento sobre cargas asimétricas y en el caso de los devanados en la que los amperios-vuelta primarios y secundarios no se equilibran regularmente en todos los puntos de la altura.

Rendimiento

El rendimiento es la relación entre la potencia activa dada por el secundario y la absorbida por el primario. Estos dos valores difieren en la suma de las diversas pérdidas disipadas en los componentes del transformador. Mientras que las pérdidas en el hierro son fijas y prácticamente no son influenciadas por la carga, las pérdidas en los devanados varían con el cuadrado de la intensidad de corriente. Las pérdidas totales son pues, de la forma $A + BI^2$, donde A y B son dos constantes. Expresando la potencia activa (en monofásica, por ejemplo), por $UI \cos \varphi$, el rendimiento tiene por expresión

$$n = \frac{UI \cos \varphi}{[UI \cos \varphi + (A + BI^2)]}$$

En la práctica. Se expresa a menudo el rendimiento en porcentaje.

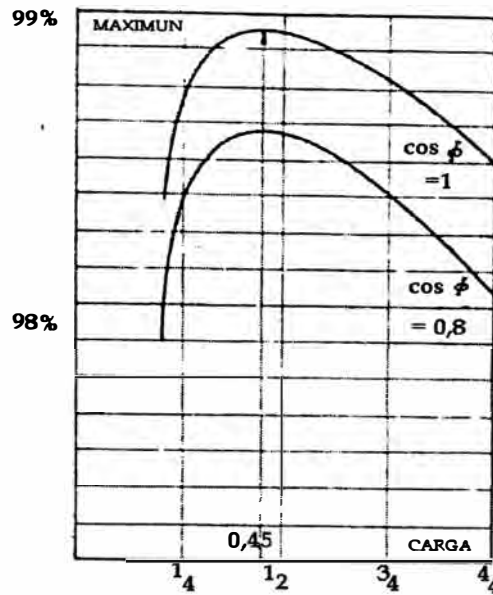


Fig.2.27

Influencia del factor de potencia

Las pérdidas totales están influidas por la tensión de alimentación y por la corriente suministrada, pero permanecen sensiblemente igual cualquiera que sea el factor de potencia. No ocurre lo mismo con la potencia activa suministrada que le es proporcional. Toda reducción del factor de potencia se traduce en una disminución de la potencia útil, manteniéndose las pérdidas totales; resulta de ellos una disminución del rendimiento.

Influencia de la carga

La variación del rendimiento con la carga es más compleja. Derivando con relación a I, la expresión del rendimiento.

$$\frac{d\eta}{dI} = \frac{U \times I \times \cos \varphi (A - BI^2)}{[U \times I \times \cos \varphi + (A + BI^2)]^2}$$

Está derivada se anula y, por consiguiente, el rendimiento es máximo para $A + BI^2$, lo que corresponde a una corriente suministrada para la cual las pérdidas en los devanados son iguales a las pérdidas en el hierro. Esta corriente hay que compararla con la corriente nominal de transformador. Pongamos:

$$I = h I_n ; \quad A = BI^2 = B.k.^2 . I_n^2$$

Se deduce de ello:

$$k^2 = \frac{A}{BI_n^2} ; k = \sqrt{\frac{A}{BI_n^2}}$$

El rendimiento es, pues, máximo para una fracción de la carga normal igual a la raíz cuadrada de la relación entre las pérdidas en el hierro y las pérdidas en los devanados. Si un transformador estuviera destinado a funcionar de manera permanente a su carga normal; sería lógico darle las dimensiones necesarias para que se realizara la igualdad de las pérdidas en el hierro y en los devanados. Pero en general los transformadores no aseguran sino excepcionalmente un servicio continuo a plena carga. Para tener en cuenta los largos períodos de marcha en vacío o con carga parcial, se eligen las pérdidas en el hierro muy inferiores a las pérdidas en los devanados.

Capitalización de las pérdidas

Para un nivel de calidad constante y siendo las mismas todas las demás garantías, la reducción de pérdidas de un transformador tiene como consecuencia un aumento de su precio de fábrica. Pero de ello resulta, para el usuario, una cierta economía anual. De este modo, un aumento del precio de compra puede llegar a ser aceptable. Es un suplemento de capital que es preciso invertir, pero cuyo interés y amortización puede ser financiado por las economías antes citadas.

2.3.2.3 Cálculo de las caídas de tensión

En la práctica industrial, se calcula generalmente la caída de tensión en los transformadores por el método de KAPP.

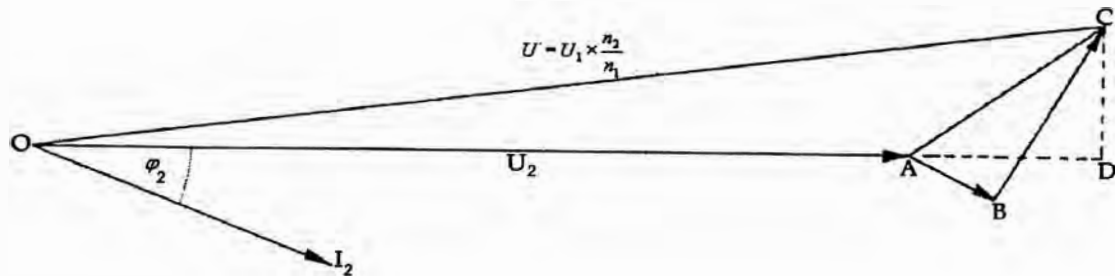


Fig.2.28

AB: representa la caída óhmica. Esta es igual al producto de la corriente I_2 por la resistencia total referida al secundario.

$$\left[r_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2 \right] \times I_2 \text{ que se puede escribir } r_{1-2} I_2$$

BC: representa la caída inductiva. Es igual al producto de la corriente I_2 por la reactancia total de dispersión referida al secundario.

$$\left[r_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 + l_2 \right] \times \omega I_2 \text{ que se puede escribir } r_{1-2} \omega I_2$$

$OC = U'_1$: representa la tensión primaria referida al secundario. Tiene como valor:

$$U_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

La caída de tensión = $OC - OA = U'_1 - U_2 = U_1 \times \frac{n_2}{n_1} - U_2$. Proyectando el polígono

OABC, sobre la dirección de I_2 y sobre una dirección perpendicular, se obtiene:

$$U_1 \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{(U_2 \cos \varphi_2 + r_{1-2} I_2)^2 + (U_2 \sin \varphi_2 + \ell_{1-2} \omega I_2)^2}$$

Desarrollando en series y despreciando los términos de grado superior, se obtiene:

$$U_1 \frac{n_2}{n_1} - U_2 = r_{1-2} I_2 \cos \varphi_2 + \ell_{1-2} \omega \sin \varphi_2 + \frac{1}{2U_2} (\ell_{1-2} \omega I_2 \cos \varphi_2 - r_{1-2} I_2 \sin \varphi_2)^2$$

Generalmente no se expresa la caída de tensión en valor absoluto, sino en porcentaje de la tensión nominal. Se tiene entonces :

$$r_{1x2} I \% \cos \varphi + \ell_{1x2} \omega I \% \sin \varphi + \frac{1}{200} (\ell_{1x2} \omega I \% \cos - r_{1x2} I \% \times \sin \varphi)^2$$

En algunos casos solo se utilizan los dos primeros términos de esta suma, lo que lleva a confundir OC con su proyección OD sobre la dirección de U_2 . El error cometido no es grave si el ángulo COD es muy pequeño. Esto no es verdad en algunos casos extremos por ejemplo $\varphi = 0$ y $\ell_{1x2} \omega I$ grande.

Tensión de corto circuito

La magnitud representada por el sector AC es lo que se denomina la tensión de corto circuito, se la puede medir en el transcurso de los ensayos del transformador y juega un papel importante en las cuestiones de marcha en paralelo. Tiene como valor $U_{cc} = I_2 \sqrt{(r_{1x2})^2 + (\ell_{1x2} \omega)^2}$. Esta expresión sub radical es algunas veces llamada "impedancia de corto circuito". La tensión de corto circuito tiene como expresión, en valor relativo: $U_{cc} \% = I_2 \sqrt{(r_{1x2} \times I \%)^2 + (\ell_{1x2} \omega I \%)^2}$. En resumen, para el cálculo de la caída de tensión y de la tensión de corto circuito, se necesita conocer la caída óhmica y la caída inductiva.

Caída óhmica

Aunque para simplificar lo hayamos admitido hasta aquí, se comete un error, por defecto, considerando la caída óhmica como dada por la expresión

$$\left[r_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2 \right] \times I_2$$

Que referida en porcentaje, a la tensión nominal, se escribe:

$$\frac{\left[r_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2 \right] I_2}{U_2} \times 100 = \frac{\left[r_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2 \right] I_2^2}{U_2 I_2} \times 100 = \frac{\text{pérdidas Joule en W}}{\text{potencia en VA}} \times 100$$

Para obtener la caída óhmica real, es necesario añadir a las pérdidas por efecto Joule, las pérdidas por corrientes de Foucault en el cobre y las pérdidas suplementarias en las piezas metálicas vecinas a los devanados y está dada para 75°C que generalmente se considera como temperatura media de funcionamiento del transformador.

Caída inductiva

La caída inductiva resulta de la tensión inducida en los devanados por el flujo de dispersión. El flujo de dispersión nace de la composición de los amperios-vuelta primarios y secundarios debidos a la corriente de carga. Este flujo ejerce su acción en el espacio ocupado por los devanados y en el intervalo que los separa, es decir, principalmente fuera del circuito magnético. No abarca de la misma manera a las espiras de los devanados primario y secundario. Esta última particularidad es la que da a los devanados las características de bobinas de autoinducción.

2.3.2.4 Calculo de fuerzas electrodinámicas

Se puede precisar el sentido y la magnitud del campo magnético existente en el espacio ocupado por los devanados cuando estos funcionan. Los conductores recorridos por la corriente estarán de esta manera sometidos a esfuerzos mecánicos. Estos esfuerzos serán en general muy moderados durante el funcionamiento a carga normal; pero en el caso de fuertes sobrecargas como la corriente de inserción en el momento de la puesta en servicio o un corto circuito interno, aquellas podrán alcanzar valores considerables.

La corriente fluye a través de los conductores de las bobinas, estos conductores estarán sujetos a fuerzas mecánicas. Estas fuerzas no son estáticas sino pulsantes y se incrementan con el cuadrado de la corriente por lo que deben prestarse atención cuando se diseña el transformador. La corriente de corto circuito puede ser de diez a veinte veces la corriente nominal, esto significa que las fuerzas en los bobinados pueden ser de 100 a 400 veces mayor para un corto circuito que en servicio normal. Para transformadores con una impedancia de corto circuito muy baja podría ser aun mayor. Las fuerzas causan grandes movimientos en los bobinados.

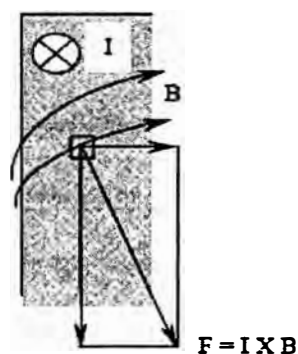


Fig.2.29

Cuando se diseña las bobinas es usual el dividir la fuerzas en componentes radiales y axiales como en la figura 2.34 el cual muestra la parte superior de un bobinado exterior la fuerza radial es dirigida hacia fuera y causa una fuerza de tensión en los conductores de la bobina y en el bobinado interior correspondiente la componente radial es correctamente inversa, esto puede causar el pandeo de la bobina si esta no esta hecha de manera robusta. Las fuerzas axiales son causadas por la componente radial del campo magnético en los extremo de las bobinas, estas fuerzas pueden llegar a doblar a los conductores entre los espaciadores radiales en la bobina, la fuerza en cada vuelta o disco se van sumando en conjunto, la suma de las fuerzas es balanceada en el otro extremo, por lo que la bobina entera esta sujeta a una fuerte presión axial, como se muestra en la figura 2.35.

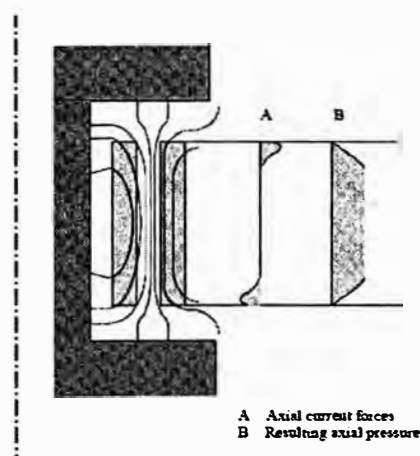


Fig.2.30

La capacidad para resistir el doblado de los conductores depende del diámetro de la bobina, la distancia de los espaciadores alrededor de la circunferencia y de las dimensiones del conductor. En el caso de aperturas axiales de la bobina, es decir, uno o mas lugares a los largo de la altura del bobinado donde no existen amperios-vuelta, habrán fuerzas axiales dirigidas hacia los yugos por lo que las vigas que mantienen unidos al núcleo y los devanados deben ser diseñados para que puedan soportar estas fuerzas.

2.3.3 Aislamiento

Los devanados, sus conexiones y aisladores están unidos a redes de tensiones generalmente muy diferentes y por consiguiente, están cargados de manera permanente a los potenciales de estas redes. Se concibe, pues que existen diferencias de potencial entre los devanados de tensiones diferentes, entre las fases de un mismo devanado polifásico, entre cada devanado y las partes metálicas próximas, así como en el interior de un mismo devanado, existen diferencias de potencial entre espiras y entre capas de una misma bobina y entre bobinas contiguas.

2.3.3.1 Estudio de los aislantes

Características generales acerca de la resistencia del aislamiento

En la práctica es imposible fabricar aislantes absolutos, todos son parcialmente conductores. Si se establece una diferencia de potencial constante entre dos electrodos que atraviesan el aislante o situados sobre cada una de sus caras, se establecen corrientes en general muy débiles, que atraviesan y contornean el aislante, y se designa por resistencia total del aislamiento al cociente de la tensión aplicada por la corriente total, esta se expresa corrientemente en ohmios. Esta característica no es determinante en la elección de aislantes para transformadores, pero sirve para medir su grado de sequedad, particularmente en el desarrollo de las operaciones de secado.

Rigidez Dieléctrica

Es la propiedad de un aislante de oponerse a la descarga disruptiva. Si se aumenta progresivamente la tensión alterna aplicada en sus caras, se observan primeramente fenómenos luminosos como efluvios, después de repente, una ruptura, es decir, una descarga disruptiva de un electrodo a otro, a través o a lo largo del aislante.

Se llama “rigidez dieléctrica” en kV/mm . al cociente de la tensión instantánea de ruptura, expresada en kV , por el espesor o la distancia mínima al campo eléctrico. Se distingue alguna vez una “rigidez dieléctrica transversal”, en el caso en que la descarga perfora el aislante y una “rigidez dieléctrica superficial” en el caso de que la descarga contornee las superficies.

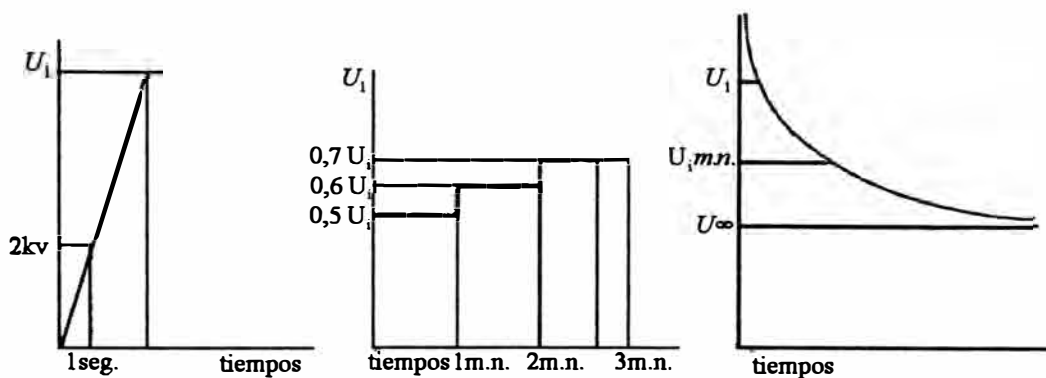


Fig.2.31 Tensión instantánea de ruptura, Tensión de ruptura, Variación de la tensión de ruptura en función del tiempo

La rigidez dieléctrica depende de varios parámetros:

- Del tiempo de aplicación de la tensión; la rigidez dieléctrica es tanto más pequeña cuanto mas larga es la aplicación de la tensión.
- De la forma de la onda de tensión.
- De la homogeneidad del campo eléctrico y por consiguiente, de la forma de los electrodos.
- De la temperatura.
- De la presión (para el gas y los líquidos)
- De la difusión (para los aislantes sólidos)

Constante Dieléctrica

La constante dieléctrica de un aislante es la relación de la capacidad del condensador construido con este aislante como dieléctrico, a la que tendría este mismo condensador siendo el dieléctrico reemplazado por el vacío.

Pérdidas Dieléctricas

Un aislante sometido a un campo eléctrico alterno da lugar a pérdidas. Estas dependen de la naturaleza del aislante, del campo específico, de la temperatura y la frecuencia. Se les designa generalmente por el “ángulo de pérdidas” que es el complemento de la diferencia de fase entre la tensión sinusoidal aplicada a este aislante y la corriente de la misma frecuencia que atraviesa el aislante. No es el valor absoluto de las pérdidas dieléctricas, sino su estabilidad, en función del tiempo y la temperatura lo más importante en la elección de los aislantes.

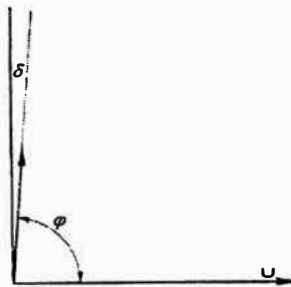


Fig.2.32 Angulo de pérdidas

2.3.3.2 Naturaleza y propiedades de los aislantes

Aislantes Gaseosos

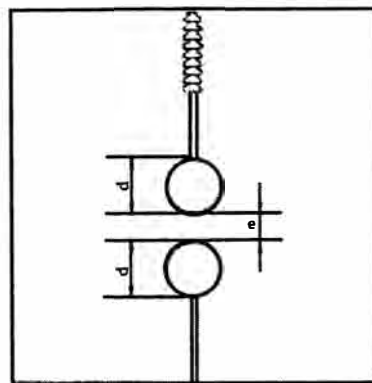
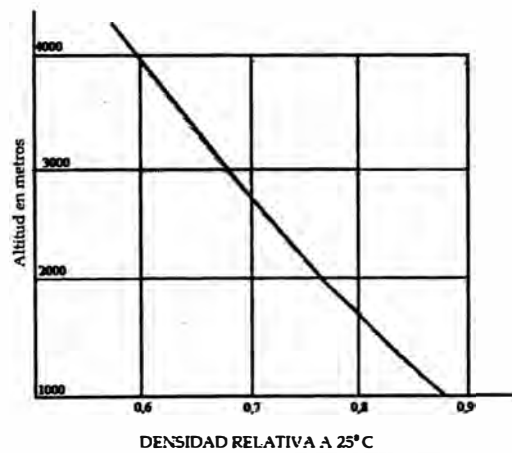
El aislante gaseoso más corriente es el aire. Se utiliza también algunas veces el nitrógeno por ser gas inerte. El aire es el aislamiento base de los transformadores secos, ya sea la refrigeración natural o forzada. A 20°C y 1 atm. la rigidez dieléctrica del aire en un campo uniforme es de 30 kV/cm (valor de cresta), o sea 22 kV eficaces por cm. Para una tensión sinusoidal. Esta rigidez dieléctrica decrece cuando la temperatura aumenta y crece con la presión. Para pequeñas variaciones se puede admitir que la rigidez dieléctrica es proporcional a la densidad relativa del aire o sea:

$$\frac{h}{760} \times \frac{293}{273 + t}$$

h : altura barométrica considerada en mm. de Hg.

t : temperatura correspondiente en °C.

Estando algunas veces los transformadores destinados a funcionar a una cierta altitud, hay que aumentar las distancias de aislamiento en el aire, y en particular la altura de los bushings aisladores en función de esta altitud, puesto que la densidad del aire decrece como muestra la curva siguiente. Se admite generalmente que el valor de la rigidez dieléctrica indicada anteriormente es admisible hasta $1,000 m$.



ESPINTEROMETRO DE ESFERAS DE EJE VERTICAL
CON UNA ESFERA PUESTA EN TIERRA

Fig.2.33

La rigidez dieléctrica del aire se mide entre dos esferas del mismo diámetro. El espinterómetro así formado ha tenido un gran desarrollo para la medida de tensiones elevadas (superiores a $52 kV$.), dada su gran simplicidad y regularidad. Indica en

función de la separación de las esferas, el valor de cresta de la tensión. Las indicaciones son correctas cuando la distancia entre esferas es inferior al diámetro de estas.

Aislantes Líquidos

Los aislantes líquidos mas utilizados en los transformadores son los aceites minerales ligeros obtenidos por destilación fraccionada del petróleo y hasta hace poco los carburos de hidrógeno clorados (productos sintéticos conocidos bajo el nombre comercial de pyralenos que ya no se usan por contener bifenilos Policlorados) Estos constituyen el aislamiento base de los transformadores llamados sumergidos, que son construidos para todas las potencias y para todas las tensiones. La rigidez dieléctrica del aceite en un campo uniforme es de $90kV/cm$. (valor eficaz) y varía de acuerdo a su grado de sequedad. Es suficiente una cantidad equivalente a $1/10,000$ de agua en el aceite para rebajar a la mitad su rigidez dieléctrica. Esta es sensible a las impurezas en suspensión, tales como polvo, fragmentos de papel o de algodón. Estas partículas tienen tendencia a “formar la cadena” a los largo de las líneas de fuerza del campo eléctrico, y por consiguiente, favorece la descarga. Por último la rigidez dieléctrica disminuye por el gas en disolución. Así el acondicionamiento de los aislantes líquidos consiste en filtrarlos, centrifugados y eliminar el gas.

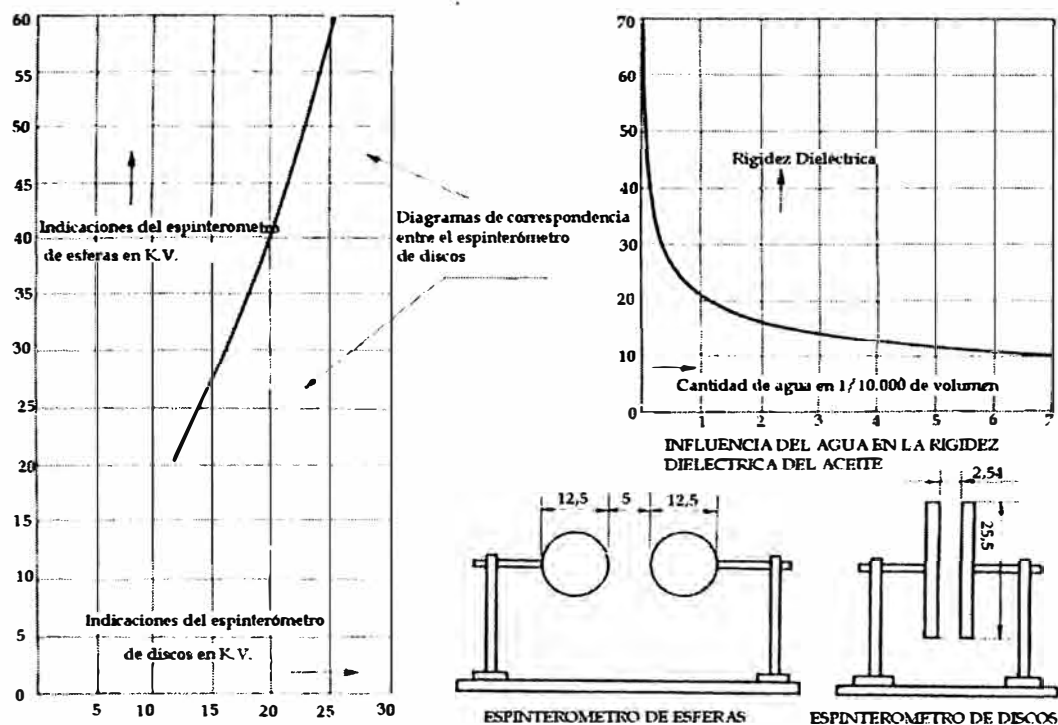


Fig.2.34

Tabla 2.3 Características principales de los aislantes líquidos.

		Aceite Mineral	Pyraleno
Densidad g/m ³	20° C	0,89	1,56
Densidad g/m ³	100° C	0,84	1,84
Coeficiente de dilatación			
Por grado entre 20 y 100° C		0,0007	0,0007
Punto de inflamabilidad (vapores)			
)° C		165	(1)
Viscosidad en centistokes	20° C	35	20
Viscosidad en centistokes	100° C	3,5	1,5
Conductibilidad calorífica			
Cal/cm ² /° C/cm		0,0003	0,00035
Constante dieléctrica	20° C	2,2	4,3
Rigidez dieléctrica	V	60,000	60,000
Esferas de 12,5 mm. Separación 5mm.			
(1) llamada de 165° C no seguida de combustión.			

Aislantes Sólidos

La facilidad de alteración de los aislantes gaseosos (polvo, humo, humedad), y de los aislantes líquidos (partículas de suspensión, humedad, gas disuelto) ha conducido a asociarlos con los aislantes sólidos más estables. Los aislantes sólidos son muy variados:

- Fibras de algodón secas o impregnadas, papeles y cartones electrotécnicos (presspahn, pressboard, kraftboard, transformerboard), telas de algodón y de seda barnizadas.
- Aislantes estratificados, a base de hojas de papel o de hojas de cartón superpuestos y aglomeradas con resinas sintéticas o impregnadas de líquidos dieléctricos.
- Barnices y esmaltes aislantes.
- Maderas secas o impregnada, en estado natural o laminadas, Porcelana, esteatita, gres, vidrio. Brea de madera o de hulla, asfalto.
- Aislantes moldeados o base de harina de madera seca aglomerada con resinas sintéticas.
- Fibras de vidrio, impregnadas de barnices fenólicos, de barnices de silicona, de resinas epoxílicas.
- Aislantes estratificados a base de hojas de tejido de vidrio aglomerado con resinas epoxílicas.
- Magnesia, arenas cuarzosas.
- Aislantes sintéticos (resinas epoxílicas, butilos, poliésteres y polietilenos).

Los aislantes estratificados a base de papel o de cartón, que son los más utilizados en la construcción de transformadores. Se han estudiado las variaciones de la rigidez dieléctrica de estos aislantes en función del espesor, del tiempo de aplicación de la tensión, de la frecuencia y de la temperatura, con lo que se han establecido formulas simples que son suficientes en la práctica.

Influencia Del Espesor

Se admite que la rigidez dieléctrica U esta ligada al espesor por la fórmula: $U = K.e^{\frac{2}{3}}$, donde k : es una constante propia de cada aislante.

Influencia del tiempo de aplicación de la tensión.

Para frecuencias comprendidas entre 25 y 420 Hz, se ha encontrado la relación:

$$U = U_{\infty} \left(1 + \frac{k}{4\sqrt{t}} \right)$$

U : Es la rigidez dieléctrica correspondiente, a una duración de aplicación de t minutos.

U_{∞} : Es la rigidez dieléctrica correspondiente a una duración indefinida de aplicación.

K : Es una constante propia del aislante.

Se conoce generalmente la rigidez dieléctrica correspondiente al ensayo de 1 minuto ($t = 1$), o sea U_1 . Se tiene pues:

$$U_1 = U_{\infty}(1+k)$$

Designado por α la relación: $\frac{U_{\infty}}{U_1}$

Se deduce de ello

$$K = \frac{1-\alpha}{\alpha}$$

De donde

$$U = U_1 \left(\alpha + \frac{1-\alpha}{4\sqrt{t}} \right)$$

Se encuentra a menudo

$$\frac{U_{\infty}}{U_1} = \alpha = \frac{2}{3}$$

Su fórmula inicial se convierte en:

$$U = U_1 \left(0,66 + \frac{0,33}{4\sqrt{t}} \right)$$

No hay fórmula simple que dé la rigidez dieléctrica para tiempos de aplicación extremadamente cortos (ondas de choque). Para la onda convencional 1/50, el factor de impulso es del orden de 2 a 2,5.

Influencia de la frecuencia

La influencia de la frecuencia entre los límites de 25 Hz y 420 Hz es dada por la fórmula.

$$U = \frac{k}{f \times 0.137}$$

U: Rigidez dieléctrica.

f: Frecuencia en Hz.

k: una constante propia del aislante.

Influencia de la temperatura

La rigidez dieléctrica de los aislantes sólidos disminuye cuando su temperatura aumenta. Para los aislantes estratificados la reducción es del orden del 25% cuando la temperatura pasa de 0 a 100° C.

Pérdidas dieléctricas

Mientras que los aislantes gaseosos y líquidos tienen pérdidas dieléctricas pequeñas, en los aislantes sólidos pueden ser importantes; despreciando las pérdidas por conducción, estas vienen dadas por la fórmula:

$$W = K \cdot H^2 \cdot f \cdot t^n$$

H: Esfuerzo específico.

f: Frecuencia.

t: Tiempo

n: Un exponente propio del aislante

El valor absoluto de las pérdidas no es un dato suficiente para la apreciación de la calidad. Lo que importa es que las curvas que dan la evolución de las pérdidas, en función del tiempo, de la temperatura y del gradiente denoten una estabilización.

Rigidez dieléctrica superficial

No existe propiamente hablando, una rigidez dieléctrica superficial propia de un aislante sólido. Esta depende del medio dieléctrico que le rodea (aire, aceite, etc.). Depende también de la forma de los electrodos, del estado de la superficie del aislante y de su sequedad.

Constante dieléctrica de los aislantes

Aire	1	Papel seco	6
Aceite mineral.....	2,2	Papel impregnado en aceite	4 a 5
Pyraleno	4,3	Papel estratificado baquelizado...	4 a 5
Mica	5 a 7	Cartón seco	3
Porcelana	4,5	Cartón impregnado en aceite	4 a 5
Tela barnizada	4 a 5	Madera tratada	3 a 3,

2.3.3.2 Estudio de los esfuerzos dieléctricos

Sobre tensiones

El aislamiento de los transformadores no debe ser previsto solamente para la tensión normal de funcionamiento sino que también debe soportar las sobre tensiones diversas que pueden aparecer en las redes. Las llamadas “dinámicas” provienen de la

desaparición repentina de toda o de una parte de la carga. Son de frecuencia industrial. La elevación de tensión con relación a tierra, que son susceptibles de ocasionar variaciones de 1,3 a 1,7 veces la tensión nominal. Su duración es de algunas décimas de segundos a varios segundos.

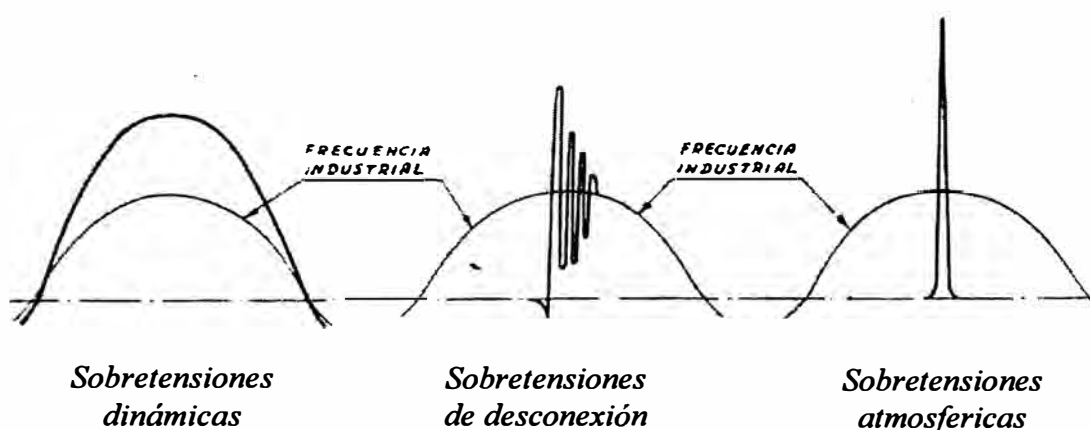


Fig.2.35

Otras llamadas “de rupturas” resultan de poner fuera de servicio, por los interruptores, cargas inductivas o capacitivas. Son de frecuencia muy variable (algunas decenas o algunas centenas de veces la frecuencia industrial). Su valor de cresta con relación a tierra varia entre 1.5 y 3 veces el valor de la cresta de la tensión normal. Su duración es de algunos cientos a algunos millares de microsegundos.

Finalmente las sobre tensiones de origen atmosférico. Aparecen en el curso de las tormentas como consecuencia de los rayos. Son generalmente unidireccionales y de frente muy escarpado. Su valor de cresta esta limitado por los aparatos de protección si existen o si no, por el nivel de aislamiento de la línea.

2.3.3.3 Ensayos Dieléctricos Normalizados

Desde el comienzo de la práctica industrial de transformadores se previó su aislamiento para soportar, durante un minuto, dos veces la tensión normal de frecuencia industrial. Esta regla a pesar de su origen empírico ha resultado satisfactoria en su empleo y no ha sufrido más que ligeras. Corresponde al ensayo dieléctrico llamado de “tensión aplicada”. Consiste en poner sucesivamente cada devanado a un potencial uniforme de frecuencia industrial estando los otros devanados unidos entre ellos y a la parte mecánica, así como con tierra. Este ensayo dura un minuto.

Sin embargo este ensayo no comprueba más que el aislamiento entre devanados de una parte y, entre devanados y tierra, por otra parte el aislamiento entre espiras y entre bobinas no se comprueba. Para probarlo es necesario inducir (alimentado por la baja tensión, por ejemplo) una tensión doble de la tensión normal, que aparecerá a la vez entre espiras, entre bobinas y entre fases. Para no sobrepasar la inducción normal en el hierro, se opera corrientemente con frecuencia aumentada (doble o triple de la frecuencia normal). Este ensayo se llama “de tensión inducida”. Se notará que comprueba igualmente el aislamiento respecto a tierra sustituyendo el ensayo de tensión aplicada, cuando este no se puede realizar, sin embargo las sobre tensiones de origen atmosférico de frente escarpado tienen como característica el repartirse muy desigualmente en un devanado, pudiendo esto ocasionar entre espiras y entre bobinas esfuerzos muy superiores a dos veces el valor nominal. Además se ha establecido “un ensayo de choque” que tiene por objeto reproducir en fabrica, por descarga de condensadores, las sobre tensiones análogas a las provocadas en explotación por los rayos y en particular, en onda de choque normalizada $1/50$. Este ensayo de choque tiene igualmente por objeto comprobar el aislamiento con relación a tierra.

Tabla 2.4

CUADRO DE LAS PRUEBAS DIELECTRICOS SEGÚN IEC PARA TENSIONES NORMALIZADAS

Tensión normal U kV	Tensión mantenida de frecuencia industrial 1 min. Valor eficaz kV	Tensión mantenida de choque-onda positiva o negativa. Valor de cresta kV
1.1	8	24
3.6	10	40
7.2	20	60
12	28	75
17.5	38	95
24	50	125
36	70	170
52	95	250
72.5	140	325 (350)

2.3.3.4 Determinación de los esfuerzos dieléctricos

Aislamiento Externo de los Devanados

Un aislamiento está caracterizado por el campo eléctrico llamado también esfuerzo específico o gradiente que puede soportar sin alteración permanente. Se concibe que desde los puntos de vista del dimensionado general y del precio de fábrica, el interés en utilizar los aislantes con este valor límite durante la aplicación de las pruebas dieléctricas.

En un campo uniforme, el esfuerzo específico es el cociente de la diferencia de potencial por la distancia que separa las piezas bajo tensión. Se expresa en *kv/cm*. Como la rigidez dieléctrica. En los transformadores, los campos uniformes no existen, pero las formas utilizadas permiten corrientemente una determinación bastante precisa del esfuerzo, ya que se aproximan a las formas teóricas que han sido objeto de los estudios matemáticos.

Dos cilindros exteriores uno al otro, cuyos ejes son paralelos.

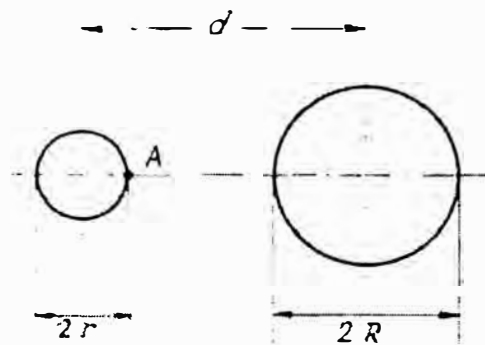


Fig.2.36

Los radios R y r tienen cualquier valor; si se establece entre los dos cilindros una diferencia de potencial U, la intensidad del campo es máxima a los largo de la generatriz del punto A y tiene como valor:

$$H = \frac{U}{r \ln \frac{d^2 - (R-r)^2 + \sqrt{m}}{d^2 - (R-r)^2 - \sqrt{m}}} \sqrt{\frac{R^2 - R^2 + d^2 + 2rd}{r^2 - r^2 + d^2 - 2rd}}$$

$$\text{donde } \sqrt{m} = \sqrt{(r^2 + R^2 - d^2)^2 - 4r^2R^2}$$

R: Es el radio del cilindro mayor en cm.

r : Es el radio del cilindro menor en cm.

d : Es la distancia entre ejes en cm.

