

Instituto Schneider Electric de Formación

Transformadores de potencia

PT-037



CURSO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE S.E.T.

Transformadores de Potencia



A. Granero

VOLUMEN I

PROLOGO

Este primer volumen de Transformadores de Potencia es una recopilación adaptada de textos y documentación fotografica escogidos de los Grandes Constructores de Transformadores, ASINEL y fabricantes del material base y accesorio, la normativa ZANE aplicable a cada caso aparece igualmente en forma sinóptica con el fin de aportar al lector una obra de gran contenido practico y didáctico..

No aparecen reflejados en este volumen los transformadores de distribución secos encapsulados en resina epoxi, los cuales por su interés y actualidad se les da un tratamiento especial en el Volumen 2°.

En este monográfico sobre Transformadores de Potencia se ha seguido la misma tipificación y sistemática que en anteriores volúmenes perteneciente al Curso de Operación y Mantenimiento de S.E.T. con el propósito de conseguir la misma fluidez de lectura enriquecida por una extensa documentación gráfica que sin duda aportara al lector una visión más amplia del contenido.

Andrés Granero

Transformadores de Potencia

INDICE

	<u>PAGINA</u>
CAPITULO I.	
1.- CONSTRUCCION.	
1.1 Cuba o caja.	1
1.2 Circuito magnetico.	2
1.3 Arrollamientos.	10
1.4 Aisladores Pasatapas - Bornas.	21
1.5 Pasatapas para 36 KV y para potencias hasta 2500 KVA	24
1.6 Regulación de la tensión.	32
1.7 Calentamiento y Refrigeración.	44
1.8 Accesorios.	53
CAPITULO II.	
2.- ENSAYOS.	
2.1 Condiciones generales para los ensayos.	78
2.2 Medida de la resistencia de los arrollamientos.	80
2.3 Medida de la relación de transformación y del grupo de conexión.	82
2.4 Medida de la tensión de cortocircuito y pérdidas debidas a la carga.	87
2.5 Medida de las pérdidas y de la corriente de vacio.	89
2.6 Ensayos dieléctricos.	91
2.7 Ensayos de calentamiento.	94
2.8 Medida del nivel de ruido.	103
2.9 Otros ensayos.	105
2.10 Protocolo de Ensayos.	107
CAPITULO III.	
3.- FLUIDOS DIELECTRICOS	
3.1 Líquidos aislantes eléctricos.	129
CAPITULO IV.	
4.- PUESTA EN MARCHA DE TRANSFORMADORES.	
4.1 Definiciones.	179
4.2 Bornes y punto neutro.	180
4.3 Regimen asignado.	180
4.4 Pérdidas.	181
4.5 Tensión de cortocircuito.	182

4.6 Ventilación de los locales de ubicación de transformadores.	182
4.7 Condiciones de servicio del transformador.	187
4.8 Acoplamiento de transformadores.	190
4.9 Cargas en los transformadores.	192
4.10 Comparación de pérdidas entre dos transformadores y valoración de las mismas.	194

CAPITULO V.

5.- MANTENIMIENTO.

5.1 Prescripciones para el mantenimiento y vigilancia del transformador y sus accesorios.	197
5.2 Prueba de la rigidez dieléctrica.	199
5.3 Medición de la resistencia de aislamiento.	201
5.4 Control de carga, tensión y temperatura.	205



CAPITULO I

CONSTRUCCION

1.1 CUBA O CAJA.

Es el elemento donde van a ir ubicadas las partes activas y ha de contener el fluido refrigerante del transformador.

1.1.1 Montaje de la cuba.

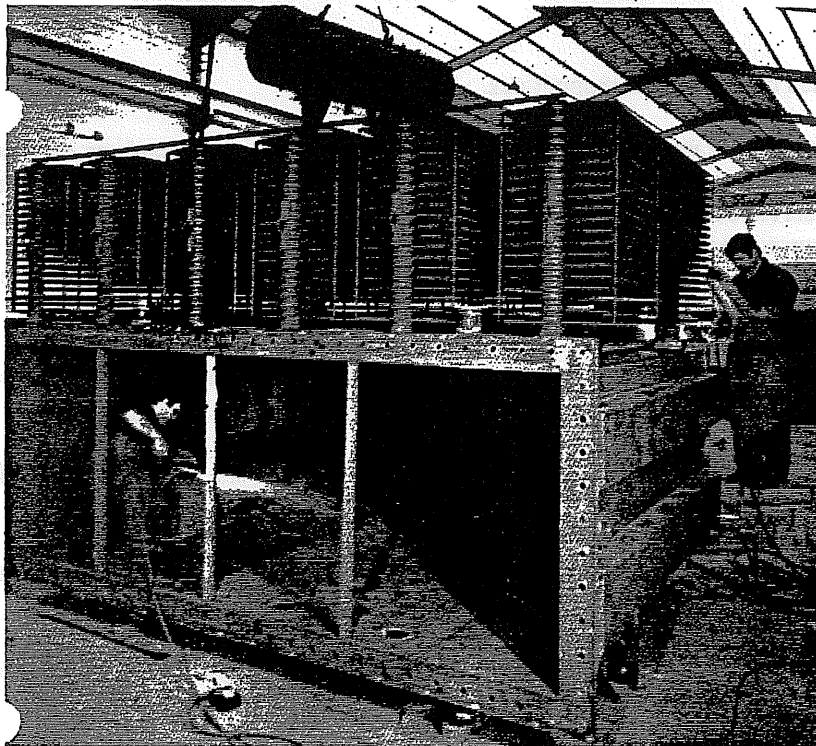
La cuba del transformador deberá estar sólidamente construida en chapa de acero con orificios para la instalación de los radiadores, lo cual permite aumentar la evacuación del calor mediante los efectos de radiación y convección, y será diseñada de acuerdo con el tipo de máquina que vaya a contener.

La parte inferior de la cuba va sobre unos zócalos de perfiles laminados con ruedas orientables.

Sobre la parte superior va sujeta la tapa con suficiente número de tornillos y junta de neopreno, o goma sintética, o silicona, etc., que aseguran la perfecta estanqueidad.

Esta tapa es de acero, de espesor suficiente, a fin de conseguir la rigidez mecánica que asegure la sujeción de los elementos que va a soportar sin deterioros en la misma.

Todos los transformadores llevan en la cuba ganchos para la elevación de los mismos con el aceite, y en la tapa anillos de elevación SOLAMENTE para poder elevar la tapa con la parte activa y bornas del transformador; se consideran partes activas a los núcleos, devanados y regulador del transformador.



Vista del montaje de una cuba de transformador

1.2 CIRCUITOS MAGNETICOS.

Un circuito magnético está constituido esencialmente por un conjunto de chapas magnéticas provisto de tensores (piezas de apriete y bridas) y fuertemente sujeto por bulones.

1.2.1 Chapa magnética laminada en caliente.

Para la construcción de núcleos se emplean chapas ferromagnéticas eléctricamente aisladas de 0,35 mm. de espesor, constituidas por una aleación de acero y silicio de alta calidad, del orden del 3 al 5 % estando laminadas en caliente para obtener junto a las pérdidas mínimas, la máxima permeabilidad magnética.

Además el silicio estabiliza la chapa en el sentido de evitarle prácticamente el envejecimiento, existiendo, sin embargo, un aumento de pérdidas con el tiempo, principalmente por la acción continua del calor.

1.2.2 Chapa magnética laminada en frío.

La ordinaria chapa magnética de laminado en caliente ha sido sustituida por la chapa magnética de grano orientado o laminado en frío.

La diferencia del tipo de chapa no está en su laminado primordialmente, sino en la utilización de un acero más puro y con menor contenido en carbono que para la chapa magnética ordinaria.

El acero silicioso cristaliza en un sistema regular centrado debido a la acción de fuertes laminados en frío quedando de este modo orientada su estructura cristalina, con el fin de eliminar tensiones internas el material se somete a tratamientos térmicos y en tal sentido μ tiene valores más ELEVADOS, entre el 20 y el 25 % a los admisibles en chapa laminada en caliente, con la consiguiente reducción de la sección del núcleo y por tanto de las pérdidas en el transformador.

1.2.3 -Rendimientos de las chapas magnéticas.

Actualmente en la fabricación de transformadores se emplea con carácter casi exclusivo, la chapa magnética de grano orientado. No obstante, hay que tener en cuenta que buen número de los transformadores en servicio se fabricaron a base de chapa laminada en caliente. El espesor de las chapas utilizadas es de aproximadamente 0.35 mm. LAS PERDIDAS por histéresis y por corrientes parásitas suelen darse en VATIOS POR KILOGRAMO DE MATERIAL, REFERIDAS A 50 HZ. Y 1 T (1 Tesla = 10.000 Gaus), se añade el valor relativo a 1.5 T.

Como orientación podemos indicar que la chapa magnética ordinaria (laminada en caliente 0.35 mm.) para transformadores, suele tener pérdidas del orden de 0.8 - 1.3 W/Kg. (1T).

La chapa de grano orientado ofrece valores del orden de 0,4 a 0.5 W/KG (1 T) y 1 : 1,2 KW/KG (1,5 T).

Los transformadores de fabricación actual suelen proyectarse para inducciones que oscilan entre 1,5 y 1,8 T.

Los datos anteriores ponen en evidencia el gran progreso conseguido en los últimos años con la chapa de grano orientado, la cual ha permitido conseguir objetivos fundamentales como: reducir las pérdidas, disminuir el peso y el volumen del transformador

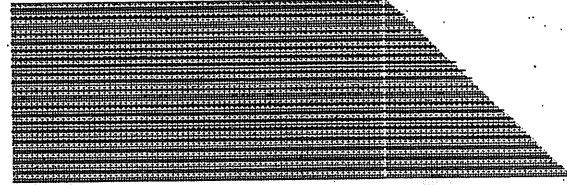
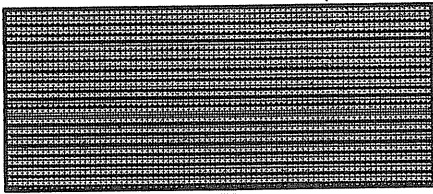
1.2.4 Preparación para el montaje de las chapas magnéticas.

Para montar los núcleos se utiliza chapa magnética de 0.35 mm. de espesor constituida por aleación de acero y silicio en el que el porcentaje de silicio está cuidadosamente estudiado para obtener la máxima permeabilidad magnética.

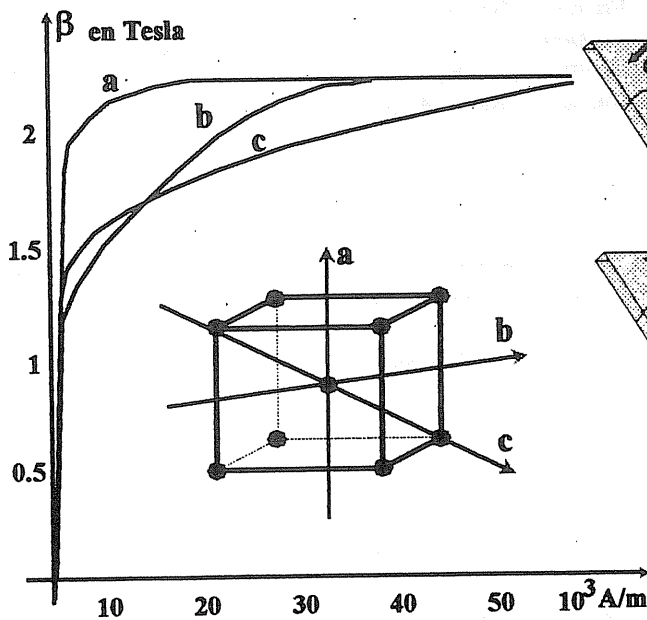
El corte de estas chapas es objeto de una atención cuidadosa para evitar el más pequeño defecto. (que se traduciría en el montaje en el consiguiente aumento de los entrehierros) eliminando las rebabas que pudieran quedar, una vez cortada y punzonada.

La chapa a través de un horno de recocido especial mejora sus características magnéticas que siempre resultan afectadas por las intensas tensiones mecánicas a que quedan sometidas en las operaciones anteriores, una vez recocidas, se procede a su aislamiento para reducir las pérdidas por efecto de FOUCAULT.

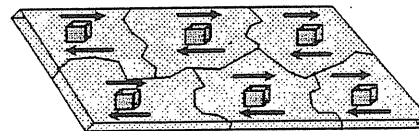
El sistema de aislamiento con papel, ha sido desechado, empleando posteriormente como aislante el esmaltado al horno continuo, el cual es inalterable a la acción del líquido refrigerante caliente y cuyas propiedades quedan aseguradas por el vitrificado y tratamiento térmico a que queda sometido y en el que se alcanzan temperaturas de 3500 °C, este sistema mejora el coeficiente y la posibilidad de poderlo desmontar sin que se lesione el aislante.



Corte de chapas magnéticas



cristales sin orientar



cristales orientados

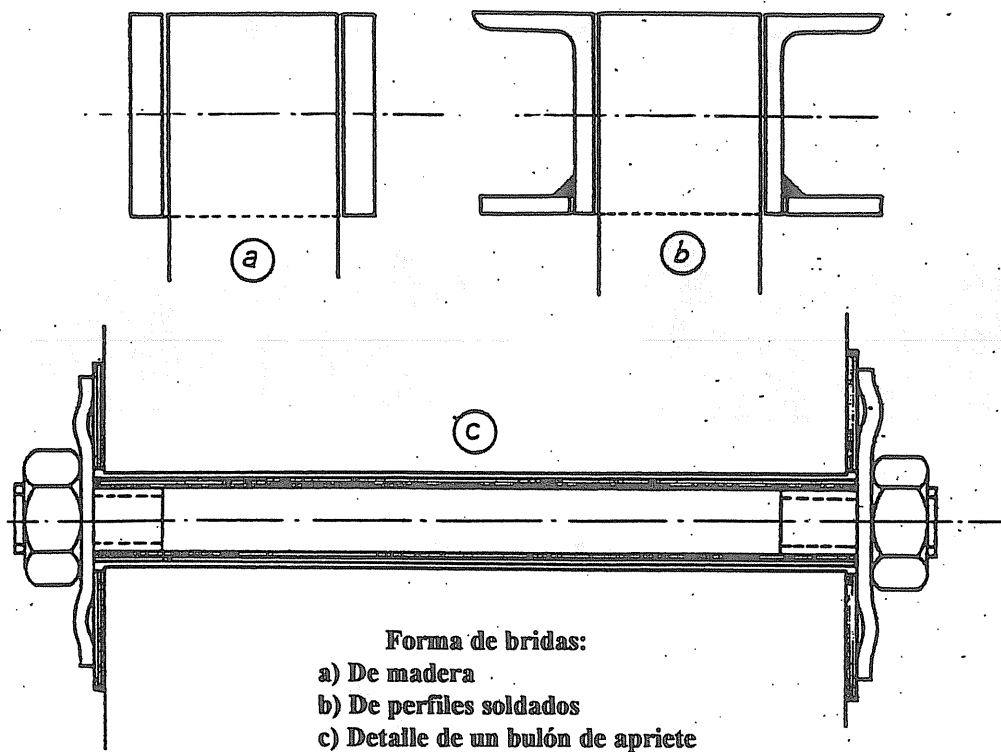
CURVAS DE IMANTACIÓN DEL CRISTAL DE HIERRO SEGÚN PARALELAS A LOS TRES EJES DE SIMETRÍA.

Sin embargo en la actualidad se usan chapas de grano orientado que vienen preparadas mediante un tratamiento especial termoquímico denominado "CARLITE" que proporciona el aislamiento necesario para un mejor acabado y rendimiento de la chapa magnética.

1.2.5 Montaje de núcleos.

El corte y punzonado de la chapa debe ser vigilado cuidadosamente para evitar las rebabas que originarían pérdidas suplementarias.

Los conjuntos de chapas magnéticas se aprietan mediante bulones y bridas para darles rigidez mecánica y evitar sus vibraciones. Estos bulones y bridas de apriete estarán aislados del núcleo. Las bridas están formadas generalmente por perfiles de hierro soldados, utilizándose también la madera para transformadores de pequeña potencia.



Forma de los circuitos magnéticos

Se denominan generalmente columnas las partes de un circuito magnético sobre las que se montan los devanados y culatas las partes que realizan la unión entre las columnas.

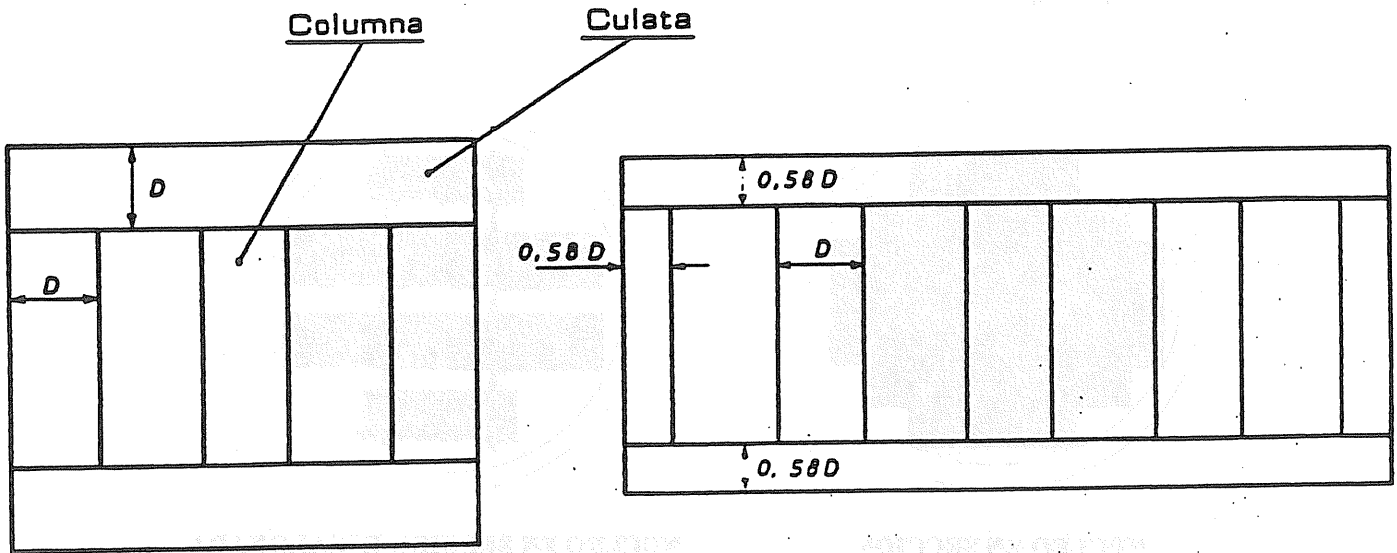
Se pueden dividir los circuitos magnéticos en dos grandes grupos:

- Acorazados.
- De columnas.

En los primeros las culatas están dispuestas alrededor de los devanados y parecen protegerlos, a modo de una coraza.

En los segundos los núcleos tienen forma de columna en las que son montados los devanados.

El circuito trifásico de cinco columnas es empleado en el caso de unidades muy grandes, para reducir la altura de la culata y hacer el aparato más fácilmente transportable.

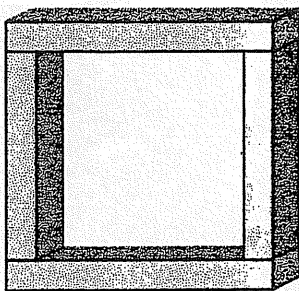


Comparación de las dimensiones en núcleos de tres y cinco columnas

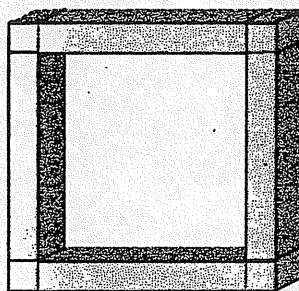
Los núcleos se forman con la chapa ya aislada y cortada de los que citamos 3 procedimientos - (A) NUCLEO A TOPE - (B) A SOLAPE - (C) CORTE A 45°.

En las dos primeras figuras A y B existen techos en los cuales el flujo no se establece longitudinalmente en relación con la dirección del laminado lo cual origina un aumento de pérdidas (disminución del rendimiento por calentamiento) y para evitar esto, al aparecer las chapas de grano orientado, se ha recurrido al corte a 45° figura (C), lo cual permite que el flujo circule prácticamente en la dirección de la laminación de la chapa lo cual se transforma en menores pérdidas y mínima intensidad de vacío.

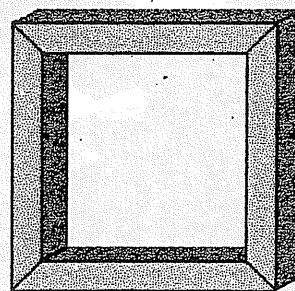
La sección de las columnas es escalonada para así facilitar la adaptación de bobinas circulares y al mismo tiempo asegurar la circulación del fluido refrigerante por los canales que quedan entre núcleo y arrollamiento.



NUCLEO A TOPE
(A)

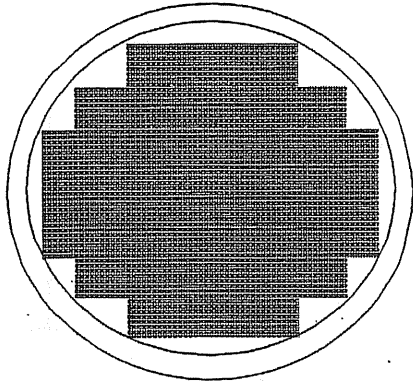


NUCLEO AL SOLAPE
(B)

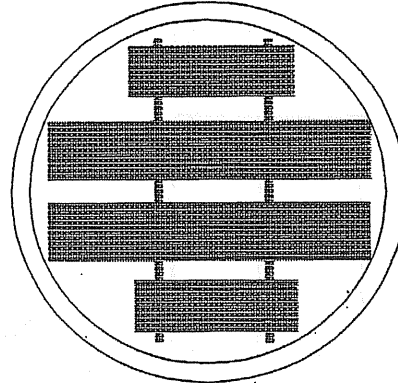


CORTE DE NUCLEO A 45°
(C)

En grandes transformadores para favorecer la evacuación del calor producido, se preveen unos canales interiores longitudinales que permiten mantener en el interior del núcleo temperaturas convenientes segun normas.



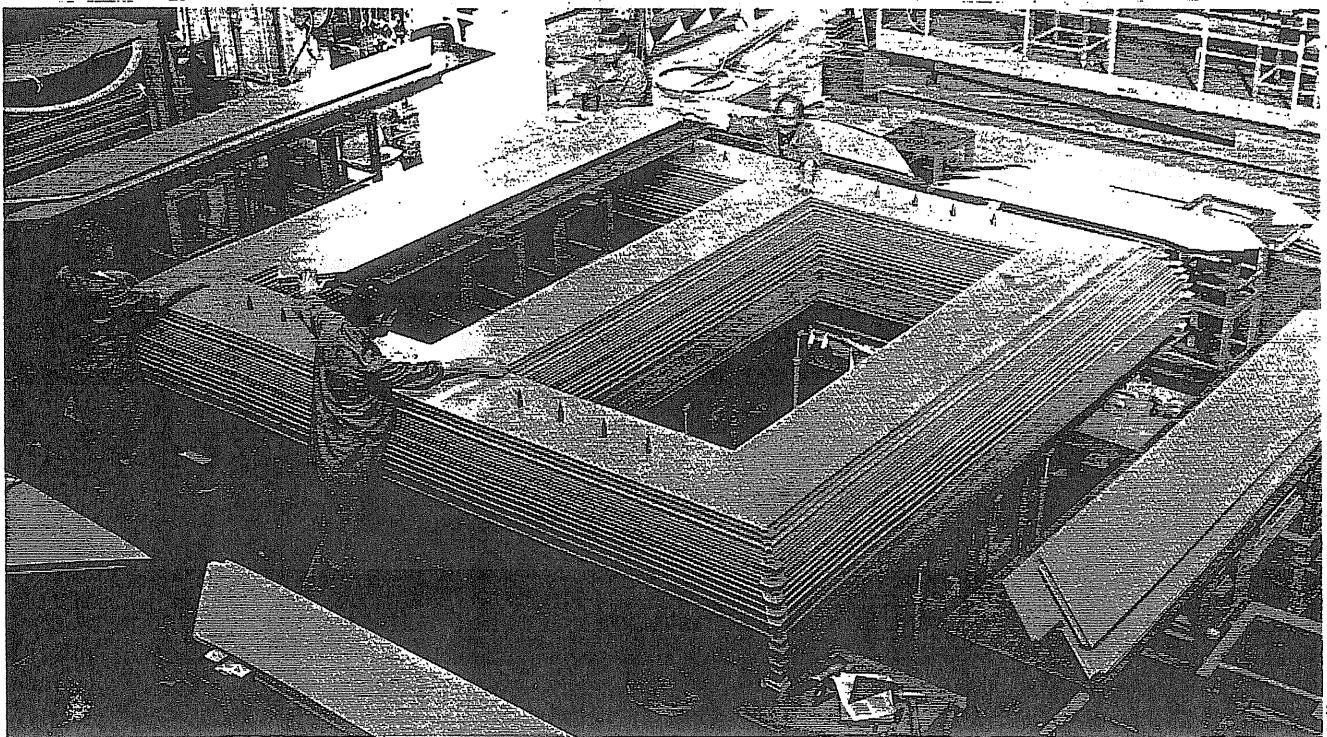
NUCLEO EN SECCION
ESCALONADA



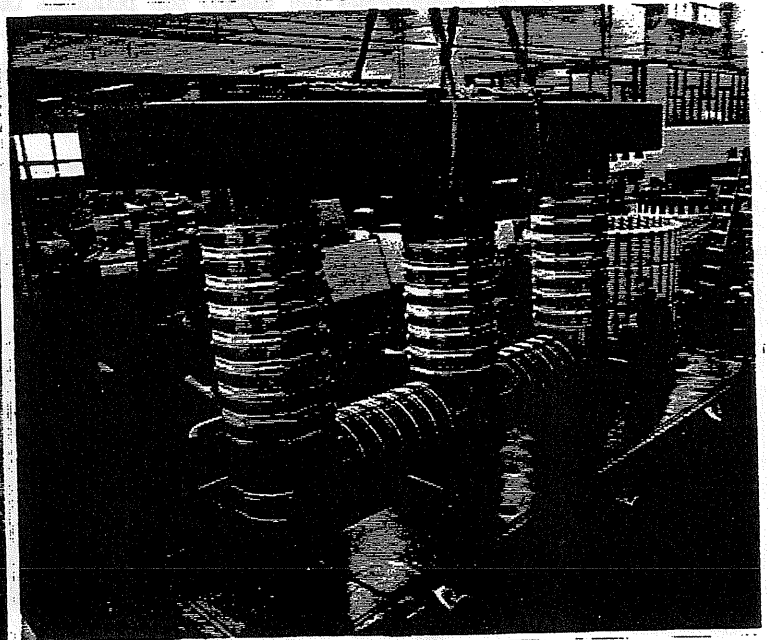
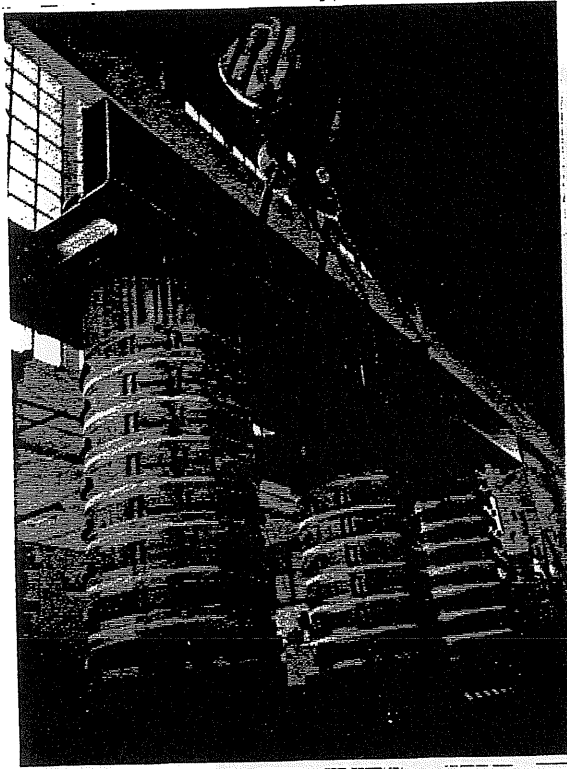
NUCLEO EN SECCION ESCALONADA
CON PAQUETES DE CHAPA CON
SEPARADORES

La rigidez mecánica de las columnas se obtiene en máquinas de mediana y gran potencia mediante placas de presión y tornillos pasantes AISLADOS con manguitos de papel bakelizado ya que de no ser así se producirían unos calentamientos por dispersión de flujos que podrían poner en peligro la vida del transformador al producirse una elevación de temperatura motivada por pérdidas suplementarias.

