

2.1
2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA PARA REALIZAR PRUEBAS EN ALTA TENSION

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

JESUS CUITLAHUAC ACURA TORRES

GIL FERNANDO CARBAJAL REYES

JOSE MAURICIO GUERRERO SANDOVAL

Director de Tesis: Ing: Eugenio Almanza Castro



MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1989



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Pág.
PRESENTACION	1
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	11
INDICE	111
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	3
CAPITULO I	4
CARACTERISTICAS Y EQUIPOS DE UN LABORATORIO DE ALTA TENSION	4
CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS	4
Localización y Accesos al Laboratorio	5
Nave de Pruebas	6
Zonas de Prueba	8
Sala de Medición y Control	12
Blindaje	12
Red de Tierra	12
Canalización para Cables	14
Ambientación del Laboratorio	14
Iluminación	15
Sistemas de Seguridad	15

	Pág.
<i>Servicios Auxiliares</i>	15
<i>Nave de Montaje</i>	16
<i>Sala de Mantenimiento</i>	16
PRUEBAS DIELECTRICAS A FRECUENCIA INDUSTRIAL	17
<i>Características del Transformador para la Prueba de Tensión Aplicada</i>	20
<i>Características de los Equipos de Alimentación para la Prueba de Tensión Inducida</i>	21
<i>Generación de Altas Tensiones Alternas</i>	22
<i>Transformadores de Alta Tensión</i>	22
<i>Circuitos Resonantes</i>	24
INSTALACIONES PARA LA PRUEBA DE IMPULSO	26
<i>Generador de Impulso</i>	27
<i>Características de los Generadores de Impulso</i>	32
<i>Tensión de Carga Máxima</i>	32
<i>Energía y Capacidad Efectiva</i>	32
<i>Dispositivos de Corte de los Impulsos</i>	35
<i>Explosores de Varilla</i>	35
<i>Explosores de Esfera</i>	36
<i>Determinación de las Distancias de Guarda</i>	37
<i>Red de Tierras</i>	38
PRUEBAS CON TENSION CONTINUA	40

	Pág.
CAPITULO II	43
MEDIDAS DE SEGURIDAD	43
Aterrizado	45
Cercado	46
Cerrojos e Interruptores de Seguridad	47
Señalamientos	48
Protección Contra Riesgo de Incendio, Explosiones y Radiaciones	49
CAPITULO III	50
MEDICIONES DE ALTA TENSION	50
VOLTMETRO DE ESFERAS	55
Arreglo de Eje Vertical	59
Arreglo de Eje Horizontal	59
MEDICION DE TENSIONES DE C.D. Y C.A.	64
MEDICIONES DE TENSION DE IMPULSO	65
Tensiones de Descarga Disruptiva entre Esferas	65
MEDICION DE VALORES PICO DE TENSION UTILIZANDO UN AMPERMETRO EN SERIE CON UNA ALTA IMPEDANCIA	68
VOLTMETRO ELECTROSTATICO, MEDICION DE VALORES R.M.S.	72
MEDICION DE VALORES PICO DE TENSION CON DIVISOR DE TENSION CAPACITIVOS	76
MEDICION CON TRANSFORMADOR DE POTENCIAL	78
MEDICION CON RESISTENCIA DE ALTA TENSION	80

	Pág.
DIVISORES DE TENSION	85
<i>Divisor de Tensión Resistivo</i>	87
<i>Divisor de Tensión Capacitivo</i>	87
<i>Divisor de Tensión Mixto (RC)</i>	89
CAPITULO IV	91
EQUIPO SUJETO A PRUEBAS EN ALTA TENSION	91
AISLANTES ELECTRICOS	92
<i>Aislamientos Externos</i>	93
<i>Porcelana</i>	93
<i>Vidrio</i>	94
<i>Aislamientos Internos</i>	95
<i>Papel</i>	95
<i>Cartón</i>	96
<i>Aceite</i>	97
<i>Gas</i>	97
TRANSFORMADORES	99
<i>Pruebas en Alta Tensión a Transformadores</i>	104
AISLADORES	105
BOQUILLAS DE PORCELANA PARA TRANSFORMADORES	108
<i>Pruebas de Alta Tensión a Aisladores y Boquillas</i>	109
CABLES AISLADOS DE ALTA TENSION	110
<i>Pruebas de Alta Tensión a Cables Aislados</i>	111