H: Esta expresada en voltios/cm. Si U lo esta en voltios.

Los radios R y r son iguales. La intensidad del campo es máxima y tiene el mismo valor a los largo de la generatrices A y A'.

Se tiene:

$$H = \frac{U}{2r \ln \frac{\sqrt{d^2 - 4r^2 + d - 2r}}{\sqrt{d^2 - 4r^2 - d + 2r}}} \times \sqrt{\frac{d+2r}{d-2r}}$$

r = radio común de lo cilindros.

El radio de uno de los cilindros se ha hecho infinito (caso de un cilindro y de una superficie plana paralela al eje del cilindro). La intensidad del campo es máxima a lo largo de la generatriz del punto A y tiene como valor:

$$H = \frac{U}{2r \ln \frac{\sqrt{d^2 - r^2 + d - r} \sqrt{d+r}}{\sqrt{d^2 - r^2 - d + r} \sqrt{d-r}}}$$

El radio de uno de los cilindros se convierte en infinito (superficie plana) y el radio del otro es despreciable ante su distancia a la superficie plana.

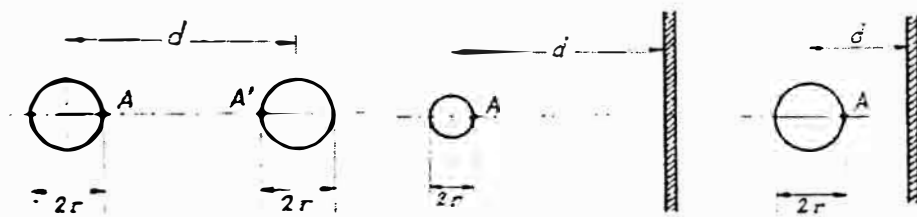


Fig.2.37

La intensidad del campo es máxima a lo largo de la generatriz A y tiene como valor:

$$H = \frac{U}{r \ln \frac{2d}{r}}$$

Dos cilindros, uno en el interior del otro, cuyos ejes son paralelos.

Los radios R y r tienen cualquier valor. La intensidad del campo es máxima a lo largo de la generatriz A y tiene como valor:

$$H = \frac{U}{r \ln \frac{(R-r)^2 - d^2 + \sqrt{m}}{(R-r)^2 - d^2 - \sqrt{m}}} \times \sqrt{\frac{r^2 - d^2 - R^2 - 2rd}{r^2 + d^2 - R^2 + 2rd}}$$

siendo $\sqrt{m} = \sqrt{(r^2 + R^2 - d^2)^2 - 4r^2R^2}$

R : Es el radio en cm. del cilindro mayor.

r : Es el radio en cm. del cilindro menor.

d : Es la distancia en cm. entre ejes.

H : Está expresada en voltios/cm. Si U lo es en voltios.

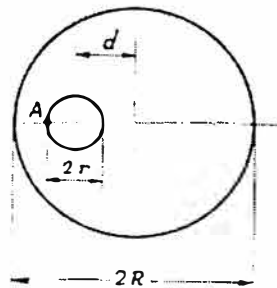


Fig.2.38

Los radios R y r tienen valores distintos, pero los ejes coinciden. La intensidad del campo es máxima en la superficie exterior del cilindro interior y tiene como expresión:

$$H = \frac{U}{r \ln \left(\frac{R}{r} \right)}$$

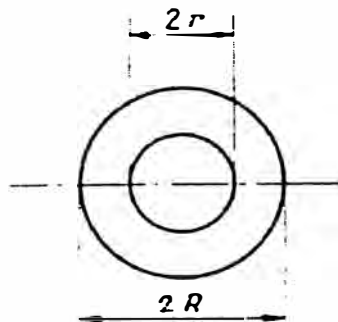


Fig.2.39

Dos esferas del mismo diámetro

La intensidad del campo es máxima en los puntos A y A' y tiene como valor:

$$H = \frac{U}{d} \times \frac{\frac{d}{r} + 1 + \sqrt{\left(\frac{d}{r} + 1\right)^2 + 8}}{4}$$

Cuando las piezas metálicas bajo tensión no se presentan a cálculos matemáticos, se pueden emplear otros procedimientos.

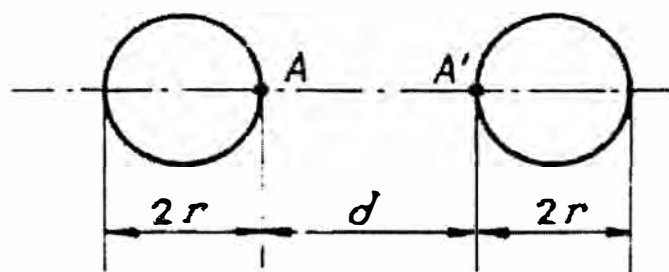


Fig.2.40

Pantallas electrostáticas

Algunas veces es posible sustituir las formas demasiado complejas por electrodos artificiales más simples que permiten los cálculos. En el caso de un devanado de alta tensión interior, es decir montado directamente sobre el núcleo magnético, sería imposible calcular el campo con los ángulos de los “escalones” de la sección. Pero si se rodea el núcleo con un cilindro metálico no cerrado, unido eléctricamente al circuito, el problema se convierte en un cálculo de campo entre los cilindros concéntricos.

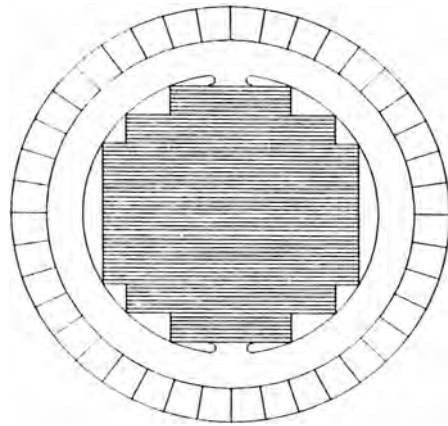


Fig.2.41 Pantallas electrostáticas alrededor de un núcleo de escalones.

Influencia De La Constante Dieléctrica

Los cálculos y trazados se hacen generalmente en medios homogéneos, es decir, que tienen en todas parte la misma constante dieléctrica. Pero si el aislamiento esta constituido por dieléctricos de constantes diferentes, los cálculos son mucho más complejos.

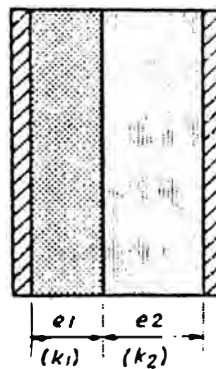


Fig.2.42

Se puede ver lo que ocurre cuando se asocian aislantes de constantes dieléctricas diferentes, eligiendo el caso simple de un campo uniforme. Sean dos aislantes en serie de espesores e_1 y e_2 y constantes dieléctricas respectivas k_1 y k_2 . Si U es la tensión aplicada al conjunto de los dos aislantes, los esfuerzos respectivos tienen como valor:

$$H_1 = \frac{U}{e_1 + e_2} \frac{k_1}{k_2} \quad H_2 = \frac{U}{e_2 + e_1} \frac{k_2}{k_1}$$

De una manera más general, en el caso de n aislantes diferentes puestos en serie:

$$H_n = \frac{U}{k_n \left(\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n} \right)}$$

Aislamiento interno de los devanados

Las sobre tensiones de alta frecuencia, y particularmente las de frente escarpado, de origen atmosférico, ponen a prueba simultáneamente el aislamiento con relación a tierra y el aislamiento entre espiras y entre bobinas. Un devanado uniforme de transformadores esta caracterizado no solamente por una resistencia y una inductancia uniforme repartida, sino también por un sistema capacitativo menos aparente, que comprende:

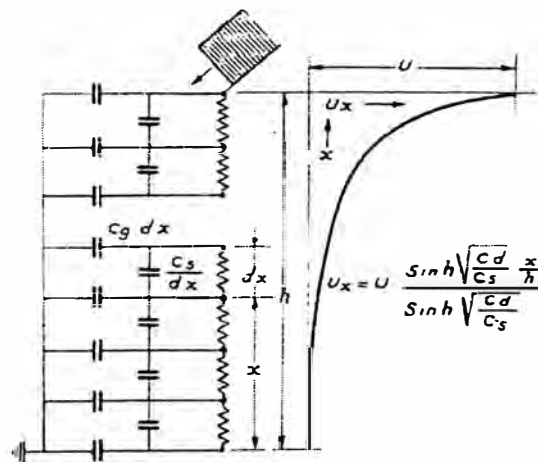


Fig.2.43 Devanado con neutro a tierra, distribución inicial de tensión hiperbólica

Una cadena de capacidades en serie entre bobina sucesivas, cuyo valor resultante (entre la bobina correspondiente al extremo de la línea y la bobina del extremo hacia el neutro) será designado por C_s . (la capacidad de un elemento de altura d_x tiene puesto por valor C_s/d_x).

Un grupo de capacidades en derivación entre bobina sucesivas y tierra, cuyo valor resultante será designado por C_d (estando las capacidades del grupo en paralelo, la capacidad de un elemento de altura dx será, pues $C_s x dx$).

Designamos por:

U : la amplitud de la sobre tensión que alcanza el devanado en el extremo de línea

u_x : el potencial instantáneo con relación a masa en un punto del devanado situado a una distancia x del punto neutro

h : La altura total de devanado

Distribución inicial

Si consideramos el frente de una onda de choque este puede ser asimilado a un cuarto de periodo de una tensión de frecuencia extremadamente elevada. En el momento de su aplicación, no habrá tiempo de que ninguna corriente aparezca en las inductancias y por consiguiente la distribución inicial instantánea de corrientes y tensiones estará determinada por el sistema de capacidades. Esta hipótesis, se tiene:

$$\frac{d^2 U_x}{dx^2} - \frac{C_d}{C_s} U_x = 0$$

De donde se deduce, cuando el punto neutro esta unido a tierra,

$$U_x = U \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\frac{C_d}{C_s}} \cdot \frac{x}{h}}{\operatorname{senh} \sqrt{\frac{C_d}{C_s}}}$$

La curva representativa de la distribución inicial acusa, en el extremo de la línea una concentración de tensión entre espiras y entre bobinas tanto mas acentuada cuanto que la relación es más $\sqrt{\frac{C_d}{C_s}}$ elevada. Se tiene en efecto:

$$\frac{du_x}{dx} = \frac{\text{sen } h \sqrt{\frac{C_d}{C_s}} \frac{x}{h} U}{\text{cos } h \sqrt{\frac{C_d}{C_s}}} \sqrt{\frac{C_d}{C_s}}$$

Para los valores usuales de $\sqrt{\frac{C_d}{C_s}}$ superiores a 4, esta derivada se diferencia poco del producto $\frac{U}{h} x \sqrt{\frac{C_d}{C_s}}$ en el extremo de línea.

La fig.2.49 muestra una representación simplificada de la distribución, en la hipótesis de que las capacidades en serie y las capacidades en derivación sean del mismo valor y en número finito.

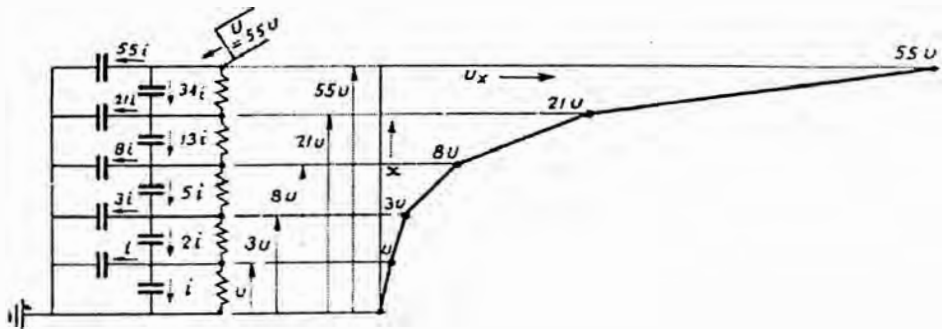


Fig.2.44 Representación simplificada de la distribución inicial de tensión, en la hipótesis de que las capacidades en serie y las capacidades en derivación sean iguales.

Distribución final

La cola de la onda de frente escarpado puede ser equiparada a una tensión de valor constante y de duración muy larga. En un fenómeno de esta clase, las capacidades se conducen prácticamente como circuitos abiertos y las inductancias, prácticamente como corto circuitos. La distribución de una tensión de esta clase esta determinada únicamente por el sistema de las resistencias, pudiendo ser reemplazado cada elemento

del circuito por la resistencia correspondiente a sus pérdidas reales. Si designamos como:

r_e : La resistencia del elemento de devanado

r_s : La resistencia de las capacidades en serie,

r_d : La resistencia de las capacidades en derivación,

Se tiene:

$$\frac{d^2 U_x}{dx^2} - \frac{r_e \cdot r_s}{r_d (r_e + r_s)} u_x = 0$$

Donde se deduce:

$$u_x = U \frac{\operatorname{senh} \sqrt{\frac{r_e x r_s}{r_d (r_e + r_s)} h}}{\operatorname{senh} \sqrt{\frac{r_e x r_s}{r_d (r_e + r_s)}}}$$

Se sabe que las pérdidas reales de los condensadores son extremadamente pequeñas y por consiguiente r_s y r_d tienen valores muy grandes comparados con el r_e ,

pues $\frac{r_e \cdot r_s}{(r_e + r_s)} \cong r_e$

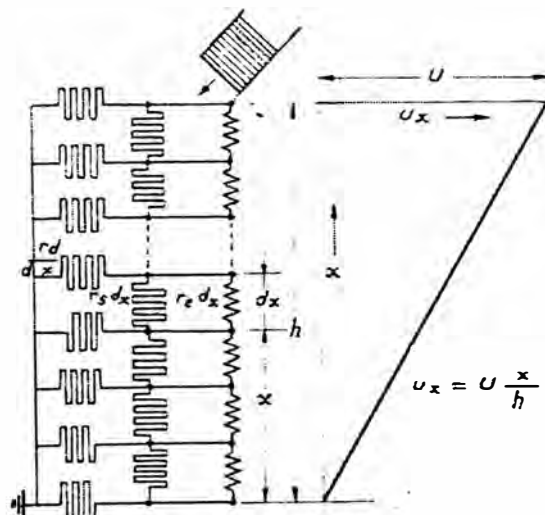


Fig.2.45 Devanado con neutro a tierra. Distribución final de la tensión lineal.

La fracción sub radical se diferencia poco de $\frac{r_e}{r_d}$. Como esta fracción es muy

pequeña, se tiene:

$$\operatorname{senh} \sqrt{\frac{r_e}{r_d}} \cdot \frac{x}{h} \cong \frac{x}{h}, \text{ luego } u_x = U \frac{x}{h}$$

La distribución final es, pues, lineal: es una recta que une el punto

$(x = 0, u_x = 0)$ con el punto $(x = h, u_x = U)$. En el caso en que el neutro este aislado, la

curva de distribución inicial instantánea de tensión es de la forma:

$$u_x = \frac{\cos h \sqrt{\frac{C_d}{C_s}} \frac{x}{h}}{\cos h \sqrt{\frac{C_d}{C_s}}}$$

Y la curva de distribución final es una recta de ordenada U.

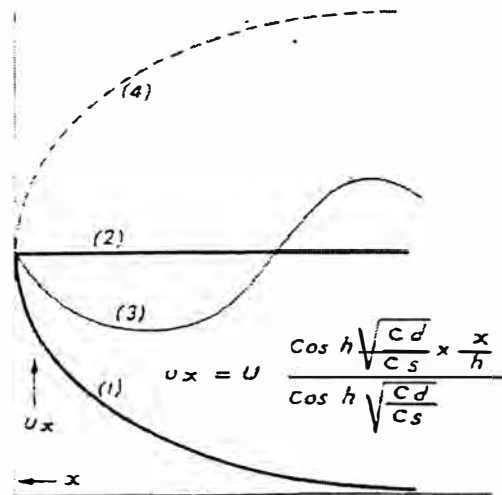


Fig.2.46 Devanado con neutro aislado

(1) Distribución instantánea inicial

(2) Distribución final

(3) Ejemplo de distribución transitoria

(4) Curva envolvente de las tensiones máximas con relación a tierra

Para los valores usuales de $\sqrt{C_d/C_s}$ mayores que 4, no hay diferencia sensible entre las curvas de distribución inicial con neutro a tierra y con neutro aislado, y por consiguiente, las concentraciones de tensión en el extremo de línea del devanado son

poco mas o menos las mismas. Por el contrario, la diferencia entre la distribución inicial y la distribución final es mucho mayor en el caso de neutro aislado y la amplitud de las oscilaciones del período transitorio es considerablemente más elevada.

Distribuciones transitorias

El paso de la distribución inicial instantánea de tensión a la distribución final, se hace por intermedio de oscilaciones amortiguadas alrededor de la recta de la distribución final. Estas oscilaciones comprenden una serie de armónicos de espacio y de tiempo de la forma:

$$\Sigma k_n B_n \text{ sen } \beta_n \frac{x}{h} \cos \omega_n t$$

- n : El orden del armónico
- k_n : Su coeficiente de amortiguamiento
- β_n : Su longitud de onda
- ω_n : Su pulsación

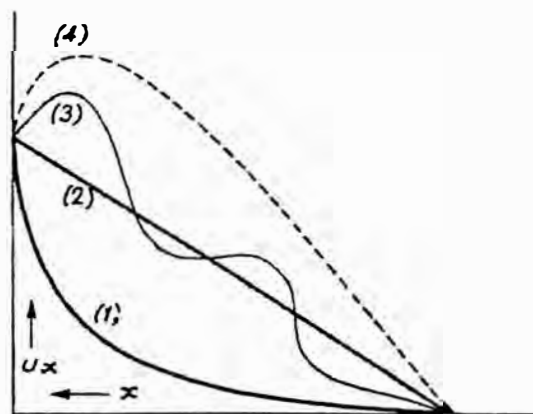


Fig.2.47 Devanado con neutro a tierra

- (1) Distribución instantánea inicial**
- (2) Distribución final**
- (3) Ejemplo de distribución transitoria**
- (4) Curva envolvente de las tensiones máximas con relación a tierra**

Las amplitudes son función de la curva diferencia entre la distribución inicial y la distribución final. Son, por consiguiente, tanto más elevadas cuanto que $\sqrt{C_d/C_s}$ sea

mayor. Son también mas elevadas en el caso de neutro aislado que en el caso de neutro a tierra. La distribución resultante instantánea en el interior del devanado es de la forma:

$$u_{x,t} = \frac{x}{h} + \sum k_n B_n \operatorname{sen} \beta_n \frac{x}{h} \cos \omega_n t$$

Es posible determinarla aproximadamente despreciado el amortiguamiento. Es posible también hallarla experimentalmente. El estudio de la distribución de ondas de frente escarpado demuestra que el potencial con relación a tierra puede alcanzar valores superiores al de la sobre tensión de origen en puntos del devanado mas o menos alejadas del extremo de línea. Como consecuencia de la forma de las curvas de distribución inicial y transitoria, aparecen concentraciones de tensión entre espiras y entre bobinas sistemáticamente en el extremo de línea, pero también en el cuerpo del devanado.

Transformador Anti-Resonante

La distribución inicial de tensión, y también las oscilaciones que de ella resultan, son tanto más peligrosas cuanto que la relación $\sqrt{C_d/C_s}$ es mayor. Se ha buscado, pues, el reducir su valor. Ahora bien, para un tipo dado de construcción, poca variación se puede introducir en la capacidad con relación a tierra. Por el contrario la capacidad en serie puede ser notablemente aumentada. Así, cuando se sustituye un devanado de bobinas múltiples superpuestas por un devanado en algunas capas concéntricas, se lleva a dividir $\sqrt{C_d/C_s}$ por 30 y hasta por 50. Con estos nuevos valores de $\sqrt{C_d/C_s}$ la distribución inicial se aproxima a la distribución final y no hay por tanto ni concentración a la entrada de línea, ni oscilaciones transitorias peligrosas. Un transformador de esta clase se llama “anti resonante”.

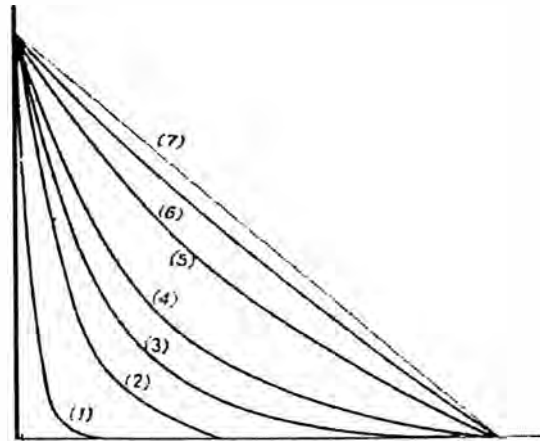


Fig.2.48 Devanado con neutro a tierra, Distribuciones iniciales instantáneas
Curvas: (1)(2)(3)(4)(5)

Valores $\sqrt{C_d/C_s} = 30-10-6-4-2$

(6) Transformador anti resonante

(7) Repartición final

2.3.4 Calentamiento y Refrigeración

Las partes activas de un transformador dan origen a una disipación de pérdidas. Estas pérdidas corresponden a un desprendimiento de calor que, si no es evacuado, llevaría a los elementos del transformador a temperaturas perjudiciales para su buen funcionamiento. Por esto, es necesario que sus diferentes componentes se mantengan a temperaturas por debajo de ciertos valores límites para los materiales que los constituyen y en particular para los aislantes.

Influencia del calentamiento sobre las dimensiones del transformador

A un transformador se le puede aumentar progresivamente la carga sin ningún fenómeno particular, excepto una temperatura siempre creciente y que puede alcanzar, para una cierta potencia, el valor límite correspondiente a la conservación de la calidad de los aislantes. Es por tanto el calentamiento el que fija la potencia máxima de un transformador. Según la eficacia del sistema de refrigeración, se obtendrá una mayor o menor potencia en un transformador dado y se comprende que este estudio sea de vital importancia para el diseñador.

Influencia del calentamiento sobre los componentes del transformador

Se han realizado detallados estudios científicos para determinar la influencia de la temperatura sobre la calidad de los aislantes sólidos orgánicos. Se ha comprobado que son sobre todo, las características mecánicas como resistencia a la tracción) las mas alteradas. Pero como los devanados de los transformadores sufren la acción de fuerzas mecánicas, sea en el momento de cortocircuitos o en una puesta en servicio brusca, estas fuerzas son

capaces de resquebrajarlos e incluso romperlos, y producir rupturas dieléctricas entre espiras.

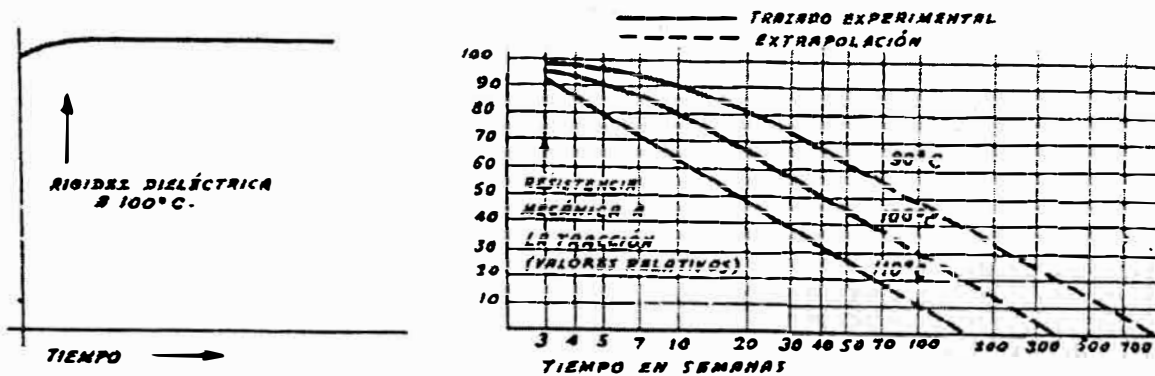


Fig.2.49 Influencia de la temperatura y del tiempo sobre la calidad de los aislantes orgánicos.

El aceite mineral es igualmente sensible a la temperatura. Estando caliente, en contacto con el aire, se oxida, se ennegrece y se acidifica, y con el tiempo origina la formación de lodos que se depositan sobre las partes activas y dificultan los cambios térmicos. A fin de reducir al máximo posible la superficie de contacto entre el aceite y el aire, se ha provisto a los tanques de los transformadores sumergidos, de un pequeño deposito de expansión llamado conservador, que esta en comunicación con la parte superior del tanque, y se llena bajo los efectos de la dilatación del aceite por el calentamiento. Se comprueba además que el aceite esta a una temperatura un poco mas baja en el deposito que en el tanque, lo que contribuye también a atenuar la oxidación. Otro procedimiento consiste en introducir entre el nivel superior del aceite y la tapa, un cierto volumen de gas inerte (nitrógeno). Este gas se comprime bajo los efectos de la dilatación del aceite y por lo tanto, todas las juntas de la tapa deberán ser herméticas.

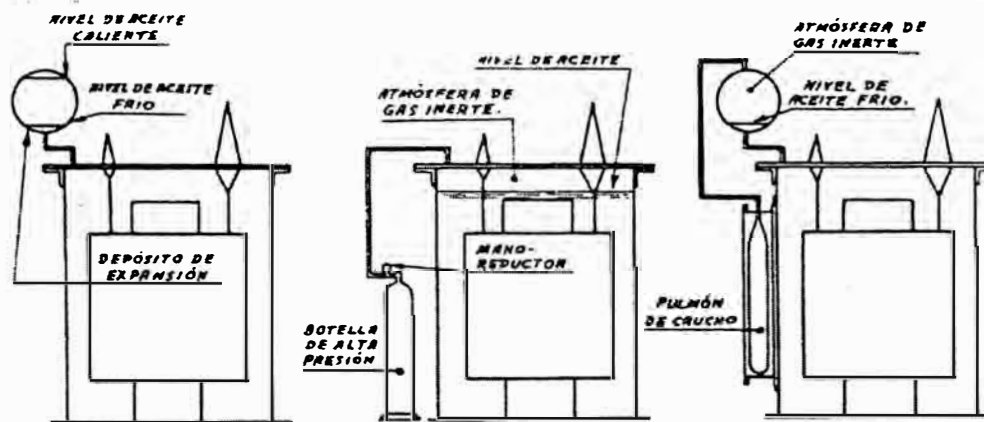


Fig.2.50 Transformador con depósito de expansión (conservador de aceite), Transformador con atmósfera de gas inerte directamente en el tanque principal y botella de alimentación, Transformador con atmósfera de gas inerte en conservador y bolsa de expansión

Límite medio de temperatura ó temperatura observable

En la parte activa de un transformador la temperatura no es uniforme. En ella se pueden distinguir que la temperatura del punto más caliente que se puede medir con un detector interno incorporado, la temperatura media que se mide por la variación de resistencia y la temperatura superficial que se mide por un termómetro aplicado. La dificultad práctica de conocer el punto mas caliente y de instalar en el un detector, ha conducido a no referirse en todos los casos a la temperatura máxima, puesto que esta temperatura la que determina los aislantes a emplear y a tomar en consideración un limite medio de temperatura. Según las pruebas en numerosos casos prácticos, este límite se ha fijado en aproximadamente el 85% de la temperatura máxima para el caso de ventilación natural por aire y del 80% para ventilación forzada por aire.

Calentamiento

Realmente, las temperaturas no son más que referencias, lo que influye sobre el dimensionado de un aparato es el calentamiento, es decir, si la diferencia entre la temperatura de las partes activas y la del medio ambiente fuera igual a la temperatura límite, la potencia posible sería nula.

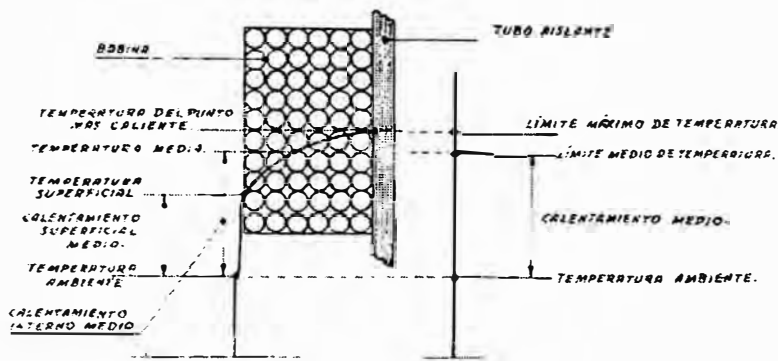


Fig.2.51 Gradiente de temperaturas y calentamiento en un devanado.

Medidas de las Temperaturas y Calentamientos

La medida de la temperatura de un elemento puede efectuarse por termómetro siempre que sea fácilmente accesible. Es preciso entender por termómetro, no solamente los termómetros normales, sino también los pares termo eléctricos y los termómetros de resistencia. Para los devanados, es reglamentario efectuar la medida por variación de resistencia. Es conocida la propiedad de los metales conductores (cobre y aluminio) de tener una resistencia ohmica creciente con la temperatura, según la fórmula:

$$R_{\vartheta} = R_0(1 + \alpha\vartheta), \text{ siendo}$$

R : Valor de la resistencia a la temperatura $\vartheta^{\circ}\text{C}$

R₀ : Valor de la resistencia a la temperatura 0^oC

α : Coeficiente de incremento de la resistencia con la temperatura.

Partiendo de esta fórmula se demuestra fácilmente que el calentamiento está dado por la expresión:

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} + \vartheta_1 \right), \text{ siendo}$$

R_2 : Valor de la resistencia en caliente

R_1 : Valor de la resistencia en frío

ϑ_2 : Temperatura del devanado en caliente

ϑ_1 : Temperatura del devanado en frío

Siendo la temperatura ambiente t_1 , en principio, la fórmula es utilizada corrientemente bajo la forma:

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} + t_1 \right)$$

Esto implica que la temperatura ambiente t_1 no ha variado durante el ensayo de calentamiento, lo que es excepcional en la práctica. En general, ella ha tomado otro valor t_2 en el momento de la medida de R_2 . Hay que hacer la corrección $t_2 - t_1$, y la fórmula se convierte en:

$$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(\frac{1}{\alpha} + t_1 \right) + t_1 - t_2$$

Leyes de propagación del calor

Se sabe que el calor se trasmite por conducción, radiación y convección.

Conducción

La experiencia demuestra que la propagación del calor por conducción a través de un cuerpo homogéneo, sigue una ley análoga a la ley de Ohm, en la cual la diferencia de

potencial se reemplaza por la diferencia de temperatura, la conductibilidad térmica, y la intensidad de corriente por la cantidad de calor (o la energía equivalente transmitida en una unidad de tiempo). Se tiene, pues:

$$W = \lambda \frac{s}{\ell} \vartheta, \text{ siendo}$$

W : la cantidad de energía en joules transmitida en una unidad de tiempo.

γ : la conductibilidad térmica específica: es la energía en joules por segundo que, para la unidad de diferencia de temperatura ($1^\circ C$) atraviesa un elemento de volumen que tiene la unidad de sección 1 cm^2 y la unidad de longitud 1 cm . Se expresa en $W/^\circ C/\text{cm}/\text{cm}^2$.

s : La sección en cm^2

ℓ : La longitud en cm

ϑ : La diferencia de temperatura en $^\circ C$

Tabla 2.5 Conductibilidad térmica específica de los principales materiales utilizados en transformadores

MATERIALES	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA $w/^\circ C/\text{cm}/\text{cm}^2$
Aire inmóvil	0,0003
Aceite inmóvil	0,00125
Pyraleno inmóvil	0,0010
Cobre	3,7
Aluminio	2
Chapa magnética ordinaria	
Sentido de laminación	0,18
Sentido transversal (esmaltada)	(0,010 en el aire) (0,015 en el aceite)
Chapa magnética (cristales orientados)	
Sentido de laminación	0,21
Sentido transversal (carlite)	0,023 en el aire 0,028 en el aceite
Algodón no impregnado	0,0004
Algodón impregnado en barniz	0,0015
Papel seco	0,0013
Papel impregnado en aceite	0,0020
Cartón seco	0,0018
Cartón impregnado en aceite	0,0025
Papel baquelizado	0,0025
Porcelana	0,016

Ecuación general de la distribución del calor en un cuerpo.

En las maquinas eléctricas, la propagación del calor por conducción esta casi siempre acompañada de una producción de calor en toda la masa del cuerpo y, durante el período de calentamiento o de refrigeración, de una absorción o de una entrega de calor, ya que hay variación de temperatura y que el calor específico del cuerpo considerado no es despreciable. Ocurre también que la conductibilidad térmica no es la misma en todas las direcciones perpendiculares, siguiendo cada una de las cuales la conductibilidad es constante. Además, es así como a menudo se presentan prácticamente todos los casos. Se demuestra que la temperatura de cada punto del cuerpo satisface la ecuación:

$$\gamma_x \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta x^2} + \gamma_y \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta y^2} + \gamma_z \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta z^2} + W = c \times d \times \frac{\delta \vartheta}{\delta t}$$

$\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$: designan las conductibilidades térmicas específicas siguiendo las tres ejes coordenados.

W : Es la energía producida por unidad de volumen.

c : Es el calor específico del cuerpo considerado

d : Su peso específico

Cuando el régimen térmico se establece y la temperatura es constante:

$$\gamma_x \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta x^2} + \gamma_y \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta y^2} + \gamma_z \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta z^2} + W = 0$$

Si la repartición del calor es independiente de una dirección, se tiene

$$\gamma_x \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta x^2} + \gamma_y \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta y^2} + W = 0$$

Si es independiente de dos direcciones.

$$\gamma_x \frac{\delta^2 \vartheta}{\delta x^2} + W = 0$$

Radiación

La energía térmica transmitida por radiación esta dada por la ley de Stefan Boltzmann

$$W = K \times e \times (T_2^4 - T_1^4)$$

W : Es la energía en joules transmitida por unidad de superficie (cm²) en una unidad de tiempo por segundo. Para un cuerpo negro $W = K \times e \times (T_2^4 - T_1^4)$

k : Constante de Boltzmann

e : Factor de emisión

T_2 : Temperatura absoluta (en °K) de la superficie radiante

T_1 : Temperatura absoluta (en °K) del medio ambiente o de los objetos inmediatos

El estado de la superficie y el color influyen sobre el factor de emisión. Los metales no pulimentados recubiertos de una pintura de color oscuro como los tanques de los transformadores tienen un factor de emisión ligeramente inferior a 1 (0,90 a 0,95). La superficie a utilizar es la superficie “envolvente”. La presión del aire no tiene influencia, así, la radiación mantiene toda su intensidad en el vacío. Se observa que la energía emitida depende de la temperatura ambiente, sin embargo para la zona de las temperaturas normales en los transformadores, se ha podido dar a la formula de Stefan Boltzmann una expresión en función de las temperaturas de la escala centígrada:

$$W = K \times e \times \vartheta^{1,19} \left(1 + \frac{1,10 \times \vartheta_a}{1,00} \right), \text{ Siendo:}$$

W : la energía en joules transmitida por unidad de tiempo y por unidad de superficie.

k : constante = $2,85.10^4$

e : El factor de emisión

ϑ : El calentamiento de la superficie radiante en °C

ϑ_a : La temperatura del medio ambiente °C

Convección

Cuando un cuerpo caliente está en el seno de un fluido, su calor se transmite por conducción a las partículas del fluido que están en contacto con este cuerpo. Estas partículas se calientan, su densidad disminuye y se elevan siendo rápidamente reemplazadas por las partículas más frías, que se calientan y se desplazan a su vez. Se dice entonces que el calor se propaga por convección natural que en realidad, es un fenómeno complejo de conducción y convección. Los investigadores han encontrado que la energía transmitida por convección natural tiene como expresión:

$$W = K \times \vartheta^n$$

W : la energía en julios (equivalente al calor) transmitida por unidad de tiempo y por unidad superficie.

K : Constante

ϑ : La diferencia de temperatura entre el cuerpo caliente y el fluido ambiente

N : Exponente

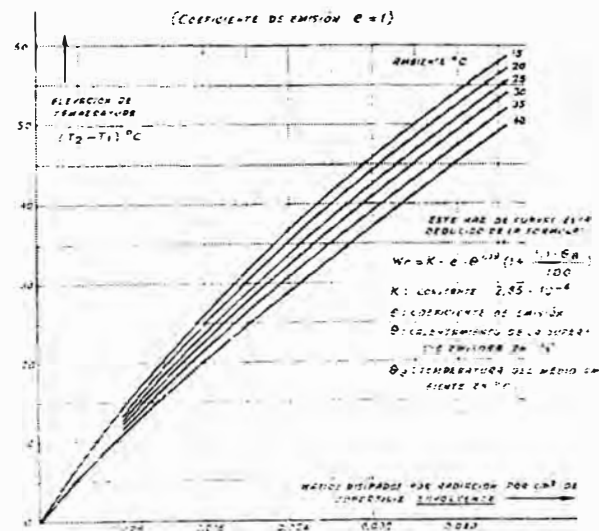


Fig.2.52

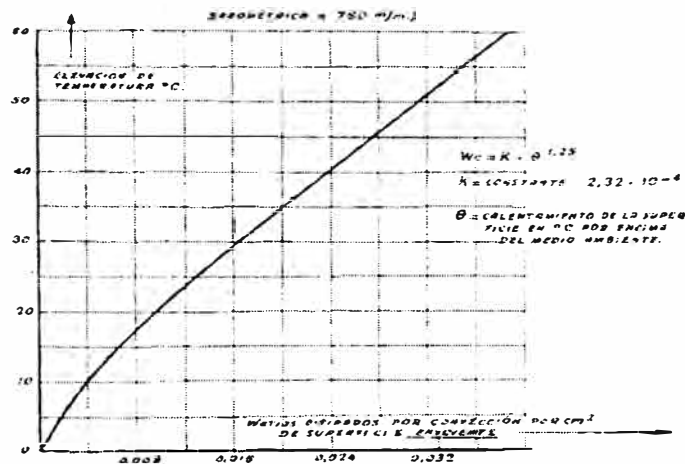


Fig.2.53

El calor transmitido por convección no depende de la temperatura ambiente sino que esta influenciado por la posición de la superficie. El calor transmitido por convección natural varía con la raíz cuadrada de la densidad del aire. Hay que tener en cuenta esto si el material esta destinado a funcionar a una cierta altitud.