Vistas de núcleos de chapa apilada y corte a 45°



Vista de núcleos de chapa apilada en proceso de montaje



También es notable el progreso conseguido en el aspecto denominado "factor de aprovechamiento" que es el cociente de dividir la sección del hierro en el núcleo por la totalidad del mismo hierro más aislamiento:

	Espesor nominal	Naturaleza del aislamiento	Coefficiente de relleno
Chapa de Silicio	35/100	papel	0.84
Ordinario	35/100	esmalte	0.89
	40/100	papel	0.845
Chapa de cristales orientados	40/100	esmalte	0.895
	35/100	esmalte	0.94
	35/100	"carlite"	0.965

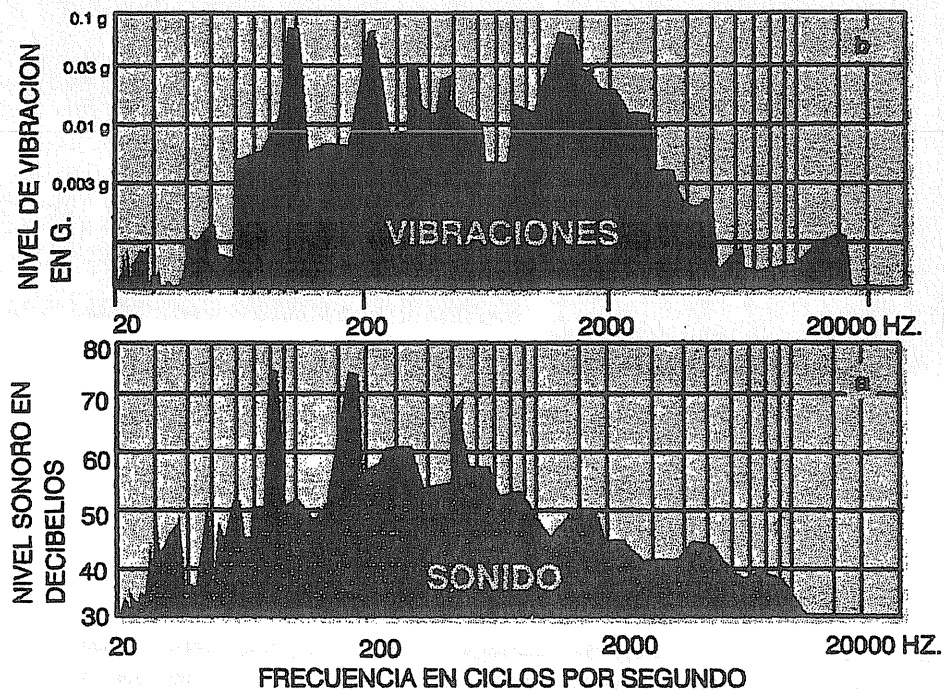
1.2.6 Ruidos y vibraciones.

El transformador es generalmente un generador de vibraciones. El núcleo sometido a un campo magnético creado por una corriente alterna de 50 períodos, se alarga y contrae (fenómeno magneto-estrictivo) 50 veces por segundo originando una vibración cuya frecuencia es de 100 Hz., doble que la de la alimentación.

El núcleo al vibrar, origina ONDAS SONORAS de la misma frecuencia, que se transmiten al aire de alrededor.

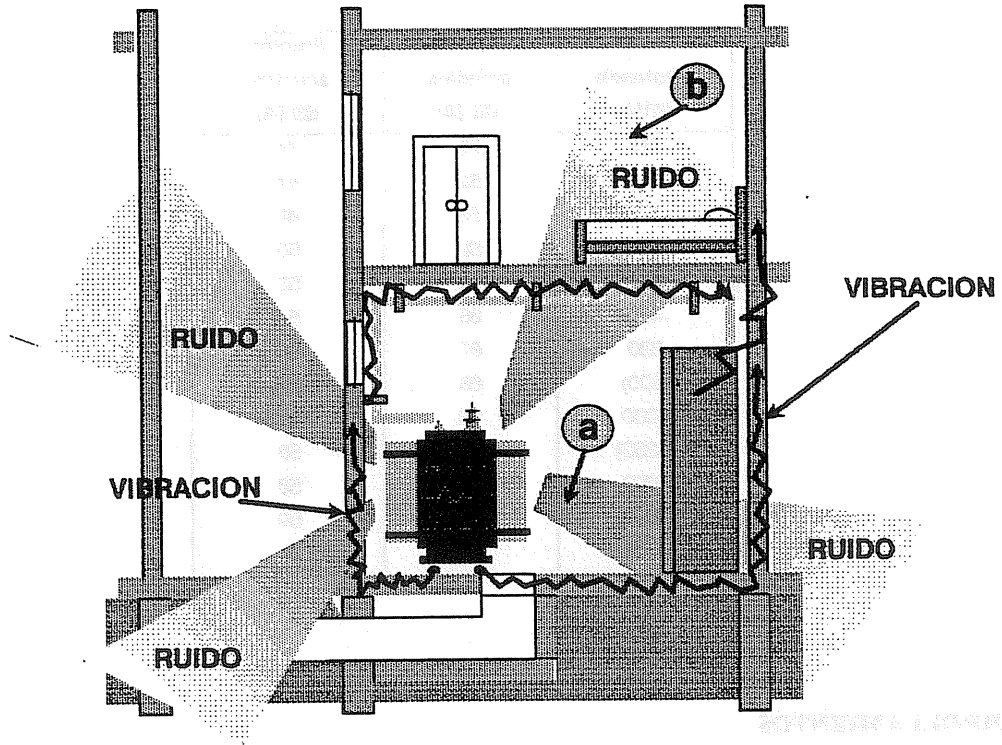
Si las dimensiones del núcleo son pequeñas comparadas con la longitud de onda de una determinada componente (3.2 m, para 104 Hz.) parte del núcleo vibrará fuera de fase por lo que habrá más transmisión de vibraciones que de radiación acústica. Esta es una de las razones por la que los pequeños transformadores tienen zumbidos de más altas componentes que los grandes transformadores.

Por ello debe ser ensayado el transformador, con objeto de explorar su nivel sonoro, a lo largo de todo el espectro de frecuencias en diversos puntos del mismo, con el fin de determinar si los índices en decibelios obtenidos entran dentro de normas.



Si estos valores estuvieran fuera de normas, sería objeto de estudio de la máquina y del local donde está ubicada, con el fin de tomar las medidas necesarias para así evitar transmitir el nivel de vibraciones y ruidos fuera del recinto, o bien que los emitidos al exterior no sobrepasen los límites admitidos. Para ello sería preciso instalar, material absorbente de sonido en paredes exteriores, material aislante en paredes exteriores, aislamiento de cuadros, soportes aislantes para anclaje de cables; base aislante para transformadores, etc., por ello un transformador con niveles más bajos de ruido y vibración harían innecesarias la mayor parte de las medidas indicadas anteriormente

En las figuras anteriores se representan los espectrogramas de la aceleración de la vibración generada por un transformador medido en el punto "B" (C.T.) y en la figura inferior el del nivel sonoro generado por el mismo, medido en el punto "A" (Local colindante).



Transmisión del ruido y la vibración generados por el transformador a los locales colindantes.

Pot. Nivel de presión de sonido dB (A)		
KVA	NEMA 30 cm.	DIN 1 m.
100	55	56
160	58	58
250	58	60
400	60	62
630	62	64
800	64	66
1000	64	66
1250	65	68
1600	66	68

Potencia y presión acústica según norma UNE 21-315

Potencia (KVA)	Potencia acústica dB (A)	Presión acústica dB (A)
25	52	44
50	52	44
100	56	48
160	59	50
250	62	52
400	65	54
630	67	56
(800)	68	57
1000	68	57
(1250)	70	58
1600	71	58
(2000)	73	59
2500	75	61

1.3 ARROLLAMIENTOS

1.3.1 Conductores y aislamientos

En los arrollamientos de los transformadores se pueden emplear conductores de cobre electrolítico recocido, o de aluminio, de sección circular para pequeñas intensidades y en forma de pletina rectangular con aristas redondeadas para las corrientes más intensas.

El cobre

Se emplea un metal completamente puro, transformado en hilos redondos o rectangulares, a los cuales se les somete a un recocido para restituirles las propiedades modificadas por las operaciones mecánicas.

Las características más importantes del cobre, es que puede ser estirado en hilos del orden de 1/10 de mm. de diámetro, se le puede recubrir de una fina capa de esmalte y es muy buen conductor de la electricidad y del calor.

El aluminio

Este metal también puede ser estirado en hilos. Sin embargo sus características mecánicas impiden obtener un diámetro menor de 6/10 de mm. Además el aluminio al aire se recubre de una delgada capa de alumina que dificulta la ejecución de los empalmes por contacto y la soldadura.

Los conductores cilíndricos empleados en alta tensión son tratados con aislamiento de esmalte duro y una capa de papel de celulosa y los de baja tensión son de cobre desnudo aislado con papel de celulosa de alta resistencia.

Si las grandes potencias de la red imponen al conductor un trabajo mecánico se puede utilizar aleación de cobre y plata cuya aleación puede tomar una carga de trabajo y un límite elástico más

elevado que el conductor de cobre electrolítico pero sobre todo, posee la ventaja adicional, de que las puntas de temperaturas elevadas debidas a cortocircuitos no tienen un efecto de recocido en el conductor, por lo que mantiene sus características mecánicas.

También y para fines similares se emplea el cable transpuesto al epoxy formado por pletinas elementales de aleación cobre-plata esmaltado a las que se les da una capa de resina epóxica.

1.3.2 Bobinas y aislamientos.

Los transformadores suelen estar formados generalmente por dos arrollamientos, uno primario y otro secundario y algunas veces por tres arrollamientos, uno primario y dos secundarios con voltajes distintos.

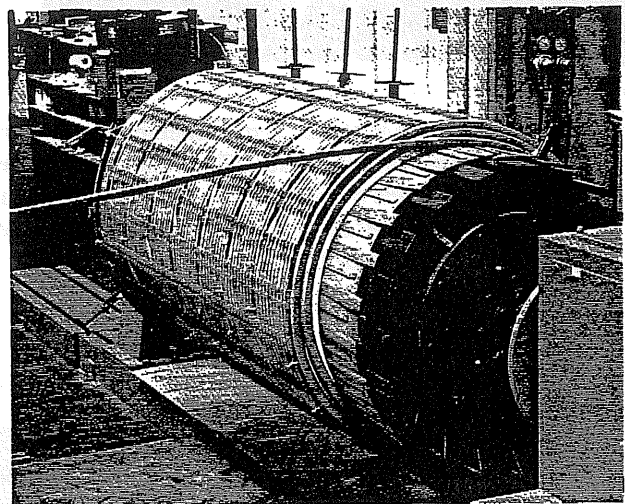
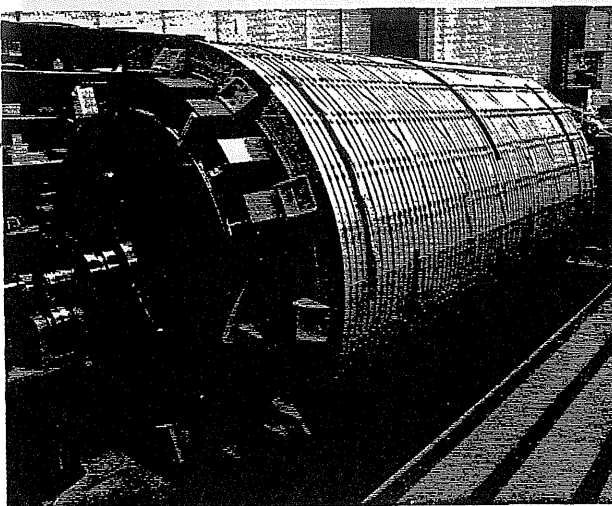
Las bobinas que forman los arrollamientos generalmente son circulares empleándose diferentes sistemas de bobinados, como cilíndricos continuos, en galletas capas, etc. según la intensidad y la tensión de los citados devanados.

Normalmente las bobinas de baja tensión van montadas en la parte interior junto al núcleo y las de alta tensión concéntricas y exteriores a las anteriores, van siempre montadas sobre cilindros aislantes de papel bakelizado de alta resistencia.

Sobre estos cilindros en los bobinados de hélice y discos, se colocan longitudinalmente tiras aislantes de separación sobre las cuales se arrollan las bobinas elementales quedando entre éstas y el cilindro un canal axial de circulación del fluido refrigerante.

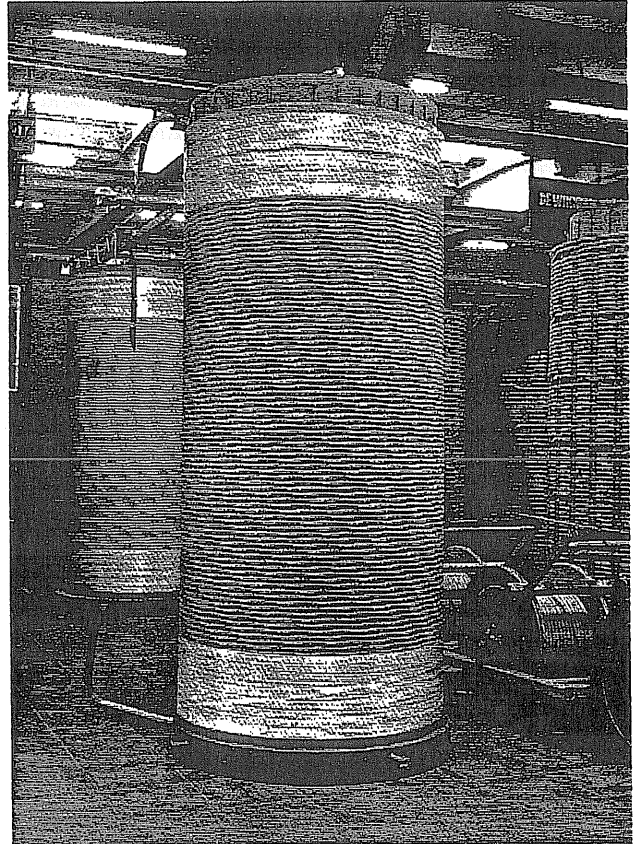
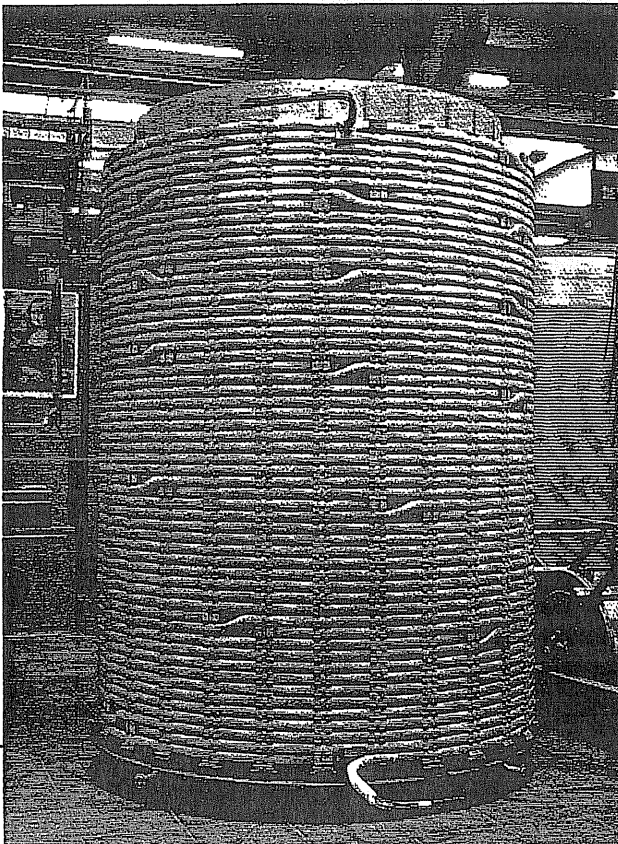
Ensambladas con las tiras que forman los canales axiales se colocan arandelas prensadas de cartón aislante especial que proporciona la línea de fuga para garantizar el perfecto aislamiento de las bobinas contiguas.

En los bobinados por capas, se sitúan entre éstas papeles aislantes y canales de aceite que cumplen la doble función de aislamiento y refrigeración.

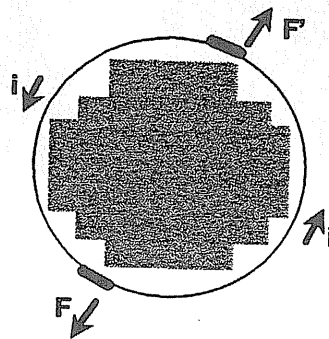


En transformadores de pequeña potencia tanto las bobinas de alta tensión como las de baja tensión son tratadas sucesivamente en una estufa de secado al vacío en caliente e impregnadas con barnices de gran rigidez dieléctrica, gran impermeabilidad y buena conductividad calorífica, esta impregnación va seguida de un secado final. En cambio en los transformadores de potencia y tensiones elevadas se sustituye el barniz por la impregnación directa sobre las bobinas a través del fluido refrigerante.

Finalmente se someten a un prensado que asegura la ulterior rigidez mecánica indeformable de los devanados para poder soportar los esfuerzos electromecánicos, producidos por la corriente que ha de circular por las mismas.



Por otra parte los arrollamientos primario y secundario son recorridos por corrientes en sentido opuesto y tienden a repelerse. El arrollamiento interior está sometido a fuerzas radiales dirigidas hacia adentro y el de los arrollamientos exteriores hacia afuera, por ese motivo se emplean bobinas circulares que están así sometidas a fuerzas radiales uniformemente repartidas sobre la circunferencia y que dan lugar a una tensión de tracción más débil.



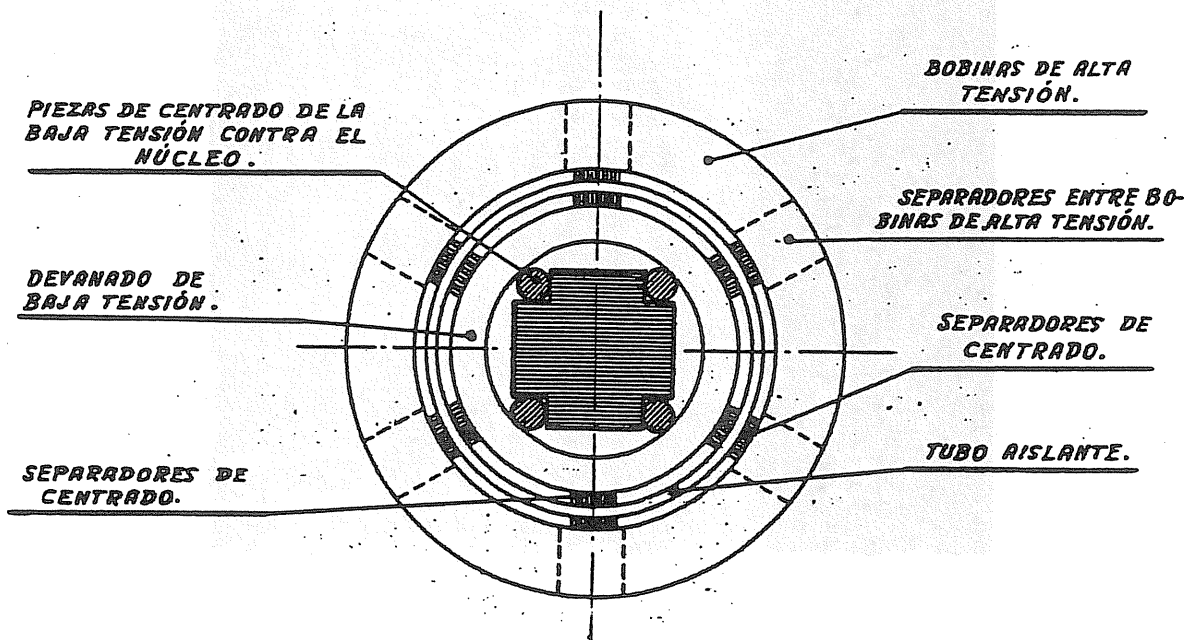
Por eso debido a los esfuerzos axiales a que puede estar sometido el arrollamiento a causa de las sacudidas de corriente puede tener consecuencias graves si las bobinas no están sólidamente apretadas.

También la presencia de burbujas de aire o gas en el aislamiento de los arrollamientos pueden dar lugar a un lento deterioro, porque son causa de débiles descargas que se manifiestan por efluvios en las bobinas y por ello es necesario guardarse de la existencia de tales burbujas de aire o gas, adoptando las medidas de precaución necesarias. (Por ejemplo filtrando su líquido refrigerante bajo vacío).

Según se ha expuesto, se desarrollan dos tipos de montaje:

La fijación radial

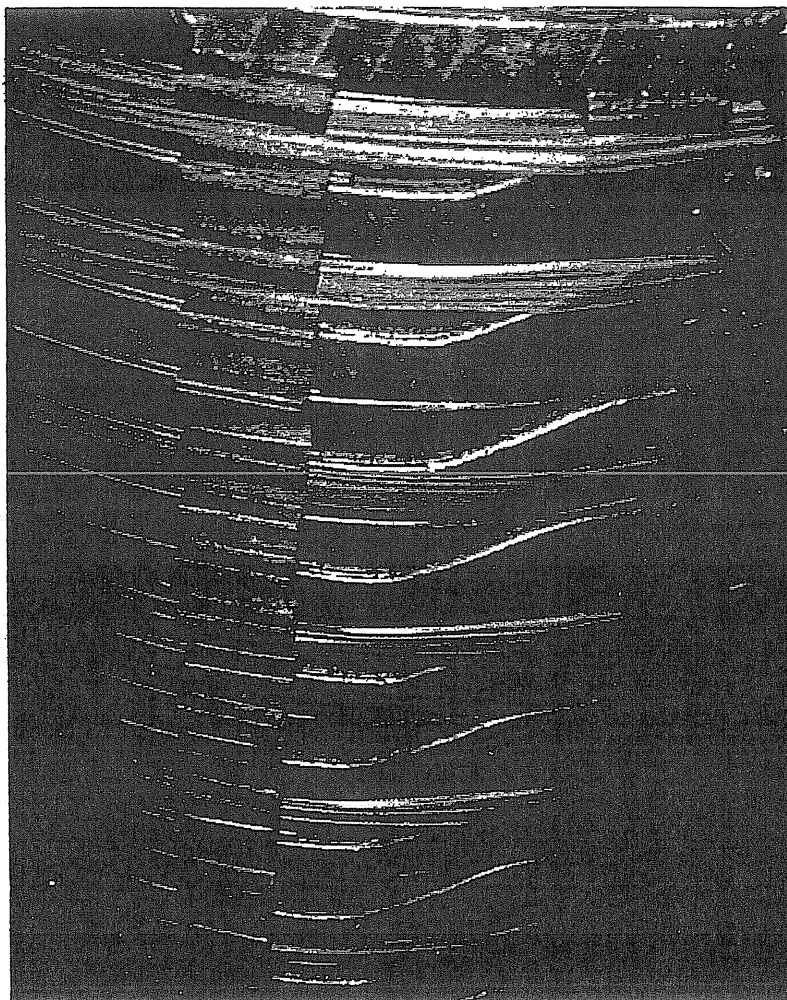
Esta formada por listones aislantes de sección cilíndrica, ovalada o poligonal que se interponen en toda la altura entre el circuito magnético y la baja tensión, entre la baja tensión y el cilindro aislante y entre este último y la alta tensión.



Fijación radial

La fijacion axial

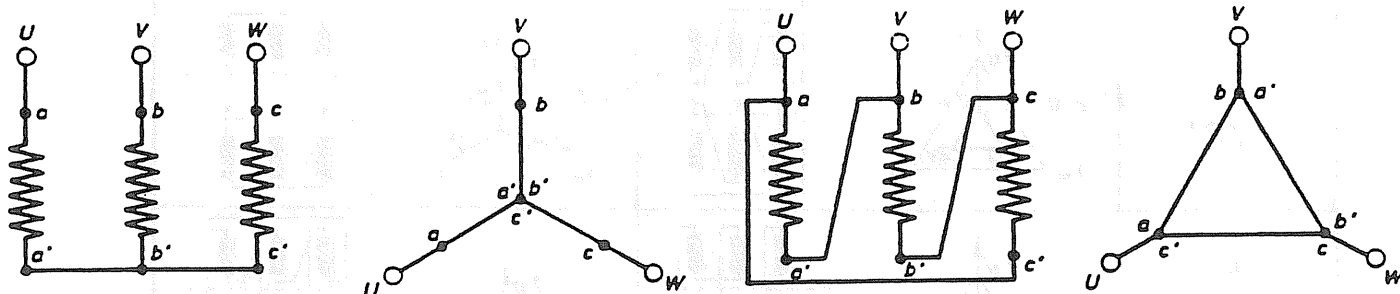
Está constituida por anillos aislantes cortados de tal modo que se adaptan a la forma en hélice de las bobinas exteriores.



