

MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TRANSFORMADORES ELECTRICOS

Ing. William M. Murillo

1. Ensayos de Diagnósticos a Transformadores de Potencia

- 1.1. Ensayos Dieléctricos Generales
- 1.2. Ensayo de TIP-UP (Dependencia de la Tensión)
- 1.3. Medidas de Aislamiento Interno en Bornas
- 1.4. Ensayo de Excitación a Tensión Reducida (10 kV)
- 1.5. Ensayos de la Relación de Transformación
- 1.6. Ensayos de Resistencia de Devanados
- 1.7. Ensayos de Resistencia de Aislamiento en c.c.
- 1.8. Ensayo de Respuesta en Frecuencia (FRA)
- 1.9. Ensayo de Reactancia de Fuga
- 1.10. Ensayo de resistencia dinámica en reguladores
- 1.11. Análisis de Aceites

1. ENSAYOS DE DIAGNOSTICOS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA



1.1. ENSAYOS DIELECTRICOS GENERALES

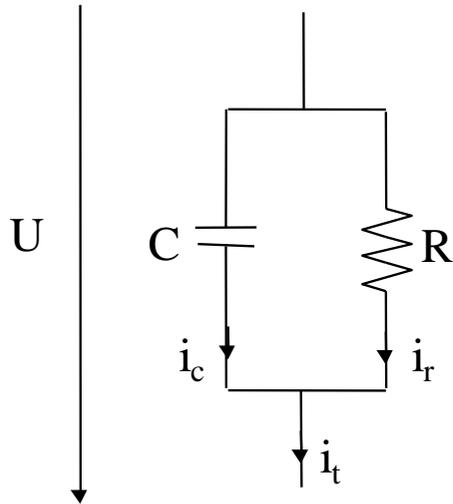
- Tangente de δ
- Capacidad (pF)
- Intensidad en el Dieléctrico (mA)
- Potencia de Pérdidas en el Dieléctrico

Permiten establecer el estado general del aislamiento de los equipos inspeccionados.

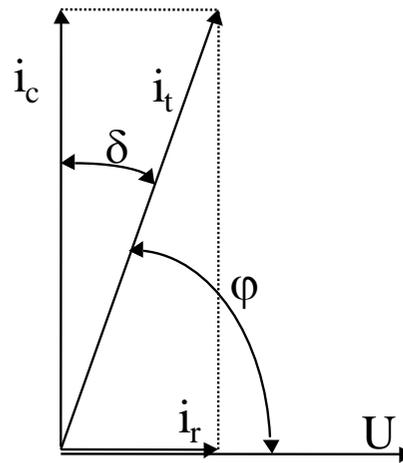


Equipo M 4000

Tangente de δ del Aislamiento



Circuito equivalente del condensador real



$$\cos \varphi = \frac{i_r}{i_t} \quad \text{tg} \delta = \frac{i_r}{i_c}$$

En un aislamiento en buenas condiciones, $i_t = i_c$

$$\cos \varphi \approx \text{tg} \delta$$

Los valores de $\tan \delta$ (%), muestran información acerca del estado del aislamiento. Valores elevados de tangente de δ implican que el dieléctrico se encuentra deteriorado o en proceso degenerativo.

1.1. ENSAYOS DIELECTRICOS GENERALES

Capacidad del transformador

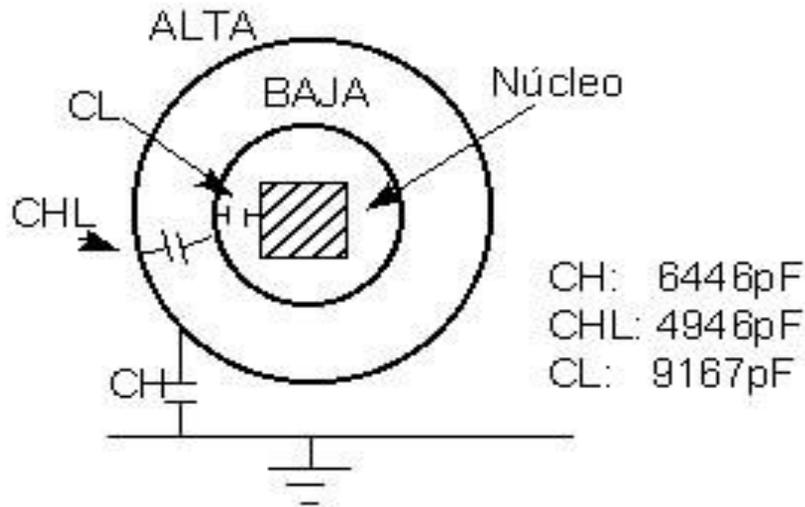


Fig.4.a.