Altitud en m:	0	500	1000	1500	2000	2500	3000.
Densidad relativa del aire:	1	0,94	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69

Para una superficie plana vertical en el aire a la presión barométrica de 760 mm, se tiene: $K = 3,32 \times 10^{-4}$; $n = 1,25$. Cuando la superficie no es plana, el calor transmitido por convección es en principio, proporcional a la superficie total. Pero a menudo algunas partes tienen que ser afectadas de un coeficiente de reducción, si el aire fresco no llega a ellas fácilmente. Damos el valor de algunas constantes físicas de los fluidos utilizados en la refrigeración de los transformadores:

Tabla 2.6

	Aire	Aceite	Pyraleno	Agua
Calor específico a 20° C Joules/g/°C	1,01	2	1,12	4,18
Coeficiente de dilatación a 20° C	0,00342	0,00085	0,0007	0,000256
a 50° C	0,0031			0,000483
Peso Especifico a 20° C	1,205.10 ⁻³	0,85	1,56	1
50° C	1,09.10 ⁻³			
Conductibilidad térmica a 20 °C	0,00025	0,0012	0,0016	0,0057
W/°C/cm a 50 °C	0,000272			
Viscosidad a 20 °C	0,000180	0,45	0,30	0,010
dyn/cm/seg.a 50 °C (poise)	0,000197	0,12	0,08	0,0055

Convección Forzada

Durante el fenómeno de convección natural, las velocidades del fluido establecidas son muy pequeñas (del orden de 1dm/s en el aire y de 1cm/s en el aceite). Cuando se activa artificialmente el movimiento del fluido. La capa inmóvil en contacto con la superficie caliente se agita, lo que reduce la pérdida de temperatura por conducción y las partículas calientes son reemplazadas mas rápidamente por las partículas frías. El cambio térmico es por lo tanto mas intenso. Es sensiblemente proporcional a la diferencia de temperatura (exponente $n=1$), así, para un mismo calentamiento de la superficie caliente y en la zona de funcionamiento de los transformadores, se llega a doblar el flujo de calor entre el tanque y el aire ambiente, gracias a una ventilación forzada.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE DISEÑO PROPUESTA

Bajo este concepto se entiende que el diseño se trata de una actividad creadora, en la cual se piensa y desarrolla completamente un producto, en este caso específico un transformador de potencia. La documentación técnica consta de:

- Formatos básicos de diseño eléctrico y mecánico
- Dibujos de ensamble (grupos)
- Dibujos de construcción y componentes
- Lista de Piezas y materiales
- Circuitos eléctricos
- Especificaciones de fabricación y de componentes
- Instrucciones de montaje, operación, etc.
- Otras condiciones especiales.

De esta forma una tercera persona debe estar en la facultad de fabricar este transformador. Al diseñar transformadores se puede observar que esta actividad tiene las siguientes fases:

- Comprensión de la solicitud

- Concepto de solución
- Elaboración del proyecto
- Elaboración de detalles

Cualquiera que sea el método que se elabore para diseñar transformadores, se verán estas fases de alguna manera, aunque algunos autores¹ las definan o enriquezcan con otro tipo de enfoque

3.1- Comprensión de la Solicitud

3.1.1- Lista de exigencias

Por lo general como datos de inicio para el diseño junto con la orden de venta, con el número de la orden de producción y el número de serie del futuro transformador, se recibe una descripción de una situación del problema a solucionar o una serie de exigencias que debe tener el transformador en base a especificaciones técnicas. En esta parte se trata de hacer a partir de una solicitud, un pedido concreto del sistema técnico del transformador, con una serie de exigencias debidamente clasificadas y cuantificadas.

3.1.1.1 Análisis del problema en forma crítica

Muchas veces la información que se entrega con un pedido es deficiente, incompleta, difusa, contradictoria, falsa e incomprensible. Para resolver todas estas cuestiones se debe asumir el problema en forma crítica y en base a las aclaraciones o precisiones necesarias, **el pedido debe ser comprendido sin tener lugar a dudas**. Con esta fase se evitan los malos entendidos, falsas construcciones, duplicidad de trabajos, no cumplimiento de plazos de entrega; y naturalmente se evitan también las consecuencias económicas como adquisiciones adicionales de accesorios o compras

¹ **G. Pahl and W. Beitz**, Engineering Design, A systematic approach-2Rev.ed, Springer –Verlag , London limited 1996

inadecuadas, así como horas de trabajo de ingeniería perdidas y también legales que pudieran ocurrir debido a los problemas de información.

3.1.1.2 Estado de la tecnología

Esto se hace averiguando lo que hace la competencia, también buscando literatura especializada, catálogos, información técnica, revistas técnicas, información en Internet y patentes sobre el tema que se está desarrollando.

3.1.1.3 Análisis de la situación del problema

La experiencia del solicitante del diseño da al diseñador las posibilidades de realización del diseño. Estas posibilidades deben de discutirse y es aquí donde de alguna manera seguirán perfilando las propiedades del diseño. El diseñador debe preparar un cuestionario de preguntas para el cliente, los temas de las preguntas deben estar relacionados con los plazos de entrega, tecnología a usar, costos, límites de espacio, etc.

3.1.1.4 Comprobación de las posibilidades de realización

La comprobación de las posibilidades de realización (feasibility) se basa por un lado por un punto de vista técnico y por otro lado desde el punto de vista económico. El primero se refiere al manejo y conocimiento de la técnica, tecnología y ciencia para el diseño del transformador; el segundo punto de vista se refiere al empleo de los recursos humanos y materiales que se deben aplicar para alcanzar resultados exitosos.

3.1.1.5 Ordenamiento y cuantificación de las exigencias

Durante esta fase de diseño se debe ordenar y completar la información recibida del cliente en cuanto a las condiciones que debe satisfacer el diseño. Existen dos fases:

Coleccionar las exigencias, debe ser neutral frente a la solución del problema.

Las exigencias se deben hacer formulando las siguientes preguntas:

¿Qué finalidad tiene que satisfacer la solución?

¿Qué propiedades debe tener esta solución?

¿Qué propiedades no debe tener esta solución?

Se debe indicar también información adicional de funcionamiento, tener en cuenta los datos de calidad como de cantidad.

Ordenar las exigencias, en primer lugar debe ir la función principal donde estarán los requerimientos principales y las propiedades o características del transformador a diseñar.

3.1.1.6 Lista de exigencias detallada

Como resultado de esta fase del diseño, el transformador debe tener todas sus exigencias ordenadas y clasificadas. La lista de exigencias se debe redactar en formatos y debe participar en la redacción las secciones que tiene que ver con el proyecto, así como la dirección técnica de la empresa, si es necesario se pueden incluir bosquejos. La lista de exigencias completa, es prácticamente un contrato donde están de acuerdo el solicitante y el diseñador.

3.1.1.7 Preparación, planeamiento y organización del desarrollo del problema

La meta en este paso es hacer un plan de trabajo en base al método de diseño y las condiciones tanto de parte de la oficina de diseño y la complejidad del problema y sus exigencias. Esto es hacer una asignación y distribución de los recursos humanos y materiales para efectuar el diseño. Por lo general es suficiente un diagrama de barras (diagrama de Gantt).

8.	CONDUCTOR TYPE (CABLE/TUBING/BAR) (Al/Cu)								
	N° PER PHASE /CONDUCTOR ZISE								
	CONNECTION (THREADED/NEMA PAD 4HOLE)								
9.	TERMINAL COMPARTMENT								
	CABLE/BUS DUCT/FULL HEIGHT								
	ACCESS (HINGER DOOR/BOLTED)								
	SPACE HEATER (YES/NO)								
	DEVICE CON TAINS SILICAGEL FOR HUMIDITY CONTROL IN THE TERMINAL COMPARTMENT (YES/NO)								
10.	CONDUIT HUBS								
11.	TERMINATION (POTHEAD/TERMINATOR/HEAT SHRINKABLE) BY MFR								
12.	SPECIAL PAINTING REQUIREMENTS								
13.	MASTIC UNDERCOAT (YES/NO)								
14.	TERTIARY WINDING REQUIRED								
15.	LOAD TAP CHANGING REQUIRED								
D DATA TO BE PROVIDED BY VENDOR									
1.	MANUFACTURER TYPE DESIGNATION								
2.	CURRENT-FULL LOAD AT RATED VOLTAGE	AMPS.							
3.	COVER (BOLTED/WELDED)								
4.	TANK DESIGN (VENTED/SEALED/CONSERVATOR/GAS-OIL SEAL)								
5.	GALLONS OF OIL								
6.	WEIGHT OF TRANSFORMER WITH OIL								
7.	GUARANTEED MAXIMUM LOSSES								
	FULL LOAD LOSSES (NO LOAD LOSSES +LOAD LOSSES AT 100% LOAD ON SELF-COOLED RATING)	kW							
	NO LOAD LOSSES	kW							
	LOAD LOSSES AT 100% LOAD ON SELF-COOLED RATING	kW							
8.	MAXIMUM SHIPPING DIMENSIONS AND WEIGHT								
9.	OVERALL DIMENSION OF TRANSFORMER WHEN COMPLETED INSTALLED	LxAxH							
D DATA TO BE PROVIDED BY VENDOR							REQUIRED	MANUFACTURER	
10. THE THERMAL DAMAGE CURVE OF THE TRANSFORMER MUST BE GIVEN WIT THE PRO POSAL. IT WILL BE USED TO SELECT THE OVER CURRENT PROTECTION DEVICE									
E ACCESORIES									
1.	PROVIDE ANSI STANDARD ACCESORIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO THE FOLLOWING								
	A. OIL LEVEL GAGE WITHOUT ALARM CONTACTS (TOP OIL AND WINDING)								
	B. THERMOMETER, DIAL TYPE WITH ALARM AND TRIP CONTACTS								
	C. PRESSURE-VACUUM GAGE								

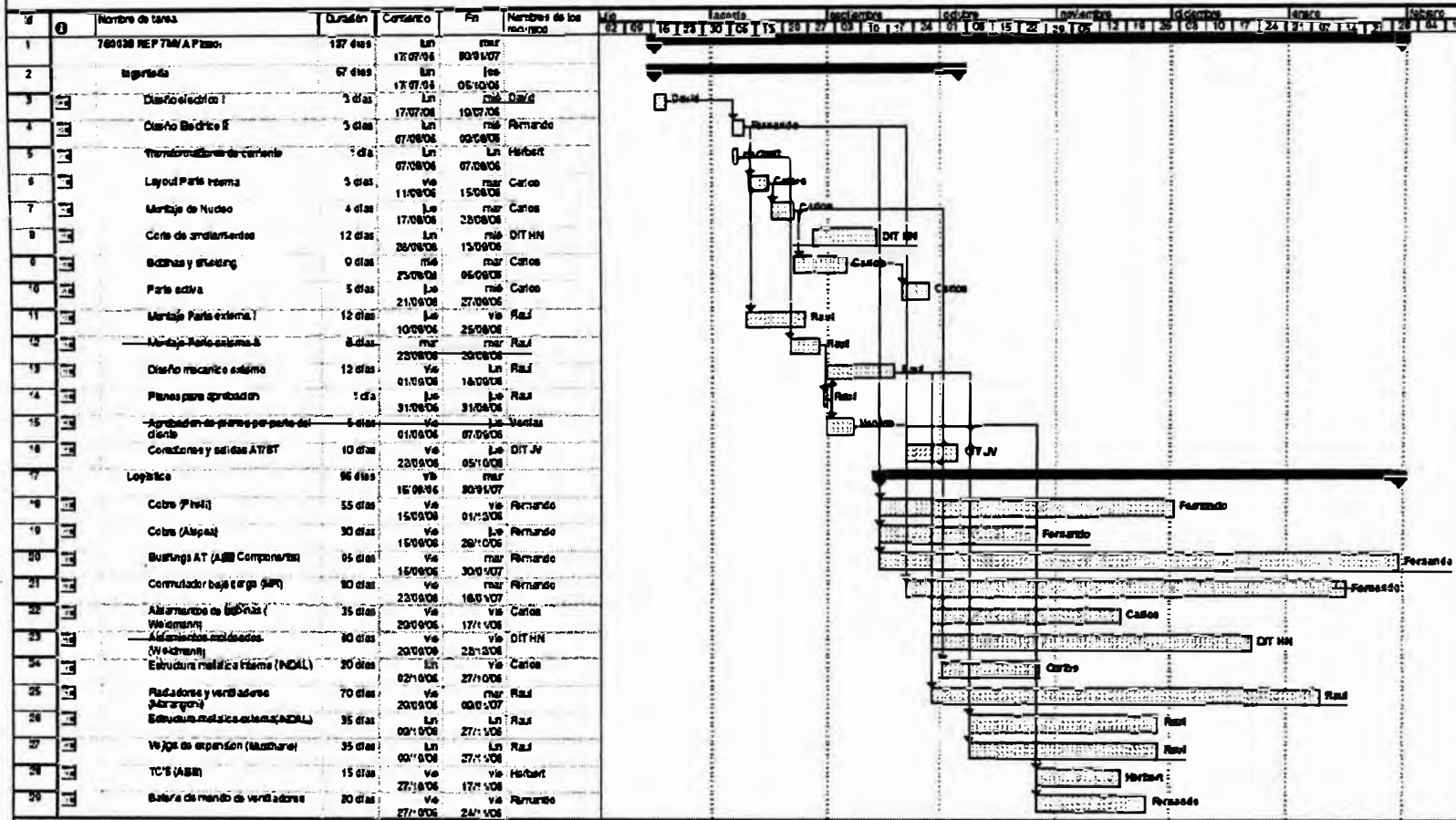
	D. PRESSURE-RELIEF DIAPHRAGM IN COVER WITH ALARM AND TRIP CONTACT	
	E. STAINLESS-STEEL NAMEPLATE	
	F. SAMPLING DEVICE (OIL AND GAS)	
	2. PROVIDE THE FOLLOWING ACCESSORIES WHEN SPECIFIED	
	A. PRESSURE REGULATOR	
	B. PROVISION FOR FUTURE COOLING FANS	
	C. COOLING FANS FOR OPERATION	
	D. SUDDEN PRESURE RELAYS WITH ALARM AND TRIP CONTACT/RELE BUCCHOLZ	
	E. NEUTRAL C.T.	
	F. GROUND RESISTOR	
	PROVIDED WITH TRANSFORMER (YES/NO)	
	VOLTAGE/AMPERE	
	WITH TAP(YES/NO)	
	MOUNTING (ON TRANSFORMER/STAND)	
	G. THREE BUSHING C.T.'s LV/HV SIDE	
	H. SURGE ARRESTORS (STATION TYPE)	
F	TESTING	
	1. THE FOLLOWING TEST SHALL BE IN ACCORDANCE WITH ANSI C-57	
	A. WINDING RESISTANCE	
	B. RATIO	
	C. POLARITY AND PHASE RELATIONSHIP	
	D. NO LOAD LOSSES AND EXITING CURRENT	
	E. IMPEDANCE AND LOAD LOSS	
	F. APPLIED AND INDUCED POTENTIAL	
	G. TEMPERATURE	
	2. ADDITIONAL AND SPECIAL TEST IN ACCORDANCE WITH ANSI C-57 REQUIRED WHEN SPECIFIED	
	A. IMPULSE	
	B. INSULATION RESISTANCE	
	C. INSULATION POWER FACTOR	
	D. SOUND LEVEL	
	E. SHORT-CIRCUIT CAPABILITY	
	F. GROUND RESISTOR	
	3. WITNESS TEST REQUIRED	
	4. CERTIFIED TEST RESULTS REQUIRED	
	WITH TAP(YES/NO)	
	MOUNTING (ON TRANSFORMER/STAND)	
	G. THREE BUSHING C.T.'s LV/HV SIDE	
	H. SURGE ARRESTORS (STATION TYPE)	

G GENERAL SPECIFICATIONS					
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
		REV.	DATE	BY	CHK APPR.
		POWER TRANSFORMER DATA SHEET			REV.

PLAN DE TRABAJO DE INGENIERIA

1LPE200607

AÑO 2006



HOJA DE PLAN DE TRABAJO

INGENIERIA TRANSFORMADORES Tarea Progreso Retorno Tarea externa Fecha inicio

OPB EN CURSO AÑO 2006 Duración Mes Retorno del proyecto Hic externo

Página 1

3.2.- Concepción de la solución

3.2.1 Elaboración del concepto

La elaboración del concepto es una parte del proceso de diseño de transformadores que se realiza después de detallar el problema a través de su abstracción. La formulación de una estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución apropiados para cada una de las funciones, así como el procesamiento de la combinación de los posibles caminos de solución, permitirá determinar el concepto óptimo de solución, es decir, la elaboración del concepto tiene dos partes:

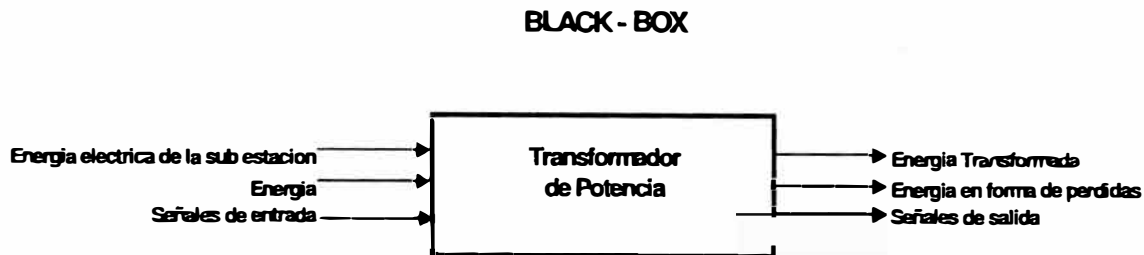
- Estructura de funciones.
- El concepto de solución.

3.2.1.1 Estructura de funciones

Los datos de entrada en esta etapa de diseño se encuentran en la lista de exigencias del sistema técnico del transformador. Para el proceso de la elaboración de la lista de exigencias y de la solicitud de un diseño muchas veces el diseñador trae consigo ideas fijas para la formulación de alguna solución. Contra esto, para evitar el bloqueo de nuevas ideas, se hace necesario un proceso de abstracción, lo cual nos facilitara la búsqueda de un proceso óptimo de solución. Toda firma u oficina de diseño tiene su propia experiencia, pero también prejuicios y convenciones, los cuales junto con el propósito de no correr ningún riesgo en la apertura de nuevas soluciones, impiden las soluciones de las mismas, que desde el punto de vista técnico y económico, podrían ser mejores, entonces, a partir de un análisis de la lista de exigencias se deberá formular el problema en forma abstracta.

a) Abstracción: Black – Box

Cualquier función se puede representar en forma de una caja negra, (black-box), donde solo se tiene en cuenta 3 magnitudes básicas de entrada y salida las cuales se reconocen como: señales, energía y materia.



Dentro de la caja negra (black-box) se supone que ocurre un proceso técnico, es decir, una transformación de las propiedades de las 3 magnitudes básicas que son cuantificables en cantidad como en cualidad:

- **Materia.-** Materia prima, insumos, productos determinados, piezas, fluidos, granulados, objetos de todo tipo.
- **Energía.-** Energía mecánica, térmica, eléctrica, química, atómica, etc.
- **Señal.-** Magnitudes de medición, de datos, valores indicados, impulsos de control, información.

b) Determinación de los principios tecnológicos

Para poder transformar las magnitudes de entrada (señal, energía y materia) en la caja negra (black-box) es necesario escoger principios tecnológicos que lleven a la práctica la transformación deseada. La transformación ocurre por lo general paso a paso en una serie de operaciones. Estas son necesarias para las transformaciones y sus secuencias son decididas por la tecnología, como es el caso de la conmutación de tensión en vacío y bajo carga en los transformadores de potencia, la cual a su vez se

basa sobre fenómenos físicos; Entonces la determinación de los procesos tecnológicos son la base para estructurar los procesos técnicos, los procedimientos de trabajo y sus secuencias.

c) Procesos técnicos

Para la transformación de las propiedades de los objetos que ingresan a la caja negra se necesita fijar un proceso técnico, es decir el diagrama de flujo de principios tecnológicos escogidos y sus combinaciones así como la secuencia de las operaciones.

Para la fijación completa del proceso técnico es necesario conocer sus cuatro fases:

- Planificación
- Ejecución
- Control
- Cierre

En la elaboración de un proceso técnico en bloque es posible fijar una estructura completa (con efectos secundarios, de accionamiento, etc.) o tan solo un diagrama de flujo principal. La alternativa del diagrama de flujo principal es recomendable por su sencillez por entenderla. Las alternativas del proceso técnico se originan a través de la aplicación o combinación adecuada de la tecnología y la secuencia de las operaciones. Si se toma como base una evaluación se puede encontrar la alternativa optima del proceso técnico

d) Aplicación de los procesos técnicos y sus limitaciones

Los efectos necesarios en un proceso técnico pueden ser ejecutados por el hombre o por un sistema técnico. La distribución de la ejecución o producción de los efectos, ya sean estos ejecutados por el hombre o por un sistema técnico, pueden ser extremadamente diferentes. Esta distribución depende de muchos factores o puntos de

vista; cualquiera que sea la distribución da origen a una mecanización o automatización. Uno de los factores mas importantes a considerar en la distribución es la capacidad humana. Según la distribución se distinguen los siguientes procesos:

Procesos manuales (operaciones) con la mayor parte de los efectos, tanto en energía como en control, la tiene el hombre.

Procesos mecánicos (operaciones y procesos mecanizados) donde el sistema mecanizado técnico asume los efectos de energía.

Procesos automáticos (operaciones) donde el sistema técnico asume la mayoría de los efectos de control.

e) Agrupación de las funciones

Teniendo en cuenta que una función del sistema técnico es una tarea que el sistema debe satisfacer, se puede analizar cada una de las funciones. En este caso se puede actuar también de manera similar que el paso anterior. Las funciones pueden agruparse de diferentes formas, estas se pueden sub dividir y/o unir.

f) Representación de las estructuras de funciones

Las formas de reflexión anteriores nos conducen a formular una estructura de funciones como adecuada unión de efectos (funciones parciales) dentro de los límites del sistema técnico del transformador. La manera más adecuada de representar es en bloques, ya que es fácil de establecer las uniones. En lo posible se debe formular estructuras que representen claramente el proceso técnico.

En la estructura de funciones se representan las funciones principales, pero también se pueden añadir las funciones secundarias que puedan ser encontradas al fijar el

proceso técnico. Las alternativas de las estructuras de las funciones aparecen con el cambio de las características del diseño (aplicación y limitaciones del sistema técnico), así como la agrupación de las funciones, partiendo por su puesto de uno o más procesos técnicos.

g) Estructura de función optima

De la manera como se han obtenido las estructuras de funciones, estas se pueden evaluar para las condiciones dadas y fijar alternativas óptimas. Sin embargo las alternativas óptimas por razones de tiempo deben ser mínimas en número. La evaluación en la mayoría de los casos se basa en un número muy pequeño de criterios, porque el proceso en esta etapa de abstracción no permite encontrar muchos. También tiene influencia aquí la profundidad de la solución de la función total. En la estructura de funciones en todo caso se tendría que evaluar la totalidad de funciones parciales en que se dividió.

3.2.1.2 Concepto de solución

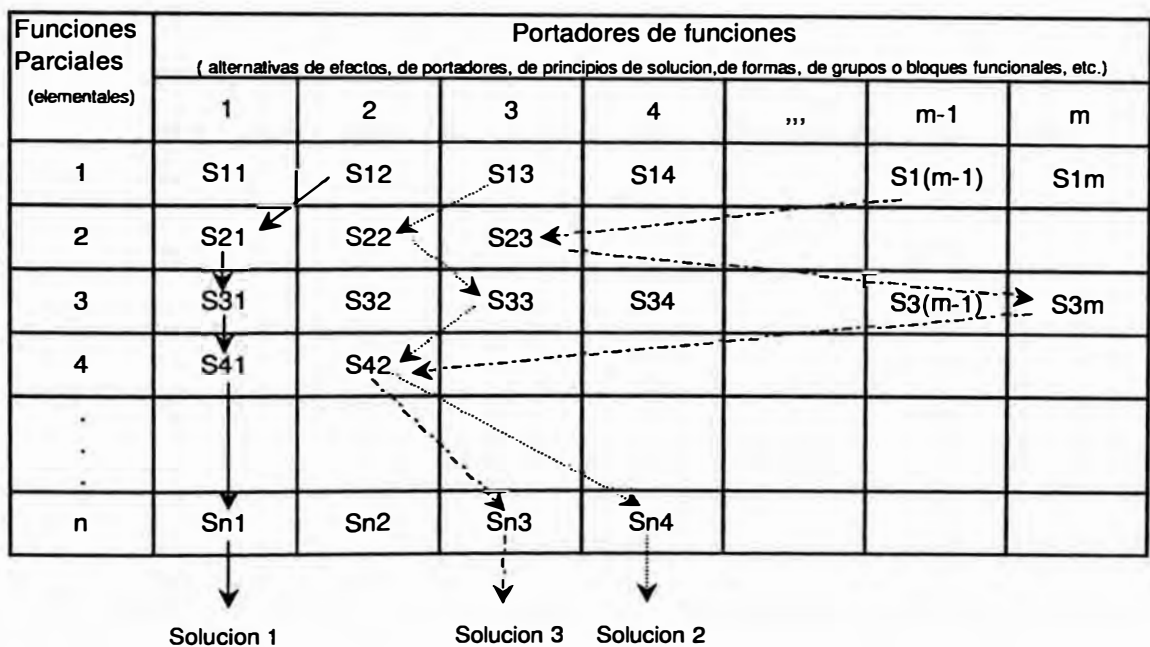
Los datos de entrada en esta etapa de diseño son:

- La estructura de funciones
- La lista de exigencias

La estructura de funciones se confecciona dividiendo el proceso técnico en funciones parciales; entonces el objetivo de esta etapa del diseño es transformar la estructura de funciones, a través de principios de solución para cada una de las funciones parciales, dando como resultado una estructura de construcción.

a)- Determinación de los operandos de ingreso o salida y su modo de acción

Esto se refiere a los operandos que ingresan o salen de la caja negra y del proceso técnico. Para la realización de este se debe tener en cuenta diversas magnitudes de entrada como energía, materiales auxiliares, etc. Para la transformación de los operandos de ingreso en el proceso técnico son necesarios ciertos requerimientos para su realización. Durante el proceso técnico de la construcción de transformadores aparecen diversos materiales, como desperdicios, así como otras magnitudes de salida como calor, vibraciones, ruido, etc.



Los operandos de entrada o salida (inputs o ouputs) adicionales se deben tener en cuenta muy seriamente ya que la humanidad hoy en día esta amenazada por los ouputs de los procesos técnicos, en nuestro caso el derrame de aceite, la contaminación sonora, perturbaciones, etc. Para la realización del proceso técnico se debe tener presente la influencia de los operandos (inputs / ouputs) perjudiciales que aunque no son deseados existen.

b)- Determinación de las clases de los portadores de funciones

Se trata de la búsqueda de soluciones. Lo que aquí se presenta es una de las formas de llegar a soluciones con un esquema ordenado llamada **Matriz Morfológica**. Por lo general se puede subdividir una función total en funciones parciales. A menudo se puede hacer de estas funciones parciales, nuevas funciones totales secundarias y nuevamente dividir las en funciones parciales. El método de la matriz morfológica se puede aplicar cuando la función total se divide en funciones parciales.

Su aplicación es sencilla, en la primera columna se escriben las funciones parciales y para cada una de estas en su respectiva fila se busca y se agotan todos los portadores de funciones, que son los principios que se realizan los efectos buscados. Un diseñador entrenado selecciona las posibles soluciones desde un inicio, que deberán satisfacer las siguientes reglas básicas:

- Dejar de lado los principios de soluciones o bloques inapropiados
- Impedir la obligación de unión entre principios de soluciones o bloques funcionales no compatibles.

c)- Combinación de los portadores de funciones y sus relaciones

Teóricamente se obtiene un concepto total de la estructura de construcción del transformador a través de la combinación de todos los correspondientes portadores de funciones (matriz morfológica), obteniéndose así un número de soluciones relativamente grandes. Pero se puede encontrar que no todas las soluciones son adecuadas y que no todos los elementos son compatibles entre sí. Seguidamente se deben comprobar cuidadosamente las combinaciones resultantes, no solamente en

cuanto a su capacidad de función, si no también en cuanto a la compatibilidad con cada uno de los otros elementos y el cumplimiento de otras propiedades, especialmente en cuanto a los parámetros de función del transformador como tamaño, disposición de bushings, potencia entregada, tensión, intensidad de corriente, pérdidas, etc.

d)- Disposición Básica

Los elementos de la estructura de construcción del transformador aparecen a este nivel solamente en relaciones funcionales, pues no se necesita cuantificar nada. La representación de la concepción debe transmitir una idea aproximada de la disposición del transformador y más que todo, una relación entre los elementos que lo conforman. La representación del concepto no debe originar la concepción fija de una idea que puede ser superada en los siguientes pasos.

e)- Determinación del concepto óptimo, mejoramiento y verificación

La etapa final de la elaboración del concepto requiere de una evaluación así como de una mejora de sus puntos débiles además de una verificación. Las numerosas alternativas del concepto se deben evaluar aunque en cada una de ellas el grado de concretización es débil. La evaluación total es difícil porque las características del diseño de un transformador de potencia ofrecen pocos puntos de referencia para la cuantificación de la mayoría de las exigencias. El criterio económico tiene deficiencias como para tomarse como único criterio de evaluación. Entonces se deben formular criterios que permitan la comparación de las variantes en miras de obtener una variante óptima, la comparación con la solución ideal puede ser una ayuda para encontrar la solución óptima.

Aspectos Técnicos	Aspectos Económicos
Buen uso de fuerza o energía	Numero de componentes
Seguridad	Facilidad de montaje
Facilidad de construcción	Productividad
Buena Estabilidad	Costos diversos
Rigidez	Pocos desperdicios
Manipulación	Numero de operarios
Confiabilidad	Costos de la tecnología
Facilidad de operación	
Transportabilidad	
Calidad de trabajo	
Complejidad	
Lista de exigencias	

FORMATO DE EVALUACIÓN DE CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

Nro	Criterios técnicos y económicos	Soluciones				
		1	2	3	4	5
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
	Suma Total					

Puntaje para planificar los criterios de 0 a 4

0= No satisface

1= Aceptable a las justas

2= Suficiente

3= Bien

4= Muy bien (Ideal)

La mejor solución es la que obtiene el mayor puntaje en la suma total.

3.3- Elaboración del Proyecto

En esta fase del diseño se trata de llegar a un proyecto definitivo a partir de la estructura de construcción óptima encontrada en la fase anterior. En esta fase se entra profundamente en la concretización del diseño del transformador y se hace en 2 etapas, primero un proyecto preliminar y luego un proyecto definitivo.

3.3.1- Proyecto preliminar

Los datos de entrada de esta etapa son:

- El Bosquejo del concepto de solución
- La lista de exigencias del transformador
- La estructura de funciones del transformador

Lo que se persigue en esta etapa es lograr aproximadamente la descripción de la estructura de construcción del sistema técnico del transformador, es decir, al final de la etapa se debe conseguir un documento de diseño plasmado en un bosquejo del proyecto preliminar. La representación del proyecto deberá ser de acuerdo con la idea de configuración del sistema técnico.

a)- Determinación de los puntos de orientación para la elaboración de la forma del proyecto.

Como puntos de partida para la configuración de elementos o del transformador mismo se deben fijar algunos puntos de orientación, básicamente dimensiones. Estos puntos de orientación se pueden encontrar en los sistemas técnicos con los cuales trabajaría el transformador a diseñar, en las limitaciones humanas (ergonomía) y en las exigencias del sistema a diseñar, la normalización se debe tener en cuenta. La comparación con sistemas parecidos pueden servir de ayuda. Los cálculos aproximados

eléctricos y mecánicos así como la experiencia del diseñador también juegan un papel importante. Se pueden emplear, recomendaciones de normas, monogramas y tablas. La elaboración de la forma del proyecto no debe de ninguna manera responder a un cálculo detallado de sus elementos. Se debe tratar de lograr solo una forma aproximada del proyecto.

b)- Disposición y elaboración de la forma aproximada.

A partir del bosquejo del concepto de solución. Uno se puede dedicar a la disposición de los sistemas parciales o componentes. Las posibilidades de disposición son numerosas, sin embargo la decisión en la disposición del transformador es precisamente el primer punto más importante en el proyecto preliminar. El segundo punto importante es la configuración básica de cada uno de los componentes del transformador; Esta etapa es iterativa y se puede realizar muchas veces dando lugar a variantes.

c)- Determinación del tipo de material, tipos de procesos de fabricación, tolerancias y calidad del acabado superficial en cada uno de los casos.

Por lo general en el diseño no es necesario para el proyecto preliminar fijar las características de diseño antes mencionadas. La excepción son las superficies de efecto, donde a menudo los datos del material se recomiendan, cuando se trata de una propiedad fijada, también aunque sin mucha fuerza de decisión en el proyecto preliminar, **la forma de los elementos de construcción implícitamente fijan los procesos de fabricación así como su montaje.** La selección del material o algunas propiedades del diseño se van perfilando en forma iterativa, sin embargo una decisión definitiva no es posible, ni indispensable en esta etapa.

d)- Examinar las zonas de configuración deficientes o débiles

En los sistemas técnicos de los transformadores se encuentran muchos aspectos o zonas de configuración que pueden ser deficientes entre los cuales se pueden mencionar algunas como:

- Ubicación del conmutador de tomas, dependiendo si este es un conmutador en vacío o bajo carga
- Ubicación del tanque conservador
- Espacio para las conexiones internas y derivaciones
- Vigas de refuerzo para la tapa y tanque del transformador
- Disposición de bushings y transformadores de corriente tipo pasantes
- Disposición óptima de radiadores
- Distancias internas Bobina- tanque, Partes vivas – tanque, etc.

Según diferentes puntos de vista estos pueden dar lugar a una variedad de soluciones, las cuales a su vez juegan un papel importante en la solución total o tienen una gran influencia en el proceso de optimización.

e)- Representación del proyecto preliminar

La representación de una estructura aproximada se hace a través de un bosquejo del proyecto, este puede ser hecho en computadora con un paquete de diseño adecuado o hecho a mano alzada. El objetivo de esta parte es la de comunicar claramente y sin dudas las ideas al lector del plano.

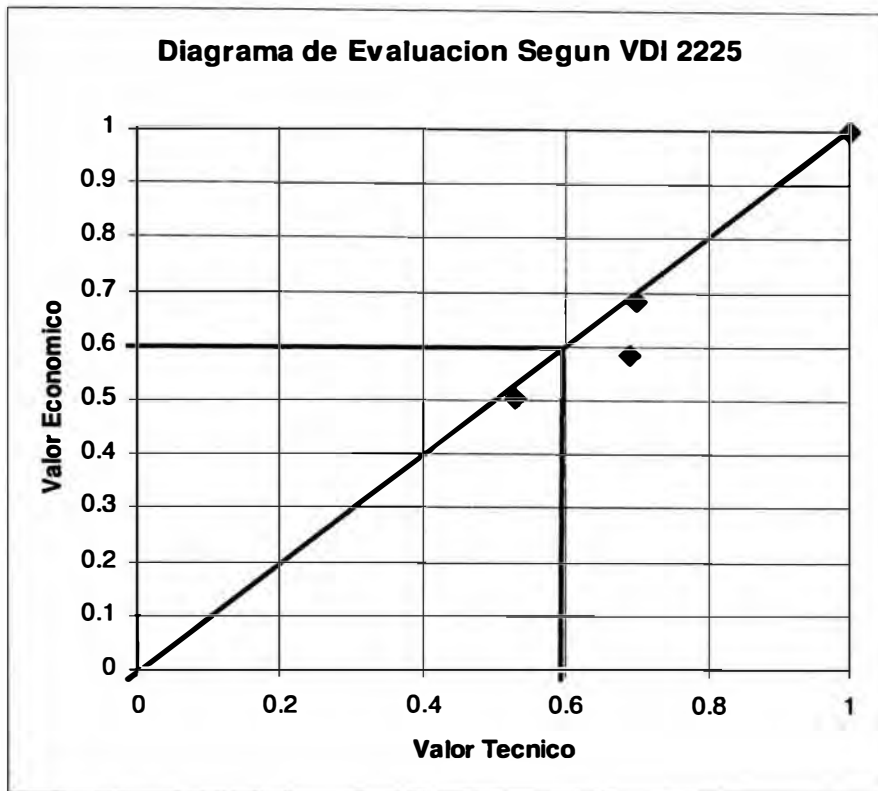
3.3.2 Determinación del Proyecto preliminar óptimo, Mejoramiento, evaluación y verificación.