	Pg.
CAPITULO V	113
PRUEBAS DE ALTA TENSION	113
PRUEBA DE IMPULSO	120
<i>Prueba de Impulso a Transformadores</i>	127
<i>Prueba de Tensi3n al Impulso a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado, No Disruptiva</i>	133
<i>Determinaci3n de la Tensi3n Cr3tica de Flameo o de 50% de Probabilidad al Impulso en Aisladores Porcelana, Vidrio Templado y Boquilla de A.T.</i>	134
<i>Prueba de Tensi3n de Flameo al Impulso Valor 100% a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado</i>	135
<i>Prueba de Impulso a Boquillas de Porcelana</i>	136
PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO	137
PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO	142
PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO EN SECO	146
PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO EN HUMEDO	150
PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN SECO	153
PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN HUMEDO	153
PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN ROCIO	156
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES	159
<i>Prueba de Rigidez Diel3ctrica del Aceite Aislante para Transformadores</i>	163
<i>Prueba de Tensi3n de Perforaci3n Rigidez Diel3ctrica a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado</i>	168
PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS	171

<i>Prueba del Factor de Potencia a los Aislamientos de Transformadores</i>	175
<i>Determinación del Factor de Potencia de Boquillas de Alta Tensión</i>	179
<i>Determinación del Factor de Potencia del Aceite Aislante no Inhibido para Transformadores</i>	180
PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES	183
<i>Prueba Visual del Efecto Corona</i>	186
PRUEBA DE ALTA TENSION CON CORRIENTE ALTERNA	189
PRUEBA DE ALTA TENSION CON CORRIENTE DIRECTA	193
CAPITULO VI	200
EVALUACION DE LA INVESTIGACION Y CONCLUSIONES	200
PLANOS DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA	208
INVENTARIO DEL LABORATORIO	209
ANALISIS DE LAS PRUEBAS A REALIZAR	214
PRUEBAS DE IMPULSO	215
PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO	217
PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO	219
PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO Y TENSION SOSTENIDA	220
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES	222
PRUEBA DE ALTA TENSION CON C.A. Y C.D. A CABLES DE ENERGIA	223
PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS	224

	Pág.
PRUEBA DE LA MEDICION DE LA CAPACITANCIA	225
PRUEBA VISUAL DEL EFECTO CORONA	226
LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES A PROBAR	227
APENDICE A	229
APENDICE B	234
APENDICE C	247
BIBLIOGRAFIA	254

INTRODUCCION

El compromiso de la Facultad de Ingeniería con sus alumnos es el de capacitarlos y darles todo el apoyo para su formación profesional, debido a esto se hace necesario el mejorar la calidad de la enseñanza. Es conveniente el reforzar los planes de estudio de cada una de las diferentes especialidades, con la implementación de nuevos laboratorios, y mejorando los ya existentes, para así dar al estudiante un panorama más real de lo que es la ingeniería.

Por eso, nosotros, como estudiantes de la carrera de ingeniero mecánico electricista en el área eléctrica, atendiendo los fines educativos y la necesidad que existe en la industria de profesionales capacitados en el desarrollo de pruebas de alta tensión, se ha desarrollado el presente trabajo, en el que se analizan los requerimientos para la implementación de pruebas y mediciones de alta tensión en el laboratorio de ingeniería eléctrica; cabe hacer notar que en México existen laboratorios de alta tensión donde sus instalaciones son utilizadas con fines comerciales, de investigación y no con carácter educativo, haciendo evidente la necesidad de este tipo de laboratorios en las instituciones educativas.

La función principal de las pruebas de alta tensión es verificar el estado y la calidad en que se encuentra el aislamiento de los distintos equipos que forman parte de un sistema eléctrico.

Esto, debido principalmente a la necesidad de tener una alta confiabilidad en el mismo, es decir, disminuir las posibilidades de falla e incrementar la continuidad de servicio.

Algunas de las fallas, son causadas por: imperfecciones en el aislamiento, sobretensiones que se presentan debido a descargas atmosféricas y de maniobra, contaminación ambiental, etc.

