

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

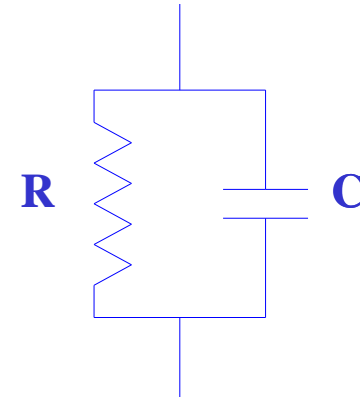
ÍNDICE

- Teoría de la prueba de factor de potencia
- El aislamiento ante la presencia de corriente alterna
- Métodos de medición
- Pruebas a Transformadores
- Pruebas a Interruptores
- Pruebas a transformadores de instrumento
- Pruebas a apartarrayos
- Pruebas a boquillas
- Pruebas a cuchillas

TEORÍA DE LA PRUEBA



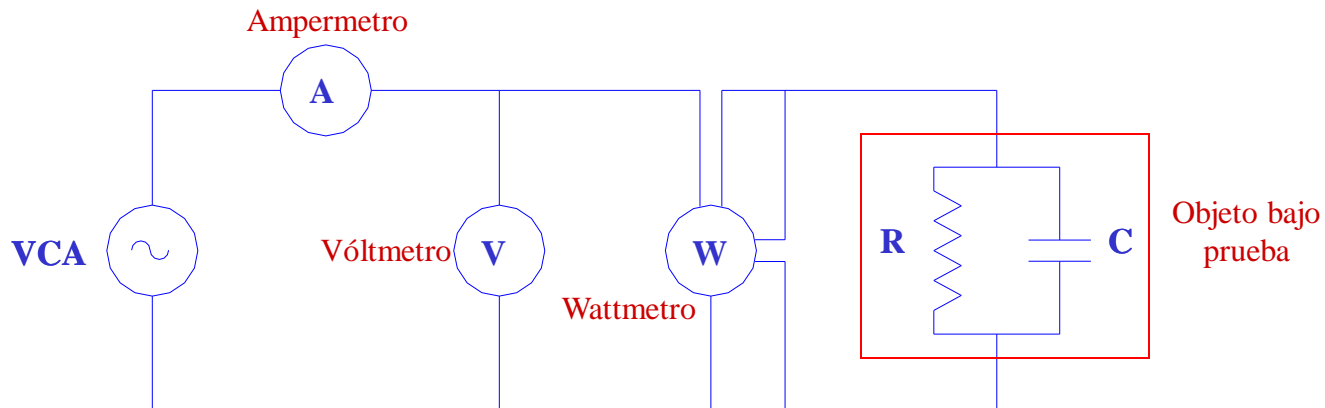
El principal objetivo de la prueba de factor de potencia es conocer el estado operativo de los aislamientos. Permite identificar cambios en sus propiedades dieléctricas debidos a los efectos de contaminación o envejecimiento.



El objeto bajo prueba puede representarse como un capacitor en paralelo con una resistencia, como se ilustra en la Figura.

TEORÍA DE LA PRUEBA

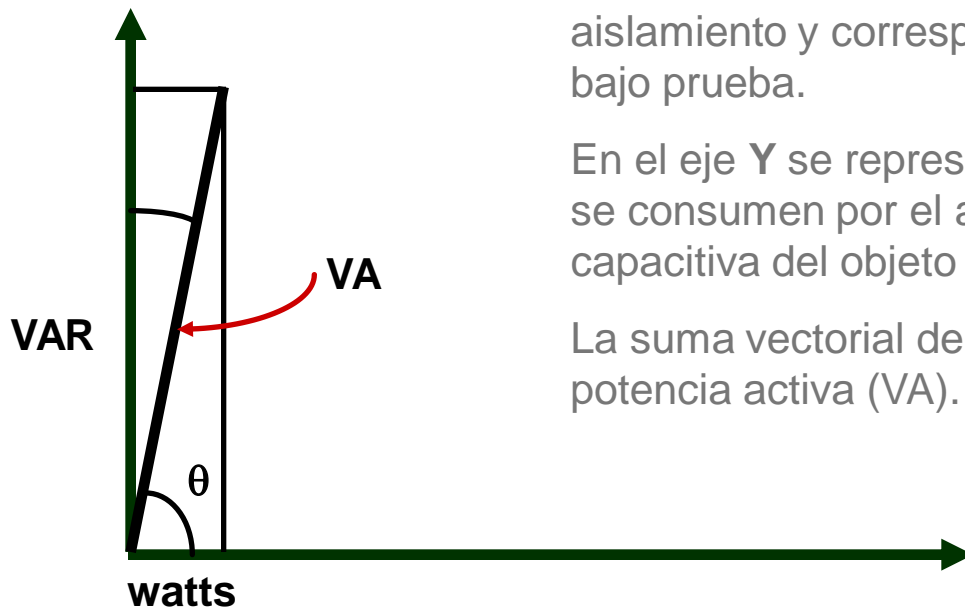
La prueba de factor de potencia consiste básicamente en aplicar voltaje de corriente alterna (VCA) al objeto bajo prueba y medir la corriente (A), el voltaje (V) y la potencia (W), como se ilustra en el siguiente diagrama:



Como se puede observar, los watts se miden directamente y los voltamperes (VA) se calculan multiplicando el voltaje medido en el vóltmetro por la corriente medida en el ampermetro. En la realidad no es necesario hacer esta multiplicación, ya que los equipos de pruebas despliegan directamente el valor de VA.

TEORÍA DE LA PRUEBA

Para poder determinar el factor de potencia resultante de las mediciones anteriores, debemos recordar la teoría del triángulo de potencias:



En el eje **X** se representan los watts que se disipan en el aislamiento y corresponden a la parte resistiva del objeto bajo prueba.

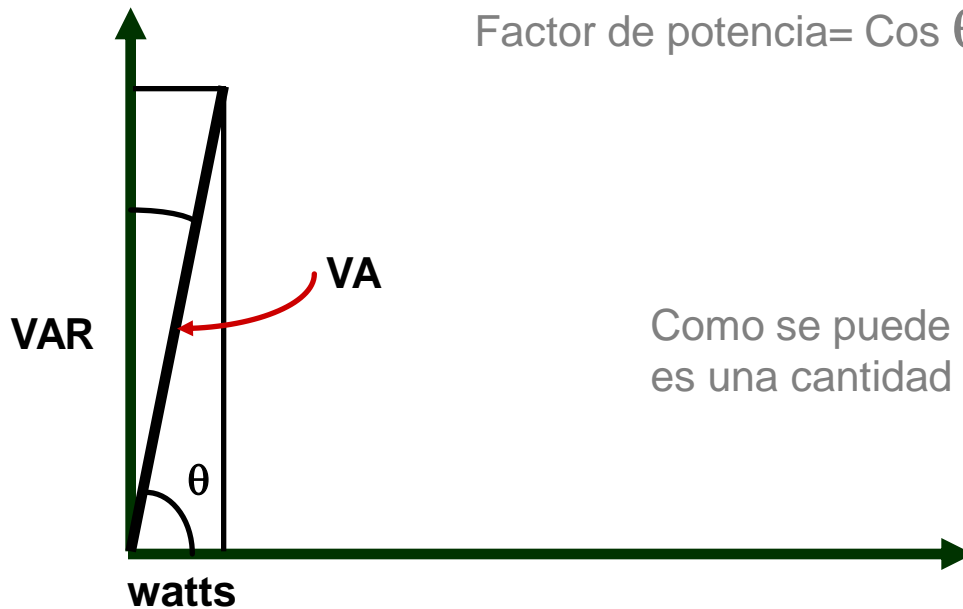
En el eje **Y** se representan los voltamperes reactivos que se consumen por el aislamiento, y corresponden a la parte capacitiva del objeto bajo prueba.

La suma vectorial de los dos anteriores corresponde a la potencia activa (VA).

TEORÍA DE LA PRUEBA

Por definición, el factor de potencia es el coseno del ángulo que forman los watts y los voltamperes. A este ángulo se le conoce como ángulo θ .

Por lo tanto, el factor de potencia se calcula como sigue:



$$\text{Factor de potencia} = \cos \theta = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}} = \frac{\text{watts}}{\text{VA}}$$

Como se puede observar, el factor de potencia es una cantidad adimensional.

TEORÍA DE LA PRUEBA

En resumen, cuando se realiza la prueba de factor de potencia, lo que se hace es medir los watts y los VA, y calcular su cociente.

Debido a que las pérdidas en los aislamientos (watts) son muy pequeñas en comparación con la energía aplicada (VA), es común expresar los valores en porcentaje. Para hacerlo se recorre el punto decimal dos lugares, evitando así usar cifras con muchos ceros a la izquierda. Por ejemplo, un valor de 0.002 es igual a 0.2 %.

Además, los valores medidos son tan pequeños que usualmente se expresan en miliwatts (mW) y milivoltamperes (mVA).

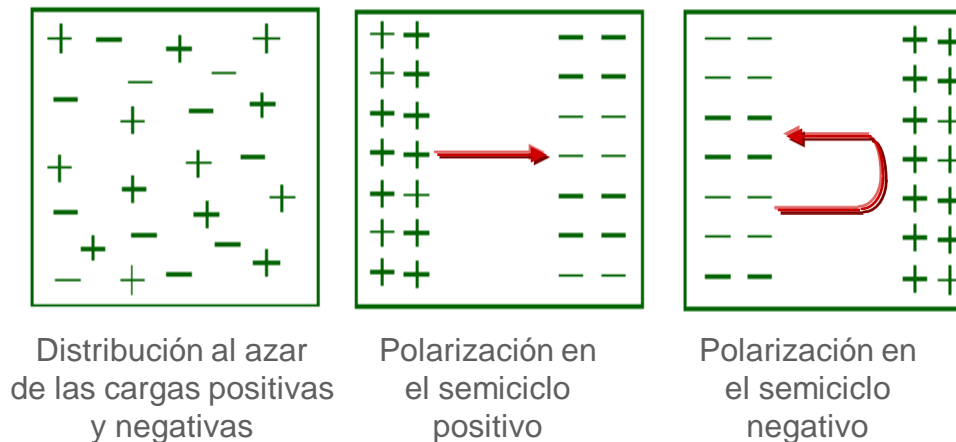
Por ejemplo, si tenemos una medición de 20 mW y 10,000 mVA, el factor de potencia es:

$$\text{Fact. Pot.} = \cos \theta = \frac{\text{mW}}{\text{mVA}} = \frac{20}{10000} = 0.002 = 0.2 \%$$

EL AISLAMIENTO ANTE LA PRESENCIA DE CORRIENTE ALTERNA

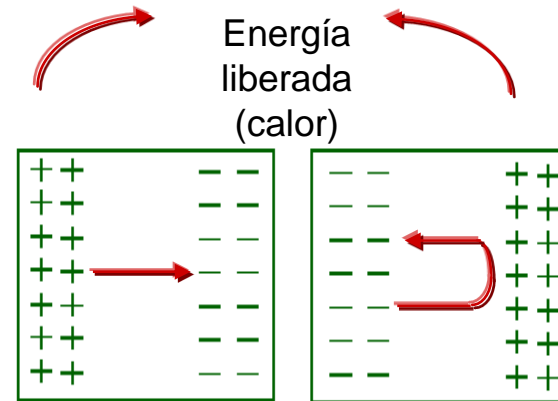
Cuando se tiene un aislamiento sin aplicarle voltaje, las cargas eléctricas positivas y negativas se encuentran distribuidas al azar, como se ilustra en la primera figura.