Estado Correcto

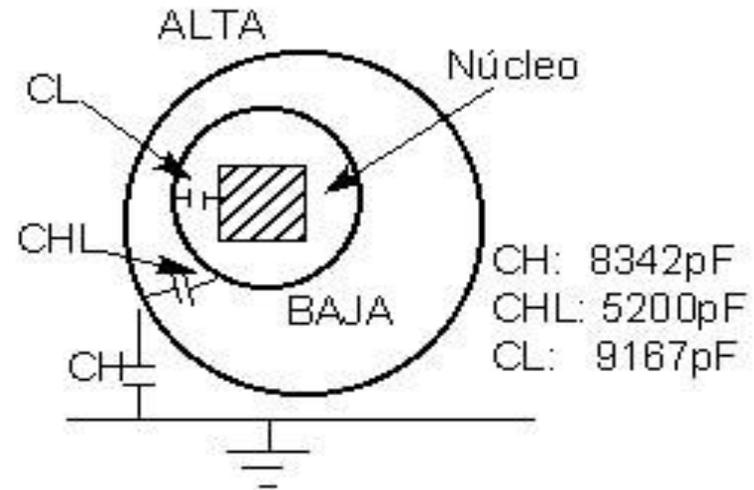


Fig.4.b.

Mal Estado

Los valores de capacidad ofrecen información principalmente acerca de la configuración geométrica del transformador.

1.1. ENSAYOS DIELECTRICOS GENERALES

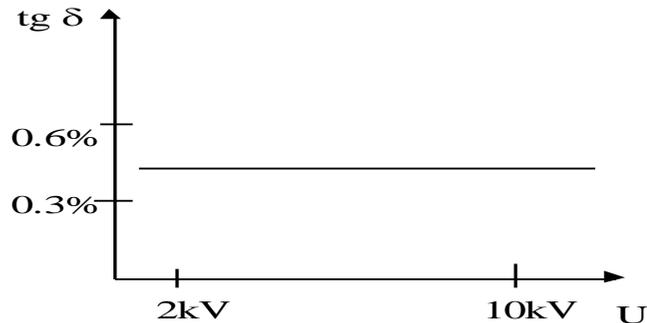
Potencia de Pérdidas

El valor de la potencia de pérdidas (W o $P = U \cdot I$) es reflejo principalmente del grado de contaminación superficial y de humedad. Un valor de la potencia alto indica una corriente resistiva grande.

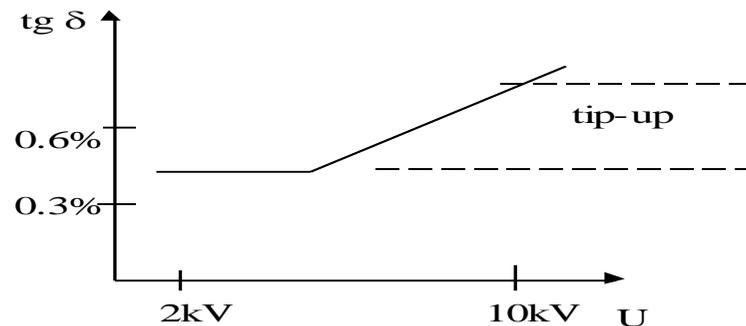
$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} \cong \cos \varphi = \frac{I_R}{I_T} = \frac{P(\text{Wattios})}{E \cdot I_T}$$

1.2. ENSAYOS DE TIP- UP (Dependencia de la tensión)

Es la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos dieléctricos generales a diferentes tensiones. Esta comprobación permite establecer el nivel de gravedad del deterioro de un aislamiento.