La evaluación de las alternativas de las estructuras de construcción y los bosquejos del proyecto preliminar son más exactas porque las características del diseño

están ya fijadas. De estos bosquejos se pueden ver claramente el valor de los criterios escogidos. Ya que es posible obtener o estimar los datos de los factores que influyen en los costos de fabricación existe entonces la primera posibilidad de proceder a un estimado aproximado del costo. A este nivel es ya posible practicar un primer análisis técnico económico de las alternativas, esta evaluación se realizara aplicando las recomendaciones las recomendaciones de la norma VDI2225, que establecen los criterios tanto técnicos como económicos y dan un puntaje de 0-4 a cada alternativa. Para poder apreciar la calificación de las alternativas se someten estas a una tabla donde se representan los valores relativos alcanzados por cada una con respecto a la solución ideal. Solo se tienen en cuenta las alternativas que hayan alcanzado valores ≥ 0.6 . Las alternativas que se acercan más al valor ideal son las mejores. Se recomiendan los valores:

- x_i e y_i mayores que 0.8 son muy buenas,
- Igual a 0.7 son buenas soluciones y
- Menores que 0.6 son soluciones deficientes.

A continuación se muestra un diagrama de evaluación y un formato para la evaluación técnica y económica, ambos según VDI2225



DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA							AREA DE INGENIERIA				
Proyecto: OP:											
Escala de valores según VDI 2225 con puntajes p de 0 a 4 : 0= No satisfice, 1=Acceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal)											
Criterios de evaluacion para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variantes de concepto / Proyecto				S1		S2		...Si		S ideal	
Nro	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
Puntaje Máximo											
valor Técnico y/o economico											
Si : Soluciones / g: Peso ponderado / p: Puntaje / xi: Valor tecnico / yi: Valor economico											
$x_i, y_i = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{np_{max}} = \frac{\frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n}}{p_{max}} = \frac{p}{p_{max}} \leq 1$ $x_i, y_i = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) p_{max}} \leq 1$											

3.3.3 Proyecto definitivo

Los datos de entrada en esta etapa son los bosquejos del proyecto preliminar óptimo y todos los documentos del proyecto elaborados hasta antes de esta etapa. En esta parte de la elaboración del proyecto se trata de afinar el proyecto preliminar escogido donde se logre una completa descripción de la estructura del diseño, aspirando a que esta sea definitiva.

a)- Fundamentos de determinadas propiedades del diseño

Para muchos diseñadores el problema esta resuelto con una demostración a través de cálculos eléctricos y mecánicos. Sin embargo la problemática es muy amplia. Para mas detalles hay que ver las restricciones del diseño y las reglas básicas para proyectar. Lo que hacen ambas recomendaciones es recordar en forma ordenada las cuestiones que no se deben olvidar al momento de proyectar. Las dos son semejantes, la primera es un listado de restricciones y la segunda es un cuestionario.

b)- Restricciones en el diseño

1.- Restricciones técnicas

Funciones, Fabricación, montaje, Tolerancias Solicitaciones, Seguridad, Confiabilidad, Pruebas y control, propiedades de los materiales, influencia del medio ambiente, influencias propias, mantenimiento, peso, volumen, masa.

2.- Restricciones económicas

Costo mínimo referido a fabricación, montaje, pruebas, almacenamiento, transporte, etc. Costo mínimo referido a calidad y cantidad de materiales.

Costo mínimo de funcionamiento así como empleo de piezas estandarizadas normalizadas.

3.- Restricciones condicionadas por el medio

Emisiones, materiales dañinos, Ruidos molestos, etc.

4.- Restricciones ergonómicas

Manipulación y servicios, libertad de reacción.

5.- Restricciones basadas en seguridad de la vida y la salud

Protección contra explosiones

6.- Restricciones como consecuencia de las condiciones del mercado

Diseño, apariencia, forma, patentes

c)- Disposición definitiva, elaboración de las formas

En parte es una repetición de la fase 3.3.1.b pero en un plano mas concreto; como no se trata de dibujos de construcción se pueden asignar medidas, u otras particularidades siempre y cuando esto aclare alguna función particular del sistema.

d)- Optimización de formas de débil configuración

La optimización de determinadas zonas tiene que tener de todas maneras una relación con la evaluación técnica y económica. Es necesario en esta etapa para evitar posteriores retrasos o rechazos del diseño una dedicación especial a los puntos débiles, principalmente a los que tiene que asegurar el funcionamiento.

e)- Representación del proyecto de construcción.

La representación del proyecto debe cumplir con todas las reglas de dibujo. Se debe presentar un dibujo de ensamble a seca adecuada en a posición de trabajo o en la que se muestre el mayor numero de piezas. El dibujo debe ser claro, donde se reconozca el funcionamiento del sistema, La lista de piezas y sus materiales es indispensable, en

ella se debe nombrar a las piezas, el nombre que se le da a estas deben de tener relación con la función que realiza además se debe indicar el material de que esta hecho o si esta sujeta a alguna norma. Se pueden consignar todas las medidas que sean necesarias para tener una idea de las proporciones. Las secciones o detalles a escalas ampliadas también son permitidos. La calidad del dibujo puede ser decisiva para la aceptación del proyecto por parte del cliente o para tomar la decisión de su continuación.

f)- Determinación del proyecto optimo del diseño

Evaluación, mejora y verificación

A este nivel la optimización y evaluación tiene gran significado y por cierto no solamente respecto a la calidad del sistema técnico sino también para el proceso de diseño mismo. Si hasta este punto se ha usado solamente una parte del costo total del diseño, este crece muy rápido en el siguiente paso; la elaboración de los detalles. Una buena configuración inicial evitara el hacer grandes cambios en el futuro, lo cual es muy conveniente pues a medida que uno avanza en el proyecto el costo de hacer los cambios es mayor.

La evaluación debe ser lo mas exacta posible

Teniendo planos y un informe técnico la evaluación no la debe hacer necesariamente el diseñador, esta evaluación al puede hacer un especialista o un equipo de especialistas. Se debe tomar una solución definitiva de presentarse varias alternativas equivalentes. Se debe hacer una comparación con la lista de exigencias, es decir, comprobar si el proyecto satisface las exigencias y deseos. Los criterios de evaluación se obtienen de la lista de exigencias y de las características técnicas del sistema.

3.4 Elaboración de detalles

Como datos de entrada tenemos el en esta fase del diseño el proyecto definitivo del sistema técnico. Una vez aceptado el proyecto, ya sea por el cliente o por la instancia superior en la oficina de diseño, entra en su fase final; en esta fase se complementará y elaborará la documentación necesaria para su fabricación.

3.4.1 Proporcionar Fundamentación

Se trata aquí únicamente de completar los cálculos de los componentes que por su poca importancia no fue necesario hacerlo antes. Estos datos y decisiones se deben adjuntar y completar en el informe técnico del sistema.

3.4.2 Elaboración de formas, dimensiones definitivas y completas.

Se trata básicamente de la elaboración de dibujos de construcción. Para cada una de las piezas que se deben fabricar se tiene que elaborar los planos respectivos.

3.4.3 Determinación completa y definitiva del material y clase de fabricación.

Si de fabricar se trata, se tienen que fijar los tipos de materiales y su estado para cada pieza. Los materiales y el proceso de fabricación de cada una de las piezas no siempre dependen de los cálculos que se han hecho sino del tamaño de la producción (producto único, pequeña serie, producción en masa). Pero las tolerancias se fijan principalmente por la función y la fabricación. Lo anteriormente mencionado es aplicable a la fabricación de ruedas para transformadores, estos se fabrican en pequeñas series, en rangos de acuerdo al peso del transformador.

3.4.4 Determinación del estado del montaje

Si hay una variación sustancial con respecto al dibujo del montaje presentado en la etapa anterior, puede ser necesario hacer nuevos planos de ensamble. También el estado del montaje imprescindible para el caso de componentes que varían su configuración inicial de fabricación al efectuar el montaje. (Componentes soldados, doblados, etc.)

3.4.5 Representación de las piezas, dimensionado, tolerancias y material.

Basta con cumplir las reglas de dibujo mecánico. Lo ideal es hacer dibujos a escala, sin embargo los dibujos a mano alzada también son usuales, estos reemplazan fácilmente los dibujos a escala en pequeños talleres o cuando se tiene prisa en realizar una reparación, siempre teniendo sumo cuidado en colocar las dimensiones. Una forma alternativa de representar piezas es la de utilizar planos normalizados con dimensiones en forma de parámetros, es decir, las dimensiones son letras que en algunos caso tienen relación con otras piezas normalizadas, estos planos solo contienen el dibujo en si pero la lista de materiales esta contenida en otro documento el cual también contiene el valor de cada parámetro del dibujo, de preferencia estos se enlazan con otros planos y listas de materiales por medio de un software que actúa como administrador de la base de datos, de esta forma se disminuye la producción de planos adicionales y se ahorra tiempo en el diseño ya que en muchos casos se pueden diseñar nuevas piezas con solamente cambiar los parámetros de una pieza similar o parecida hecha anteriormente que esta almacenada en una base de datos. Cada dibujo de una pieza o ensamble debe tener su nombre, código de acuerdo a su posición relativa en el transformador, el material, la escala dibujada (no es necesario cuando se diseña usando planos

normalizados con parámetros) y también de ser posible el número de la posición en el ensamble.

3.4.6 Detalles de planos en conjunto, lista de piezas y otros documentos.

Los ensambles y sub ensambles son indispensables tanto para comprobar la compatibilidad de piezas durante el diseño, como también para permitir y mostrar el montaje y desmontaje de ellas. Los ensambles o planos de montaje hacerlos de preferencia a escala. En la lista de piezas se debe tener cuidado en para nombrar las piezas, el nombre de las piezas debe ser una descripción con los parámetros que permitan su identificación ya sea para fabricación propia o para su adquisición. Cuando se requiere dar una información adicional (marca, código de algún fabricante) usar la columna de observaciones. La numeración de piezas debe corresponder también al criterio establecido en la firma: por familia, por pertenencia al producto, por importancia y posición en el ensamble, etc.

3.4.7 Mejora, evaluación y verificación.

En esta última fase del diseño no se trata simplemente de dibujar todas las piezas que conforman el transformador. Al mismo tiempo también se debe optimizar los detalles de cada una de las piezas en cuanto a forma, material, ajuste, esto se hace con el propósito de facilitar la fabricación y reducir costos. En lo posible tener en cuenta las normas técnicas existentes y de preferencia usar las piezas que tienen política de stock en almacén, y que se fabrican o se pueden fabricar dentro de la firma, o las que son fáciles de adquirir en el mercado. El control de los planos, es una actividad que debe ser permanente, debe hacerse basándose en de 3 puntos de vista fundamentales: función, montaje y fabricación.

3.5 Aseguramiento de la calidad en el diseño

El objetivo del aseguramiento de calidad en esta etapa es la de establecer las actividades y responsabilidades para la realización de la revisión, verificación y validación del diseño eléctrico y mecánico. La revisión y verificación del diseño eléctrico y mecánico está a cargo del departamento de diseño y su validación está a cargo del área de Sala de Pruebas. Los elementos de Entrada para esta etapa son:

- **Planos eléctricos y mecánicos debidamente codificados.**
- **Orden de Venta.**
- **Especificaciones técnicas del cliente, en caso las hubiera.**

El proceso comienza con la revisión y verificación del diseño considerando las características del producto, los elementos relacionados con las necesidades y la satisfacción del cliente, tales como:

- Comparación de las necesidades del cliente que figuran en la orden de venta con las especificaciones técnicas de los materiales, procesos y productos.
- Características del producto de acuerdo a las condiciones de uso previstas.
- Cumplimiento con normas técnicas.
- Consideraciones de facilidad de transporte, instalación y montaje.
- Facilidad para la fabricación y ensayos del producto.

Todos los documentos de salida emitidos por el departamento de diseño son revisados por una persona autorizada, distinto al emisor, colocando un “visto” al costado de los datos a revisar. La revisión comprende tanto los cálculos numéricos como las bases conceptuales. La revisión y verificación del diseño se debe realizar al término del diseño en cada una de sus etapas.

La verificación del diseño consiste en contrastar que los documentos de salida satisfagan los requisitos especificados en los documentos de entrada. Esta verificación puede ser realizada por la misma persona que revisó el diseño, firmando el documento en el lugar indicado, en señal de conformidad. Los diseños son distribuidos a través de un Directorio de uso común de acceso a las áreas autorizadas como Planeamiento y Producción, Control de Calidad y Sala de Pruebas. La validación del diseño está encargada al área de Sala de Pruebas quien verifica el cumplimiento satisfactorio de todos los ensayos finales efectuados al producto con el protocolo de pruebas correspondiente, según los programas de inspección y ensayo de la referencia.

3.6 El diseño y los costos

3.6.1 Magnitudes que afectan los costos de fabricación

Los diseñadores pueden diseñar con costos favorables cuando trabajan en colaboración con todas las divisiones de la empresa. Al lado de la preparación de la fabricación, la fabricación, montaje, compras y ventas también están los proveedores. Además hay influencias externas a la empresa.

Existen muchas influencias en los costos de fabricación, se presentara solamente las influencias fundamentales:

Lista de exigencias

Concepto de solución

Tamaño de componentes

Numero de componentes

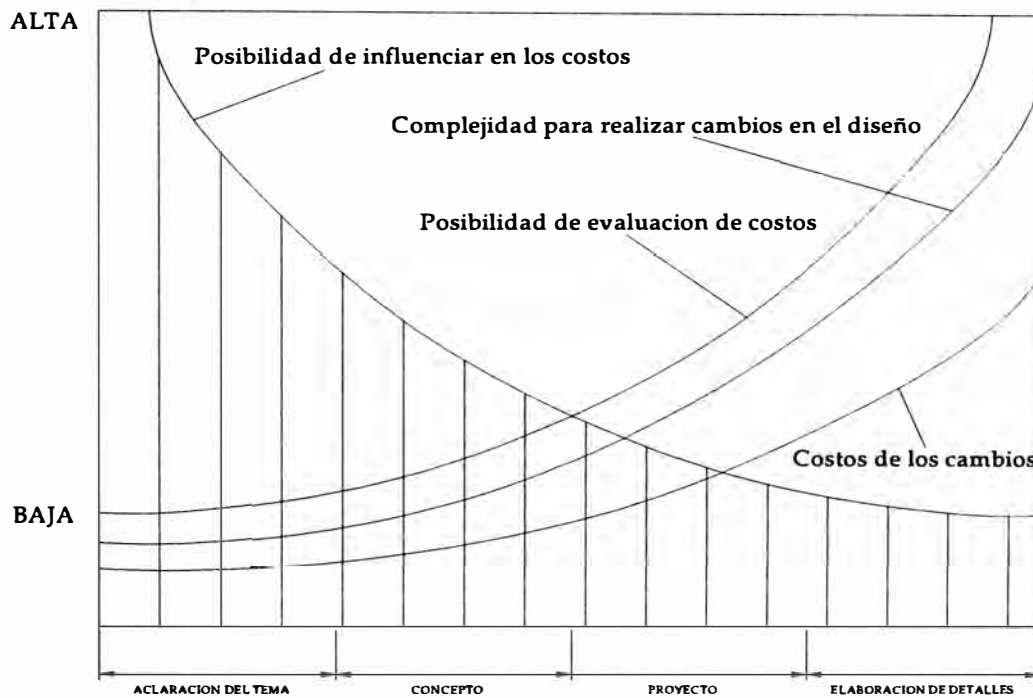
Lista de exigencias

En la lista de exigencias se fijan todas la exigencias y deseos del cliente y con esto naturalmente también los costos. No solamente los costos de fabricación los datos técnicos y las propiedades exigidas en la ejecución se realizan solamente con costos.

Concepto de solución

Con la determinación del concepto de solución se tiene gran influencia en los costos del producto. Aunque en esta fase con bosquejos simples se puede evaluar muy poco, el diseñador de transformadores debe trabajar soluciones con costos favorables haciendo apreciaciones con mucha experiencia y coordinación con otras divisiones. La figura adjunta representa la influencia y evaluación de los costos a través de las diferentes

fases del diseño. Además se puede ver la trayectoria que los cambios o mejoras y la complejidad que significa hacerlos. Especialmente se puede observar como aumentan los costos de los cambios en la fase de elaboración de la ingeniería de detalles, esto explica el porque se deben tomar las decisiones correctas en las primeras fases.



Tamaño de los componentes

El tamaño de los componentes es un factor decisivo en los costos. Se sabe que las soluciones con componentes pequeños son más favorables, ya que ahorra en costos de material, los cuales crecen con el tamaño de los componentes.

Numero de componentes

El costo por componente depende si este es de fabricación única o si se fabrica en serie. Sin embargo no se debe sobreestimar la influencia del número de componentes, esta influencia se debe conversar con los especialistas de la fabricación lo que puede conducir a resultados más creíbles. Estas reglas tienen las siguientes razones:

Diseño optimo para fabricación en serie

Uso de piezas , componentes y bloques estandarizados

Mejores condiciones para compras en grandes cantidades

Aplicación de procesos de fabricación de alto rendimiento

Prorrateo por costos únicos.

Reducción de tiempos de fabricación para piezas y componentes en serie

CAPITULO 4

RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA APLICADA A UN TRANSFORMADOR DE 10/12 MVA , 13.8/4.16 KV , 60HZ

4.1 Lista de exigencias

4.2 Cálculos Electromecánicos

4.3 Planos para la Aprobación del Cliente

TRANSFORMER NO: OP 750070							
	UNIT	REQUIRED			MANUFACTURER		
		HIGH VOLTAGE	MEDIUM VOLTAGE	LOW VOLTAGE	HIGH VOLTAGE	MEDIUM VOLTAGE	LOW VOLTAGE
A RATING							
1.	CAPACITY (CONTINUOUS SELF-COOLED RATING)	MVA	10		10		
2.	RATED CIRCUIT VOLTAGE	VOLTS	13800		4160		
3.	CONNECTION OF WINDINGS		Dyn1				
4.	FREQUENCY	HERTZ	60				
5.	PHASE		3				
6.	TEMPERATURE RISE	°C	50°C / 55°C				
7.	RATING WITH FANS INSTALLED	MVA	12		12		
8.	BASIC IMPULSE LEVEL	kV	95		60		
9.	IMPEDANCE STANDARD/SPECIAL REQUIREMENTS	%	5.5% (10MVA, 13.8/4.16kV OA) 6.6% (12MVA, 13.8/4.16kV FA)				
B OPERATING DATA							
1.	AMBIENT TEMPERATURE (IF EXCEEDING 40°C MAX / OR 30°C, 24HR. AVERAGE)	°C	40° max				
2.	ALTITUDE	m.	3500msnm				
3.	AVERAGE LOAD	%FL					
4.	EVALUATION FACTOR	\$/kW					
5.	AREA CLASSIFICATION						
C CONSTRUCTION							
1.	CLASS (OA OIL INMERSED, SELF-COOLED, OA/FA- OIL, SELF/FORCED AIR COOLED, OA/FA/FOA- OIL, SELF/FORCED AIR/FORCED OIL COOLED, OA/FA/FFA- OIL, INMERSED SELF COOLED 55°C, 65°C, FUTURE FORCED AIR COOLED)	OA/FA					
2.	INSULATED LIQUID:						
	OIL/SILICONE/OTHER	OIL					
3.	SERVICE (POWER/LIGHTING/INSTRUMENT/CAPTIVE)	Power					
	INFORMATION NEEDED FOR CAPTIVE TRANSFORMERS						
	MOTOR STARS PER HOUR						
	MOTOR INRUSH CURRENT						
	KVA OF MOTOR						
4.	ENCLOSURE FOR (INDOOR/OUTDOOR) INSTALLATION	Outdoor					
5.	HIGH VOLTAGE NO LOAD TAPS						
	QUANTITY ABOVE TAP SIZE %		+2x2.5%				
	QUANTITY BELOW TAP SIZE %		-2x2.5%				
6.	MOUNTING (FLOOR/WALL/CROSSARM)	Floor					
7.	BUSHINGS						
	PHASES (WALL/COVER or TOP/VAULT/POLE/PAD/SKID)		WALL		WALL COVER		
	NEUTRAL (WALL/COVER or TOP/VAULT/POLE/PAD/SKID)				COVER		

8.	CONDUCTOR TYPE (CABLE/TUBING/BAR) (Al/Cu)	Cable Cu						
	N° PER PHASE /CONDUCTOR ZISE							
	CONNECTION (THREADED/NEMA PAD 4HOLE)	Threaded						
9.	TERMINAL COMPARTMENT							
	CABLE/BUS DUCT/FULL HEIGHT	Full height						
	ACCESS (HINGER DOOR/BOLTED)	Bolted						
	SPACE HEATER (YES/NO)	YES						
	DEVICE CONTAINS SILICAGEL FOR HUMIDITY CONTROL IN THE TERMINAL COMPARTMENT (YES/NO)	NO						
10.	CONDUIT HUBS	NO						
11.	TERMINATION (POTHEAD/TERMINATOR/HEAT SHRINKABLE) BY MFR	Heat shrinkable						
12.	SPECIAL PAINTING REQUIREMENTS	Poliuretane ANSI 70						
13.	MASTIC UNDERCOAT (YES/NO)	YES						
14.	TERTIARY WINDING REQUIRED	NO						
15.	ON LOAD/ OFF LOAD TAP CHANGING REQUIRED (OLTC/NLTC)	Off load						
D DATA TO BE PROVIDED BY VENDOR								
1.	MANUFACTURER TYPE DESIGNATION	ANSI C57.12						
2.	CURRENT-FULL LOAD AT RATED VOLTAGE	AMPS.	418/502			1388/1665		
3.	COVER (BOLTED/WELDED)	Bolted						
4.	TANK DESIGN (VENTED/SEALED/CONSERVATOR/GAS-OIL SEAL)	Conservator						
5.	OIL	Kg				2800		
6.	WEIGHT OF TRANSFORMER WITH OIL	kg				12800		
7.	GUARANTEED MAXIMUM LOSSES							
	Cu LOSSES without armonics	kW				28.4 (10MVA, 13.8/4.16kV)		
	Fe LOSSES	kW				8.4		
	LOAD LOSSES AT 100% LOAD ON SELF-COOLED RATING	kW						
8.	MAXIMUM SHIPPING DIMENSIONS AND WEIGHT	kg				15000 (main tank)		
9.	OVERALL DIMENSION OF TRANSFORMER WHEN COMPLETED INSTALLED	LxAxH				3500x2900x3200		
D DATA TO BE PROVIDED BY VENDOR						REQUIRED	MANUFACTURER	
10. THE THERMAL DAMAGE CURVE OF THE TRANSFORMER MUST BE GIVEN WITH THE PRO POSAL. IT WILL BE USED TO SELECT THE OVER CURRENT PROTECTION DEVICE								
E ACCESORIES								
1.	PROVIDE ANSI STANDARD ACCESORIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO THE FOLLOWING							
	A. OIL LEVEL GAGE WITH ALARM CONTACTS (TOP OIL AND WINDING)					YES		
	B. THERMOMETER, DIAL TYPE WITH ALARM AND TRIP CONTACTS					YES		
	C. PRESSURE-VACUUM GAGE					YES		

	D. PRESSURE-RELIEF DIAPHRAGM IN COVER WITH ALARM AND TRIP CONTACT	YES
	E. STAINLESS-STEEL NAMEPLATE	YES
	F. SAMPLING DEVICE (OIL AND GAS)	
	2. PROVIDE THE FOLLOWING ACCESSORIES WHEN SPECIFIED	
	A. PRESSURE REGULATOR	YES
	B. PROVISION FOR FUTURE COOLING FANS	
	C. COOLING FANS FOR OPERATION	YES
	D. SUDDEN PRESURE RELAYS WITH ALARM AND TRIP CONTACT/RELE BUCCHOLZ	YES
	E. NEUTRAL C.T.	YES
	F. GROUND RESISTOR	
	PROVIDED WITH TRANSFORMER (YES/NO)	YES
	VOLTAGE/AMPERE	4.16kV/400A Linea-Linea
	WITH TAP(YES/NO)	NO
	MOUNTING (ON TRANSFORMER/STAND)	STAND
	G. BUSHING C.T.'s LV SIDE	200/5 C80 1 und.
	H. SURGE ARRESTORS (STATION TYPE)	YES
F	TESTING	
	1. THE FOLLOWING TEST SHALL BE IN ACCORDANCE WITH ANSI C-57	
	A. WINDING RESISTANCE	YES
	B. RATIO	YES
	C. POLARITY AND PHASE RELATIONSHIP	YES
	D. NO LOAD LOSSES AND EXITING CURRENT	YES
	E. IMPEDANCE AND LOAD LOSS	YES
	F. APPLIED AND INDUCED POTENTIAL	YES
	G. TEMPERATURE	YES
	2. ADDITIONAL AND SPECIAL TEST IN ACCORDANCE WITH ANSI C-57 REQUIRED WHEN SPECIFIED	
	A. IMPULSE	YES
	B. INSULATION RESISTANCE	YES
	C. INSULATION POWER FACTOR	NO
	D. SOUND LEVEL	YES
	E. SHORT-CIRCUIT CAPABILITY	NO
		NO
	3. WITNESS TEST REQUIRED	NO
	4. CERTIFIED TEST RESULTS REQUIRED	YES

G GENERAL SPECIFICATIONS					
1. Patines de deslizamiento en la base del transformador					
2. Temperatura para Tcc y Perdidas en cobre : 75°C					
3. BIL bushings AT : 125kVp					
4. BIL bushings BT : 75kVp					
5. BIL bushings NBT : 75kVp					
6. Factor de perdidas por armonicos K=4.0					
A	09/2005		RR	FM	
REV.	DATE		BY	CH'K	
			POWER TRANSFORMER DATA SHEET		
				REV.	
				A	

Stage System	1	2		Frequency Hz	60
Power kVA	10000	10000		Duty	Continuous
Stage V	13800	4160		Standard	ANSI
Tapings %	+2x2.5			Connection Group	Dyn1
Current A	418.37	1387.90		Sound level dBA	64.3
Insulation Level kV					

Core Data							
Core diameter	400 mm	Weight	6869.9 kg	Material	23D084	P0 factor / SL	1.1
Core Spacing	720 mm	Area	1152 cm ²	p0/kg	1.303 W/kg	P0	8950 W
Core Height	1400 mm	Induction	1.597 T	s0/kg	4.455 VA/kg	I0	0.4 %

Winding Data					
Winding no. / Volt. System	1 / 2	2 / 1			
Winding type / Material	Helical HEL2 S / Cu	Multi Layer MLA8 S / Cu			
Turns	49	296 - 4x7			
Radial parts	1	1			
Turns / axial part	0	296			
Winding part height mm	0	1218			
Layers	1	25			
Turns / layer	49	12			
Radicals	2	6			
Radial gaps mm	2				
Winding to top yoke mm	86	106			
Winding to bottom yoke mm	56	76			
Winding height mm	1258	1218			
Insulation duct mm	8	12			
Build-C.Ducts (L. ins.) mm	62 (0)	71.5 - 2x5 (0.25/0.25)			
Core diameter in/out (phase) mm	416 / 540	564 / 707 (13)			
Number of duct sticks	12	16			
Conductor (Cond. ins.) mm	10.3x2.12 (0.4)	15.1x1.90 (0.25)			
Core axial x radial build mm	10.68x2.58	15.37x2.19			
Conductor length m	48x223.75	6x1778.90			
Conductor weight kg	2062.0	2703.2			
Winding current A	1387.90 - 1387.90 - 1387.90	230.04 - 241.55 - 254.26			
Core cross section mm ²	1030.8	169.98			
Current density A/mm ²	1.346 - 1.346 - 1.346	1.353 - 1.421 - 1.496			
Core losses W	9082.4 - 9082.4 - 9082.4	12031.0 - 12637.0 - 13307.0			
Winding losses %	9.95	9.87			
Winding losses W	9986 - 9986 - 9986	13219 - 13885 - 14621			
Temperature gradient °C	9.56 - 9.56 - 9.56	7.63 - 8.30 - 9.05			
Short-circuit current ratio	19.5 - 19.5 - 19.5	19.5 - 19.5 - 19.5			
Core strength /Tensile stress N/mm ²	28/0 28/0 28/0	0/38 0/40 0/42			
Short-circuit withstand time s	23.9 - 23.9 - 23.9	23.7 - 21.5 - 19.4			

Performance Data				
	S kVA	Load losses W	Additional losses W	Total load losses W
Syst. 1-2	10000	23205 - 23871 - 24607	4709 - 4719 - 4730	27920 - 28600 - 29340
Syst. 1-3				
Syst. 2-3				
	S kVA	Xk %		Zk %
Syst. 1-2	10000	5.37 - 5.37 - 5.37		5.38 - 5.38 - 5.38
Syst. 1-3				
Syst. 2-3				

Bars			
Outer		Outer	Terminal

Prepared	08/09/2005	Responsible Department ING Take-Over Department PTPR	Title	
Validated	08/09/2005			
Approved				
Revision				
		Document No.	750070-ONAN	

Voltage System	1	2		Frequency Hz	60
Power kVA	11276	11276		Duty	Continuous
Voltage V	13800	4160		Standard	ANSI
Tappings %	+2x2.5			Connection Group	Dyn1
Current A	471.75	1565.00		Sound level dBA	0
Insulation Level kV					

Core Data							
Parameter	400 mm	Weight	6869.9 kg	Material	23D084	P0 factor / SL	1.1
Winding Spacing	720 mm	Area	1152 cm ²	p0/kg	1.303 W/kg	P0	8950 W
Winding Height	1400 mm	Induction	1.597 T	s0/kg	4.455 VA/kg	IO	0.4 %

Winding Data			
Winding no. / Volt. System	1 / 2	2 / 1	
Winding type / Material	Helical HEL2 S / Cu	Multi Layer MLA8 S / Cu	
Turns	49	296 - 4x7	
Radial parts	1	1	
Turns / axial part	0	296	
Winding part height mm	0	1218	
Layers	1	25	
Turns / layer	49	12	
Radicals	2	6	
Spacers mm	2		
Radial gaps mm			
Winding to top yoke mm	86	106	
Winding to bottom yoke mm	56	76	
Winding height mm	1258	1218	
Insulation duct mm	8	12	
Build-C.Ducts (L. ins.) mm	62 (0)	71.5 - 2x5 (0.25/0.25)	
Parameter in/out (phase) mm	416 / 540	564 / 707 (13)	
Number of duct sticks	12	16	
Conductor (Cond. ins.) mm	10.3x2.12 (0.4)	15.1x1.90 (0.25)	
Turn axial x radial build mm	10.68x2.58	15.37x2.19	
Conductor length m	48x223.75	6x1778.90	
Conductor weight kg	2062.0	2703.2	
Winding current A	1565.00 - 1565.00 - 1565.00	259.40 - 272.37 - 286.70	
Cross section mm ²	1030.8	169.98	
Current density A/mm ²	1.518 - 1.518 - 1.518	1.526 - 1.602 - 1.687	
IC losses W	11548.0 - 11548.0 - 11548.0	15298.0 - 16068.0 - 16920.0	
Eddy losses %	9.95	9.87	
Load losses W	12697 - 12697 - 12697	16808 - 17654 - 18590	
Gradient °C	12.06 - 12.06 - 12.06	9.37 - 10.19 - 11.12	
Short-circuit current ratio	17.3 - 17.3 - 17.3	17.3 - 17.3 - 17.3	
Temp./Tensile stress N/mm ²	28/0 28/0 28/0	0/38 0/40 0/42	
Short-circuit withstand time s	23.9 - 23.9 - 23.9	23.7 - 21.5 - 19.4	

Performance Data				
	S kVA	Load losses W	Additional losses W	Total load losses W
1. Syst. 1-2	11276	29505 - 30351 - 31287	6171 - 6183 - 6197	35680 - 36540 - 37500
2. Syst. 1-3				
3. Syst. 2-3				
	S kVA	Xk %		Zk %
1. Syst. 1-2	11276	6.06 - 6.06 - 6.06		6.07 - 6.07 - 6.07
2. Syst. 1-3				
3. Syst. 2-3				

Busbars		
Inner	Outer	Terminal

Prepared		Title	
W 08/09/2005			
Modified	Responsible Department		
W 08/09/2005	ING		
Approved	Take-Over Department		
	PTPR		
Revision			Page 1
		Document No.	
00066		750070-ONAN-K4	

Rating							
Rating System	1	2			Frequency Hz	60	
Power kVA	12000	12000			Duty	Continuous	
Rating V	13800	4160			Standard	ANSI	
Impedance %	+2x2.5				Connection Group	Dyn1	
Current A	502.04	1665.40			Sound level dBA	64.2	
Insulation Level kV							

Core Data							
Core Diameter	400 mm	Weight	6869.9 kg	Material	23D084	P0 factor / SL	1.1
Core Spacing	720 mm	Area	1152 cm ²	p0/kg	1.303 W/kg	P0	8950 W
Core Height	1400 mm	Induction	1.597 T	s0/kg	4.455 VA/kg	IO	0.35 %

Winding Data			
Winding no. / Volt. System	1 / 2	2 / 1	
Winding type / Material	Helical HEL2 S / Cu	Multi Layer MLA8 S / Cu	
Turns	49	296 - 4x7	
Radial parts	1	1	
Turns / axial part	0	296	
Winding part height mm	0	1218	
Layers	1	25	
Turns / layer	49	12	
Helicals	2	6	
Spacers mm	2		
Radial gaps mm			
Winding to top yoke mm	86	106	
Winding to bottom yoke mm	56	76	
Winding height mm	1258	1218	
Insulation duct mm	8	12	
Build-C.Ducts (L. ins.) mm	62 (0)	71.5 - 2x5 (0.25/0.25)	
Core diameter in/out (phase) mm	416 / 540	564 / 707 (13)	
Number of duct sticks	12	16	
Conductor (Cond. ins.) mm	10.3x2.12 (0.4)	15.1x1.90 (0.25)	
Turn axial x radial build mm	10.68x2.58	15.37x2.19	
Conductor length m	48x223.75	6x1778.90	
Conductor weight kg	2062.0	2703.2	
Winding current A	1665.40 - 1665.40 - 1665.40	276.05 - 289.86 - 305.11	
Cross section mm ²	1030.8	169.98	
Current density A/mm ²	1.616 - 1.616 - 1.616	1.624 - 1.705 - 1.795	
AC losses W	13079.0 - 13079.0 - 13079.0	17325.0 - 18197.0 - 19162.0	
Cddy losses %	9.95	9.87	
Load losses W	14380 - 14380 - 14380	19035 - 19994 - 21054	
Gradient °C	13.60 - 13.60 - 13.60	10.43 - 11.34 - 12.38	
Short-circuit current ratio	16.3 - 16.3 - 16.3	16.3 - 16.3 - 16.3	
Comp./Tensile stress N/mm ²	28/0 28/0 28/0	0/38 0/40 0/42	
Short-circuit withstand time s	23.9 - 23.9 - 23.9	23.7 - 21.5 - 19.4	

Performance Data				
	S kVA	Load losses W	Additional losses W	Total load losses W
1. Syst. 1-2	12000	33415 - 34374 - 35434	7078 - 7092 - 7108	40500 - 41480 - 42560
2. Syst. 1-3				
3. Syst. 2-3				
	S kVA	Xk %		Zk %
1. Syst. 1-2	12000	6.45 - 6.45 - 6.45		6.46 - 6.46 - 6.46
2. Syst. 1-3				
3. Syst. 2-3				

Busbars		
Inner	Outer	Terminal

Prepared		Title	
W 08/09/2005			
Modified	Responsible Department		
W 08/09/2005	ING		
Approved	Take-Over Department		
	PTPR		
Revision			Page 1
		Document No.	
750066		750070-ONAF	

Rating System	1	2		Frequency Hz	60
Power kVA	13532	13532		Duty	Continuous
Voltage V	13800	4160		Standard	ANSI
Tapplings %	+2x2.5			Connection Group	Dyn1
Current A	566.14	1878.00		Sound level dBA	64.1
Insulation Level kV					

Core Data							
Core diameter	400 mm	Weight	6869.9 kg	Material	23D084	P0 factor / SL	1.1
Core Spacing	720 mm	Area	1152 cm ²	p0/kg	1.303 W/kg	P0	8950 W
Core Height	1400 mm	Induction	1.597 T	s0/kg	4.455 VA/kg	I0	0.3 %

Winding Data			
Winding no. / Volt. System	1 / 2	2 / 1	
Winding type / Material	Helical HEL2 S / Cu	Multi Layer MLA8 S / Cu	
Turns	49	296 - 4x7	
Radial parts	1	1	
Turns / axial part	0	296	
Winding part height mm	0	1218	
Layers	1	25	
Turns / layer	49	12	
Radicals	2	6	
Radial gaps mm	2		
Winding to top yoke mm	86	106	
Winding to bottom yoke mm	56	76	
Winding height mm	1258	1218	
Insulation duct mm	8	12	
Build-C.Ducts (L. ins.) mm	62 (0)	71.5 - 2x5 (0.25/0.25)	
Diameter in/out (phase) mm	416 / 540	564 / 707 (13)	
Number of duct sticks	12	16	
Conductor (Cond. ins.) mm	10.3x2.12 (0.4)	15.1x1.90 (0.25)	
Turn axial x radial build mm	10.68x2.58	15.37x2.19	
Conductor length m	48x223.75	6x1778.90	
Conductor weight kg	2062.0	2703.2	
Winding current A	1878.00 - 1878.00 - 1878.00	311.30 - 326.86 - 344.06	
Cross section mm ²	1030.8	169.98	
Current density A/mm ²	1.822 - 1.822 - 1.822	1.831 - 1.923 - 2.024	
IC losses W	16631.0 - 16631.0 - 16631.0	22031.0 - 23140.0 - 24367.0	
Eddy losses %	9.95	9.87	
Load losses W	18286 - 18286 - 18286	24206 - 25425 - 26773	
Gradient °C	17.12 - 17.12 - 17.12	12.82 - 13.96 - 15.25	
Short-circuit current ratio	14.4 - 14.4 - 14.4	14.4 - 14.4 - 14.4	
Comp./Tensile stress N/mm ²	28/0 28/0 28/0	0/38 0/40 0/42	
Short-circuit withstand time s	23.9 - 23.9 - 23.9	23.7 - 21.5 - 19.4	

Performance Data				
	S kVA	Load losses W	Additional losses W	Total load losses W
Syst. 1-2	13532	42492 - 43711 - 45059	9184 - 9202 - 9223	51680 - 52920 - 54300
Syst. 1-3				
Syst. 2-3				
	S kVA	Xk %		Zk %
Syst. 1-2	13532	7.27 - 7.27 - 7.27		7.28 - 7.28 - 7.28
Syst. 1-3				
Syst. 2-3				

Bars		
Inner	Outer	Terminal

Prepared		Title	
Modified	Responsible Department		
Approved	Take-Over Department		
Revision	PTPR		
		Document No.	
0066		750070-ONAF-K4	

RADIADOR ONAF

OF : 750070

DATOS :

Perdidas Calculadas	63.250	kW
Gradiente de Temperaturas del Aceite	47.3	C
Altitud de Trabajo	3500	m.s.n.m
Pérdidas a Disipar	72.738	kW

Area de Disipación del Tanque	1704	dm ²
Distancia entre ejes de Radiadores		mm
Delta " h "	415	mm
Distancia Horizontal entre Radiadores	580	mm
Caudal de Aire por Ventilador	140.4	m ³ /min
Número Tentativo de Radiadores	6	

RESULTADOS :

Disipación por el tanque (Wq)	7.732	kW
Disipación por Radiadores (WR)	65.005	kW
Sf' (Disipación Específica)	1.1030	kW/elem
Sigma	4.3196	m ³ /(min*kW)
K1(F.C. por Delta " h ")	0.9880	
K4 (F.C. por Sigma)	0.9954	
K5 (F.C. del Nro. de Radiadores por Vent.)	1.0000	
Sf (Disipación Especifica Corregida)	1.0847	kW/elem

Numero de Ventiladores	2
Numero de Elementos Necesarios	60
Numero de Elementos por Radiador	16
Numero Total de Elementos	96

Ventilación

Por un lado

Por ambos lados

Pérdidas a Disipar	72.738	kW
Disipación (Tanque + Radiadores)	111.86	kW
Factor de Seguridad	1.53	

Fecha 19.10.05

V.B. R.R./FM

RADIADOR ONAN

OF : 750070

DATOS :

Perdidas Calculadas	46.450	kW
Gradiente de Temperaturas del Aceite	50.0	C
Altitud de Trabajo	3500	m.s.n.m
Pérdidas a Disipar	51.095	kW

Area de Disipación del Tanque	1704	dm ²
Distancia entre ejes de Radiadores	1900	mm
Delta " h "	415	mm
Distancia Horizontal entre Radiadores	580	mm
Número Tentativo de Radiadores	6	

RESULTADOS :

Disipación por el tanque (Wq)	8.189	kW
Disipación por Radiadores (WR)	42.906	kW
Sn' (Disipación Específica)	0.5154	kW/elem
K1(F.C. por Delta " h ")	0.9879	
K2 (F.C. por Dist. Hor. entre Radiadores)	0.9900	
K3 (F.C. por Numero de Elementos)	0.9325	
Sn (Disipación Específica Corregida)	0.4700	kW/elem

Numero de Elementos Necesarios	92
Numero de Elementos por Radiador	16
Numero Total de Elementos	96

Pérdidas a Disipar	51.095	kW
Disipación (Tanque + Radiadores)	53.312	kW
Factor de Seguridad	1.043	

Fecha 19.10.05

V.B. R.R/FM.