Bobina de hélice de alta tensión

El acoplamiento de los devanados de los transformadores

Los arrollamientos de los transformadores, tanto en el primario como en el secundario, van generalmente unidos de dos formas:



Conexión estrella

Conexión triángulo

La conexión en el lado de alta se designará en mayúsculas y será:

- Y, para conexión estrella
- D, para conexión triángulo.

La conexión en el lado de baja se designará en minúsculas y será:

- y, para conexión estrella.
- d, para conexión triángulo.

Para formar la conexión completa del transformador se designa en primer lugar la conexión primaria (mayúsculas), seguido de la conexión secundaria (minúsculas), por ejemplo Yd.

Además aparece un dígito a continuación de los dos símbolos anteriores. Es el indicador del desfase, es decir, la variación en ángulo que sufre la tensión aplicada en el primario del transformador y la que aparece en el secundario.

Grupos de conexión mas usuales:

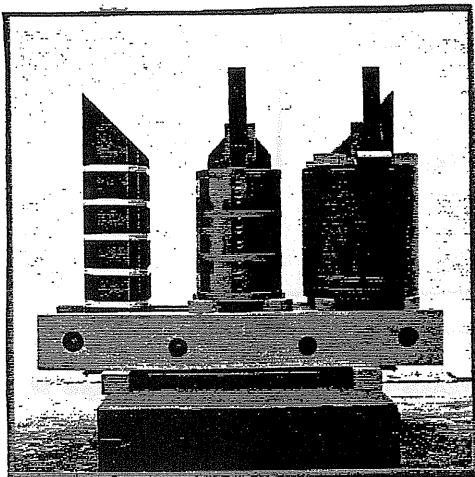
INDICE DE DESFASE				
0 (0°)				
5 (150°)				
6 (180°)				
11 (330°)				

NOTA: En algunos transformadores aún en servicio se utiliza la antigua designación, según normas VDE, que recogemos a continuación.

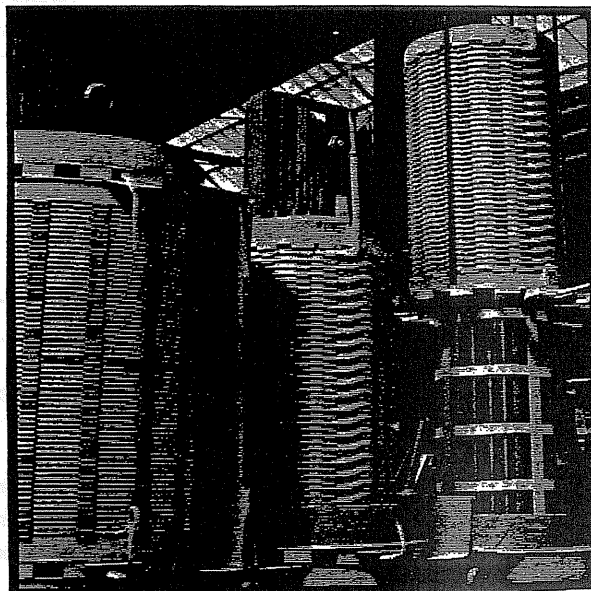
INDICE HORARIO	DESIGNACION C.E.I.	ANTIGUA DESIGNACION V.D.E.
0	Dd0	A1
	Yy0	A2
5	Dy5	C1
	Yd5	C2
6	Dd6	B1
	Yy6	B2
11	Dy11	D1
	Yd11	D2

1.3.3 Sujeción de las bobinas al núcleo magnético.

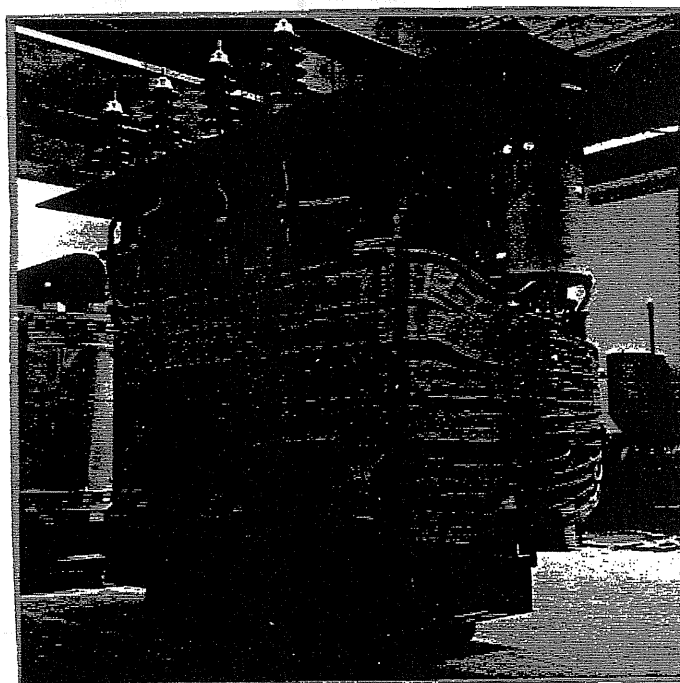
Una vez finalizados los arrollamientos y sometidos a los diversos procesos de aislamiento, las bobinas se colocan sobre los núcleos y se apoyan en las bridas de presión de las culatas por medio de tacos de madera o de bakelita, quedando firmemente sujetos para evitar posibles movimientos debidos a los frecuentes esfuerzos electromecánicos motivados por la circulación de sobrentensidades incluso las de cortocircuito.



Núcleos y bobinados en proceso de montaje



Ensamblaje del circuito magnético y los bobinados



Parte activa montada con regulador en carga, tapa y aisladores

1.3.4 Niveles de aislamiento.

Los niveles de aislamiento para transformadores sumergidos en líquido refrigerante y en seco serán los indicados en la tabla siguiente:

Niveles de aislamiento para arrollamientos y elementos asociados a los mismos, correspondientes a transformadores que no se prevén para soportar ensayos de choque

Tensión más elevada de la red KV eficaces	Niveles de aislamiento	
	Tensión aplicada a frecuencia industrial KV eficaces	
<1,1	2,5	
1,1	3	
3,6	8	
7,2	15	
12	25	
17,5	36	
24 (*)	50	

(*) Solo para transformadores secos.

Los niveles de aislamiento para transformadores sumergidos en líquido refrigerante y que se prevee puedan soportar ondas de choque serán las indicadas en la tabla siguiente:

Niveles de aislamiento de los arrollamientos y elementos asociados a los mismos, de transformadores en aceite previstos para soportar ensayos de choque

Tensión más elevada de la red KV eficaces	Nivel de aislamiento			
	Tensión de Choque		Tensión aplicada a frecuencia industrial	
	Norma 1 KV de cresta	Norma 2 KV de cresta	Norma 1 KV eficaces	Norma 2 KV eficaces
3,6		45		16
7,2		60		22
12		75		28
17,5		95		38
24		125		50
36		170		70
52		250		95
72,5		325		140
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1050	900	460	395
300	1175	1050	510	460
420	1550	1425	680	630

Observaciones:

- La elección de la norma 1 ó 2 será función de las protecciones y del coeficiente de puesta a tierra del sistema.
- Si el nivel de protecciones lo justifica el nivel de aislamiento podrá reducirse por debajo de lo indicado en la norma 2. Pero siempre habrá de corresponder a los niveles de aislamiento normalizados en la norma UNE 21-052.

1.3.5 Selección de niveles de aislamiento.

La elección del nivel de aislamiento dependerá de los factores siguientes:

- Tensión más elevada de la red.
- Condiciones de la puesta a tierra de la red.
- Grado de exposición del transformador a las sobretensiones y nivel de protecciones

Tensión más elevada de la red.

La tensión más elevada de la red no deberá ser confundida con la tensión de la red, la tensión nominal del transformador, la tensión en circuito abierto del transformador en cualquier toma.

Puesta a tierra de la red.

En esta norma se admitirán dos series de valores para el nivel de aislamiento, NORMA 1 y NORMA 2.

La elección de una de estas normas será función del nivel de protección utilizado, que dependerá principalmente del coeficiente de puesta a tierra de la red.

Las condiciones normales de puesta a tierra de las redes serán las siguientes:

Red con neutro aislado - NORMA 1

Red compensada por bobina de excitación - NORMA 1

Red puesta a tierra, bien directamente, o bien a través de una reactancia. En este caso, NORMA 2.

Exposición a sobretensiones.

Los transformadores destinados a utilizarse en situaciones expuestas, deben resistir los ensayos de choque. Según NORMA 2.

Aislamiento a tierra.

Deberá de elegirse el aislamiento uniforme para todos los arrollamientos conectados en triángulo y para los conectados en estrella o zig-zag. en los que la puesta a tierra del neutro no está definida.

Se podrá elegir el aislamiento gradual en los arrollamientos conectados en estrella y zig-zag correspondientes a una tensión más elevada de la red de 72,5 KV. o superior siempre que el NEUTRO de dichos arrollamientos esté puesto a tierra, o protegido por un limitador de tensión adecuado.

Cuando se especifique que uno o varios arrollamientos deban tener aislamiento gradual, estos han de responder a las tablas siguientes:

Categorías de aislamiento gradual

Categoría	Condiciones de puesta a tierra admitida
1	<p>Neutro del arrollamiento sólidamente conectado a tierra a través de una conexión en la que no se ha incluido intencionadamente una impedancia.</p> <p><i>Observación:</i> La conexión a tierra a través de un transformador de intensidad se considerará de esta categoría.</p>

2	Neutro conectado a un transformador de regulación cuyo neutro está o no conectado a tierra y provisto de un dispositivo apropiado para la limitación de sobretensiones.
3	Neutro no conectado a tierra o conectado por medio de una impedancia o una resistencia con un dispositivo adecuado de limitación de las sobretensiones conectado entre el neutro y tierra.
4	Neutro conectado a tierra por medio de una bobina de extinción con un dispositivo adecuado para limitación de sobretensiones conectado entre el neutro y tierra.

Niveles de aislamiento para neutros de arrolamientos con aislamiento gradual
(Para tensión más elevada de la red de 72,5 KV y superiores)

Aislamiento a tierra	Tensión aplicada a frecuencia industrial KV. eficaces
Categoría 1	38
Categoría 2	<p style="text-align: right;">Tensión adicional debida al transformador de regulación</p> $ENR + (ELT - ENR) \times \frac{\text{Tensión nominal del arrolamiento del transformador}}{\text{Tensión nominal del arrolamiento del transformador}}$ <p>(Valor minimo 38 KV.) ENR = Tensión de ensayo del neutro del transformador de regulación ELT = Tensión de ensayo del extremo de línea del arrolamiento del transformador.</p>
Categoría 3	De 35 a 65% de la tensión de ensayo del extremo de línea determinado de acuerdo con las características del aparato y del sistema.
Categoría 4	De 58 a 65% de la tensión de ensayo del extremo de la línea.
<p>Observación: Para elegir la categoría del aislamiento del neutro deberá considerarse la posibilidad de que la puesta a tierra del mismo pueda modificarse o que los transformadores puedan ser situados en otro emplazamiento.</p>	

Cuando los transformadores de tipo seco sean para funcionar entre 1000 y 3000 metros sobre el nivel del mar, pero que se ensayen a altitudes normales, la tensión de ensayo de tensión aplicada será aumentada un 6,25% por cada 500 metros que la altitud de la instalación sobrepase los 1000 metros.

Observaciones: Las bornas de los transformadores sumergidas en fluido refrigerante podrá ser necesario elegir las para un nivel de aislamiento inmediatamente superior al correspondiente al arrollamiento.

1.4 AISLADORES - PASATAPAS (BORNAS).

Una borna es una conexión que permite el paso de la corriente a través de la tapa del transformador. La borna debe ser mecánicamente resistente y estar sólidamente fija, ya que su extremo superior sirve de soporte a las conexiones que unen el transformador a las redes.

a) Designación de los bornes

Los bornes de Alta Tensión se designarán mirando el transformador por el lado de ALTA TENSIÓN y de IZQUIERDA A DERECHA, por los siguientes símbolos:

○	○	○
1U	1V	1W

De igual forma, mirando el transformador desde su lado de ALTA TENSIÓN y de IZQUIERDA A DERECHA, los bornes de BAJA TENSIÓN se designarán:

○	○	○	○
2N	2U	2V	2W

Correspondiendo el símbolo 2N al borne neutro.

Dichas letras estarán marcadas sobre la tapa del transformador de forma indeleble. En transformadores más antiguos los símbolos que se empleaban no eran los aquí citados. Se denominaban con letras mayúsculas el primario y letras minúsculas el secundario.

b) Tipos de bornas

Para pequeñas e incluso medianas tensiones la borna está constituida por un aislador de porcelana por cuyo interior pasa un vástago o tubo conductor. Para tensiones hasta 45 KV. Se emplean en su mayoría los llamados de carga de aceite.

1.4.1 Bornas con carga de aceite

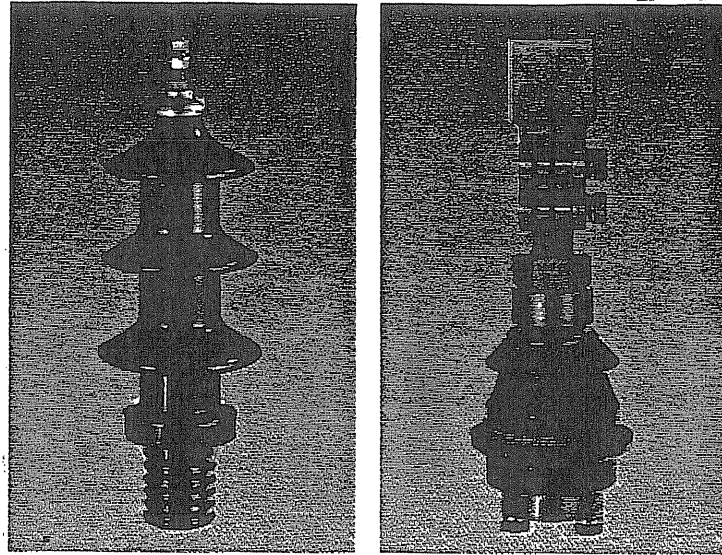
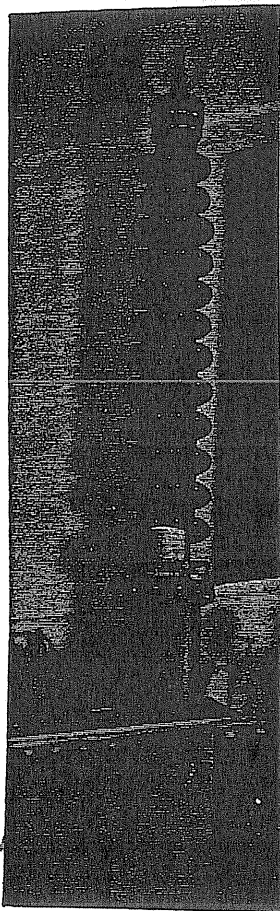
Consisten en una serie de tubos concéntricos al vástago de papel baquelizado de longitudes decrecientes desde el centro, que dan al conjunto un aspecto telescópico, pero con amplios canales entre ellos para que el aceite de la cuba del transformador esté en contacto con ellos y recubierto todo el conjunto por un aislador de porcelana.

Los tubos de papel baquelizado llevan insertas en la proximidad de los extremos láminas metálicas cuya longitud disminuye a medida que el radio va creciendo de modo que las capacidades

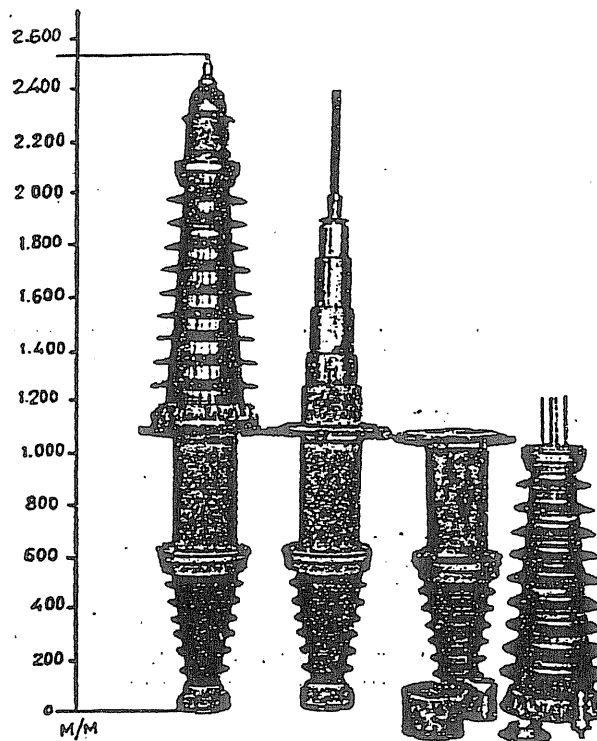
entre cilindros consecutivos sean aproximadamente iguales, de esta forma se uniformiza el campo eléctrico y se consigue evitar el peligro de la formación de arcos entre las diversas zonas del aislador.

Estos aisladores son huecos y van atravesados por una varilla también hueca de latón protegido contra la oxidación por un baño galvánico de cadmio, yendo su extremo superior provisto de un pequeño tornillo para facilitar la purga del aire.

Pasatapas para 20 KV. y Baja tensión

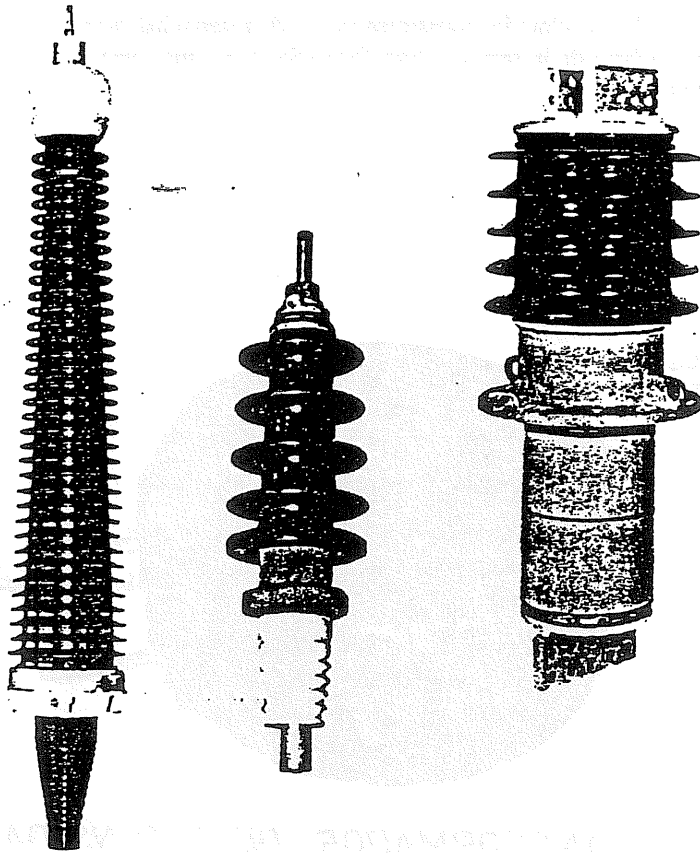


Borna de 132 KV.

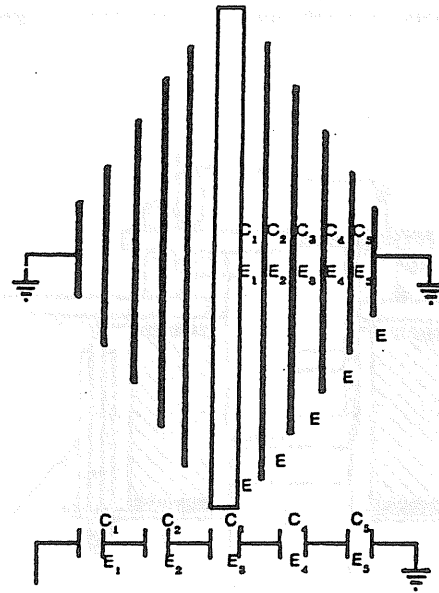


1.4.2 Bornas tipo condensador

Se utilizan para tensiones superiores a 52 KV. Tienen el cuerpo aislante, formado por sucesivas capas de papel, con láminas metálicas intercaladas y arrolladas sobre el conductor central, de tal modo que forman múltiples condensadores en serie de igual capacidad. cuya misión es la de distribuir uniformemente el campo eléctrico. El papel arrollado puede llevar resina o simplemente impregnado en aceite. En ambos casos, el espacio existente entre el núcleo principal aislante de la borna y la porcelana exterior está rellano de un aceite de alta viscosidad que facilita la refrigeración del aislador en servicio.



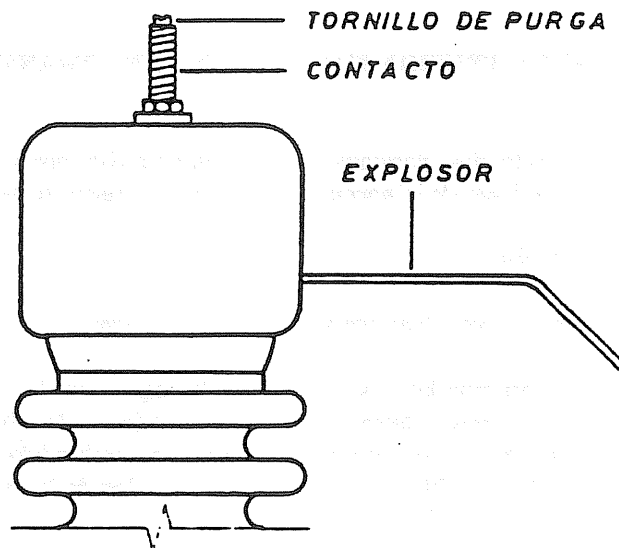
Principio de la borna condensador



Principio { Capacidades entre capas (C) iguales originan escalones de tensión iguales (E)
 Resultado: Gradiente uniforme en el aislamiento y su superficie

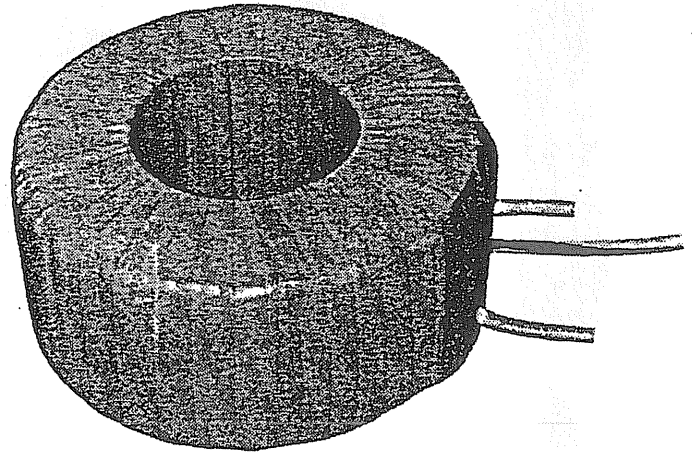
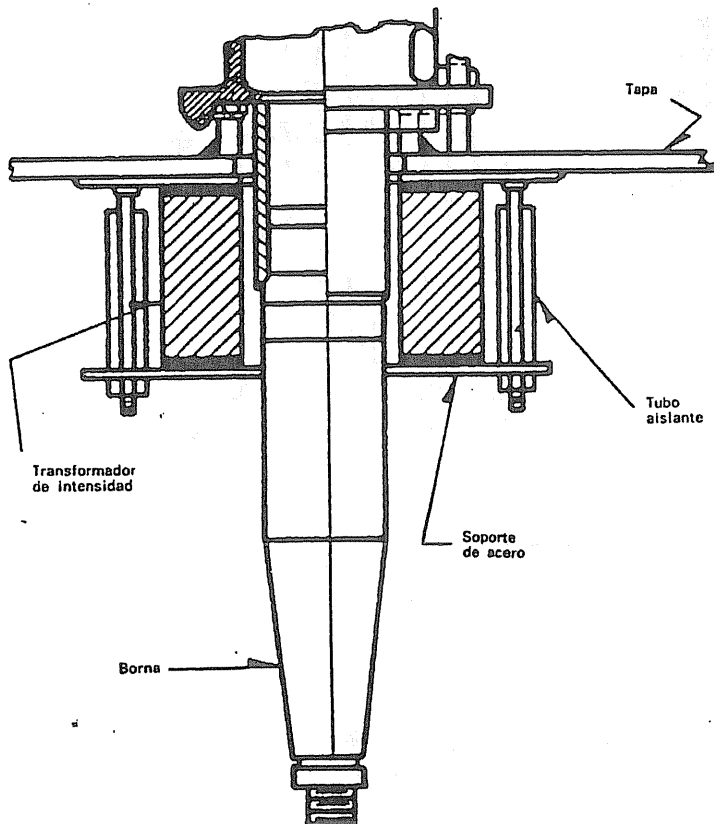
En los transformadores de potencias elevadas, las bornas disponen de unas varillas denominadas explosores, cuya misión es la de descargar el arco que pudiera producirse, evitando así que se dañe la estructura de la borna.

En emplazamientos donde existe riesgo de polución, humedades o ambiente salino, se recomienda utilizar porcelanas de línea de fuga incrementadas.



1.4.3 Transformadores de intensidad alojados bajo las bornas.

Los dos tipos de bornas mencionadas pueden llevar alojados transformadores de intensidad para alimentar equipos de medida y protección, situados debajo de la tapa del transformador o en una torreta especial. A continuación lo podemos ver graficamente.



TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD

1.5 PASATAPAS DE ALTA TENSION HASTA 36 KV PARA TRANSFORMADORES DE 25 A 2500 KVA.

Los transformadores tendran pasatapas de tipo abierto o conectores enchufables intercambiables de acuerdo con las especificaciones de la norma UNE 20-183-82, según se indica a continuación:

1.5.1 Pasatapas de alta tensión.

Los pasatapas serán de porcelana esmaltada de color marrón.