Por ello, todo equipo de utilización de energía eléctrica pasa por distintas pruebas que van, desde las pruebas a prototipo hasta las pruebas opcionales que son establecidas entre el comprador y el fabricante.

Para fijar los criterios y procedimientos con que se han de efectuar estas pruebas, se han establecido las normas correspondientes, de aplicación nacional o internacional, según reconocimiento de los distintos organismos de normalización.

Por lo anterior, es necesario que los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica tengan conocimiento de estas pruebas, tanto teórica como prácticamente.

OBJETIVO

El objetivo de esta tesis consiste en sentar las bases para la implementación del laboratorio de alta tensión de la facultad de ingeniería, estableciendo:

- **Cuales son los recursos con que cuenta el laboratorio actualmente.**
- **Cuales son las pruebas de alta tensión que pueden hacerse con el equipo que se tiene.**
- **Cual es el equipo mínimo necesario para tener una gama más amplia de pruebas.**
- **Cuales son las características que se deben observar en un laboratorio de alta tensión para la protección del personal, equipo y la facilidad de maniobra.**

CAPITULO I

**CARACTERISTICAS Y EQUIPOS DE
UN LABORATORIO DE ALTA TENSION**

CAPITULO I

CARACTERISTICAS Y EQUIPOS DE UN LABORATORIO DE ALTA TENSION

En este capítulo se dará a conocer, de una manera general y sin entrar en detalles particulares, las características que debe reunir y los equipos que deben formar parte de un laboratorio formal de Alta Tensión, atendiendo a sus características constructivas y tipos de pruebas que vayan a realizarse.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS.

El local que ha de albergar los diferentes equipos necesarios para realizar en él las pruebas en alta tensión, ha de reunir una serie de características que dependen de los siguientes factores:

- Tipo de materiales a probar
- Tipo de pruebas que se realizarán
- Niveles de tensión de ensayo
- Perspectivas de ampliación futura
- Finalidad del laboratorio (pruebas de rutina, investigación o con propósitos de enseñanza).

Estas características se refieren fundamentalmente a los accesos necesarios al laboratorio; capacidad para el movimiento de los aparatos a probar dentro del laboratorio, dimensiones de la nave de pruebas y naves de montaje, alimentación eléctrica de los equipos de prueba, blindaje eléctrico necesario, red de tierra, ambientación climática, iluminación, dispositivos de seguridad, etc.

Localización y Accesos al Laboratorio.

Es conveniente que el laboratorio esté situado en una zona despejada, plana, amplia y provista de vías de comunicación, que permitan la entrada y salida de los aparatos que vayan a probarse. Para facilitar este acceso, la planta de la nave de pruebas debe estar situada al nivel del piso de la calle.

Las puertas de acceso al interior de la nave de pruebas deben ser metálicas y de dimensiones suficientes para permitir la entrada y salida de los aparatos de las mayores dimensiones que vayan a probarse o instalarse.

Para probar ciertos aparatos de dimensiones muy grandes, es conveniente prever una zona de ensayos en el exterior del laboratorio, que debe estar junto al mismo y comunicada con él mediante una puerta de dimensiones suficientes que permita el traslado de los equipos de prueba al exterior. Si no es posible trasla

dar estos equipos al exterior, es necesario disponer un pasamuros interior-exterior que permita la alimentación de los objetos a probar desde el interior.

Nave de Pruebas.

Las dimensiones de la nave de pruebas y la distribución de los equipos en diferentes zonas de prueba depende de las tensiones máximas a alcanzar, de los tipos de prueba a realizar, de la posibilidad de realizar dos o más pruebas simultáneamente, etc.

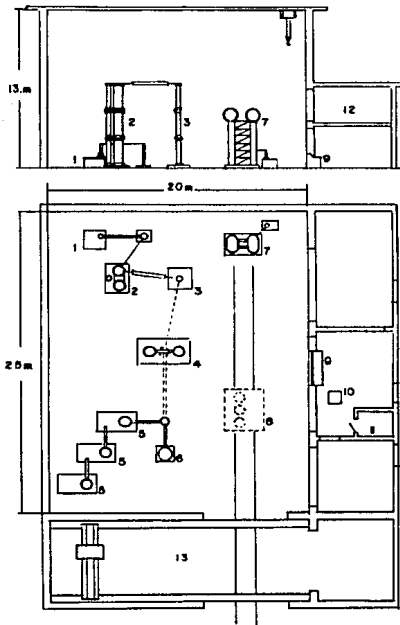
En la fig. 1.1 se da un ejemplo de una distribución de los diferentes equipos dentro de una nave de pruebas.