Datos Generales

OP :	CT2 PRO NBT - X0
Cliente :	SOUTHERN PERU
Cantidad	1
Relacion :	200 MR / 5
Potencia :	20 VA C80
Clase :	3 PRO NBT- 10P20
Frecuencia :	60

Ulcacion :	EN NBT FASE X0
------------	----------------

Aplicación	DIN 10KV/2000
------------	---------------

Secundario

Aislamiento	Papel Crepe C 0.4 x 25 mm Papel aislante tipo ISOL P100 100gr/m2
-------------	---

Material	Alambre 12 AWG Doble Esmalte
Peso Cu. Kg	1.0
Espiras	40

Derivaciones

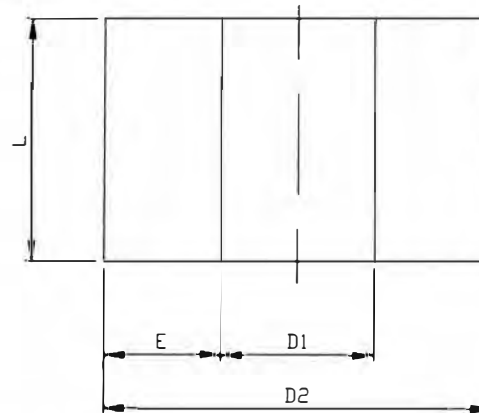
Toma	Espira
X1	0
X2	10
X3	20
X4	40
	0 0

Datos del Nucleo Toroidal (RECOCIDO)

L	150	E	48
D1	164		
D2	260		

Aislamiento exterior según
YPCT 401931a

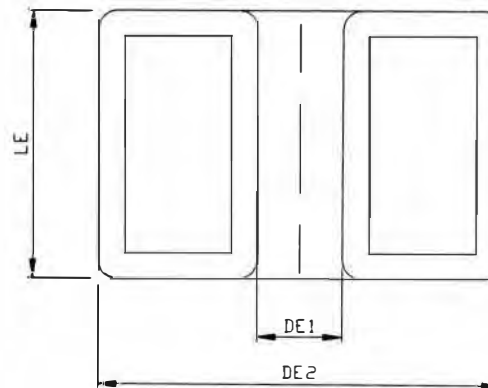
Peso del Nucleo (Kg): 35.5



- Acabado final : 1- CILINDRO Y TAPAS de proteccion con carton de 0.38 ó 0.5mm
2-Encintado con papel crepe de 0.4 mm de ajuste.
3- Encintado con papel termopox de 0.125 ó 0.18mm
4- Encintado con papel crepe de 0.4mm con traslape

Dimensiones Exteriores Terminado

DE1	151	LE	163
DE2	273		



Prep HPINTO/CESPINOZA	
Aprobado HPINTO	OP: 750070

Datos Generales

OP :	CT1 MED RIT AT-H2
Cliente :	
Cantidad	1 : H2
Relacion :	600 / 5
Potencia :	15 VA
Clase :	3 RIT-AT
Frecuencia :	60
Uicacion :	EN AT FASE H2
Aplicación	DIN20/630A
Secundario	
Aislamiento	Papel Crepe C 0.4 x 25 mm Papel aislante tipo ISOL P100 100gr/m2
Material	Alambre 12 AWG Doble Esmalte
Peso Cu. Kg	1.0
Espiras	120

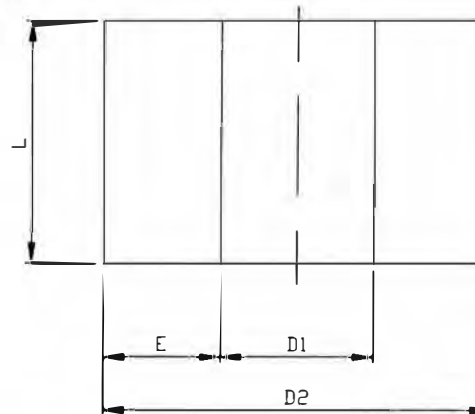
Derivaciones

Toma	Espira
S1	0
S2	120

Datos del Nucleo Toroidal (SIN RECOGER)

L	50	E	25
D1	114		
D2	164		

Aislamiento exterior según YPCT 401931a

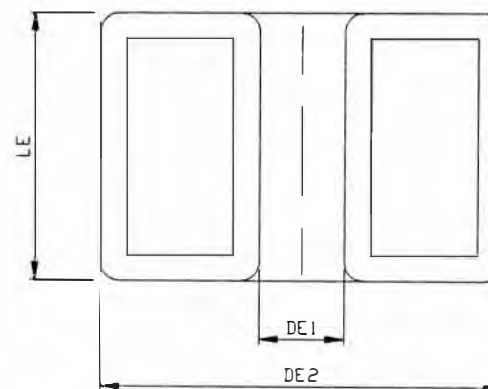


Peso del Nucleo (Kg): 4.5

- Acabado final :
- 1- CILINDRO Y TAPAS de proteccion con carton de 0.38 ó 0.5mm
 - 2- Encintado con papel crepe de 0.4 mm de ajuste.
 - 3- Encintado con papel termopox de 0.125 ó 0.18mm
 - 4- Encintado con papel crepe de 0.4mm con traslape

Dimensiones Exteriores Terminado

DE1	101	LE	63
DE2	177		



Prep HP/CE	
Aprobado HP	OP: 750070

CALCULO DE DISTANCIAS ELECTRICAS

DERIVACION :	AT	
SECCION DE CABLE (LINEA):	150	mm ²
SECCION DE CABLE (FASE):	95	mm ²
AMPERAJE		A
TENSION DE PRUEBA	34	kV

DISTANCIAS ELECTRICAS CABLE - TIERRA

DATOS

DIAMETRO CABLE DESNUDO (Do): 13 mm.

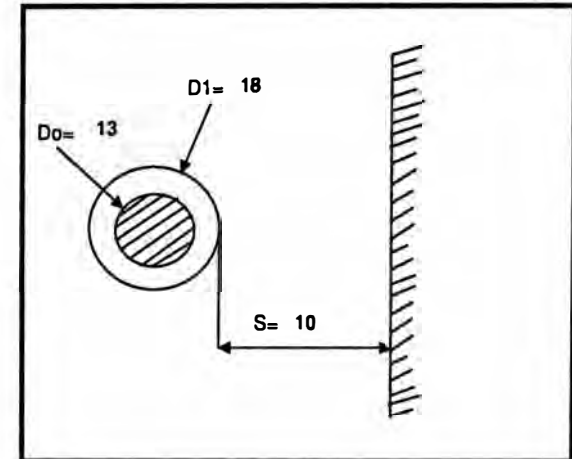
DIAMETRO CABLE AISLADO (D1): 18 mm.

DISTANCIA APROXIMADA (S): 10 mm.

TENSION

TENSION MAX. PERMITIDA: 49.65 kV

Calcular



DISTANCIAS ELECTRICAS CABLE - CABLE

DATOS

DIAMETRO CABLE DESNUDO (Do): 13 mm.

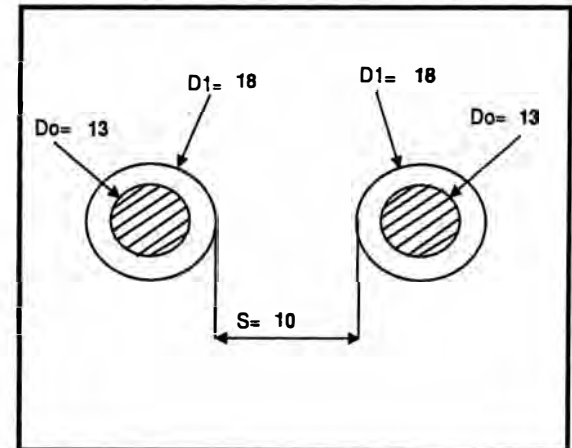
DIAMETRO CABLE AISLADO (D1): 18 mm.

DISTANCIA APROXIMADA (S): 10 mm.

TENSION

TENSION MAX. PERMITIDA: 64.36 kV

Calcular



CALCULO DE DISTANCIAS ELECTRICAS

DERIVACION :	BT	
SECCION DE CABLE (LINEA):		mm ²
SECCION DE CABLE (FASE):	240	mm ²
AMPERAJE		A
TENSION DE PRUEBA	19	kV

DISTANCIAS ELECTRICAS CABLE - TIERRA

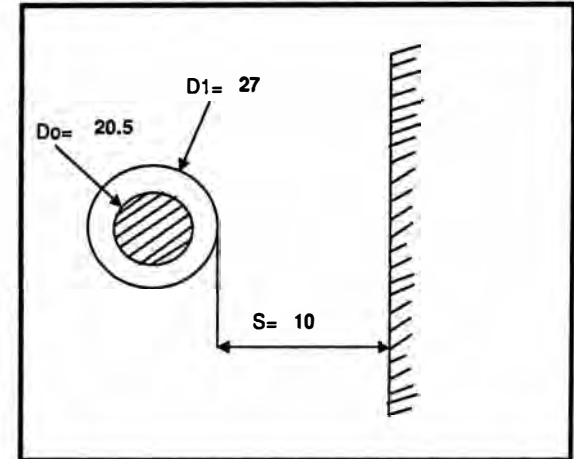
DATOS

DIAMETRO CABLE DESNUDO (Do):	20.5	mm.
DIAMETRO CABLE AISLADO (D1):	27	mm.
DISTANCIA APROXIMADA (S):	10	mm.

TENSION

TENSION MAX. PERMITIDA:	55.73	kV
--------------------------------	-------	----

Calcular



DISTANCIAS ELECTRICAS CABLE - CABLE

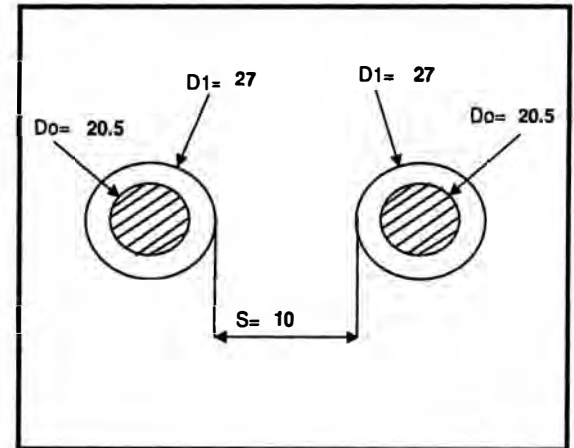
DATOS

DIAMETRO CABLE DESNUDO (Do):	20.5	mm.
DIAMETRO CABLE AISLADO (D1):	27	mm.
DISTANCIA APROXIMADA (S):	10	mm.

TENSION

TENSION MAX. PERMITIDA:	71.57	kV
--------------------------------	-------	----

Calcular

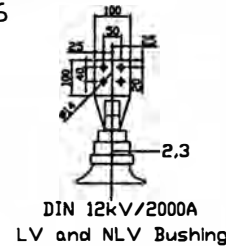
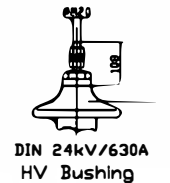
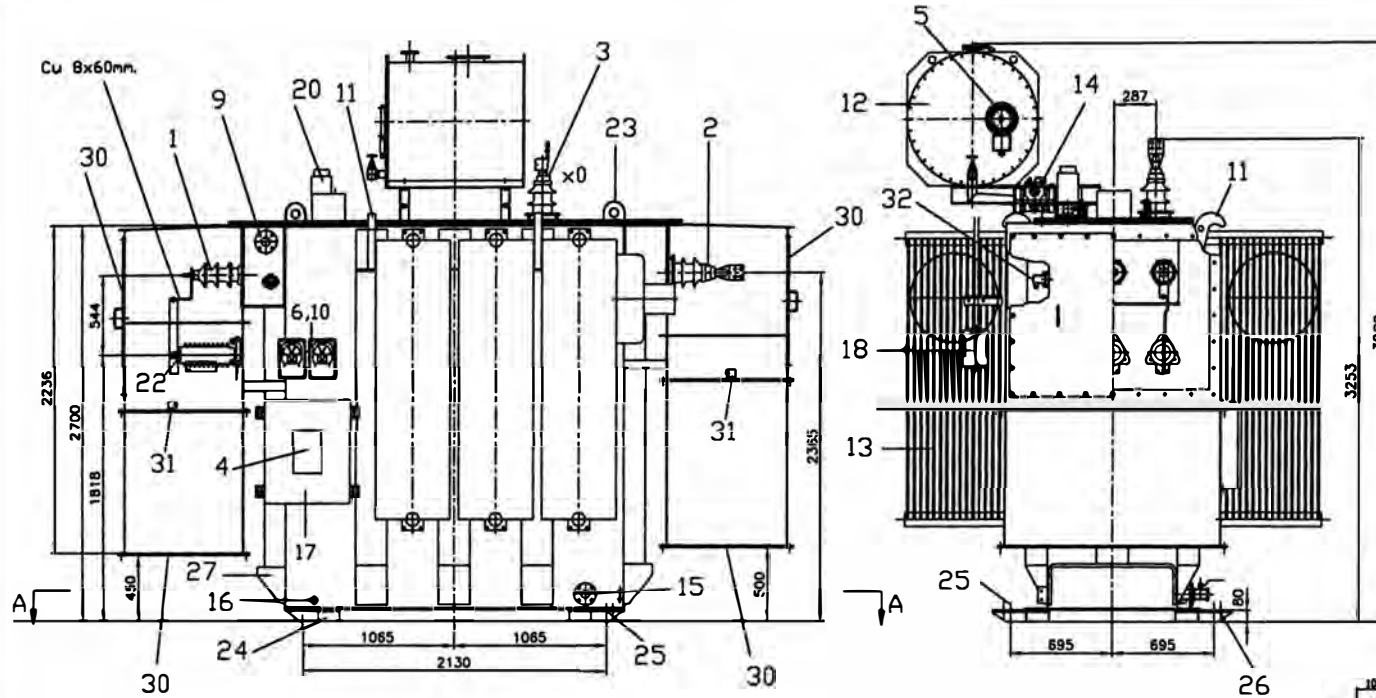


THREE PHASE TRANSFORMER

- 1) Bushing High Voltage: DIN 24kV/630A
- 2) Bushing Low Voltage: DIN 12kV/2000A
- 3) Bushing Neutral Low Voltage: DIN 12kV/2000A
- 4) Rating Nameplate
- 5) Oil level Indicator
- 6) Oil thermometer
- 7) Off load tap changer handle
- 8) Pressure relief device
- 9) Top filter press valves (upper)
- 10) Winding Thermometer
- 11) Transformer Lifting lugs
- 12) Oil expansion tank with rubber air cell
- 13) Radiators
- 14) Buchholz Relay BR50
- 15) Lower Filter press and drain valve
- 16) NW22 oil sampling device
- 17) control Cabinet complete
- 18) Silicagel Breather
- 19) Outlet box for current transformer
- 20) Rapid rise pressure relay
- 21) Butterfly valve for radiators
- 22) HV surge arrester - Station Class
- 23) Cover lifting eyes
- 24) Skids
- 25) Holes for anchoring (35 dia)
- 26) Pulling eyes
- 27) Jacking Plates for Complete Transformer
- 28) surge arrester discharge counter
- 29) Fans (2)
- 30) enclosure Covers
- 31) Support for HV and LV connections
- 32) Outlet box for current transformer

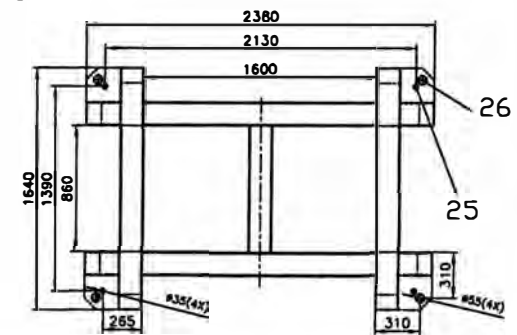
ESTIMATED WEIGHTS

CORE & COILS	29600 LBS
TANK & FITTINGS	13150 LBS
OIL	9250 LBS
TOTAL WEIGHT	52000 LBS

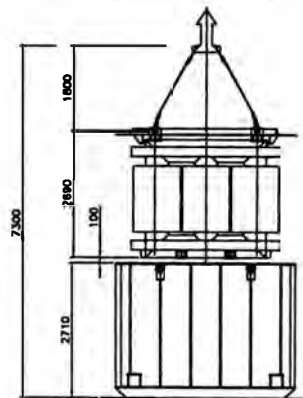


SECTION A-A

Details for foundation



Untanking
35000 Lbs.



Dimensions in mm.

Drawn R.R. 17-10-05	Serial N° 750070-01	Title Outline Drawing Three Phase Transformer	Revision 0
Revised F.M. 17-10-05	Responsible dept. ING	Nominal Rating: 10000/12000 kVA ONAN/DWAF	Scale %
Approved F.M. 17-10-05	OP: 750070	Voltage Ratio: 13.8+/- 2x2.5%/4.18 MV	Lang. E
Modification: C) se agrego Pos. 32	30/01/08 RR/FM	Altitude : 3500 masl - Dyn1 60 Hz	Page 1
			Cont. 1

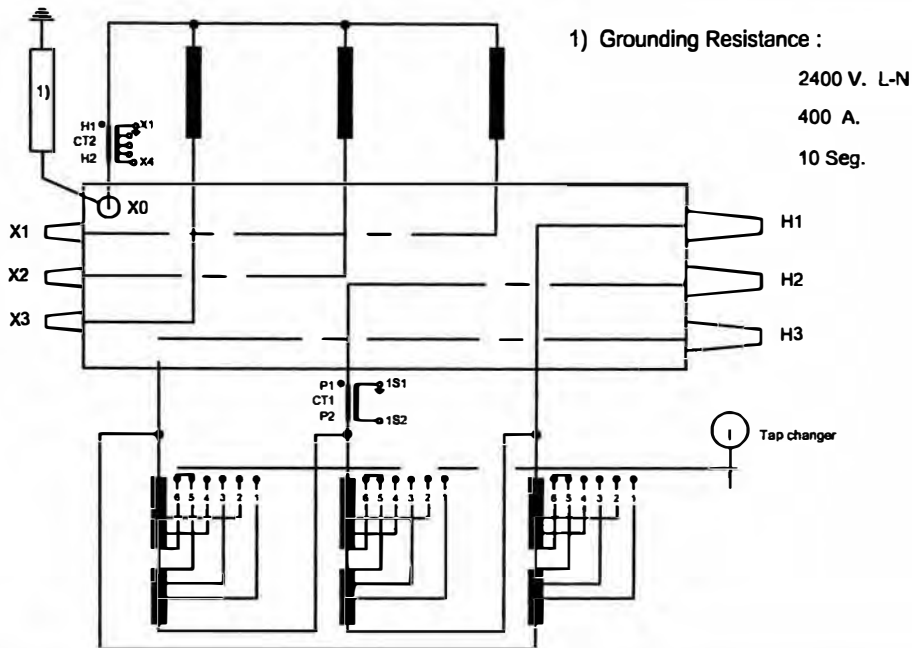
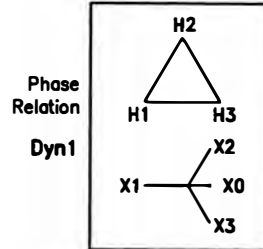
1LPE750070D10M12

051 Rev. Fabrication
 Rev. Construction
 Rev. Production

THREE PHASE OIL-IMMERSED POWER TRANSFORMER

Series	750070-01	Phases	3	Freq.	60 Hz.	Manufactured	2005
KVA	10000 / 12000	ONAN/ONAF		Type	TD2AF	Standards	ANSI C57.12
Volt.	HV	13800±2x2.5%	Winding/Bushing	HV	95/125 BIL	Oil Weight	9250 LBS
	LV	4160	Winding/Bushing	LV	60/75 BIL	Core & coils Weight	29600 LBS
Amp.	HV	418.38/502.06	Neutral/Bushing	NLV	60/75 BIL	Total Weight	52000 LBS
	LV	1387.90/1665.48				Oil	NYNAS10GBN
Altitude	3500 m.a.s.l.	Impedance @ 85°C	5.50%	Factor K	4	Temp. Rise Oil/Winding	50/55°C
						Cooling	ONAN/ONAF

NO LOAD TRANSFORMATION RATIO					
HIGH VOLTAGE: H1, H2, H3			LV: X0, X1, X2, X3		
Volts	Pos.	Tap Connection	Volts		
14490	1	1 - 2	4160		
14145	2	2 - 3			
13800	3	3 - 4			
13455	4	4 - 5			
13110	5	5 - 6			
	Terminals	Ratio	V.A.	Accuracy	
CT1	HV 1S1-1S2	600/5	15	Cl.3	
CT2	LV X1-....-X4	200/5 MR	20	C80	



1LPE 750070DFP

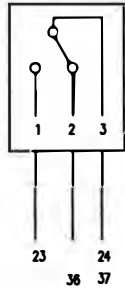
* Tcc (%) Garantizado

Prepared 07/10/05 J.G.	Reg. No.	Titled: NAME PLATE
Revised 07/10/05 C.E.	Respons. Dpt. ING	
Approved 07/10/05 F.M.	OP: 750070	
Revision Mod.C: C.E/ F.M 09/01/2006		
		Customer:
		1LPE750070DFP

Revision	0
Esc.	
Leng.	
Pag.	1
Cont.	1

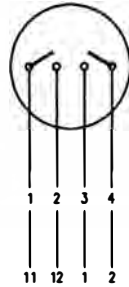
SUDDEN PRESSURE RELAY

1-3 Tripping
2-3 On Service



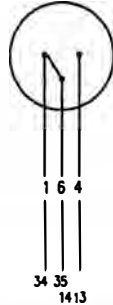
**BUCHHOLZ RELAY
BR 50**

1 - 2 Tripping
3 - 4 Alarm



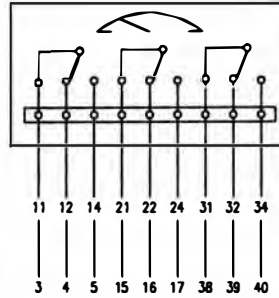
**PRESSURE RELIEF DEVICE
QUALITROL 208**

1- 6 On Service
4- 6 Tripping



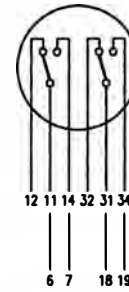
**OIL TEMP. INDICATOR
AKM**

11 - 14 Alarm: 90 °C
21 - 24 Tripping: 95 °C
31 - 34 Free



**OIL LEVEL INDICATOR
CEDASPE 220**

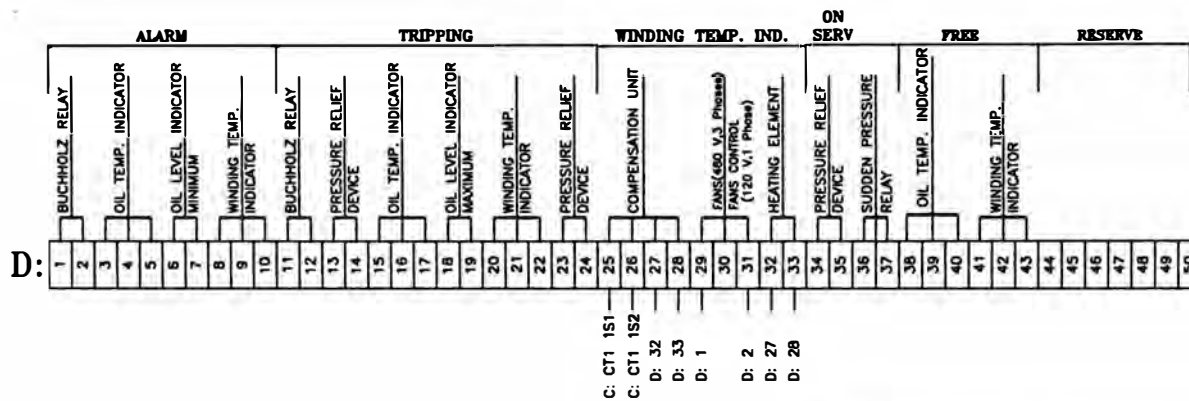
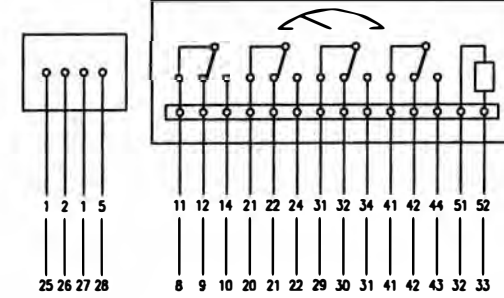
11 - 14 Minimum Level
31 - 34 Maximum Level



**WINDING TEMPERATURE INDICATOR
AKM (THERMAL IMAGE)**

Compensation Unit
5 A.

11 - 14 Alarm: 95 °C
21 - 24 Tripping: 100 °C
31 - 34 Fans(2): 90° C
41 - 44 Free
51 - 52 Heating Element

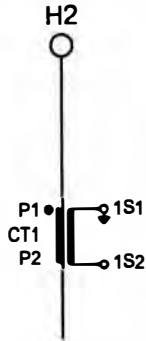


Wiring:
14 AWG SIS type

Prepared: 06-10-05 J.G.	Reg. No. 750070	TITLE: TERMINAL BOX ACCESORIES	Revision 0
Revised: 06-10-05 C. E.	Responsible Dpt. ING.		Esc. -
Approved: 06-10-05 F. M.	P.O. OP: 750070		Leng. -
Revision: C) J.G./F.M. 16/01/2006		Customer:	Pag. 1
		1LPE750070DFX	Cont. 2

CURRENT TRANSFORMERS

HIGH VOLTAGE



CT1 (IEC)	
Terminals	Ratio
S1 - S2	600/ 5
600/5 ; 15 VA ; Cl. 3	
Winding Temp. Indicator	

LOW VOLTAGE



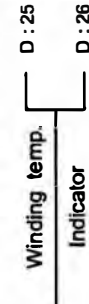
CT2 (ANSI)	
Terminals	Ratio
X1 - X2	50/ 5
X1 - X3	100/ 5
X2 - X4	150/ 5
X1 - X4	200/ 5
200/5 MR, C80 **	
Relaying	

**): C80 = 20VA, 10P20

HV LV

CT1		CT2			
S1	S2	X1	X2	X3	X4
1	2	3	4	5	6

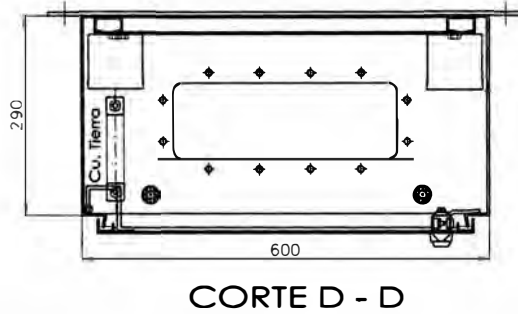
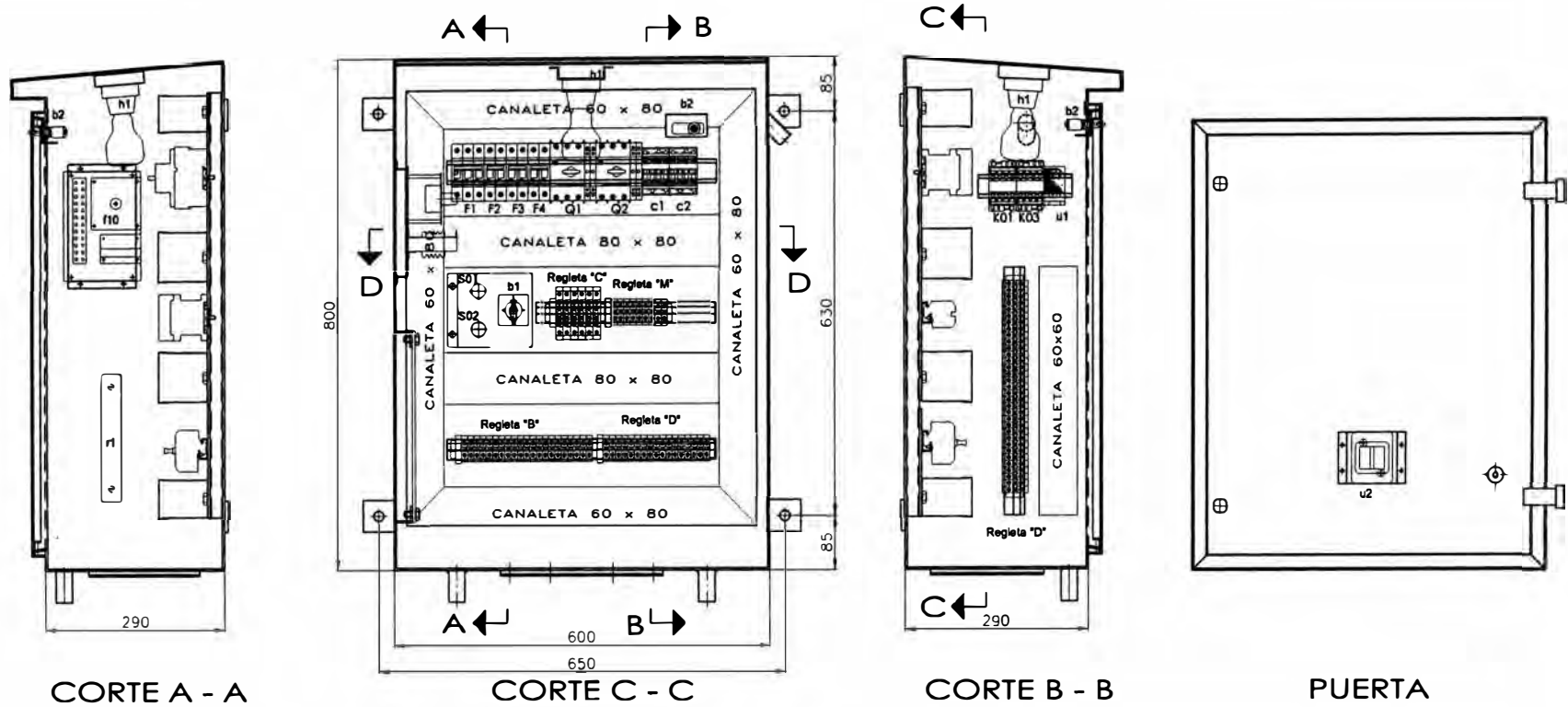
C:



*) Control wire for current transformers = 8AWG

Prepared J.G. 27-09-05	Req. No 750070	Title TERMINAL BOX CURRENT TRANSFORMERS	Revision 0
Revised C.E. 27-09-05	Responsible Department ING		Scale
Approved F.M. 27-09-05	Manufacturing Order: OP: 750070		Lang. E
Revision C) J.G./F.M. 16/01/2006		Customer:	Page 2
		1LPE 750070DFX	Cont. 2

DISPOSICION PRELIMINAR



LEYENDA		LEYENDA	
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
F1	Microinterruptor Tripolar termomagnético 10A	h1	Lampara incandescente 60W, 120VAC
F2	Microinterruptor Bipolar termomagnético 4A	Q1, Q2	Guarda motor
F3	Microinterruptor Bipolar termomagnético 18A	r1	Resistencia de calefacción, 100W, 120VAC
F4	Microinterruptor Bipolar termomagnético 2A	u1	Termostato de ambiente 120VAC
b1	Conmutador Rotativo M-D-A	u2	Tornacombente doble con puesta a tierra 120VAC
S01	Pulsador rojo	i10	Unidad de compensación
S02	Pulsador verde		
b2	Interruptor unipolar (Fin de carrera) 250V, 10A		
C1, C2	Contactor 120Vac		
K01, K03	Contactor auxiliar 120Vac		

Modif. a	17-11-05	Fecha	15-11-05	Escala:	BATERIA DE MANDO Y PROTECCION DE VENTILADORES (2 VENTILADORES) 10/12 MVA, 13.8/4.16 KV.	N° de Hojas:	1		
Modif. b	22-11-05	Dis.	R.I.P.A.	%		O.P.:	CTZ	Lista de Aparatos:	LAS 750070
c		Rev.	P.R.			O.C.:	750070		
d		Visto	P.R.	Reempl. por:		Reempl. a:	DISPOSICION PRELIMINAR		

Conclusiones

1.- La implementación de la metodología propuesta para el diseño de transformadores ha permitido una optimización de los procesos, con el cual se han obtenido mejores soluciones técnica y económicamente rentables en cada una de las etapas del diseño, con lo cual se ha podido incrementar el margen de ganancias para la empresa sin subir sus costos de producción, en muchos casos hasta en un 2% a 3% sobre el precio base del transformador.

2.- Gracias a la metodología se ha podido reducir el índice de errores humanos en el diseño en un 80% respecto al anterior sistema usado, esto gracias a un mejor control de la documentación en cada fase del diseño, esto a la vez ayuda a reducir la carga de trabajo.