Dieléctrico en buen estado



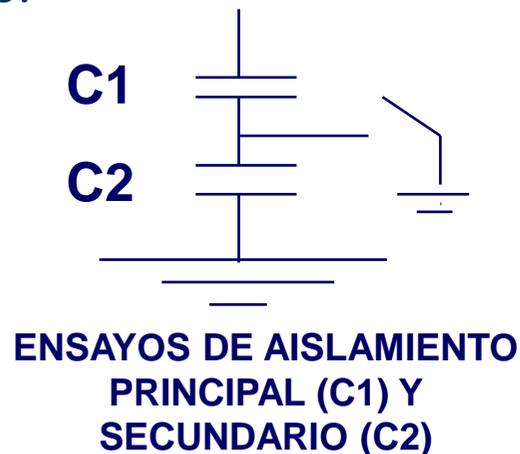
Dieléctrico deteriorado

Si la dependencia es significativa, aparece el concepto denominado “tip-up”, esto sugieren mal estado del aislamiento, dado que normalmente esta comprobación se realiza a 2kV y 10kV.

1.3. MEDIDAS DE AISLAMIENTO INTERNO EN BORNAS

En las bornas se realizan ensayos de $\text{tg } \delta$, capacidad, intensidad, potencia de pérdidas y ensayo de tip-up con el fin de verificar el estado de su aislamiento.

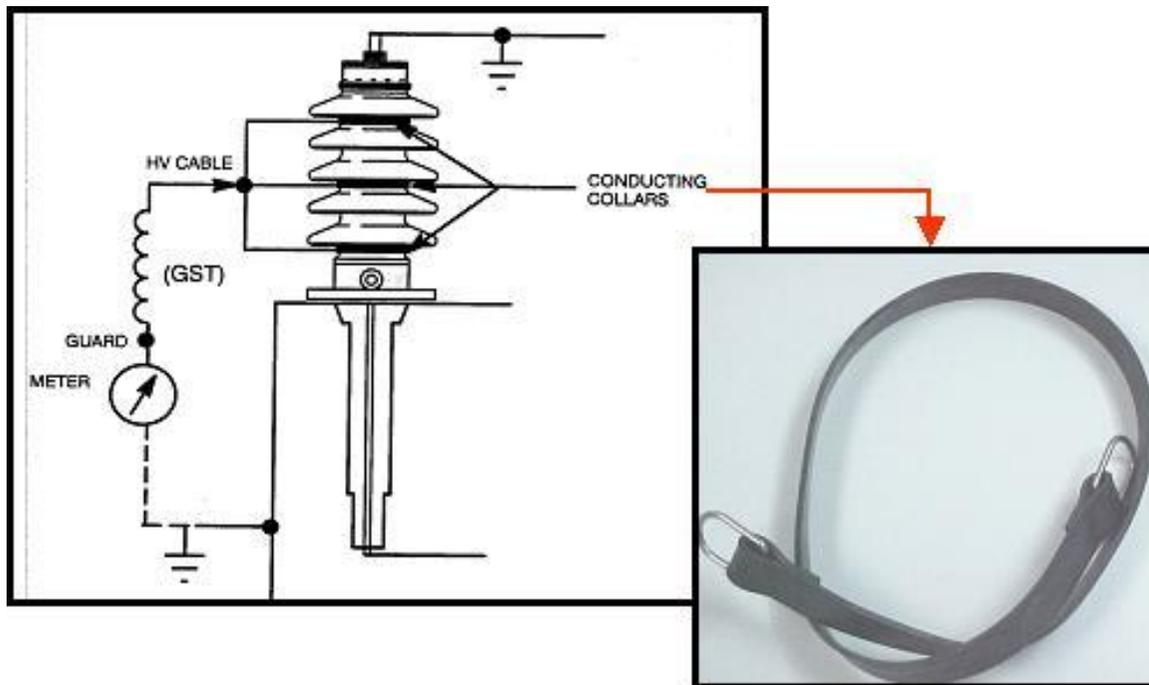
Las bornas capacitivas disponen de una toma capacitiva conectada a la última o penúltima capa metálica y que, mediante ensayos nos permite evaluar el estado del aislamiento interno.



1.3. MEDIDAS DE AISLAMIENTO INTERNO EN BORNAS

Las bornas más antiguas o de reducida tensión no disponen generalmente de toma capacitiva, en estos casos se realiza el ensayo conocido como de collar caliente.

Esta prueba es muy efectiva para detectar niveles bajos de líquido o relleno compuesto puesto que si hay aire donde se supone que debería haber líquido o relleno compuesto, la capacidad o carga total de corriente será más baja de lo normal. Esto es también muy útil para detectar fisuras en la borna.