Las tensiones de prueba que es necesario alcanzar, corresponden a los valores normalizados más elevados para cada nivel de tensión de los aparatos a probar.

Si en el laboratorio se desean realizar pruebas para el desarrollo de nuevos equipos, se deberá proveer un margen suplementario suficiente por encima de los valores normalizados.

Las dimensiones de la nave de pruebas han de calcularse teniendo en cuenta las dimensiones previstas para los equipos de prueba y los materiales a probar, las distancias de guarda necesarias para evitar el establecimiento de un arco a las paredes, techo u otros objetos durante las pruebas, así como la influencia de objetos próximos, sobre los resultados de las mediciones.

TENSION ALTERNA
 1000 KV ef 1A
 TENSION DE IMPULSO
 2200 KV 27 KWS.
 TENSION CONTINUA
 700 KV. 8 mA.



- 1 RECTIFICADOR DE ALIMENTACION
- 2 GENERADOR DE IMPULSOS
- 3 DIVISOR DE TENSION
- 4 EXPLOSOR DE ESFERAS
- 5 TRANSFORMADOR DE ENSAYO
- 6 DIVISOR CAPACITIVO
- 7 RECTIFICADOR DE ALTA TENSION
- 8 OBJETO A ENSAYAR
- 9 PUESTO DE MANDO
- 10 OSCILOSCOPIO
- 11 CAMARA OSCURA
- 12 LOCAL DE OBSERVACION
- 13 NAVE DE MONTAJE

FIG. 1.1
 DISTRIBUCION TIPICA DE LOS EQUIPOS DE PRUEBA EN UN
 LABORATORIO DE ALTA TENSION.

Para el cálculo de estas distancias de guarda se debe tener en cuenta que cuando en el laboratorio se vayan a realizar pruebas con impulsos por maniobra, son estas tensiones las que proporcionan unas distancias de arqueado más pequeñas. En este sentido dichas distancias de guarda vendrán determinadas por la máxima tensión de prueba de impulso por maniobra de polaridad positiva que vayan a utilizarse en el laboratorio. Si en el laboratorio no va a realizarse este tipo de pruebas, las distancias de guarda vendrán determinadas por la máxima tensión de prueba de impulso tipo rayo positivo que vaya a utilizarse.

Para el traslado de los diferentes aparatos dentro de la nave de pruebas, es necesario disponer de un puente-grúa de capacidad suficiente o plataformas sobre colchones de aire; este último procedimiento permite el manejo de aparatos de prácticamente cualquier peso con gran facilidad.

Zonas de Prueba.

En los casos en que para una mejor utilización de los equipos se prevean varias zonas de prueba dentro de la misma nave, estos equipos deben colocarse en un lugar conveniente que permita llevar fácilmente la tensión de ensayo hasta los aparatos a probar situados en cada una de las zonas previstas. Podría ser conveniente en este caso montar los equipos de prueba en plataformas sobre rieles o colchones de aire para permitir su desplazamiento dentro de la nave.

Teniendo en cuenta que las dos instalaciones básicas de un laboratorio de Alta Tensión son las de pruebas a frecuencia industrial y las de pruebas de impulso, al hacer el planteamiento del laboratorio se debe considerar si es más práctico disponer de una sola zona de pruebas. Esta última solución resulta más cara debido a que las pruebas de impulso se realizan con mucha menos frecuencia que las de frecuencia industrial.

En el caso en que se prevea tener que montar los aparatos a probar en la misma nave de pruebas, se debe disponer de los medios y amplitud de espacio necesario para ello.

Cuando se desea aprovechar al máximo los equipos de prueba y teniendo en cuenta que, a veces, la preparación y ajuste de estos equipos puede ser laborioso, resulta conveniente disponer de zonas de prueba independientes para cada tipo de prueba, lo que exige unas mayores dimensiones de la nave, pero permite la preparación de más de una prueba simultáneamente.

