

1.8.7.3 Actuación del relé buchholz

Las irregularidades en el funcionamiento de los transformadores dan origen a calentamientos locales en los arrollamientos, y consiguientemente a la producción de gases de aceite, cuya cantidad y rapidez en su desarrollo crecen sensiblemente e medida que se extiende la avería.

Algunas causas que originan la formación de gases o vapores son:

- Ruptura de una conexión.
- Fallo de aislamiento.
- Cortocircuito o sobrecarga brusca.
- Modificación de las propiedades químicas del aceite.
- Aumento local de temperatura por juntas poco compactas.

Otras causas comunes de actuación del relé buchholz pueden ser:

- Descenso del nivel de fluido refrigerante. Este problema ocurre con cierta frecuencia al llegar la época invernal.
- Cortocircuito entre los bornes de contactos del relé por falta de estanqueidad en la caja de conexiones, o por falta de aislamiento de los cables de conexión.

1.8.7.5 Contactos.

El relé está dotado de dos contactos de mercurio y la potencia de corte es la indicada en la siguiente tabla:

TENSION	CORRIENTE CONTINUA		CORRIENTE ALTERNA	
	Carga inductiva	Carga Ohmica	Carga inductiva	Carga Ohmica
220 V.	2 A.	6 A.	6 A.	7 A.
110 V.	3 A.	7 A.	7 A.	8 A.
48 V.	4 A.	8 A.	7 A.	8 A.
Intensidad máxima en permanencia 8 A.				

1.8.7.6 Acciones a seguir en caso de actuación del relé Buchholz.

Si actúa el contacto de ALARMA:

- Comprobación visual del nivel de aceite.
- Comprobación visual fugas de aceite.
- Comprobación visual estado de conexiones y cables del relé.

Todas estas comprobaciones se realizarán teniendo en cuenta que el transformador se encuentra en servicio.

Si es decisión del Centro de Control correspondiente, dejar en descargo el transformador, o bien, si se produce la actuación del contacto de DISPARO, se realizarán las siguientes acciones.

Antes de acceder al transformador se tomarán todas las pertinentes medidas de seguridad.

- Comprobación, por la mirilla del relé buchholz, del nivel de aceite.
- Comprobación del estado de la caja de conexiones del relé.
- Medición de la resistencia de aislamiento entre todas las fases y éstas contra tierra.

- Recogida de gases para su análisis. Si no se dispone de ningún dispositivo de recogida de gases:
- Comprobar si los gases son o no combustibles.

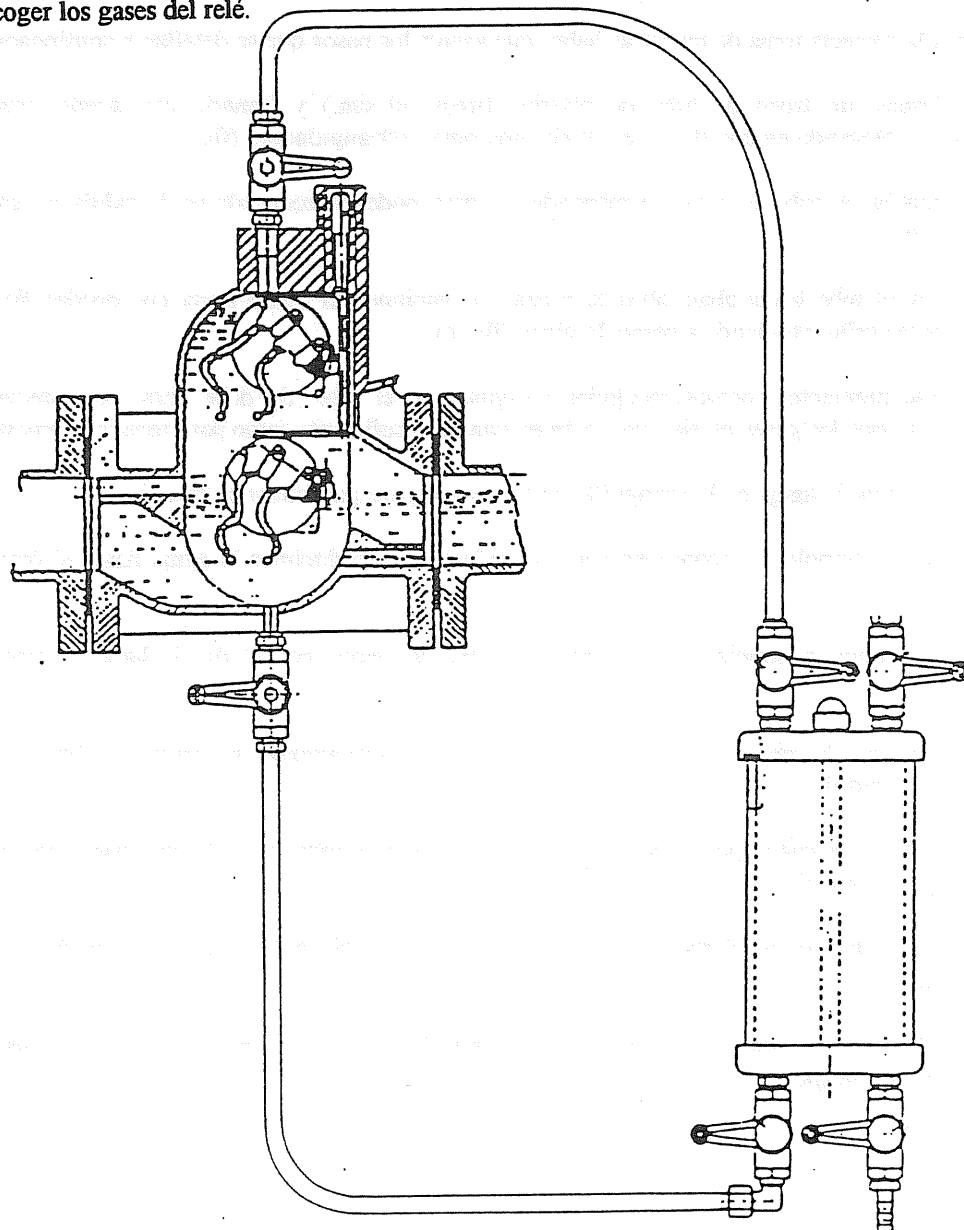
IMPORTANTE: Antes de acceder al transformador se seguirán todas las Normas de Seguridad oportunas.

1.8.8 Dispositivo para la recogida de gases

Este dispositivo tiene como función el facilitar la recogida de gases para su posterior análisis de los gases acumulados en el relé de buchholz producidos con motivo de un posible fallo en el interior del transformador.

El equipo está compuesto por un cuerpo cilíndrico de vidrio transparente, cerrado herméticamente mediante juntas planas con bridas de aluminio, unidas por un espárrago central.

En cada brida de aluminio van dispuestas dos válvulas cuya finalidad es poder manejarlos para poder recoger los gases del relé.



Otro procedimiento para la recogida de gases y que no necesita del dispositivo anterior, requiere el siguiente material:

- Habitación seguro para el transporte de la muestra.
- Tubos de plástico transparente de distintos diámetros.
- Racores para adaptar el tubo al relé buchholz.
- Jeringuillas.
- Agujas hipodérmicas.
- Pinzas para cierre del tubo por estrangulación.
- Tapones de goma para cierre final de la muestra.
- Etiquetas para identificar la muestra.

Para la correcta toma de muestras habrá que seguir los pasos que se detallan a continuación:

1 -Tomar un trozo de tubo de plástico (unos 30 cm.) y llenarlo con aceite propio del transformador, colocando en uno de sus extremos una pinza estranguladora (fig. a).

2 -Acoplar al tubo el racor correspondiente para poder introducirlo en la salida de gases del buchholz (fig. b).

3 -Con el tubo hacia abajo abrir la pinza e ir vaciando el aceite hasta que queden dos o tres centímetros como sello, volviendo a cerrar la pinza (fig. c).

En ese momento tenemos recogidos los gases en el tubo. Se debe obrar con precaución y seguridad puesto que los gases no siempre están en cantidad suficiente como para repetir la muestra.

4 - Colocar la aguja en la jeringuilla, presionando para garantizar su fijación.

5 -Con el embolo a 0 (completamente introducido) introducimos la aguja hasta el interior del tubo (fig. d).

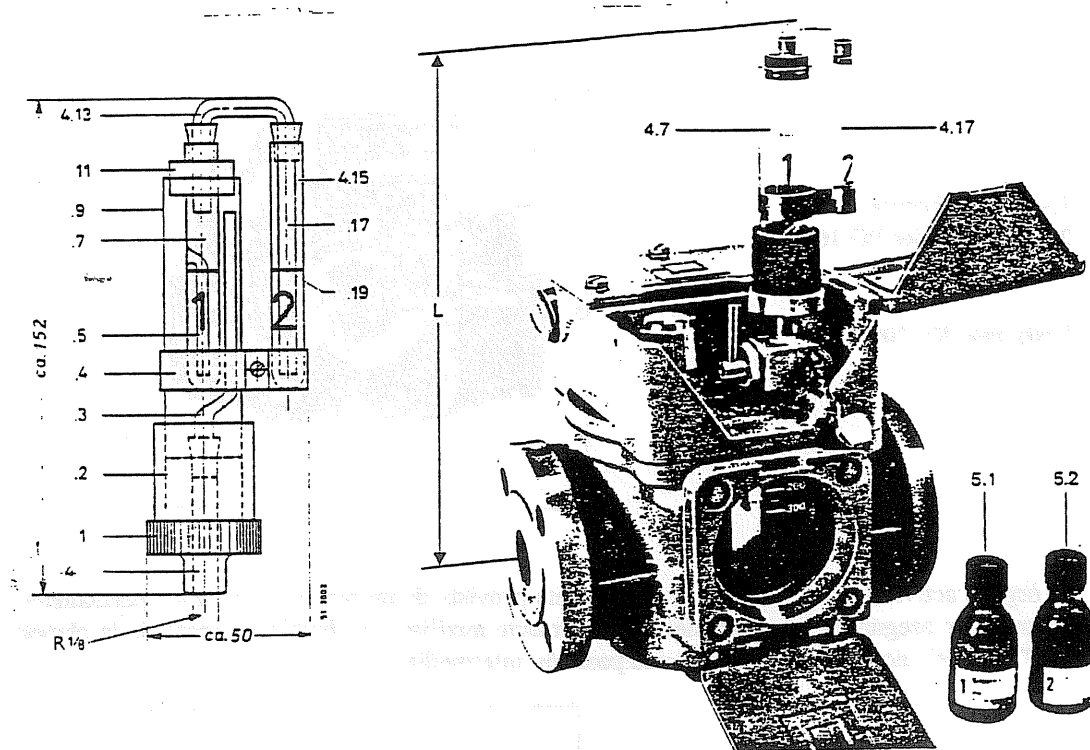
6 -Aspiramos e impulsamos la muestra un par de veces, con el fin de hacer homogénea la muestra.

7-Tomamos la muestra haciendo una aspiración, procurando no pasar el émbolo de los márgenes de seguridad.

8 -Sellar la muestra, perforando la otra pared del tubo donde, previamente, habremos colocado un tapón de goma para el cierre (fig. e).

9 -Retirar la muestra cortando con una tijera el tubo de plástico por la parte superior e inferior de la aguja (fig. f).

10 -Colocar la muestra debidamente etiquetada para su identificación, en el habitáculo reservado para su transporte.



Aparato de prueba de gas XB 0081

- 4 Aparato de prueba de gas
- 1 Montura con rosca RVe
- 2 Muñón de goma
- 3 Tubo (vertical)
- 4 Abrazadera
- 5 Tubo
- 7 Tubo de vidrio (1)
- 9 Tubo de vidrio
- 11 Anillo de goma
- 11 Tubo de vidrio (de unión)
- 15 Abertura de purga de aire
- 17 Tubo de vidrio (2)
- 19 Marca

Figura 6 Aparato de prueba de gas XB 0081, montado

- 5.1 Solución de nitrato de plata
- 5.2 Solución de cloruro de paladio
- L = Espacio preciso para utilizar el aparato de prueba de gas XB 0081; aproximadamente 275 mm

1.8.9 Relé RS 2001 para protección del regulador de tensión

Así como el relé de buchholz actuaba por acumulación de gases o por un movimiento brusco de los mismos. Este relé a diferencia del anterior actúa por el movimiento brusco del fluido refrigerante hacia el conservador motivado por una avería en el regulador, y debe ser conectado de tal forma que provoque la desconexión inmediata del transformador.

1.8.9.1 Constitución

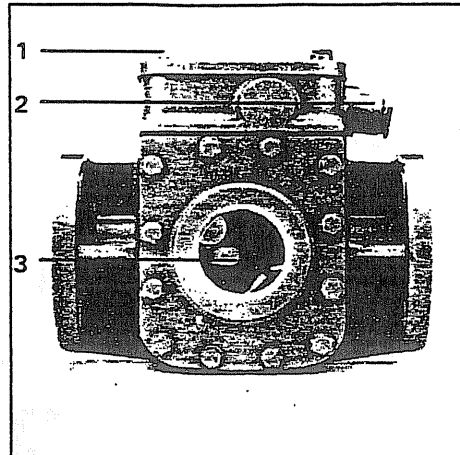
El relé está constituido por una caja moldeada en material ligero y resistente a la corrosión, y está provisto de dos bridas para el acoplamiento de las tuberías de unión, por una parte con la cabeza del regulador y por la otra con el conservador.

En la parte superior de la caja están situadas las bornas de conexiones del relé y dos pulsadores destinados a controlar, el buen funcionamiento del aparato y el otro para su rearme.

Se puede controlar la posición de la "CLAPETA" gracias a la mirilla que está situada sobre la cara delantera de la caja.

- 1.- Tapa de bornas.
- 2.- Salida cables PG 16
- 3.- Clapeta.

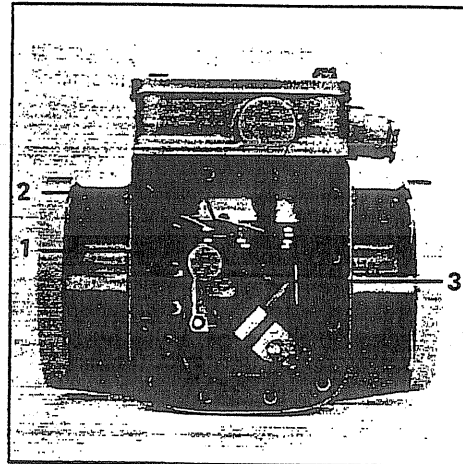
Vista relé RS 2001



El órgano activo del relé comprende una clapeta provista de un orificio y un imán permanente. El imán permanente asegura el funcionamiento del contacto auxiliar y el funcionamiento de la clapeta en posición "Rearme", no es posible obtener una posición intermedia.

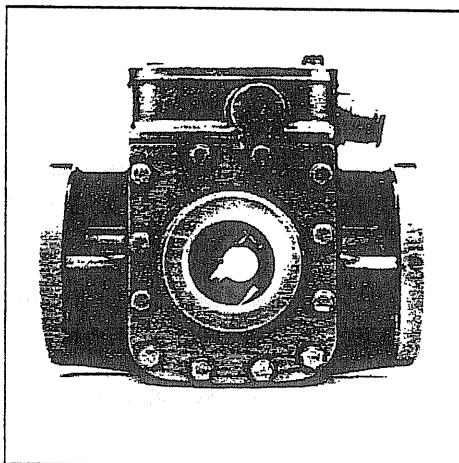
- 1.- Clapeta.
- 2.- Iman.
- 3.- Ampolla del interruptor

Vista interior del relé RS 2001

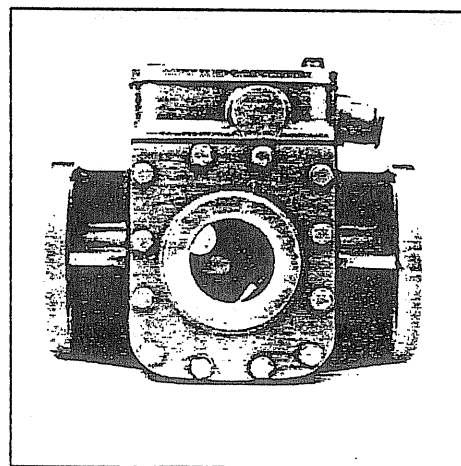


1.8.9.2 Funcionamiento

El funcionamiento del relé de protección no puede ser provocado más que por la circulación de un flujo de aceite desde la cabeza del regulador hacia el conservador del fluido refrigerante. Este flujo empuja a la clapeta y la hace bascular a posición "DESCONEXION" de esta forma se envía un impulso a la bobina de desconexión del interruptor y se deja el transformador fuera de servicio.



Desconexión

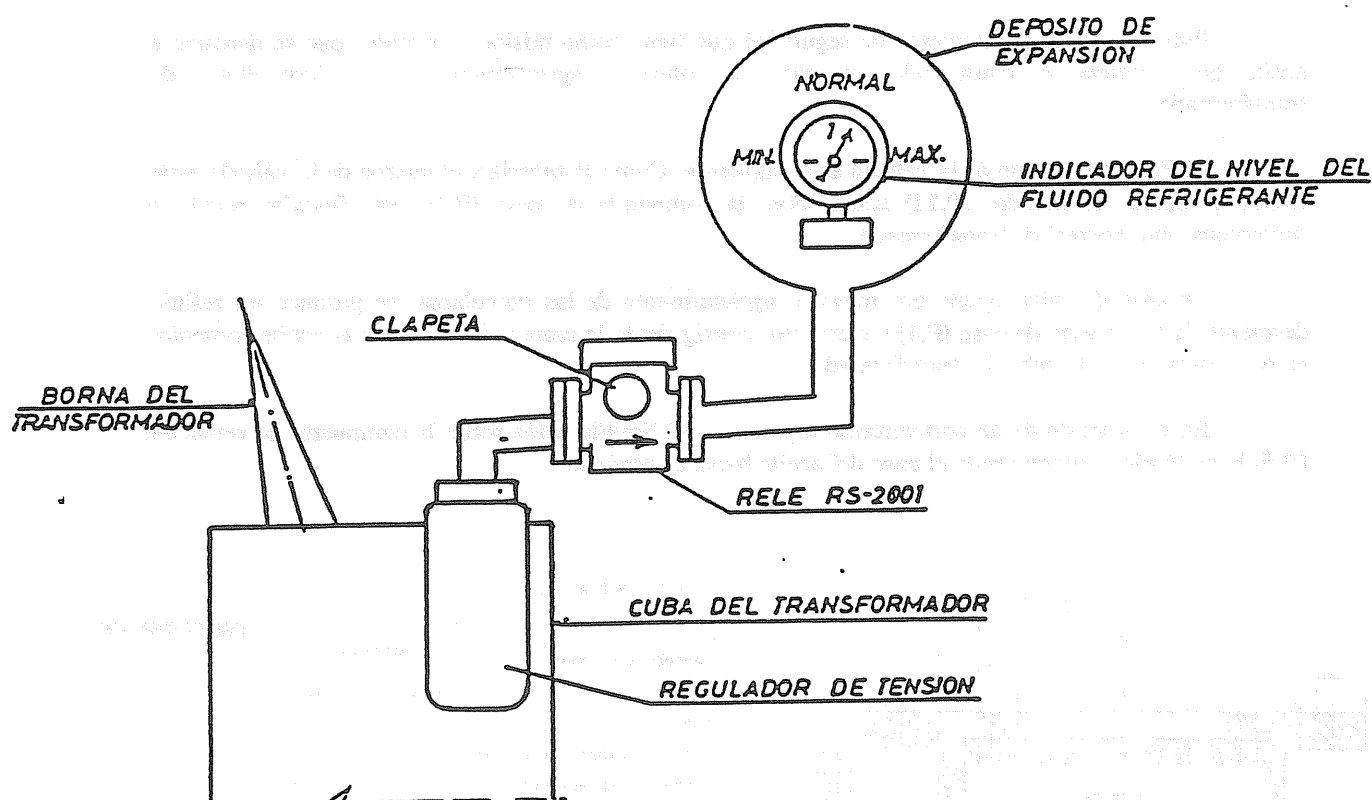


En servicio

Como se ve en las figuras anteriores la CLAPETA en posición de "DESCONEXION" queda en posición "OBLICUA" y estando en la posición de SERVICIO ésta queda en posición "VERTICAL". Siempre se ha de rearmar el relé con el pulsador de rearme cuando esté en posición de desconectado.