COLLAR CALIENTE

1.4. ENSAYO DE EXCITACIÓN A TENSIÓN REDUCIDA (10 kV)

La aplicación de tensión a cada uno de los arrollamientos del transformador por separado, permite obtener lecturas de intensidad de magnetización y potencia de pérdidas.

Permite detectar los siguientes problemas:

- Cortocircuito entre espiras.
- Laminado de hierro en cortocircuito.
- Cambios en las características del hierro.
- Sistema de abrazadera del núcleo flojo.



1.5. ENSAYOS DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Tradicionalmente el ensayo de relación de transformación se realiza con TTR a Baja Tensión.

Sin embargo, si hubiese un defecto en el aislamiento (por ejemplo carbonilla entre dos espiras) a baja tensión esta carbonilla se comportaría como aislante. Por lo que no detectaría este defecto.

Al realizar el ensayo a 10 kV, circula corriente por dicha carbonilla, poniendo en cortocircuito las dos espiras afectadas y sería detectado el fallo.



TTR

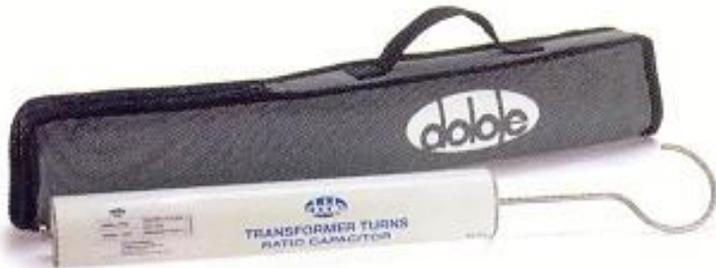
1.5. ENSAYOS DE LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

Permite detectar defectos de aislamiento de pequeña magnitud en los arrollamientos y en el regulador.

Las principales ventajas de medir la relación de transformación son los siguientes:

- Confirmar la relación de placa
- Detectar cortocircuito entre espiras en las bobinas

Capacitor usado con el M4100 para la medida de relación de transformación hasta 12 kV.



1.6. ENSAYOS DE RESISTENCIA DE DEVANADOS

El equipo utilizado es un Medidor de Resistencia auto-rango de $1\mu\Omega$ a 1000Ω (micro-ohmímetro) con una corriente de ensayo de hasta 20 A.

El diagnóstico se realiza en base a la comparación de las tres fases de cada arrollamiento y con la verificación de los resultados del ensayo con los datos del fabricante.

Este ensayo permite detectar :

- Fallos en Conexiones.
- Defectos en reguladores.
- Cortocircuitos entre espiras.
- Puntos calientes en el bobinado.



1.7. ENSAYOS DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO EN C.C

La resistencia de aislamiento es la medida universalmente más empleada para evaluar el estado de un aislamiento.

La medida se realiza habitualmente con un megóhmetro que proporciona directamente el valor de la resistencia de aislamiento y el índice de polarización.

El I.P. indica la limpieza y sequedad del aislamiento. Se consideran limpios y secos los aislamientos con I.P. superiores a **2**.

Cuanto menor sea el índice de polarización (cuanto más cerca esté de 1) mayor será la humedad y la contaminación.

$$I.P. = \frac{I_1}{I_{10}} = \frac{R_{10}}{R_1} \approx \frac{I_{conduccion} + I_{absorcion}}{I_{conduccion}} = 1 + \frac{I_{absorcion}}{I_{conduccion}}$$

