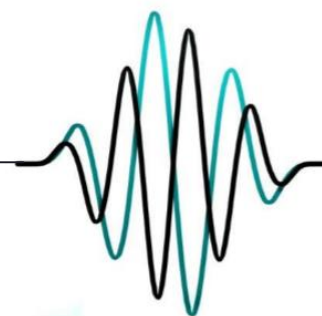




INSPT
UTN

LABORATORIO DE MEDICIONES



LIC. PROF. RICARDO G. DEFRANCE

Miembro Comité Normas de Concepto – AEA
Miembro Subcomité Medición de la Resistencia de PAT - IRAM



INSPT
UTN

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE AISLACIÓN

ÍNDICE DE POLARIZACIÓN E ÍNDICE DE ABSORCIÓN

AEA 91140

PROTECCIÓN CONTRA LOS CHOQUES ELÉCTRICOS ASPECTOS COMUNES A LAS INSTALACIONES Y A LOS COMPONENTES, MATERIALES Y EQUIPOS

AISLACIÓN

Se entiende por aislación (referido a un aislante) a un material, generalmente dieléctrico, destinado a impedir el pasaje o la conducción de la corriente eléctrica.

Nota: La aislación puede ser sólida, líquida o gaseosa (por ejemplo aire) o una combinación de ellas.



INSPT
UTN

3.10.1 Aislación básica (VEI 195-06-06) Aislación de las partes activas o vivas peligrosas que proporciona la protección básica.

Nota: Este concepto no se aplica a la aislación utilizada exclusivamente por razones funcionales.

3.10.2 Aislación suplementaria (VEI 195-06-07) Aislación independiente aplicada adicionalmente a la aislación básica, para proporcionar la protección (contra choques eléctricos) en caso de defecto o falla (de la aislación básica).

3.10.3 Doble aislación (VEI 195-06-08) Aislación que comprende, a la vez, una aislación básica y una aislación suplementaria.

3.10.4 Aislación reforzada (VEI 195-06-09) Aislación de las partes activas o vivas peligrosas que proporciona un grado de protección contra los choques eléctricos, equivalente a la doble aislación.



INSPT
UTN

AISLANTES

La estructura de un aislante, desde el punto de vista de cargas eléctricas, puede considerarse como un conjunto de partículas cargadas eléctricamente, de 2 tipos:

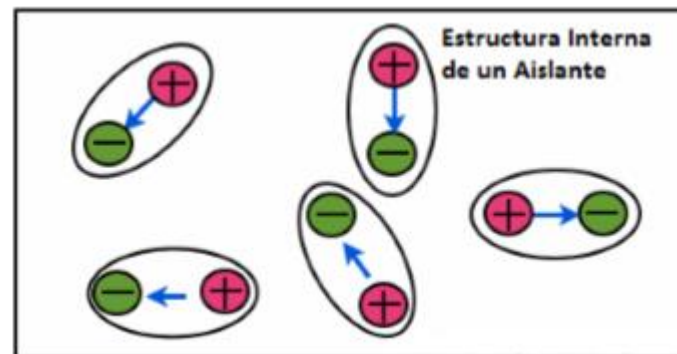
- Cargas Libres (positivas y negativas).
- Cargas Asociadas (llamadas **dipolos**).



INSPT
UTN

AISLANTES

Las cargas libres son responsables de la conducción, éstas son: **electrones** o **iones** (sub-partícula cargada eléctricamente, + o -), que pueden desplazarse. Por otro lado, los dipolos son pares de carga de distinto signo (+ -), que se mantienen distribuidas por la estructura, sin desplazarse, aunque pueden girar sobre su eje.





INSPT
UTN

Al contrario de un conductor, un **dieléctrico o aislante** se caracteriza en el caso ideal porque no contiene electrones libres (u otras partículas cargadas) o porque no las posee en número apreciable en el caso real. Esto significa que las cargas eléctricas que hay en el interior de un dieléctrico se hallan ligadas a sus posiciones. Como las fuerzas eléctricas son de carácter elástico, al aplicar un campo eléctrico, las cargas eléctricas positivas y negativas se desplazarán en una pequeña distancia en sentidos contrarios creándose, en el interior del dieléctrico, dipolos eléctricos elementales. El efecto del material aislante sobre el campo eléctrico se toma en cuenta definiendo para cada punto un vector polarización dieléctrica P igual al momento dipolar eléctrico por unidad de volumen.