En el caso de transtormadores sin depósito de expansión los extremos inferiores de los pasatapas lo mismo que los demás elementos del arrollamiento de alta tensión. deberán quedar obligatoriamente sumergidos dentro del liquido aislante en una profundidad no inferior a 35 mm. para los de las series igual o inferior a 24 KV. ni a 80 mm. para los de las series de 36 KV., cuando la temperatura de dicho liquido sea de 0° C.

En el caso de los transformadores de la serie 36 KV. sin depósito de expansión los aisladores de porcelana de los pasatapas de alta tensión deben de tener la superficie interna totalmente metalizada y conectada eléctricamente a la caperuza superior, asimismo la superficie externa en la zona de paso de la tapa estará también metalizada en un ancho no menor de 120 mm. y conectada eléctricamente a masa.

Los aisladores, conductores y terminales de los pasatapas de alta tensión corresponden a los tipos de intemperie y los cuales se relacionan en la siguiente tabla:

Pasatapas de Alta Tensión

Tensión en la toma más elevada KV.	Intensidad nominal del pasatapas A.	Tensión nominal del pasatapas KV.	Designación para Transformadores (*)	
			Con depósito de expansión	sin depósito de expansión
7,2	250	12	PT 12 e/250	PTP 12 e/250
12	250	12	PT 12 e/250	PTP 12 e/250
17,5	250	24	PT 24 e/250	PTP 24 e/250
24	250	24	PT 24 e/250	PTP 24 e/250
36	250	36	PT 36 e/250	PTP 36 e/250

1.5.2 Pasatapas de baja tensión.

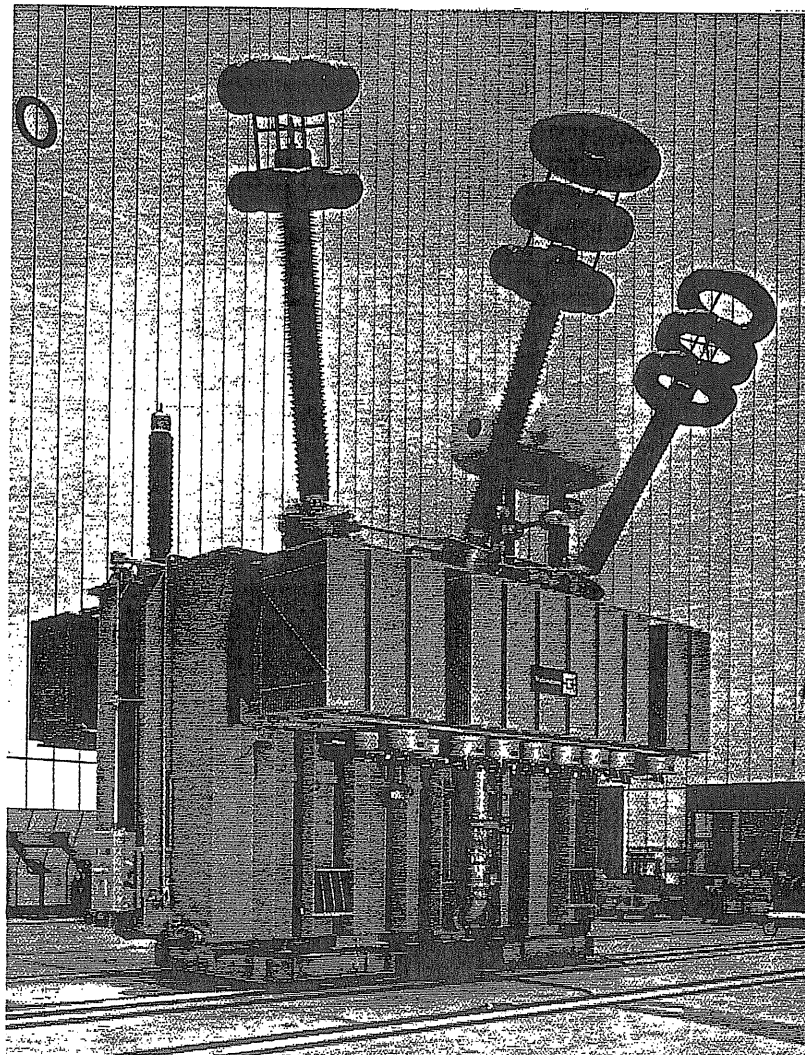
Los aisladores, conductores y terminales de los pasatapas de baja tensión corresponden a los tipos que se indican en las tablas siguientes:

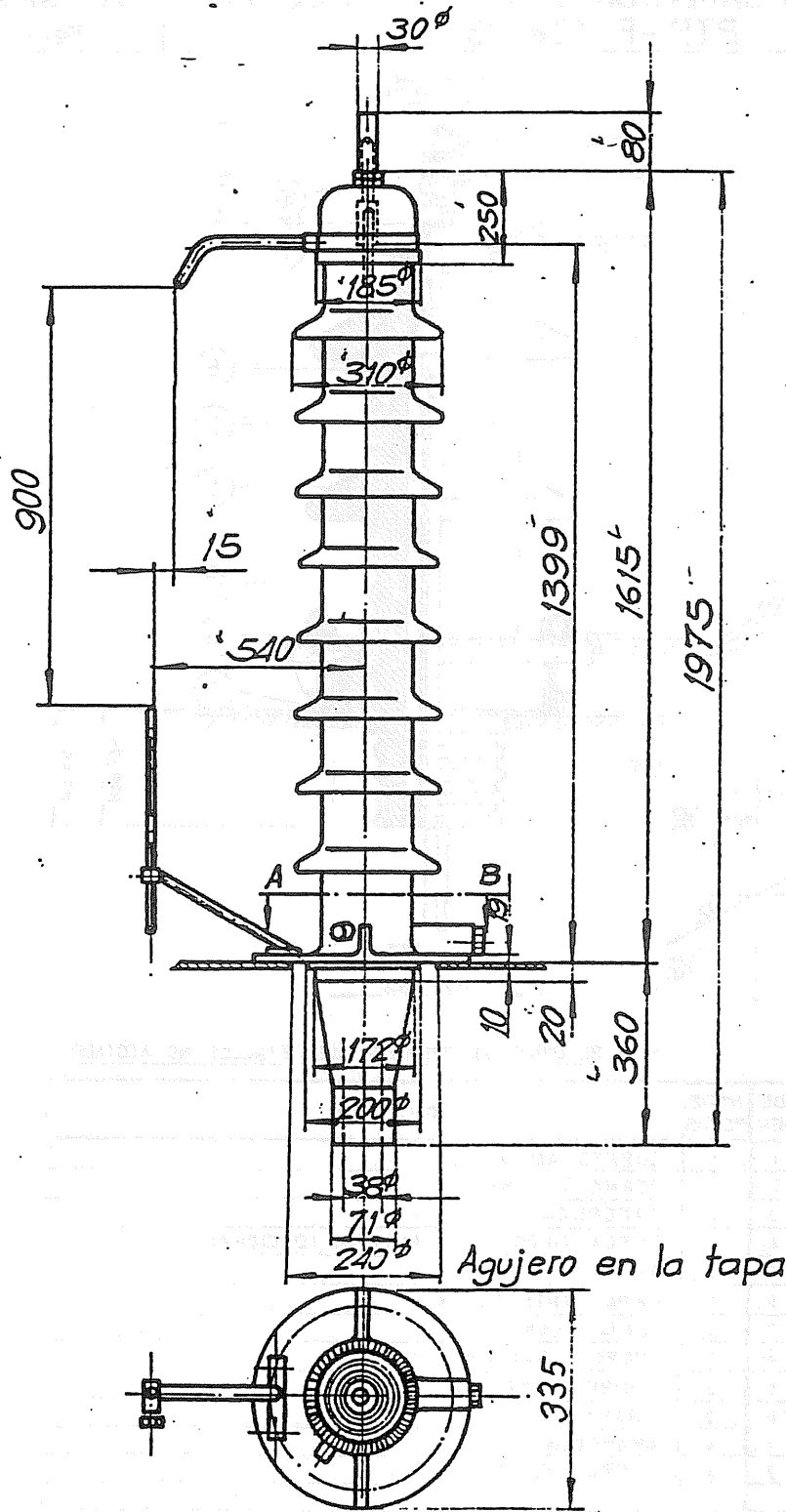
Pasatapas de Baja tensión para transformadores de 231 V. en Baja Tensión

Potencia KVA	Intensidad nominal para 231 V. A.	Pasatapas (*)	
		Intensidad nominal A.	Designación
25	63	250	PT 1 e/250
50	125	250	PT 1 e/250
100	250	250	PT 1 e/250
160	400	630	PT 1 e/630
250	625	630	PT 1 e/630
400	1000	1000	PT 1 e/1000
630	1575	2000	PT 1 e/2000
(800)	2000	2000	PT 1 e/2000
1000	2500	3150	PT 1 e/3150

*Pasatapas de Baja Tensión para transformadores
de
400 V. en Baja Tensión*

Potencia KVA	Intensidad nominal para 231 V. A.	Pasatapas (*)	
		Intensidad nominal A.	Designación
25	36	250	PT 1 e/250
50	72	250	PT 1 e/250
100	144	250	PT 1 e/250
160	231	250	PT 1 e/250
250	361	630	PT 1 e/630
400	578	630	PT 1 e/630
630	910	1000	PT 1 e/1000
(800)	1156	2000	PT 1 e/2000
1000	1444	2000	PT 1 e/2000
(1250)	1804	2000	PT 1 e/2000
1600	2312	3150	PT 1 e/3150
(2000)	2888	3150	PT 1 e/3150
2500	3608	(**)	(**)

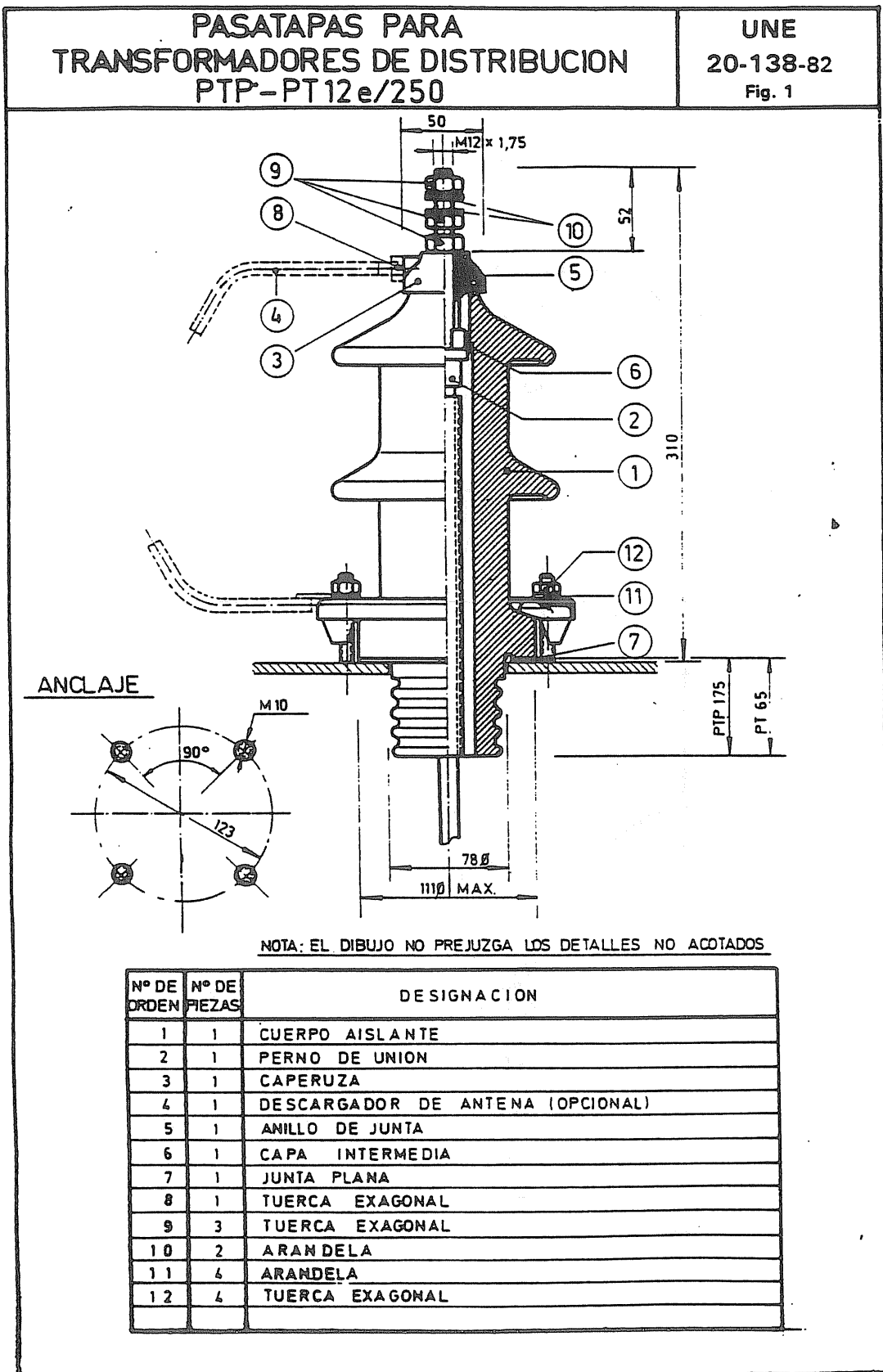


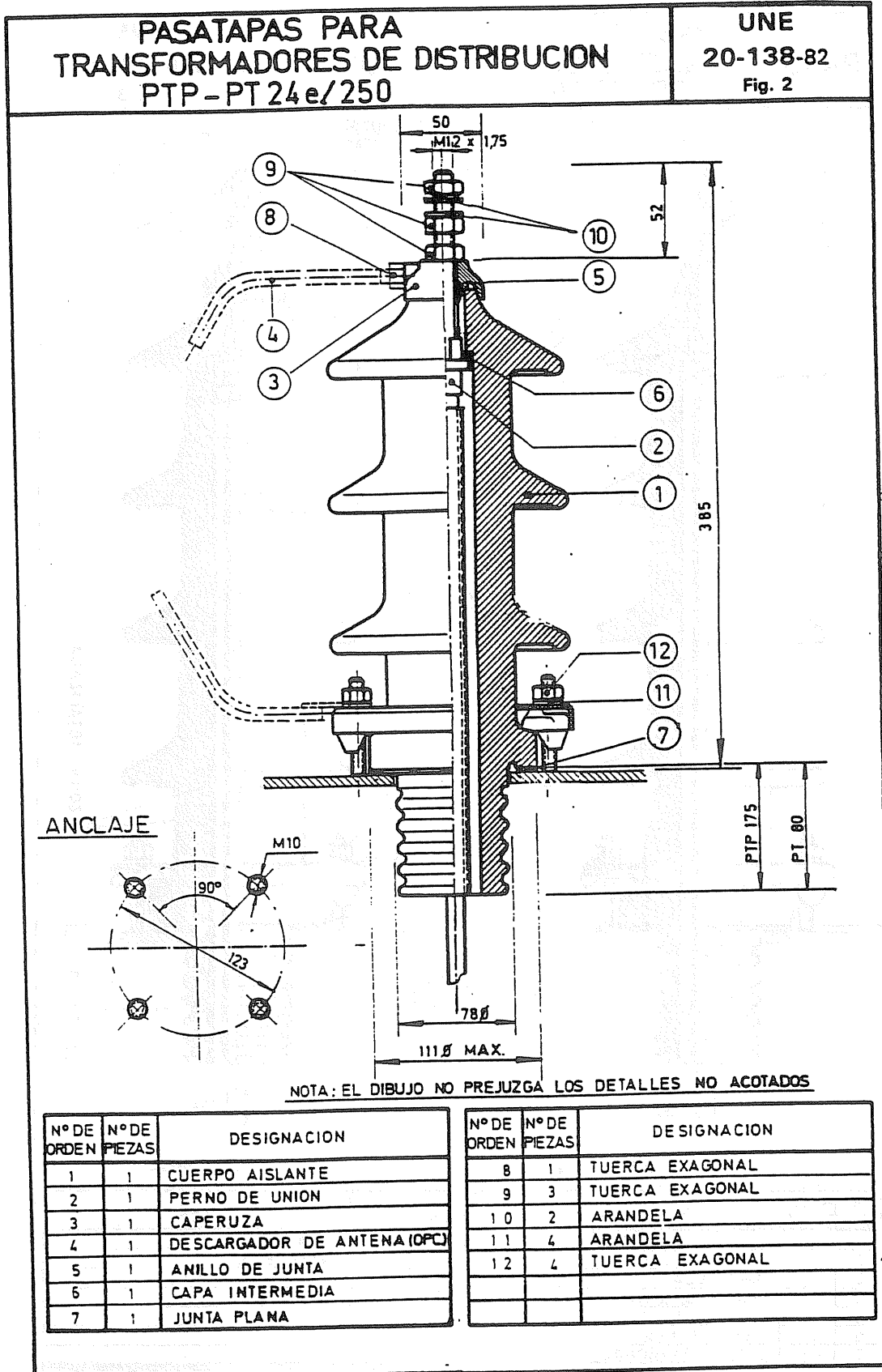


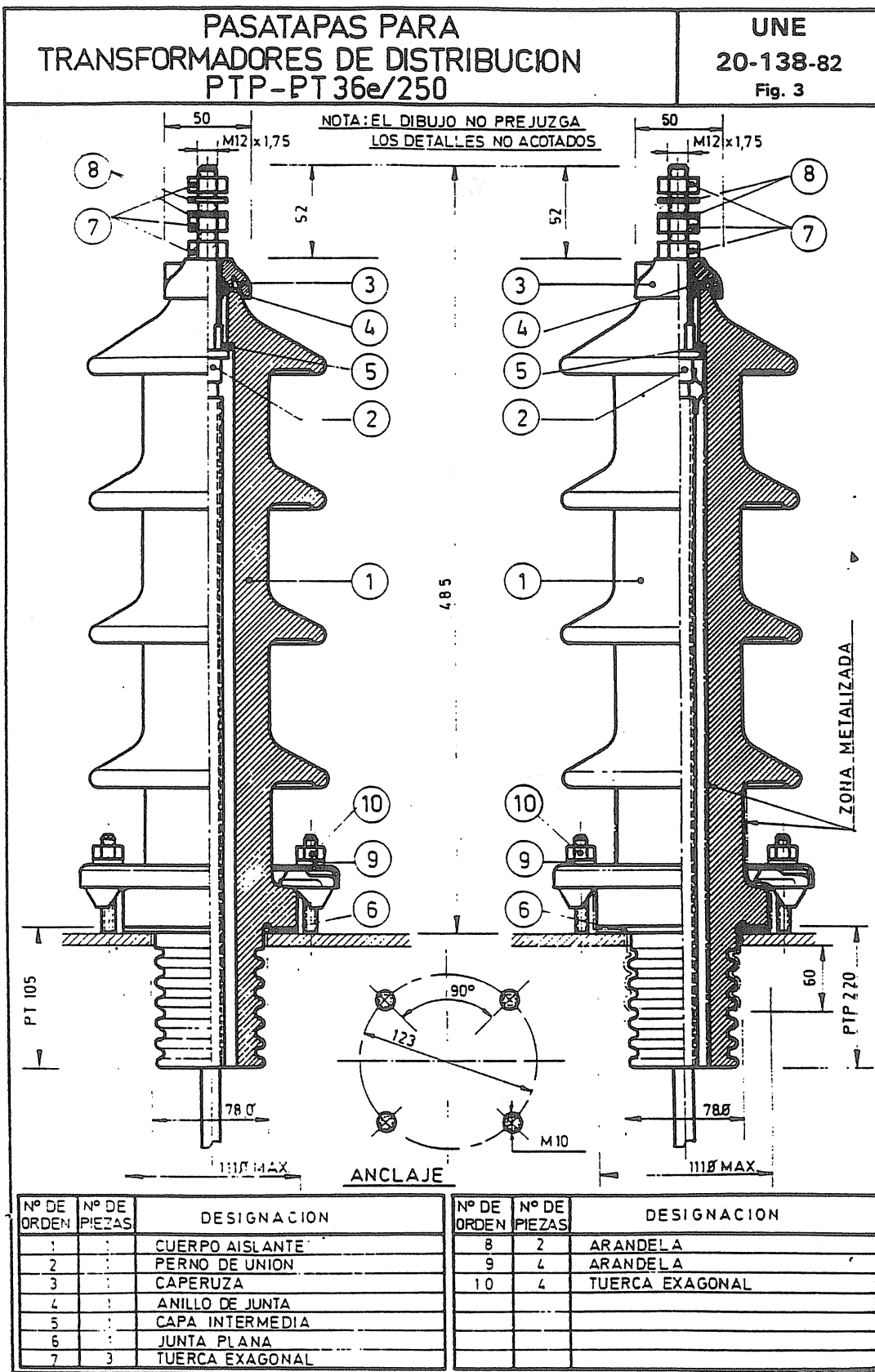
Prohibido reproducir este dibujo,
entregarlo a terceras personas o
usarlo con fines particulares sin
nuestra previa autorización.

Peso 101 Kg.

27.9-69
L 51

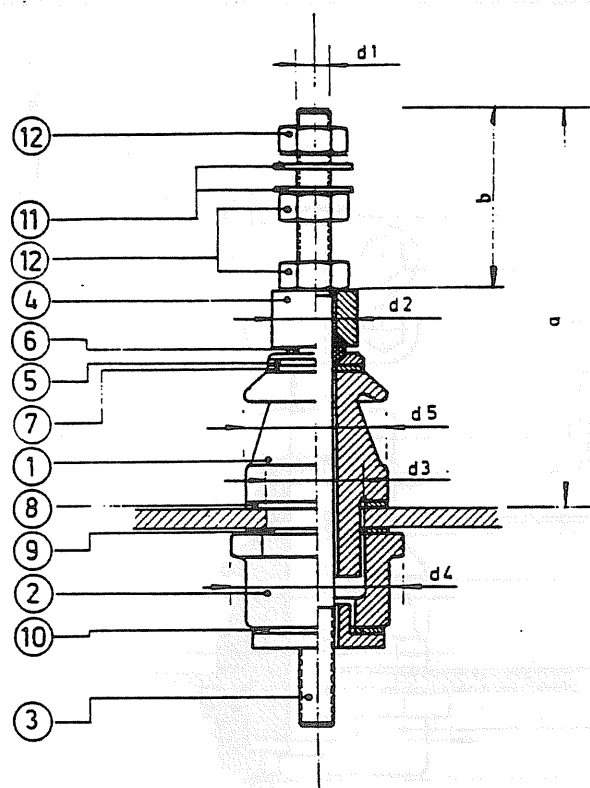






PASATAPAS PARA
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION
PT1e/250 y 630

UNE
20-138-82
Fig. 4



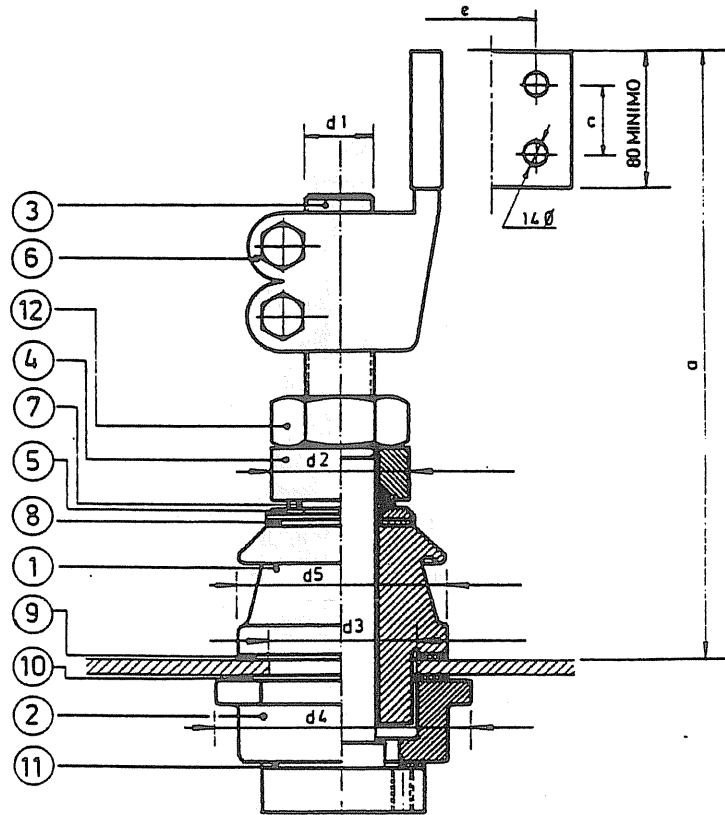
NOTA: EL DIBUJO NO PREJUZGA LOS DETALLES NO ACOTADOS

DESIGNACION	a	b	d1	d2	d3	d4	d5
Pt 1 e / 250	138	52	M 12 x 1,75	28	28	60	50
Pt 1 e / 630	178	80	M 20 x 2,5	40	45	85	70

Nº DE ORDEN	Nº DE PIEZAS PARA 250 Y 630 A.	DESIGNACION
1	1	PIEZA SUPERIOR DEL CUERPO AISLANTE
2	1	PIEZA INFERIOR DEL CUERPO AISLANTE
3	1	PERNO CON TUERCA
4	1	ARANDELA
5	1	ARANDELA
6	1	ANILLO DE JUNTA
7	1	JUNTA PLANA
8	1	JUNTA PLANA
9	1	JUNTA PLANA
10	1	JUNTA PLANA
11	2	ARANDELA
12	3	TUERCA EXAGONAL

PASATAPAS PARA
TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCION
PT 1e / 1000 - 2 000 - 3150

UNE
20-138-82
Fig. 5



NOTA: EL DIBUJO NO PREJUZGA LOS DETALLES NO ACOTADOS

DESIGNACION	a	d1	d2	d3	d4	d5	c	e
PT1e/1000	283	M30 x 2	56	56	110	90	32	32
PT1e/2000	340	M42 x 3	70	70	125	104	40	50
PT1e/3150	372	M48 x 3	80	90	150	125	40	60

Nº DE ORDEN	Nº DE PIEZAS PARA 1000-2000 Y 3150A	DESIGNACION
1	1	PIEZA SUPERIOR DEL CUERPO AISLANTE
2	1	PIEZA INFERIOR DEL CUERPO AISLANTE
3	1	PERNO CON PIEZA DE ACOPLAMIENTO
4	1	ARANDELA
5	1	ARANDELA
6	1	PIEZA DE ACOPLAMIENTO PLANA
7	1	ANILLO DE JUNTA
8	1	JUNTA PLANA
9	1	JUNTA PLANA
10	1	JUNTA PLANA
11	1	JUNTA PLANA
12	1	TUERCA EXAGONAL

1.6.- REGULACIÓN DE LA TENSIÓN.