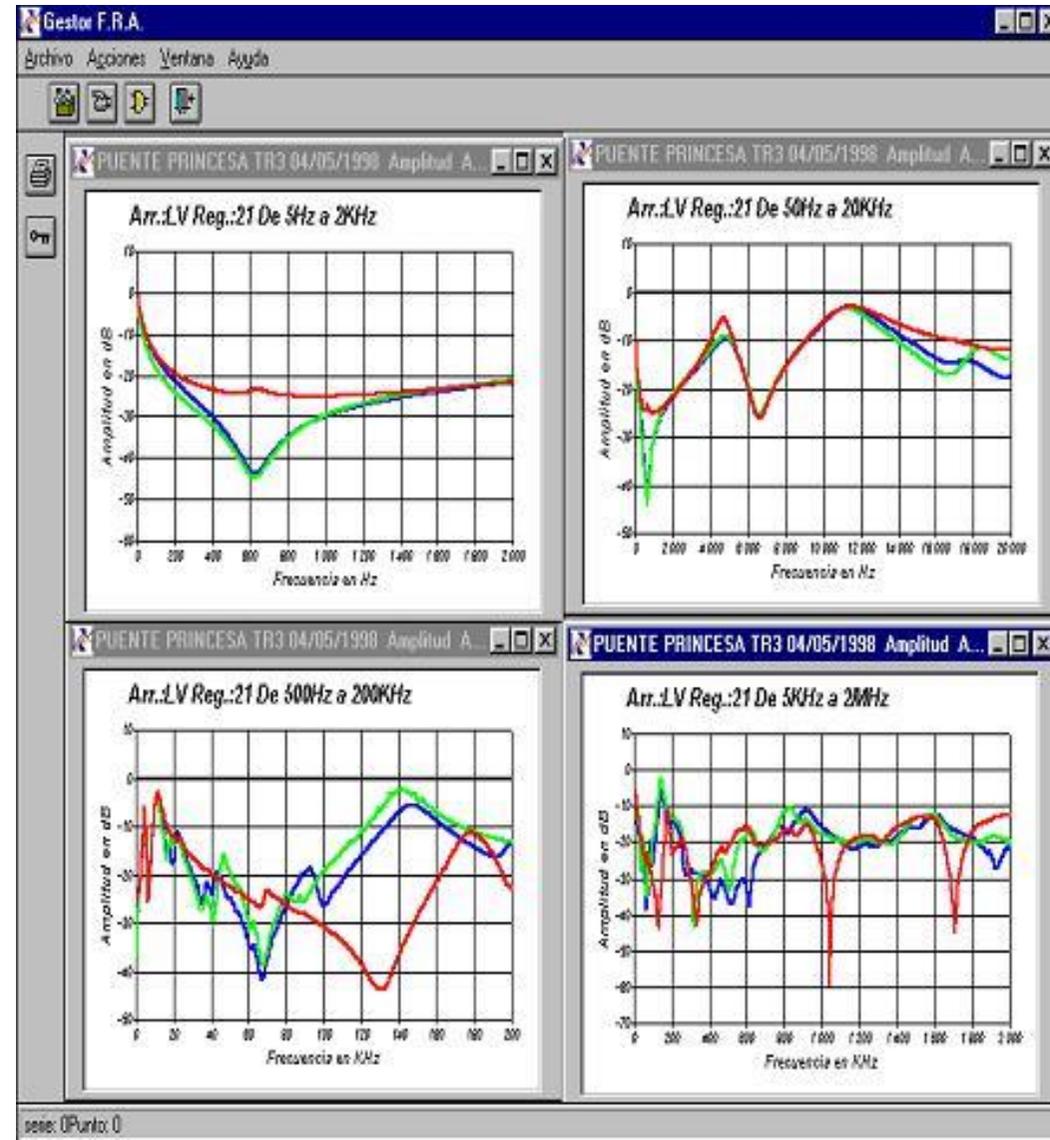


1.8. ENSAYO DE ANALISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA (F.R.A.)

El ensayo

Con el transformador fuera de servicio y completamente desconectado, se aplica a cada uno de los arrollamientos por separado, una señal de muy baja tensión (2Vrms) de frecuencia variable entre 5Hz y 10MHz.