1.8.9.3 Ubicación del relé

El relé debe estar montado como ocurría con el relé de buchholz con la flecha hacia el conservador e intercalando entre la cabeza del regulador y el conservador y lo más próximo posible de la cabeza del regulador. También la inclinación de la tubería ha de ser entre el 3% y el 4% para asegurar la libre evacuación de los gases de conmutación hacia el conservador.



1.8.9.4 Funcionamiento del relé y pasos a seguir

Cuando el funcionamiento del relé de protección provoca una desconexión de los interruptores se debe proceder como a continuación citamos.

Anotar la hora y fecha de la desconexión. Anotar la posición de servicio del cambiador de tomas. Bloquear el mando del motor desconectando el circuito de control y mando, de modo que se evite una maniobra en el cambiador de tomas.

Verificar si la clapeta del relé de protección se encuentra en la posición "DESCONEXION" o en posición "SERVICIO". Si la clapeta se encuentra en posición "DESCONEXION" hay que sacar el cuerpo insertable y verificarlo según las instrucciones de inspección.

Además deben aclararse los siguientes puntos: ¿Cuál era la carga en el momento de la desconexión?. ¿Fue ejecutada una maniobra del Cambiador inmediatamente antes o durante el desenganche?. ¿Funcionaron en el momento del desenganche otros dispositivos de protección del transformador?. ¿Fueron efectuadas conmutaciones en la red en el momento del desenganche?. ¿Fueron registradas sobretensiones en el momento del desenganche?.

Solamente poner en servicio el cambiador después de una inspeccion detallada asegurándose que no hay averia, ni en el regulador ni en el trafo, de potencia.

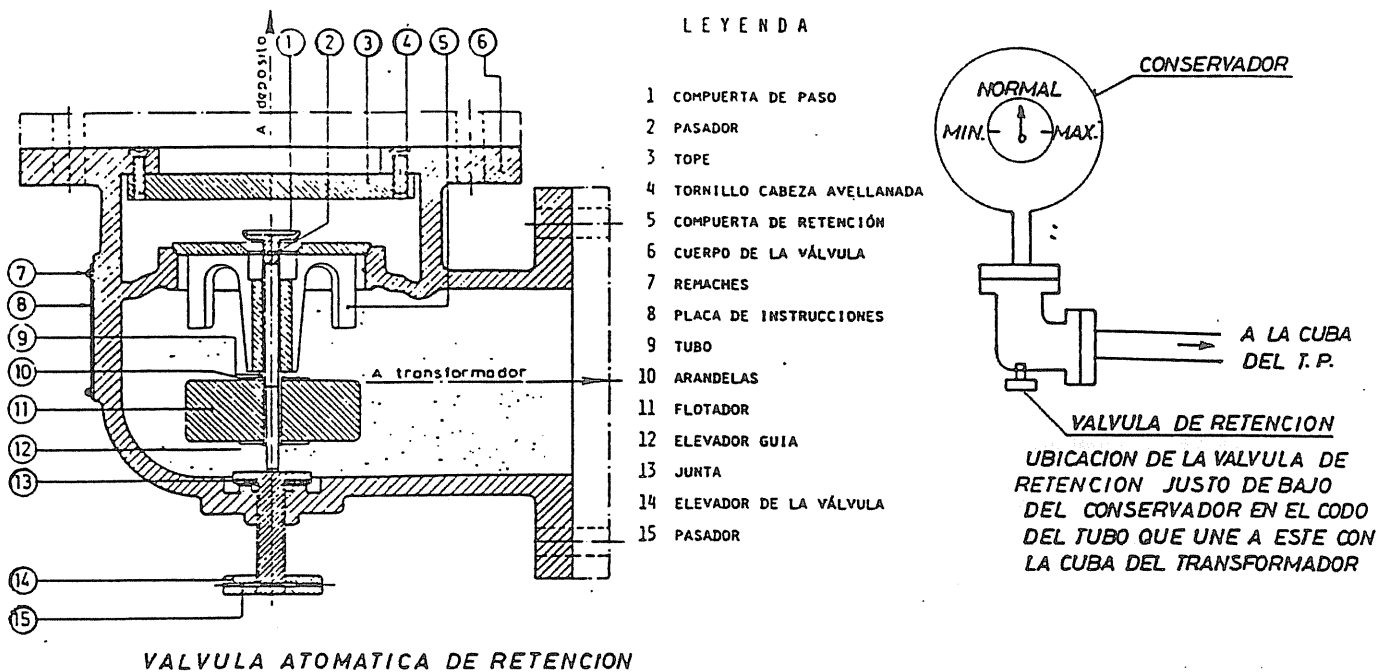
1.8.10 Válvula automática de retención

Esta válvula es un elemento de seguridad que tiene como misión el impedir que se derrame el aceite que contiene el conservador en caso de rotura o agrietamiento en las porcelanas del transformador.

El Funcionamiento de la válvula es el siguiente: Como la tubería y el cuerpo de la válvula están llenos de aceite, el flotador (P.11) actúa sobre la compuerta de paso (P.1). este flotador regula el funcionamiento normal de transformador.

En caso de faltar aceite por rotura o agrietamiento de las porcelanas, se produce un refluj, descende la compuerta de paso (P.1) y cierra por consiguiente la comunicación entre el aceite contenido en el conservador y la cuba del transformador.

En el supuesto de un cortocircuito la presión del liquido actúa sobre la compuerta de retención (P.5) levantándola, permitiendo el paso del aceite hacia el depósito.



1.8.11 Termómetros y termostatos

1.8.11.1 Termómetro antivibratorio

El termómetro se utiliza como indicador óptico de la temperatura del transformador y opcionalmente como protección térmica del mismo.

Fundamentalmente, el termómetro consta de un bulbo detector de la temperatura y una carcasa protectora de los dispositivos de control. El bulbo puede ir unido rígidamente a la carcasa del termómetro o a través de un tubo capilar.

La carcasa posee un tapón para retorno a cero de la aguja de máxima y en su parte posterior, un tornillo para rectificación de la medida. Las divisiones de la escala son prácticamente constantes con una precisión de $\pm 3\%$ del valor final de escala.

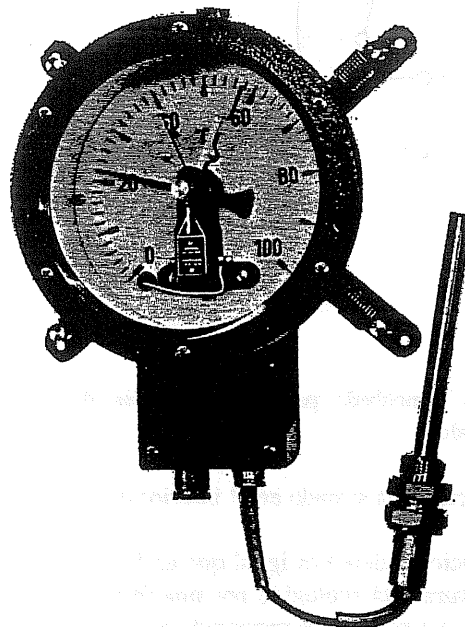
La aguja indicadora arrastra a otra de color distinto para señalización de la temperatura máxima alcanzada.

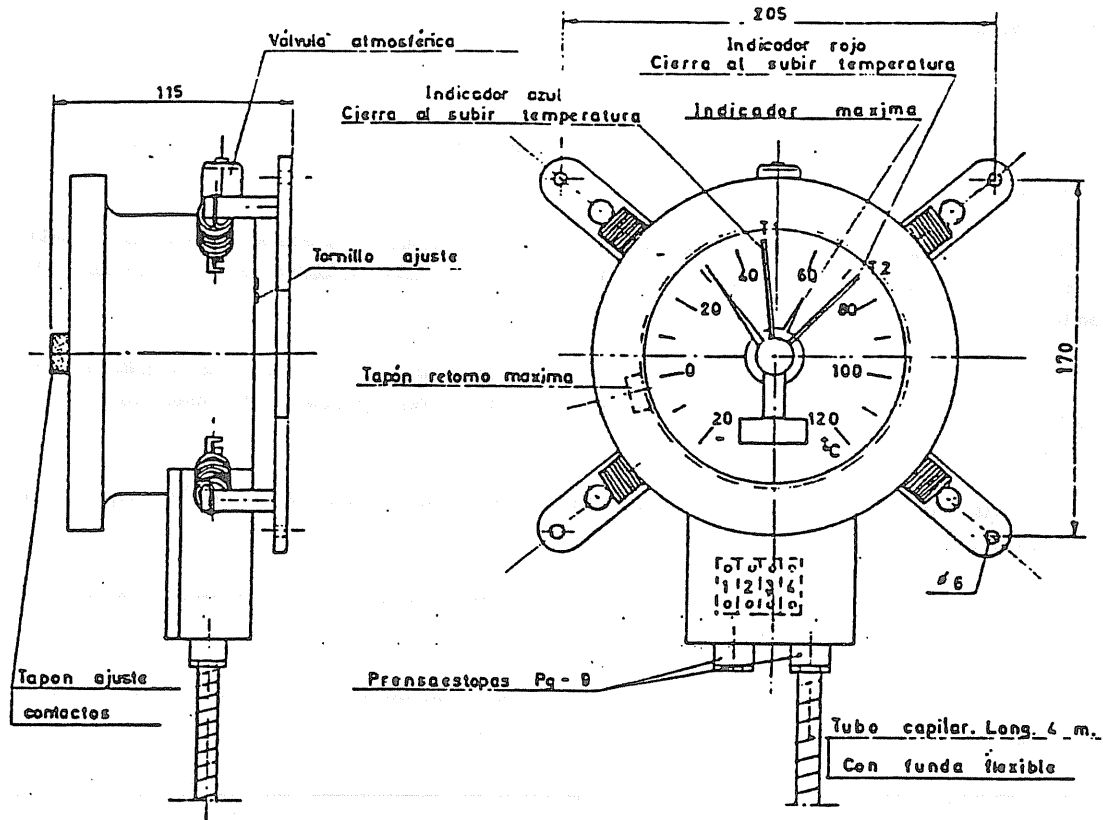
El termómetro puede llevar incorporados uno o dos contactos que se pueden utilizar para protección a distancia del transformador.

En la parte frontal de la carcasa dispone de un visor transparente, con un tornillo en su parte central para ajuste de los contactos mediante una llave especial.

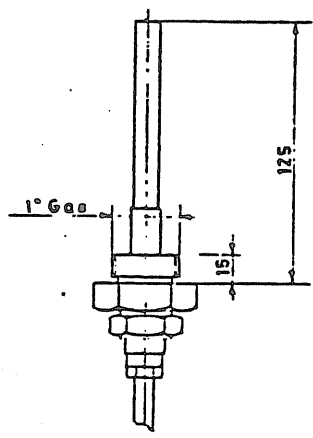
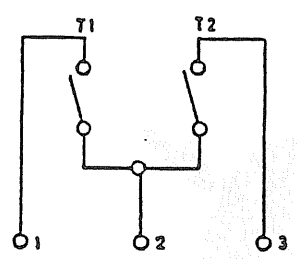
Su funcionamiento es el siguiente: al incrementar la temperatura, aumenta el volumen del mercurio contenido en el bulbo, provocando un aumento de presión que se traduce en el movimiento sobre el muelle de la aguja que da la indicación de temperatura.

Este termómetro periódicamente ha de ser contrastado con otro patrón a fin de corregir errores en el caso que los tuviere.





ESQUEMA DE CONEXIONES



DETALLE BULBO

1.8.11.2 Termostatos

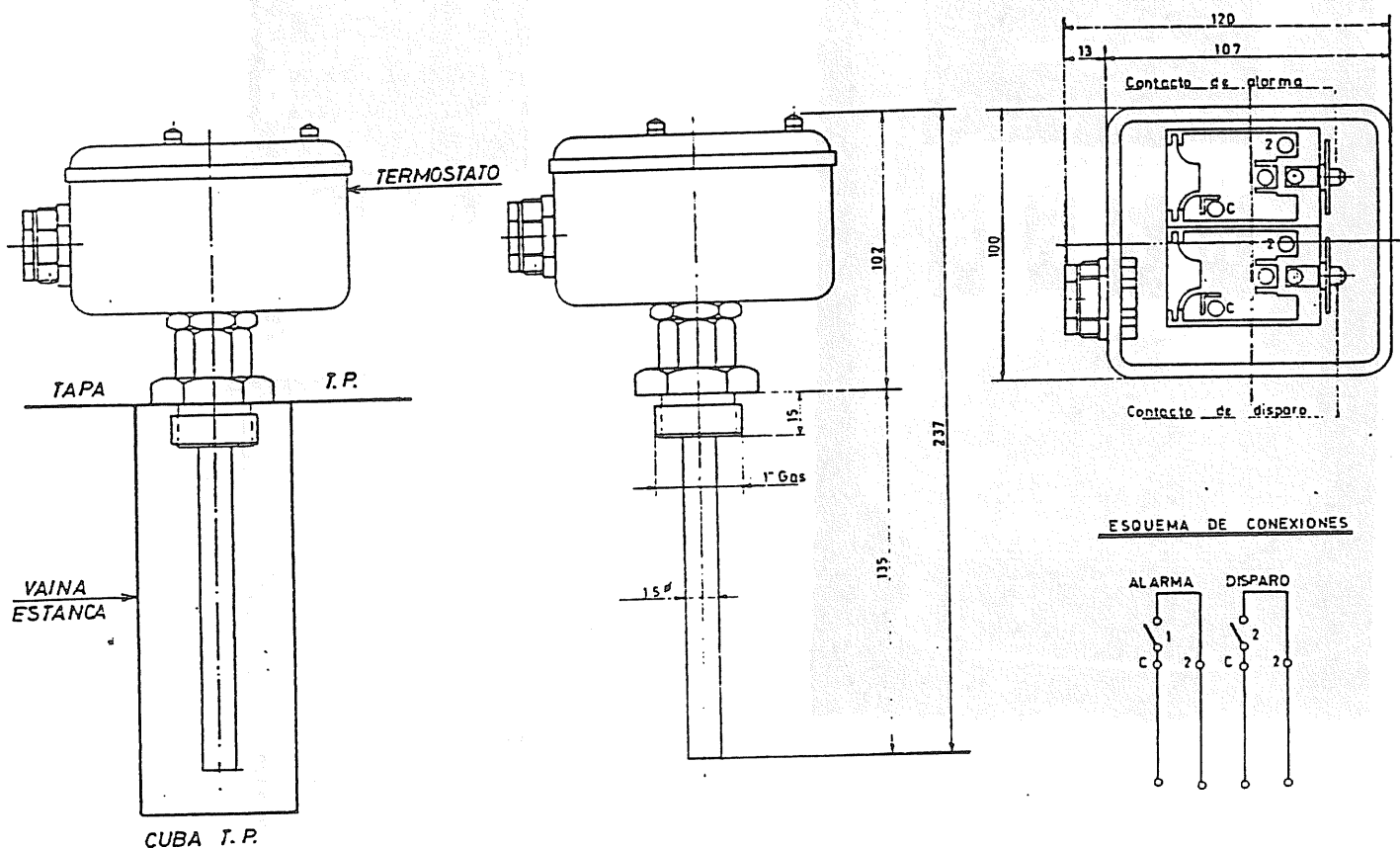
El termostato está concebido para la vigilancia de la temperatura del fluido refrigerante cualquiera que sea su naturaleza.

El bloque de contactos está situado en el interior de una caja moldeada.

El principio de funcionamiento es igual que en la del termómetro por dilatacion del liquido. El bulbo sensor de la temperatura está protegido por una funda metálica, con rosca para su fijación en el transformador, a través de la vaina estanca preparada para este fin.

La temperatura de actuación se puede regular actuando sobre el dial situado sobre el bloque de contactos.

Periódicamente se ha de proceder a la verificación del termostato con el fin de verificar si su actuación es correcta. comparándolo con un patrón.

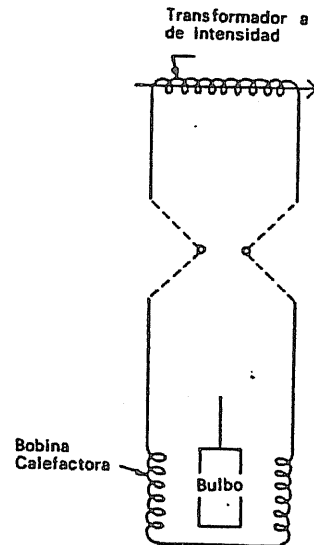
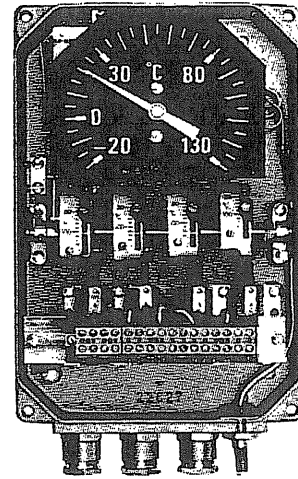
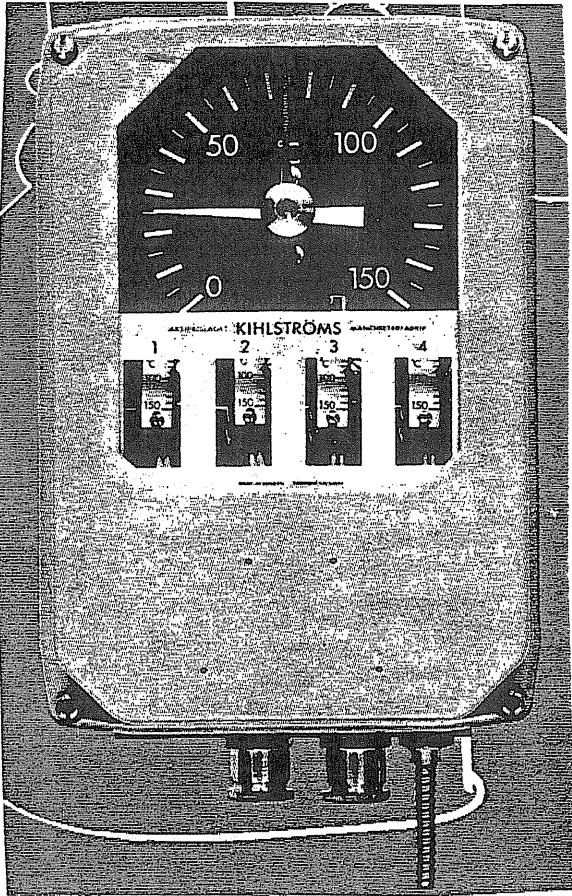


1.8.11.3 Indicador de temperatura en el arrollamiento. (Imagen térmica).

El indicador del punto más caliente del arrollamiento es del tipo de expansión y compensado para cambio de temperatura ambiente.

En el interior del aparato de medida una bobina calefactora suma el gradiente del cobre a la temperatura del aceite, controlada por el bulbo del aparato situado en la zona del aceite más caliente.

El aparato está calibrado en grados centígrados, se dispone con un montaje antivibratorio en lugar fácilmente visible y dispone hasta de cuatro contactos de mercurio y que pueden ajustarse independientemente.



1.8.12 Indicadores de nivel

1.8.12.1 Magnético

El indicador magnético de nivel del fluido refrigerante, es un instrumento que indica el nivel del líquido alcanzado en el depósito de expansión.

El accionamiento de la aguja se efectúa mediante arrastre magnético con imanes permanentes, a través de una lámina de latón, con lo cual garantiza la total estanqueidad por el eje del nivel.