INSPT
UTN

Se dice que el material se **polariza**, esto significa que los dipolos se orientan por acción de una fuente externa.

- Un material con esta condición se llama: **Dieléctrico**.
- Es una condición reversible, es decir: en presencia de la fuente externa se mueven, pero al retirarse tienden a relajarse.
- Si se alimenta con corriente alterna el efecto es igualmente alterno, es decir los dipolos giran constantemente.



INSPT
UTN

En el ensayo con corriente continua (CC), el fenómeno que predomina es la **resistencia de aislamiento** (RA). A diferencia de las pruebas de aislamiento en corriente alterna (CA), donde la característica más importante es la **capacitancia**, útil para encontrar problemas internos del material. Es así como la resistencia de aislamiento se ve **afectada principalmente por la presencia de humedad y contaminación en las capas exteriores, y la temperatura**. Es posible usar la Ley de Ohm para encontrar la relación que describe la prueba, esto es (IR: Resistencia de Aislamiento):

$$R [M\Omega] = V / I$$



INSPT
UTN

If: **Corriente de fuga**, que circula por los contaminantes y zonas externas de los aislantes. Constante en el tiempo.

Ic: **Corriente capacitiva**, relacionada con la carga del capacitor que se forma, desaparece en el primer minuto de prueba.

Ip: **Corriente de absorción o polarización**, se relaciona con el movimiento de los dipolos, que se re orientan en presencia de la fuente de CC.



INSPT
UTN

Las cualidades fundamentales que debe poseer un **aislante** para desempeñar bien su servicio son:

- Elevada rigidez dieléctrica.
- Estabilidad dimensional y aptitud de conservar esta propiedad en el tiempo.



INSPT
UTN

A diferencia de los materiales ferromagnéticos que pueden ser sometidos a elevados valores de inducción sin que se alteren sus características estructurales, en un aislante inmerso en un campo eléctrico, por desplazamiento de las órbitas de los electrones periféricos, se producen sollicitaciones que puede ser soportada hasta un cierto límite, más allá del cual se verifica el fenómeno de la descarga, con pérdida permanente o temporaria de las cualidades del aislante.



INSPT
UTN

La descarga puede ser **autorregenerativa** (aislamientos en aire o aceite) o **no autorregenerativa**, cuando se produce un daño irreversible del aislante. Se denomina **rigidez dieléctrica** de un determinado material, el gradiente eléctrico máximo que puede soportar. Su valor se puede determinar experimentalmente mediante los procedimientos e indicaciones establecidos por normas.



INSPT
UTN

Prueba del Índice de Polarización (IP)

Cuando se hace una prueba de aislamiento en corriente continua, los dipolos tienden a orientarse por acción de la fuente externa. Esta orientación sigue la Ley de Cargas, que enuncia que las cargas de igual signo se repelen, mientras que las de diferente signo se atraen. El IP fue desarrollado para hacer una interpretación menos sensible a la temperatura, y es la división de dos valores de RA, en dos diferentes momentos, por lo que no tiene Unidades. La fórmula del IP es:

$$IP = \frac{R_{10 \text{ min}}}{R_{1 \text{ min}}}$$



INSPT
UTN

El **índice de polarización** de un aislamiento es un valor adimensional que nos va a permitir hacer comparaciones sobre el estado del aislamiento de maquinas de distintas características (tamaño, potencias, tensiones).



INSPT
UTN

Un **IP de 2 a 4 se considera aceptable**. Aunque se prefiere mínimo de 3. Este criterio de aceptación, sin embargo, no se aplica al actual sistema de aislamiento en motores modernos, ya que muestran valores de RA muy altos, especialmente máquinas con sistemas VPI. La **norma IEEE 43** indica que cuando se obtengan RA mayores a 5000 MΩ la prueba de IP pierde sentido.



INSPT
UTN

Además en la fórmula de IP, la corriente de polarización se utiliza para determinar si la corriente de fuga I_f es excesiva. Si esta corriente es mucho más grande que la de polarización actual, el IP será de aproximadamente uno. Se sabe a partir de la experiencia, que si el IP es aproximadamente uno, la corriente de fuga es suficientemente grande, y predomina en la prueba. A la inversa, si la de fuga es baja comparada con la corriente de polarización, el IP será mayor que 2.