Al aplicar un voltaje de corriente alterna, **la polaridad cambia a una frecuencia de 60 ciclos por segundo (60 Hz)**. Durante cada semiciclo positivo, que dura aproximadamente 8 mseg, las cargas tienden a alinearse como se ilustra en la segunda figura. Sin embargo, después de transcurrido este tiempo, se inicia el semiciclo negativo, obligando a las cargas a desplazarse en el sentido opuesto como se ilustra en la tercera figura.



EL AISLAMIENTO ANTE LA PRESENCIA DE CORRIENTE ALTERNA

Este movimiento continuo de cargas dentro del aislamiento, se produce fricción molecular que es liberada en forma de calor (watts).



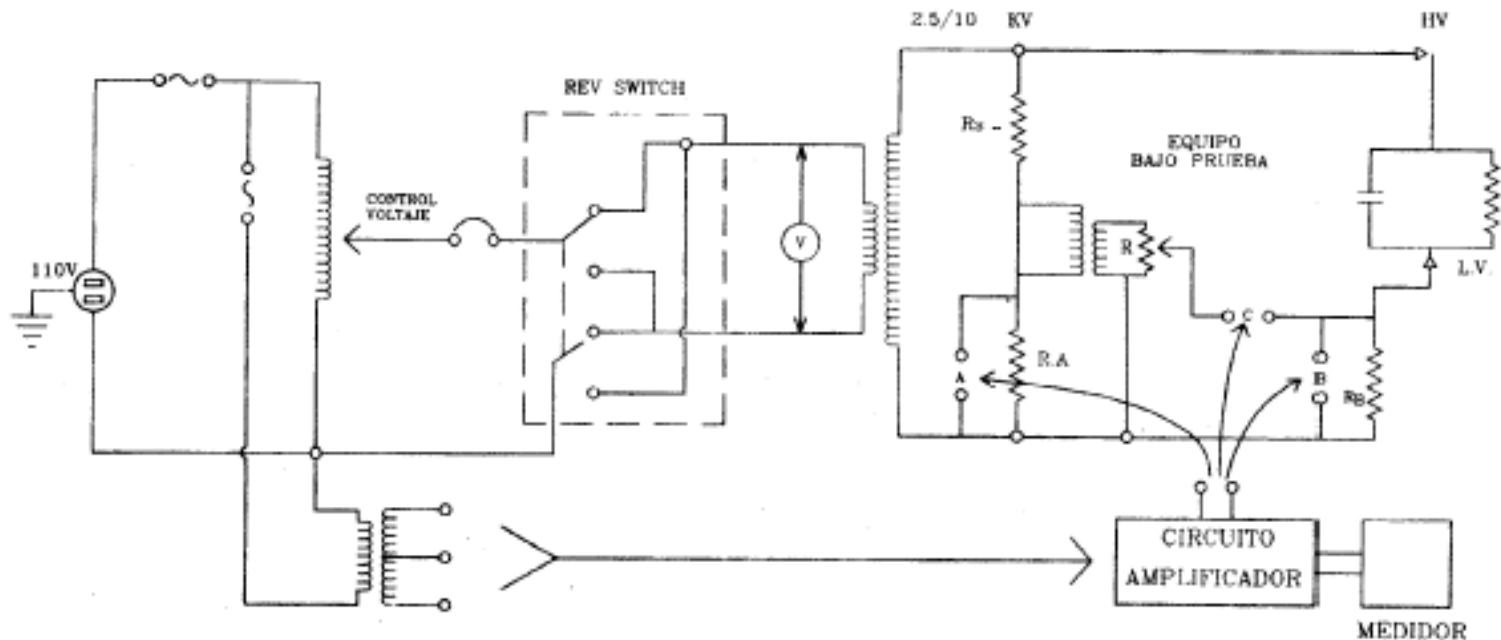
En la realidad, **todos los aislamientos tienen un cierto nivel de pérdidas**, y lo deseable es que sea lo menos posible. En la medida que el aislamiento se humedece o se degrada, va aumentando sus pérdidas y por lo tanto aumenta también su factor de potencia.

El aislamiento ideal es aquel que no tiene pérdidas (watts) y por lo tanto su factor de potencia es cero.

$$F.P. = \frac{\text{watts}}{VA} = \frac{0}{VA} = 0$$

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Existen diferentes tipos de medidores de factor de potencia y su operación cambia dependiendo del modelo y del fabricante. Los más comunes permiten medir watts y VA, como ya se mencionó en la teoría de la prueba. El circuito simplificado de este tipo de equipo se muestra en la Figura:



El procedimiento para realizar la medición de factor de potencia se detallará más adelante en la sección de ejercicios de simulación.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Para la realización de la prueba de factor de potencia se necesita un termómetro además del medidor, ya que el factor de potencia varía dependiendo de la temperatura. Por esta razón, es necesario convertir siempre el valor medido, a una temperatura de referencia, que usualmente es de 20°C.

Por otro lado, el valor del factor de potencia varía con el voltaje aplicado. Por ello es conveniente realizar las pruebas siempre a la misma tensión, con el fin de poder comparar las lecturas en diferentes tiempos y entre diferentes equipos de prueba. Se debe utilizar el voltaje más alto disponible, tomando la precaución de que no se exceda el voltaje de operación del equipo bajo prueba. Normalmente se prefiere utilizar tensiones de 2500 V.

La polaridad seleccionada para la prueba también tiene una cierta influencia en los resultados. Por esta razón, los equipos de prueba cuentan con un interruptor para invertir la polaridad. Es conveniente hacer la prueba con las dos polaridades y promediar los resultados.

MÉTODOS DE MEDICIÓN

Las conexiones entre el medidor de factor de potencia y el objeto bajo prueba varían dependiendo del equipo que se está evaluando. Por ello, los medidores de factor de potencia cuentan con un selector que permite realizar pruebas con las terminales aterrizadas (GST= Grounded Specimen Test), con las terminales no aterrizadas (UST=Ungrounded Specimen Test) o utilizando el cable de guarda. En los siguientes capítulos se indicará la conexión adecuada para probar los diferentes equipos.



PRUEBAS A TRANSFORMADORES

La prueba de factor de potencia en transformadores debe realizarse con el transformador desenergizado y completamente aislado.

Todas las terminales de cada devanado, incluyendo el neutro, deben conectarse juntas. El objeto es eliminar cualquier efecto de inductancia en las mediciones del aislamiento.

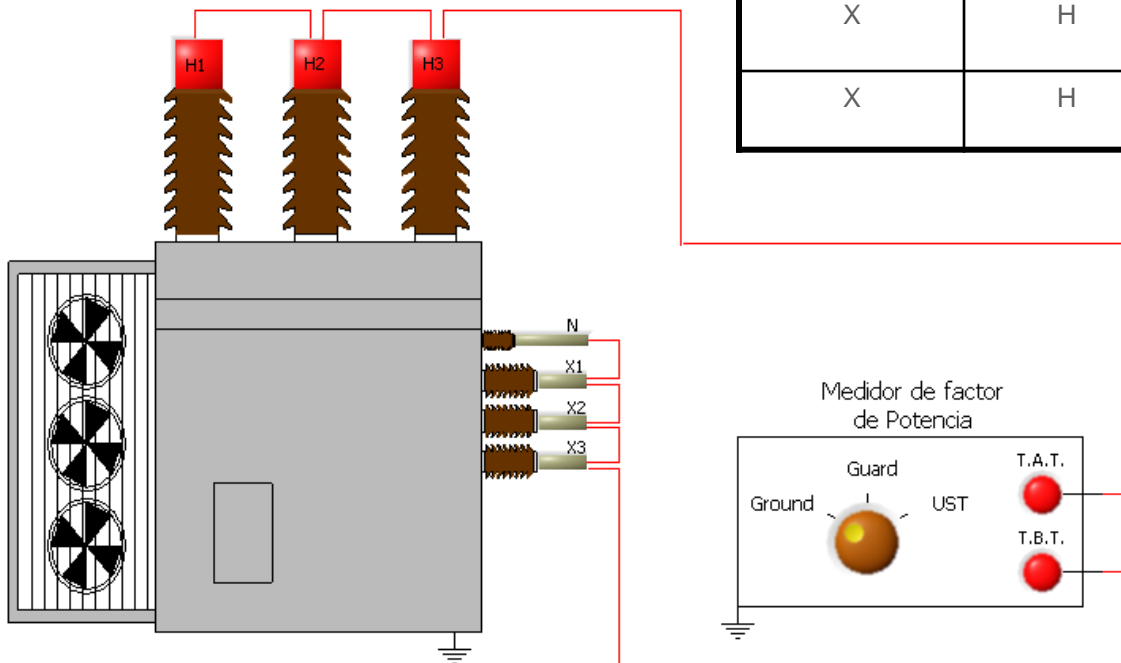


En las siguientes tablas y figuras se observan las formas correctas de realizar las conexiones.

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra

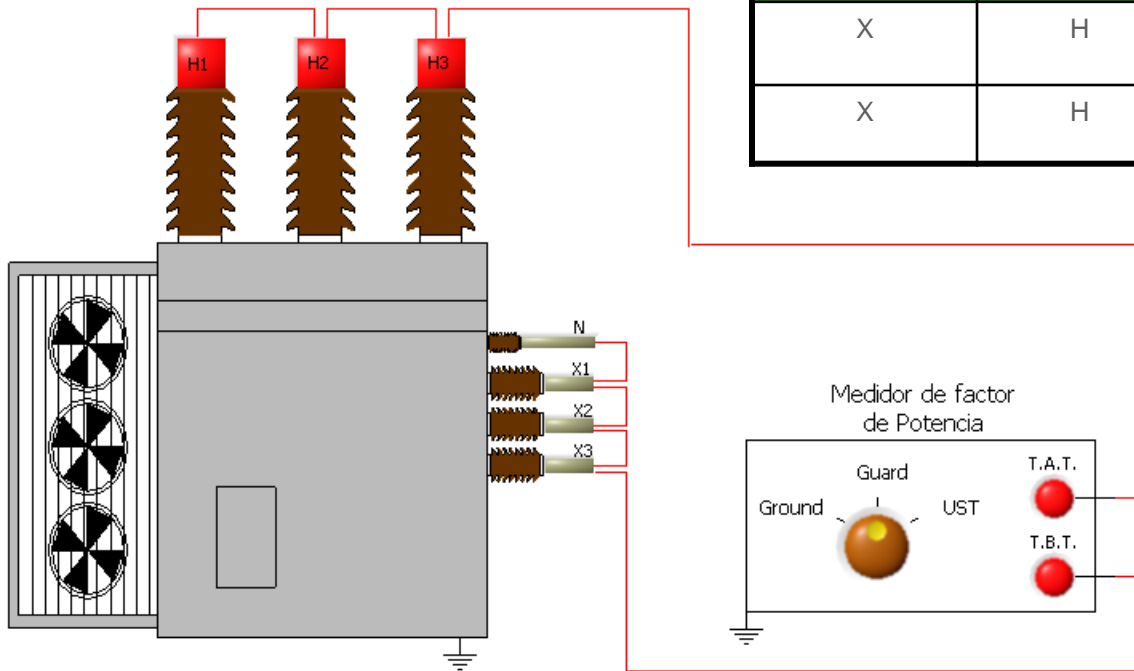
Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
H	X	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
H	X	Guard	Alta Tensión Vs. Tierra
X	H	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra
X	H	Guard	Baja Tensión Vs. Tierra



PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

Alta Tensión Vs. Tierra

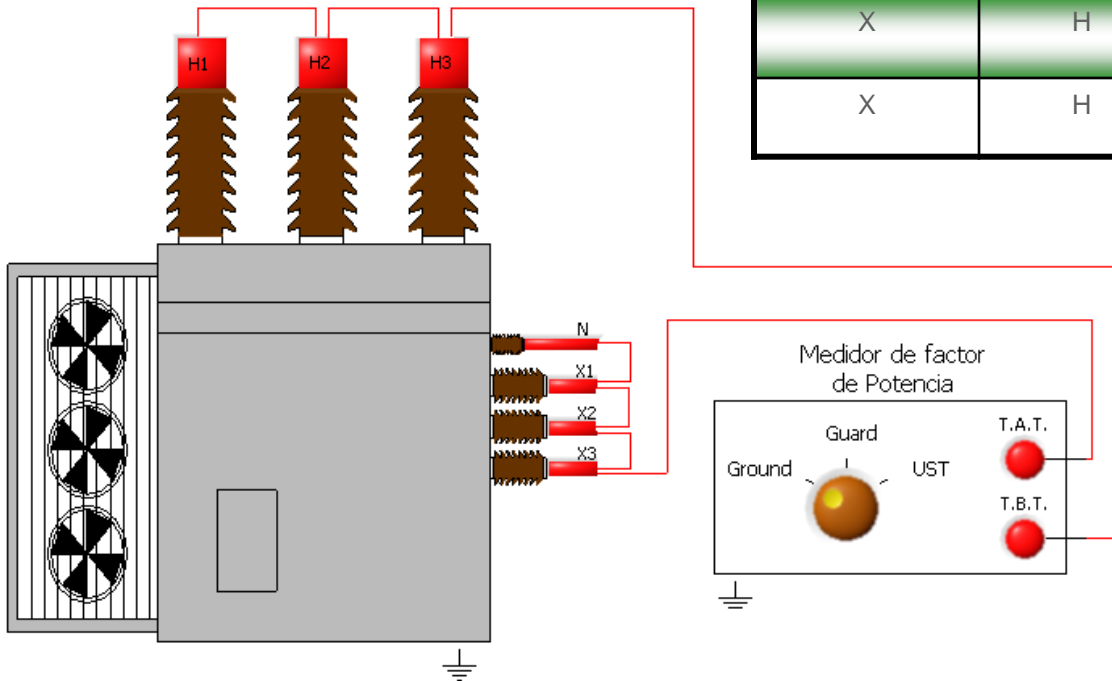
Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
H	X	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
H	X	Guard	Alta Tensión Vs. Tierra
X	H	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra
X	H	Guard	Baja Tensión Vs. Tierra



PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra

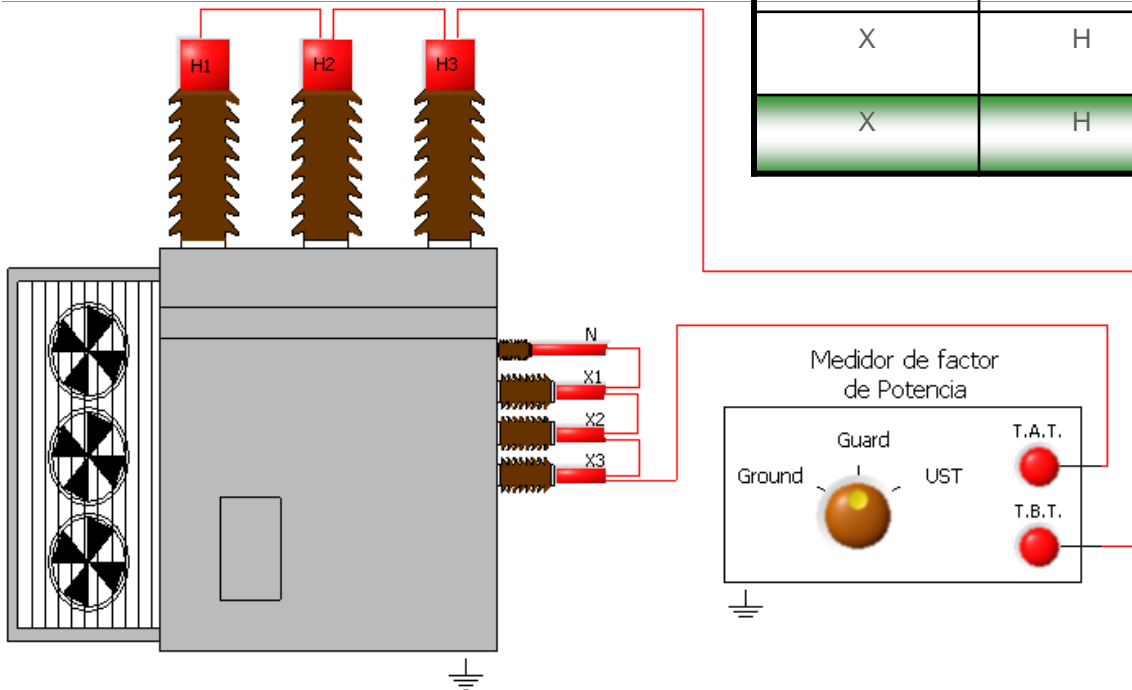
Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
H	X	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
H	X	Guard	Alta Tensión Vs. Tierra
X	H	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra
X	H	Guard	Baja Tensión Vs. Tierra



PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA

Baja Tensión Vs. Tierra

Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
H	X	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
H	X	Guard	Alta Tensión Vs. Tierra
X	H	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra
X	H	Guard	Baja Tensión Vs. Tierra



FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Supongamos que hemos tomado ya las lecturas de la prueba y obtuvimos los siguientes resultados:

$$mW=10; \quad mVA=56,587$$

$$\text{Factor de Potencia} = mW / mVA = 10 / 56,587 = 0.00176 = 0.176 \%$$

Antes de analizar los resultados, se debe hacer la conversión de todos los valores a 20°C, utilizando la siguiente tabla:

En este caso suponemos que la temperatura durante la prueba fue de 36 °C. Por lo tanto, el valor medido se debe multiplicar por un factor de corrección de 0.70.

Temp. del Transformador °C.	Factor de Corrección	Temp. del Transformador °C	Factor de Corrección
60	.41	28	.84
58	.43	26	.88
56	.45	24	.92
54	.47	22	.96
52	.49	20	1.00
50	.51	18	1.05
48	.54	16	1.09
46	.56	14	1.14
44	.59	12	1.19
42	.62	10	1.25
40	.65	8	1.31
38	.67	6	1.37
→ 36	→ .70	4	1.44
34	.73	2	1.50
32	.76	0	1.57
30	.80		

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Entonces, el valor del factor de potencia corregido a 20°C será:

$$FP_{20^{\circ}\text{C}} = 0.176 \times 0.70 = 0.123$$

El valor de factor de potencia representa el grado de humedad o deterioro del aislamiento. En la medida que sea menor, se considera que el aislamiento se encuentra en mejores condiciones de operación (más seco y menos contaminado). En la práctica, se recomienda que el factor de potencia en los transformadores sea menor a 0.5% a 20°C.

En este caso, el factor de potencia es de 0.123 %, valor menor al máximo recomendado. Por lo tanto se concluye que el transformador pasa la prueba satisfactoriamente.

PRUEBAS A INTERRUPTORES

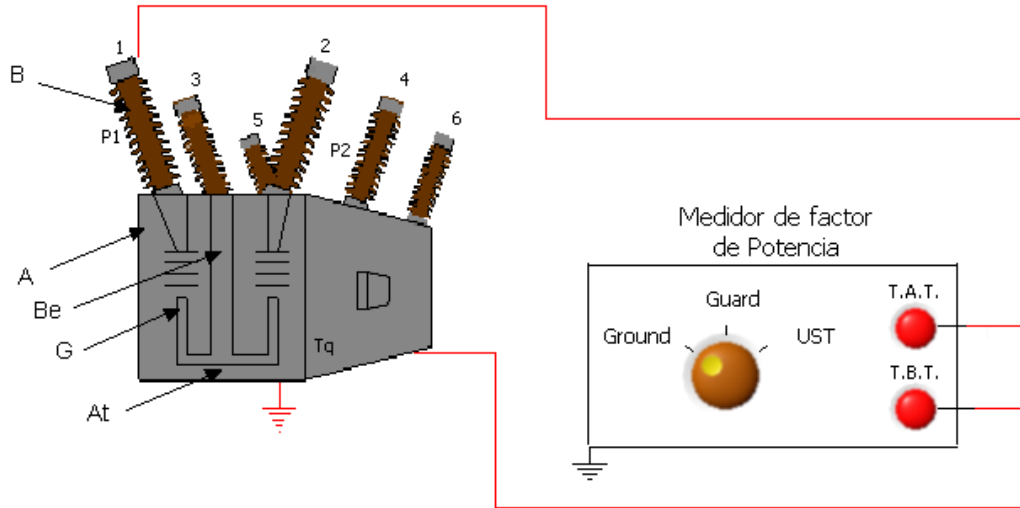
El aislamiento en los interruptores está constituido principalmente por las boquillas, los elementos de soporte de los contactos, las cámaras de arqueo y el medio aislante que puede ser aceite, aire ó SF₆.