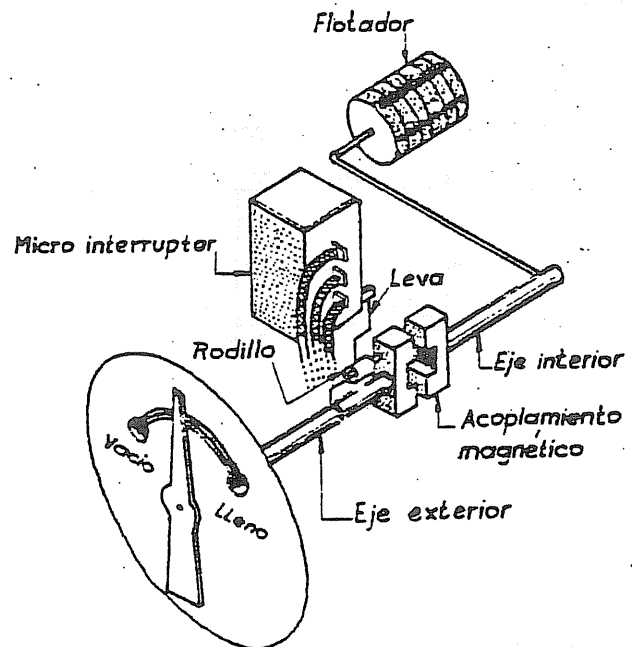
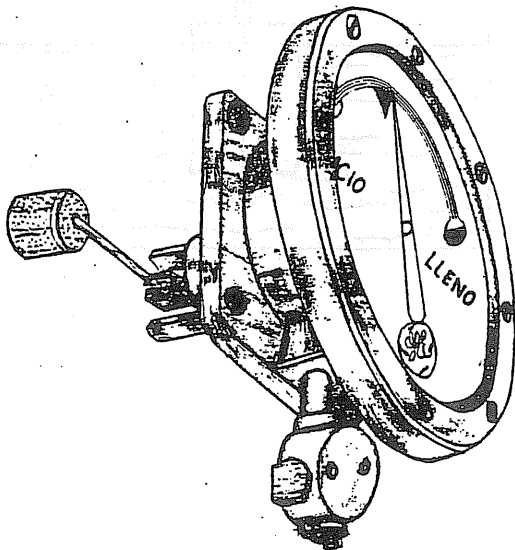
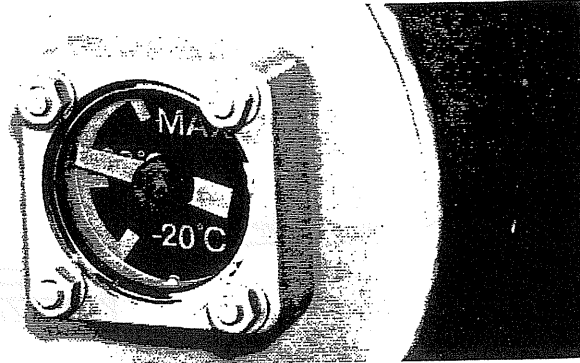
La toma de nivel se realiza mediante un flotador en reposo sobre la superficie del fluido refrigerante.

La esfera del indicador de nivel está marcada por las señales máximo (MAX) nivel mínimo (MIN) y nivel a 20 °C.

El indicador de nivel va instalado en un lateral del depósito de expansión, al cual va atornillada, logrando su estanqueidad mediante una junta plana.

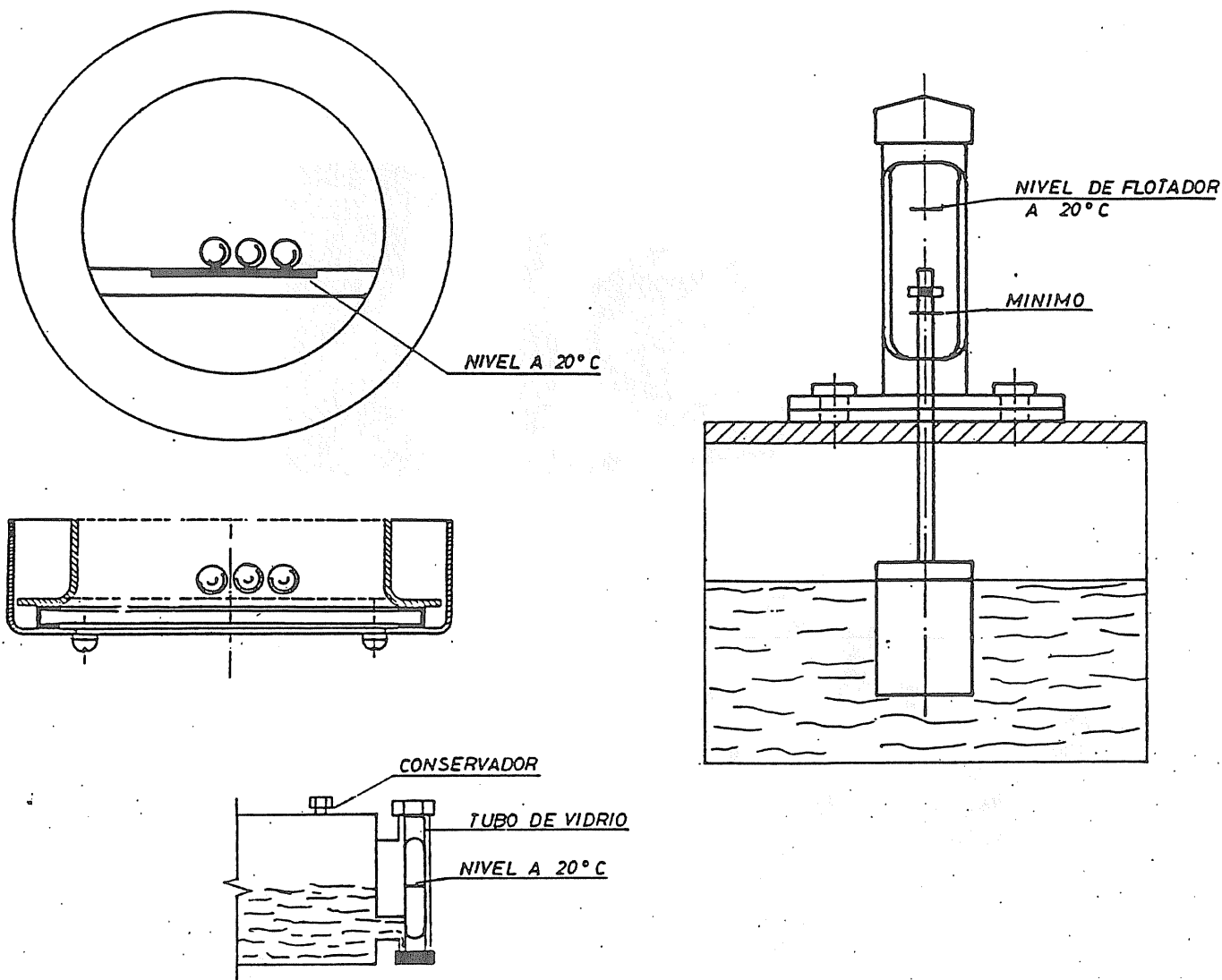
El brazo del flotador tiene una longitud proporcional al diámetro del depósito de expansión, con el fin de que el desplazamiento angular correspondiente a los niveles máximo y mínimo coincida con el desplazamiento de la aguja MAX y MIN de la esfera. La longitud del brazo del flotador puede ajustarse mediante un tornillo de fijación al eje del instrumento.

El indicador de nivel puede estar dotado de un microinterruptor accionado por el movimiento del flotador el cual actúa cuando el líquido alcanza el nivel MINIMO dentro del depósito.



1.8.12.2 Otros tipos

Para visualizar el nivel del fluido refrigerante en el transformador o el conservador puede ser también a través de mirillas de otros tipos, nivel de mirilla, nivel de flotador, por columna, etc.

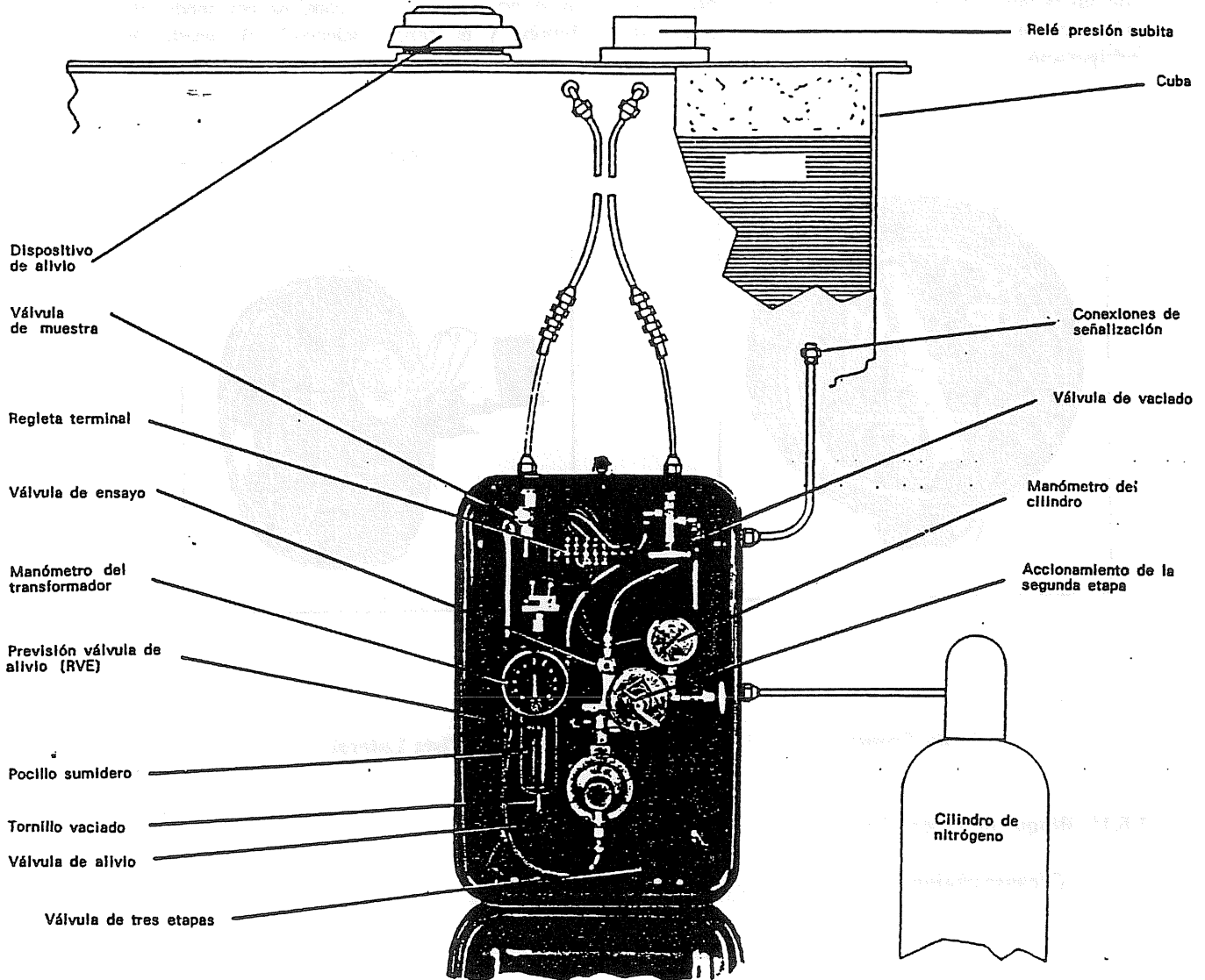


1.8.13 Equipo inerte

El equipo inerte asegura una larga vida del aislamiento y un deterioro del aceite despreciable al mantener un colchón de nitrógeno seco sobre el fluido refrigerante de los transformadores que no poseen depósito de expansión o conservador.

Una botella suministra el nitrógeno que lo introduce automáticamente en el transformador a través de una válvula reductora siempre que la presión de la cuba sea inferior a 0.04 Kg./cm²

Una válvula de alivio incorporada al control conserva el nitrógeno en el espacio de gas permitiéndole escapar a la atmósfera solo cuando la presión sobrepase en el transformador un valor de antemano prefijado.

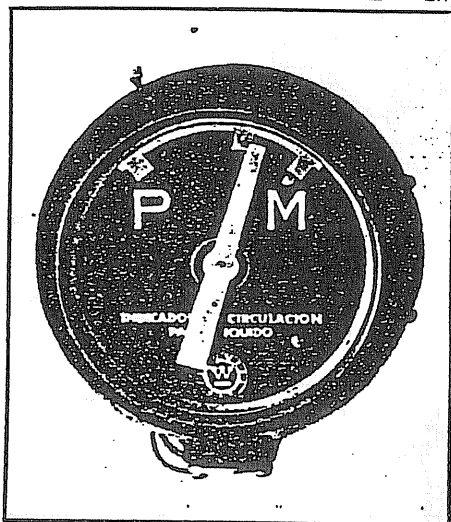


La protección del transformador se completa con un dispositivo de alivio automático que libera la presión interna en caso de que ésta pudiera ser perjudicial para la cuba del transformador.

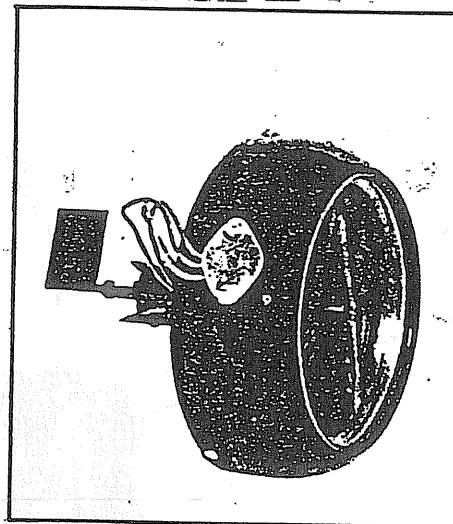
Si como consecuencia de un arco interno se produjera un desprendimiento de gas, el aumento de presión es detectado por la válvula de sobrepresión que de esta forma minimiza el daño del transformador. Un microinterruptor nos daría la alarma correspondiente a la actuación de la válvula de sobrepresión.

1.8.14 Indicador de paso de aceite

El indicador de paso de aceite es un indicador de tipo magnético diseñado para ser utilizado con las bombas de aceite de un transformador. Nos da la indicación visual y confirma por medio de microinterruptores, el funcionamiento correcto de la bomba y el caudal adecuado de aceite de refrigeración.



Vista Frontal



Vista Lateral

1.8.15 Bloque de protección DGPT.

(Veanse páginas 145 a 147)

CAPITULO II

ENSAYOS

Los ensayos de recepción en laboratorio de pruebas, definirán si los transformadores cumplen con los valores nominales y de fabricación asignados según normas. Sin embargo puede admitirse dentro de los ensayos valores distintos a los garantizados por las normas, sin que la desviación sobrepase las tolerancias admitidas.

Los valores que están contemplados en las tablas, los iremos relacionando dentro de los ensayos que también según normas se deben ejecutar.

Hay otros ensayos denominados tipo o especiales que se realizan de acuerdo entre fabricante y comprador y su precio ha de ser abonado por este.

Por otra parte sus valores de tolerancias también están contemplados en la tabla adjunta.

Los ensayos individuales que están dentro de los especificados en las normas e incluidos en la fabricación del transformador son:

- a) Medida de la resistencia de los arrollamientos.
- b) Medida de la relación de transformación.
- c) Medida de la tensión de cortocircuito y pérdidas debidas a la carga.
- d) Medida de pérdidas y corriente de vacío.
- e) Ensayos dieléctricos.

Otros ensayos adicionales y con cargo aparte, serian:

Ensayos de calentamiento.
Ensayos del nivel de ruido.
Ensayos de descargas parciales.
Medida de armónicos de la corriente de vacío.
Ensayo de Ondas de choque.
Etc.

2.1 CONDICIONES GENERALES PARA LOS ENSAYOS.-

Los ensayos se han de efectuar a una temperatura ambiente cualquiera comprendida entre 10 y 40 °C y en aquellos transformadores refrigerados que incluyen refrigeración por agua, esta no deberá sobrepasar los 25 °C.

Los arrollamientos con tomas se conectaran a su toma principal, a menos que se especifique otra cosa en el apartado relativo al ensayo de que se trate, o mediante un acuerdo entre fabricante y comprador.

Para todas las características distintas a las de aislamiento, los ensayos están basados sobre las condiciones asignadas, a menos que se especifique otra cosa en el apartado relativo al ensayo en cuestión.

Cuando se especifique que los resultados de los ensayos se referirán a una temperatura de referencia, esta temperatura estará de acuerdo con la siguiente tabla:

Temperaturas de referencia	
Clase de temperatura de aislamiento (*)	Temperatura de referencia
A E B	75 °C (**)
Otras clases de temperatura de aislamiento.	115 °C
(*) De acuerdo con la norma UNE 21-305.	
(**) 80 °C cuando la circulación del aceite es forzada - dirigida.	

2.1.1 Tolerancias sobre los valores garantizados.-

En la siguiente tabla se indican las tolerancias para varias características.

TOLERANCIAS SOBRE VALORES GARANTIZADOS	
CARACTERISTICAS	TOLERANCIAS
1 A) Perdidas totales B) Perdidas parciales	+ 1/10 de las perdidas totales + 1/7 de cada una de las perdidas parciales con la condicion de que no sobrepase la tolerancia de las perdidas totales.
2 Relacion de transformacion en vacio en la toma principal (relacion de transformacion nominal. Observacion: Las tolerancias en otras tomas deberan acordarse entre fabricante y comprador.	El valor menor de estos dos: tanto por % de la relacion garantizada igual a 1/10 de la tension de cortocircuito real expresada en % y con base la potencia nominal.
3 Tension de cortocircuito. A) Para la toma principal (tension de cortocircuito nominal). 1) Transformadores de dos arrollamientos 2) Transformadores de varios arrollamientos. B) Para tomas distintas a la principal.	+ - 1/10 de la tension de cortocircuito garantizada para esa toma. + - 1/10 de la tension de cortocircuito garantizada para un segundo par de arrollamientos. + - 1/7 de la tension de cortocircuito garantizada para un segundo par de arrollamientos. Para los restantes pares de arrollamientos, las tolerancias deberan acordarse entre fabricante y comprador. + - 1/7 del valor garantizado para cada

	toma dentro del $\pm 5\%$ de la toma principal. Para otros márgenes de tomas, la tolerancia deberá acordarse entre fabricante y comprador.
4 Intensidad de vacío.	$\pm 3/10$ de la intensidad de vacío garantizada.
5 Consumo del equipo de refrigeración.	$\pm 1/7$ del consumo garantizado para el equipo de refrigeración.

Estas tolerancias deberán aplicarse siempre que se trate de valores nominales o en caso de que hayan sido garantizados por el fabricante haciendo referencia a las normas UNE.

Para tener en cuenta las diferencias inevitables en la calidad de las materias primas y las irregularidades normales de fabricación, así como los errores en las medidas se admitirá que los ensayos tengan valores distintos de los garantizados, sin que sobrepasen los valores de las tolerancias que a continuación se relacionan:

2.2 MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS.-

Estas medidas son necesarias para el cálculo de las pérdidas en el cobre y de la temperatura en los devanados al finalizar las pruebas de calentamiento.

Estas mediciones generalmente se efectúan por el método de las caídas de potencial o del puente, los cuales requieren el uso de corriente continua.

2.2.1 Generalidades:

Se anotará la resistencia de cada arrollamiento, los bornes entre los que se mida y la temperatura de los arrollamientos.

Todas las medidas de resistencia se realizarán con sumo cuidado para reducir al mínimo los efectos de autoinducción.

Durante las medidas de resistencia en frío, se anotará el tiempo necesario para la estabilización de la corriente de medida y se tendrá en cuenta cuando se realicen las medidas de resistencia en caliente, en los ensayos de calentamiento.

2.2.2 Transformadores tipo seco:

La temperatura a anotar será la media de las lecturas hechas en varios termómetros (al menos tres) colocados en la superficie del arrollamiento.

La resistencia y la temperatura del arrollamiento se medirán simultáneamente y la temperatura del arrollamiento, medida por termómetro, será aproximadamente igual a la del medio circundante.