3.- El tiempo que se proyecta para el diseño mecánico externo se ha podido reducir en un 30% y en el caso del diseño mecánico interno el tiempo se reduce hasta en un 40%, esto gracias a que el diseño se puede estandarizar como un conjunto, de acuerdo al diámetro del núcleo y el nivel de tensión del transformador.

4.- El desarrollo y aplicación de procedimientos en base a la metodología planteada ha permitido que ingenieros sin conocimientos extensos y poca experiencia en el campo de

transformadores, puedan obtener muy buenos resultados en corto tiempo, realizando los diseños en forma sistemática. A pesar que el diseño de transformadores esta fuertemente influenciado por el conocimiento y muchos años de experiencia, se ha podido reducir el tiempo usado en la formación y capacitación de ingenieros de diseño en aproximadamente un 50%,

5.- El diseño sistemático provee una forma efectiva de racionalizar los procesos de diseño y producción de transformadores. En el caso diseños únicos ordenados por etapas, aunque el nivel de abstracción pueda ser solamente parcial, se pueden desarrollar soluciones optimizadas que se pueden volver a usar en diseños futuros.

Bibliografía

1. CORRALES MARTÍN JUAN, Escuela del técnico electricista, Teoría, cálculo y construcción de transformadores Tomo VII, Editorial Labor S.A., Barcelona, 1969.
2. OBERING. OTTO GUTHMANN, Switchgear Manual, Brown Boveri & CIE – AG MANNHEIM – FRG, Fifth, 1975.
3. ABB POWER TECHNOLOGIES MANAGEMENT LTD., Transformer Handbook, Asea Brown Boveri, Baden, 2004.
4. AXEL KRÄMER, On-Load Tap-Changers for Power Transformers, Operation Principles, Applications and Selection, MR-Publication, Regensburg, Germany, 2000.
5. L. F. BLUME, A. BOYAJIAN, G. CAMILLI, T. C. LENNOX, S. MINNECI, V. M. MONTSINGER, Transformer Engineering – 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1951.
6. G. PAHL AND W. BEITZ, Engineering Design, A systematic approach-2Rev.ed, Springer –Verlag, London limited 1996.
7. M. J. DORMONT, Calculo y construcción de las maquinas eléctricas estáticas – Transformadores, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Ingenieros industriales, Sección de Publicaciones, Madrid, 1971.

8. M. P. KOSTENKO, L. M. PIOTROVSKI, Maquinas Eléctricas – Tomo 1, Editorial MIR, Moscú, 1975.
9. E. MINSKER AND V. ANSHIN, Assembly of Power Transformers, MIR Publishers, Moscow.
10. Catalogos Brown Boveri & Company, Ltd., Baden, Switzerland.

ANEXO 1

Distancias mínimas en aceite y aire

1.- Superficie de bobina a tierra

\bar{U}_m	\hat{u}_{Li}	$\hat{u}_{Lc}/\sqrt{2}$	PURE OIL GAP		ADDITIONAL INSULATION OIL GAP		
			Mla Layer	Cdisk	Mla Layer	Cdisk	ADDIT. INSUL
(kV)	(kV)	(kV)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1.1	24	8	8	8	4	4	1
3.6	40	10	10	10	8	8	2
7.2	60	20	10	10	8	8	2
12	75	28	15	20	8	10	2
17.5	95	38	20	25	10	12	2
24	125	50	30	35	12	15	2
38	170	70	40	45	18	20	4
52	250	95	60	60	30	30	4
72.5	325	140	80	80	45	45	4

2.- Partes no aisladas a tierra

\bar{U}_m	\hat{u}_{Li}	$\hat{u}_{Lc}/\sqrt{2}$	Bushing-ground	NLTC plate or LTC-ground		NLTC plate - bushing of the same phase	
				Mla (mm)	Cdisk (mm)	Mla (mm)	Cdisk (mm)
(kV)	(kV)	(kV)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1,1	24	8	10	10	10	10	10
3,6	40	10	20	20	20	20	20
7,2	60	20	20	20	20	20	20
12	75	28	20	20	30	20	25
17,5	95	38	30	30	40	30	35
24	125	50	40	40	60	40	50
36	170	70	60	60	90	50	60
52	250	95	110 *)	(110)	150	(70)	70
72.5	325	140	150 *)	150	180	90	90

*) Distancia desde el protector aislado para bushings de acuerdo a las instrucciones del fabricante:

Bushing a cupula o pared del tanque: GOB 150/800A 35 mm.
GOB 325/800A 60mm.

3.- Partes aisladas a tierra y conductor a conductor

U_m (kV)	u_{Li} (kV)	$u_{Lr}/\sqrt{2}$ (kV)	CONDUCTOR - GROUND				CONDUCTOR - CONDUCTOR 2)	
			Oil gap 3)		Creepage surface		Creepage surface	
			Mla (mm)	Cdisk (mm)	Mla (mm)	Cdisk (mm)	Mla (mm)	Cdisk (mm)
1,1	24	8	2	2	2	2	3,5	3,5
3,6	40	10	8	8	8	8	8	8
7,2	60	20	8	8	8	8	8	8
12	75	28	8	10	10	12	8	10
17,5	95	38	10	12	12	15	10	12
24	125	50	12 1)	15 1)	20 1)	30 1)	12 1)	15 1)
36	170	70	18 1)	20 1)	30 1)	40 1)	18 1)	20 1)
52	250	95	27	30 1)	50	60 1)	27	30 1)
72.5	325	140	45	50	75	100	45	50

Las distancias son calculadas desde la superficie metálica del conductor

- 1) Para voltajes ³ 36 kV un tubo de papel crepe es aplicada a la cubierta conductora aislada. Una placa de pressboard de 2 mm. es usada entre conductores y tanque y entre conductores y vigas del núcleo.
- 2) La distancia entre fases o entre conductores del conmutador en vacío y entre conductores de fase. Conductores del conmutador en vacío de una misma fase pueden juntarse unos con otros.
- 3) Se puede usar madera prensada (pressboard) de 2mm. Como aislamiento adicional para voltajes menores a 24kV entre conductores y tierra. Las distancias entre conductor y bobinas pueden ser las mismas que conductor y tierra.

4.- Distancias eléctricas en aire y barreras de protección

U_m	U_{Li}	$U_{tc}/\sqrt{2}$	IEC min. Phase-phase Phase-ground	Minimum according to tests: Phase-phase Phase-ground	Protection gaps	
(kV)	(kV)	(kV)	(mm)	(mm)	single gap (mm)	double gap (mm)
1,1	24	8	-	20		
3,6	40	0	60			
7,2	60	20	90		60	2x20
12	75	28	125	100	60	2x20
17,5	95	38	170		70	2x25
24	125	50	225	200	100	2x40
36	170	70	315		140	2x55
	200	70	330		140	2x55
52	250	95	450		200	-
72.5	325	140	630		300	-

Se presentan inicialmente las distancias eléctricas en aire de acuerdo a IEC. En transformadores pequeños las distancias eléctricas basadas en ensayos pueden ser aplicadas cuando sea necesario

ANEXO 2

Uso de Números de Identificación

La estructura presentada puede ser usada para la identificación de documentos técnicos y planos. El número consiste en 15 caracteres los cuales son divididos en 5 partes. Los números identificadores tienen la siguiente estructura:

Nro de Artículo	N	A	A	A	N	N	N	N	N	N	A	A	A	A	A
Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Parte	1		2		3						4	5			

Donde:

N= Dígito

A= Letra

Parte 1

Posiciones 1 y 2

Los primeros 2 caracteres son una combinación de dígitos y letras que representan las diferentes áreas de negocios de la empresa.

Parte 2

Posiciones 3 y 4

Son una combinación de letras para identificar compañías, departamentos, países

Parte 3

Posiciones 5 al 10

Conjunto de números que inician en 1 y son diferentes para cada estructura de diseño

000 001 – 699 999 Listas de Materiales

700 000 – 999 999 Planos

Parte 4

Posición 11

Letras que indican el tipo de transformador

A : Transformadores de distribución trifásicos

B : Transformadores de distribución monofásicos

C : Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos

D : Transformadores de potencia trifásicos

E : Transformadores de potencia monofásicos
G : Transformadores de potencia monofásicos y trifásicos
H, J, L, N, S, U, W, X, Y : Reservado para otros tipos de transformadores

Parte 5

Especificación de la parte, posiciones 12 al 15

Estos 4 caracteres forman la definición de la parte, estos pueden ser dígitos o letras, el mínimo número de caracteres es 1 y el máximo es 4.

El rango de potencia de los transformadores puede ser usados en el croquis de dimensiones preliminar, hasta 4 dígitos, incluyendo la letra M para especificar MVA.

Ejemplo de codificación para transformadores de potencia:

1L PE 000003 D CRTS

1L:	Área de la empresa (transformadores)
PE:	Departamento de la empresa
000003:	Numero de lista de materiales
D:	Transformador de potencia trifásico inmerso en liquido
CRTS:	C: Parte referida al Núcleo
	RT: Núcleo, calidad de las planchas 27R115, 2 pasos
	S: Corte y recorte

ESTRUCTURA DE CODIFICACION DE PARTES PARA TRANSFORMADORES

A = Letra, N = Dígito, X = Letra or dígito

1L AA NNNNNN A X XXX

Caracteres específicos:

- Parte exacta
- Tipo de transformador en el BOM principal
- Potencia del transformador en el croquis de dimensiones

Potencia del transformador junto con los dígitos 13, 14 y 15 (4 dígitos) en el croquis de dimensiones o:

U = BOM principal
C = Nucleo
W = Bobinas
L = Tapa
T = Tanque
G = radiadores
E = Conservador
H = Cajuelas
M = Ensamble de conmutador bajo carga
A = Ensamble
D = Conexiones en AT
B = Conexiones en BT
F = Perneria
P = Cableado externo
O = Aceite de transformador
S = Tratamiento superficial
V = Ensamble de transformadores de voltaje
R = Ensamble de transformadores de corriente
K = Accesorios
X = Partes diversas del transformador

D = Transformador de potencia trifasico inmerso en liquido
E = Transformador de potencia monofasico inmerso en liquido
G = Transformador de potencia monofasico y trifasico inmerso en liquido
H, J, L, N,
S, U, W, X, Y = Reservado para otros tipos de transformadores

Numero ≥ 1

Letras que definen el departamento de la empresa o sucursales
 Ejemplo:
PE = Sucursal en el Perú

1L = Area de negocios de la empresa

An American National Standard

IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents

1. Scope and References

1.1 Scope. This recommended practice applies to all power transformers covered by ANSI/IEEE C57.12.01-1979 [2]¹ and to power transformers up to 50 MVA maximum nameplate rating covered by ANSI/IEEE C57.12.00-1987 [1], when subjected to nonsinusoidal load currents having a harmonic factor exceeding 0.05 per unit. (*Harmonic factor* is defined in ANSI/IEEE C57.12.80-1978 [3] as the ratio of the effective value of all the harmonics to the effective value of the fundamental.) It does not apply to rectifier transformers or to other specific purpose transformers not covered by ANSI/IEEE C57.12.00-1987 [1] or ANSI/IEEE C57.12.01-1979 [2].

The purpose of this document is to establish uniform methods for determining the capability of transformers to supply nonsinusoidal load currents of known characteristics, without loss of normal life expectancy. Two methods are described as follows. The first is intended for use by those with access to detailed information on loss density distribution within the transformer windings. The second method is less accurate and is intended for use by those with access to transformer certified test report data only. It is anticipated that the first method will be used primarily by transformer design engineers, while the second method will be employed primarily by users. This recommended practice will be applicable for evaluating the feasibility of applying nonsinusoidal load currents to existing transformers and for

specifying new transformers to supply nonsinusoidal loads.

1.2 References

[1] ANSI/IEEE C57.12.00-1987, American National Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.²

[2] ANSI/IEEE C57.12.01-1979, American National Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers.

[3] ANSI/IEEE C57.12.80-1978 (R1987), American National Standard Terminology for Power and Distribution Transformers.

[4] ANSI/IEEE C57.12.00-1987, American National Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers and Guide for Short-Circuit Testing of Distribution and Power Transformers.

[5] ANSI/IEEE C57.12.91-1979, American National Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers.

[6] ANSI/IEEE Std 100-1984, IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms.

2. Definitions

All definitions are in accordance with ANSI/IEEE Std 100-1984 [6], or are in accord with the standards quoted in the text.

¹The numbers in brackets correspond to those of the references listed in 1.2. When preceded by "B," they refer to the bibliographic entries in Section 6.

²ANSI/IEEE publications can be obtained from the Sales Department, American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, NY 10018, or from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Service Center, Piscataway, NJ 08854-4150.

3. Letter Symbols

f_h	Harmonic current distribution factor for harmonic "h" (equal to the harmonic "h" component of current divided by the fundamental 60 Hz component of current for any given loading level)
h	Harmonic order
I	rms load current (amperes)
$I(\text{pu})$	rms load current (per unit of rated rms load current)
I_h	rms current at harmonic "h" (amperes)
$I_h(\text{pu})$	rms current at harmonic "h" (per unit of rated rms load current)
I_{\max}	Maximum permissible rms nonsinusoidal load current (amperes)
$I_{\max}(\text{pu})$	Maximum permissible rms nonsinusoidal load current (per unit of rated rms load current)
I_R	rms sine wave current under rated frequency and load conditions (amperes)
I_{1-R}	H.V. rms sine wave line current under rated frequency and load conditions (amperes)
I_{2-R}	L.V. rms sine wave line current under rated frequency and load conditions (amperes)
P_{EC}	Winding eddy-current loss (watts)
$P_{EC}(\text{pu})$	Winding eddy-current loss (per unit of rated load I^2R loss)
P_{EC-R}	Winding eddy-current loss under rated conditions (watts)
$P_{EC-R}(\text{pu})$	Winding eddy-current loss under rated conditions (per unit of rated load I^2R loss)
P_{LL}	Load loss (watts)
$P_{LL}(\text{pu})$	Load loss density (per unit of rated load I^2R loss density)
P_{LL-R}	Load loss under rated conditions (watts)
$P_{LL-R}(\text{pu})$	Load loss density under rated conditions (per unit of rated load I^2R loss density)
P_{OSL}	Other stray loss (watts)
$P_{OSL}(\text{pu})$	Other stray loss (per unit of rated load I^2R loss)
P_{OSL-R}	Other stray loss under rated conditions (watts)
$P_{OSL-R}(\text{pu})$	Other stray loss under rated conditions (per unit of rated load I^2R loss)
R	dc resistance (ohms)

R_1	dc resistance measured between two H.V. terminals (ohms)
R_2	dc resistance measured between two L.V. terminals (ohms)

4. General Considerations

4.1 Transformer Losses. ANSI/IEEE C57.12.90-1987 [3] and ANSI/IEEE C57.12.91-1979 [5] categorize transformer losses as: no-load loss (excitation loss); load loss (impedance loss); and total loss (the sum of no-load loss and load loss). Load loss is subdivided into I^2R loss and "stray loss." Stray loss is determined by subtracting the I^2R loss (*calculated from the measured resistance*) from the measured load loss (impedance loss).

"Stray loss" can be defined as the loss due to stray electromagnetic flux in the windings, core, core clamps, magnetic shields, enclosure or tank walls, etc. Thus, the stray loss is subdivided into winding stray loss and stray loss in components other than the windings (P_{OSL}). The winding stray loss includes winding conductor strand eddy-current loss and loss due to circulating currents between strands or parallel winding circuits. All of this loss may be considered to constitute winding eddy-current loss, P_{EC} . The total load loss can then be stated as

$$P_{LL} = I^2R + P_{EC} + P_{OSL} \quad (\text{Eq 1})$$

4.1.1 Harmonic Current Effect on I^2R Loss. If the rms value of the load current is increased due to harmonic components, the I^2R loss will be increased accordingly.

4.1.2 Harmonic Current Effect on P_{EC} . Winding eddy-current loss (P_{EC}) in the power frequency spectrum is proportional to the square of the load current and the square of frequency [B1], [B2], [B3]. It is this characteristic that can cause excessive winding loss and hence abnormal winding temperature rise in transformers supplying nonsinusoidal load currents.

4.1.3 Harmonic Current Effect on P_{OSL} . It is recognized that other stray loss (P_{OSL}) in the core, clamps, and structural parts will also increase as a result of nonsinusoidal load current. However, temperature rise in these regions will be less critical than in the windings.

4.1.4 DC Components of Load Current. Harmonic load currents are frequently accompanied by a dc component in the load current. A dc component of load current will increase the

transformer core loss slightly, but will increase the magnetizing current and audible sound level more substantially.

Relatively small dc components (up to the rms magnitude of the transformer excitation current at rated voltage) are expected to have no effect on the load carrying capability of a transformer determined by this recommended practice. Higher dc load current components may adversely affect transformer capability and should be avoided.

4.2 Transformer Capability Equivalent. The transformer capability equivalent established by following the procedures in this recommended practice is based on the following premises:

(1) The transformer, except for the load current harmonic factor, is presumed to be operated in accordance with "Usual Service Conditions" in ANSI/IEEE C57.12.00-1987 [1] or ANSI/IEEE C57.12.01-1979 [2].

(2) The transformer is presumed to be capable of supplying a load current of any harmonic content provided that the total load loss, the load loss in each winding, and the loss density in the region of the highest eddy-current loss do not exceed the levels for full load, 60 Hz sine wave design conditions. It is further presumed that the limiting condition is the loss density in the region of highest winding eddy-current loss; hence, this is the basis used for establishing capability equivalency.³

5. Recommended Procedures

5.1 Basic Data. In order to perform the calculations in this section, the characteristics of the nonsinusoidal load current must be defined in terms of the magnitude of the fundamental frequency component and each harmonic frequency component from power system measurements. In addition, information on the magnitude of winding eddy-current loss density must be available from the manufacturer or information on the total load loss and I^2R loss must be available from test records.

³The simple methods of calculation of transformer capability equivalent given in this document assume that eddy currents at all harmonic frequencies generate loss in a constant path resistance. In fact, skin effect becomes more pronounced as frequency increases and eddy current loss is smaller than

predicted. Thus, the methods presented in this document become increasingly conservative at the higher harmonics included in the calculation, particularly those above the 18th.

5.2 Per Unit Losses. Since the greatest concern under harmonic load conditions will be for overheating of the windings, it is convenient to consider loss density in the windings on a per unit basis. (Base current is rated current and base loss density is the I^2R loss density at rated current in watts per pound of conductor.) Thus Equation 1 applied to rated load conditions can be rewritten on a per unit basis as follows:

$$P_{LL-R}(\text{pu}) = 1 + P_{EC-R}(\text{pu}) + P_{OSL-R}(\text{pu}) \quad (\text{Eq 2})$$

Given the eddy current loss under rated conditions for a transformer winding or portion of a winding, (P_{EC-R}), the eddy-current loss due to any defined nonsinusoidal load current can be expressed as

$$P_{EC} = P_{EC-R} \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \text{ watts} \quad (\text{Eq 3})$$

Equation 3 can also be written in per unit form:

$$P_{EC}(\text{pu}) = P_{EC-R}(\text{pu}) \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} I_h(\text{pu})^2 h^2 \quad (\text{Eq 4})$$

Other stray loss or the sum of eddy-current loss plus other stray loss could be calculated for a given nonsinusoidal load current in the same fashion.

The I^2R loss at rated load is one per unit (by definition), but it will change for nonsinusoidal load currents if the rms value of the nonsinusoidal current differs from one per unit. The rms value of the load current is given by

$$I = \left[\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} (I_h)^2 \right]^{1/2} \text{ amps} \quad (\text{Eq 5})$$

In per unit form this equation will be

$$I(\text{pu}) = \left[\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} (I_h(\text{pu}))^2 \right]^{1/2} \quad (\text{Eq 6})$$

5.3 Transformer Capability Equivalent Calculation Using Design Eddy-Current Loss Data. The per unit eddy-current loss in the region of highest loss density can be defined for 60 Hz operation at rated current by the transformer manufacturer in terms of Equation 2, with $P_{OSL-R}(\text{pu})$ equal to zero (since there is no other stray loss in the windings by definition).

The per unit loss density in the region of highest eddy-current loss can then be recalculated for the defined nonsinusoidal load current by combining Equations 2, 4, and 6.

$$P_{LL}(\text{pu}) = \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} I_h(\text{pu})^2 + P_{EC-R}(\text{pu}) \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} I_h(\text{pu})^2 h^2 \quad (\text{Eq 7})$$

The per unit value of nonsinusoidal load current that will make the result of the Equation 7 calculation just equal to the design value of loss density in the highest loss region for 60 Hz, rated current operation is given by Equation 8.

$$I_{\max}(\text{pu}) = \left[\frac{P_{LL-R}(\text{pu})}{1 + \left[\left(\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} f_h^2 h^2 \right) / \left(\sum_{h=1}^{h=h_{\max}} f_h^2 \right) \right] \cdot P_{EC-R}(\text{pu})} \right]^{1/2} \quad (\text{Eq 8})$$

5.3.1 Example. Given a nonsinusoidal load current of 1 pu rms magnitude and the following harmonic distribution,

h	$I_h(\text{pu})$
1	0.978
5	0.171
7	0.108
11	0.044
13	0.028
17	0.015
19	0.0098

determine the maximum load current that can be continuously drawn (under standard conditions) from an ANSI/IEEE C57.12.01-1979 [2] transformer having a rated full load current of 1200 amperes and whose winding eddy-current loss under rated conditions (P_{EC-R}) at the point of maximum loss density is 15% of the local I^2R loss.

The maximum per unit local loss density under rated conditions, $P_{LL-R}(\text{pu})$, is then 1.15 pu. Equation 7 requires values for $I_h(\text{pu})^2$, h^2 , and $I_h(\text{pu})^2 h^2$. Equation 8 also requires values for f_h , f_h^2 , and $f_h^2 h^2$. These can be calculated and tabulated as follows.

h	$I_h(\text{pu})$	$I_h(\text{pu})^2$	h^2	$I_h(\text{pu})^2 h^2$	f_h	f_h^2	$f_h^2 h^2$
1	0.978	0.957	1	0.957	1.000	1.0000	1.0000
5	0.171	0.029	25	0.731	0.175	0.0306	0.7643
7	0.108	0.012	49	0.571	0.110	0.0122	0.5975
11	0.044	0.002	121	0.234	0.045	0.0020	0.2449
13	0.028	0.00078	169	0.133	0.029	0.0008	0.1385
17	0.015	0.00023	289	0.065	0.015	0.0002	0.0680
19	0.0098	0.00010	361	0.035	0.010	0.0001	0.0362
Σ		1.00		2.726		1.0459	2.8494

From Equation 7 the local loss density for the nonsinusoidal load current is

$$P_{LL}(\text{pu}) = 1.00 + 0.15 \cdot 2.726 = 1.4089 \text{ pu}$$

and the maximum permissible nonsinusoidal load current with the given harmonic composition, from Equation 8, is

$$I_{\max}(\text{pu}) = \left[\frac{1.15}{1 + \frac{2.8494}{1.0459} \cdot 0.15} \right]^{1/2} = 0.9035$$

or

$$I_{\max} = 0.9035 \cdot 1200 = 1084 \text{ amps}$$

Thus, with the given nonsinusoidal load current harmonic composition the transformer capability is approximately 90% of its sinusoidal load current capability.

5.4 Transformer Capability Equivalent Calculation Using Data Available from Certified Test Report. In order to make the calculation with this limited data, certain assumptions have been made that are considered to be conservative. These assumptions may be modified based on guidance from the manufacturer for a particular transformer.

(1) The certified test report includes all data listed in the appendixes to ANSI/IEEE C57.12.90-1987 [4] or ANSI/IEEE C57.12.91-1979 [5].

(2) All of the stray loss is assumed to be winding eddy-current loss.

(3) The I^2R loss is assumed to be uniformly distributed in each winding.

(4)⁴ The division of eddy-current loss between the windings is assumed to be as follows:

(a) 60% in the inner winding and 40% in the outer winding for all transformers having a maximum self-cooled current rating of less than 1000 amperes (regardless of turns ratio).

(b) 60% in the inner winding and 40% in the outer winding for all transformers having a turns ratio of 4:1 or less.

(c) 70% in the inner winding and 30% in the outer winding for all transformers having a turns ratio greater than 4:1 and also having one or more windings with a maximum self-cooled current rating greater than 1000 amperes.

(5)⁵ The eddy-current loss distribution within each winding is assumed to be nonuniform. The

⁴ A high percentage of the leakage flux flowing axially in and between the windings is attracted radially inward at the ends of the windings, because there is a lower reluctance return path through the core leg than through the unit permeability space outside the windings. As a result, the highest magnitude of the radial component of leakage flux density (and highest eddy loss) occurs in the end regions of the inner winding. In the absence of other information, the inner winding may be assumed to be the low voltage winding. The eddy loss distribution assumptions (4) and (5) are very conservative.

⁵ See footnote 4.

maximum eddy-current loss density is assumed to be in the region of the winding hottest-spot and is assumed to be 400% of the average eddy-current loss density for that winding.

5.4.1 Calculations. As established in test codes ANSI/IEEE C57.12.90-1987 [4] and ANSI/IEEE C57.12.91-1979 [5], the stray loss component of the load loss is calculated by subtracting the I^2R loss of the transformer from the measured load loss. By assumption (2) of this section, all of the stray loss is taken to be winding eddy-current loss. Therefore:

$$P_{EC-R} = P_{LL} - K [(I_{1-R})^2 R_1 + (I_{2-R})^2 R_2] \text{ watts} \quad (\text{Eq 9})$$

where

$$K = 1 \text{ for single-phase transformers} \\ = 1.5 \text{ for three-phase transformers (ANSI/IEEE C57.12.91-1979 [4], 9.2.5.1)}$$

NOTE: Many test reports for three-phase transformers show the resistance of three phases in series. In these cases values for R_1 and R_2 may be calculated as follows:

Delta Winding: R_1 or $R_2 = 2/9$ of three-phase resistance
Wye Winding: R_1 or $R_2 = 2/3$ of three-phase resistance

The low-voltage (inner) winding eddy-current loss can be calculated from the value of P_{EC-R} determined from Equation 9 as either $0.6 P_{EC-R}$ watts or $0.7 P_{EC-R}$ watts, depending on the transformer turns ratio and current rating. The low-voltage winding eddy-current loss in per unit of that winding's I^2R loss will be either

$$P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{0.6 P_{EC-R} \text{ watts}}{K (I_{2-R})^2 R_2 \text{ watts}} \text{ pu} \quad (\text{Eq 10})$$

or

$$P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{0.7 P_{EC-R} \text{ watts}}{K (I_{2-R})^2 R_2 \text{ watts}} \text{ pu} \quad (\text{Eq 11})$$

Since by assumption (3) above the I^2R loss is assumed to be uniformly distributed within the winding, and by assumption (5) the maximum eddy-current loss density is assumed to be 400% of the average value,

$$\text{Max } P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{2.4 P_{EC-R} \text{ watts}}{K (I_{2-R})^2 R_2 \text{ watts}} \text{ pu} \quad (\text{Eq 12})$$

or

$$\text{Max } P_{EC-R}(\text{pu}) = \frac{2.8 P_{EC-R} \text{ watts}}{K (I_{2-R})^2 R_2 \text{ watts}} \text{ pu} \quad (\text{Eq 13})$$

5.4.2 Example. Given a nonsinusoidal load current with the following harmonic distribution:

h	$I_h(\text{pu})$
1	1.0
5	0.175
7	0.110
11	0.045
13	0.029
17	0.015
19	0.010

determine the maximum load current that can be continuously drawn (under standard conditions) from an ANSI/IEEE C57.12.01-1979 [2] transformer with the following characteristics taken from the certified test report.

High-Voltage Winding

12 000 volts delta

Resistance = 3.8150 ohms @ 170 °C*

Low-Voltage Winding

480 volts delta

Resistance = 0.00411 ohms @ 170 °C*

Rated Capacity

2500 kVA, 3-phase, 150 °C rise

Type AA

Load Losses at 170 °C = 31 232 watts

(*Resistances are the sum of the three phases in series.)

Values for R_1 and R_2 can be determined using the note in 5.4.1:

$$R_1 = 0.84778 \text{ ohms} \quad R_2 = 0.0009133 \text{ ohms}$$

Values for I_{1-R} and I_{2-R} calculated from kVA and voltage ratings are as follows:

$$I_{1-R} = 120.28 \text{ amps} \quad I_{2-R} = 3007 \text{ amps}$$

P_{EC-R} can be calculated from Equation 9 as follows:

$$P_{EC-R} = 31\,232 - 1.5 [(120.28)^2 (0.894778) \\ + (3007)^2 (0.0009133)] \\ = 31\,232 - 1.5 [12\,264.7 + 8258.6] \\ = 31\,232 - 30\,785 = 447 \text{ watts}$$

Since the transformer turns ratio exceeds 4:1 and the secondary current exceeds 1000 amps, the low-voltage winding eddy-current loss is 0.7 times P_{EC-R} and Max P_{EC-R} can be calculated from Equation 13 as follows:

$$\text{Max } P_{EC-R} = \frac{2.8 (447)}{1.5 \cdot 8258.6} = 0.101 \text{ pu}$$

As in the previous example, values for I_h (pu)², h^2 , and I_h (pu)² h^2 are required for the calculation of P_{LL} (pu) from Equation 7. These are calculated and tabulated as follows (in this case $f_h = I_h$ (pu), so the calculation of factors for Equation 8 is simplified):

h	$\frac{f_h}{I_h \text{ (pu)}}$	$\frac{f_h^2}{I_h \text{ (pu)}^2}$	h^2	$\frac{f_h^2 h^2}{I_h \text{ (pu)}^2 h^2}$
1	1.000	1.000	1	1.000
5	0.175	0.0306	25	0.765
7	0.110	0.0121	49	0.593
11	0.045	0.002025	121	0.245
13	0.029	0.000841	169	0.142
17	0.015	0.000225	289	0.065
19	0.010	0.000010	361	0.036
		1.045826		2.846

Applying the third column summation in Equation 6 gives an rms value of the nonsinusoidal load current of 1.023 pu. From Equation 7 the local loss density produced by the nonsinusoidal load current in the region of highest eddy-current loss is:

$$P_{LL} \text{ (pu)} = 1.0458 + 0.101 \cdot 2.846 = 1.333 \text{ pu}$$

Thus, the rms value of the maximum permissible nonsinusoidal load current with the given harmonic composition, from Equation 8, is

$$I_{\max} \text{ (pu)} = \left[\frac{1.101}{1 + \frac{2.846}{1.0458} \cdot 0.101} \right]^{1/2} = 0.9293$$

or

$$I_{\max} = 0.9293 \cdot 3007 = 2794 \text{ amps}$$

In this case the transformer capability with the given nonsinusoidal load current harmonic composition is approximately 93% of its sinusoidal load current capability.

6. Bibliography

- [B1] Sergio Crepez, "Eddy-Current Losses in Rectifier Transformers," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol PAS-89, No 7, Sept/Oct 1970.
- [B2] *Electrical Coils and Conductors*, Ch 3, H. B. Dwight, McGraw-Hill Book Co, Inc 1945.
- [B3] *Magnetic Circuits and Transformers*, Ch 5, MIT Elect Engr Staff, John Wiley & Sons, NY 1949.

PLANOS

- Planos de construcción

Type 74

Drawing Parameters:

A=2305 E=304
 J1=332 L=120

F=294

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE006289DCCB	Core clamp body, rad	1LBA704124DCCB	D400 C720 R	1	PCS
002	1LPE006291DCCS	Core clamp support, rad	1LBA700307DCCS	D400 C720 R	1	PCS
003	1LPE006293DCCF	Core clamp foot, rad	1LBA700131DCCF	L110 B120 R	2	PCS
004	1LPE006332DXTS	Steel Tube Thin	1LBA703924DXT	D50 d42 L144	2	PCS
005	1LBA001607DXKS	Steel flat bar	1LBA703925DXK	B100 L82 T10	2	PCS

17 KZSE __+S

Prepared CJ / 27/04/2004	Responsible Department RD	Title Core clamp, rad 46006287	
Approved FM / 08/05/2004	Take-Over Department		
Revision A		Drawing No. 1LBA700279DCCL	
750070		Document No. 1LPE006287DCCL	Page 7

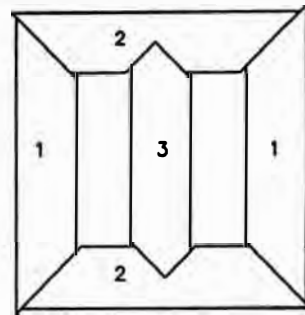


Fig. 1

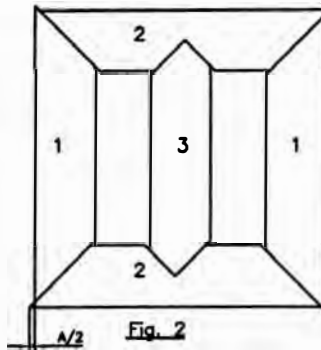
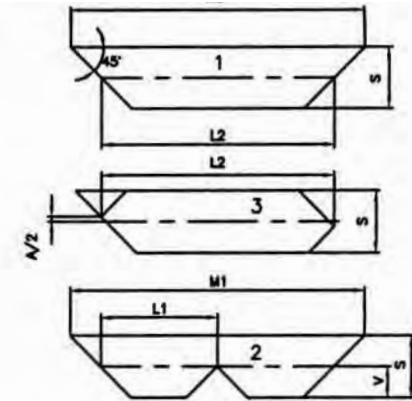


Fig. 2



CUTTING TOLERANCES FOR CORE SHEETS

CUTTING SEQUENCE 1 Set-up and measurement for individual sheets. CUTTING SEQUENCE 2 Set-up and measurement for each step.

Width tolerance	±0,2mm	±0,2mm
Length tolerance ≤ 200mm width of the sheet	±0,5mm	±1,0mm
> 200mm width of the sheet	±1,0mm	±1,0mm
Location of the V-notch lengthwise	±0,5mm	±1,0mm
Depth of the V-notch	+1/-0mm	+2/-0mm
Tolerance of the circumference (M1+M2+2xV-L2)	—	+2/-0mm
Tolerance of L-dim.	+0/-2mm	+0/-2mm
Cutting burr	0,02 mm max	

M1=length of sheet 2
M2=length of sheet 1
V =depth of V-notch
L2=length of sheet 3

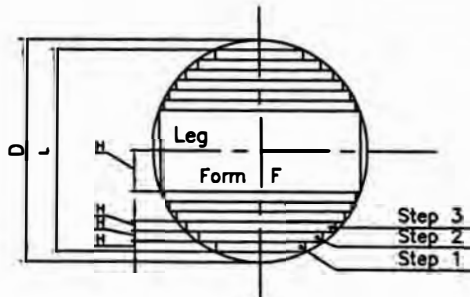
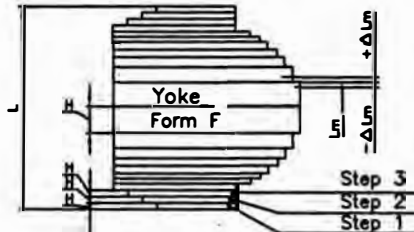
In the core sheet article number, the last letter in the description field, ex. (1LBA123456 DCRTS; D350 C780 B1100 E5) is E5 (sheet width ending to 5) or EQ (sheet width ending to 0).