Las dimensiones de algunos laboratorios de Alta Tensión en diferentes países se indican en la tabla 1.1a y los principales laboratorios de alta tensión en México Tabla 1.1b.

LABORATORIO	DIMENSIONES (M)	TENSION	ENSAYO CON
		ENSAYO C.A.(KV)	IMPULSOS 1,2/50(KV)
MWB High Voltage Laboratory	22.5x35x20	1 200	3 000
Technische Hochschule Munchen	23x34x19	1 200	3 000
CESI, Milán	40x45x35	2 000	3 600
Micafil AG, Zurich	24x25x20	1 600	4 400
Hochspannungs-Institut AEG-Telefunken, Kassel	20x25x17	1 200	3 000
Delle-Alsthom, Lyon	21x36x22	1 500	4 000
Laboratoire a Très Haute Tension de Renardières	64,2x64,2x45,2	2 200	7 200
Laboratoire de Recherches de l'Hidro-Quebec, Montreal	67,5x82x51	2 100	6 400
ASEA, Ludvika	24,5x46,5x21	1 400	3 200
Westinghouse, Córdoba	38x38x30	600	2 400
G.E.E., Bilbao	22x50x24	1 050	2 400
LAPEM CFE Irapuato, Gto. México	62x31x30	800	4 800

Tabla 1.1 a

Dimensiones de Algunos Laboratorios en Diferentes Países

SITUACION	En Operacion			En proyecto		En operacion		
	LOCALIZACION	D.F.	Morelia	Edo. México		Morelia	Guaymas	Trujillo
INSTITUCION	CONDUMEX	PICMISA	IEM	IEM	PICMISA	TPM	CFE	CFE
Programa de pruebas de campo	230 kV	230 kV	230 kV	400 kV	400 kV	400 kV	400 kV	800 kV
Impulso de rayo energía nominal	2.4 MV 54 kJ	1.8 MV 80 kJ	1.8 MV	2.4 MV 120 kJ	1.8 MV	3.6 MV 180 kJ	2.4 MV 120 kJ	4.8 MV 240 kJ
Impulso de manobra				1.8 MV			1.8 MV	3.6 MV
Alta tensión C.A.	600 kV 1 A				500 kV		900 kV 1 A	1500 kV 1 A
Alta tensión C.D.	1000 kV 10 mA							
Cámara de ionización							500 kV 2 A	
Área pruebas de cables								
Área pruebas transformadores								
Sala de montaje de aparatos								
Prueba de bobinas								
Prueba de cables								
Prueba de interruptores								
Prueba de fusibles								
Prueba de barras L.T.								
Prueba de barras								




 No existe capacidad
 No existe capacidad
 Se desconoce

Tabla 1.1 b

Principales Laboratorios de Alta Tensión en México
(hasta el año de 1978).

Sala de Medición y Control.

La ubicación de la sala de medición y control debe ser tal que se tenga desde ella una buena visibilidad de toda la nave de pruebas. Debe tener iluminación independiente y puede necesitar un cuarto oscuro anexo para el revelado de las fotografías tomadas en los osciloscopios durante las pruebas. La sala debe ir convenientemente blindada.

Blindaje.

Para evitar que perturbaciones procedentes del exterior de la nave de pruebas puedan introducir errores en las mediciones, así como impedir que las descargas eléctricas durante las pruebas puedan perturbar a otros aparatos situados en el exterior, es necesario que la nave de pruebas este convenientemente blindada. El grado de blindaje se escogerá de acuerdo con las necesidades y situación del laboratorio.

El blindaje puede realizarse haciendo un revestimiento completo de la nave de pruebas mediante láminas metálicas soldadas a la estructura metálica del local tanto en las paredes como en el techo. También puede realizarse mediante una malla metálica que recubra techo y paredes. El piso debe estar constituido también por una malla metálica soldada a la estructura del local, cuya misión fundamental es servir de retorno de las corrientes a tierra durante las pruebas.

Las puertas metálicas de la nave de pruebas deben estar conectadas a la red general de tierra.

Debe evitarse, en lo posible, la instalación de ventanas y, en el caso de existir, deberán estar cubiertas de una malla metálica para evitar la entrada o salida de perturbaciones a través de ellas.