2.2.3 Transformadores sumergidos en fluido refrigerante:

Se ha de dejar el transformador sin alimentación al menos durante tres horas, después se determinará la temperatura media del aceite y se considerará que la temperatura del arrollamiento es igual a la temperatura media del aceite. La temperatura media del aceite será la media de las temperaturas superior e inferior.

Cuando se mida la resistencia en frío para los ensayos de calentamiento UNE 20-101 (2) será necesario tener especial cuidado para determinar con precisión la temperatura media del arrollamiento. Para obtener este resultado mas rápidamente, se podrá hacer circular el aceite con una bomba.

2.2.4 Prueba de la medida de resistencias en los arrollamientos:

Se medirán las resistencias en cada uno de los arrollamientos y en cada fase, anotando sus resistencias.

El ensayo se efectúa mediante corriente continua procedente de generadores galvánicos.

La intensidad aportada será suficientemente alta para saturar el circuito magnético, pero no excederá del 15 % de la intensidad nominal del arrollamiento cuya resistencia se mide.

Entre la fuente de corriente continua y el arrollamiento a medir se intercala una resistencia en serie al menos tres veces el valor de la resistencia a medir y cuyo coeficiente de temperatura sea prácticamente nulo.

La temperatura de la resistencia en frío se efectúa en un transformador ubicado en un local libre de corrientes de aire y con varios termómetros repartidos sobre la superficie del arrollamiento (mínimo tres termómetros) realizándose la media de las lecturas obtenidas.

Para la realización de este ensayo se pueden utilizar cualquiera de los métodos que se indican:

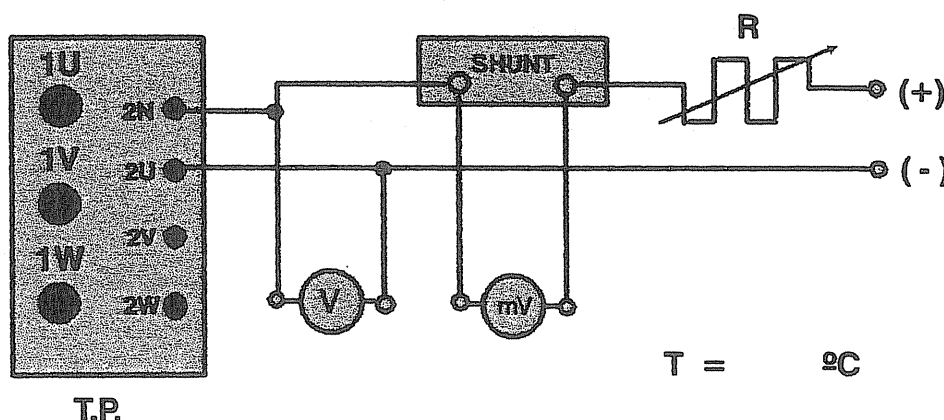
Puente Thompson.
Puente de Wheastone.
Caída de tensión.

Para cada uno de ellos se utilizaran instrumentos de clase de precisión 0.2 como máximo, en el supuesto de utilizar instrumentos digitales permitirán obtener lecturas con tres cifras significativas.

Shunt de precisión, clase 0.1
(Véase hoja de protocolo de pruebas al final del capítulo).

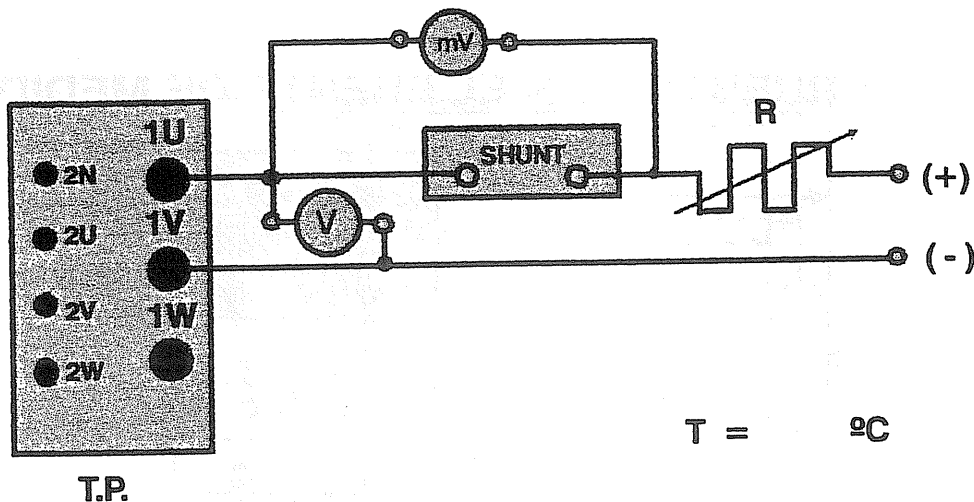
2.2.5 Esquemas y formatos de las pruebas de resistencias en los arrollamientos.

PRUEBA DE RESISTENCIAS DE DEVANADOS DE B.T.



MEDIDAS DE RESISTENCIAS EN B.T.								
FASE 2U --- 2V			FASE 2U --- 2W			FASE 2V --- 2W		
V	I	R	V	I	R	V	I	R

PRUEBA DE RESISTENCIAS DE DEVANADOS DE A.T.



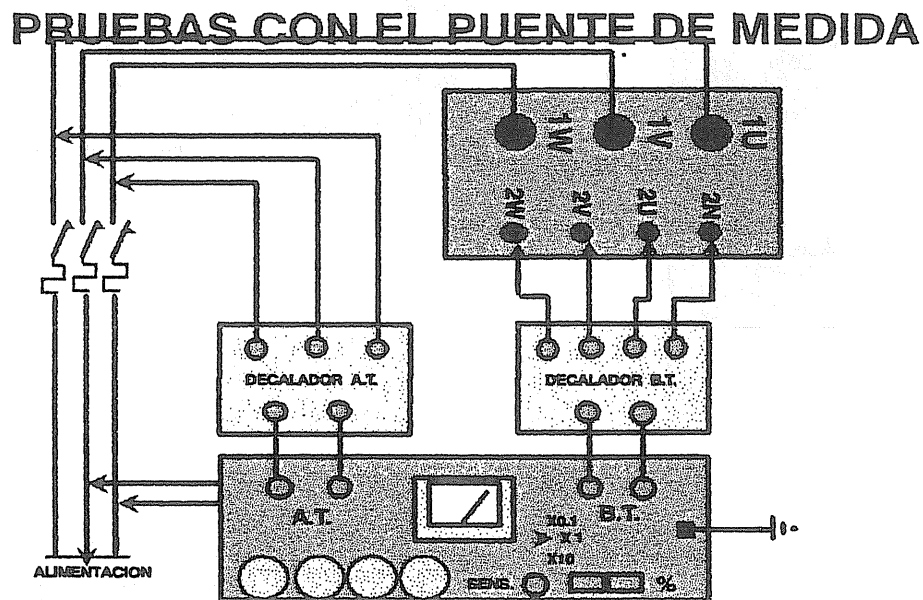
MEDIDAS DE RESISTENCIAS EN A.T.									
Pos. Com.	FASE 1U --- 1V			FASE 1V --- 1W			FASE 1W --- 1U		
	V	I	R _{u-v}	V	I	R _{v-w}	V	I	R _{w-u}
1									
2									
3									
4									
5									
6									
.									
.									
N									

2.3 MEDIDA DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN Y DEL GRUPO DE CONEXIÓN.-

Estas pruebas consisten en medir la relación entre las tensiones primaria y secundaria del transformador en vacío y se ha de realizar la medida en cada una de las tomas. Igualmente se verificara la polaridad en los transformadores monofasicos y el grupo de conexión en los transformadores trifasicos.

2.3.1 Pruebas con el puente de medida:

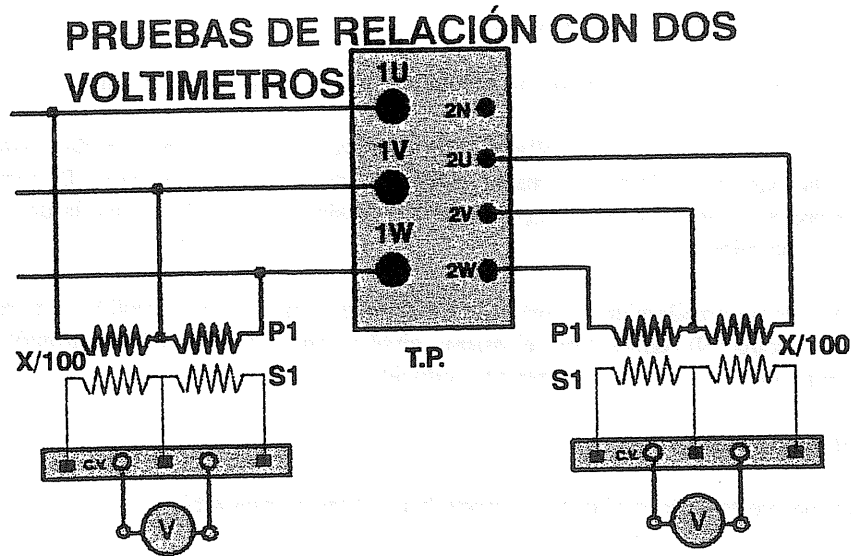
Para esta prueba se utilizara un puente que permita obtener la relación de transformación y con el cual quede definido el grupo de conexión en los transformadores trifasicos, intercalando los decaladores de fases tanto en el lado primario como en la salida del secundario.



2.3.2 Prueba con voltímetros:

Consiste en aplicar una tensión, (la cual queremos medir con los voltímetros) normal o menor, a cada uno de los devanados, midiendo la tensión en el otro devanado por medio de transformadores de tensión y voltímetros apropiados. Las relaciones de lecturas de los voltímetros nos indicaran la relación.

Aplicamos una tensión de 400 V. en corriente alterna al devanado primario y obtenemos una lectura en el voltímetro nº 1 de 80 V. Pasamos a tomar la lectura del voltímetro nº 2 y leemos 40 V.



1º La relación de los transformadores de tensión en el lado primario es de : 500/100 V. por tanto su constante será 5.

2º La relación de los transformadores de tensión en el lado secundario es de: 200/100 V. por tanto su constante es 2.

Si en el Voltímetro 1 hemos leído 80 V. la tensión en el lado primario del T.T., es la misma tensión que tendremos en el lado primario del transformador de potencia y será de $40 \times 2 = 80$ V.

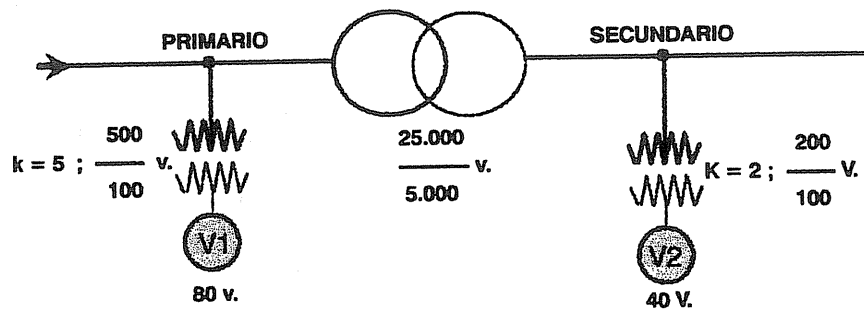
Si en el Voltímetro 2 leemos 40 V. la tensión correspondiente en el lado primario del T.T y por consiguiente en el lado secundario del transformador de potencia será de $40 \times 2 = 80$ V.

Luego la constante del transformador de potencia será $400/80 = 5$

Por consiguiente cumple con la relación asignada según placa de características.

Véase hoja de protocolo de pruebas al final del capítulo.

EJEMPLO APLICADO A LA PRUEBA DE RELACIÓN CON DOS VOLTÍMETROS



2.3.3 Conexiones de los arrollamientos de fase:

En el ensayo realizado anteriormente hemos verificado el grupo de conexión.

El modo de conexión de los arrollamientos de fase que forma una unidad trifásica, y lo expresaremos por las siguientes letras: Y para conexión estrella de alta tensión, D para conexión triángulo en alta tensión, Z para conexión zig-zag en alta tensión empleándose para la baja tensión las mismas letras pero minúsculas.

Si el neutro de un arrollamiento conectado en estrella o zig-zag es accesible se indicara por la letra ene, siendo mayúscula (N) cuando tiene el mismo nivel de aislamiento que los terminales de línea y minúscula (n) cuando tiene un nivel de aislamiento reducido.

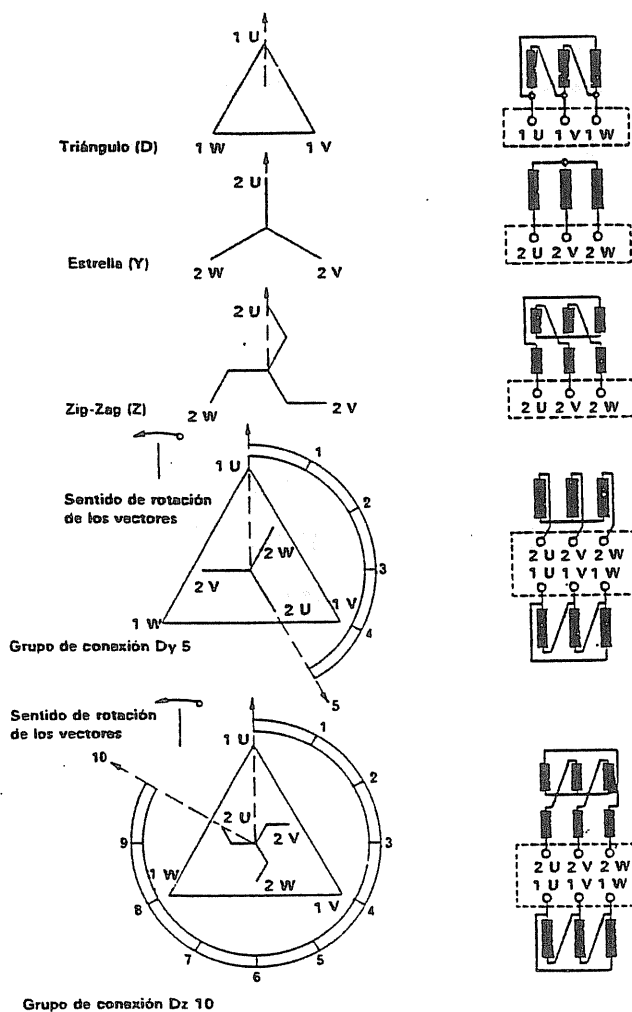
2.3.4 Desfase entre arrollamientos:

Se tomara por vector origen el que corresponda a la tensión mas alta.

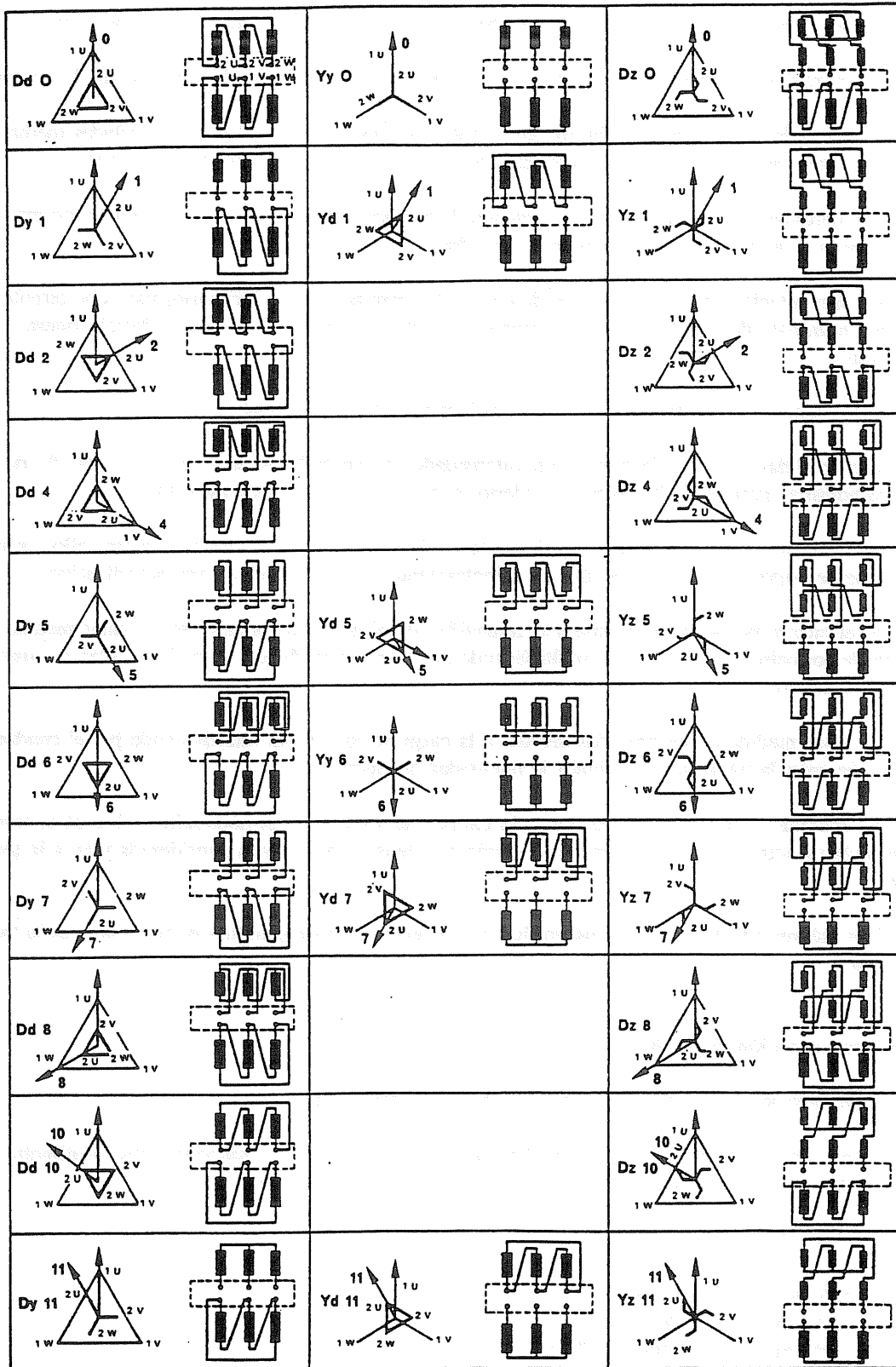
Las siguientes figuras nos dan ejemplos de los diagramas vectoriales que indican el empleo del índice horario de los acoplamientos.

Véase hoja de protocolo de pruebas al final del capítulo.

UNE 20-101-B2 (4)



UNE 20-101-82 (4)



— Designación de las conexiones de transformadores trifásicos con arrollamientos separados mediante grupos de conexión

2.4 MEDIDA DE LA TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO Y PERDIDAS DEBIDAS A LA CARGA.-

Las pérdidas en carga están compuestas por las pérdidas óhmicas en el arrollamiento y conexiones, así como las pérdidas adicionales, y estas se determinan por el ensayo en cortocircuito.

Las pérdidas óhmicas aumentan con la temperatura y las adicionales disminuyen con la misma.

Las pérdidas adicionales son la diferencia entre las medidas y las óhmicas calculadas mediante el valor de resistencia óhmica medida en corriente continua y referida a la temperatura de ensayo.

Las pérdidas debidas a la carga y la tensión de cortocircuito se medirán a frecuencia nominal y con una tensión de alimentación prácticamente senoidal.

La alimentación se realiza a través de uno de los arrollamientos (Primario) para que circule la intensidad nominal del transformador, estando el otro arrollamiento (Secundario) puesto en cortocircuito.

Este ensayo se efectuara estando el conmutador en la toma principal.

Las medidas pueden efectuarse con intensidades comprendidas entre el 25 y 100 % de la intensidad nominal, pero preferiblemente no inferior al 50 % de la intensidad asignada.

Las medidas se efectuaran rápidamente y los intervalos de tiempo entre ellos serán suficientemente largos para asegurarse que los calentamientos no introducen errores significativos.