Interruptor

Las conexiones para la realización de las pruebas dependen del tipo de interruptor, como se ilustra en las siguientes figuras:

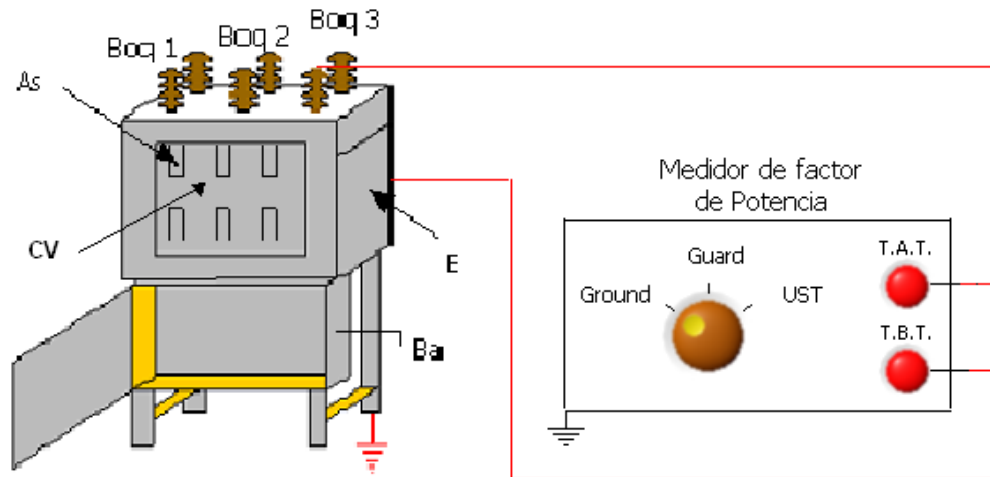
INTERRUPTORES DE GRAN VOLUMEN DE ACEITE



B = Boquilla
 A = Aceite
 Tq = Tanque
 G = Guía de barra de levantamiento
 Be = Barra elevadora
 At = Aislamiento tanque
 P = Porcelana

Posicion del interruptor	T.A.T	T.B.T.	Selector	Mide
Abierto	1	Tq	Ground	B1-A-At
Abierto	2	Tq	Ground	2-A-At
Abierto	3	Tq	Ground	B3-A-At
Abierto	4	Tq	Ground	B4-A-At
Abierto	5	Tq	Ground	B5-A-At
Abierto	6	Tq	Ground	B6-A-At
Cerrado	1-2	Tq	Ground	B1-B2-Be-A-At-G
Cerrado	3-4	Tq	Ground	B3-B4- Be-A-At-G
Cerrado	5-6	Tq	Ground	B5-B6- Be-A-At-G

INTERRUPTORES DE VACÍO



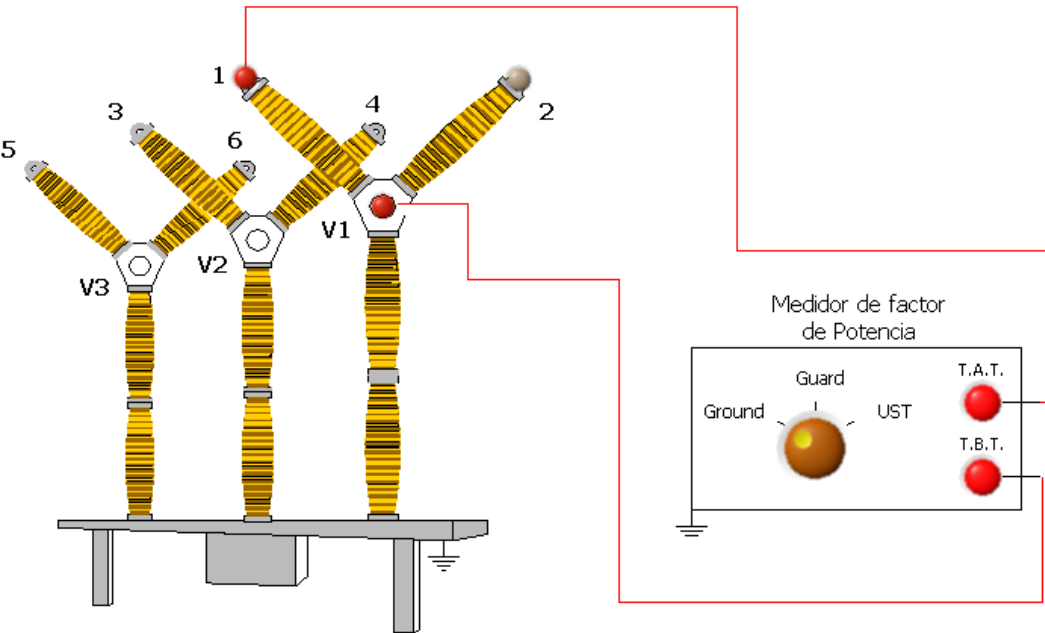
Las pruebas deben efectuarse para cada uno de los polos

- E** = Estructura
- Boq** = Boquilla
- As** = Aislador soporte
- Ba** = Barra de accionamiento
- CV** = Cámara de vacío

Posición del interruptor	T.A.T	T.B.T	Selector	Mide
Abierto	1	E	Ground	B1-As
Abierto	2	E	Ground	B2-As-Ba
Abierto	3	E	Ground	B3-As
Abierto	4	E	Ground	B4-As-Ba
Abierto	5	E	Ground	B5-As
Abierto	6	E	Ground	B6-As-Ba
Cerrado	1	2	UST	CV
Cerrado	3	4	UST	CV
Cerrado	5	6	UST	CV

INTERRUPTORES DE BAJO VOLUMEN DE ACEITE E INTERRUPTORES EN SF₆

Conexión para Polo Superior 1

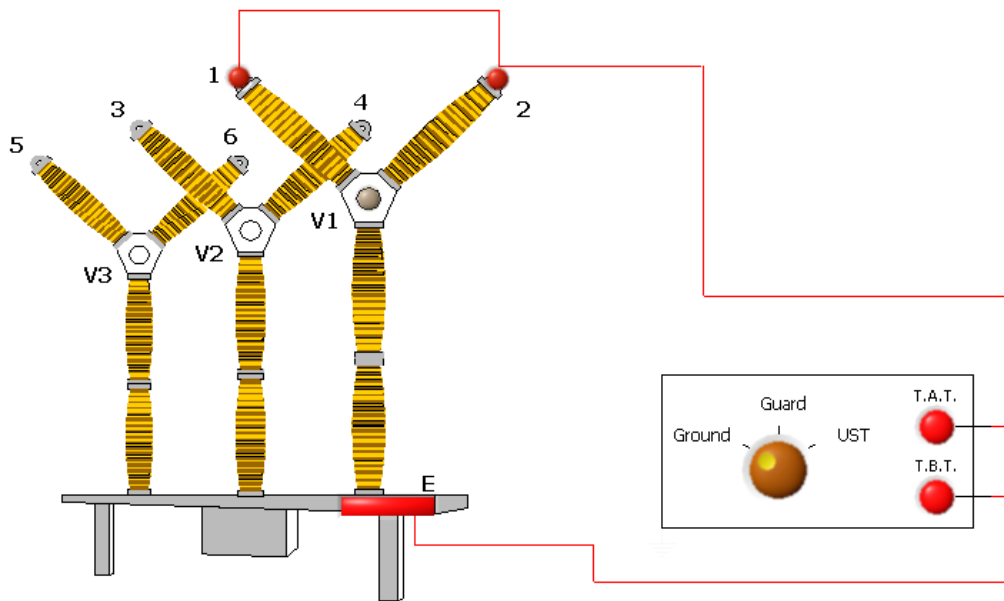


T.A.T	T.B.T	Selector	MIDE
1	V1	Ground	Polo Superior 1
2	V1	Ground	Polo Superior 2
1-2	E	Ground	Polo Completo
V1	E	Ground	Polo Inferior

Las pruebas deben efectuarse para cada uno de los polos

INTERRUPTORES DE BAJO VOLUMEN DE ACEITE E INTERRUPTORES SF₆

Conexión para Polo Completo

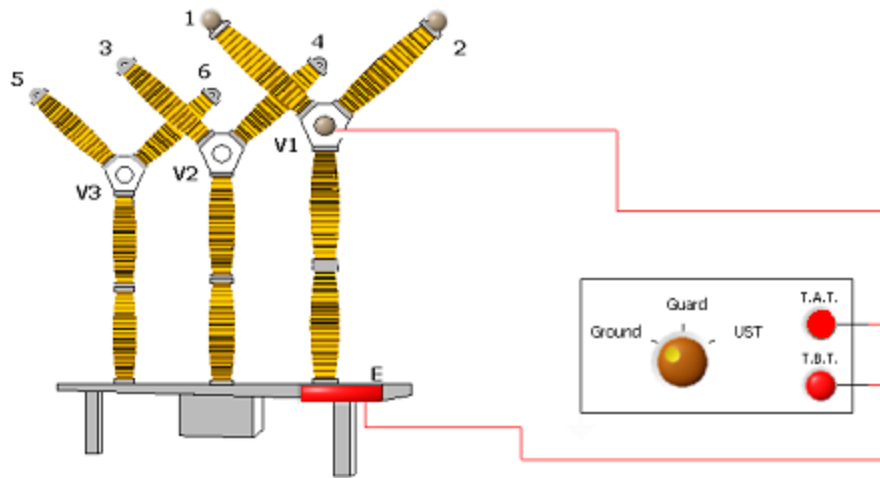


T.A.T	T.B.T	Selector	MIDE
1	V1	Ground	Polo Superior 1
2	V1	Ground	Polo Superior 2
1-2	E	Ground	Polo Completo
V1	E	Ground	Polo Inferior

Las pruebas deben efectuarse para cada uno de los polos

INTERRUPTORES DE BAJO VOLUMEN DE ACEITE E INTERRUPTORES SF₆

Conexión para Polo Inferior



T.A.T	T.B.T	Selector	MIDE
1	V1	Ground	Polo Superior 1
2	V1	Ground	Polo Superior 2
1-2	E	Ground	Polo Completo
V1	E	Ground	Polo Inferior

Las pruebas deben efectuarse para cada uno de los polos

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

En las pruebas de factor de potencia de los interruptores, sólo se toman en cuenta los watts para determinar las pérdidas dieléctricas.

Debido a las diferencias de elementos de construcción de cada tipo de interruptor y fabricante, no existen valores normalizados para su aceptación.

Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda efectuar comparaciones con interruptores de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo.



PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO

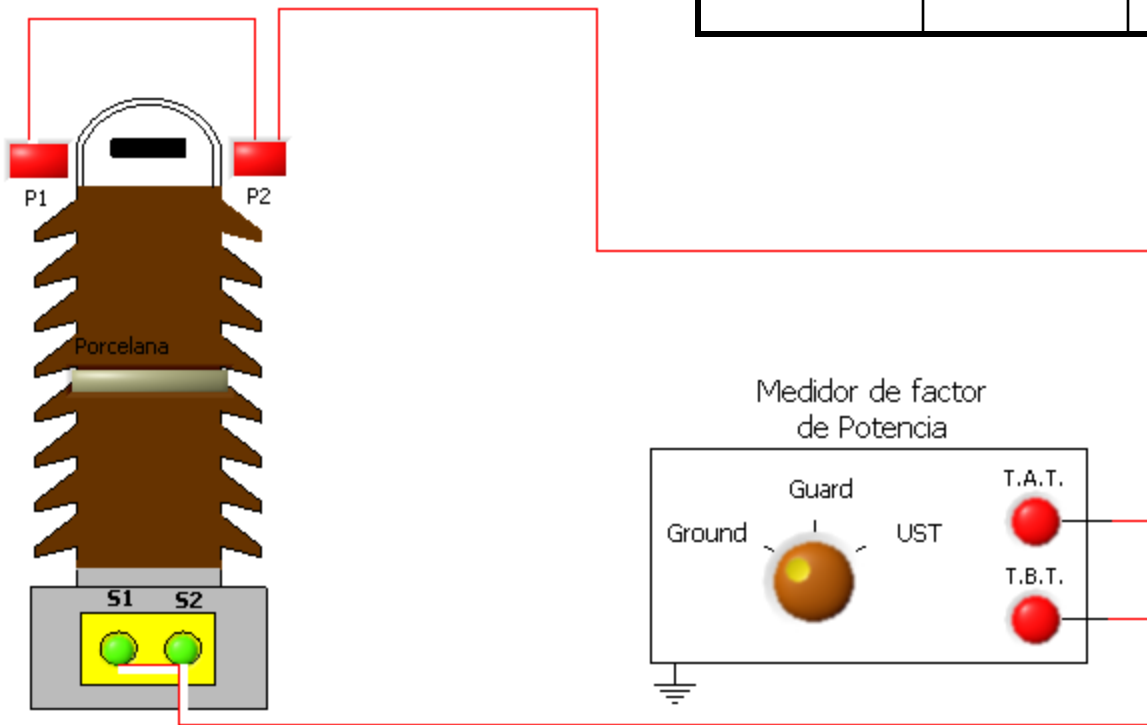
Con la prueba de factor de potencia se **determinan las pérdidas dieléctricas** de los aislamientos de los devanados primario y secundario de los transformadores de instrumento. Los diagramas de conexiones se muestran en las siguientes Figuras.



TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra

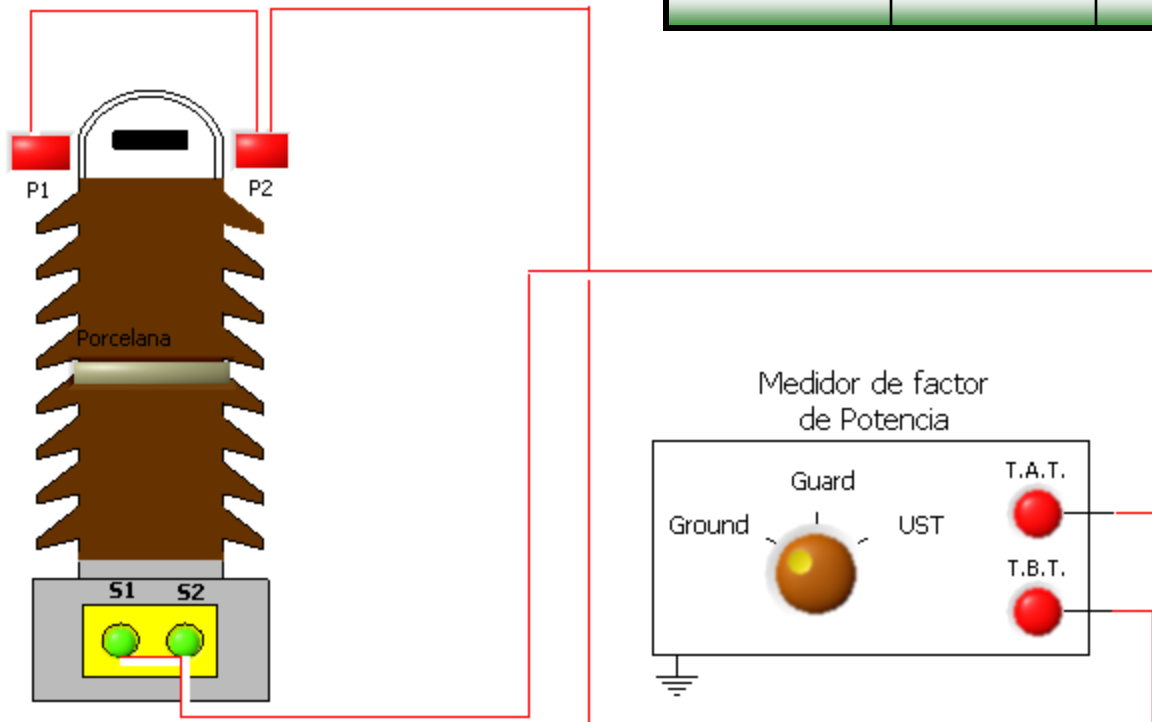
Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
P1-P2	S1-S2	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
S1-S2	P1-P2	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra



TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra

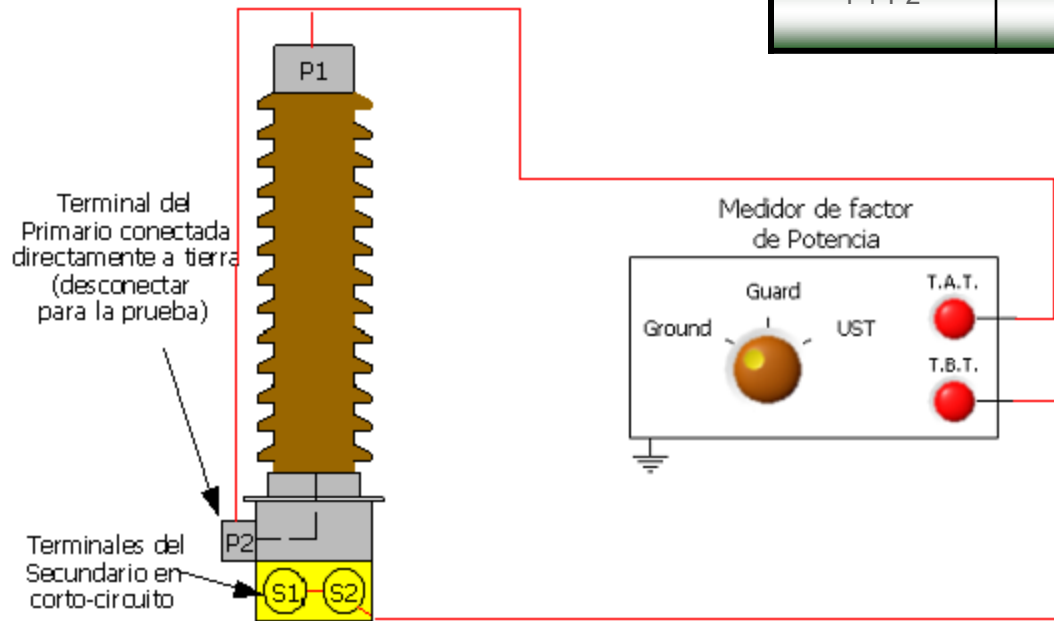
Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
P1-P2	S1-S2	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra
S1-S2	P1-P2	Ground	Baja Tensión Vs. Alta Tensión y Tierra



TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra

Terminal de Alta Tensión (T.A.T.)	Terminal de Baja Tensión (T.B.T.)	SELECTOR	MIDE
P1-P2	S1-S2	Ground	Alta Tensión Vs. Baja Tensión y Tierra



CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Un valor de factor de potencia mayor de 2% será indicativo de que existe un deterioro en el aislamiento de los transformadores de instrumento, pudiendo ser la causa el aceite aislante de aquellos que lo contengan, o microfisuras en la resina del aislamiento tipo seco.

Al obtener resultados con valores mayores, deberá investigarse y compararse con los datos estadísticos de equipos similares.



PRUEBAS EN APARTARRAYOS

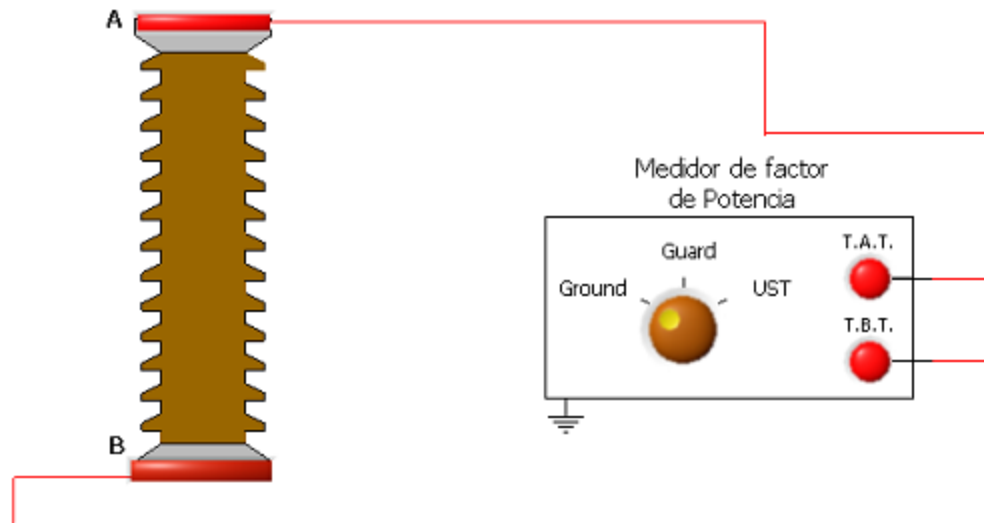
Las pruebas de factor de potencia en apartarrayos se utilizan para detectar las pérdidas dieléctricas producidas por contaminación o suciedad en los elementos autovalvulares, porcelanas despostilladas o porosas, etc.



Las conexiones para la realización de las pruebas se ilustran en las siguientes figuras:

PRUEBAS EN APARTARRAYOS

Apartarrayos de una sección

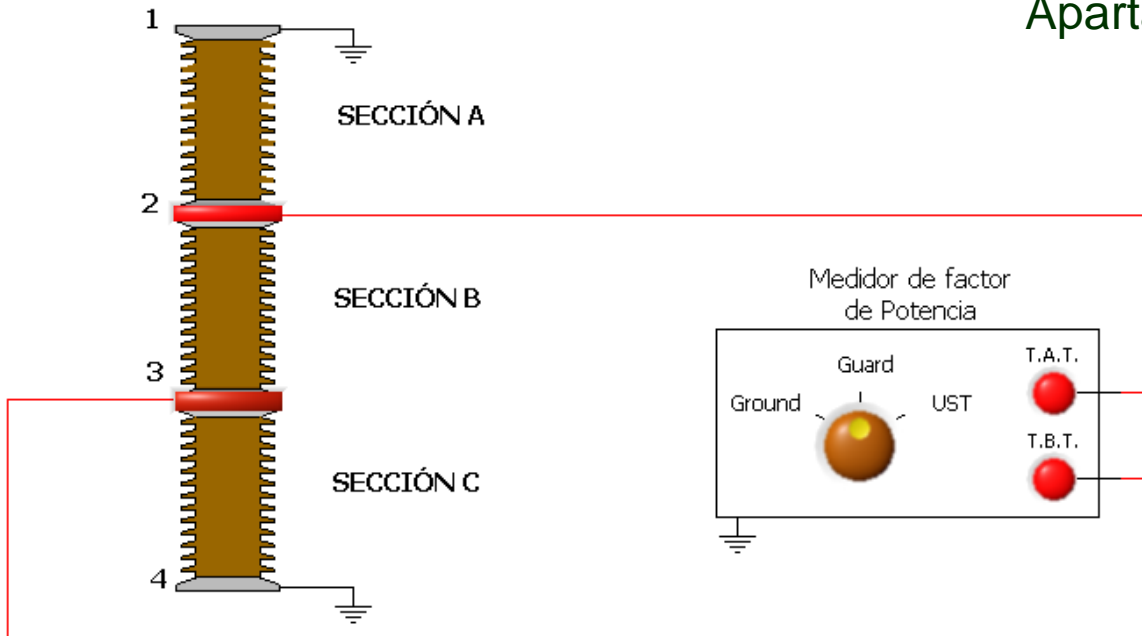


T.A.T	T.B.T	SELECTOR	Mide
A	B	Ground	Toda la sección

PRUEBAS EN APARTARRAYOS

Apartarrayos de varias secciones

Sección A

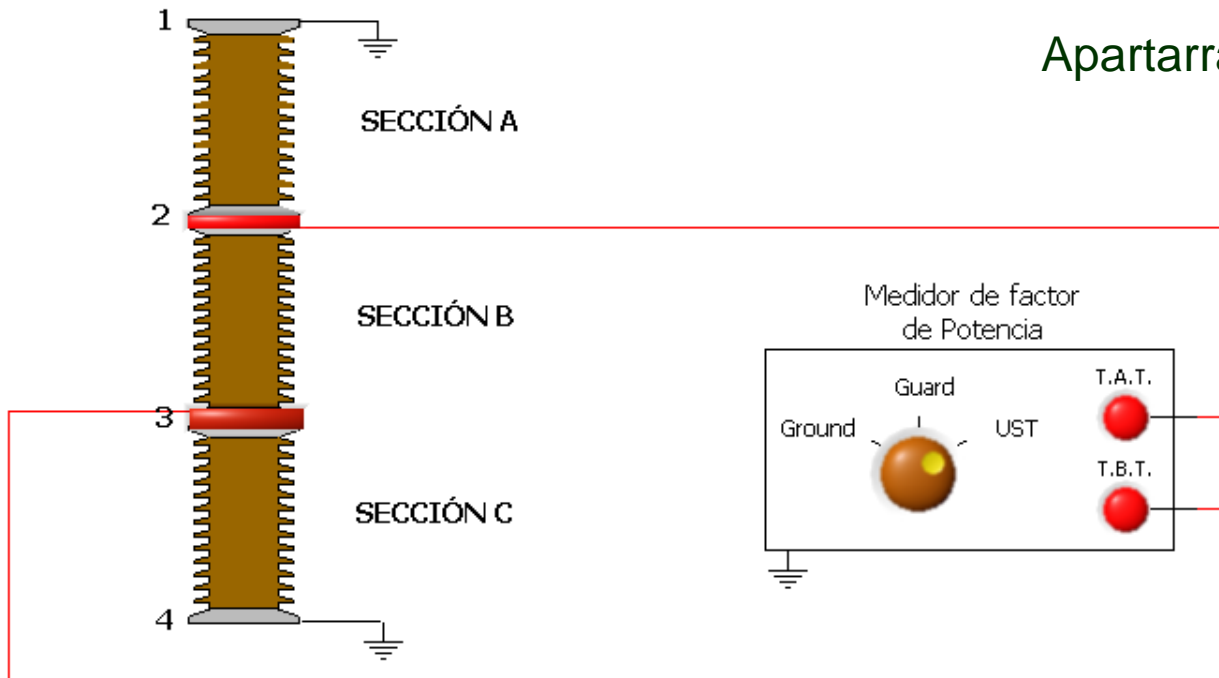


T.A.T.	T.B.T.	Tierra	Selector	Mide
2	3	1,4	Guarda	Sección A
2	3	1,4	UST	Sección B
3	2	4	Guarda	Sección C

PRUEBAS EN APARTARRAYOS

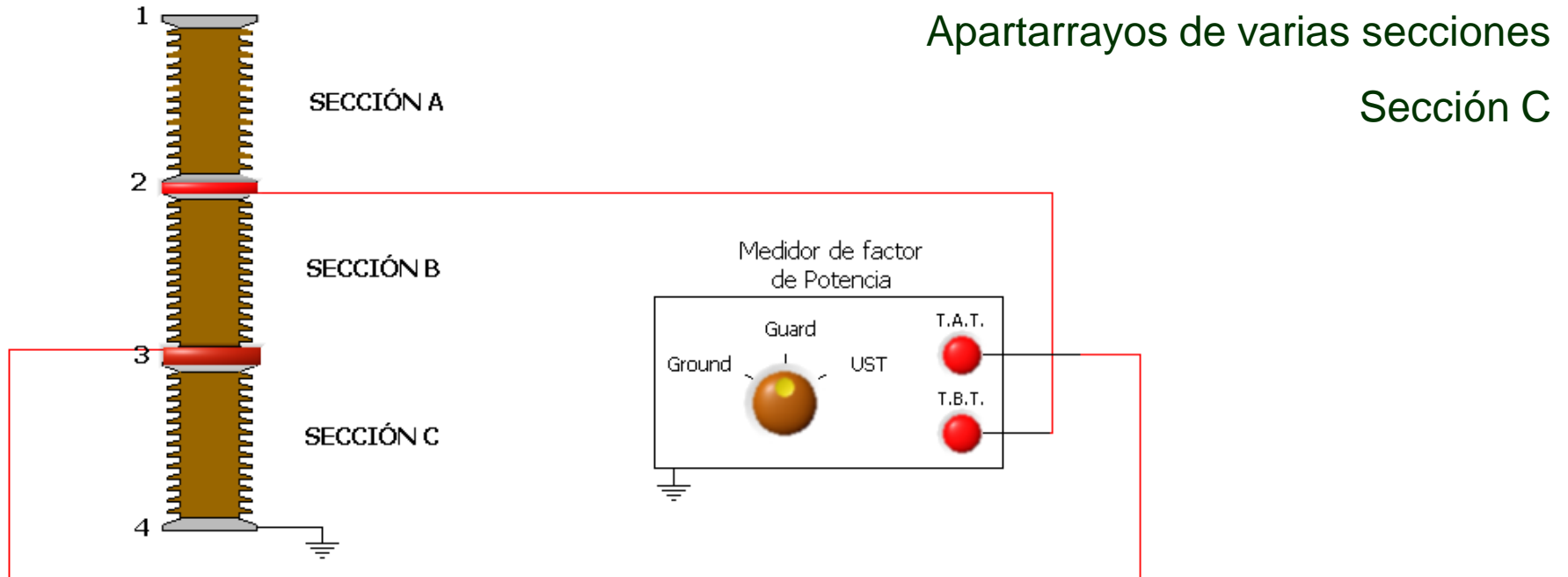
Apartarrayos de varias secciones

Sección B



T.A.T.	T.B.T.	Tierra	Selector	Mide
2	3	1,4	Guarda	Sección A
2	3	1,4	UST	Sección B
3	2	4	Guarda	Sección C

PRUEBAS EN APARTARRAYOS



T.A.T.	T.B.T.	Tierra	Selector	Mide
2	3	1,4	Guarda	Sección A
2	3	1,4	UST	Sección B
3	2	4	Guarda	Sección C

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

En las pruebas de factor de potencia se obtienen las pérdidas dieléctricas de los apartarrayos en Miliwatts o Watts dependiendo del equipo que se utilice.

Debido a las diferencias de elementos de construcción de cada fabricante, no existen valores normalizados para su aceptación.

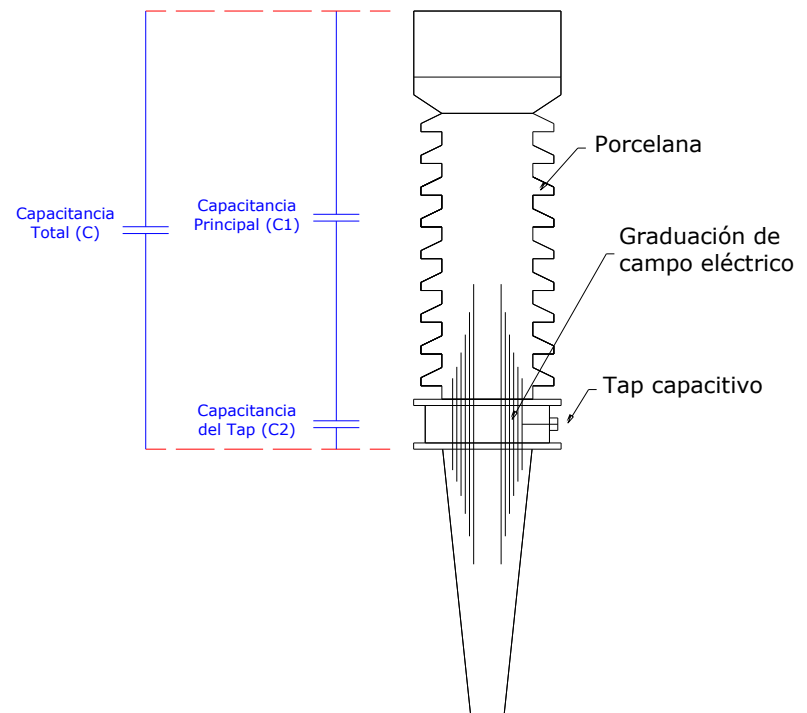
Para decidir si el valor obtenido es el adecuado, se recomienda efectuar comparaciones con apartarrayos de la misma marca, tipo y voltaje. En caso de diferencias apreciables se requiere efectuar una investigación detallada del equipo.



PRUEBAS A BOQUILLAS

Las boquillas de los transformadores e interruptores están sujetas a esfuerzos eléctricos muy elevados ya que el espacio de aislamiento entre el conductor de alta tensión y la brida de tierra es muy pequeño. Por esta razón las boquillas se construyen enrollando capas alternadas de papel aislante y láminas conductoras, formando un conjunto de capacitores en el interior de la boquilla. Estos capacitores en serie gradúan el campo eléctrico del aislamiento interno de la boquilla, aliviando las concentraciones de voltaje al distribuir uniformemente el campo eléctrico.

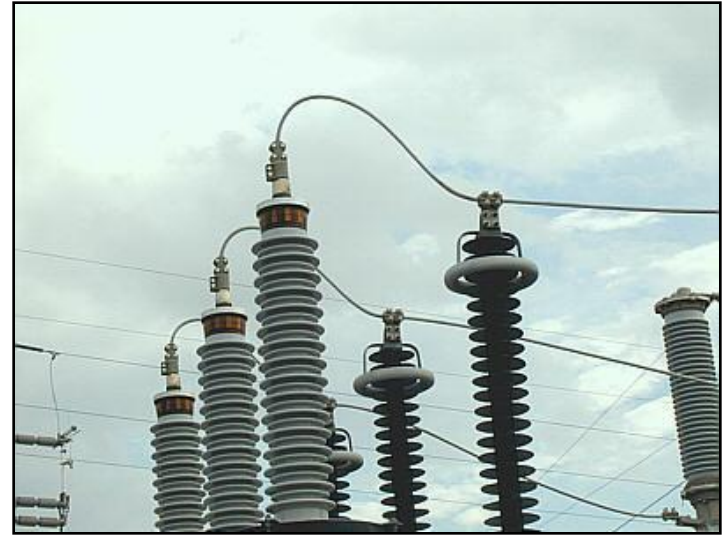
Las boquillas de alta tensión (arriba de 34.5 kV), cuentan con un dispositivo llamado “tap capacitivo”, que permite el acceso al interior del aislamiento entre el último capacitor y tierra. Quedan entonces formados dos capacitores (C1 Y C2) como se ilustra en la figura. La capacitancia total (C) es la suma de las dos.