1.6.1 Tipos de regulación.

La regulación de la tensión tiene por objeto el ajustar debidamente el transformador a la tensión de entrada o a la caída de tensión en el circuito secundario, o bien, para proveer regulación del voltaje a conveniencia.

Esta regulación de la tensión puede efectuarse con el transformador "DESCONECTADO" lo que llamaremos "REGULACION EN VACIO", o bien, el transformador "CONECTADO" lo que llamaremos "REGULACION EN CARGA", que permite hacer la regulación bajo tensión y con toda la carga, es decir, sin interrumpir el funcionamiento normal del transformador.

Los ajustadores de tensión tienen por objeto eliminar o ampliar en el circuito las espiras que intervienen en la regulación de la tensión.

Si "DISMINUIMOS" el número de espiras. "AUMENTAMOS" la tensión de salida. puesto que mantenemos la tensión de entrada en el lado primario. Si "AUMENTAMOS" el número de espiras "DISMINUIMOS" la tensión de salida, ya que seguimos manteniendo la tensión de entrada en el lado primario.

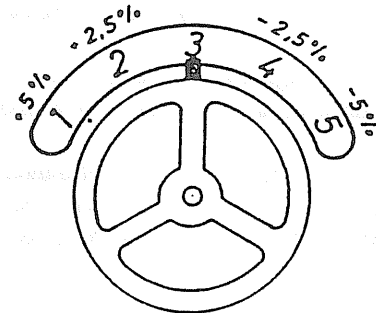
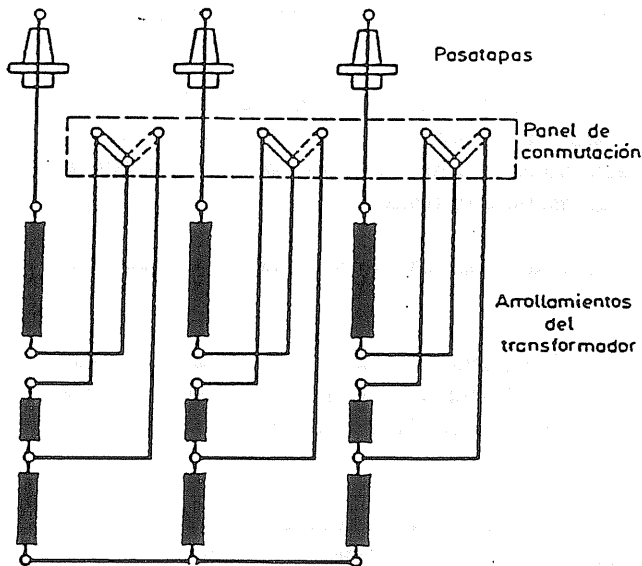
Estas variaciones en el ajustador de tomas normalmente vienen definidas en tanto por % de aumento o disminución de la tensión de salida, que corresponden según normas a (+ 2.5% + 5% - 0 - - 2.5% - 5%) para los reguladores en vacío. También pueden ser otros, según acuerdo entre el usuario, fabricante y empresa suministradora. Para la regulación en carga los escalones son más finos y mayor el número de conmutaciones y escalones, ya que estos transformadores abarcan zonas más amplias de suministro.

Normalmente el ajuste de tensión o cambiadores actúan sobre los arrollamientos de alta tensión, puesto que al ser un punto débil dentro del transformador, actúa sobre la parte donde la intensidad es más baja, y ésta corresponde al devanado primario.

1.6.2 Regulación de tensión en vacío

Para actuar sobre el conmutador de tomas, el transformador debe estar en vacío. Para ello y siempre previo descargo, desconectaremos el transformador de la red y, después de adoptar las medidas de seguridad pertinentes, efectuaremos la maniobra en el conmutador. El accionamiento se realiza por volante o manivela exterior a la cuba, en tanto que el conmutador se instala dentro de la misma sumergido en aceite.

Las variaciones en el conmutador corresponden, generalmente, al $\pm 5\%$ de la tensión nominal de salida del transformador, dando lugar a cinco posiciones de conmutación: +5%, +2.5%, 0, -2.5%, -5%, tal y como se observa en el dibujo. Este mando tiene un índice graduado, que indica, la toma correspondiente al tanto % de tensión que viene definida en la placa de características del transformador.



MANDO DEL AJUSTADOR
DE TENSION EN VACIO

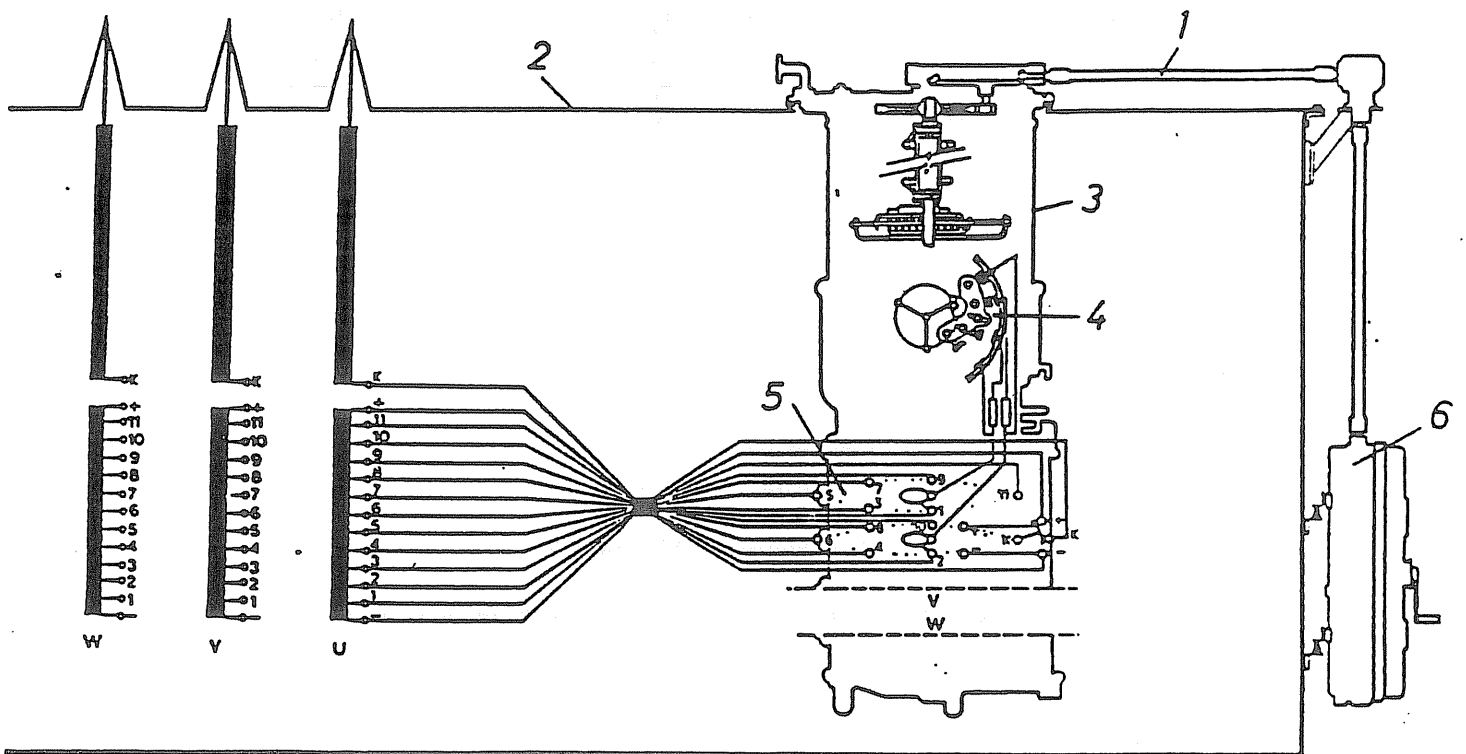
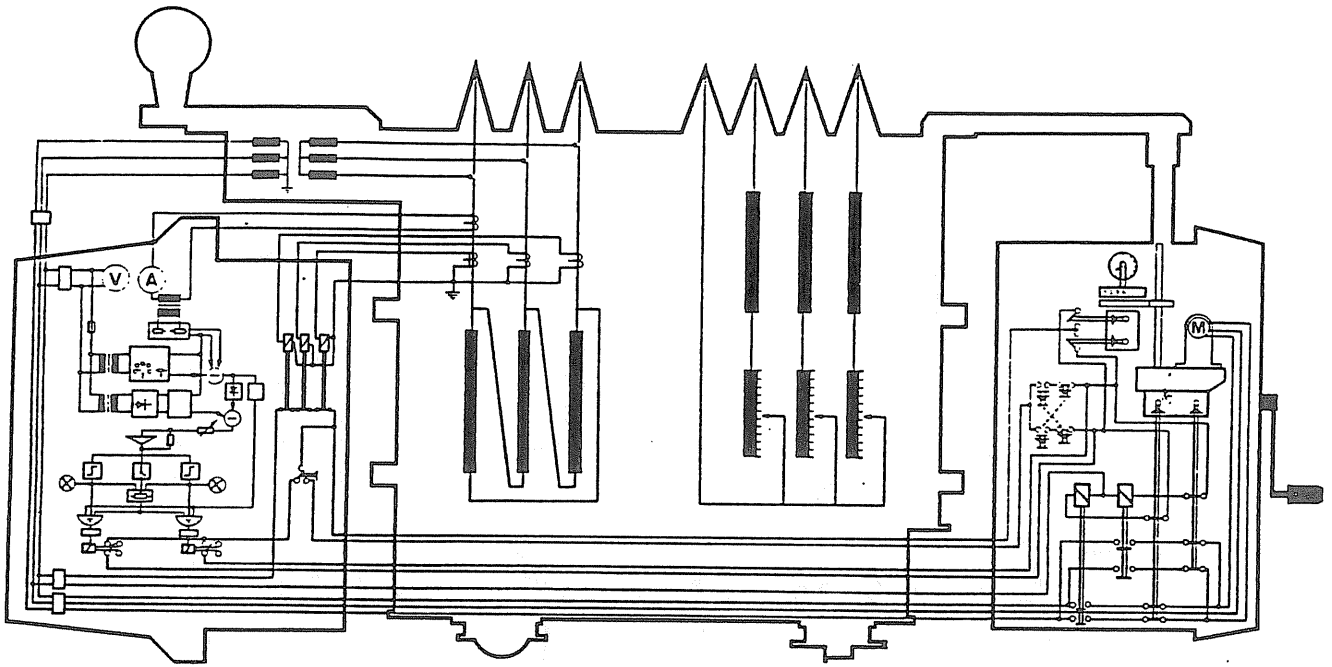
Esquema de regulación en vacío.

1.6.3 Regulación de tensión en carga

La calidad de servicio del suministro de energía eléctrica está asociado con la disponibilidad de una tensión regulada en el punto de consumo y esto es posible gracias a la utilización de transformadores provistos de reguladores de tensión en carga. La conmutación bajo carga se realiza sin la interrupción del servicio.

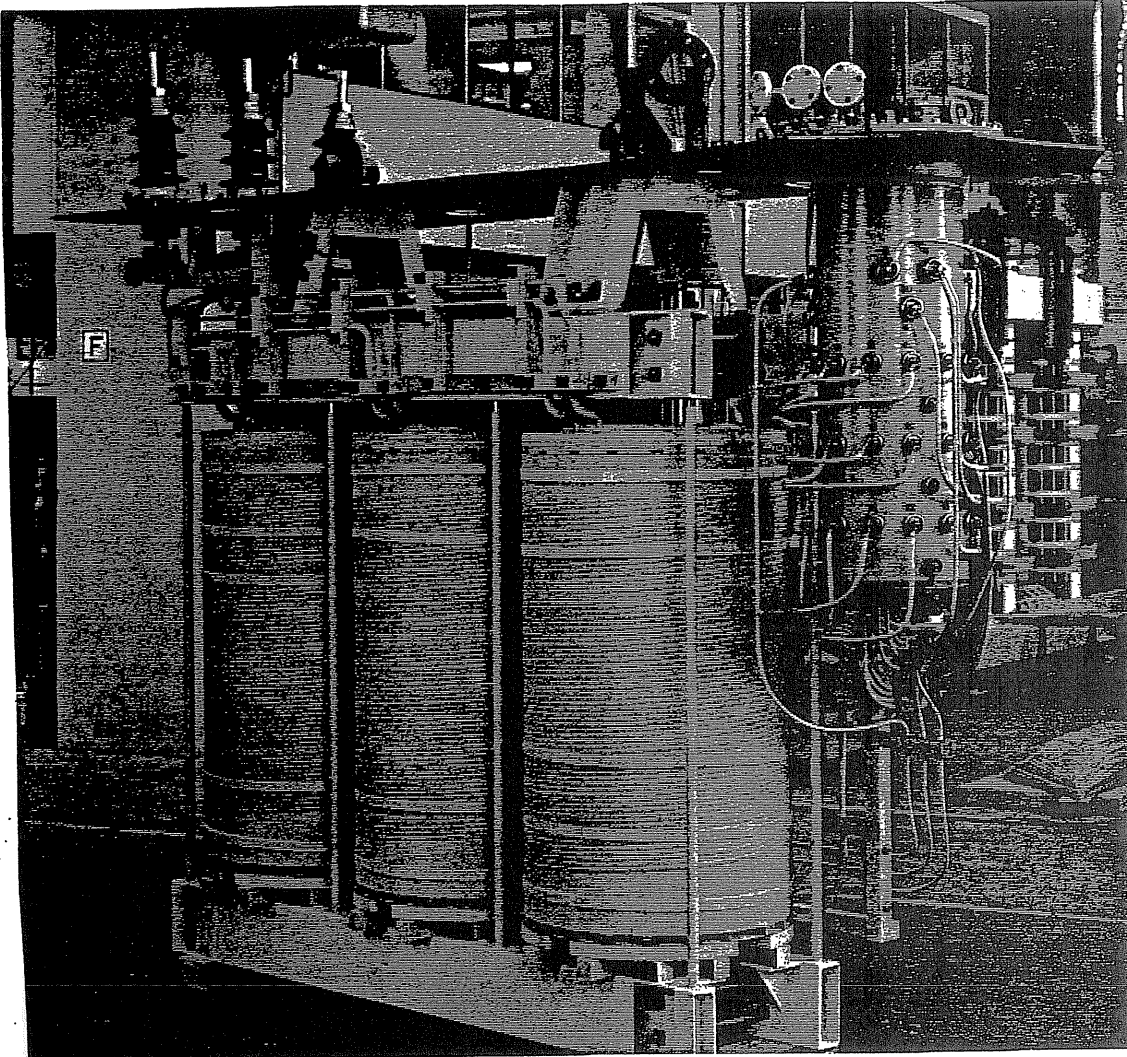
El regulador en carga tiene la doble misión de, por una parte, seleccionar las distintas tomas de regulación y por otra, interrumpir la corriente de carga al pasar de un punto de la toma a otro. Al existir interrupciones de corriente y por consiguiente cortes de arco, el conmutador deberá ir bañado en aceite y en compartimento separado y estanco para evitar la difusión de los productos del arco por el aceite del transformador. El aceite de conmutación queda separado del aceite del transformador mediante un compartimento totalmente estanco, este aceite, deberá renovarse con cierta frecuencia.

Los conmutadores-selectores de diseño tubular, combinan pues las características de un ruptor y un selector.



- 1 - Transmisión mecánica.
- 2 - Tapa del transformador.
- 3 - Soporte del conmutador.
- 4 - Conmutador de tomas.
- 5 - Selector e inversor.
- 6 - Accionamiento por motor.

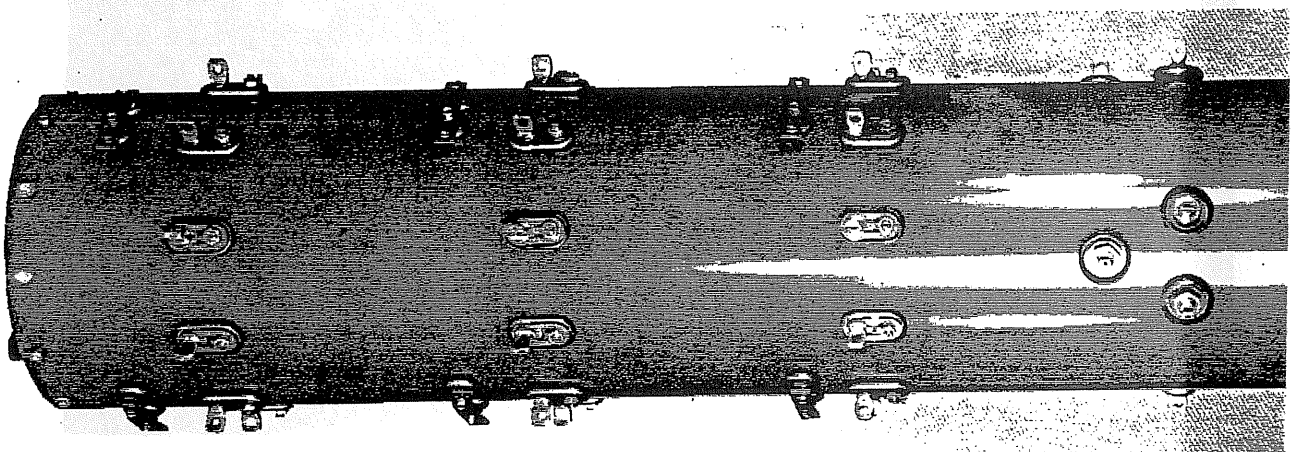
Esquema de disposición y conexionado del regulador en un transformador autónomo.



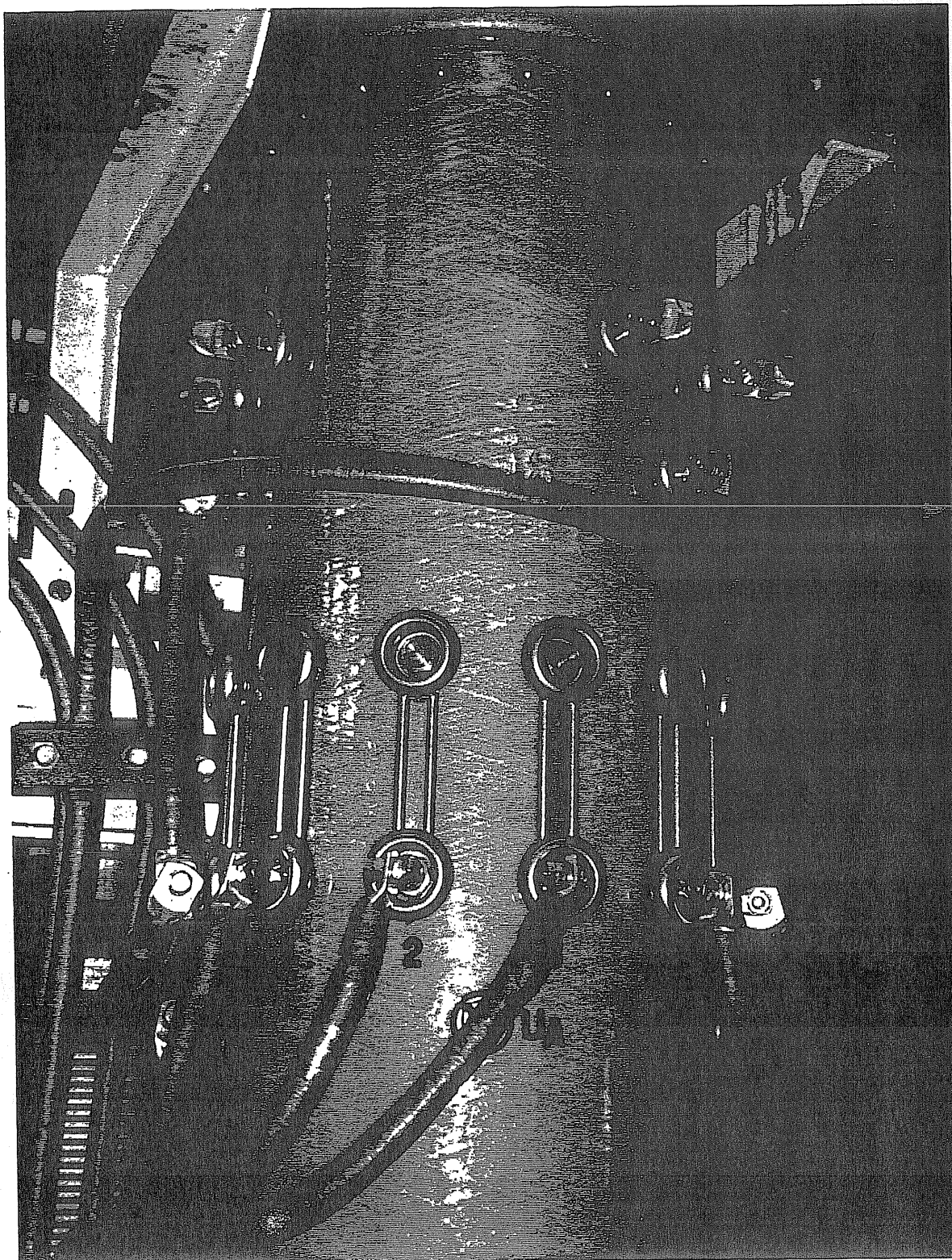
1.6.5 Conexión de los arrollamientos a los terminales de salida del cambiador.

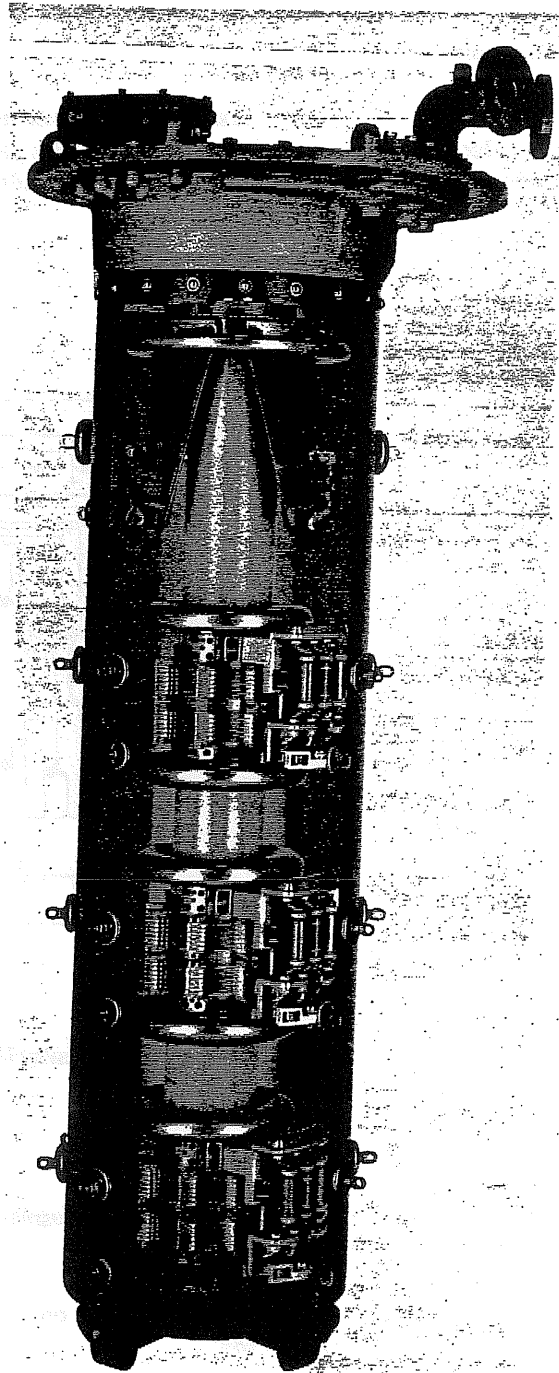
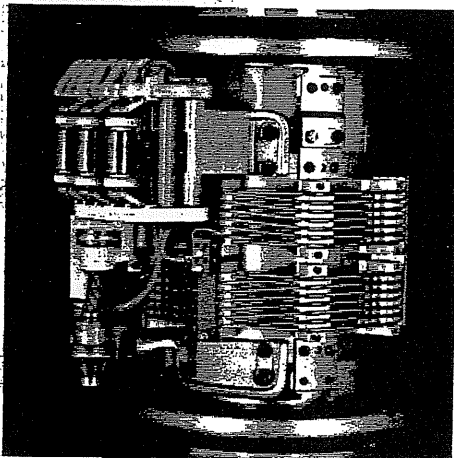
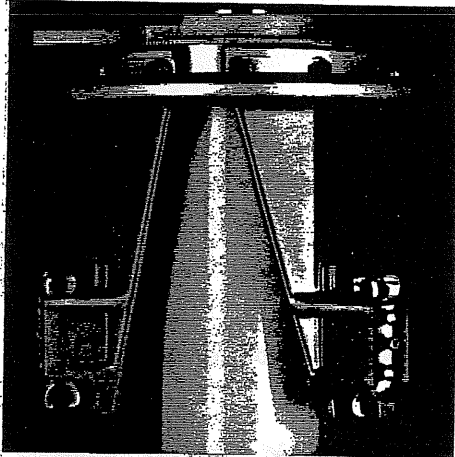
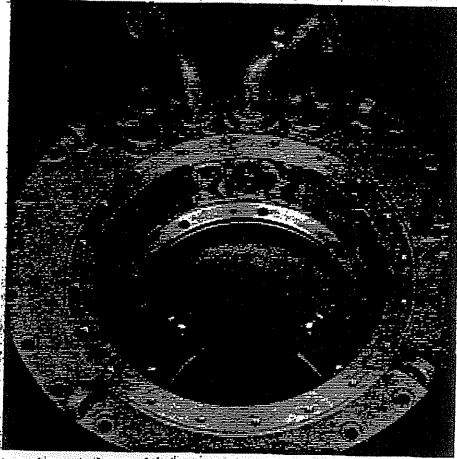
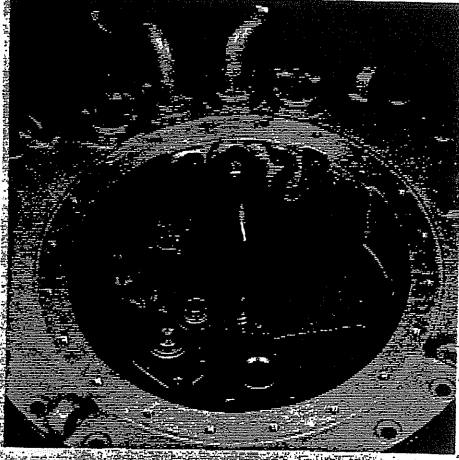
Las conexiones han de ser realizadas de acuerdo con el esquema de funcionamiento del regulador.