INSPT
UTN

Prueba del Índice de absorción

El índice de absorción (IA), DAR Dielectric Absorption Rate, por sus siglas en ingles, refleja el grado de contaminación interna de los bobinados. la relación mas común es de 60 segundo con respecto a 30 segundos.

$$\text{DAR} = \frac{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al minuto 1}}{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al segundo 30}}$$



INSPT
UTN

Índice de Polarización

IP: <1	Peligro
IP: >1 , <1.5	Regular
IP: >1.5 , <2.0	Precaución
IP: >2 , <4	Bueno

Índice de Absorción

DA: <1.1	Peligro
DA: >1.1 , <1.25	Regular
DA: >1.25 , <1.4	Precaución
DA: >1.4 , <1.6	Bueno



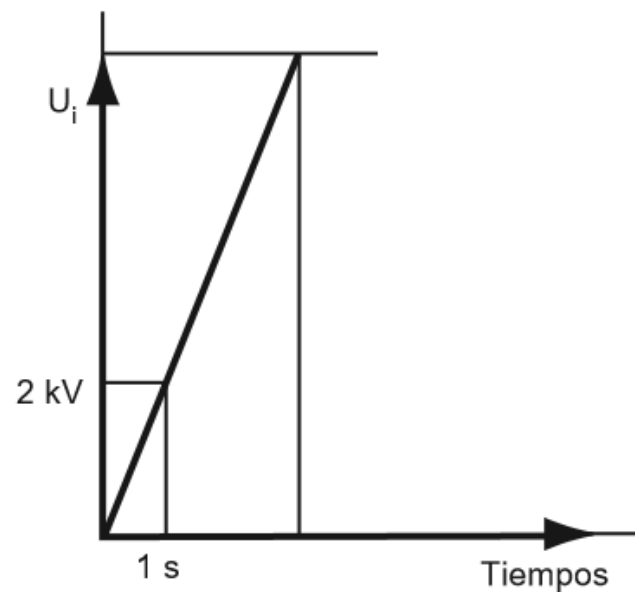
INSPT
UTN

RIGIDEZ DIELECTRICA

Se define por el **máximo gradiente de potencial que puede soportar un aislante sin que se produzca la descarga disruptiva** (perforación del dieléctrico).

Si aumentamos progresivamente la tensión alterna aplicada entre electrodos que atraviesa un aislante, o aplicada entre sus caras, observaremos en principio fenómenos luminosos (efluvios, penachos), seguidamente y de repente, una ruptura, es decir, una descarga disruptiva de un electrodo a otro, a través o a lo largo del aislante.

Llamamos «tensión instantánea de ruptura» la que se alcanza elevando la tensión a la velocidad convencional de 2 KV/s.