Cuando en la nave de pruebas vayan a realizarse mediciones de descargas parciales o perturbaciones radioeléctricas, el blindaje de paredes y techo debe estar especialmente concebido para evitar errores en las mediciones. En caso necesario deberán realizarse dentro de un recinto independiente; totalmente blindado formando una jaula de Faraday.

Red de Tierra.

La red de tierra del laboratorio debe permitir un fácil drenaje a tierra de las corrientes durante las pruebas. Esta red debe estar constituida por una malla fina realizada con lámina de cobre desplegada, cruzada mediante bandas de cobre, formando cuadros de aproximadamente 1m x 1m. Esta red debe extenderse a todo el suelo del laboratorio, especialmente a la zona de prueba de impulso y debe soldarse a la estructura del local y a los puntos de tierra que se hayan previsto.

Cuando se vayan a realizar pruebas bajo lluvia artificial, el laboratorio debe estar provisto de una instalación para acondicionamiento del agua normalizada para las pruebas. En este caso, el piso de la nave de pruebas debe permitir que el agua utilizada pueda ser evacuada a través de un sistema de drenaje.

Nave de Montaje.

Cuando los aparatos a probar requieran tiempos de montaje y desmontaje significativos, es conveniente no utilizar para este fin la nave de pruebas, pues estos trabajos pueden interferir en la realización de pruebas de otros aparatos. En estos casos es conveniente disponer de una nave de montaje independiente, anexa a la nave de pruebas y provista de todos los medios necesarios para este trabajo (Fig. 1.1).

Sala de Mantenimiento.

Debe encontrarse en zonas próximas a las propias instalaciones, con fácil acceso y dotadas de elementos de mantenimiento por si es preciso actuar en ellas. Deben disponer de iluminación de emergencia, capacidad de maniobra y movimiento de los aparatos que la compongan, así como señalización y esquemas de la instalación.

PRUEBAS DIELECTRICAS A FRECUENCIA INDUSTRIAL.

El empleo casi absoluto de tensiones senoidales de 50 o 60 Hz en la generación y transmisión de la energía eléctrica, obliga a probar los diversos elementos que componen un sistema eléctrico de potencia a estos rangos de frecuencia, para asegurar su buen funcionamiento posterior. Con la prueba a frecuencia industrial se simulan las sobretensiones temporales de corta duración, que son debidas fundamentalmente a desconexión de cargas importantes y falla monofásica. También esta prueba sustituye a la de impulso tipo maniobra en materiales de tensión nominal inferior a 300 Kv.

Las pruebas a frecuencia industrial pueden realizarse mediante tensión aplicada y/o tensión inducida. El primer caso es el empleado normalmente para comprobar la rigidez dieléctrica del aislamiento que existe entre dos elementos conductores del objeto a probar. Uno de dichos elementos conductores se conecta a la tensión y el otro a tierra. La tensión se mantiene aplicada durante el tiempo establecido (generalmente un minuto).

La prueba de tensión inducida se emplea fundamentalmente en transformadores y permite comprobar el aislamiento entre espiras de un devanado. Para ello se aplica una tensión adecuada a un devanado de baja tensión del propio transformador, dejando a cir-

cuito abierto el devanado que se prueba. Para evitar calentamientos excesivos por aparición de flujos elevados, se suelen realizar estas pruebas a frecuencia superior a la nominal y con una duración que depende de ésta.

Las instalaciones de prueba deben cumplir los siguientes requisitos:

- Alcanzar el valor de la tensión exigida para la prueba y mantenerlo constante durante ésta.
- Mínima deformación de la onda senoidal.
- Mantener constante la frecuencia durante la prueba.

Una instalación de pruebas a frecuencia industrial se puede representar esquemáticamente por el circuito de la Fig. 1.2 en la que la tensión de prueba se obtiene del secundario de un transformador monofásico de relación de transformación elevada y cuyo primario está alimentado por una fuente de tensión variable. Esta fuente de tensión puede ser un generador o un transformador conectado a la red de alimentación del laboratorio.

La alimentación mediante un generador tiene como principal ventaja la de poder disponer de tensiones con frecuencia distinta a la de la red, lo que además, permite utilizarlo como fuente de alimentación en la prueba de tensión inducida. La regulación de tensión se consigue de forma continua actuando sobre la excitación.