Todas las conexiones al cambiador deberán efectuarse cuidadosamente quedando convenientemente aseguradas.



Las conexiones deberán realizarse de forma tal que no ejerzan ninguna tensión sobre el cambiador.



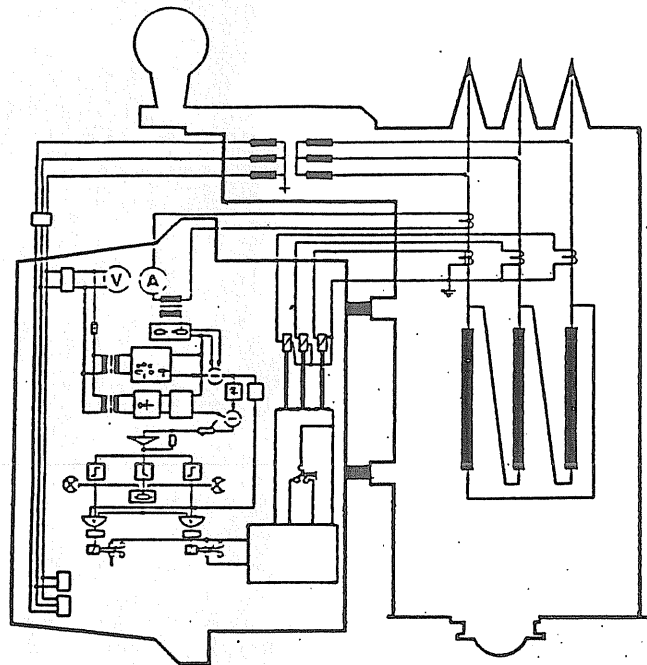


Regulador en carga para
60 KV. y 200 A., ± 9 posiciones

1.6.6 Transformador auxiliar para mando de la regulación.

La regulación automática se realiza por la acción del relé regulador de tensión que envía las órdenes al equipo de mando.

Para esta solución, el transformador principal lleva incorporados el transformador auxiliar trifásico y los transformadores de medida necesarios para realizar la función de regulación automática de la tensión sin dependencia de una fuente auxiliar de alimentación exterior al propio transformador.



Detalle de la alimentación al relé regulador

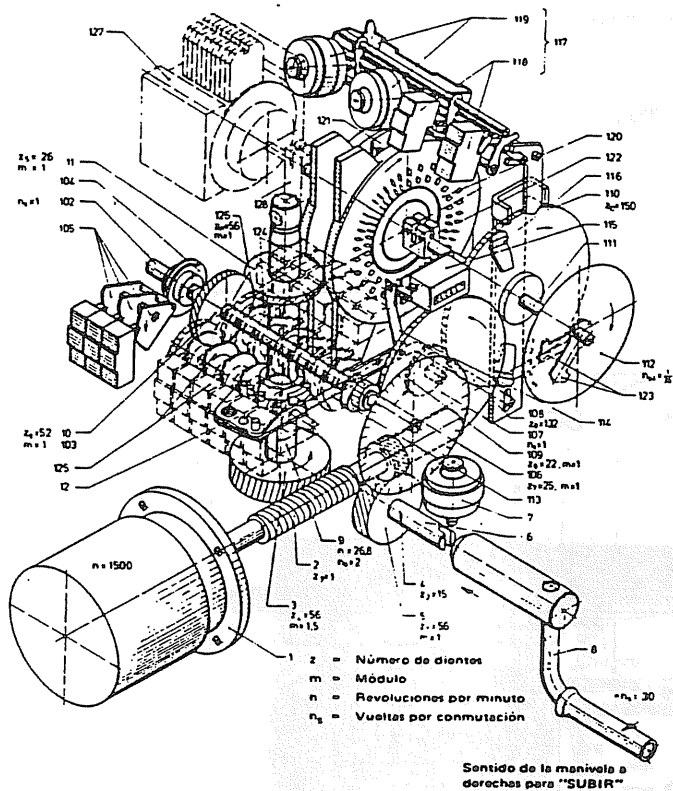
1.6.7 Accionamiento a motor.

El accionamiento a motor permite el desplazamiento del regulador a la posición de servicio eventualmente requerida.

Los elementos mecánicos y eléctricos que componen el accionamiento del regulador, y que están contenidos en un armario son:

- Motor de accionamiento.
- Mecanismo principal y mecanismo de control.
- Limitadores mecánicos y eléctricos de fin de carrera.
- Dispositivo para la señalización local y a distancia de la posición.
- Mando local.
- Equipo de control eléctrico y protecciones.

Este es un sistema de control "PASO A PASO", y la operación de cambio de toma se realiza irrevocablemente cada vez que el sistema de control ha sido excitado. Dicha excitación provoca un cambio de toma en el regulador desde una posición de servicio a la posición contigua.



Esquema del reductor

Reductor principal		Reductor de control	
1 Motor	102 Eje	116 Tope para limite posición	
2 Tornillo sinfin	103 Acoplamiento libre	117 Fin de carrera eléctrico	
3 Engranaje helicoidal	104 Leva de control	118 Contactos adelantados para circuito de control de la pos. 1/n	
4 Rueda dentada I	105 Interruptor paso a paso	119 Fin de carrera eléctrico para la pos. 1/n	
5 Rueda dentada II	106 Rueda dentada	120 Transmisión de posiciones	
6 Eje para manivela	107 Disco indicador de posición	121 Brazo de contacto	
7 Interruptor de bloqueo	108 Rueda dentada	122 Acoplamiento	
8 Manivela	109 Rueda dentada intermedia	123 Palanca de arrastra	
9 Eje accionamiento	110 Rueda indicadora de posición	124 Leva de control (grupo 1)	
10 Rueda dentada III	111 Eje	125 Leva de control (grupo 2)	
11 Rueda dentada IV	112 Indicador	126 Piñón de arrastre	
12 Fin de carrera (solamente para conmutadores A, B y MS)	113 Leva para contador	127 Transmisor Seisyn (opcional)	
	114 Palanca contador	128 Acoplamiento para transmisor	
	115 Contador		

DESCRIPCION DEL ACCIONAMIENTO A MOTOR DEL REGULADOR.

a) Elementos mecánicos

Cabina. Consta de dos partes, la caja y la tapa. Está dotada de orificio para salida del eje de accionamiento, mirilla, pulsadores y manivela para ajuste y maniobra de servicio.

Reductor. Está formado por el reductor principal, alojado en un carter sobre la cabina, y reductor de control, montado a un lado del reductor principal. El reductor de control comprende un disco de leva para accionar los interruptores de leva, la corona indicadora de conmutación y el indicador mecánico de posición. Tanto la corona indicadora como el disco de leva giran una vuelta por maniobra.

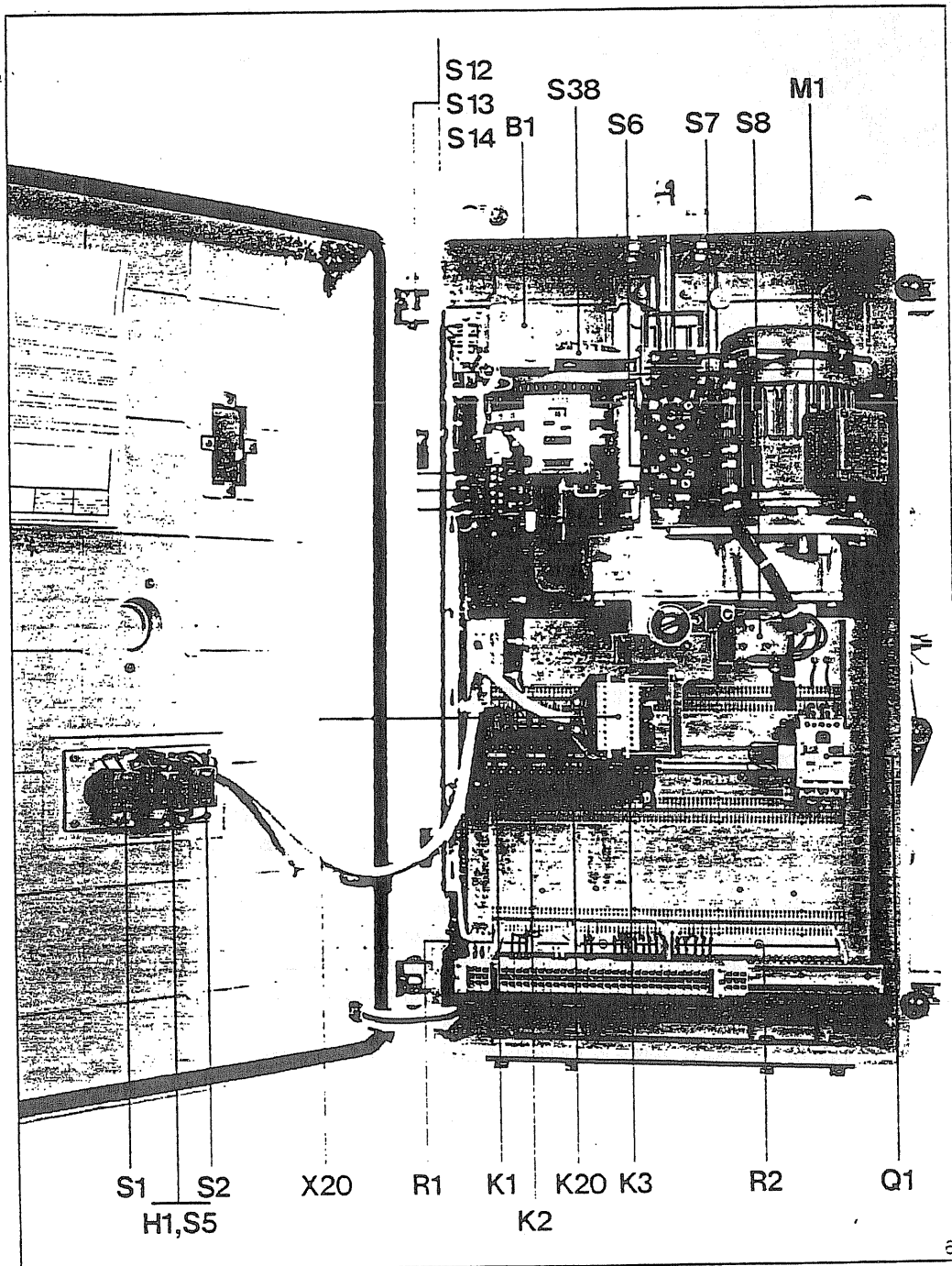
Manivela. Está colocada en la parte exterior de la cabina.

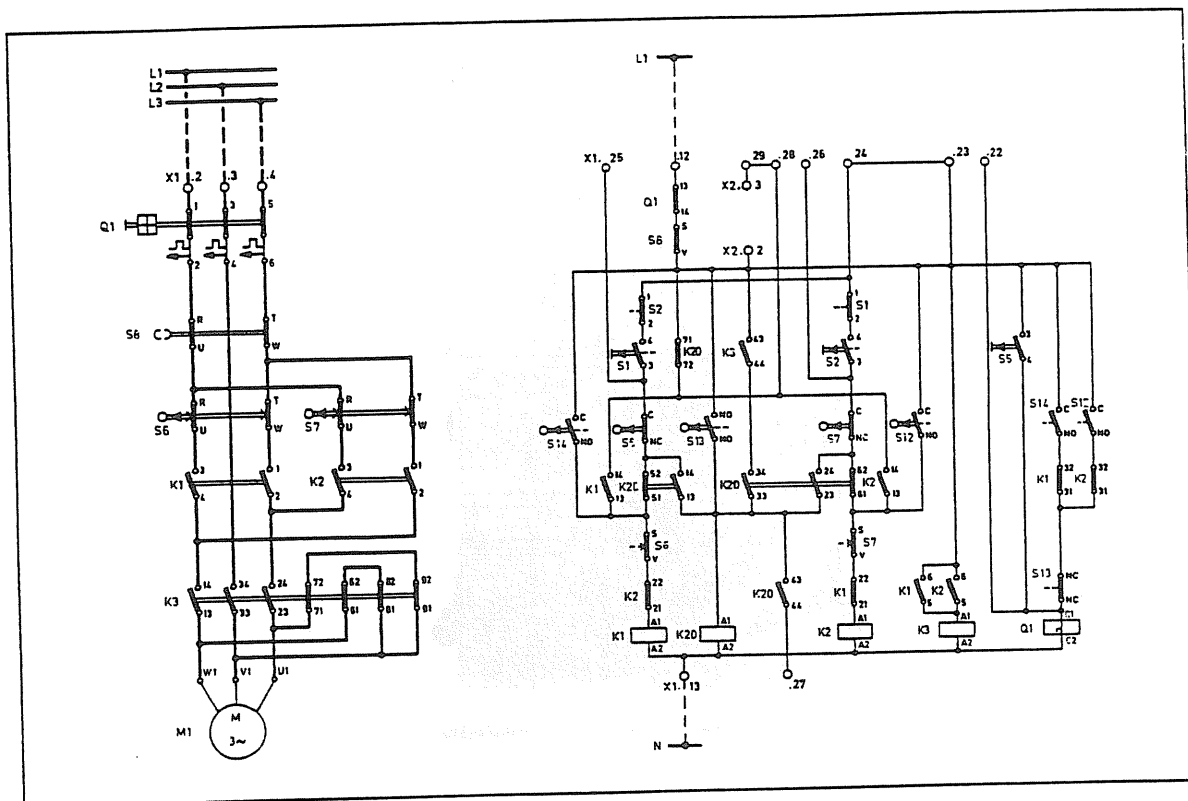
Contador. El contador mecánico indica el número de maniotras efectuadas.

b) Elementos eléctricos

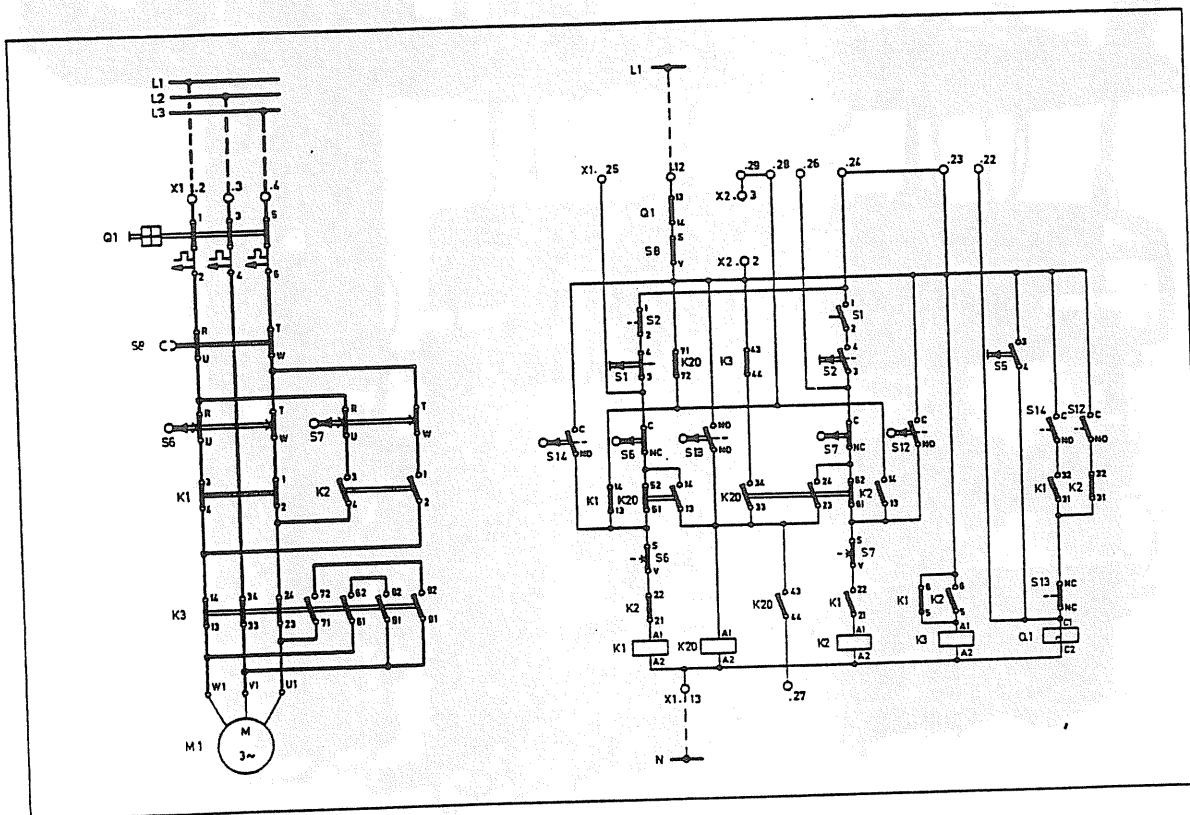
- H1: Lámpara indicadora disparo guardamotor Q1.
- K1/K2: Contactores principales de mando a motor, "bajar" hacia posición n. el motor gira hacia la derecha/ "subir" hacia posición 1. el motor gira hacia la izquierda.
- K20: Contactor auxiliar para maniobras paso a paso.
- M1: Motor.

- 41: Interruptor de protección del motor.
 R1: Resistencia de caldeo.
 S1/S2: Pulsadores de mando "bajar". "subir".
 S5: Pulsador de disparo del interruptor de protección Q1 del motor.
 S6/S7: Finales de carrera para posiciones n y 1.
 S8: Interruptor de bloqueo por introducción de manivela.
 S12/S14: Inversores bipolares accionados por leva. "subir", "bajar".
 S13: Inversa para maniobra paso a paso.
 S38: Corona de contactos para cuadro de lámparas.
 X20: Conexión por enchufe.

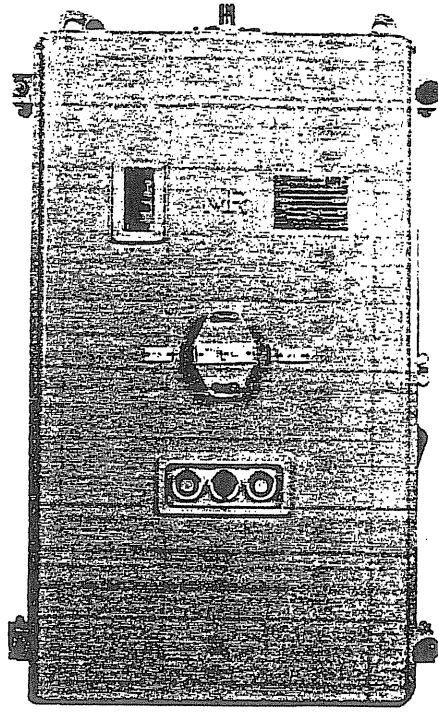




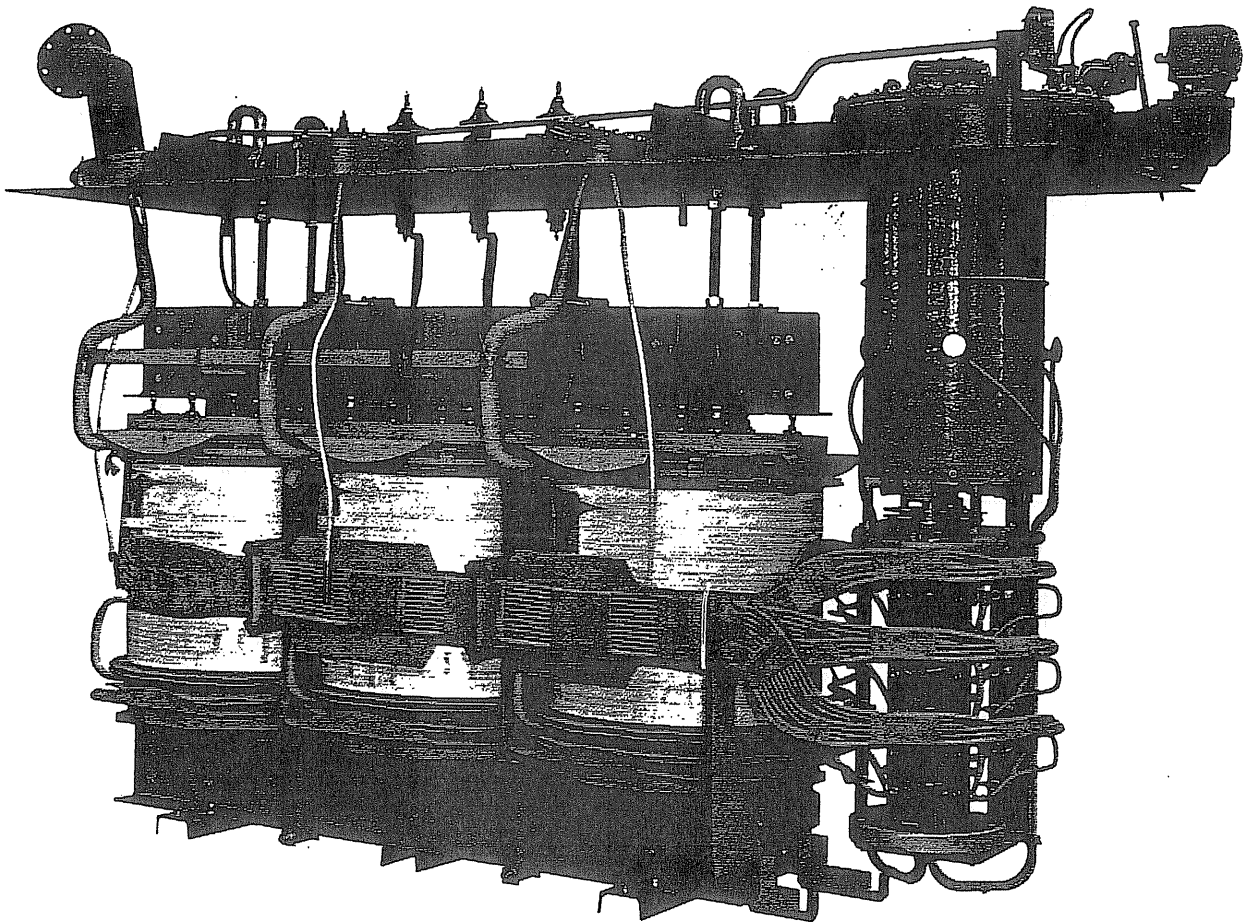
Esquema condición preliminar



Esquema de funcionamiento hacia la posición n.



Tapa de la cabina de accionamiento



Vista de un regulador en carga en un transformador trifásico

1.7 CALENTAMIENTO Y REFRIGERACION

El transformador es una máquina de elevado rendimiento. Sin embargo las pérdidas en sus partes activas como circuitos magnéticos y arrollamientos son origen de un desprendimiento de calor que, si no es evacuado a medida que se produzca llevaría a los elementos del transformador a temperaturas perjudiciales para su buen funcionamiento.

Por eso el fluido de los transformadores además de ser un líquido aislante sirve como elemento de transmisión de calor a los elementos donde se disipa. Por tanto la eficacia del sistema de disipación determina la capacidad térmica y la vida del aislamiento del transformador.

1.7.1 Símbolos de designación.

Los transformadores se designarán según el método de refrigeración empleado. Los símbolos literales que corresponden a cada método de refrigeración se indican a continuación.

Naturaleza del medio de refrigeración	Símbolo
Aceite mineral o líquido aislante sintético, inflamable equivalente	O
Líquido aislante sintético no inflamable.	L
Gas.	G
Agua.	W
Aire.	A
Tipo de circulación	
Natural.	N
Forzada (aceite no dirigido).	F
Forzada con aceite dirigido.	D

1.7.2 Disposición de símbolos.

Los transformadores se designarán por cuatro símbolos para cada uno de los métodos de refrigeración, los cuales han de venir especificados en la placa de características del transformador.

Los transformadores del tipo seco sin envoltorio de protección, se designarán por dos símbolos solamente.

El orden en el que se deben usar los símbolos es el indicado en la tabla siguiente:

Primera letra	Segunda letra	Tercera letra	Cuarta letra
Indica el medio de refrigeración que está en contacto con los arrollamientos.		Indica el medio de refrigeración que está en contacto con el sistema de refrigeración exterior.	
Naturaleza del medio de refrigeración	Tipo de circulación.	Naturaleza del medio de refrigeración.	Tipo de circulación.

1.7.3 Clasificación de los aislantes.

Los aislantes usuales en la construcción de transformadores industriales se clasifican según la tabla siguiente:

CLASE	AISLANTE	TRATAMIENTO
A	Sustancias orgánicas, algodón, seda papel y análogas, así como esmaltes para hilos.	Impregnado
E	Folios sintéticos resistentes al calor, papel con laca, esmalte para hilos.	No impregnado
B	Papel.	Impregnado
F	Sustancias inorgánicas, mica, asbesto, productos a base de vidrio y materias minerales parecidas.	Impregnado (Por ejemplo con siliconas modificadas con sustancias orgánicas sintéticas.)

1.7.4 Calentamiento para transformadores secos.

Los límites de calentamiento son los indicados en la tabla siguiente:

1	2	3	4
Parte	Método de refrigeración	Clase de aislamiento	Calentamiento máximo °C
Arrollamiento (calentamiento medido por el método de variación de resistencia.	Por aire, natural o ventilación forzada.	A	60
		E	75
		B	80
		F	100
		H	125
Circuitos magnéticos y otras partes. a) En contacto con los arrollamientos. b) No en contacto con los arrollamientos	Todos		a) Los mismos valores para los arrollamientos. b) La temperatura no alcanzará en ningún caso un valor que pueda dañar al propio circuito magnético, otras partes, o los materiales adyacentes.

1.7.5 Calentamiento para transformadores sumergidos en fluido

Los límites de calentamiento para transformadores sumergidos en fluido refrigerante son los indicados en la tabla siguiente:

Límites de calentamiento para los transformadores sumergidos en aceite

1	2
Parte	Calentamiento máximo °C
Arrollamientos: Clase temperatura del arrollamiento A (calentamiento medido por el método de variación de resistencia)	65, cuando la circulación del aceite es natural o forzada no dirigida. 70, cuando la circulación del aceite es forzada y dirigida.
Aceite en la parte superior (calentamiento medido por termómetro)	60, cuando el transformador está provisto de conservador o es estanco al aire. 55, cuando el transformador no está provisto de conservador ni es estanco al aire.
Circuitos magnéticos, partes metálicas y otros materiales adyacentes.	La temperatura no alcanzará en ningún caso, un valor que pueda dañar al propio circuito magnético, otras partes o los materiales adyacentes.