1a) HAND STACKING. NORMAL OVERLAPPING

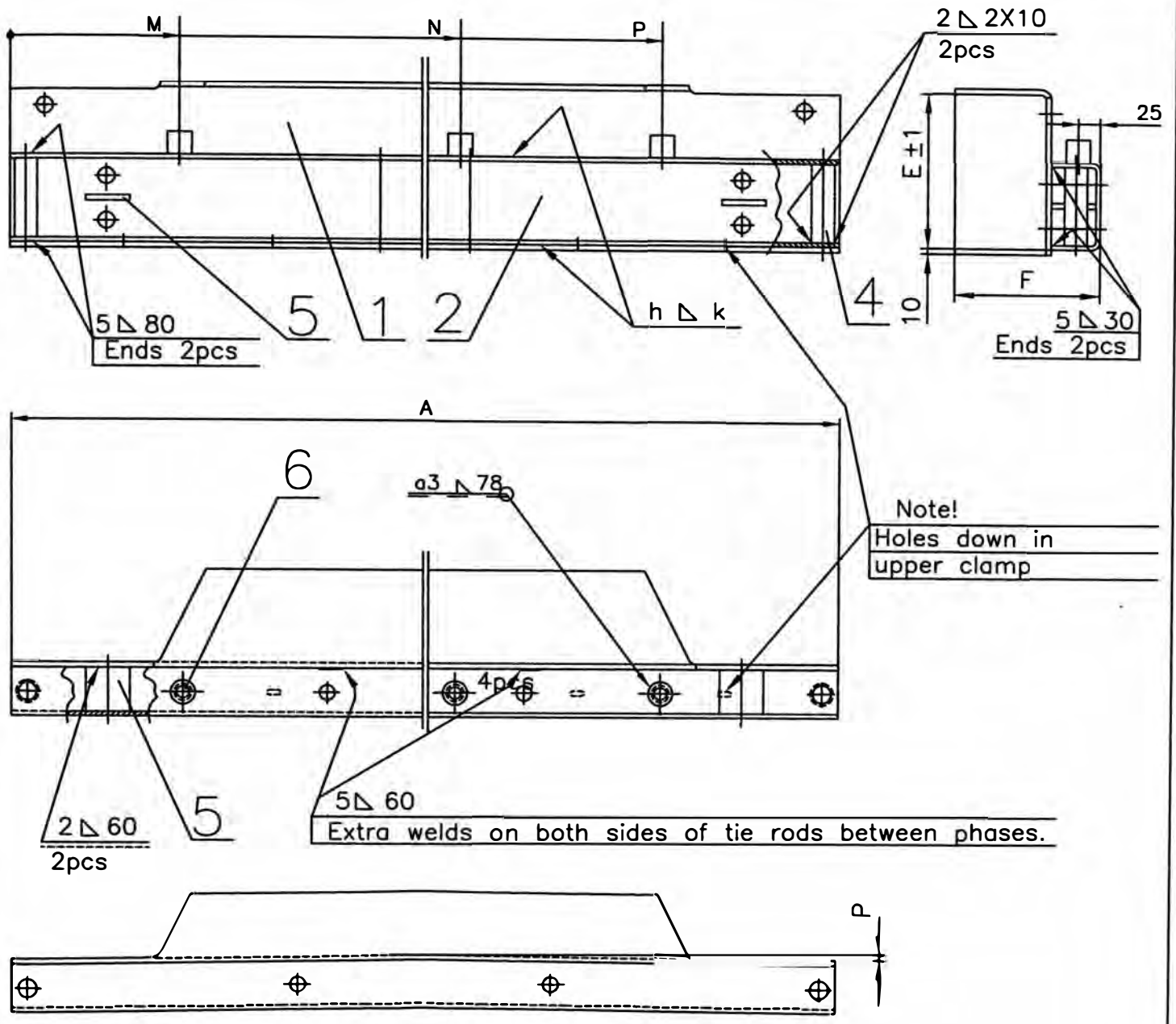
A bunch of 2 sheets shall be stacked at a time according to the fig. 1 and fig. 2. The overlapping is then A/mm according to the table. The thickness of the core shall be checked when all the sheets of the middle step are stacked. The nominal size is Lm. The number of the sheets of the middle step shall be corrected by the result from the formula $KL \times \Delta Lm$ (mm). Correction shall be done with even number of sheets rounding off. Values for KL- and Lm- can be found in the coresheet table. The final checking is done when the whole core is stacked. The nominal thickness of the core is L/mm. Correction according to the tolerance.

1b) AUTOMATIC STACKING. NORMAL OVERLAPPING

The sheet thickness must be checked before the stackig to prevent corrections during stacking. The measured sheet thickness and desired step thickness are given to the stacking program. The number of sheets varies depending on the actual sheet thickness. Sheets will be stacked 2 sheets at a time according to fig. 1 and fig. 2. The overlapping A/mm according to the table.



Based on	Reg. No.	Title	Scale
—	—	CUTTING AND STACK. INSTR.	1:XX
Prepared	Responsible department	NORMAL STEPPING	 Long.
B4-06-25 TH	—		
Approved	Take-over department		en
Revision		Tolerance Ref.	Page
A			1
		Document No.	Cont.
		1LBA 700001 D C IT	—

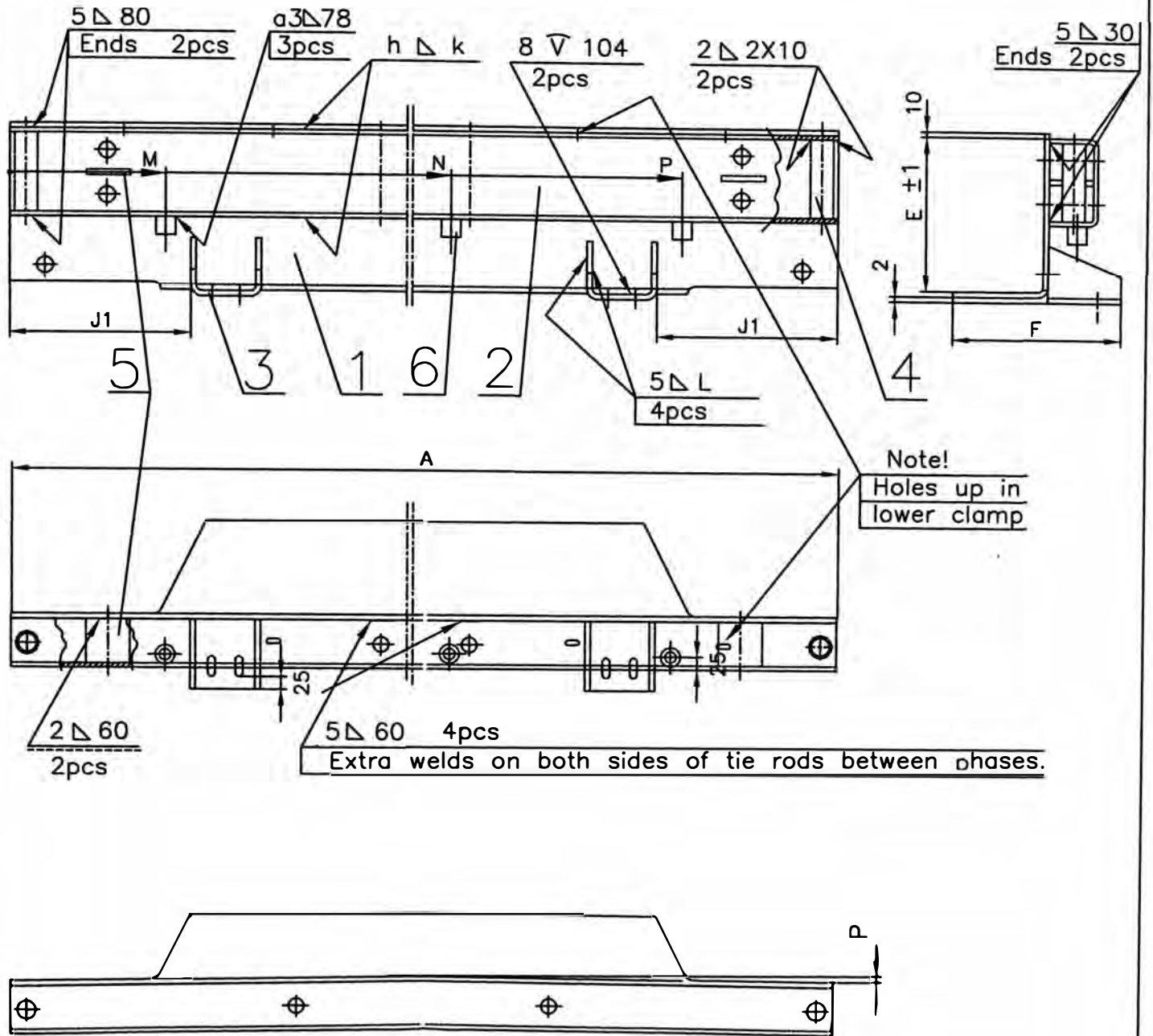


Note!
Holes down in upper clamp

Extra welds on both sides of tie rods between phases.

1					
82	2545	5Δ	20x60(57)-131	4	
78	2425	5Δ	19x60(56)-139	4	
74	2305	5Δ	18x60(56)-137	4	
70	2185	5Δ	17x60(56)-135	4	
66	2065	5Δ	16x60(55)-140	4	
62	1945	5Δ	15x60(55)-138	4	
Type	A	h Welds	k	P	Pre-bending in the middle

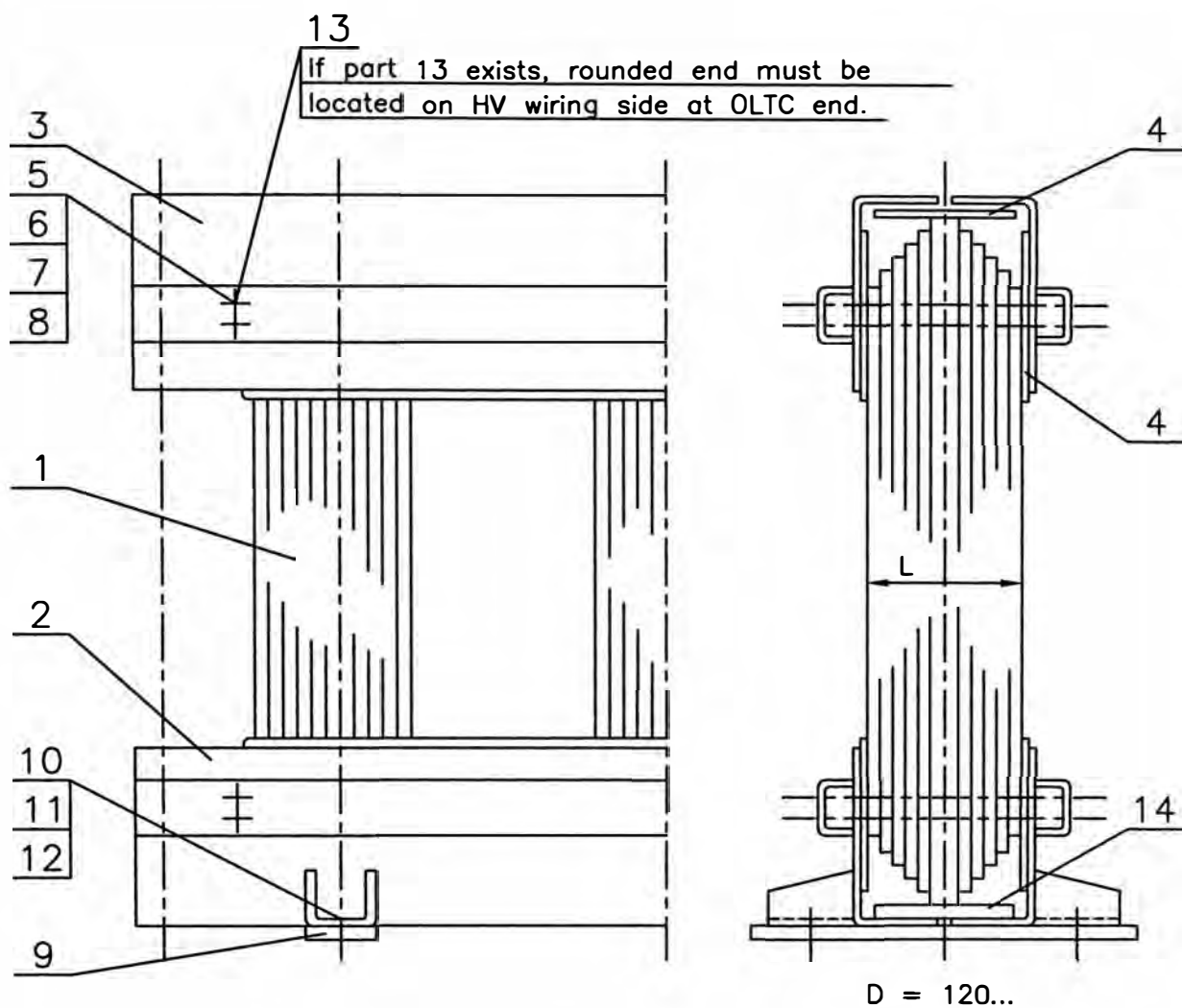
Based on K4008673	Reg. No. C	Title CORE CLAMP	Scale 1/XX
Prepared 94-08-11 TH	Responsible department	Types 62-82	Lang. en
Approved	Take - over department	RADIATOR TANK	
		Tolerance Ref. ISO 14012, ISO 13920	Page 1
		Document No. 1LBA 700280 D C CH	Copy 26



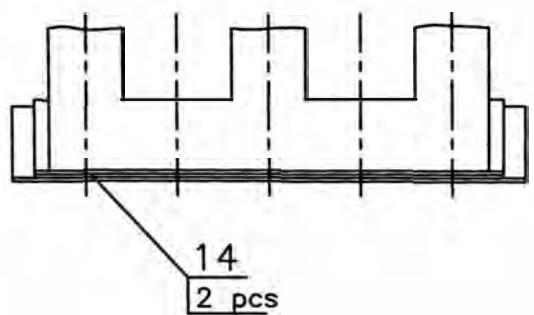
Item 6 only when mentioned in bill of material

1					
82	2545	5Δ	20x60(57)-131	4	
78	2425	5Δ	19x60(56)-139	4	
74	2305	5Δ	18x60(56)-137	4	
70	2185	5Δ	17x60(56)-135	4	
66	2065	5Δ	16x60(55)-140	4	
62	1945	5Δ	15x60(55)-138	4	
Type	A	h	k	P	
		Welds		Pre-bending in the middle	

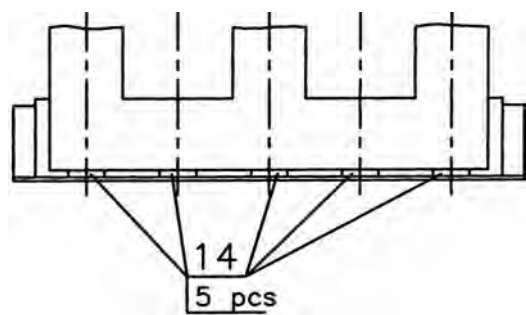
Based on K4008672	Reg. No. C	Title CORE CLAMP	Scale 1/XX
Prepared 94-08-10 TH	Responsible department	Types 62-82	Lang. en
Approved	Take - over department	RADIATOR TANK	
Revision A		Tolerance Ref. ISO 14012, ISO 13920	Page 1
		Document No. 1LBA 700279 D C CL	Co4/26 -



Placement of parts 14



Core sheet widths ending to 5.



Core sheet widths ending to 0.

Based on K4011464	Reg. No. A	Title CORE	Scale 1:XX
Prepared 97-01-22 TK	Responsible department	120...	
Approved	Take - over department		Long. en
Revision A		Tolerance Ref.	Page 1
		Document No. 1LBA700572DC	Copy 26 -

Turns (= N) :296 B mm :1400 Di/Do mm :564/707 (13)
 Parts, Disks :1 Hk mm :1197 Aka mm :12
 Helicals :6 Hkp mm :1233 Ajk mm :2x 5
 Duct Stick : Hpe mm :L87 U116 Ak mm :71.5

 Part, Disk :
 Numbers :
 N/Part, Disk :268-275-282(282)-289-296
 Hvy mm :1197
 Layers :25
 N/Layer :12

Conductor 1 :CU 15.1X1.9/0.25
 Conductor 2 :15.37X2.19
 Lj m :6X 593.
 Aj mm2 :170.0

Hvl mm :
 Spacers :

Multilayer winding
 Hacer bobinado Derecho

Tapered layer insulation: 0.5,0.5,0.25...0.25,0.5,0.5,0.5

Item 23 Rib spacing (134 s) after 8 & 16 layers

Turns per layers

 ! 1 ! 2 ! 3 ! 4 ! 5 ! 6 ! 7 ! 8 ! 9 ! 10 ! 11 ! 12 ! 13 ! 14 !
 ! 12 ! 24 ! 36 ! 48 ! 60 ! 72 ! 84 ! 96 ! 108 ! 120 ! 132 ! 144 ! 156 ! 168 !

 ! 15 ! 16 ! 17 ! 18 ! 19 ! 20 ! 21 ! 22 ! #5 ! #3 ! 23 ! #1 ! BRE- ! #2 !
 ! 180 ! 192 ! 204 ! 216 ! 228 ! 240 ! 252 ! 264 ! 268 ! 275 ! 276 ! 282 ! AKP ! 282 !

 ! 24 ! #4 ! #6 ! FREE ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !
 ! 288 ! 289 ! 296 ! 4 ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !

Prepared JG / 27/10/2005	Responsible Department	Title Winding 2 46011738	
Approved FM / 16/11/2005	Take-Over Department		
Revision B		Drawing No. 1LBA704025DWG	Page 1
		Document No. 1LPE011738DWG	

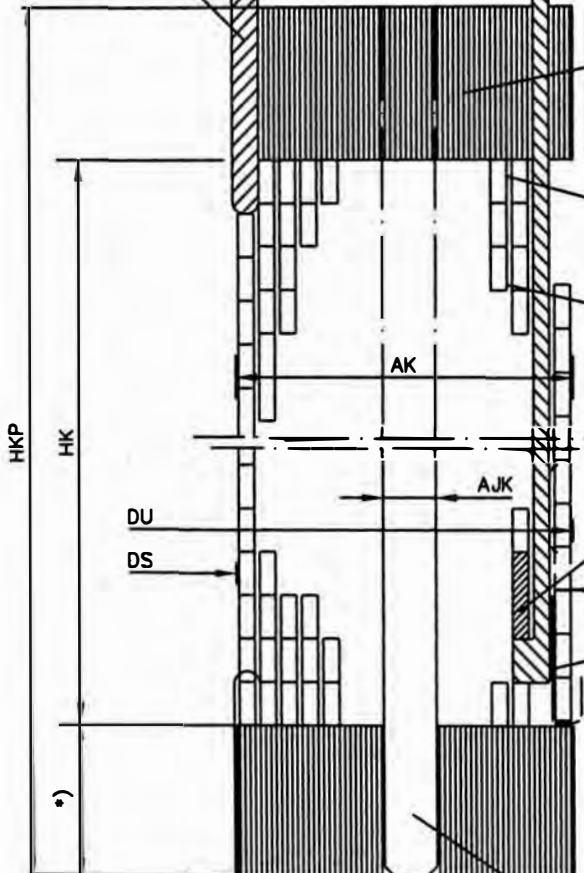
Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE166401-174	Copper wire, rectangular		B15.1 T1.9/0.25	900.1	KG
013	1LBA182200-1	Insulation paper (creped)		*Aislar 2mm/lado	0.01	KG
017	1LBA014499DXIKB	Pressb. polyest. sheet		B50 L100 T0.35	22	PCS
018	1LPE011988DWP	Tapered end fill	1LBA703803DWP	B110 b18 L2220 T2	54	PCS
019	1LBA182601-103	Diamond dot paper		T0.25*1233	21.42	KG
023	1LPE011990DXSA	Rib spacing	1LBA703939DXSA	B1233 T5	4.05	M
025	1LPE182601-115	Diamond dot paper		B90 T0.075	0.1	KG
026	1LBA182611-1	Insulat. paper strip		B10 T0,25	6	M
028	1LBA182610-2	Insulation paper band		B30 T0,17	66	M

Prepared JG / 27/10/2005	Responsible Department	Title Winding 2	46011738
Approved FM / 16/11/2005	Take-Over Department		
Revision B	Drawing No.	1LBA704025DWG	
	Document No.	1LPE011738DWG	Page 2

1 Start if number of layers is even

Conductor

13
Crepe pipe



Conductor

1 Start if number of layers is uneven

*) $\leq 24 \text{ kV} \Rightarrow \geq 18 \text{ mm}; \leq 36 \text{ kV} \Rightarrow \geq 22 \text{ mm}$

25
Tapping insulation (instruction 353 K 10 A 13)

Number of toppings from BOM

18
34
36
Fill

17
Transposition insulation and mechanical protection (353 K 10 A 13): 1LBA114061-1

19
Layer insulation 1LBA182601

Breaking point; width of least 8 mm

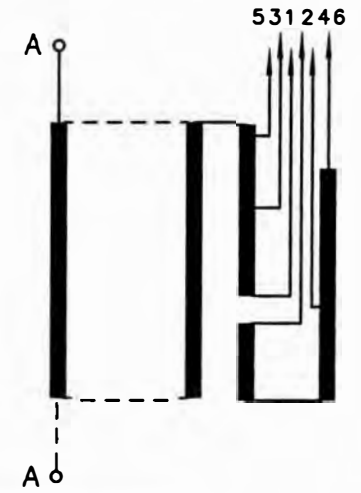
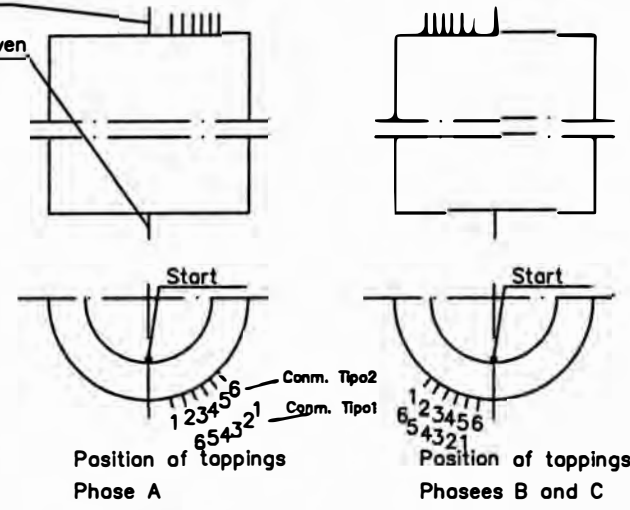
26
28

Binding tape Winding is tied with tape (+glue) about 200 mm intervals around the winding 5 turns/place

23
Duct stick determined in BOM

Start if number of layers is even

Start if number of layers is uneven



Mark	Description
AJK	Cooling Duct
HKP	Winding Height Before Clamping
HK	Winding Height After Clamping
AK	Winding Thickness
DU	Outer Diameter
DS	Inner Diameter

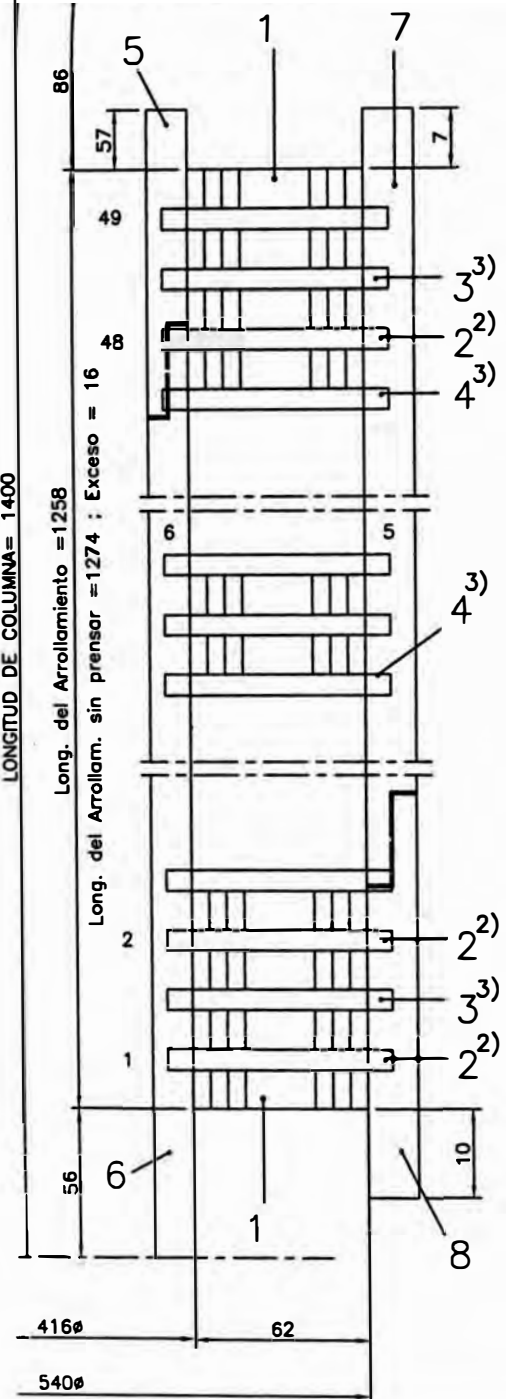
Based on K3001857	Reg. No. A	Title MULTI LAYER WINDING	Scale 1:XX
Prepared 97-09-10 TR	Responsible department ABB Transmit Oy		Lang. en
Approved	Take-over department		
Revision A		Tolerance Ref.	Page 1
		Document No. 1LBA 704025 D W G	Cont. -

Fabricacion
26/10/05

Rev. Production

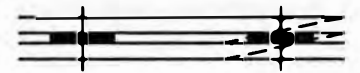
Rev. Construction

LONGITUD DE COLUMNA= 1400

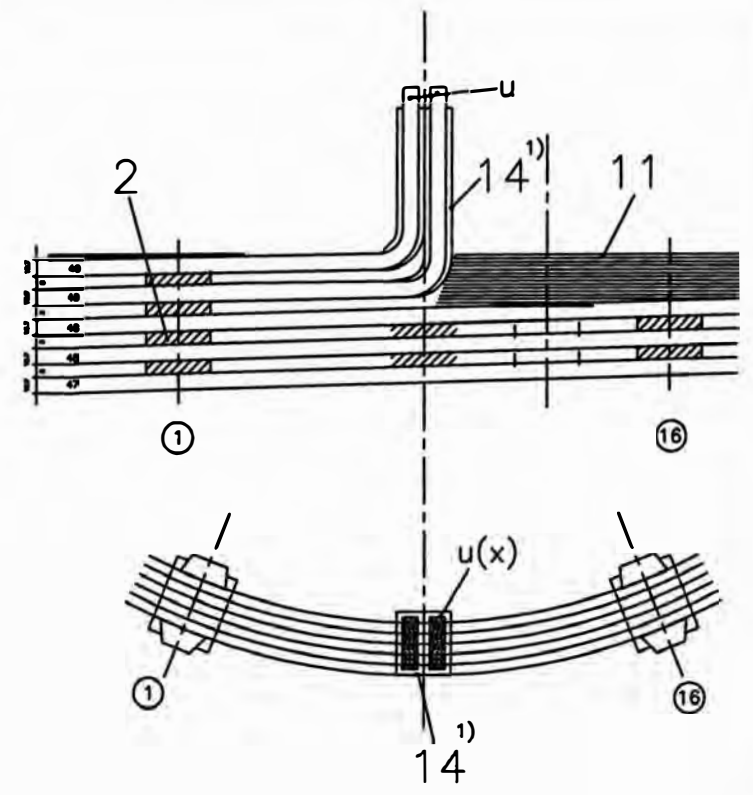
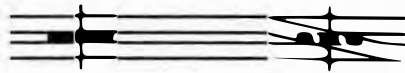


- PRESION SOBRE LA BOBINA = 7440 KG.
- LONG. DE LAS SALIDAS x, u = 300 mm.
- LT02 - 2,3,5,12,17
- LT05 - 5

TRANSPOSICION INTERIOR



TRANSPOSICION EXTERIOR



Observaciones

- 1) - Aislar las salidas u,o a 2mm. con Pos.14.
- 2) - Los separadores Pos.3 irán en los canales 1,2,3 y 97,98,99
- 3) - Los separadores de 2 mm. Pos.2, irán en los canales restantes , excepto donde hay cruces (usar Pos.4)

Dibujado: 26/10/05 J.G.	No Registro	Titulo ARROLLAMIENTO BT No.1 HELICE DOBLE(S2) 16 Separadores (BIL 60) Sentido Derecho	Esc. %
Revisado: 26/10/05 C.E.	Dpto. responsable ING.		
Aprobado: 26/10/04 F.M.	OP: 750070		Leng. S
Modificación:			Pag. 1
		1LPE 750070DWD	Cont. 3

	Cru ces después de:	Espir as por cruce
1	1 espira	1
2	2 espiras	1
3	3 espiras	1
4	4 espiras	1
5	5 espiras	1
6	6 espiras	1
7	7 espiras	1
8	8 espiras	1
9	9 espiras	1
10	10 espiras	1
11	11 espiras	1
12	12 espiras	1

	Cru ces después de:	Espir as por cruce
13	13 espiras	1
14	14 espiras	1
15	15 espiras	1
16	16 espiras	1
17	17 espiras	1 $\frac{1}{16}$
18	18 $\frac{1}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
19	19 $\frac{2}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
20	20 $\frac{3}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
21	21 $\frac{4}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
22	22 $\frac{5}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
23	23 $\frac{6}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
24	24 $\frac{7}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$

	Cru ces después de:	Espir as po cruce
25	25 $\frac{8}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
26	26 $\frac{9}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
27	27 $\frac{10}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
28	28 $\frac{11}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
29	29 $\frac{12}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
30	30 $\frac{13}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
31	31 $\frac{14}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
32	32 $\frac{15}{16}$ espiras	1 $\frac{1}{16}$
33	34 espiras	1
34	35 espiras	1
35	36 espiras	1
36	37 espiras	1

	Cru ces después de:	Espir as por cruce
37	38 espiras	1
38	39 espiras	1
39	40 espiras	1
40	41 espiras	1
41	42 espiras	1
42	43 espiras	1
43	44 espiras	1
44	45 espiras	1
45	46 espiras	1
46	47 espiras	1
47	48 espiras	1
	49 espiras	

ibujado	No Registro	Título	Enc. %
26/10/2005 J. G.		ARROLLAMIENTO BT. N°1	
Revisado	Dpto. responsable	S2-Hélice	
26/10/2005 C. E.	ING	16 SEPARADORES RAD. (BIL 60)	Leng. S
Aprobado	OP: 750070	SENTIDO DEL BOBINADO : Derecho	Pag. 2
26/10/2005 F. M.			Cant. 3
Modificación:			
1LPE 750070DWD			

Indice ident.	Unidad	CL	Pos.No	Dibujo Básico:		CD	Modif.	Peso/U		III
				Denominacion	Plano YPCT/Material			I	II	
R1					ARROLLAMIENTO BT. No.1	1LPE750070DWD			2187.13	
3			1		Bobina 10.3x2.12/10.7x2.52 (Cu+papel)	EBT:			2132.7	
4323			2		Separador B= 30 x C= 70 A= 2	404654 Fig.8			22.7	
288			3		Separador B=30 x C= 70 A= 3	404654 Fig.8			2.27	
141			4		Separador 30 x L= 55 A= 2				0.58	
48			5		Cuña Trapez. Z= 19 D= 517 S=6 C=140 TIV	404707a P2			3.54	
48			6		Cuña Trapez. Z= 19 D= 974 S=6 C=140 TIV	404707a P2			6.67	
48			7		Cuña Trapezoidal D= 910 S=5 Z=19 C=140 Cartón	404707a P2			5.19	
48			8		Cuña Trapezoidal D= 485 S=5 Z=19 C=140 Cartón	404707a P2			2.76	
3			11		Anillo de Igualacion d=416 D=540 H=28 h=1 S=62	410794 R1y2 TIV			10.13	
138			13		Protección de Cruce 0.5 x 23 x 99 Presspan				0.19	
s/n			14		Aislamiento 0.4 x 25	Papel Crepé			0.4	

Rev. Construcción	Dibujado: 26/10/05 J.G.	No Registro	Titulo ARROLLAMIENTO BT No.1 HELICE DOBLE(S2) 16 Separadores Radiales (BIL 60Kv) 1LPE750070DWD	Esc. %
	Revisado: 26/10/05 C.E.	Dpto. responsable ING		
	Aprobado: 26/10/05 F.M.	OP: 750070		Leng. S
	Modificación:			Pag. 3
				Cont. 3

Yoke X-Section :F B mm :1400

 Coil/Winding :1/2 2/1
 AKA mm :8 12
 HPE mm :U86 U116
 HPE (2) mm :L56 L87
 HK mm :1258 1197
 HKP mm :1274 1233

Item 63 Insulation tube thickness 2 mm. Dims.: 1395X1352
 Item 82 Insulation tube thickness 2 mm. Dims.: 1279X1824

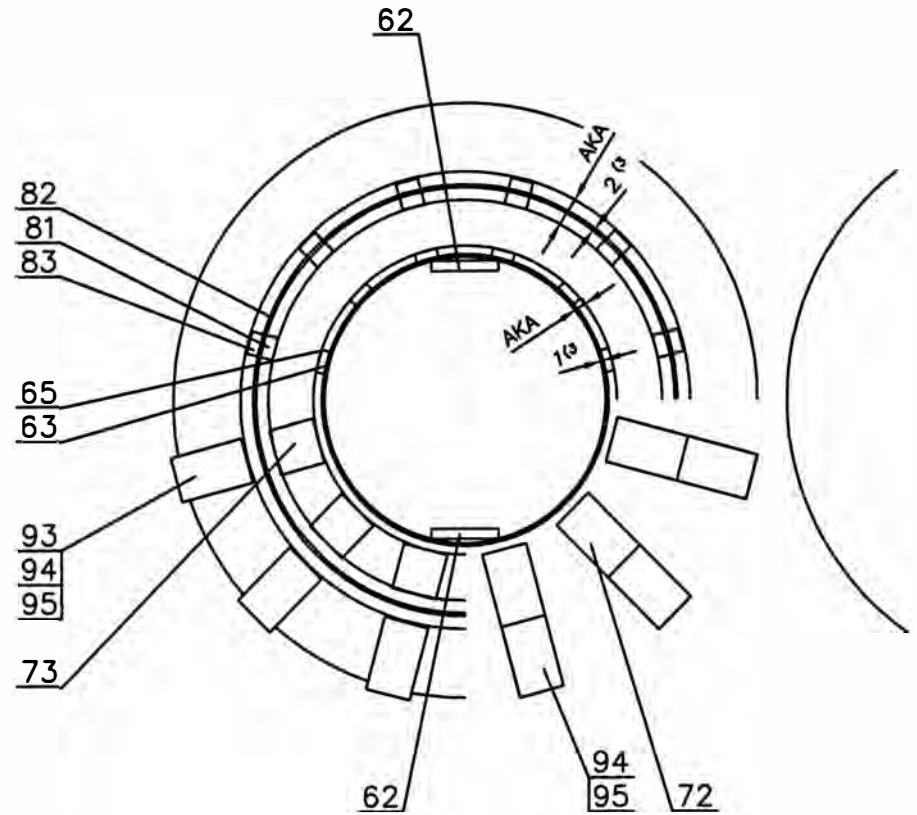
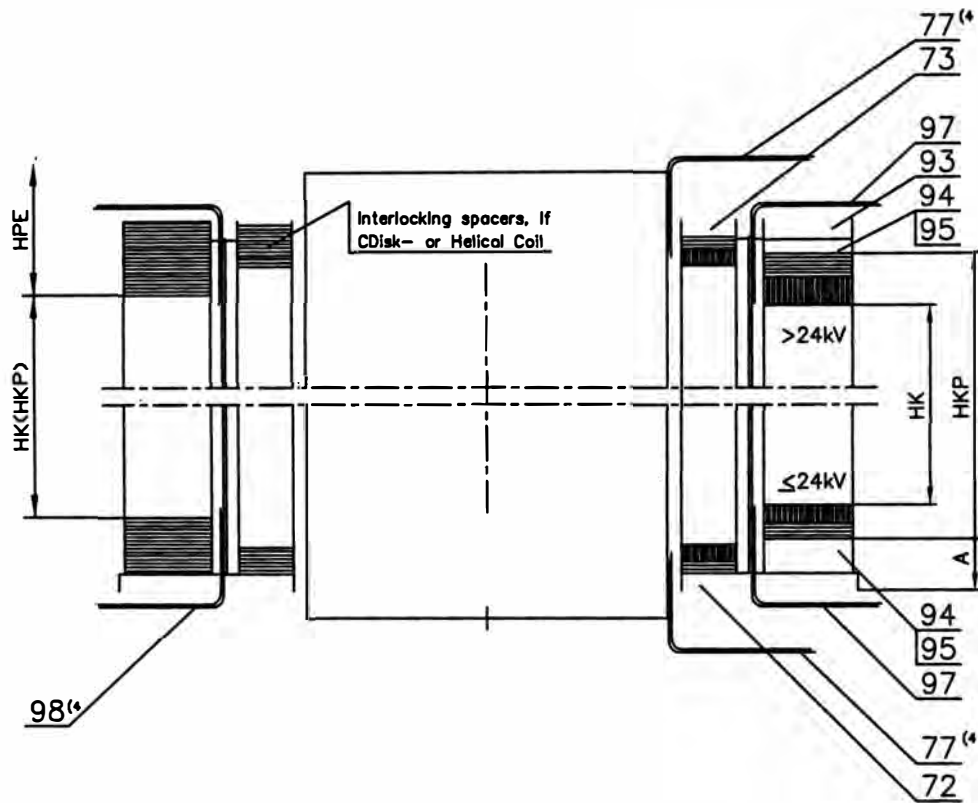
Ver plano 1LPE750070DA para ubicación de spacers y aislamientos.