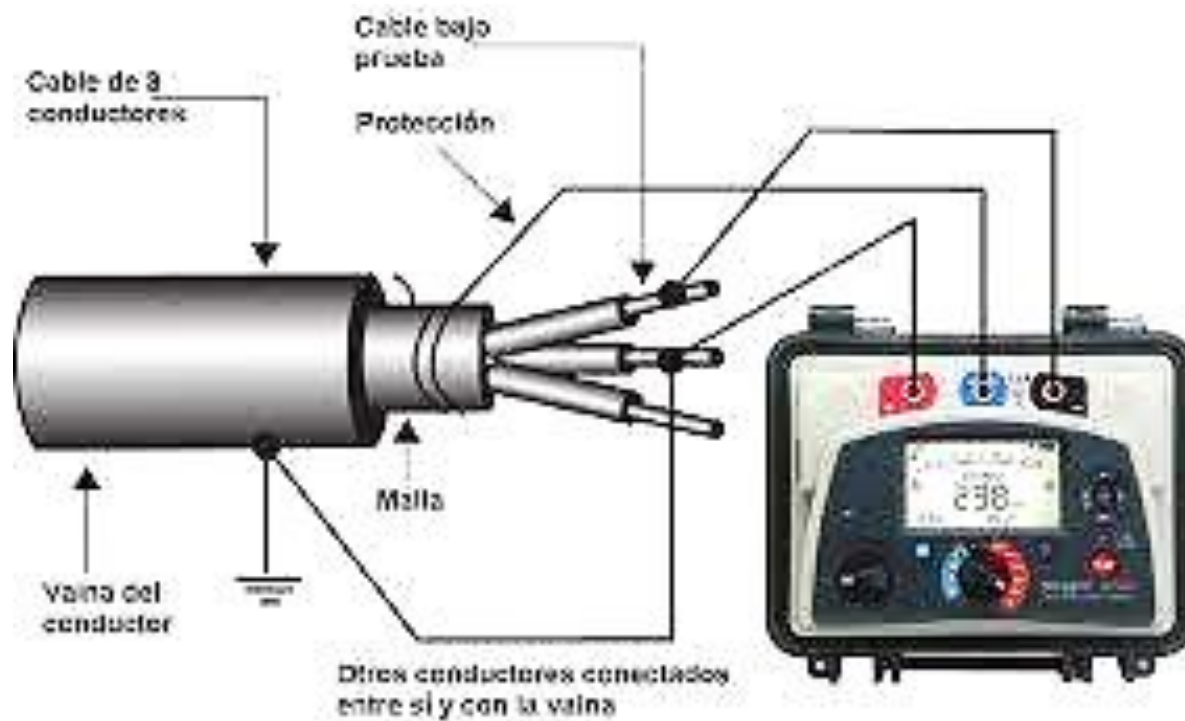


INSPT
UTN

La **rigidez dieléctrica** es una magnitud muy importante en la técnica del aislamiento de transformadores, generadores, etc.



INSPT
UTN





INSPT
UTN

Corriente de Conducción

La corriente de conducción (de fuga) es la más importante, cuando se trata de evaluar el estado de una aislación empleando métodos C.C. como por ejemplo el escalón de tensión. La corriente de conducción puede circular sea a través del volumen de la aislación o por las superficies de fuga tales como las de los aisladores terminales. La corriente de conducción, al contrario de las componentes capacitiva y de absorción, representa una corriente de pérdida no reversible. Si las fugas en las superficies terminales son despreciables, la magnitud de la corriente de conducción es proporcional a la capacidad de aislación.



INSPT
UTN

La **corriente de conducción** está determinada por la Ley de Ohm:

$$i_c = \frac{V_{cc}}{R_a}$$

V_{cc} = tensión continua aplicada

R_a = resistencia de aislación



INSPT
UTN

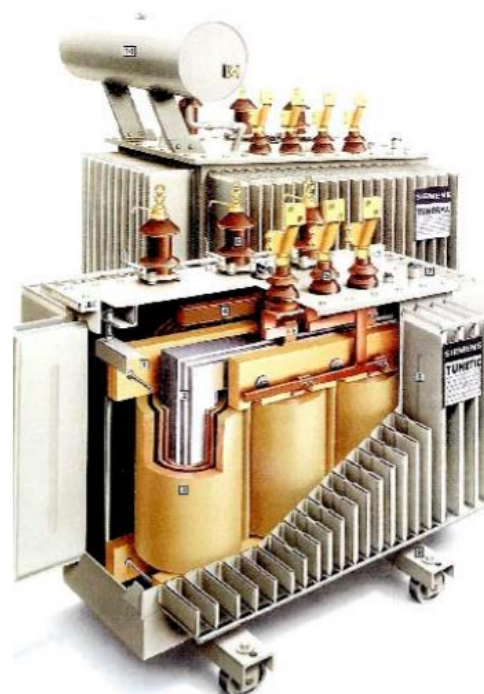
Teóricamente la corriente de conducción debería ser constante en el tiempo para cualquier valor fijo de tensión continuo aplicado. Esta constancia en el tiempo es una buena indicación de que la aislación en ensayo puede soportar bien la tensión aplicada. Cualquier tendencia de esta corriente a aumentar gradualmente en el tiempo para una tensión aplicada constante, es una advertencia de que la aislación en ensayo puede ser dañada si se continúa la prueba a dicha tensión.



INSPT
UTN

MEDIDA DE LA RA EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA

En un transformador de potencia, la medida de la resistencia de aislamiento tiene como fin dar una útil información sobre su estado, con objeto de poner al descubierto posibles defectos de aislamiento y determinar por medio de mediciones periódicas la probable degradación del mismo.





INSPT
UTN

En general, la resistencia de aislamiento, decrece con:

- el aumento de tamaño de la máquina,
- la mayor longitud del cable,
- el aumento de temperatura (la resistencia de aislamiento con el transformador frío es mayor que en caliente y asimismo mayor que cuando los bobinados están sumergidos en aceite).



INSPT
UTN

Aumenta con:

- la mayor tensión de la máquina como consecuencia del mayor grosor del material aislante.

Los valores obtenidos son siempre relativos, debido a que se ven influenciados por:

- la humedad,
- los deterioros en los aislantes,
- la suciedad.



INSPT
UTN

La **resistencia de aislamiento** es directamente proporcional al potencial aplicado e inversamente proporcional a la corriente resultante y al tiempo necesario para su estabilización.