PRUEBAS A BOQUILLAS

La prueba de factor de potencia debe aplicarse a las tres combinaciones de capacitores:

- a) Prueba entre la terminal de la boquilla y el tap capacitivo (C1).
- b) Prueba entre el tap capacitivo y tierra (C2).
- c) Prueba entre la terminal de la boquilla y tierra (C).



Para el caso de la boquillas, es muy importante registrar también el valor de la capacitancia, ya que cualquier cambio que se presente a lo largo del tiempo es una indicación de degradación del aislamiento interno.

Las conexiones para la realización de las pruebas se ilustran en las siguientes figuras

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

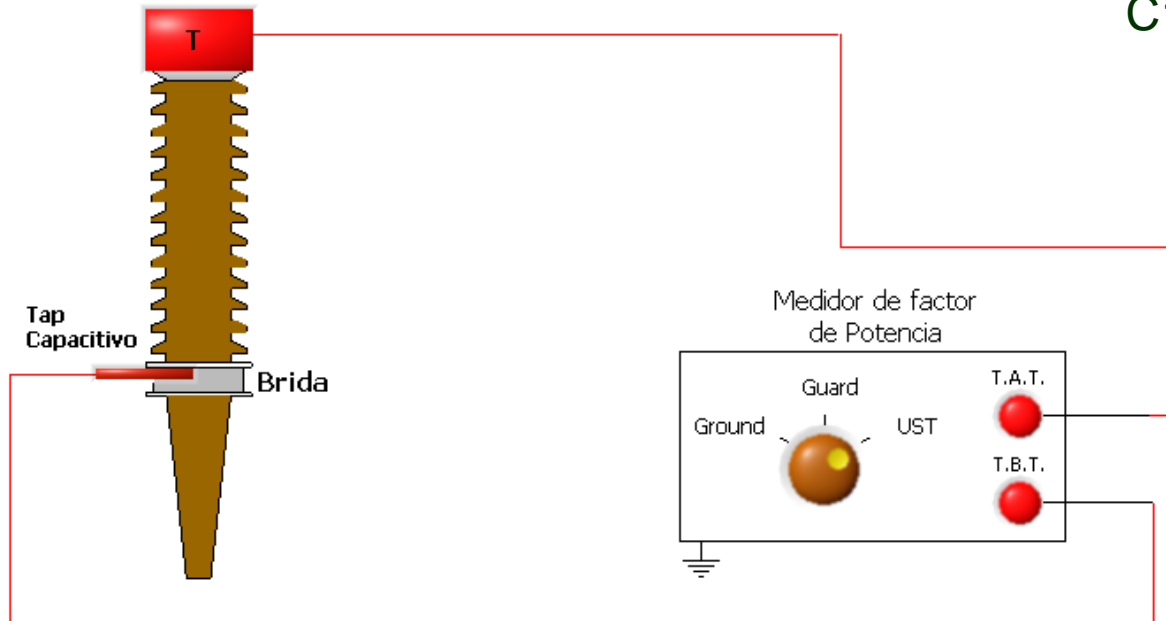


El valor de factor de potencia máximo que deben tener las boquillas es de 0.5% después de realizar la corrección a 20 °C. Recuerde que la tabla de corrección por temperatura ya fue presentada en la sección de transformadores.

El valor de las capacitancias debe estar siempre entre el 5 y el 10% del valor de la placa de datos de la boquilla. Cambio mayores a estos porcentajes deben ser investigados.

PRUEBAS A BOQUILLAS

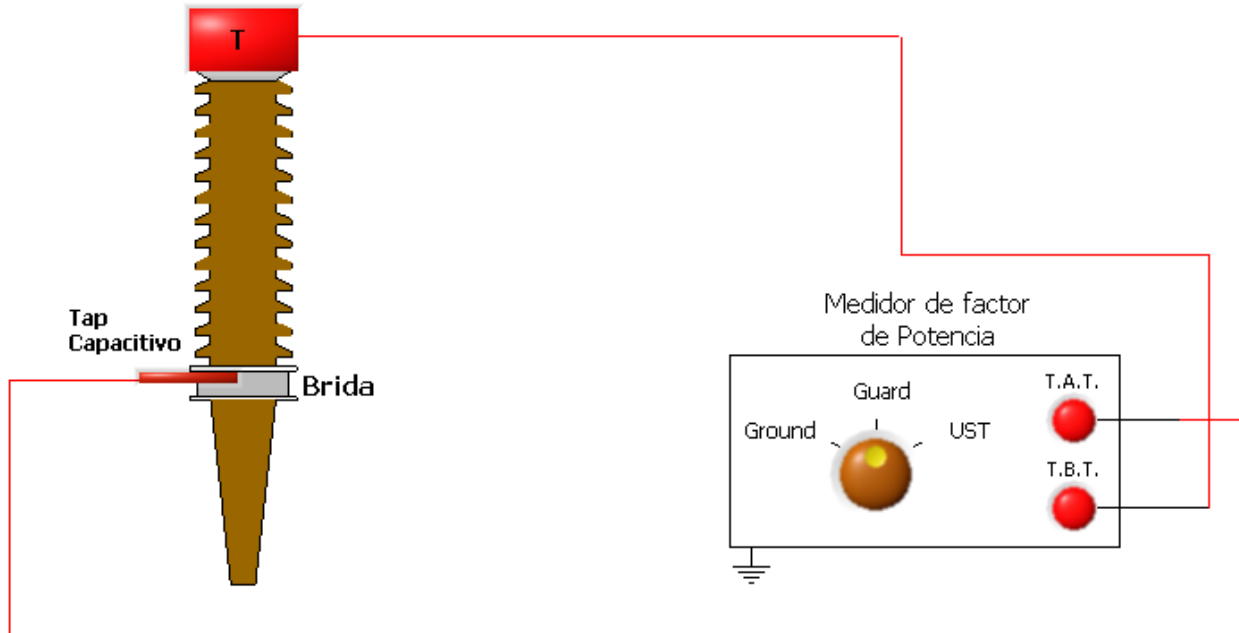
C1: Capacitancia Principal



T.A.T.	T.B.T.	Selector	Mide
T	Tap capacitivo	UST	C1: Capacitancia Principal
Tap capacitivo	T	Guarda	C2: Capacitancia del Tap
T	Brida	Ground	C: Capacitancia Total

PRUEBAS A BOQUILLAS

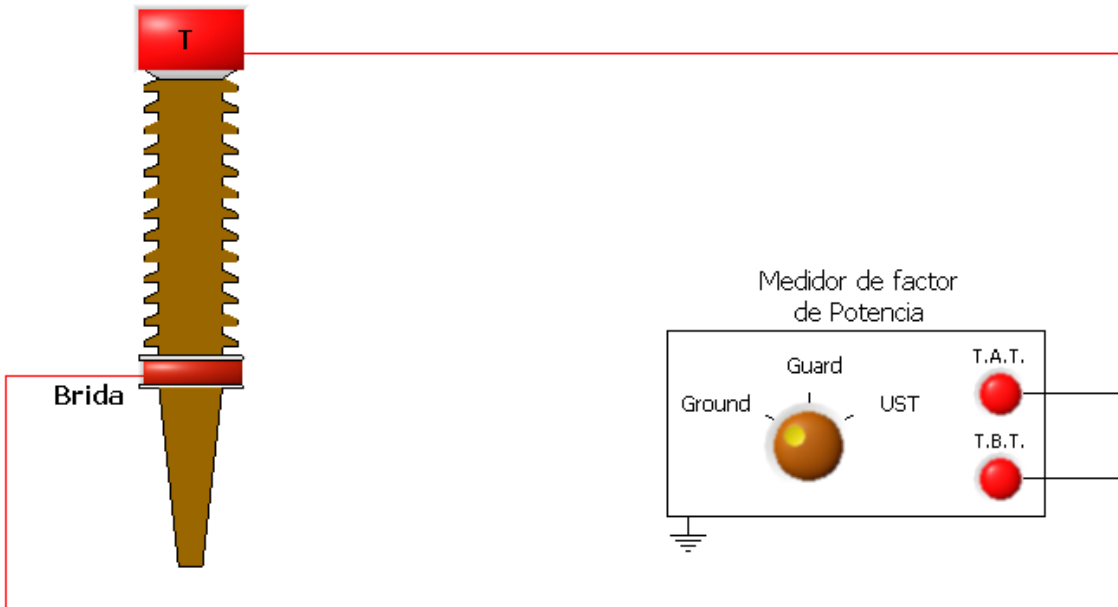
C2: Capacitancia del Tap



T.A.T.	T.B.T.	Selector	Mide
T	Tap capacitivo	UST	C1: Capacitancia Principal
Tap capacitivo	T	Guarda	C2: Capacitancia del Tap
T	Brida	Ground	C: Capacitancia Total

PRUEBAS A BOQUILLAS

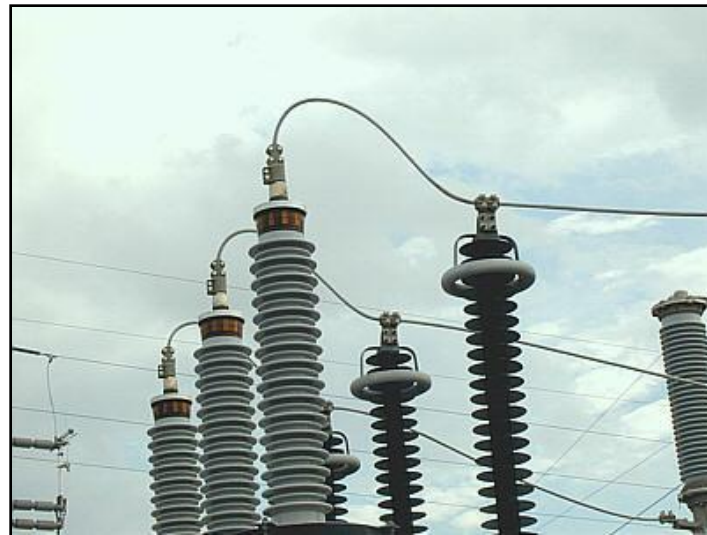
C: Capacitancia Total



T.A.T.	T.B.T.	Selector	Mide
T	Tap capacitivo	UST	C1: Capacitancia Principal
Tap capacitivo	T	Guarda	C2: Capacitancia del Tap
T	Brida	Ground	C: Capacitancia Total

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Para el caso de boquillas, el valor mínimo de resistencia de aislamiento es de 40,000 M Ω .



Por ejemplo, si el valor medido fuera de 54,478 M Ω , se concluye que la boquilla pasa satisfactoriamente la prueba.

PRUEBAS A CUCHILLAS

El objetivo de realizar las pruebas de factor de potencia en las cuchillas desconectadoras es **detectar las pérdidas dieléctricas** producidas por contaminación, deterioro por envejecimiento e imperfecciones del aislamiento.