NOTA: Los límites de calentamiento de los arrollamientos (medido por el método de variación de resistencia) se eligen de forma que den el mismo calentamiento del punto caliente con diferentes tipos de circulación del aceite. El calentamiento del punto caliente no se puede medir normalmente, directamente. En los transformadores con circulación forzada y dirigida del aceite, la diferencia entre el calentamiento del punto caliente y el calentamiento medio en los arrollamientos es más pequeño que en los transformadores con circulación natural del aceite, o que en los de circulación forzada pero no dirigida del aceite, por esta razón los arrollamientos de los transformadores con circulación forzada y dirigida del aceite pueden tener límites de calentamiento (medido por el método de variación de resistencia) superiores en 5° C., a los de los otros transformadores.

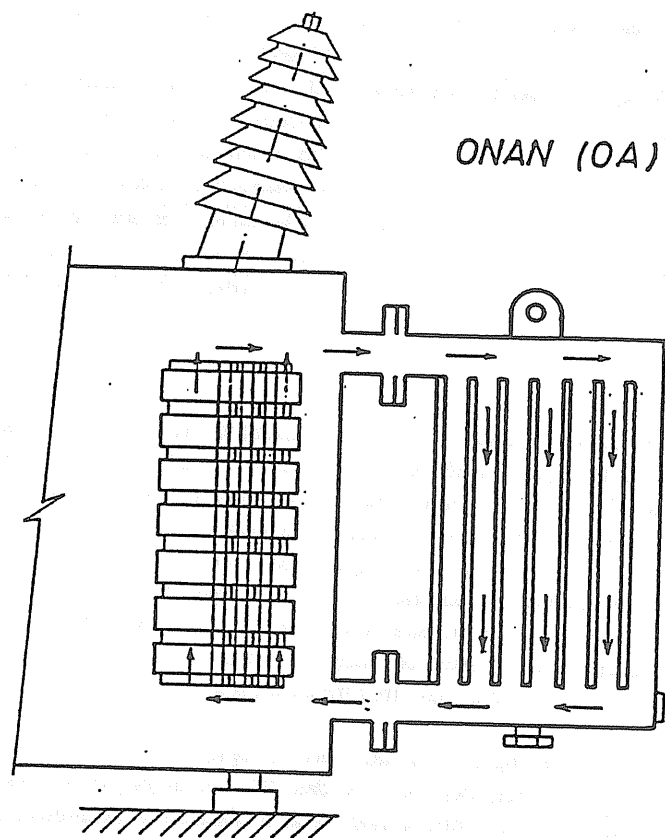
Cualquier condición de lugar de instalación susceptible de imponer restricciones sobre el aire de refrigeración o de producir temperaturas elevadas del aire ambiente se han de tener en cuenta. Y también se ha de tener en cuenta la altitud donde ha de ir ubicado el transformador, ya que de instalarse en alturas superiores a los mil metros sobre el nivel del mar, el aumento de temperatura expresado en las tablas anteriores deberá REDUCIRSE en 1% por cada 100 metros que sobrepasen los mil metros de altitud.

Quedan exceptuados de esta prescripción los transformadores con refrigeración por agua.

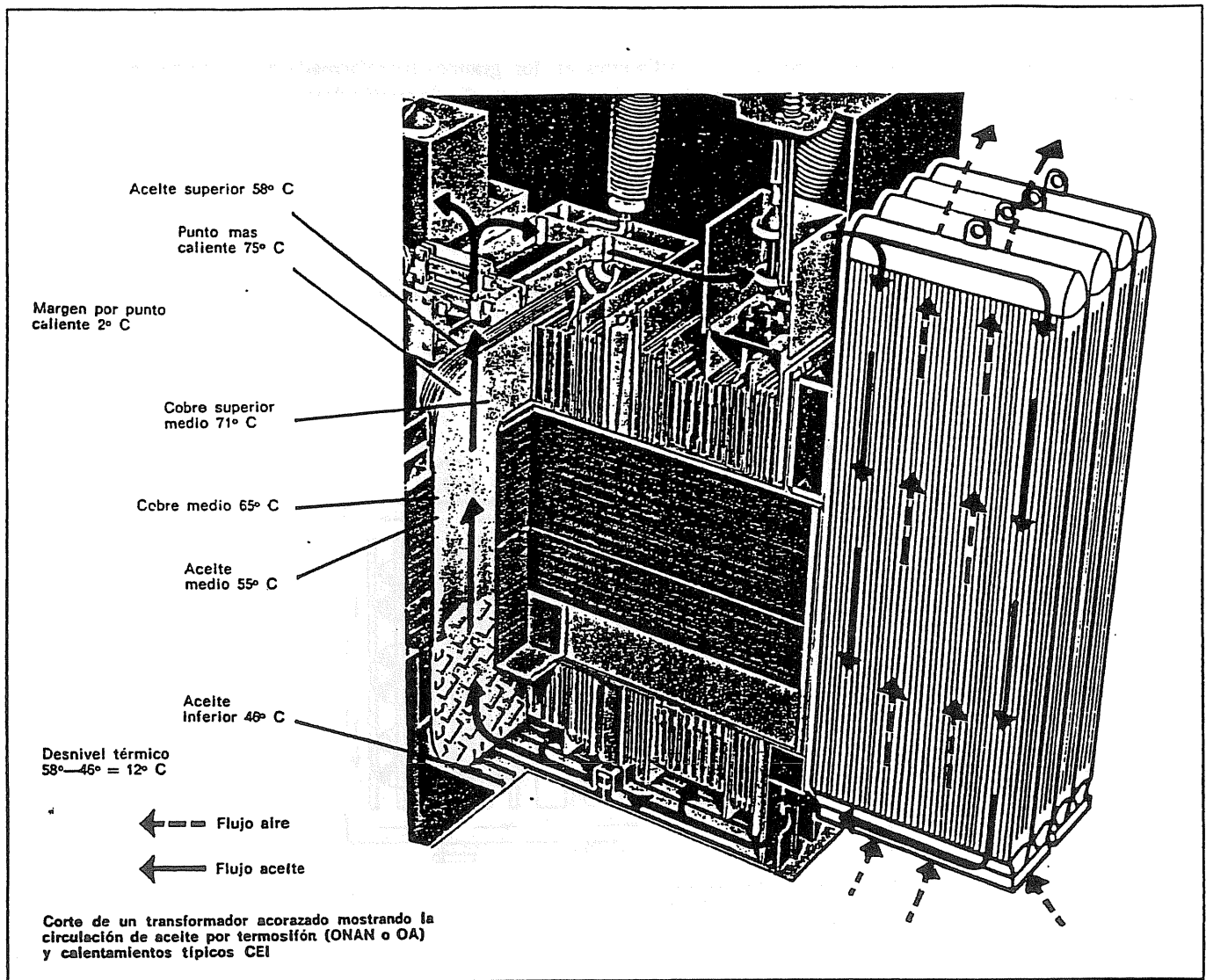
1.7.6 Tipos de refrigeración

1.7.7. Refrigeración natural. ONAN (OA)

Durante el funcionamiento ONAN (OA) se origina un movimiento del fluido refrigerante por termosifón debido a la diferencia de temperatura del fluido entre las partes superior e inferior de la cuba. Esta diferencia de temperatura es aproximadamente 12 °C, para un transformador ONAN (OA) y mantiene un flujo de aceite en el circuito magnético y superficie de bobinas superior a un metro por minuto.



O.A. Refrigeración natural mediante radiadores adosados a la cuba



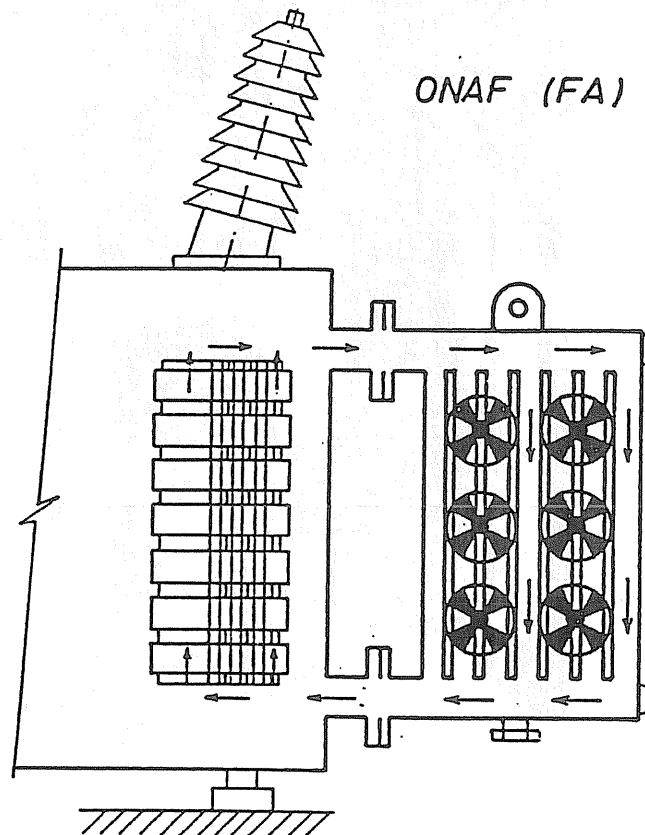
El aceite frío sube desde el fondo de la cuba circulando sobre las superficies de los conductores recogiendo el calor mientras sube a la parte superior de la cuba y de aquí pasa a los cambiadores de calor [Radiadores] donde se enfría. El fluido refrigerado entra por el fondo de la cuba del transformador, iniciando un nuevo ciclo, como podemos ver en la figura superior.

En esta figura pueden verse los calentamientos típicos. El calentamiento medio del cobre es de 65 °C y en este ejemplo, el calentamiento del aceite es de 58 °C., el del inferior es de 46 °C siendo la diferencia de 12 °C. Que es la que establece la circulación del fluido. Por tanto el calentamiento medio del fluido es de 55 °C.

Todas las temperaturas se estabilizan si la carga es permanente y constante, entonces la diferencia entre los calentamientos medios y superior del fluido será de 6 °C. Por tanto el calentamiento medio del cobre es de 65 °C. Pasando a ser de 71 °C. el calentamiento superior del cobre.

1.7.8 Refrigeración por radiadores ventilados. ONAF (FA)

Con el fin de reducir el número de radiadores en los grandes transformadores, se activa en aquellos el enfriamiento provocando una circulación del aire por medio de ventiladores.

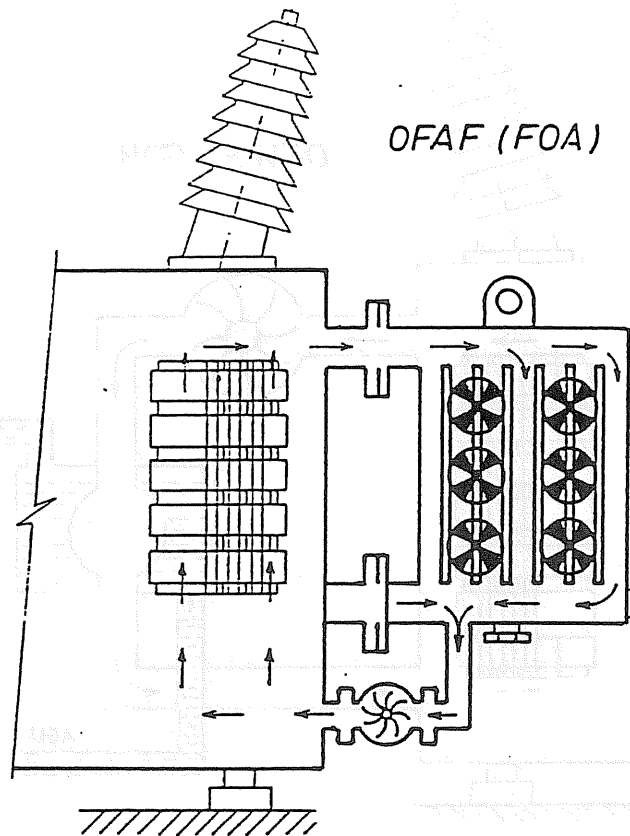


F.A. Refrigeración aceite natural y ventilación forzada.

1.7.9 Refrigeración por circulación de aceite y ventilación forzada. OFAF (FOA)

A consecuencia de la ventilación forzada la cantidad de calor disipada es mayor, por lo que será necesario aumentar en la misma proporción la cantidad de aceite que ha de pasar por los radiadores. Ya que la circulación por termosifón no basta, será necesario utilizar una bomba de aceite.

Cuando los ciclos de carga son muy duros se utiliza la ventilación forzada, con el fin de aumentar la capacidad térmica del transformador sin añadir material activo, o también si su potencia es elevada.

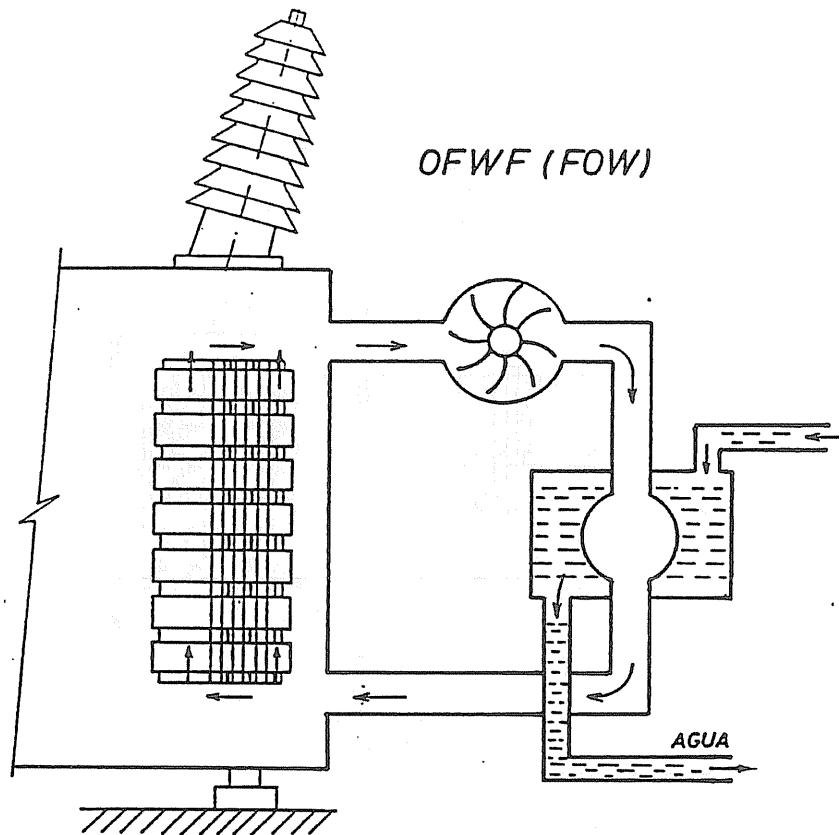


FOA - Circulación forzada del aceite con ventilación forzada.

1.7.10 Refrigeración por circulación de aceite y enfriamiento por agua forzada OFWF (FOW)

Cuando falta espacio o es difícil asegurar en una instalación interior la circulación del aire necesario, se recurre al enfriamiento del aceite con un intercambiador de agua, calculándose necesario un litro de agua por minuto y por Kilovatio de pérdida.

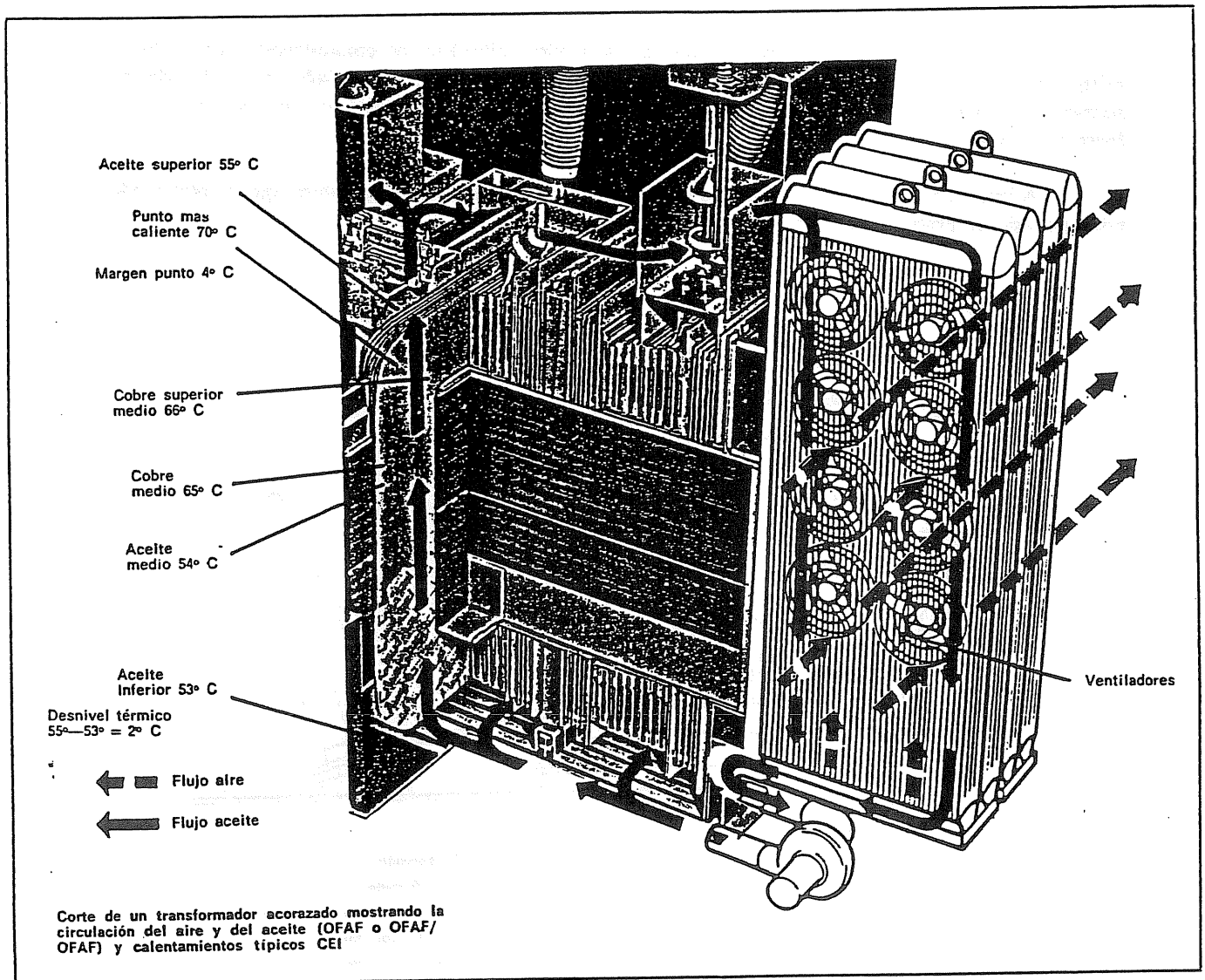
La circulación del aceite debe ser activada por una bomba.



FOW - Circulación forzada del aceite con circulación forzada de agua.

Las unidades de circulación forzada que usan bombas y ventiladores para forzar al fluido y el aire se denominan (OFAF) FAO o forzando el aceite con un intercambiador de agua OFW (FOW).

También se usan bombas y ventiladores en los transformadores ONAN/OFAF/OFAF (OA/FOA/FOA) con potencias del 100%/133%/167%, considerando 100% la potencia con circulación natural.



Los calentamientos típicos de un transformador con circulación forzada se indican en la figura anterior. Tomando de nuevo el calentamiento medio del cobre de 65 °C., la temperatura superior del aceite es de 55 °C. y la inferior 53 °C con una diferencia de 2 °C. Con lo que hemos casi eliminado la caída térmica gracias a la circulación forzada.

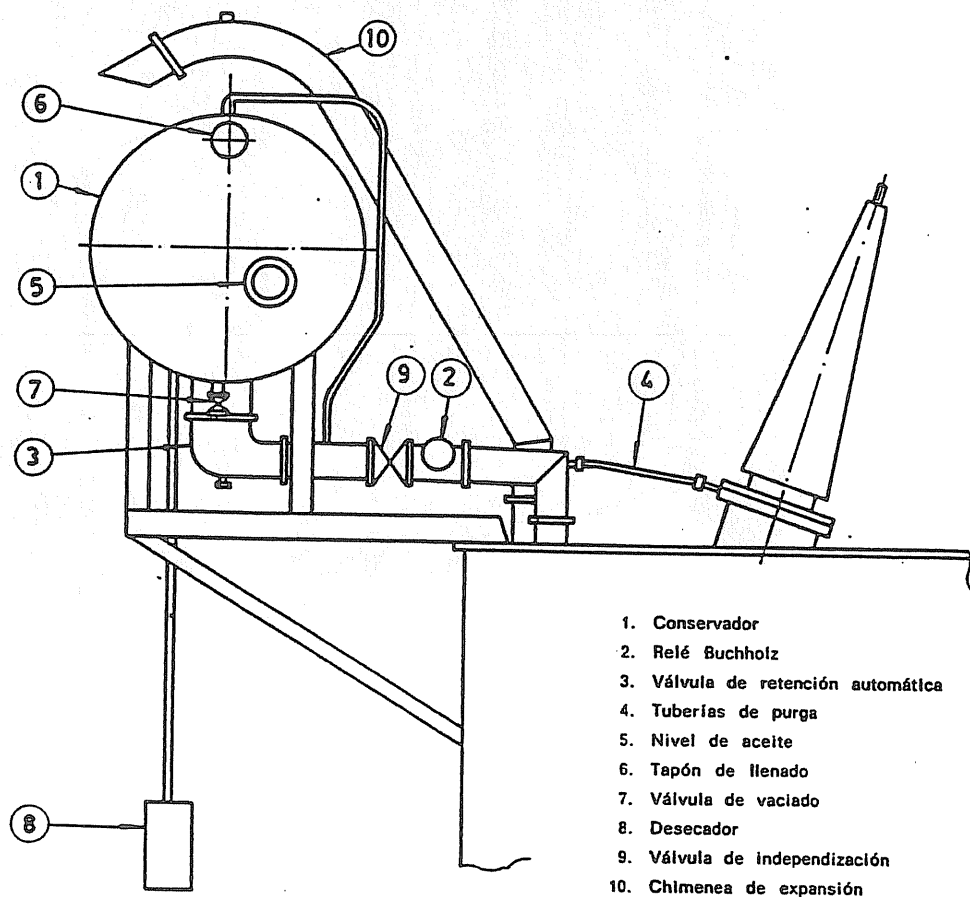
Resumiendo con la ventilación forzada obtenemos: máxima eficacia de refrigeración gracias al flujo directo sobre ambas caras del conductor, puntos calientes más reducidos, aumento de vida del aislamiento.

1.8 ACCESORIOS

1.8.1 Conservador del fluido refrigerante

El conservador del líquido refrigerante es un depósito cilíndrico en comunicación con el fluido refrigerante de la cuba, el cual va dispuesto sobre la tapa a un nivel superior sobre todos los demás accesorios del transformador, y tiene por objeto que el fluido refrigerante esté en contacto con el aire fuera de la cuba del transformador.

Además permite la libre dilatación del fluido en sus cambios de temperatura, que de otro modo podría ocasionar grandes presiones sobre la cuba.



1. Conservador
2. Relé Buchholz
3. Válvula de retención automática
4. Tuberías de purga
5. Nivel de aceite
6. Tapón de llenado
7. Válvula de vaciado
8. Desecador
9. Válvula de independización
10. Chimenea de expansión

Vista del depósito de expansión y accesorios que tienen relación con el mismo y a su vez con la cuba del transformador.

En los transformadores que poseen regulación en carga tienen dos compartimentos separados, uno para el aceite de cuba y otro para el aceite del regulador.

El conservador está pintado interiormente para evitar que su oxidación pueda contaminar al fluido refrigerante, por otra parte la unión del tubo de comunicación entre éste y la cuba del transformador está 100 mm. por encima del fondo del conservador. Así se evita que pasen al transformador los posibles sedimentos o agua que se depositen en el fondo del mismo.

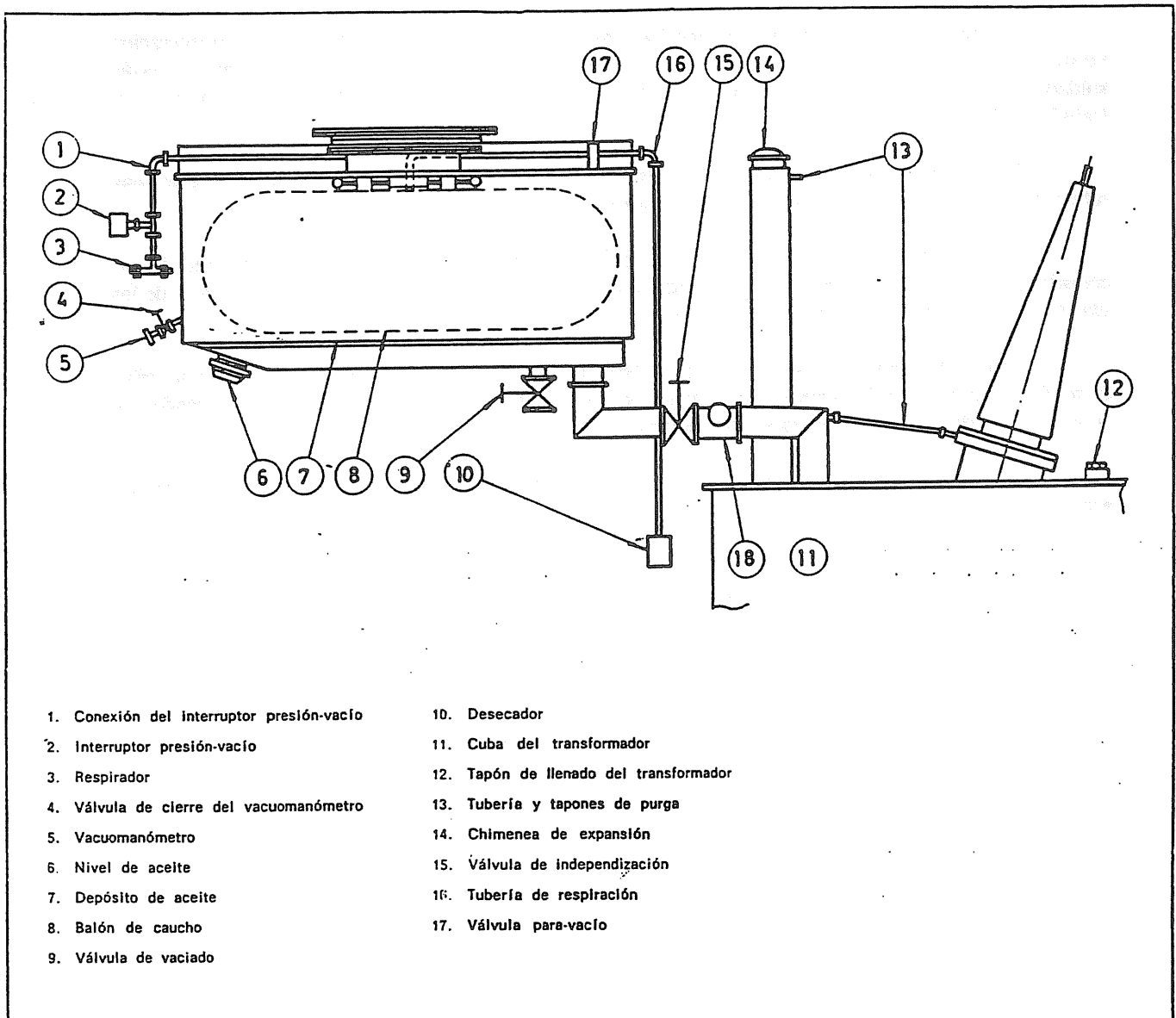
En esta tubería de comunicación se pueden acoplar la válvula de retención automática, una válvula de independización y el relé de buchholz.