En la Fig. 1.2 el generador es movido por un motor de corriente continua alimentado de la red a través de un sistema rectificador.

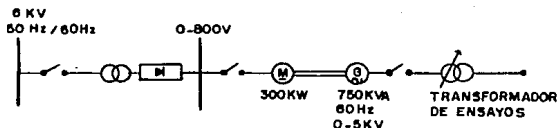


FIG. 1.2
INSTALACIONES PARA PRUEBAS A FRECUENCIA INDUSTRIAL.

Cuando la alimentación se hace a través de un transformador, éste ha de tener un sistema de regulación lo más fino posible, además debe tener la menor impedancia, serie posible, para no deformar la onda senoidal de tensión.

Características del Transformador para la Prueba de Tensión Aplicada.

Para las pruebas de tensión aplicada se emplean normalmente transformadores de prueba que puedan dar una tensión igual al menos a 1.1 veces la máxima tensión exigida en las posibles pruebas.

Además, el objeto a probar representa una carga capacitiva de magnitud dada aproximadamente por:

- Aisladores de suspensión y soporte 20 pf.
- Boquillas, Transformadores de instrumento 200-400 pf.
- Transformadores de potencia: hasta 1MVA 3000 pf hasta 25000 pf.
- Cables 150 a 300 pf/m.
- Capacitores de medida, conductores de la instalación de ensayos, etc.: hasta 100 KV 100 pf hasta 1000 KV 1000 pf.

Esta carga capacitiva exige una potencia del transformador de prueba dada por la ecuación:

$$S = CU^2 w$$

siendo:

U = la tensión de ensayo
w = la velocidad angular
C = la capacidad de carga.

Características de los Equipos de Alimentación para la Prueba de Tensión Inducida.

En la definición del equipo de prueba hay que tener en cuenta el consumo de potencia reactiva debido a las capacidades propias del transformador a probar y el consumo de potencia activa debido a las pérdidas en el hierro.

También habrá que tenerse en cuenta que la duración de la prueba es función de la frecuencia de la tensión de prueba.

Generación de Altas Tensiones Alternas.

Transformadores de Alta Tensión.

La generación de altas tensiones alternas se hace mediante transformadores monofásicos de relación de transformación elevada. Hasta tensiones de 500 o 600 Kv se emplea un único transformador; para tensiones superiores se recurre a varios transformadores conectados en cascada. (Fig. 1.4)

Desde un punto de vista constructivo, el esquema más simple es el representado en la Fig. 1.3 (a), en el que el aislamiento entre el devanado de alta tensión y el núcleo soporta toda la tensión. Con la solución indicada en la Fig. 1.3 (b) el aislamiento soporta tan sólo la mitad de la tensión desarrollada en el devanado de alta, aunque ahora hay que aislar el tanque respecto a tierra.

El comportamiento de un transformador de alta tensión se ve influido grandemente por la capacitancia C del devanado de alta y la C_0 debida al objeto a probar.

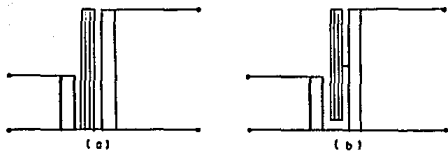


FIG. 1.3
 DIFERENTES FORMAS DE CONEXION DEL NUCLEO DE UN TRANSFORMADOR DE PRUEBAS.

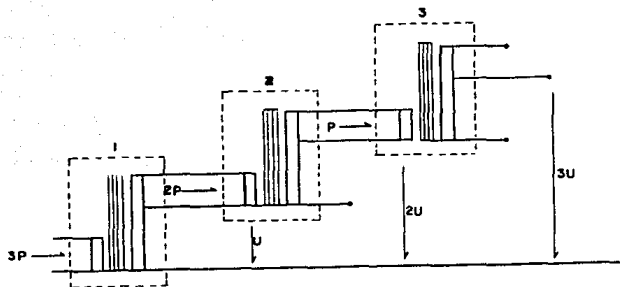


FIG. 1.4
 CONEXION EN CASCADA DE TRES TRANSFORMADORES DE PRUEBA.

Circuitos Resonantes.