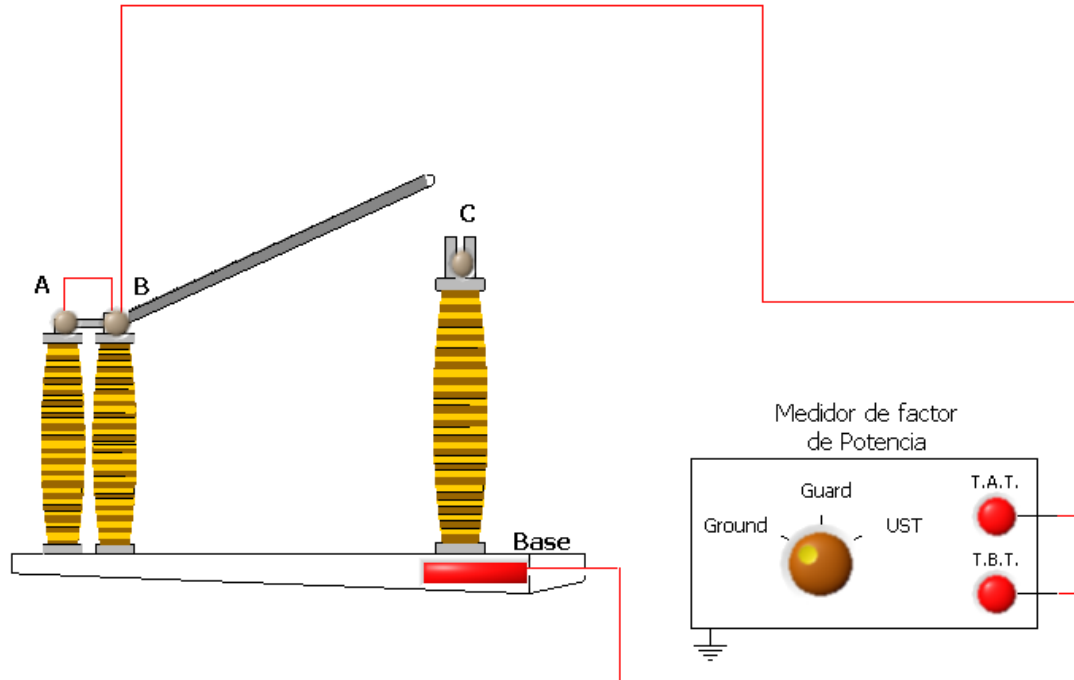
Antes de iniciar la prueba, **se deberá limpiar perfectamente la porcelana** para evitar que se obtengan valores equivocados debido a la contaminación o suciedad del aislamiento. También se deberá aterrizar la base de la cuchilla.



Las conexiones para la realización de las pruebas se ilustran en las siguientes figuras:

PRUEBAS A CUCHILLAS

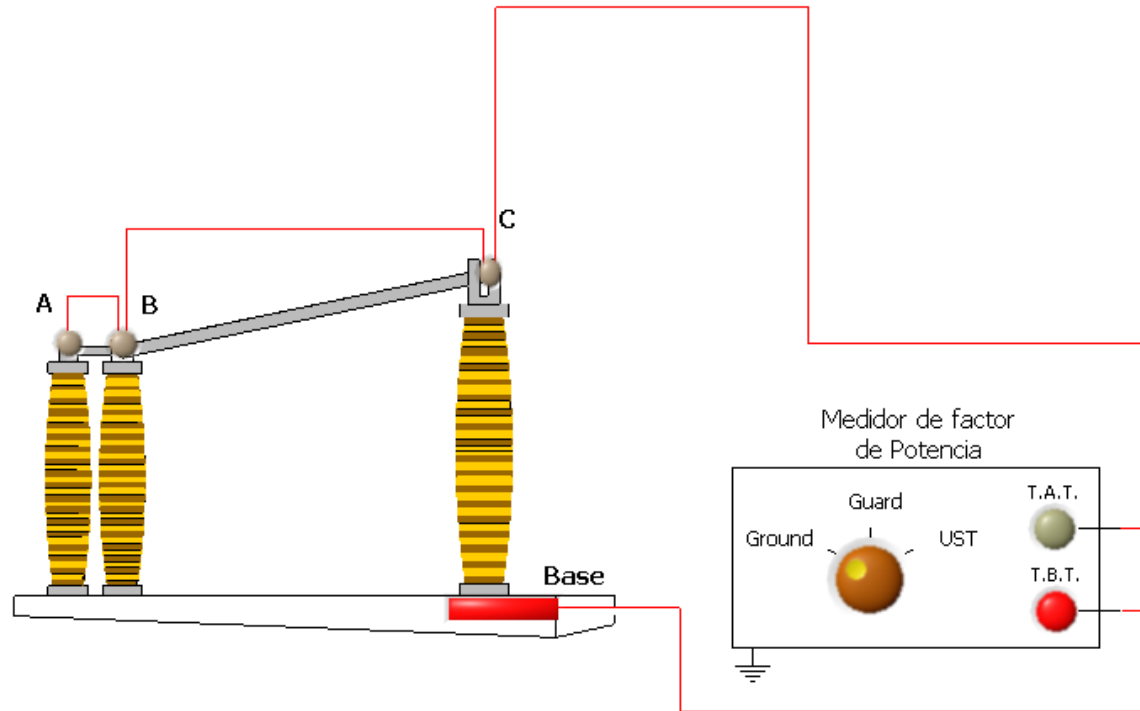
Aislamiento Soporte



T.A.T	T.B.T.	Selector	Posición de la cuchilla	Mide
A-B	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento Soporte
C	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento de Contactos
A-B-C	BASE	Ground	CERRADA	Todo el Aislamiento

PRUEBAS A CUCHILLAS

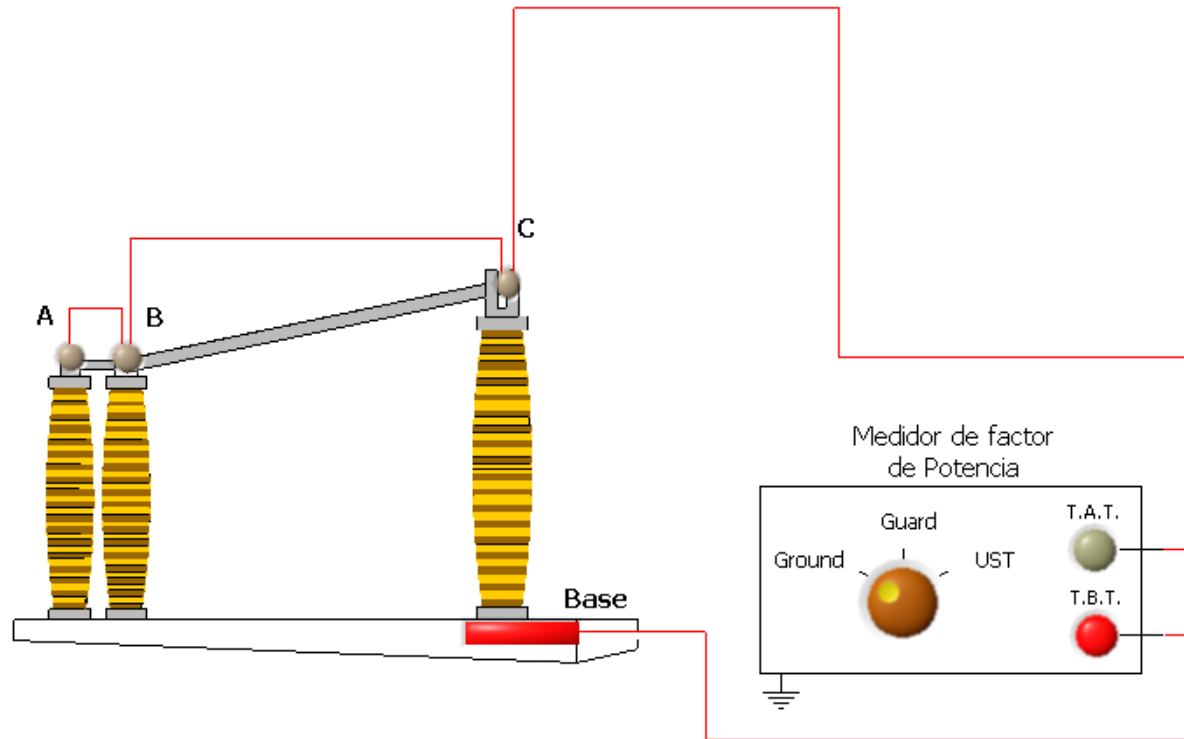
Aislamiento de Contactos



T.A.T	T.B.T.	Selector	Posición de la cuchilla	Mide
A-B	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento Soporte
C	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento de Contactos
A-B-C	BASE	Ground	CERRADA	Todo el Aislamiento

PRUEBAS A CUCHILLAS

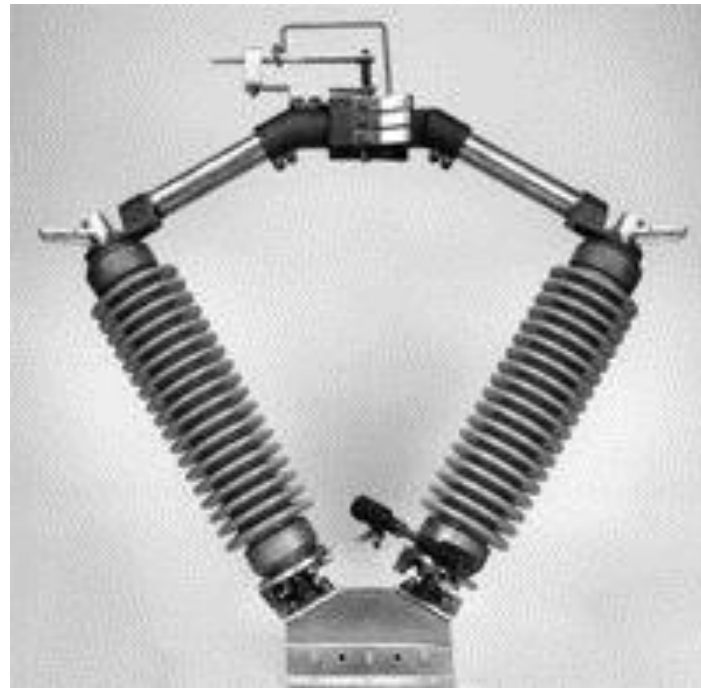
Todo el Aislamiento



T.A.T.	T.B.T.	Selector	Posición de la cuchilla	Mide
A-B	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento Soporte
C	BASE	Ground	ABIERTA	Aislamiento de Contactos
A-B-C	BASE	Ground	CERRADA	Todo el Aislamiento

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Para el caso de las cuchillas, los criterios de aceptación están basados en las pérdidas. Valores de pérdidas inferiores a 9 mW se consideran aceptables.



Programa Desarrollado por:



Contacto:

Jorge González de la Vega

Tel: (777) 382 1242

Fax: (777) 382 1078

email: jvega@cableonline.com.mx

© INTEC 2004
Prohibida su reproducción parcial o total