Si el ensayo no puede efectuarse a la intensidad nominal del arrollamiento; el valor medido de la tensión de cortocircuito se corregirá multiplicando por la relación directa entre intensidad nominal e intensidad de ensayo.

El valor medido de las pérdidas debidas a la carga se corregirán multiplicando por el cuadrado de la relación entre la intensidad nominal y la intensidad de ensayo.

La medida de las pérdidas debidas a la carga y la tensión de cortocircuito, sobre otras tomas distintas de la principal, debe ser referida a la corriente y tensión de la toma considerada y no a la toma principal.

Los valores obtenidos en los ensayos han de corregirse a la temperatura de referencia en la tabla antes citada.

2.4.1 Instrumentación de medida:

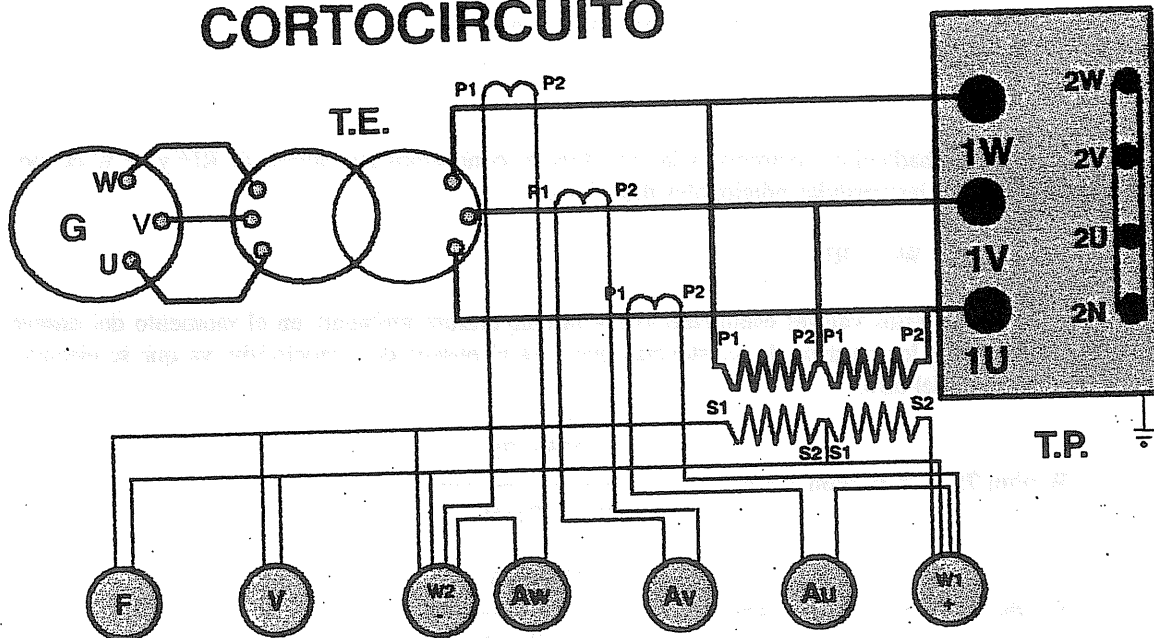
El ensayo se realiza mediante el método de los dos watímetros.

Tanto los transformadores de medida como los voltímetros, amperímetros, watímetros y frecuencímetros han de tener una clase de precisión baja del orden de 0.2 a 0.5.

APARATOS UTILIZADOS:

Fuente de alimentación (G).
Transformador elevador (T.E.).
Transformador de intensidad (T.M.I.).
Transformador de Tensión (T.P.).
Frecuencímetro.
Voltímetro.
Amperímetros.
Watímetros.

ESQUEMA DEL ENSAYO EN CORTOCIRCUITO



Perdidas en el cobre $(W_1 \pm W_2) K_w = \text{Wattios.}$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

$$C_{c/c} = \frac{V_c}{V_n} \times 100\% \text{ Tensión de cortocircuito.}$$

Siendo V_c = Tensión necesaria para circular la intensidad nominal.

Siendo V_n = Tensión nominal del transformador.

Siendo $C_{c/c}$ = Impedancia de cortocircuito en %.

Al termino del ensayo ha de medirse la temperatura.

2.4.3 Extrapolación de pérdidas a 75° C.

Los datos obtenidos en el ensayo de cortocircuito están referidos a la temperatura ambiente y tanto las pérdidas como la tensión de cortocircuito se fijan en las garantías técnicas a una temperatura ambiente de 75 °C., por tanto debemos hacer una extrapolación de los valores obtenidos a dicha temperatura.

Las pérdidas obtenidas en cortocircuito son la suma de las óhmicas debida a la resistencia pura mas las adicionales.

$$W_{cc} = W_{ohm.} + W_{adc.} = RI^2 + A.$$

$$RI^2 = (R_p \cdot I_p^2) + (R_s \cdot I_s^2)$$

$$\text{Siendo } R_p = \frac{R1U - 1V + R1U - 1W + R1V - 1W}{2}$$

$$R_s = \frac{R2U - 2V + R2U - 2W + R2V - 2W}{2}$$

Una vez probado el cortocircuito y las resistencias conocemos los valores de RI^2 y de W_{cc} , por lo tanto para conocer las pérdidas adicionales despejamos:

$$A = W_{cc} - RI^2$$

Como todos estos valores están referidos a la temperatura ambiente en el momento del ensayo que es la misma para los ensayos de resistencias que para el ensayo de cortocircuito ya que se ejecutan uno a continuación del otro.

$$W_{\text{ohm } 75^\circ\text{C}} = W_{\text{ohm } T \text{ amb.}} \cdot \frac{235 + 75}{235 + T \text{ amb.}}$$

$$W_{\text{adic. } 75^\circ\text{C}} = W_{\text{adic. } T \text{ amb.}} \cdot \frac{235 + 75}{235 + T \text{ amb.}}$$

$$W_{T.T. \text{ a } 75^\circ\text{C}} = W_{\text{ohm. a } 75^\circ\text{C}} + W_{\text{adic. a } 75^\circ\text{C}}$$

Las pérdidas en el hierro no varían con la temperatura.

W_{cc} = Pérdidas en cortocircuito.

W_{ohm} = Pérdidas en el cobre.

$W_{\text{adic.}}$ = Pérdidas adicionales.

$W_{T.T.}$ = Pérdidas totales.

$T \text{ amb.}$ = Temperatura ambiente en grados centígrados.

75°C = Temperatura a 75 grados centígrados.

Ver hoja del protocolo de pruebas al final del capítulo.

2.5 MEDIDAS DE LAS PERDIDAS Y DE LA CORRIENTE DE VACIO.-

Las pérdidas sin carga o en vacío se componen de las pérdidas por histerisis y por las corrientes parásitas en el hierro.

Estas se miden a tensión y frecuencia nominales, la tensión se aplica a uno de los arrollamientos estando los restantes abiertos.

Si es necesario hacer el ensayo sobre una toma distinta de la principal, la tensión entre fases a aplicar será la de dicha toma.

Las corrientes de vacío de todas las fases se medirán por amperímetros que midan el valor eficaz y la media de las lecturas se tomara como corriente de vacío.

Se realiza este ensayo alimentando generalmente el transformador a través de las bornas 2U - 2V - 2W del lado secundario poniendo a tierra la borna 2N, y aplicándole su tensión nominal, estando las bornas 1U - 1V - 1W del lado primario en circuito abierto (vacío). Con esta prueba determinamos las pérdidas en el hierro y la intensidad de vacío del transformador.

2.4.1 Instrumentación de medida:

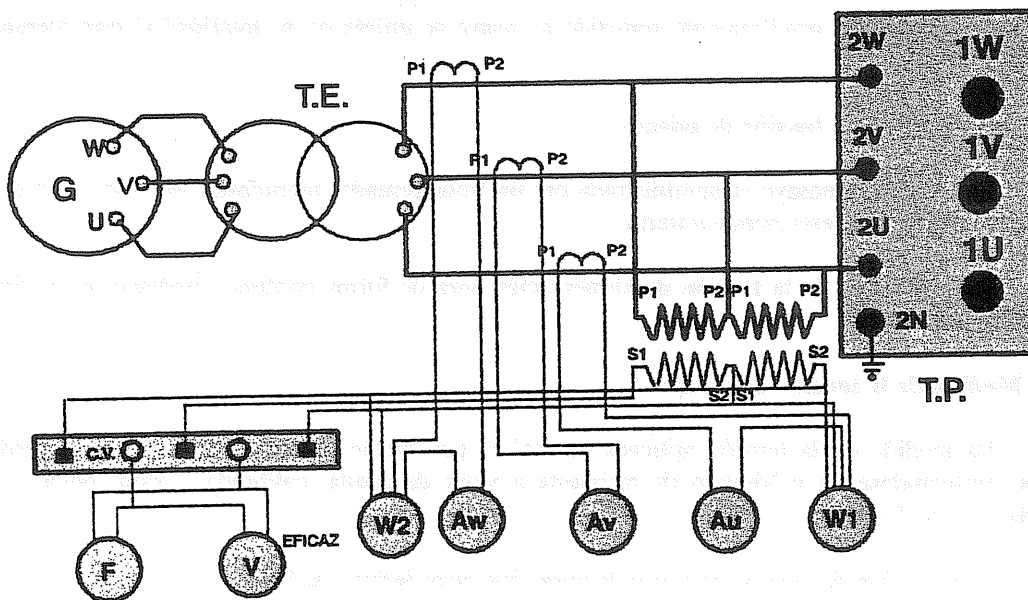
El ensayo se realiza mediante el método de los dos watímetros.

Tanto los transformadores de medida y los aparatos de medida han de ser de clase de precisión 0.2.

2.4.2 Aparatos utilizados:

- Fuente de alimentación (G).
- Transformador elevador (T.E.).
- Transformador de intensidad (T.M.I.).
- Transformador de tensión (T.M.T.).
- Transformador a ensayar (T.P.).
- Frecuencímetro.
- Voltímetro valor eficaz.
- Voltímetro valor medio.
- Amperímetros.
- Watímetros.
- Conmutador voltimétrico (C.V.).

ESQUEMA DEL ENSAYO EN VACIO



Perdidas en el hierro = $W_1 \pm W_2 \times Kw$.

Intensidad de vacío en %
$$\frac{(I_R + I_S + I_T) K_1}{3} \times \frac{100}{I_n}$$

Siendo W_1 y W_2 las lecturas de los watímetros.

K_w = Constante watimétrica.

I_R, I_S, I_T = las lecturas de los amperímetros.

K_1 = Constante amperimétrica.

I_n = Intensidad nominal del transformador en el lado que se alimenta.

Dado que en un transformador siempre el $\cos. \phi$ en vacío es muy pequeño, es decir el ángulo ϕ 60° , uno de los watímetros nos dará lectura negativa, por lo tanto tendremos que invertir su polaridad. De aquí que para obtener los vatios de pérdidas restamos las lecturas watimétricas.

Ver hoja del protocolo de pruebas al final del capítulo.

2.6 ENSAYOS DIELECTRICOS.-

Podemos dividir estos ensayos en dos partes, uno de tensión aplicada (rigidez dieléctrica) y otro de tensión inducida (sobretensión).

2.6.1 Ensayo por el método de tensión aplicada:

Los ensayos de tensión aplicada se efectúan entre los devanados y entre estos y tierra.

Los ensayos se realizarán a temperatura ambiente.

El ensayo consiste en aplicar una tensión alterna monofásica de forma lo más próxima posible a la senoidal y con frecuencia no inferior al 80 % de la frecuencia nominal, durante un tiempo de 60 segundos.

La tensión se ha de aplicar separadamente a cada uno de los arrollamientos, estando los devanados no sometidos a ensayo, así como la cuba y demás elementos puestos a tierra.

Los bornes del arrollamiento sometido a ensayo se unirán en su totalidad al transformador de ensayo.

2.6.2 Suministro de la tensión de ensayo:

La tensión de ensayo es suministrada por un transformador monofásico elevador, uno de cuyos extremos del devanado está puesto a tierra.

La regulación de la tensión de alimentación será de forma continua mediante un variador de tensión motorizado.

2.6.3 Medida de la tensión de ensayo:

La medida de la tensión aplicada se realiza por medio de un transformador de medida de tensión, utilizándose un voltímetro de respuesta a valor de cresta, calibrado a valor eficaz de onda senoidal ($\hat{U} / \sqrt{2}$).

La precisión del equipo permitirá lecturas con error inferior al 3 %.

2.6.4 Aparatos empleados:

Auto-variador de tensión U. c/a.

Transformador de aislamiento T.A.

Transformador de prueba T.P.

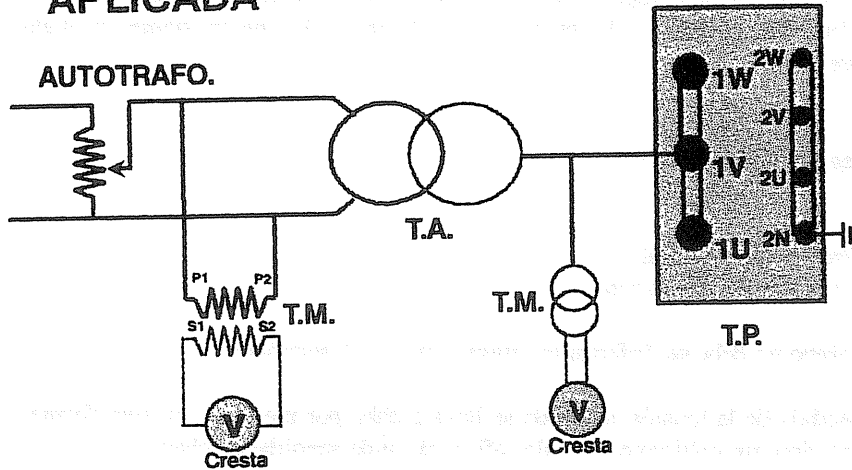
Transformador de medida en alta tensión T.M.

Transformador de medida en baja tensión T.M.

V - Watímetro de respuesta a valor cresta calibrado a valor eficaz de onda senoidal ($\hat{U} / \sqrt{2}$).

Primer ensayo : PRIMARIO - 1U - 1V - 1W - contra secundario 2U - 2V - 2W - 2N puesto a tierra - tiempo (1 minuto).

ESQUEMA DEL ENSAYO DE TENSION APLICADA



2.6.5 Tabla de niveles de aislamiento:

Los niveles de aislamiento que habrán de soportar los transformadores en el ensayo realizado anteriormente es el siguiente:

NIVELES DE AISLAMIENTO			
TENSION MAS ELEVADA DE LA RED k.v. EFICACES	TENSION APLICADA A FRECUENCIA INDUSTRIAL		
	NORMA 1	k.v. EFICACES	NORMA 2
3.6		16	
7.2		22	
12		28	
17.5		38	
24		50	
36		70	
52		95	
72.5		140	
100	185		150
123	230		185
145	275		230
170	325		275
245	460		395
300	510		460
420	680		630

2.6.6 Ensayo por el método de tensión inducida.-

Una vez terminado el ensayo de tensión aplicada se efectúa el ensayo de tensión inducida.

Este ensayo consiste en aplicar una tensión alterna trifásica de forma lo mas próxima posible a la senoidal en los terminales de uno de los arrollamientos del transformador a ensayar.

Se realiza conectando el transformador por uno de sus arrollamientos a tensión doble de la nominal, con una frecuencia superior a la nominal, con el fin de mantener la corriente de excitación dentro de los límites. Se efectúa a la temperatura ambiente y durante un tiempo en segundos dado por la siguiente expresión:

$$T (\text{seg}) = \frac{2 f}{f e} \times 60$$

f = Frecuencia nominal.

f e = Frecuencia de ensayo.

El tiempo no debe ser inferior en ningún caso a 15 segundos.

La medida de la tensión inducida se lleva a cabo por medio de un transformador de medida de tensión, utilizándose un voltímetro de valor eficaz de onda senoidal de clase 0.2.

La precisión del equipo de medida permitirá lecturas con error inferior al 3 %.

2.6.7 Aparatos a emplear:

Fuente de alimentación G (Generador trifásico).

Transformador de tensión T.M.T.

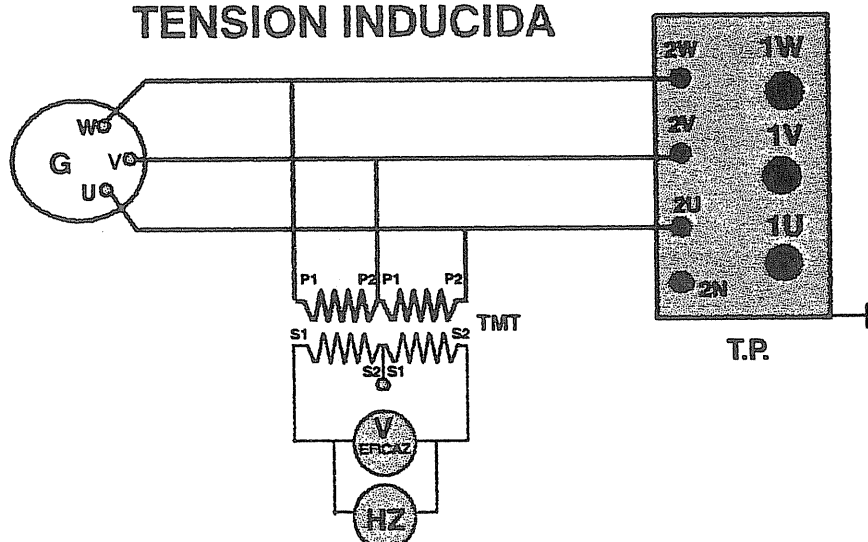
Transformador a ensayar.

Frecuencímetro.

Voltímetro valor eficaz clase 0.2-

Ver hoja del protocolo de pruebas al final del capítulo.

ESQUEMA DEL ENSAYO DE TENSION INDUCIDA



2.7 ENSAYOS DE CALENTAMIENTO.-

Este ensayo tiene por objeto determinar los límites de calentamiento producidos en el transformador que no deberán sobrepasar los valores que según normas están especificados.

Este ensayo puede efectuarse de diversas formas con las que se obtienen los valores de incremento de temperaturas del fluido refrigerante y del cobre o aluminio en los arrollamientos y cuyos métodos de ensayo son los siguientes:

Método de cortocircuito.

Método de oposición.

Método de triángulo abierto.

Pero antes de pasar a efectuar los ensayos aplicando estos métodos indicaremos algunas matizaciones.

2.7.1 Límites de calentamiento:

LÍMITES DE CALENTAMIENTO PARA TRANSFORMADORES DE TIPO SECO			
1	2	3	4
Parte	Método de refrigeración	Clase de temperatura de aislamiento (*)	Calentamiento máximo °C.
Arrollamiento (calentamiento medio por el método de variación de resistencia) (**)	Por aire, natural o ventilación forzada	A	60
		E	75
		B	80
		F	100
		H	125
			150 (**)
Circuitos magnéticos y otras partes a) En contacto con los arrollamientos b) No en contacto con los arrollamientos	Todos		a) Los mismos valores que para los arrollamientos b) La temperatura no alcanzara en ningún caso un valor que pueda dañar al propio circuito magnético, otras partes, o los materiales ayacentes.

(*) Véase la norma UNE 21.305

(**) Para algunos materiales aislantes, se pueden aceptar calentamientos superiores a 150 °C por acuerdo entre fabricante y comprador.

NOTA: Los materiales aislantes se pueden utilizar separadamente o en combinación teniendo en cuenta que en ningún caso cada aislante sea sometido durante el funcionamiento en las condiciones asignadas a una temperatura superior a aquella para la cual está previsto.