En la tubería de comunicación entre el conservador y el regulador de tensión están instalados los mismos elementos.

El conservador lleva incorporados además de las tuberías anteriormente citadas, los niveles del fluido refrigerante, válvula de vaciado y tubería para poder adaptar el depósito de sal higroscópica (silicagel).

El principio de conservación es el siguiente: la oxidación del fluido es función de la temperatura del mismo. El fluido del conservador debido a la gran superficie de éste mismo, está prácticamente a la temperatura ambiente. Asimismo la superficie de contacto es muy reducida. Si el aire en contacto está exento de humedad la oxidación es mínima. Para ello hablaremos más adelante del desecador.

1.8.2 Sistema de conservación del fluido refrigerante con presión constante



El sistema de conservación de aceite con presión constante (COPS) mantiene una presión constante en la superficie del aceite del transformador. La cuba y el aceite están aislados de la atmósfera evitándose así que el fluido refrigerante quede expuesto al aire y a la humedad. La expansión del fluido refrigerante en el transformador originada por el ciclo térmico se realiza en un depósito situado encima de la cuba del transformador. El contacto entre el aceite y la atmósfera se evita por medio de un balón de caucho situado en el interior del depósito de expansión. El aire del balón se expulsa a la atmósfera a través de un desecador de silicagel y lo infla o desinfla conforme varía el volumen del fluido refrigerante del transformador. La conexión entre la cuba y el depósito se hace a través de una válvula que permite aislar ambos.

1.8.3 Radiadores

Es una unidad de refrigeración diseñada para su uso en los transformadores con circulación natural del fluido refrigerante.

En los transformadores de gran potencia, los radiadores son desmontables para su transporte o reparación.

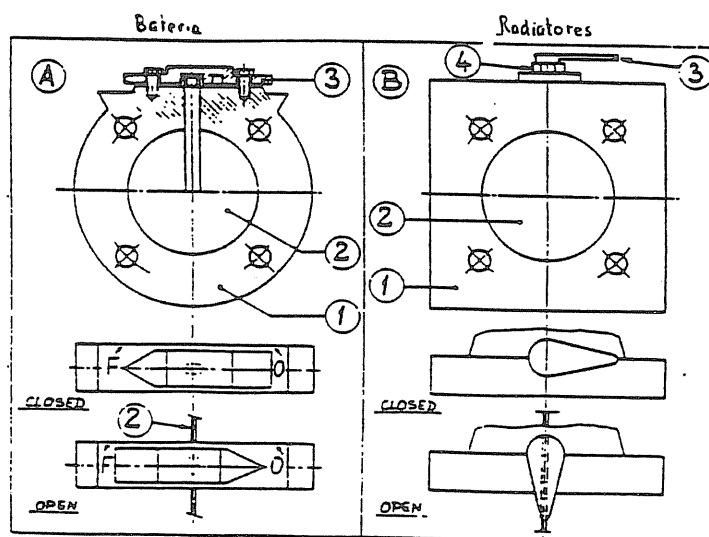
El radiador es de construcción metálica totalmente soldada, con secciones de refrigeración verticales en las que el fluido refrigerante circula y se enfría. Todos los elementos refrigerantes están soldados en sus dos extremos a un colector metálico, que tiene los elementos necesarios para su unión al transformador.

Para prever una refrigeración adicional se usan ventiladores y bombas. Para prever una refrigeración adicional se usan ventiladores y bombas.

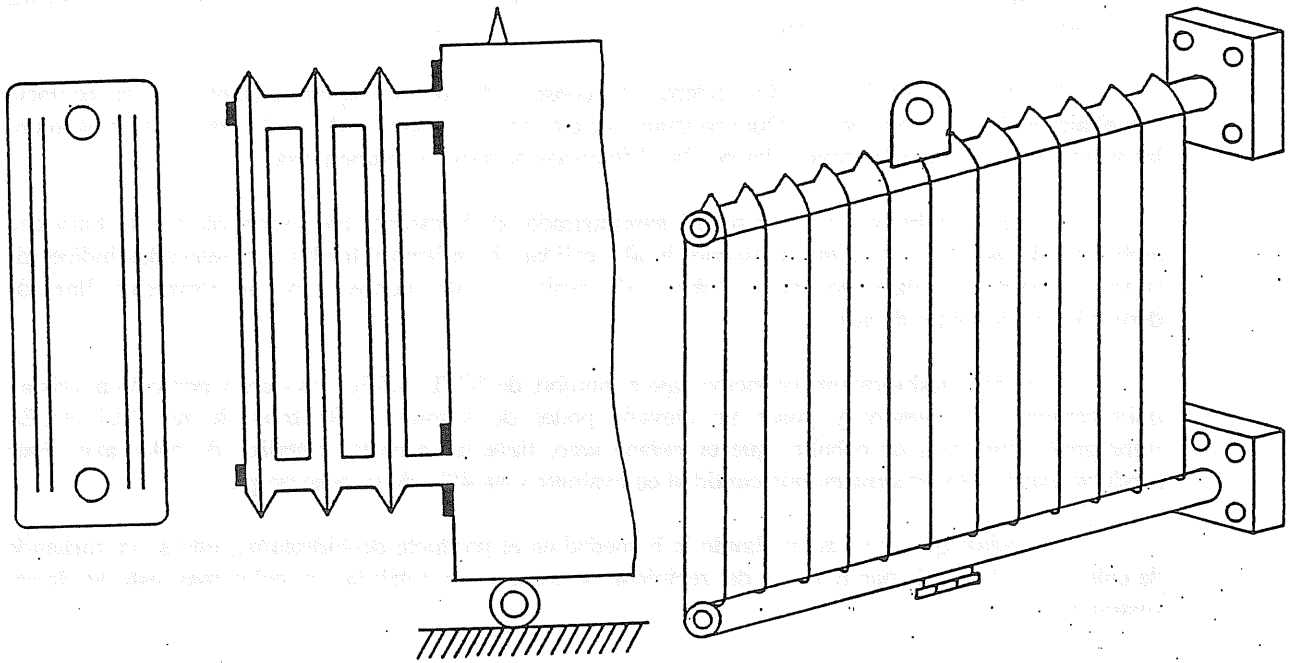
Los radiadores están diseñados en la mayoría de los casos para ser montado en uno de sus costados un conjunto motoventilador y así poder originar una circulación de aire forzado a través de los canales continuos por los elementos refrigerantes.

En transformadores de cierto tamaño existen unas válvulas en la unión del radiador a la cuba, de tal forma, que es posible cambiar un radiador sin necesidad de vaciar el aceite del transformador. A su vez el radiador dispone de un tapón de vaciado.

En la práctica estas válvulas ofrecen muy poca fiabilidad, ya que es frecuente observar fugas de aceite por ellas.



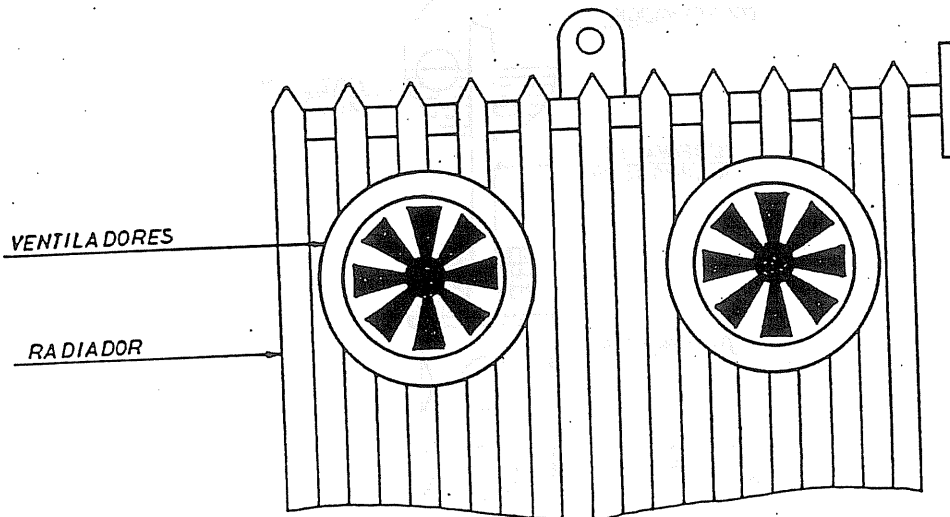
Válvula de mariposa (despiece)



Vista frontal

Vista de perfil

Radiador desmontable sin ventiladores



VENTILADORES

RADIADOR

1.3.4 Desecador de aire

El agente más influyente en el envejecimiento y en la disminución de la resistencia dieléctrica de los líquidos aislantes es la humedad.

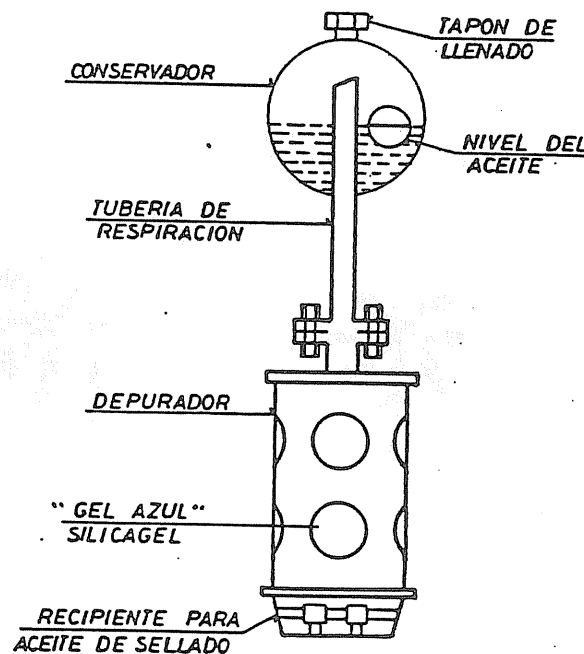
Es inevitable en los transformadores con conservador que el líquido aislante esté en contacto con el aire ambiente, habiendo un flujo constante de éste entre el conservador y el exterior, motivado por las variaciones del líquido provocadas por las diferencias de carga y temperatura.

Este aire ambiental es el principal suministrador de humedad. Para tener alejada la humedad ambiental del aceite y, por tanto, mantener la alta calidad del mismo y también los elevados índices de rigidez dieléctrica, adaptamos en la tubería de aspiración del conservador un recipiente llamado desecador o depurador de aire.

El agente deshidratante conocido bajo el nombre de "GEL AZUL", es duro y parecido al cristal, químicamente casi neutro y posee un elevado poder de absorción. Se trata de un SILICAGEL impregnado con sales de cobalto, que en estado seco, tiene un aspecto cristalino de color azul. Este producto puede retener agua en una cantidad equivalente a un 40% de su peso propio.

A medida que se va acumulando la humedad en el producto deshidratante, éste se va tornando de color rosa. Antes de que la carga del recipiente se torne en su totalidad en color rosa, ésta ha de ser sustituida.

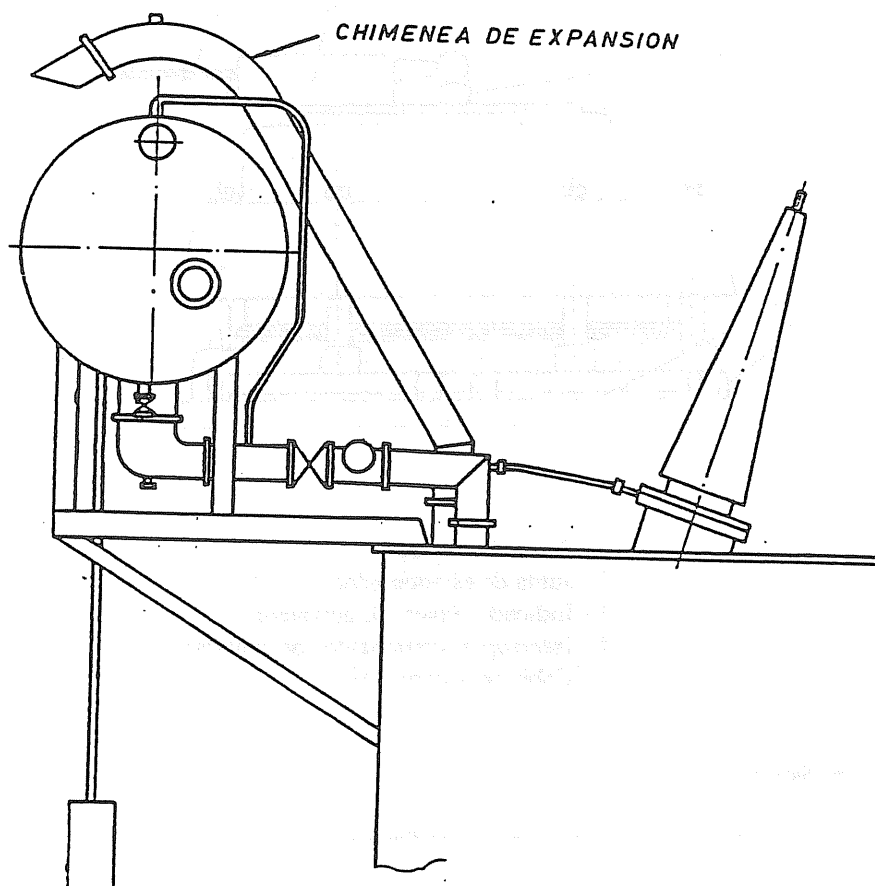
El "GEL AZUL" puede ser regenerado calentándolo a unos 120 - 200 °C., el calor necesario para ello se consume, tanto para conseguir la evaporación del agua retenida como para calentar el "GEL AZUL". Este proceso de secado puede considerarse concluido cuando el "GEL AZUL" haya recobrado su color primitivo, el azul celeste.



En la parte inferior lleva un recipiente transparente de fácil acceso, el cual debe de llenarse de aceite hasta la señal que lleva impresa dicho cristal. La misión de este recipiente con el aceite es el evitar que el aire ambiente esté en contacto permanente con el producto secante, sino que solamente permita el paso de aire cuando realmente solicite paso de aire el transformador.

1.8.5 Chimenea de expansion

Para completar la protección del transformador se dispone de una chimenea de expansión provista de un diafragma de seguridad. Esta chimenea sirve como dispositivo de alivio en caso de una sobrepresión fuerte en el transformador evitándose así una rotura o deformación de la cuba.



1.8.6 Válvula automática de sobrepresión

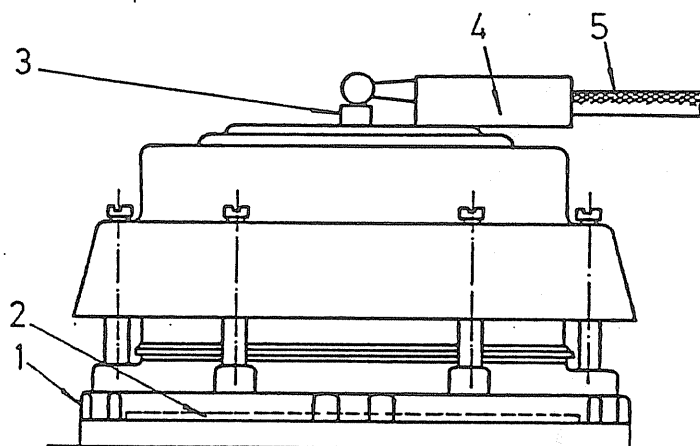
La colocación de este accesorio en transformadores tiene por objeto despejar una posible sobrepresión interna, cuando ésta alcanza valores que puedan dañar la estructura de la cuba del transformador. Este accesorio se fabrica en dos versiones, con y sin contactos eléctricos, que se usan para enviar una señalización de actuación.

Por lo anteriormente expuesto se aconseja instalar a los transformadores con una capacidad de 3.000 KVA. en adelante o por cada 35.000 litros de líquido refrigerante.

Asimismo, las válvulas de sobrepresión pueden ser utilizadas en los compartimentos destinados al regulador en carga.

1.8.6.1 Descripción.

Esta válvula consta fundamentalmente de las siguientes partes principales:



- 1.- Breda de montaje.
- 2.- Junta de estanqueidad.
- 3.- Indicador visual de actuación.
- 4.- Interruptor conmutador de contactos.
- 5.- Cable para conexión.

1.8.6.2 Características.

La presión de tarado de la válvula viene de fábrica y es de 0.35 Kg./cm²

La capacidad de los contactos a 380 V. corriente alterna es de 6 amperios.

1.8.6.3 Instalación.

Estas válvulas son generalmente montadas horizontalmente en la tapa del transformador o al final de la chimenea de expansión.

El anclaje se realiza entre la tapa teniendo especial precaución de un secado total de la superficie de asiento y la junta de estanqueidad. Entonces basta situar la válvula sobre la brida interponiendo la junta apretando las tuercas de fijación hasta que se toquen las dos bridas.

1.8.6.4 Funcionamiento.

La válvula se encuentra en posición de cerrada cuando el diafragma se mantiene cerrado sobre la junta por la acción de los resortes. pudiendo llevar uno o dos resortes dependiendo de la presión de tarado.

Cuando por una avería interna o por cualquier otro motivo se genera en el interior de la cuba una sobrepresión interna cuyo valor sobrepasa la presión de tarado, la válvula se abre por desplazamiento del diafragma de cierre. aliviando de este modo la presión interna.

En su desplazamiento el diafragma empuja al indicador elevándolo por encima del cuerpo de la válvula, permaneciendo en esta posición aunque la válvula vuelva a cerrarse.

En la variante de contactos el señalizador acciona en su desplazamiento al interruptor el cual nos da una señal indicando que la válvula ha actuado.

El dispositivo de alivio funciona automáticamente de tal modo que cuando cesa la presión que originó la apertura vuelve automáticamente a la posición de cerrado, impidiendo de este modo la entrada de agentes extraños al transformador.

Tanto el indicador como el interruptor - conmutador deben volverse a la posición inicial, ejerciendo una ligera presión sobre el indicador hasta que éste desciende y girando 90° el resorte del conmutador hasta que se apoye de nuevo en el extremo del indicador que se encuentra cerca de la tapa de la válvula.

1.8.7 Relé de buchholz

El relé de buchholz es un relé protector de los transformadores refrigerados por aceite y que estén equipados con depósito de expansión.

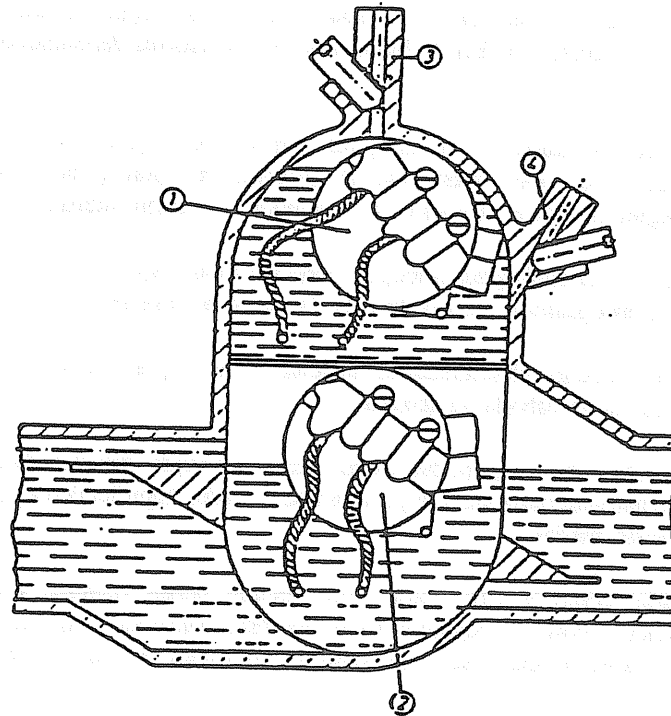
Este relé reacciona ante desprendimiento de gases en el interior de los transformadores, y al bajar excesivamente el nivel del líquido refrigerante. El desprendimiento de gases puede ser debido a varias causas: la primera y menos peligrosa, es el desprendimiento de aire o nitrógeno retenido en algunas cavidades durante el periodo de funcionamiento. Otra causa para la emisión de gas y de mayor importancia que la primera, es la producción de una avería eléctrica o magnética que afecta a los aislamientos sólidos o líquidos, con descomposición de los mismos.

Cuando la anomalía es importante, la producción de gas es muy abundante. Este produce un desplazamiento brusco del fluido refrigerante antes incluso de que el gas llegue al relé. El relé reacciona ante el flujo de líquido, señalando el defecto con mayor rapidez.

1.8.7.1 Descripción

El cuerpo del relé está construido en fundición de aluminio y las tapas de material sintético moldeado (NYLON).

En su interior están alojadas dos boyas solidarias con un contacto de mercurio, el cual se cierra cuando descienden las boyas.



Relé Buchholz

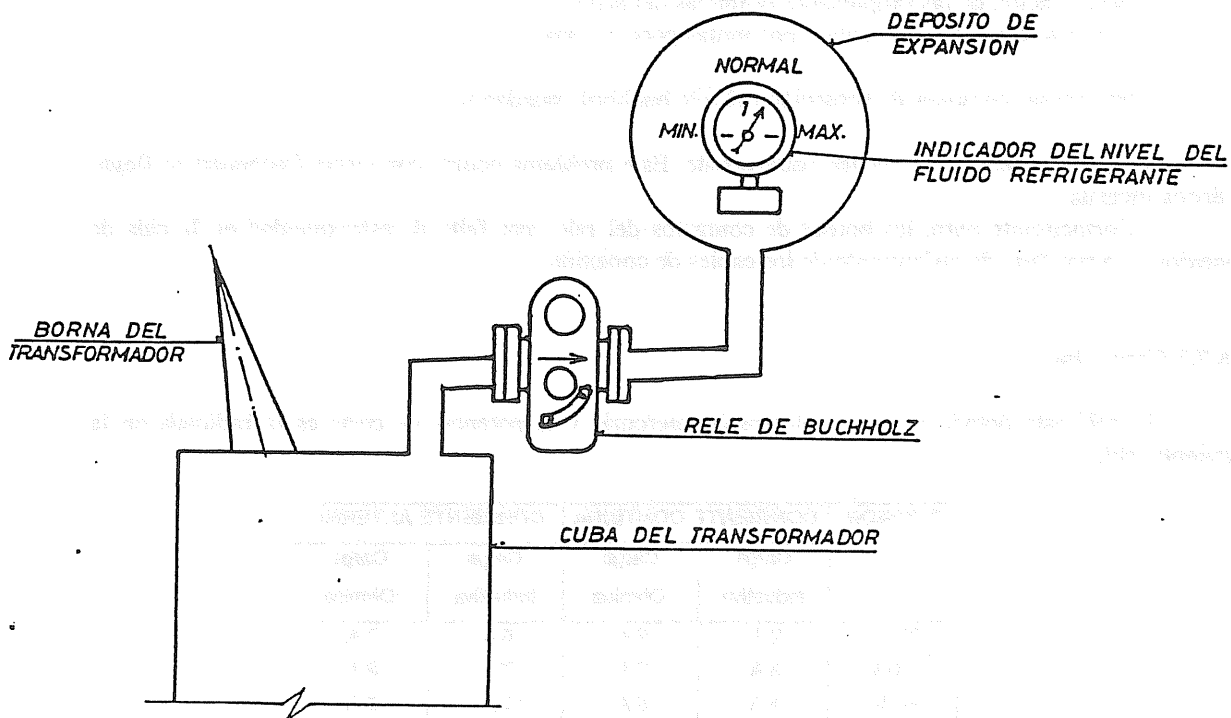
- 1.- Boya superior o de alarma.
- 2.- Boya inferior o de disparo.
- 3.- Sistema de purga y prueba de la boya de alarma.
- 4.- Sistema de purga y prueba de la boya de disparo.

Cuando la producción de gas es lenta y escasa, éste penetra en la cámara superior, desplazando el aceite y originando una señal de alarma.

Pero si la producción de gas es tumultuosa y abundante o bien existe un desplazamiento brusco del aceite desde el transformador hacia el conservador hace actuar a la boya inferior que por medio del correspondiente contacto da la orden de disparo al interruptor o interruptores, que han de dejar aislado al transformador, con el fin de limitar la importancia del defecto.

1.8.7.2 Ubicación del relé

El relé ha de estar instalado en la tubería que une la cuba del transformador con el depósito de expansión, y habrá que tener en cuenta lo siguiente:



El tubo de salida de la cuba del transformador estará en la parte más alta del mismo para que no se formen bolsas de gas. Los tubos han de presentar una inclinación entre un 2% y un 4% para una correcta circulación del gas.

El relé ha de estar intercalado entre la cuba del transformador y el depósito de expansión. Y además ha de estar instalado de forma que la flecha que lleva impresa en la carcasa esté orientada hacia el conservador, la cual nos indica el sentido de circulación del líquido refrigerante desde la cuba al depósito de expansión en caso de producirse una avería en el transformador.

Es preciso recordar que el relé de buchholz no protege por sí mismo, solamente nos señala un defecto ya latente en el transformador.