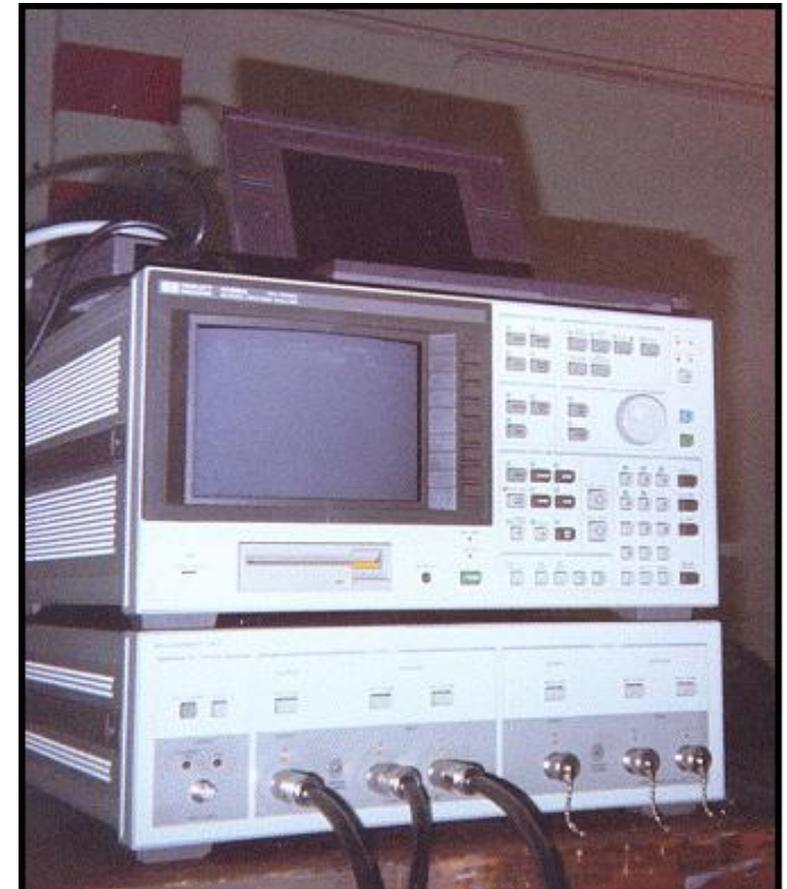
El diagnóstico se basa en el análisis de las curvas resultantes.



1.8. ENSAYO DE ANALISIS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA (F.R.A.)

Permite detectar:

- Movimientos de arrollamientos.
- Detección de defectos entre espiras, por pequeños que éstos sean.



Analizador de espectro

HP - 4195 A

1.9. ENSAYO DE REACTANCIA DE FUGA

Esta técnica es de especial interés en transformadores susceptibles de sufrir un **gran estrés mecánico** debido a cargas inductivas (arranque de grandes motores) que pueden motivar movimientos de arrollamientos en las máquinas.

El ensayo consiste en calcular la reactancia de fuga con el objeto de compararla con la impedancia de cortocircuito del transformador Z_{cc} (Dato de fábrica) que se calcula en base a la realización de un ensayo de cortocircuito.