LIMITES DE CALENTAMIENTO PARA TRANSFORMADORES SUMERGIDOS EN ACEITE	
1	2
Parte	Calentamiento maximo °C
Arrollamientos: Clase de temperatura del aislamiento A (calentamiento medido por el metodo de variacion de resistencia)	65. Cuando la circulacion del aceite es natural o forzada no dirigida. 70. Cuando la circulacion del aceite es forzada o dirigida.
Aceite en la parte superior (calentamiento medido por termometro).	60. Cuando el transformador esta provisto de conservador o es estanco al aire. 55. cuando el transformador no esta provisto de conservador ni es estanco al aire.
Circuitos magneticos, partes metalicas y otros materiales adyacentes.	La temperatura no alcanzara en ningun caso un valor que pueda dañar al propio circuito magnetico, otras partes o los materiales adyacentes.
NOTA: Los limites de calentamiento de los arrollamientos (medido por el metodo de variacion de resistencia) se eligen de forma que den el mismo calentamiento del punto caliente con diferentes tipos de circulacion de aceite. El calentamiento del punto caliente no se puede medir normalmente directamente. En los transformadores con circulacion forzada y dirigida del aceite, la diferencia entre el calentamiento del punto caliente y el calentamiento medio en los arrollamientos es mas pequeño que en los transformadores con circulacion natural del aceite, o que en los de circulacion forzada pero no dirigida del aceite, por esta razon los arrollamientos de los transformadores con circulacion forzada y dirigida del aceite pueden tener limites de calentamiento (medido por el metodo de variacion de resistencia) superiores en 5 °C a los de los otros transformadores.	

El método de verificación de la circulación forzada y dirigida del aceite será objeto de acuerdo entre fabricante y comprador, normalmente en el momento de la oferta.

Los limites de calentamiento de los transformadores sumergidos en líquidos aislantes sintéticos no inflamables y que usan aislantes cuya clase de temperatura es diferente de la clase A, pueden ser aumentados en una cantidad a convenir por acuerdo entre fabricante y comprador.

2.7.2 Medida de la temperatura del aire de refrigeración (generalidades):

La temperatura del aire de refrigeración se medirá por medio de varios termómetros colocados según se describe seguidamente y se protegerán contra las corrientes de aire y cualquier radiación anormal de calor.

Para evitar errores debidos a la lentitud con que la temperatura del transformador se transmite a la temperatura del aire de refrigeración, los termómetros se pueden colocar en recipientes llenos de liquido y que tengan una constante de tiempo de unas 2 horas. Se adopta como valor de la temperatura del aire de refrigeración durante el ensayo el valor medio de las lecturas hechas en estos termómetros a intervalos de tiempos iguales, durante la ultima cuarta parte de la duración del ensayo.

La temperatura del aire de refrigeración será lo mas constante posible durante el ensayo y especialmente durante la ultima cuarta parte.

2.7.3 Refrigeración por circulación natural de aire:

Para esta prueba al menos se han de intercalar 3 termómetros los cuales se colocaran en diferentes puntos alrededor del transformador. Y han de estar aproximadamente a media altura de la superficie de refrigeración.

Se recomienda una distancia entre 1 y 2 metros.

2.7.4 Refrigeración por ventilación forzada:

Si hay un flujo de aire bien definido que vaya del exterior hacia la admisión de aire de los refrigerantes, sin reciclado importante del aire caliente, los termómetros se han de colocar en la admisión del aire, y deberán de estar lo suficientemente alejados de la superficie de la cuba y del refrigerante para evitar perturbaciones debidas a la radiación térmica.

Se recomienda una distancia entre 1 y 2 metros.

Si estas condiciones no se pueden cumplir las temperaturas se medirán alrededor del transformador completo, fuera de las corrientes de aire recicladas, preferentemente en un lado sin refrigerante si lo hay.

2.7.5 Medida de la temperatura del agua de refrigeración:

La temperatura del agua de refrigeración se medirá a la entrada del refrigerante y se tomara como temperatura la media al menos de 3 lecturas hechas en intervalos aproximadamente iguales de 1 hora como máximo. Las lecturas se han de tomar durante la ultima cuarta parte de la duración del ensayo.

2.7.6 Determinación de la temperatura de los arrollamientos:

La temperatura de los arrollamientos se determinara, en principio, por el método de variación de resistencia.

La temperatura de un arrollamiento (θ_2) al final de un ensayo se calculara a partir de su resistencia (R_2) medida a esta temperatura y de su resistencia (R_1) medida a otra temperatura (θ_1) mediante la formula:

$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + \theta_1) - 235 \text{ para el cobre.}$$

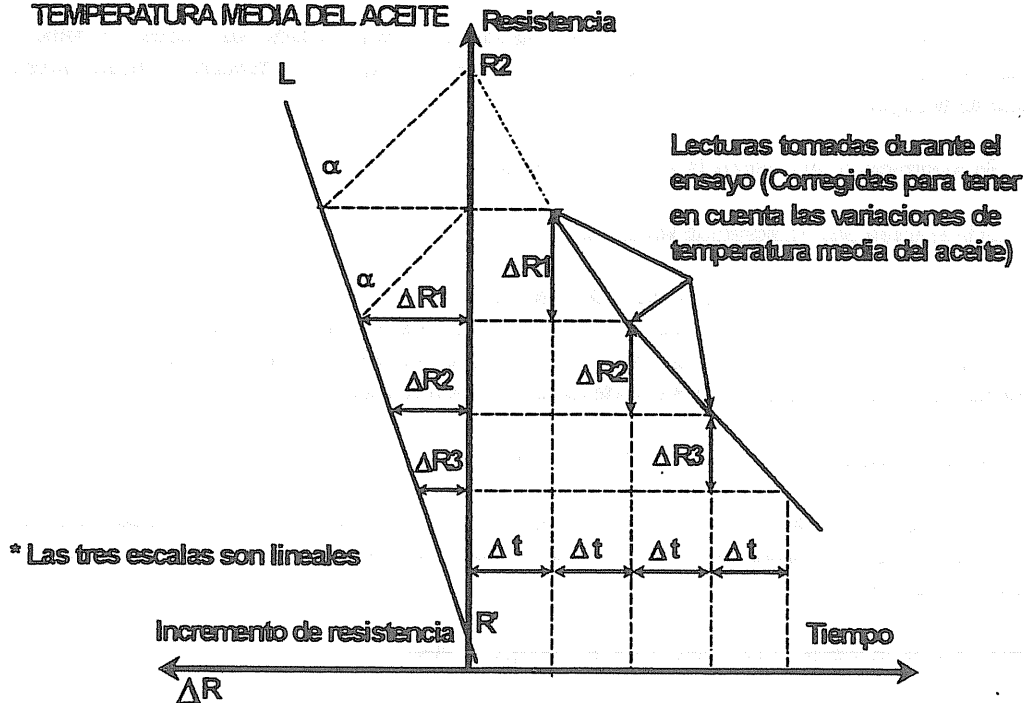
$$\theta_2 = \frac{R_2}{R_1} (225 + \theta_1) - 225 \text{ para el aluminio}$$

donde θ_1 y θ_2 están medidos en grados Celsius.

La resistencia (R_1) es generalmente, la resistencia en frio.

La resistencia (R_2) se mide bien después de cada corte de la alimentación, teniendo en cuenta las correcciones, de acuerdo con la tabla que a continuación se relaciona.

METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS EN EL MOMENTO DEL CORTE DE LA ALIMENTACION Y PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA MEDIA DEL ACEITE



O bien sin interrumpir la alimentación por el método de superposición que consiste en hacer pasar por el arrollamiento una corriente continua de medida de pequeña intensidad que se superpone a la corriente de carga.

2.7.7 Medida de la temperatura del aceite en la parte superior:

La temperatura del aceite en la parte superior del transformador se medirá por un termómetro colocado en una funda para termómetro llena de aceite situada sobre la tapa o en la tubería de admisión del refrigerante, pero en el caso de refrigerantes separados este termómetro se ha de colocar en la tubería de salida del aceite cerca del transformador.

El calentamiento medido no excederá del valor límite indicado en las tablas anteriores, que nos daban los límites máximos de temperatura en el aceite.

2.7.8 Duración del ensayo de calentamiento:

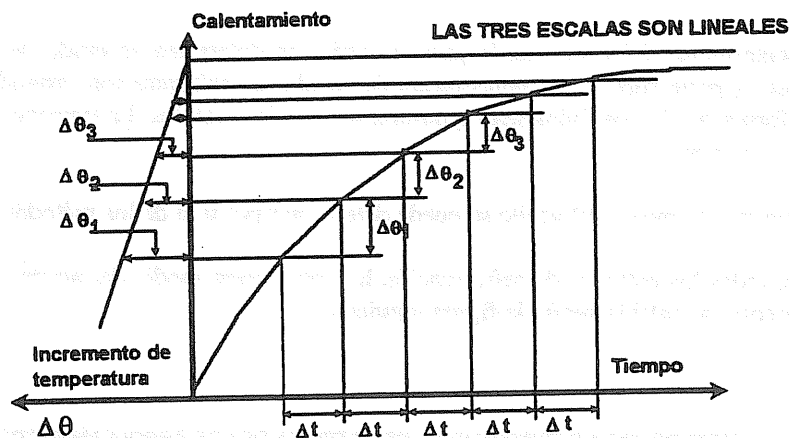
El ensayo ha de continuar hasta que las condiciones de uno de los métodos siguientes hayan sido cumplidos.

2.7.8.1 MÉTODO "A"

Se ha de tener la certeza que el calentamiento no excederá del valor indicado en las tablas anteriores, según el caso, incluso si el ensayo se continuara hasta alcanzar el equilibrio térmico. Las temperaturas se tomarán donde sea posible durante el funcionamiento y después del corte de la alimentación del transformador. El ensayo no se considerará terminado hasta que el aumento del calentamiento sea inferior a 3 °C en 1 hora.

El método representado en la siguiente figura se empleara para determinar el calentamiento final.

METODO DE DETERMINACION DEL CALENTAMIENTO FINAL DEL ACEITE



2.7.8.2 MÉTODO " B "

Se han de verificar que el calentamiento del aceite de la parte superior no varia mas que 1 °C, por hora durante 4 horas consecutivas. Si el ensayo se ha iniciado con una refrigeración reducida o sin que el sistema de refrigeración este en servicio, se ha de continuar durante un tiempo suficiente con plena refrigeración para evitar errores en la medida del calentamiento final del aceite.

2.7.9 Método de ensayo para transformadores tipo seco:

El método aplicado llevara consigo la excitación del circuito magnético con una inducción normal. La corriente de alimentación I_t utilizada para el ensayo se mantendrá constante en un valor tan próximo como sea posible al valor asignado I_N y al menos igual al 90 % de este valor, y el ensayo continuara hasta que el calentamiento $\Delta\theta_t$, de los arrollamientos sea constante.

El calentamiento del aire de refrigeración para las condiciones de carga asignada $\Delta\theta_N$, se calculara por la formula

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right] q$$

El valor de q se tomara como sigue.

Para transformadores AN : 1.6

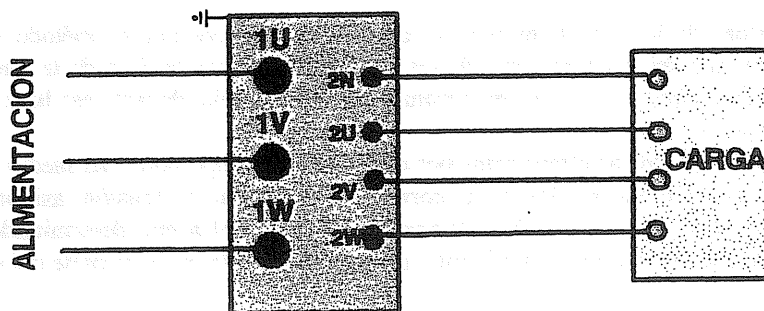
Para transformadores AF : 1.8

NOTA: Para este ensayo se supone que el transformador no tiene tomas o, si las tiene, que el ensayo se hace sobre la toma principal. Si el transformador tuviera tomas y el ensayo se hace sobre una de ellas, hay que sustituir en el texto la palabra TENSIÓN ASIGNADA por TENSIÓN DE TOMA APROPIADA Y CORRIENTE DE TOMA APROPIADA.

2.7.12.1 Método de puesta en carga directa:

Un arrollamiento del transformador se alimenta a su tensión asignada mientras que el otro se conecta a una carga apropiada tal que los arrollamientos sean recorridos por sus corrientes asignadas. No se necesita aplicar ninguna corrección de la temperatura media del aceite, al calentamiento de los arrollamientos de los transformadores sumergidos en el aceite.

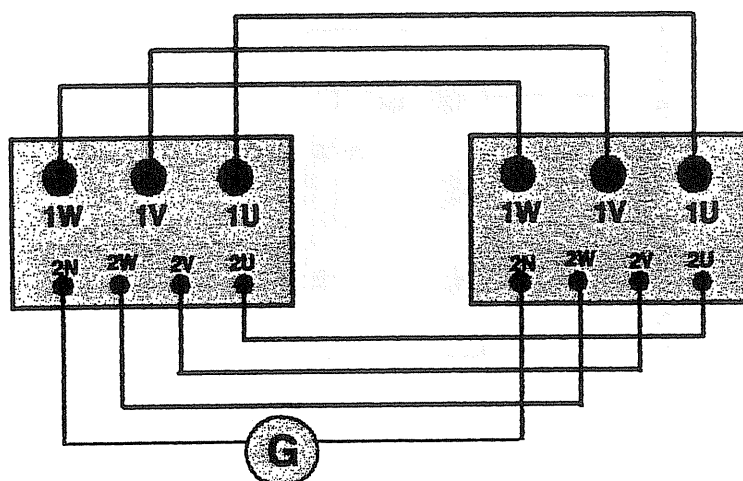
METODO DE PUESTA EN CARGA DIRECTA



2.7.12.2 Método de oposición:

Dos transformadores uno de los cuales es el transformador de ensayo, se conectan en paralelo, y se alimentan a la tensión asignada del transformador que se ensaya. Utilizando relaciones de transformación diferentes o una tensión inyectada hace circular la corriente asignada en el transformador en prueba. No es necesario aplicar ninguna corrección de la temperatura media del aceite, al calentamiento de los arrollamientos de los transformadores sumergidos en el aceite.

METODO DE OPOSICION



2.7.12.3 Método de cortocircuito:

Para determinar el calentamiento del aceite, ponemos uno de los arrollamiento en cortocircuito, bien sea en el lado primario, o por el lado secundario y por el otro se alimenta con una tensión regulada, hasta conseguir que la potencia consumida por el transformador sea la suma de las pérdidas en el hierro mas las pérdidas en el cobre a la temperatura de referencia. Así se determina el calentamiento del aceite en la parte superior y su calentamiento medio.

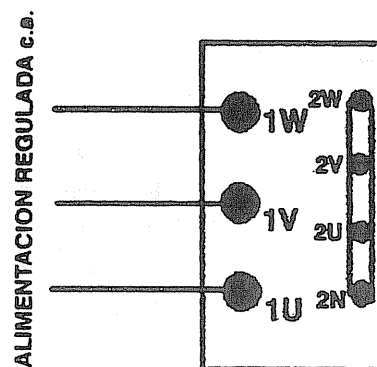
Una vez estabilizada la temperatura tomamos las lecturas de los termómetros determinando de esta forma el calentamiento del aceite.

Se deduce entonces la tensión de alimentación hasta que la corriente consumida por el transformador sea la nominal (I_n) y así se mantiene durante una hora.

La temperatura de los arrollamientos se determina entonces por el método de variación de resistencia. Para el calculo del calentamiento de los arrollamientos por encima de la temperatura media del aceite., se tendrá en cuenta la caída de temperatura media del aceite durante esa hora.

El calentamiento de los arrollamientos por encima de la temperatura del medio de refrigeración correspondientes a las pérdidas totales a la corriente, frecuencia y tensión asignadas se obtiene añadiendo su calentamiento por encima de la temperatura media del aceite determinado en la segunda parte del ensayo, al calentamiento medio del aceite. determinado en la primera parte del ensayo.

METODO DE CORTOCIRCUITO PARA OBTENER EL CALENTAMIENTO DEL ACEITE



Si el ensayo no se puede realizar al valor exacto de las pérdidas totales (suma de las pérdidas debidas a la carga medidas y corregidas a la temperatura de referencia de acuerdo con la norma UNE 20-101 (1), y de las pérdidas en vacío medidas), se efectuara para un valor diferente de las pérdidas lo mas próximo posible al valor total mencionado anteriormente, pero en ningún caso inferior al 80 % de este valor, y se aplicara entonces al valor así determinado del calentamiento del aceite en la parte superior el factor de corrección siguiente:

$$\left(\frac{\text{Pérdidas totales}}{\text{Pérdidas reales durante el ensayo}} \right)^X$$

El valor de X es:

Para la ventilación natural: 0.8

Para la ventilación forzada y la refrigeración por agua: 1.0

2.7.13 Calentamiento de los arrollamientos:

El calentamiento de cada arrollamiento se determinara restando de la temperatura media del arrollamiento, medida por el método de variación de resistencia, la temperatura del medio de refrigeración exterior durante el ensayo, habiendo estado los arrollamientos en ensayo recorridos por sus corrientes asignadas a la frecuencia asignada.

Si no se puede realizar exactamente a los valores asignados de las corrientes, los ensayos se pueden efectuar con un valor de la corriente que no sea inferior al 90 % del valor de la corriente asignada.

Como variante, se puede utilizar un valor de la corriente que suministre las pérdidas totales. En los dos casos se aplicara al calentamiento determinado de los arrollamientos por encima de la temperatura media del aceite el factor de corrección siguiente:

$$\left(\frac{\text{Corriente asignada}}{\text{Corriente durante el ensayo}} \right)^Y$$

El valor de Y es:

Para la circulación natural del aceite y para la circulación del aceite forzada no dirigida: 1.6

Para circulación forzada dirigida : 2

2.7.14 Corrección de temperatura para tener en cuenta la refrigeración de los transformadores después del corte de alimentación:

Las temperaturas de los arrollamientos se puede medir mientras el transformador esta funcionando, por el método de superposición, o midiendo la resistencia después del corte de alimentación del transformador.

En este caso, para tener en cuenta el intervalo de tiempo entre el corte de la alimentación y la medida de la temperatura, se aplicara una corrección de forma que se obtenga lo mas exactamente posible la temperatura en el momento del corte de alimentación.

Las lecturas se harán lo mas pronto posible después del corte de la alimentación. Pero esperando el tiempo suficiente para permitir disipar el efecto inductivo sobre la corriente de medida teniendo en cuenta las indicaciones dadas para las medidas de resistencia en frio.

Cuando se corta la alimentación del transformador también se han de cortar la de las bombas de circulación de agua y ventiladores, pero las bombas de circulación de aceite sugerirán en marcha.

2.7.15 Método de extrapolación usando escalas lineales:

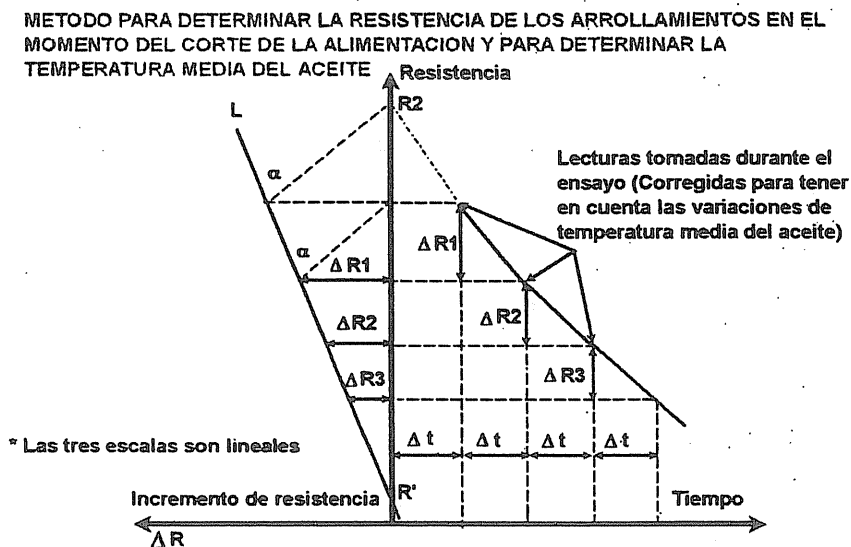
La corrección se puede determinar, aproximadamente, efectuando una serie de medidas de resistencia y trazando a partir de ellos una curva de resistencias en función del tiempo que se prolongara hasta el instante del corte de alimentación.