Es necesario controlar con el **megohmetro** la estabilidad de la corriente, o bien, efectuar lecturas a tiempo fijo, por ejemplo, después de mantener durante un minuto la tensión aplicada, leyendo a continuación el valor de la resistencia de aislamiento,



INSPT
UTN

Tensión devanados	Tensión megohmetro
< 1 000 V	500 V
1 kV a 10 kV	2 500 V
> 10 kV	5 000 V
> 130 kV	30 000 V



INSPT
UTN

Absorción dieléctrica	Índice polarización	Condiciones de aislamiento
60s/30 s Relación	10min/1min Relación	Condición
-----	< 1	peligroso
< 1,1	< 1,5	pobre
1,1 a 1,25	1,5 a 2,0	dudoso
1,25 a 1,4	2,0 a 3,0	aceptable
1,4 a 1,6	3,0 a 4,0	bueno
> a 1,6	> a 4,0	excelente

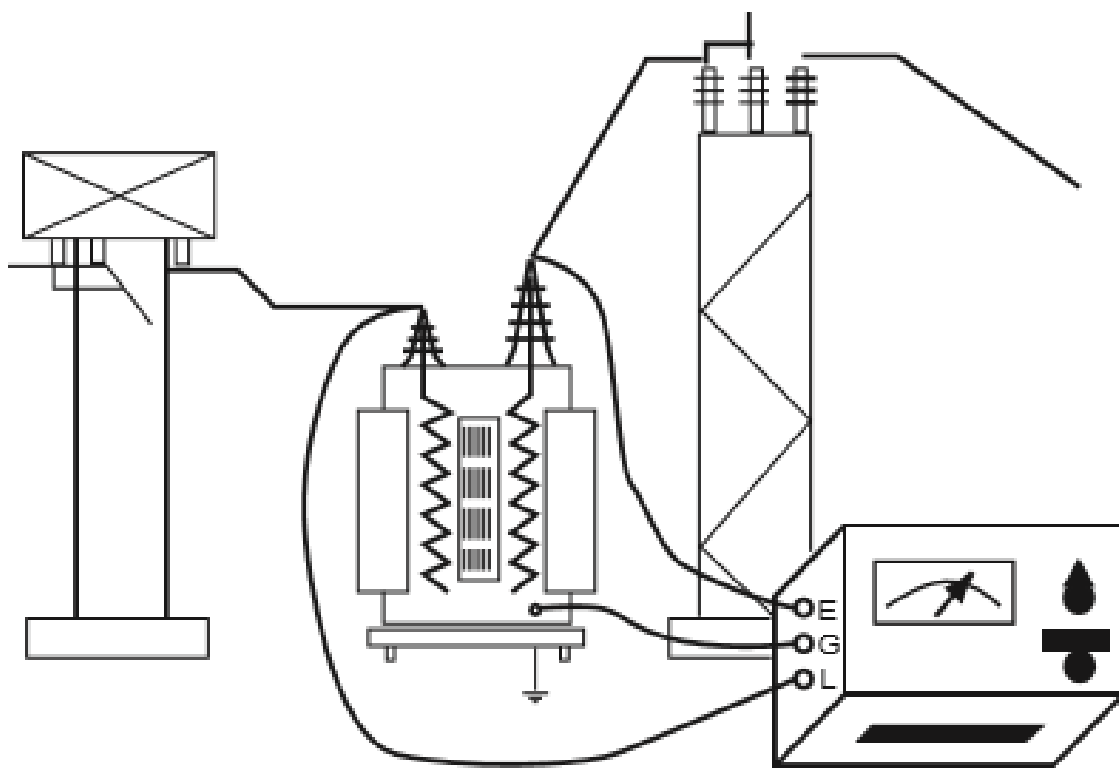


INSPT
UTN





INSPT
UTN



Prueba de AT contra BT protegido a tierra.



Bibliografía

AEA 91140 PROTECCIÓN CONTRA LOS CHOQUES ELÉCTRICOS ASPECTOS
COMUNES A LAS INSTALACIONES Y A LOS COMPONENTES, MATERIALES Y EQUIPOS

SCHNEIDER ELECTRIC (2004) MANUALES TÉCNICOS – ENSAYOS DE AISLACIÓN EN
EQUIPOS DE MT

NORMA IEEE 43

LABORATORIO DE MEDICIONES ©2020

UTN-INSPT

LIC. PROF. RICARDO DEFRANCE

ricardo.defrance@inspt.utn.edu.ar