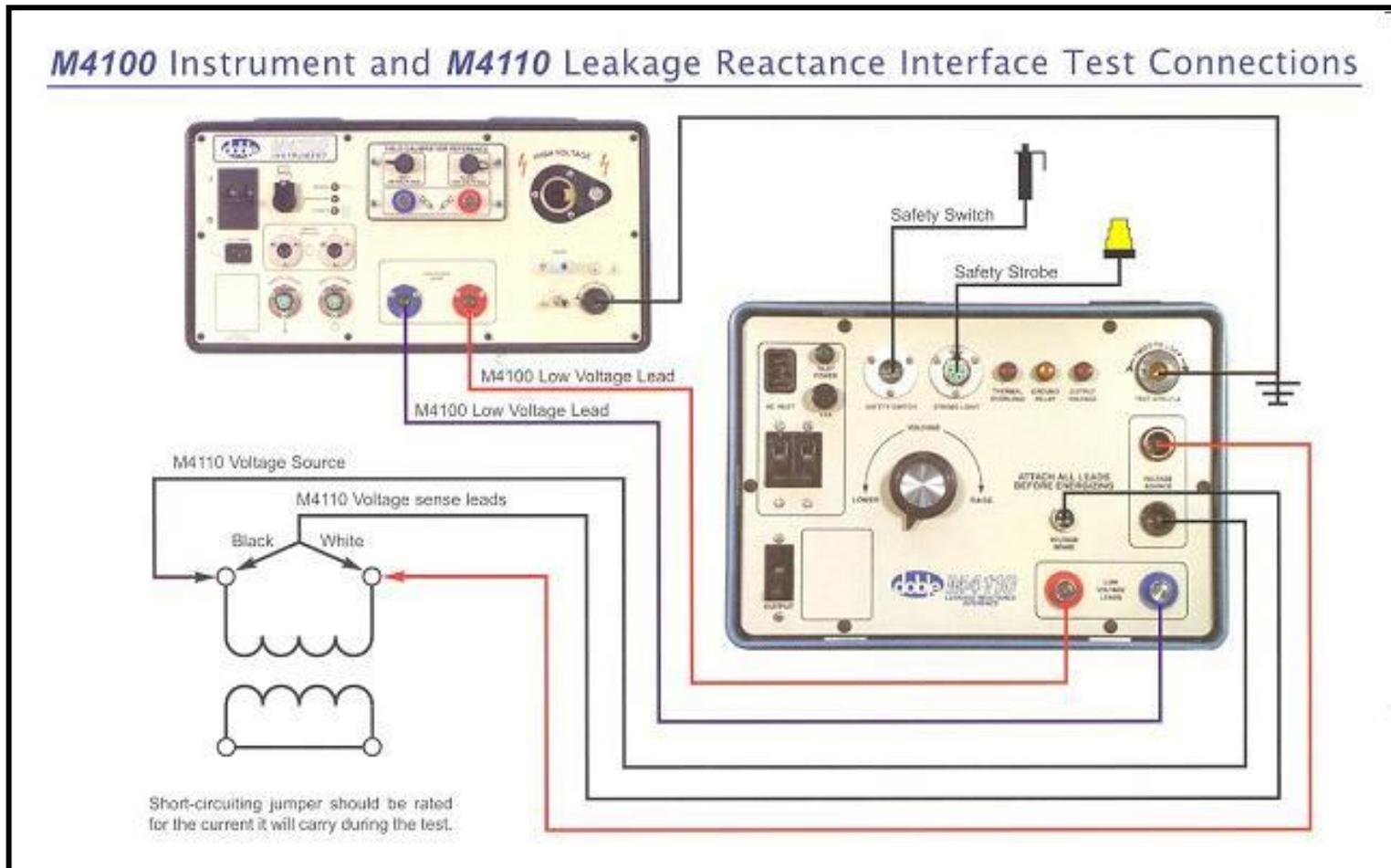


Módulo de Reactancia de fuga M 410



1.9. ENSAYO DE REACTANCIA DE FUGA

Método de ensayo: se realizan tres ensayos mediante la conexión de la fuente de tensión M - 4000 y de los cables de los sensores desde el equipo de medida de reactancia de fuga M - 4110 a cada par de terminales de línea.

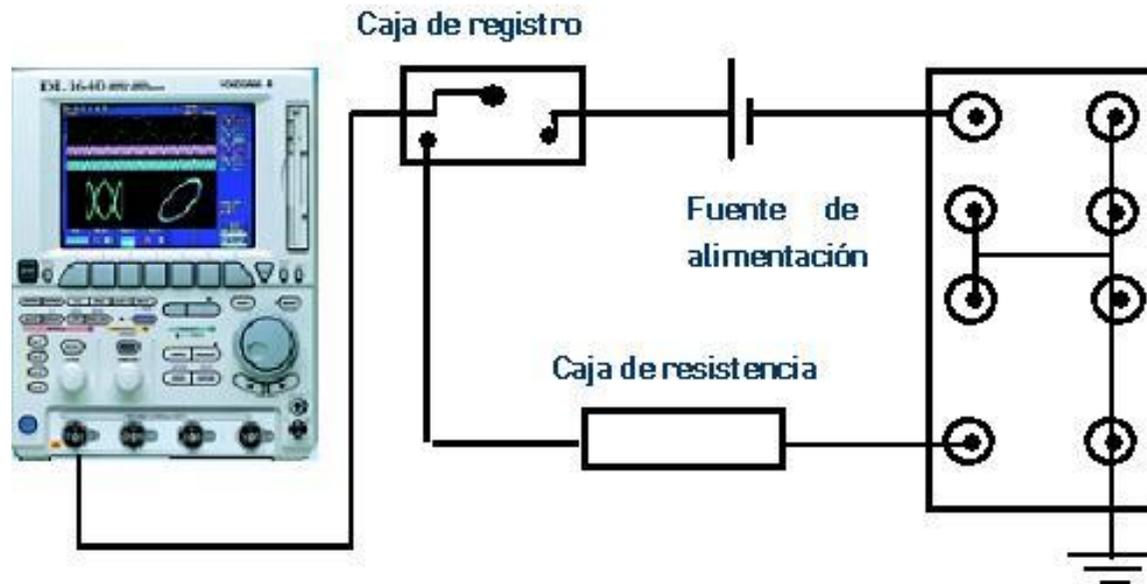


1.10. ENSAYO DE RESISTENCIA DINAMICA EN REGULADORES

Este ensayo combinado con el ensayo Doble y DGA proporcionan un diagnóstico completo del estado del transformador.