Se calcula entonces la temperatura máxima del arrollamiento a partir de la resistencia en el momento del corte de alimentación.

Esta extrapolación se puede hacer de acuerdo con la figura siguiente, en la que las resistencias R se determinan a intervalos de tiempo iguales Δt . Cuando la medida de las resistencias reales se hace por algunos métodos de puente, es mas preciso tomar los tiempos para variaciones fijas de resistencias ΔR , es decir el tiempo se anota en el momento que el indicador de puente prerregulado paso por cero.

Las disminuciones de resistencia ΔR_n correspondientes a intervalos de tiempo iguales se llevan a los puntos apropiados a partir de los ejes de ordenadas y dan la línea L .

R_2 es la resistencia del arrollamiento en el instante del corte de alimentación.



2.8 MEDIDA DEL NIVEL DE RUIDO.-

Este ensayo se efectúa para determinar el nivel de ruido del transformador.

2.8.1 Condiciones para el ensayo:

La medida debe realizarse en un ambiente cuyo nivel de ruido sea al menos inferior a 4 db. inferior al transformador a medir y preferiblemente menos de 7 db.

El nivel de ruido ambiente será la media de las medidas realizadas inmediatamente antes e inmediatamente después de realizado el ensayo al transformador, aplicando seguidamente las correcciones de acuerdo con la siguiente tabla:

FACTORES DE CORRECCION PARA LAS MEDIDAS DEL NIVEL DE RUIDO	
Diferencia en Db (A) entre el nivel medio total resultante del ruido del transformador y del ruido de fondo medio resultante.	Db (A) a sustraer del nivel medio total resultante del ruido del transformador y del ruido de fondo (Factor Y)
3	3
4 - 5	2
6 - 9	1

La zona de ensayo ideal no contendrá mas objetos reflectantes que el suelo, aunque se puede realizar dicho ensayo en el interior de una cámara anecoica.

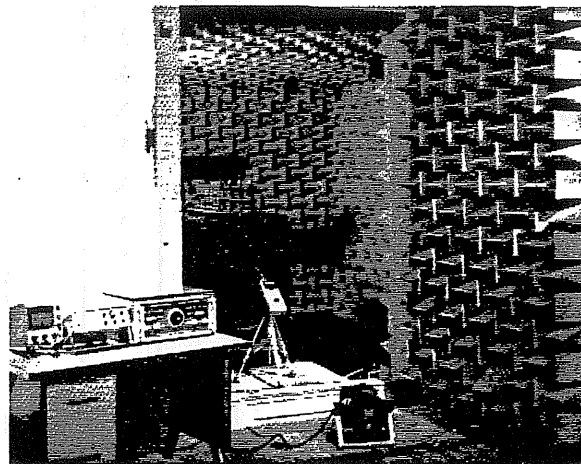
El transformador será excitado en vacío a la tensión y frecuencia nominal utilizando una fuente de tensión senoidal.

El cambiador de tomas ha de estar sobre la toma principal.

MEDIDAS A EFECTUAR:

El nivel de ruido se medirá con un sonómetro bajo normas.

El nivel de ruido se expresara como nivel de presión acústica sobre la curva de ponderación "A" expresados en db (A), a fin de evitar los errores debidos a posibles influencias perturbadoras se utilizara la respuesta rápida del sonómetro.



Camara anecoica para ensayos del nivel sonoro

El nivel sonoro medio se define como la media aritmética de las lecturas realizadas.

La superficie principal de radiación debe entrar el equipo de refrigeración, refuerzos y apoyos de la cuba y los equipos auxiliares. El contorno prescrito debe estar alejado 1 metro de la superficie principal de radiación tal como se define a continuación.

Para aquellos transformadores cuya altura de cuba sea inferior a 2.5 m. el contorno prescrito estará situado en el plano horizontal que pasa a media altura de la cuba.

Cuando la altura de la cuba sea igual o superior a 2.5 m. se utilizaran dos contornos prescritos en planos que se encuentren 1/3 y a 2/3 de la altura de la cuba.

Las posiciones de medida serán aproximadamente equidistantes con intervalos a lo mas, iguales a 1 metro y su numero no será inferior a cuatro.

Para efectuar estas medidas se usara el sonómetro, micrófono y pistófono calibrador.

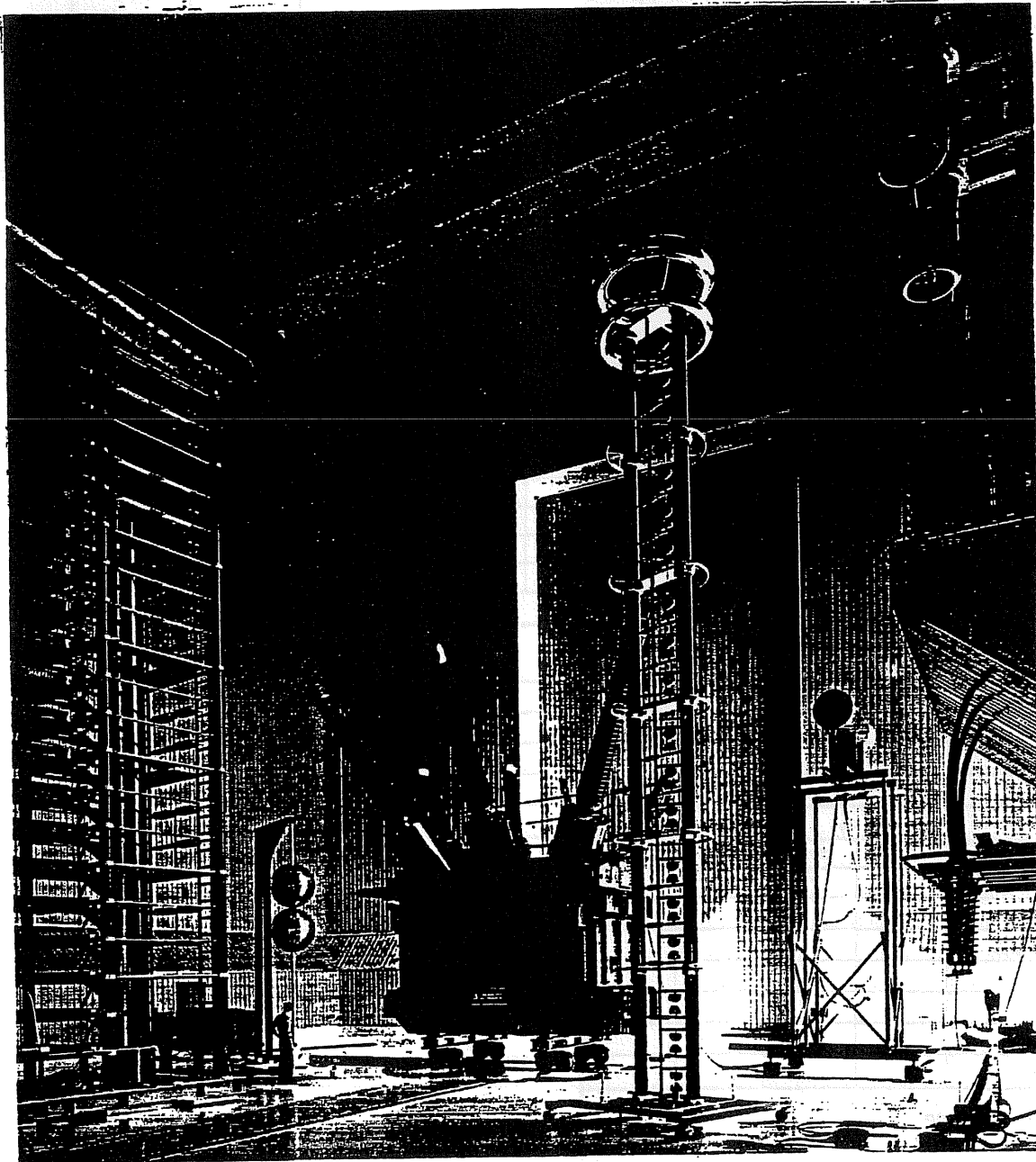
2.9 OTROS ENSAYOS

Aparte de los ensayos anteriormente mencionados se pueden llevar a cabo como opcionales de acuerdo entre comprador y fabricante otro tipo de ensayos que puedan ser objeto (como antes indicábamos) de interés por parte del comprador.

PRUEBAS	DISTRIBUCION			POTENCIA		
	Prototipo	De rutina	Opcionales	Prototipo	De rutina	Opcionales
Características de los componente	X			X		
Características físicas del conjunto		X			X	
Resistencia óhmica	X			X		
Resistencia de aislamientos		X			X	
Relación de transformación		X			X	
Polaridad o secuencia de fases		X			X	
Pérdidas en vacio		X			X	
Corriente de vacio		X			X	
Perdidas en carga		X			X	
Impedancia		X			X	
Calentamiento	X			X		
Rigidez dielectrica del fluido		X			X	
Tension aplicada		X			X	
Tension inducida		X			X	
Impulso (*)	X		X	X		X
Hermeticidad		X			X	
Vacio				X		
Operacion y calibracion de los accesorios		X			X	

Factor de potencia del aceite		X		X	
Factor de potencia de los aislamientos			X	X	
Nivel de ruido			X		X
Perdidas, corriente de vacío e impedancia a tensiones, cargas o frecuencias distintas a las nominales			X		X
Calentamiento a temperaturas distintas a las nominales			X		X
Nivel de descargas parciales			X		X

(*) Las pruebas de impulso se deben hacer a solicitud del comprador y en los devanados que se especifiquen, ya sea como prueba prototipo o prueba opcional.



2.10.2 Placa de características de un transformador

PLACA DE CARACTERISTICAS

CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS

Transformador Tipo : 400/24 N° F. 21322

Potencia: 400 KVA 3 PH. 50 Hz

AT. 20.000 \pm 2.5 - 5 % V. 11.54 A.

BT. 398 - 230 V. 580.2 A.

Grupo de Conexión: Dy11 Ucc: 4.11 %

2.10.3 Pérdidas en vacío.

PÉRDIDAS EN VACIO

PÉRDIDAS EN EL HIERRO

- ***PÉRDIDAS POR CORRIENTES DE FOUCAULT***
- ***PÉRDIDAS POR HISTÉRESIS***
- ***PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE (escasas)***
- ***PÉRDIDAS DIELECTRICAS (escasas)***

2.10.4 Ensayo de vacío.

ENSAYO DE VACIO

PROTOCOLO DE ENSAYOS

PÉRDIDAS EN VACIO (P _{fe})									
Voltios			Amperios			Watimetro I	Watimetro II	P _{fe}	Hz
a - b	b - c	c - a	a	b	c	Lectura	Lectura		
5.68	5.68	5.68	0.70	0.43	0.70	- 62	50.75	900	50
VOLTIOS K = 70			AMPERIOS k = 12			WATIOS K = 80			
398			7.4			900			

A partir de estos valores podemos deducir los valores resultantes :

$$\text{POTENCIA APARENTE} = 7.4 \times \sqrt{3} \times 398 = 5.101 \text{ VA}$$

$$\text{POTENCIA ACTIVA} = 900 \text{ W}$$

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{900}{5.101} = 0.176, \varphi = 79.86^\circ$$

Las pérdidas en vacío son constantes para todas las temperaturas de funcionamiento.

2.10.5 Pérdidas debidas a la carga (Ensayo de cortocircuito).

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO PROTOCOLO DE ENSAYOS

PERDIDAS EN CARGA Pcu. a 13 °C								
Voltios			Amperios			Watimetro I	Watimetro II	Hz
A - B	B - C	C - A	A	B	C	Lectura	Lectura	
16.16	16.16	16.16	11.54	11.54	11.54	68.70	-59.82	50
VOLTIOS k = 50			AMPERIOS k = 1			WATIOS FRIO k = 500		
808			11.54			4.440		

Sin embargo, las pérdidas garantizadas se refieren a una temperatura de servicio de 75 °C, por consiguiente, para calcular estas es necesario conocer las pérdidas por efecto Joule y las adicionales, para lo cual necesitaremos conocer las resistencias de los arrollamientos.

Las perdidas debidas a la carga varian con la temperatura.

2.10.5.1 Pérdidas debidas a la carga (división).

PERDIDAS DE CORTOCIRCUITO	
PÉRDIDAS ÓHMICAS	PÉRDIDAS ADICIONALES
<i>PRODUCIDAS POR EFECTO JOULE</i>	<i>PRODUCIDAS POR EFECTO CORONA</i>
<i>PROPORCIONALES A LA RESISTENCIA DE DEVANADOS</i>	<i>POR INDUCCION EN LA TAPA DEBIDA A LA CORRIENTE DE SALIDA</i>
<i>DEPENDIENTES DE LA TEMPERATURA</i>	<i>POR INDUCCIONES MUTUAS, ETC.</i>

2.10.6 Medida de la resistencia de los devanados.

MEDIDA DE RESISTENCIAS

PROTOCOLO DE ENSAYOS

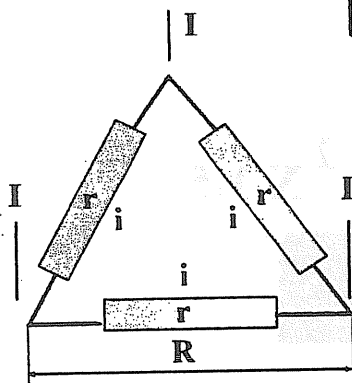
RESISTENCIA			A ¹³°C		
AT			BT		
A - B	B - C	C - A	a - b	b - c	c - a
11.43	11.43	11.43	0.00358	0.00360	0.00353

2.10.6.1 Medida de la resistencia de devanados. Conexiones trifasicas.

CONEXIONES TRIFASICAS

CONEXION TRIANGULO

$$W = 3 r i^2 \text{ pero : } \begin{cases} i = \frac{I}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r+r} \text{ de donde : } r = 1.5 R \end{cases}$$

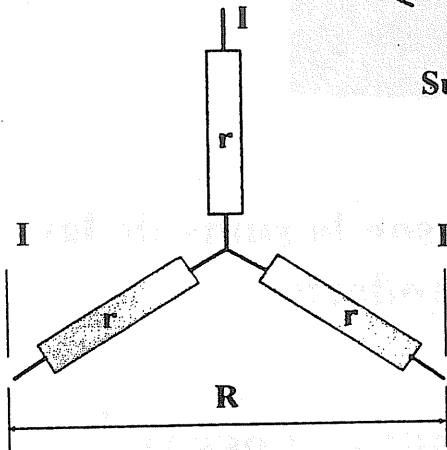


Sustituyendo quedaria:

$$W = 3 \cdot 1.5 \cdot R \frac{I^2}{3} = 1.5 R I^2$$

CONEXION ESTRELLA

$$W = 3 r i^2 \text{ pero : } \begin{cases} i = I \\ R = r+r \text{ de donde } r = \frac{R}{2} \end{cases}$$



Sustituyendo queda :

$$W = 3 \frac{R}{2} I^2 = 1.5 R I^2$$

NOTA :

La conexión zig - zag se deduce de una conexión estrella.

2.10.6.2 Pérdidas óhmicas a temperatura ambiente.

PÉRDIDAS ÓHMICAS A TEMPERATURA AMBIENTE
(Resultados)

$$W = 15 R I^2$$

$$\begin{array}{l} \text{AT} \rightarrow 11.43 \times 11.54^2 \times 1.5 \\ \rightarrow 2283 \text{ W} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{BT} \rightarrow 0.00357 \times 580.2^2 \times 1.5 \\ \rightarrow 1802 \text{ W} \end{array}$$

Las pérdidas óhmicas son la suma de las primarias mas las secundarias:

$$W_{oh} = 2.283 + 1.802 = 4.085 \text{ W}$$

2.10.6.3 Pérdidas adicionales a temperatura ambiente.

PÉRDIDAS ADICIONALES A TEMPERATURA AMBIENTE

Se deducen restando a las totales, halladas en el ensayo de corto, las óhmicas deducidas anteriormente.

$$W_{ad} = 4.440 - 2.283 - 1.802 = 355 \text{ W.}$$

PROTOCOLO DE ENSAYOS

P _{cu}		
	13°C	75°C
R I ² (AT)	2.283	
R I ² (BT)	1.802	
ADICIONALES	355	
Σ W	4.440	
U _r %		
U _x %		
U _k %		

2.10.6.4 Pérdidas óhmicas a 75° C.

PÉRDIDAS ÓHMICAS A 75°C (Resultados)

Relación Resistencia/Temperatura:

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

donde : T para el Cobre = 235

T para el Aluminio = 245

Sustituyendo :

$$R_{75} = R_{13} \frac{235 + 75}{235 + 13} = R_{13} \cdot 1.25$$

Por tanto las perdidas quedarán igualmente transformadas :

$$R_{13} (Al) a 75^\circ C = 2.283 \cdot 1.25 = 2.854$$

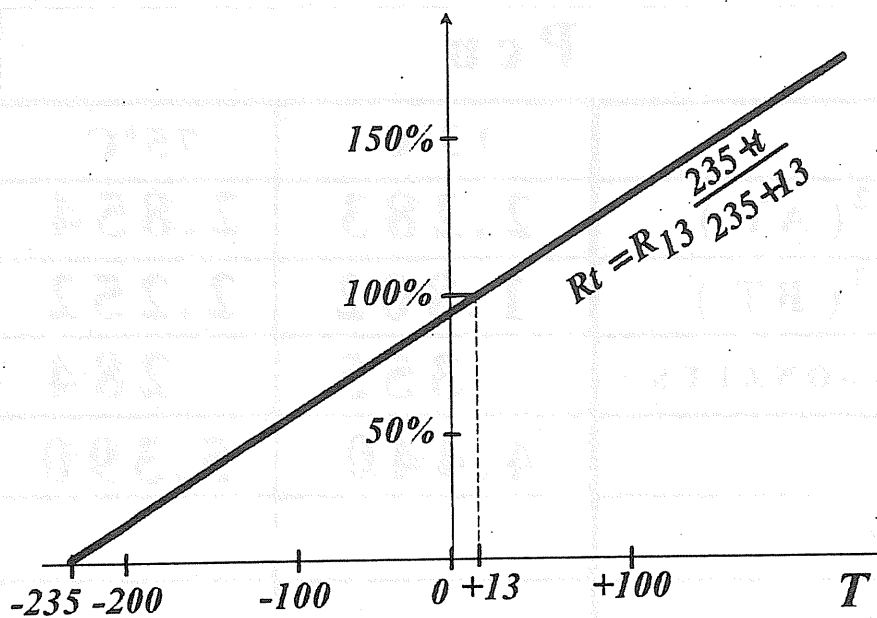
$$R_{13} (Cu) a 75^\circ C = 1.802 \cdot 1.25 = 2.253$$



2.10.6.5 Relación Resistencia/Temperatura.

RELACIÓN RESISTENCIA/TEMPERATURA

Si marcamos en unas coordenadas que el cobre tiene a -235°C una resistencia nula y a 13°C , la que hemos obtenido, sabiendo que la función: $R = f(t)$ es lineal, podremos trazar la grafica siguiente:



2.10.6.6 Pérdidas adicionales a 75° C.

PÉRDIDAS ADICIONALES A 75°C

Las pérdidas adicionales por el contrario, disminuyen al elevarse la temperatura en la misma proporción anterior:

$$\underline{W_{ad}} = \frac{355}{1.25} = \underline{284}$$

PROTOCOLO DE ENSAYOS

P _{cu}		
	13°C	75°C
R I ² (AT)	2.283	2.854
R I ² (BT)	1.802	2.252
ADICIONALES	355	284
Σ W	4.440	5.390
U _r %		
U _x %		
U _k %		

2.10.7 Tensión de cortocircuito a temperatura ambiente.

TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO A TEMPERATURA AMBIENTE

Es la tensión compuesta que hemos aplicado en AT (A,B y C) para que circule la intensidad I_n nominal, estando en cortocircuito el secundario.