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE011854DXWL	Winding support	1LBA700211DXWL	B128 L280 T94 A	8	PCS
002	1LPE012042DXWL	Winding support	1LBA700211DXWL	B128 L280 T84 A	4	PCS
003	1LPE011858DXWL	Winding support	1LBA700250DXWL	B128 L280 T104 A	12	PCS
005	1LBA000467DXR	Guide pin	1LBA700512DXR	D8 L30	24	PCS
006	1LPE005131DXIKP	Pressboard		B128 L280 T1 H	12	PCS
008	1LPE001499DXIKP	Pressboard		B40 L320 T1 H	2	PCS
009	1LBA152803-50	Copper strip	-	B50 L280 T0.3	1	PCS
010	1LPE011992DXB	Vertical Tie Rod		M36 L2460/600+90 N	4	PCS
011	9ADA 267-15	Hexagon nut, steel		M36Y	24	PCS
012	9ADA 312-14	Plain washer		d37Y	8	PCS
013	1LBA212621-36	Lock nut		M36	8	PCS
015	1LPE010675DXTP	Insulation tube		D46 d40 L1480	4	PCS
016	9ADA 312-14	Plain washer		d37Y	8	PCS
025	1LPE006336DXWL	Winding table	1LBA700200DXWL	B302 L700 T35 A	4	PCS
026	1LPE006338DXWL	Winding table	1LBA700200DXWL	B302 L700 T45 A	8	PCS
031	1LPE001595DXB	Vertical Tie Rod		M20 L2000/90+90 N	4	PCS
032	1LPE010681DXTP	Insulation tube		D32 d26 L1480	4	PCS
033	9ADA 312-11	Plain washer		d21Y	8	PCS
034	9ADA 267-11	Hexagon nut, steel		M20Y	8	PCS
035	1LPE212621-20	Lock nut		M20	8	PCS

Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department	Title Active assembly 46011754
Approved FM / 16/11/2005	Take-Over Department	
Revision A	Drawing No.	1LBA700029DA
	Document No.	1LPE011754DA
		Page 1


Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
062	1LPE011769DXSC	Core stick		B110 L1540 T10	6	PCS
063	1LPE182101-802	Transformer paper		B1800 T0.5	7.913	KG
072	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
073	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
074	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
077	1LPE006717DXIKI	Insulating plate		B90 L150 T0.5	24	PCS
082	1LPE182101-802	Transformer paper		B1800 T0.5	9.93	KG
083	1LPE002466DXS	Stick		B14 L1275 T5	48	PCS
093	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
094	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
095	1LPE004988DXS	Spacer		VER PLANO	48	PCS
097	1LPE006717DXIKI	Insulating plate		B90 L150 T0.5	24	PCS
098	1LPE006717DXIKI	Insulating plate		B90 L150 T0.5	24	PCS
119	1LPE011775DXIKP	Insulating plate		B500 L1372 T2 H	2	PCS
120	1LBA182630-2	Hydr. cell. strip		B14 T0,25	2	M

Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department	Title Active assembly 46011754
Approved FM / 16/11/2005	Take-Over Department	
Revision A	Drawing No.	1LBA700029DA
	Document No.	1LPE011754DA
		Page 2



14/26

C 450...
D 300...

Based on K3000704	Reg. No. F	Title ASSEMBLY	Scale 1:XX
Prepared 87-12-01 JH8/KM	Responsible department	Types 46...	 Long. en
Approved	Take - over department		
Revision A		Tolerance Ref.	Page 1
		Document No. 1LBA 700029 D A	Cont. -

OP: 750070

DISTANCIAS MINIMAS A RESPETAR:

- ENTRE CONDUCTORES FASE FASE : 10 MM
- ENTRE CONDUCTOR Y TIERRA (Fase) : 20 MM (aislado=18/Sin barrera)
- ENTRE CONDUCTOR Y TIERRA (Fase) : 10 MM (aislado=18/con barrera=3mm)
- ENTRE CONDUCTOR Y TIERRA (Linea) : 20 MM (aislado=24/Sin barrera)
- ENTRE CONDUCTOR Y ARISTAS (Linea/Fase) : 40 MM

TENSION DE ENSAYO : 34 KV

TENSION DE IMPULSO : 95 KV

NOTA:

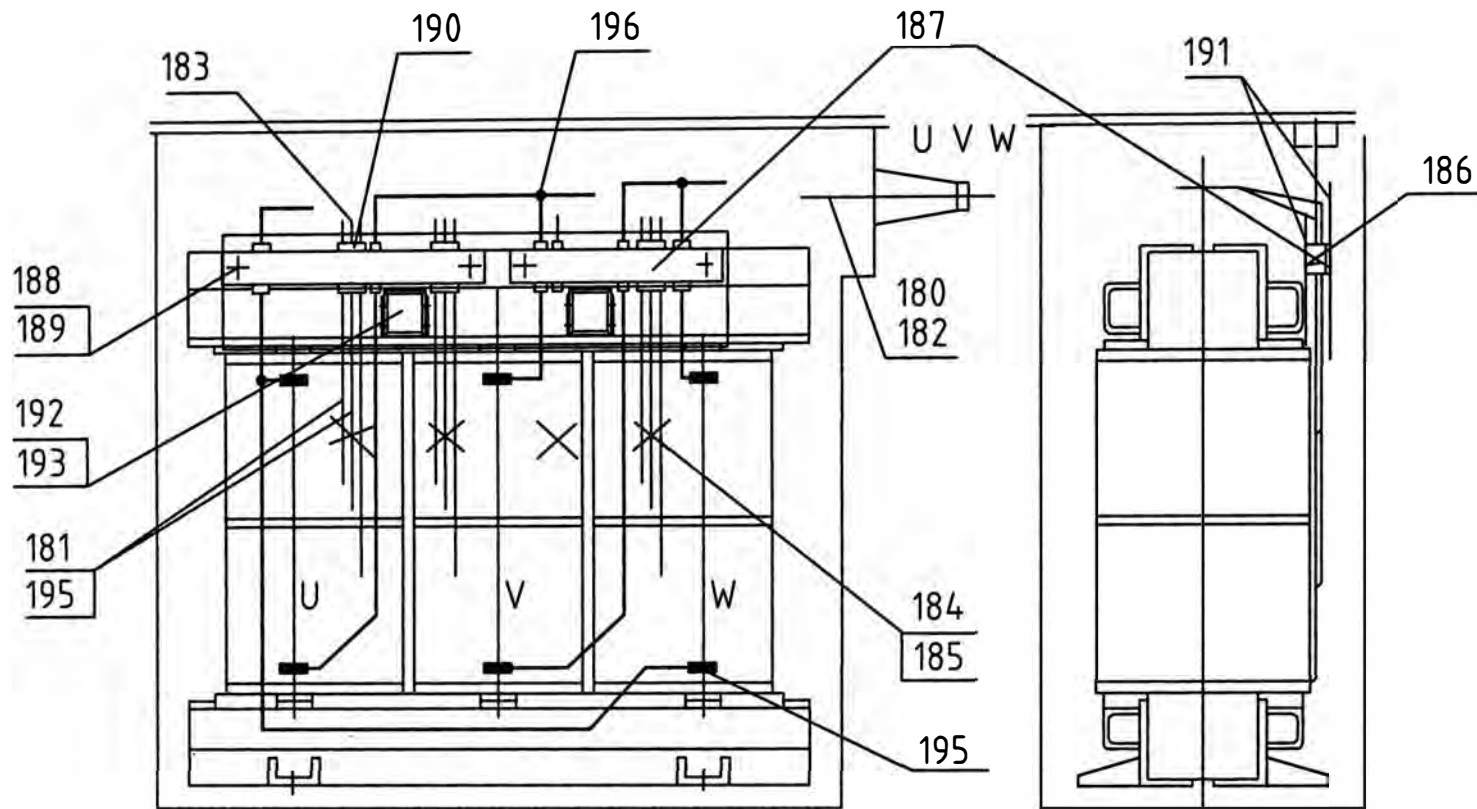
- En salidas de bobinas(ej. derivaciones al conmutador) o uniones soldadas de cables, reforzar aislamiento con 3mm de papel crepé.
- Cables hacia el conmutador no deben quedar endeblés, sino agrupados rigidamente.
- Donde es necesario se adaptaran soportes de maderas
- Realizar las conexiones en conjunto con la placa de características.
- Para fase se usara cable Extra flexible 95 mm2 13/18 aislado
- Para Linea se usara cable Extra flexible 150 mm2 19/24 aislado

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
181	1LPE011554DDL	Paper insulated wire, cu		Extra flex.95mm2)13/18 aislado	45	M
182	1LPE011556DDL	Paper insulated wire, cu		Extra flex.150 mm2 19/24 aislado)	15	M
184	1LPE010214DXTP	Insulation tube	1LBA703924DXT	D20 d14 L20	15	PCS
185	1LBA182611-1	Insulat. paper strip		B10 T0,25	3	M
186	1LPE010204DXW	Clamping rib	1LBA700308DXW	L1000 B60 T50	2	PCS
187	1LPE010206DXW	Clamping rib	1LBA700308DXW	L1000 B60 T30	2	PCS
188	1LBA212401-16	Laminated wood screw		M16*Varilla Resam	1.2	M
189	1LPE212651-	Nut, nylon		M16*Tuerca Resam	10	PCS
190	1LPE002218-	Pressboard		T0,1(1.5=15x(0.1x120)	1	KG
193	1LPE011552DXWL	Wood for transport	1LPE701061DXWL	A150 B150 L150	2	PCS

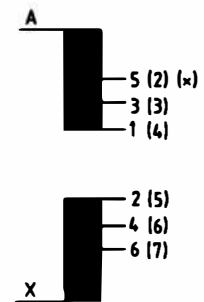
Prepared VS /17-10-05	Responsible Department ING	Title HV-lead arrangement 46011432
Approved FM /17-10-05	Take-Over Department PTPR	
Revision A	Drawing No. 1LPE701063DDA	
	Document No. 1LPE011742DD	Page 1

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
195	1LPE001444D	Terminal Crimping		95mm2	24	PCS
196	1LPE011558D	Terminal T		95mm2	3	PCS

Prepared DP / 25/09/2005	Responsible Department ING	Title HV-lead arrangement 46011432	Page 2
Approved FM / 07/10/2005	Take-Over Department PTTR		
Revision A	Drawing No. 1LPE701063DDA		
	Document No. 1LPE011432DD		

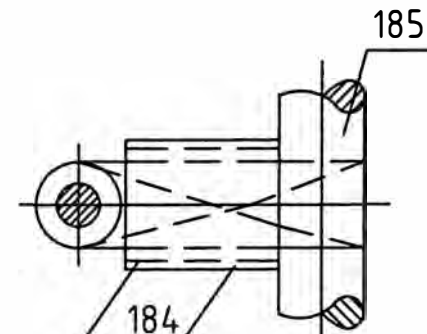
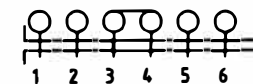


Order of tapping connection:

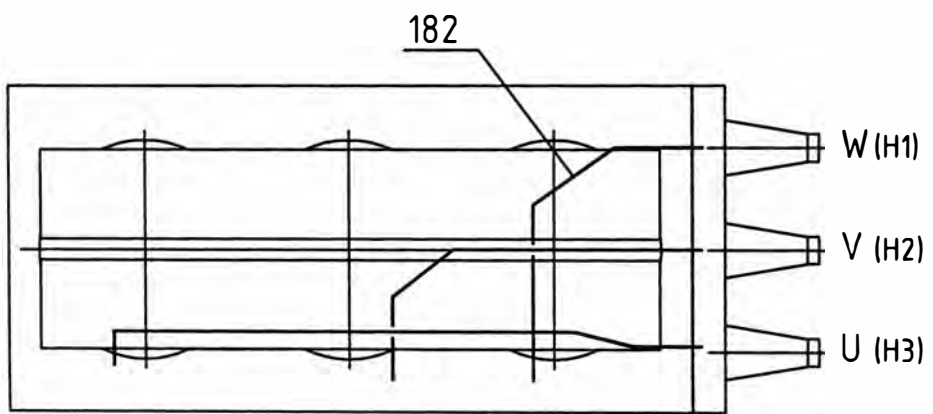


(*): Posiciones según placa de características

Off-load tap switch:



Supporting bracket for the crossing places



HV Side

Based on	Reg. No.	Title	Scale
Prepared 26-09-05 D.Peñaherrera	Responsible department	H.V. Lead	1:XX
Approved 26-09-05 F.Miranda	Take - over department	44 kV	
Revision A		Delta Conection (Δ)	Lang. en
		Tolerance Ref.	Page 1
		Document No. 1LPE 701063 DDA	Cont. -

OP750070

DISTANCIAS MINIMAS A RESPETAR:

- ENTRE CONDUCTORES FASE FASE : 10 MM
- ENTRE CONDUCTOR Y TIERRA : Cable / Platina 10/70 MM
- ENTRE CONDUCTOR Y ARISTAS (Linea): 20 MM aislado=27

TENSION DE ENSAYO : 19 KV
 TENSION DE IMPULSO : 60 KV

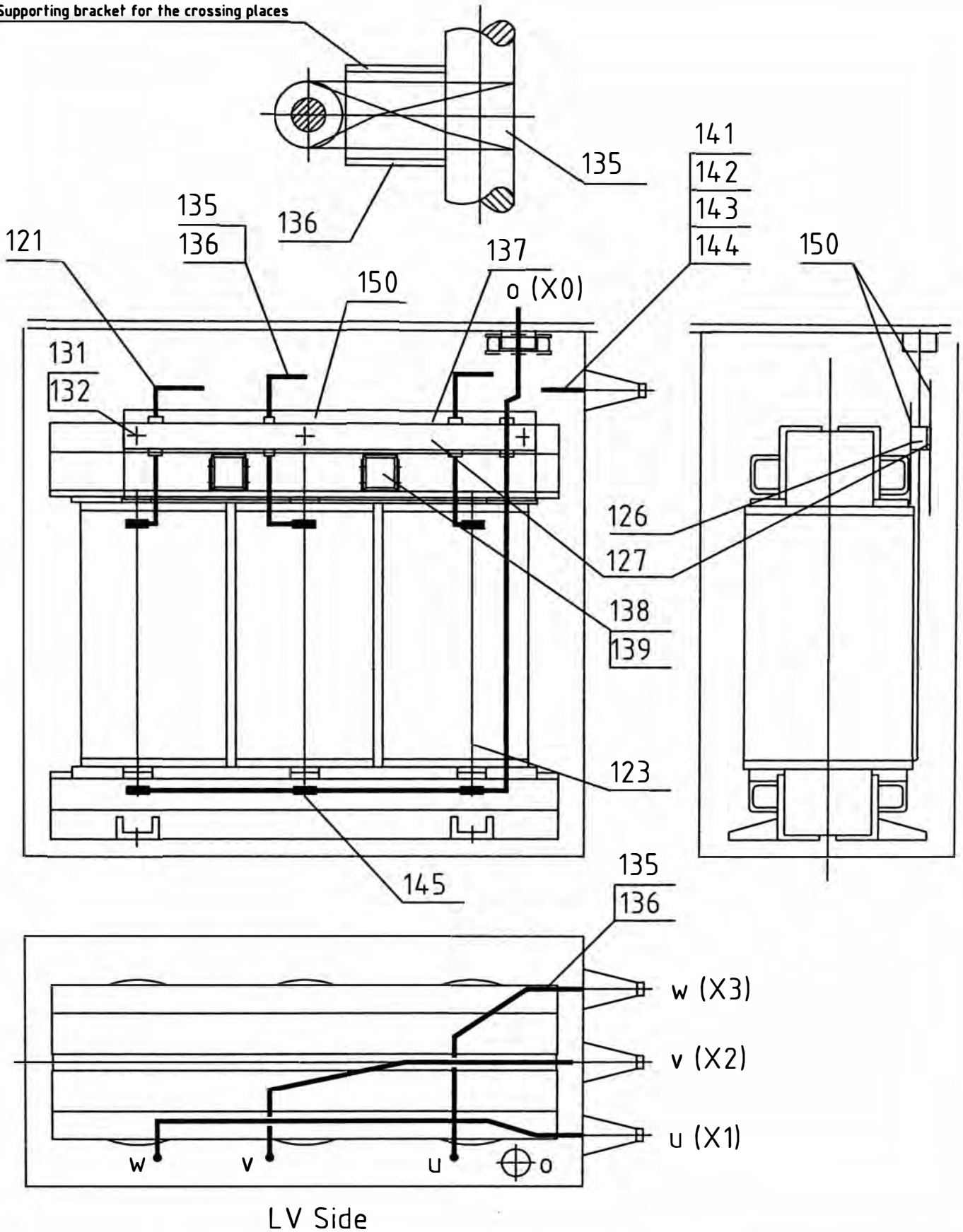
NOTA:

- En salidas de bobina(o uniones soldadas de cables), reforzar aislamiento con 2mm de papel crepé.
- Donde es necesario se adaptaran soportes de maderas
- Realizar las conexiones en conjunto con la placa de características.

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
121	1LPE010184DDL	Paper insulated wire, cu		2x240mm2 D23/27mm Aislado	30	M
123	1LPE011198D	MANGUITO		-	-	PCS
126	1LPE011548DXW	Clamping rib	1LBA700308DXW	L2100 B60 T50	2	PCS
127	1LPE011550DXW	Clamping rib	1LBA700308DXW	L2100 B60 T30	2	PCS
131	1LBA212401-16	Laminated wood screw		M16*Varilla Resam	1.2	M
132	1LPE212651-	Nut, nylon		M16*Tuerca Resam	10	PCS
135	1LBA182611-1	Insulat. paper strip		B10 T0,25	3	M
136	1LPE010228DXTP	Insulation tube	1LBA703924DXT	D20 d14 L30	25	PCS
137	1LPE002218-	Pressboard		T0,1(1.5=15x(0.1x120)	1	KG
139	1LPE011552DXWL	Wood for transport	1LPE701061DXWL	A150 B150 L150	2	PCS
141	1LPE010186D	Terminal c/hueco		240mm2	16	PCS
142	9ADA 121-33	Hexagon head screw, steel		M12xL50	16	PCS
143	9ADA 268-3	Hexagon nut, steel		M12	16	PCS
144	9ADA 313-3	Plain washer		d12.5	32	PCS

Prepared VS / 17-10-05	Responsible Department ING	Title LV-lead arrangement 46011434
Approved FM / 17-10-05	Take-Over Department PTPR	
Revision A	Drawing No. 1LPE701060DB	
	Document No. 1LPE011744DB	Page 2

Supporting bracket for the crossing places



Based on	Reg. No.	Title	Scale
Prepared	Responsible department	L.V. LEAD	Z
25-09-05 D.Peñaherrera	ING	YN	
Approved	Take-over department		Lang.
25-09-05 F.MIRANDA	PTTR		en
Revision			Page
			1
		Document No.	1/26
		1LPE 701060 DB	1

special Type 74

Pintura Gray ANSI 61

Drawing Parameters:

A=2366	A2=2991	A3=311
A4=314	B=886	C=2700
D=493	E=333	H1=605
H2=555	L=2610	L1=1900

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE011986DTRW	Shell	1LPE701090DTRW	74 H2360 A Special	1	PCS
002	1LPE011700DTRB	Bottom	1LPE700796DTRB	74 A 4	1	PCS
003	1LPE011702DTRBP	Bottom plate		B904 L314 T10	1	PCS
004	1LPE011706DTRF	Top frame	1LBA704150DTRF	74 A 4 Special	1	PCS
005	1LPE011704DTRBP	Bottom plate		B904 L311 T10	1	PCS
006	1LPE011816DLX	TC Junction	1LPE700836DLX	A67 B67 L100	1	PCS
007	1LPE009204DXFT	Flanged Tube	1LPE700798DXFT	D150 d80.9 L150 n4 C	12	PCS
008	1LPE008438DLT	Bushing junction	1LPE700814DLT	12+36 KV / 630 A	3	PCS
009	1LPE011632DLT	Bushing junction	1LPE701067DLT	12+36 KV / 2000 A	3	PCS
010	1LPE011924DTRF	Tpo frame, round gasket	1LPE700797DTRF	70 A Special round gasket	1	PCS
011	1LPE009210DTX	Support	1LPE700800DTX	A135 B130 T10	12	PCS
012	1LPE009210DTX	Support	1LPE700800DTX	A135 B130 T10	12	PCS
013	1LPE011936DTW	Tank wall brace	1LBA700347DTW	B220 H150 L2015 T8	2	PCS
015	1LPE011938DTW	Tank wall brace	1LBA700347DTW	B220 H150 L1705 T8	1	PCS
016	1LPE011940DTW	Tank wall brace	1LBA700347DTW	B220 H150 L1775 T8	1	PCS
019	1LPE011942DTW	Tank wall brace	1LBA700347DTW	B220 H150 L2005 T8	4	PCS
020	1LBA000661DTWE	Tank wall brace end piece	1LBA700260DTWE	150 B220	8	PCS
021	1LPE009180DXK	Fine grain plate	1LBA703925DXK	B150 L220 T10	4	PCS
022	1LPE011884DXL	Lifting hook	1LPE701080DXL	8T Hole	4	PCS
023	1LPE000685DTX	Support	1LBA700262DTX	A80 B80	8	PCS
024	1LBA000672DTWE	Tank wall brace end piece	1LBA700261DTWE	150 B220	4	PCS
025	1LBA000669DTX	Support	1LBA700264DTX		6	PCS
028	1LBA218300-2	Lifting eye	1LBA700511DXL	2T	8	PCS

Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department ING	Title Tank, radiator	46011746
Approved RR / 27/10/2005	Take-Over Department PTTR		
Revision C Ubicacion horiz. Pos.47 06/01/2006 RR/FM		Drawing No. 1LPE701083DTR	
750070		Document No. 1LPE011746DTR	Page 1

20/26

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
030	1LPE011716DTF	Four way sled	1LBA700854DTF	74 B160	1	PCS
032	1LBA006712DTLP	Lifting plane	1LBA700237DTLP	830	2	PCS
034	1LPE008338DXX	Sampling device	T413031	NW22	1	PCS
035	1LPE011688DXFT	Flanged Tube	1LPE700805DXFT	D165 d62 L100 n4 B	1	PCS
036	1LPE011688DXFT	Flanged Tube	1LPE700805DXFT	D165 d62 L100 n4 B	1	PCS
037	1LPE011948DTX	Bracket	1LPE701085DTX	FOR CONTROL CABINET	2	PCS
039	1LPE011518DTX	Support of hand-drive LTC	1LPE701056DTX	L206	1	PCS
040	1LBA001551DXE	Earthing terminal	1LBA700257DXE	D30	2	PCS
043	1LPE000719DXE	Earthing terminal	1LBA700259DXE	H110 L65 T6	2	PCS
044	1LPE009282DLX	2-pole bushing	1LPE230237DLTXF	2 Polos	1	PCS
047	1LPE008422DTX	Support	1LPE700808DTX	A50 (1 RIT & 1 THER.)	1	PCS
062	1LPE011522DXK	Fine grain plate	1LBA703925DXK	B120 L530 T10	2	PCS
063	1LPE011524DXK	Fine grain plate	1LBA703925DXK	B120 L580 T10	2	PCS
064	9ADA 84-15	Steel angle bar		A60 A60 T8*L=300	4	KG

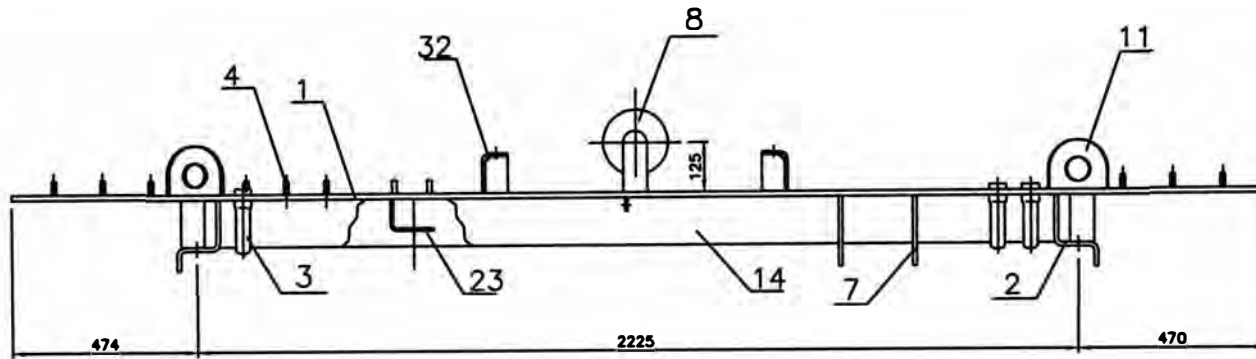
Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department ING	Title Tank, radiator	46011746
Approved RR / 27/10/2005	Take-Over Department PTTR		
Revision C Ubicacion horiz. Pos.47 06/01/2006 RR/FM		Drawing No. 1LPE701083DTR	
750070		Document No. 1LPE011746DTR	Page 2

COLOR: Gray ANSI 61

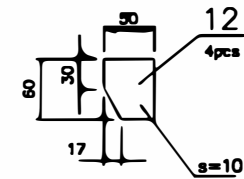
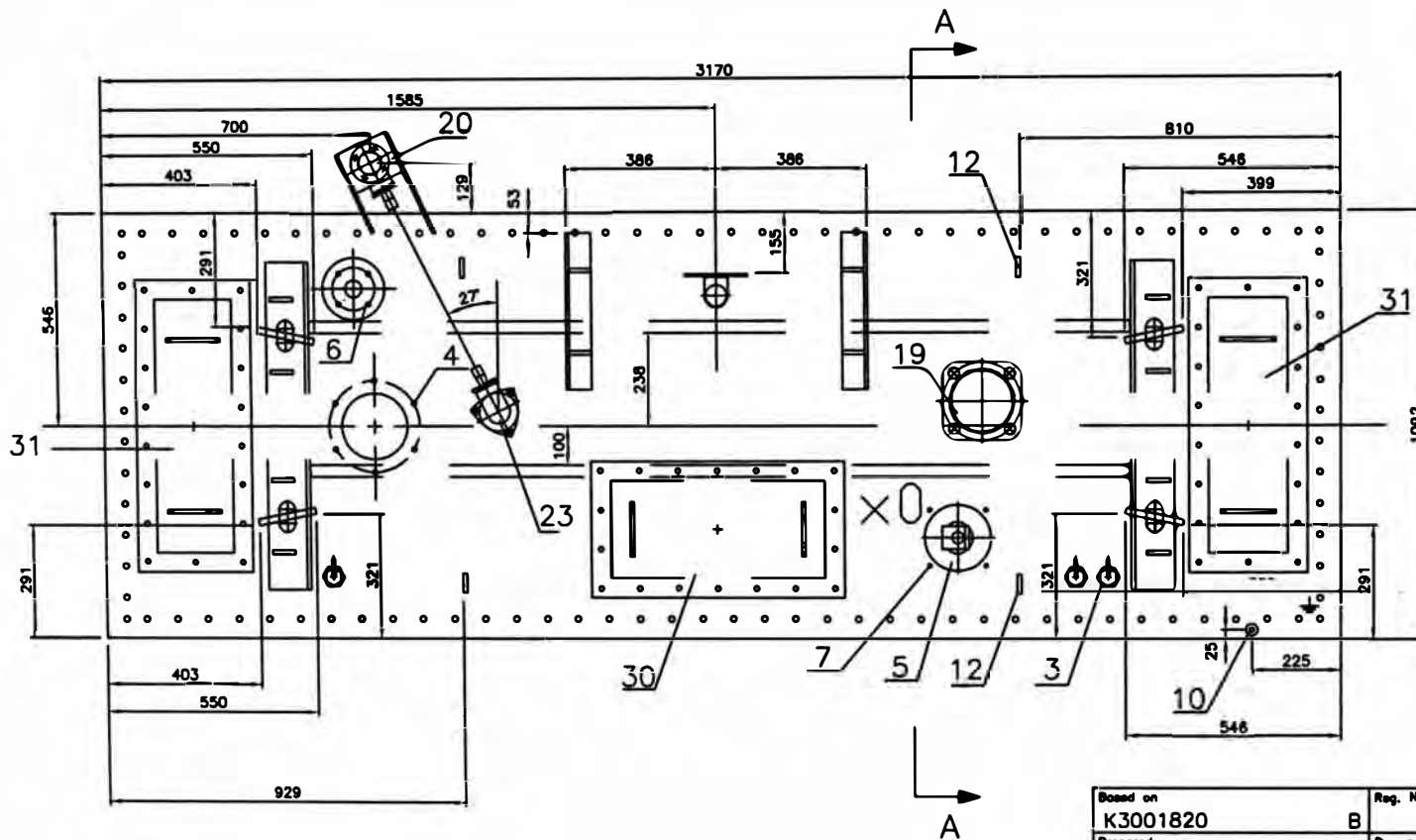
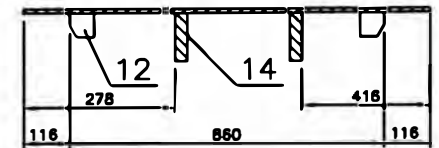
Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE011888DLRP	Cover plate, rad	1LPE701082DLRP	74 Special E 24	1	PCS
002	1LBA006482DLH	Hanging bracket	1LBA700323DLH	464 R 74	2	PCS
003	1LBA469301-1	Thermometer pocket	YPCT401567a		3	PCS
004	1LPE009432DLO	Pressure relief junction	1LPE700915DLO	QUALITROL 208	1	PCS
005	1LPE011632DLT	Bushing junction	1LPE701067DLT	12+36 KV / 2000 A	1	PCS
006	1LPE011190DXF	Aperture flange	1LPE701058DXF	D160 d43 n4 T8	1	PCS
007	1LPE011814DLX	TC Junction	1LPE700836DLX	A101 B101 L200	1	PCS
008	1LPE010070DXFT	Flanged Tube	1LBA700442DXFT	D165 C	1	PCS
010	1LBA001551DXE	Earthing terminal	1LBA700257DXE	D30	1	PCS
011	1LBA001121DXL	Lifting lug	1LBA700603DXL	D60 B150 H125 T16 (4T)	4	PCS
012	1LBA002589DXK	Steel flat bar	1LBA703925DXK	B60 L50 T10	4	PCS
014	1LBA000425DXK	Steel flat bar	1LBA703925DXK	B120 L2105 T30	2	PCS
019	1LPE009532DLX	6-pole bushing	T 21198a	6 Polos	1	PCS
020	1LPE011890DLS	Support of LTC	1LPE700956DLS	MT A150 L1:220 L2:289	1	PCS
023	1LPE011464DLS	Support of LTC	1LPE700953DLS	MT205 L80	1	PCS
030	1LPE010078DLX	Hand hole	1LPE700822DLX	A350 B650 T10	1	PCS
031	1LPE010080DLX	Hand hole	1LPE700822DLX	A300 B750 T10	2	PCS
032	1LPE010096DLX	Brackets	1LPE700999DLX	A400 B65 T8	2	PCS

Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department ING	Title Cover 46011740	Drawing No. 1LPE701081DLR
Approved RR / 27/10/2005	Take-Over Department PTTR		
Revision A		Document No. 1LPE011740DL	Page 1
750070			


23/26



Section A-A



24/26

Based on K3001820	Reg. No. B	Title Radiator Tank	Scale 1:XX
Prepared 30-09-05 RR	Responsible department ING	Type 74 Special	 Lang. en
Approved 30-09-05 FM	Take-over department PTTR		
Revision A		Tolerance Ref. ISO 14012, ISO13920	Page 1
ABB		Document No. 1LPE 701066 DLR	Cont. -

Pintura gray ANSI 61

Oil Level Indicator :Cedaspe 220

Drawing Parameters:

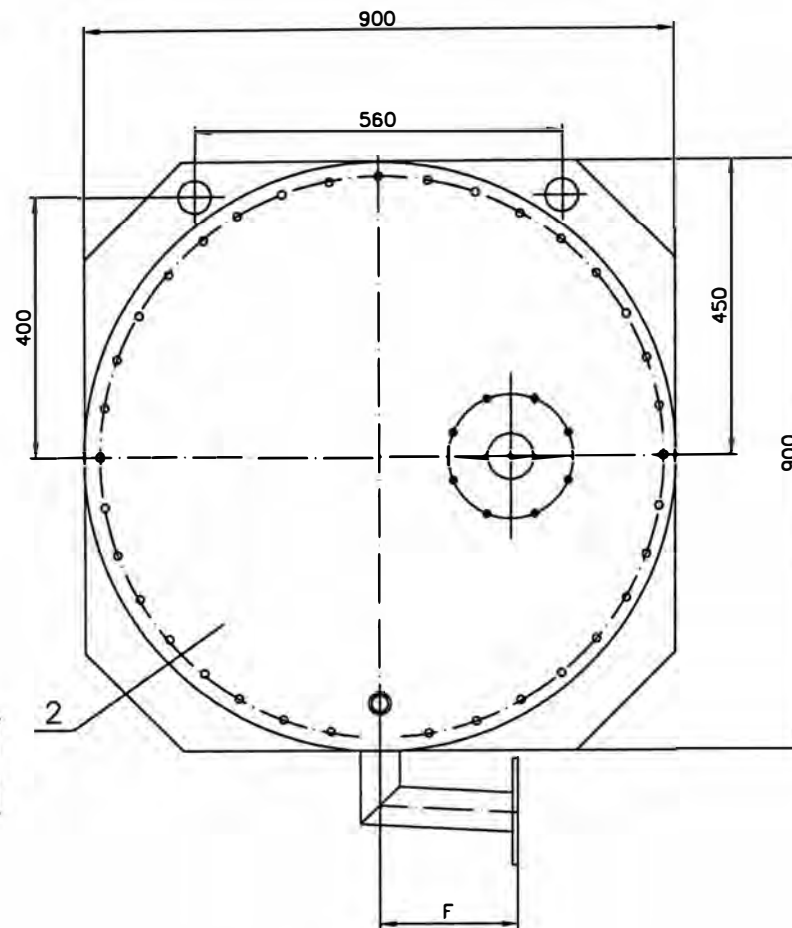
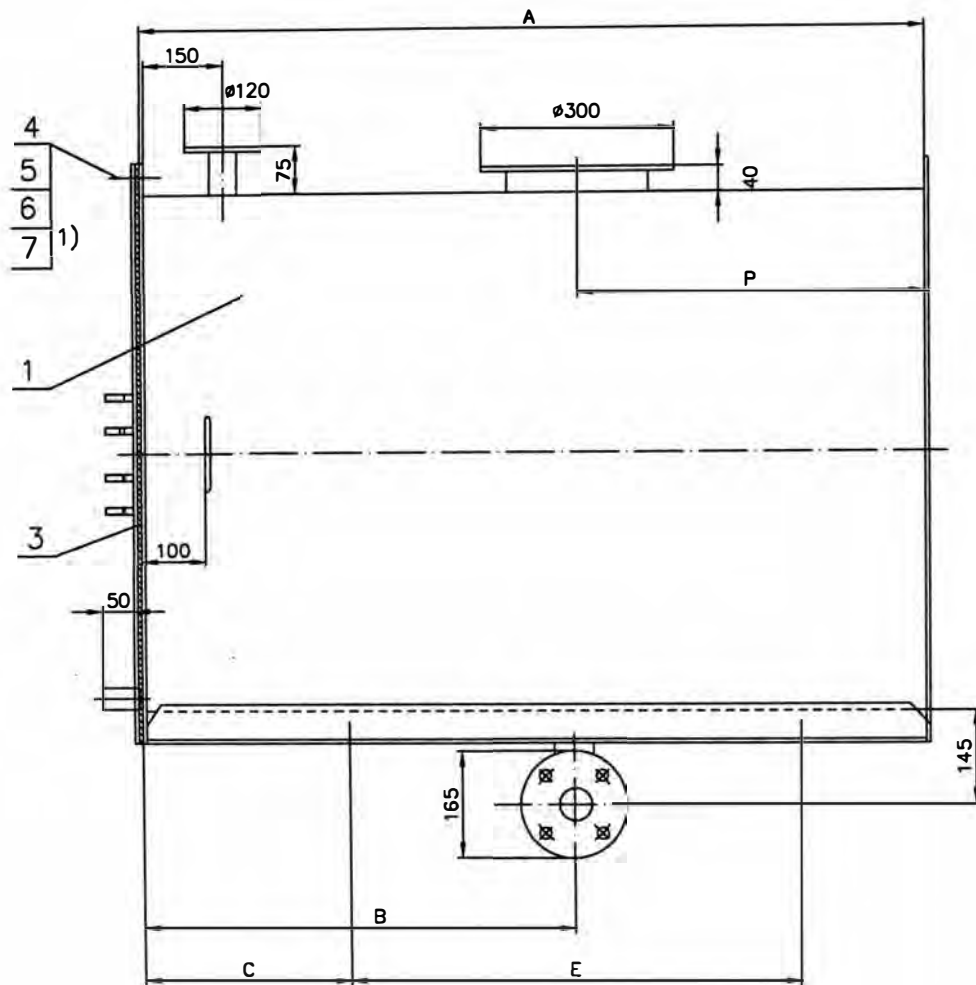
A=950 B=475 C=124

E=702 F=294 P=386

Item	Material/BOM	Name	Drawing No.	Dimension/Description	Qty	Unit
001	1LPE010280DED	Closed endcylinder	1LPE700825DED	D800 L950 N M	1	PCS
002	1LPE011642DEE	End Plate Assembly	1LPE700828DEE	D800 B R M	1	PCS
003	1LBA006488DFGRC	Gasket	1LBA700418DFGR	D900 d800 T6	1	PCS
004	1LBA212001-2	Hexagon head screw, steel		M10X35/26Z	36	PCS
005	1LBA215107-10	Plain washer		d10.5Z	68	PCS
006	9ADA 268-3	Hexagon nut, steel		M10Z	36	PCS
007	1LBA215101-10	Washer ratched, aust		D20 d10.2	4	PCS

Prepared JG / 07/10/2005	Responsible Department	Title Conservator	46011750
Approved RR / 24/10/2005	Take-Over Department		
Revision A		Drawing No. 1LPE700824DE	
750070		Document No. 1LPE011750DE	Page 1

25/26



1) Part 7 At two places at opposite sides under bolt head and nut

Guarantee the electric continuity between all the removable parts of the conservator
 Garantire la continuità elettrica tra tutte le parti smontabili del conservatore
 Garantizar la continuidad eléctrica entre todas las partes desmontables del conservador

Based on	Reg. No.	Title	Scale
Prepared 28/02/05 O.H.	Responsible department ING	Conservator	1: %
Approved 28/02/05 F.M.	Take - over department PTTR	Types 62 - 82	
Revision A		Tolerance Ref. ISO 14012	Lang. en
		Document No. 1LPE 700824 D E	Page 1
			Cont. -