Objeto detectar defectos en los contactos del cambiador de tomas en carga (parte extraíble y parte fija en cuba).

Método de ensayo: inyección de tensión constante en el transformador registrando las variaciones de intensidad producidas al realizar un cambio de toma.



1.11. ANALISIS DE ACEITES

Los análisis de mantenimiento de aceites se dividen en 3 grupos principales según la información que reportan :

1. **Análisis físico-químicos**. Informan principalmente del estado del aceite y de los posibles contaminantes. Estos a su vez comprenden los siguientes ensayos:

- Tensión de ruptura dieléctrica.
- Contenido en agua.
- Tangente del ángulo de pérdidas.
- Acidez.

2. **Análisis cromatográfico de gases** Estos ensayos sirven para detectar defectos internos del transformador, falsas alarmas del rele buchholz.

3. **Análisis de compuestos furánicos** sirven para evaluar mediante métodos indirectos el estado del papel.

Tensión de Ruptura Dieléctrica

Se define como la tensión que es necesario aplicar entre dos electrodos para que se produzca un arco entre los mismos. Los electrodos se encuentran sumergidos en el fluido aislante a ensayar.

Se suele medir en kV referenciados según la norma UNE 21309 la cual establece la forma y la distancia de los electrodos. También suele darse en kV/cm.

**Aparato para la medida de la tensión de ruptura
("chispómetro")**



1.11. ANALISIS DE ACEITES - Análisis Físico – Químicos

Contenido en Agua

Karl-Fischer

Es la cantidad de agua en partes por millón en masa, contenidas en un aceite aislante.

Según UNE 21-384/92

En el laboratorio se emplea un aparato llamado Karl-Fischer. Básicamente se trata de una valoración (reacción del agua con otro compuesto) química.



Tangente de δ

Se define como la tangente del ángulo de pérdidas.

Este parámetro informa de la presencia de contaminación con productos polares, contaminación con agua no disuelta y contaminación por productos coloidales.

La tangente tiene una dependencia casi exponencial con respecto a la temperatura. Según sea la clase de contaminante puede variar el tipo de curva de la tangente con respecto a la temperatura.



Puente de medida de tangente de delta y capacidad [Tettex]

1.11. ANALISIS DE ACEITES - Análisis Físico – Químicos

Acidez

Se define como los miligramos de una disolución de KOH alcohólico necesarios para neutralizar un gramo de aceite. Un aceite nuevo tiene una acidez 0,01mgKOH/g. Es la manera de determinar el grado de envejecimiento del aceite.

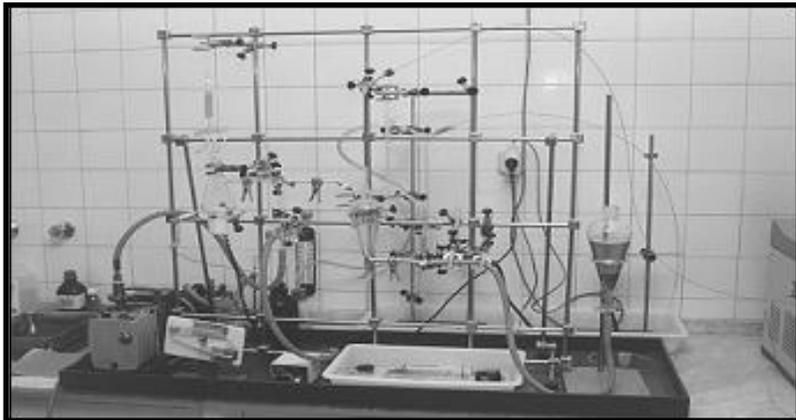
Medidor de la acidez (valorador)



1.11. ANALISIS DE ACEITES - Análisis Cromatográficos de Gases

El aceite bajo determinadas circunstancias puede producir gases. La cantidad, tipo y relación entre estos gases permite **diagnosticar** defectos en el transformador (térmicos, descargas parciales, arcos, etc.) y dan información acerca de la gravedad del defecto.

Por medio de la **Desgasificación del aceite** y el posterior **análisis Cromatografico**, se puede conocer el contenido cualitativo y cuantitativo de los gases.



Desgasificador de Aceite



Cromatógrafo

Fin presentación

William M. Murillo