$V_{cc} = 808 \text{ V}$. Pudiendose expresar en numeros absolutos o porcentuales:

$$U_k = V_{cc} \frac{100}{V_n} = 808 \frac{100}{20.000} = 4.04\%$$

Teniendo en cuenta que el primario del transformador es triangulo, la intensidad en el bobinado es $\sqrt{3}$ veces menor que la nominal, con lo que la impedancia de cortocircuito, seria:

$$\frac{I_n}{\sqrt{3}} = \frac{V_{cc}}{Z_{cc}} \rightarrow Z_{cc} = \frac{\sqrt{3} V_{cc}}{I_n}$$

$$Z_{cc} = \frac{\sqrt{3} 808}{11.54} = 121.2 \text{ Ohmios}$$

2.10.7.1 Tensión resistiva de cortocircuito a temperatura ambiente.

TENSIÓN RESISTIVA DE CORTOCIRCUITO A TEMPERATURA AMBIENTE

Partiendo de la resistencia de cortocircuito :

$$W_{cu} = I_n^2 \cdot R \rightarrow R = \frac{W_{cu}}{I_n^2} \rightarrow$$

$$R = \frac{4.440}{11.54^2} = 33.34 \text{ Ohmios}$$

Si la referimos al primario (Conexión triangulo):

$$U_r = \frac{R \cdot I}{\sqrt{3}} \rightarrow U_r = \frac{33.34 \cdot 11.54}{\sqrt{3}} = 222.13 \text{ V}$$

En valor porcentual, seria :

$$U_r \% = \frac{222.13 \cdot 100}{20.000} = 1,11 \%$$

2.10.7.2 Tensión reactiva de cortocircuito a temperatura ambiente.

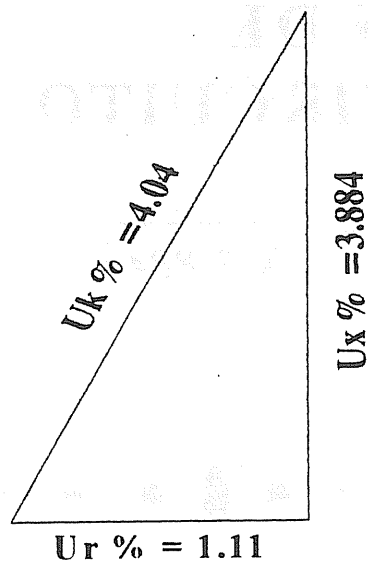
TENSIÓN REACTIVA DE CORTOCIRCUITO A LA TEMPERATURA AMBIENTE

Se deduce de :

$$U_x = \sqrt{U_k^2 - U_r^2}$$

$$U_x = \sqrt{4.04^2 - 1.11^2} = 3,884$$

Esta característica no se modifica con la temperatura, siendo igual para 75 °C.

**TRIANGULO DE IMPEDANCIAS**

2.10.7.3 Tensión resistiva de cortocircuito a 75° C.

TENSIÓN RESISTIVA DE CORTOCIRCUITO A 75 °C

(Resultados)

Deduciendo de :

$$U_r = \frac{W \cdot I (P_{cu})}{W (Pot. Nom.)} \cdot 100$$

Obtenemos :

$$U_r = \frac{\sum Watt}{10 \cdot KVA} = \frac{5.389}{10 \cdot 400} = 1.3475$$

TENSIÓN DE CORTOCIRCUITO A 75 °C

$$U_k = \sqrt{U_x^2 + U_r^2} = \sqrt{3.884^2 + 1.3475^2} = 4.11$$



2.10.8 Protocolo de ensayos (Resultados de pérdidas y tensiones de cortocircuito).

PROTOCOLO DE ENSAYOS

P_{cu}		
	13°C	75°C
R I² (AT)	2.283	2.854
R I² (BT)	1.802	2.252
ADICIONALES	355	284
ΣW	4.440	5.390
U_r %	1,11	1,3475
U_x %	3,884	3,884
U_k %	4,04	4,11

PROTOCOLO DE ENSAYOS	
RESULTADOS	
P_{fe} (W)	900
P_{cu} (W)	5.390
P_{tot.} (W)	6.290
I_o 100% (%)	1,275
U_k	4,11

2.10.9 Medida de la relación de transformación.

RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

La medida se realiza por medio de un puente diferencial con grado de precisión superior al 0.05 %.

En el protocolo se expresa poniendo en la primera columna las tensiones teóricas de AT, en la segunda las tensiones de BT, en la tercera columna la relación entre ambas, que es la que nos debiera dar el puente de medida, y en las tres restantes los errores en % .:

PROTOCOLO DE ENSAYOS						
Relación de Transformación				Grupo : Dy 11		
POS.	AT	BT	Relación	Error %		
				A	B	C
1	20.500	398 - 230	89.21	+0.05	+0.05	+0.05
2	20.000		87.04	0	+0.05	+0.05
3	19.500		84.86	+0.06	+0.06	+0.06
4	19.000		82.69	0	+0.05	+0.05
5	18.500		80.51	0	-0.02	-0.02

2.10.10 Ensayo de tensión aplicada a frecuencia industrial.

ENSAYO DE TENSIÓN APLICADA A FRECUENCIA INDUSTRIAL (RIGIDEZ DIELECTRICA)

Se realiza aplicando al primario contra el secundario unido a masa y tierra una tensión de 50 Hz durante un minuto, cuyo valor eficaz depende del nivel de aislamiento del bobinado.

Los niveles de aislamiento segun CEI - 76, adoptan los siguientes valores:

NIVEL	< 1.1 KV →	2.5 KV
"	1.1 KV →	3 KV
"	3.6 KV →	16 KV
"	7.2 KV →	22 KV
"	12 KV →	28 KV
"	17.5KV →	38 KV
"	24 KV →	50 KV
"	36 KV →	70 KV
"	52 KV →	95 KV
"	72.5KV →	140 KV

2.10.11 Ensayo de sobretensión inducida.

Sirve para comprobar las características del aislamiento entre si, sometiendo al transformador al doble de la tensión de regimen con frecuencia superior al doble de la nominal, para evitar la saturación del nucleo magnetico.

Durante el ensayo, la tensión entre dos espiras contiguas es el doble que en funcionamiento normal.

2.10.12 Ensayo de Ondas de Choque.

ENSAYO DE ONDAS DE CHOQUE

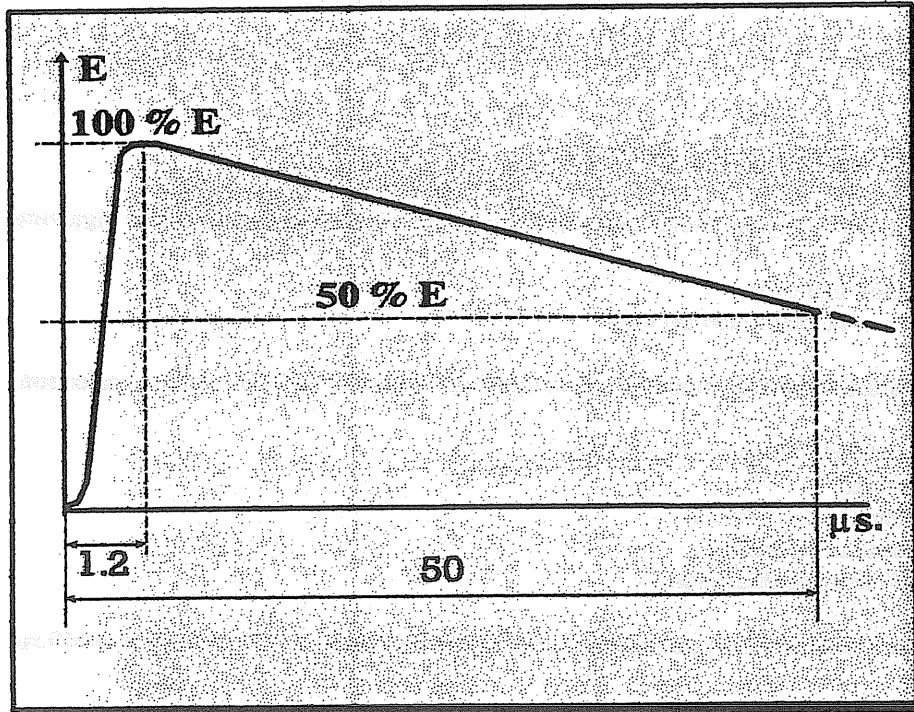
Sirve para comprobar el comportamiento del transformador frente a sobretensiones originadas por causas atmosfericas o de maniobra.

Una bateria de condensadores conectadas en paralelo se encargan de reproducir este tipo de onda hasta 100 Kv, descargandolas posteriormante en serie para conseguir la tensión de ensayo deseada

Estas ondas se definen por su valor de cresta y su forma 1.2/50 μ s. en función del nivel de aislamiento de los devanados.

Nivel	4.2 Kv	60 Kv	Onda de choque
"	12 Kv	75 Kv	"
"	17.5 Kv	95 Kv	"
"	24 Kv	125 Kv	"
"	36 Kv	170 Kv	"
"	52 Kv	250 Kv	"
"	72.5 Kv	325 Kv	"

FORMA DE ONDA 1.2/50 μ s.



NIVELES DE AISLAMIENTO (Sistema Europeo VDE 0111/IEC 71-1)

Tensión max. de la red entre fases (KV) valor eficaz	Tensión alterna nominal sopor- table. (KV) Valor eficaz	Tensión de Choque 1.2/50 μ s	
		Aislamiento reducido (KV)	Aislamiento pleno (KV)
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170

CAPITULO III**FLUIDOS DIELECTRICOS****3.1 LIQUIDOS AISLANTES ELÉCTRICOS.**

Los líquidos aislantes tienen que cumplir una serie de funciones que son las siguientes:

- Función dieléctrica.
- Función de disipación del calor.

Las características del líquido aislante que intervienen en la transmisión de calor son:

- Viscosidad dinámica y cinemática.
- Densidad.
- Conductividad térmica.
- Capacidad calorífica.
- Coeficiente de dilatación.

Los líquidos aislantes que cumplen estas funciones según su procedencia se clasifican en:

- ACEITES MINERALES.
- ASKARELES.
- SILICONAS.
- ACEITES VEGETALES.
- ESTERES ORGANICOS.
- ACEITES POLIHIDROCARBONADOS.
- LIQUIDOS FLUORADOS.

3.1.1 Aceites minerales.**3.1.1.1 Naturaleza de los aceites minerales.**

Los aceites minerales utilizados como aislantes eléctricos proceden de la destilación fraccionada del petróleo bruto y están constituidos por una mezcla de hidrocarburos que le confieren unas propiedades físicas y químicas adecuadas.

Esta mezcla se somete después a un proceso de refinado para eliminar los compuestos inestables y corrosivos o cierto tipo de hidrocarburos.

A pesar de sus muchos orígenes y diferencias físicas, todos los aceites crudos son muy similares en su composición química. Los constituyentes principales son el carbono (del 83 al 87 %) y el hidrógeno (del 11 al 14 %) con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno y nitrógeno y trazas de otros elementos, de lo que proviene que se utilice el término general de hidrocarburos para describir los aceites minerales.

Aunque los aceites crudos son esencialmente hidrocarburos, sus estructuras varían mucho. Hay mezclas muy complejas, que varían desde los productos gaseosos ligeros hasta los asfálticos pesados, sólidos o semisólidos, dependiendo del número de átomos de carbono y de hidrógeno que contengan.

3.1.1.2 Hidrocarburos parafínicos - aceites de base parafínica.

Las parafinas consisten en cadenas rectilíneas de átomos de carbono, cada uno con dos átomos de hidrógeno excepto para los átomos de carbono del extremo de la cadena que tiene adheridos tres átomos de hidrógeno.

Las parafinas son compuestos estables, saturados, sin enlaces dobles entre ninguno de sus átomos de carbono.

El número de átomos de carbono puede variar mucho, desde un compuesto simple como el propano (C₃H₈) hasta fracciones de aceite en donde la molécula hidrocarburo puede contener de 20 a 70 átomos de carbono, con pesos moleculares desde 250 hasta 1.000.

A estas moléculas se las denomina como parafinas normales. Su fórmula general es C_nH_{2n+2}.

Ramales de cadenas rectilíneas pueden estar adheridas a la cadena rectilínea principal, pero estos también son compuestos estables saturados.

Estas parafinas se denominan iso - parafinas. (Fig. 1 y 2).

Son compuestos químicos muy estables con respecto a influencias exteriores y buenos aislantes. Siendo muy viscosos.

En general los aceites parafínicos tienen buena resistencia natural a la oxidación, buena estabilidad térmica, puntos de inflamación altos, volatilidad baja y un alto índice de viscosidad.

Con la oxidación tienden a formar ácidos débiles orgánicos.

3.1.1.3 Hidrocarburos nafténicos - Aceites de base nafténica.

Las naftas son también hidrocarburos saturados, esto es que las cuatro valencias del átomo de carbono están conectadas a átomos de hidrógeno o átomos de carbono adyacentes, pero los átomos de carbón en cada molécula están ordenados en un circuito cerrado o ciclo.

Su fórmula general es C_nH_{2n} y son descritos frecuentemente como cicloparafinas. (Fig. 3).

En aceites de alta calidad, cadenas parafínicas rectilíneas con frecuencia están adheridas al anillo o anillos cíclicos principales. (Fig. 4).

Los aceites nafténicos tienen un índice de viscosidad más bajo y puntos de fluencia bajos, lo que les hace apropiados para aplicaciones en temperaturas bajas.

Su volatilidad es más alta que en aceites parafínicos de viscosidad similar, el punto de inflamación es más bajo y la resistencia a la oxidación generalmente es más pobre.

Con la oxidación la tendencia es a formar depósitos de tipo lodoso más que ácido.

3.1.1.4 Hidrocarburos aromáticos - Aceites de base aromática.

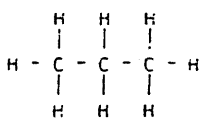
Los hidrocarburos aromáticos también son compuestos cíclicos o de anillo, pero al contrario que las naftas, están sin saturar, con dobles enlaces entre algunos átomos de carbono.

Su fórmula general es C_nH_{2n-6}. La estructura básica de los hidrocarburos aromáticos es un anillo de seis átomos de carbono, pero varios anillos similares pueden estar conectados y ramales de cadenas pueden adherirse formando una gran variedad de hidrocarburos aromáticos (Fig. 5).

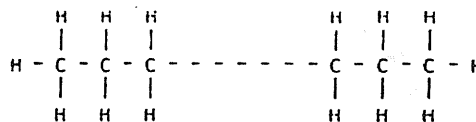
Los de estructura más simple, aromáticos de un punto de ebullición bajo, son químicamente activos, menos estables químicamente que las moléculas saturadas, tiende a oxidarse con más facilidad con la consecuente formación de ácidos orgánicos, barnices y lodos.

Los de dos anillos producen lodos que se depositan en el núcleo bobinas y fondo de la cuba.

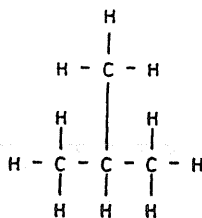
Los de tres anillos coartan la oxidación haciendo de inhibidores naturales.



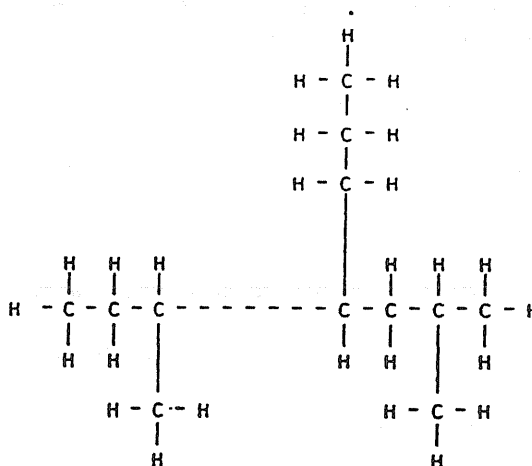
PROPANO



MOLECULA TIPICA DE ACEITE PARAFINICO DE CADENA LARGA

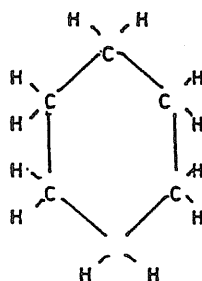


ISOBUTANO

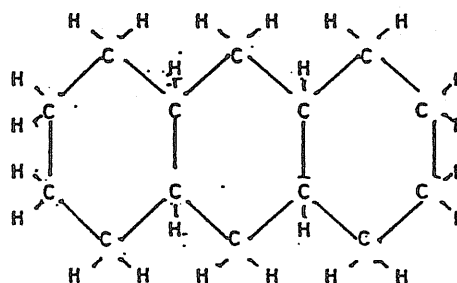


MOLECULA TIPICA DE ACEITE ISOPARAFINICO DE CADENA LARGA

FIG 1-2

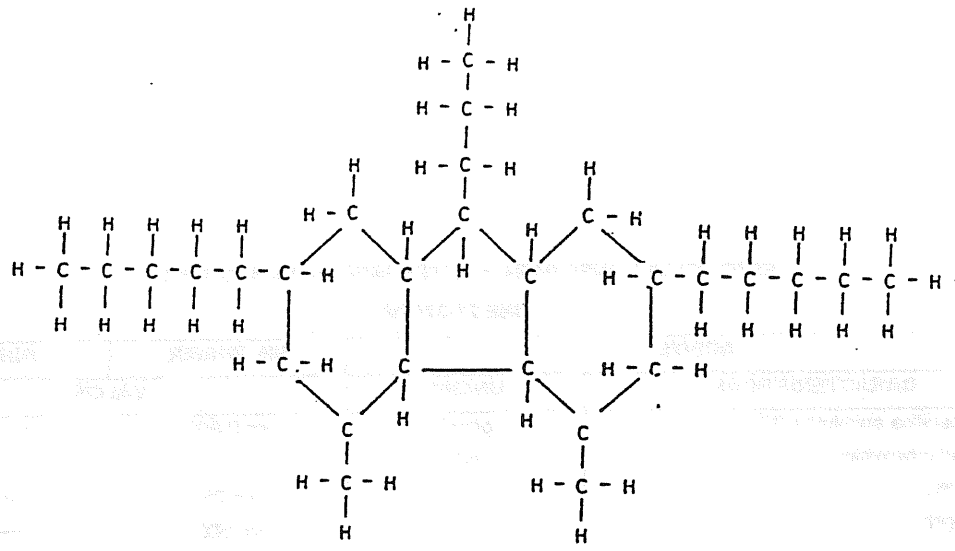


CICLOEXANO



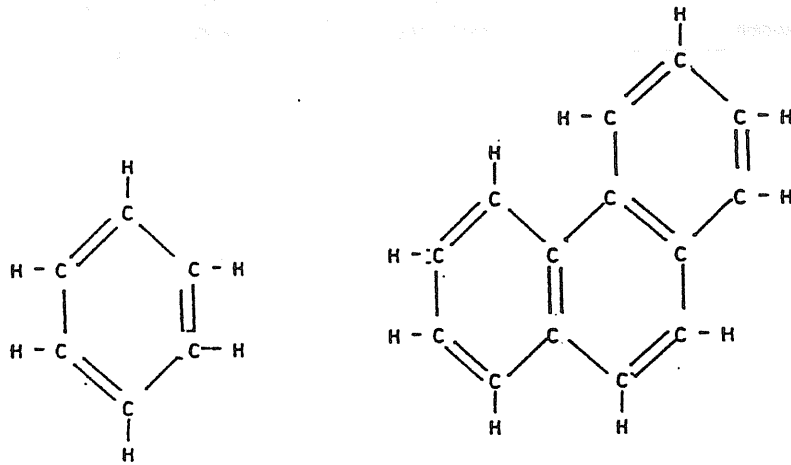
ESTRUCTURA TIPICA NAFTENICA

FIG 3



ESTRUCTURA TIPICA DE ACEITE MEZCLA NAFTENICA - PARAFINICA

FIG 4



BENCENO

ESTRUCTURA TIPICA DE AROMATICOS

FIG 5