Un circuito serie R.L.C. en condiciones de resonancia tiene la propiedad de que la tensión en la bobina es igual y de signo contrario a la que existe en el capacitor y ambas tienen un valor eficaz que es Q veces la tensión aplicada al circuito ($Q =$ factor de calidad del circuito). Además, la potencia reactiva cedida por el capacitor o absorbida por la bobina es Q veces la potencia entregada al circuito.

En la práctica el circuito se forma según la Fig. 1.5 donde C es la capacitancia de la muestra a probar y L es una inductancia variable de forma continua.

El método de trabajo consiste en variar L , para una tensión U_2 suficientemente baja, hasta que U alcanza el valor deseado. En este momento el valor de U_2 será Q veces inferior al aplicado sobre la muestra a probar y la potencia entregada por la fuente de alimentación es Q veces inferior a la que cede la muestra probada.

Otra ventaja importante de este método es que en caso de falla del aislamiento durante la prueba, el circuito sale de resonancia y la corriente viene limitada por la reactancia, en serie con una fuente de tensión de valor relativamente bajo. Además, se produce de hecho un filtrado de la tensión de alimentación, puesto que la resonancia se consigue para la frecuencia fundamental.

La mayor dificultad se encuentra en la realización práctica de la inductancia L , ya que ha de poderse variar de forma continua, tiene que soportar la tensión de prueba y su valor se debe mantener constante con la tensión, se suelen construir con núcleo de hierro y un entre hierro variable.

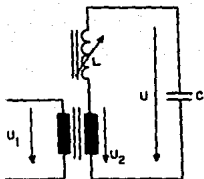


FIG. 1.6
CIRCUITO RESONANTE R.L.C.

INSTALACION PARA LAS PRUEBAS DE IMPULSO.

Los impulsos normalizados que deben utilizarse son de dos tipos: impulsos tipo rayo e impulsos tipo maniobra. Los impulsos por rayo tienen una duraci3n del frente de 1.2 μ s, y una duraci3n hasta el valor medio en la cola de 50 μ s, mientras que para los impulsos por maniobra estos tiempos son 250 y 2500 μ s, respectivamente.

Una instalaci3n para pruebas de impulso tipo rayo y tipo maniobra se compone esencialmente de los siguientes elementos:

- Un generador de impulsos
- Un rectificador con regulaci3n continua de la tensi3n de carga, cuya misi3n es cargar los capacitores del generador de impulsos. La regulaci3n de estos dos componente de la instalaci3n se efectua desde la consola de mando, en el que han de ir incorporados los instrumentos de medici3n.
- Otros componentes importantes de la instalaci3n son tambi3n el divisor de tensi3n, que es uno de los componentes esenciales para poder obtener una medida fiel de las caracteristicas del impulso, y un dispositivo de corte, encargado de producir un corte en el momento indicado del impulso de tensi3n aplicado a la muestra de prueba.

- Instrumentos de medida y registro, tales como un voltmetro de cresta y un osciloscopio. Para el registro de corrientes de tierra es necesario disponer de shunts adecuados.

Generador de Impulsos.

Un esquema simplificado de un generador de impulsos es el que nos muestra la Fig. 1.6.

El generador se alimenta con una tensión continua obtenida por medio de un rectificador.

El acumulador de energía de la instalación es el capacitor C_a . Este se carga a la tensión U_c por medio de un transformador y un rectificador a través de R_c (resistencia de carga). El circuito de descarga está constituido por la capacitancia C , la resistencia de amortiguamiento R_a y la resistencia de descarga R_d . Ambos circuitos están separados eléctricamente por un explosor de esferas E . Cuando la tensión U_c entre las armaduras del capacitor C_a alcanza la tensión de ruptura del explosor E , que dependerá de la separación de las esferas, la tensión en bornes de la resistencia R_d y de la muestra en prueba se eleva bruscamente. La elevación de la tensión en la capacidad C viene determinada principalmente por la resistencia de amortiguamiento R_a , llamada resistencia de frente o resistencia serie y por la capacitancia C_a .

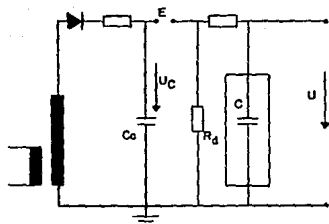


FIG. 1.6
 GENERADOR DE IMPULSOS SIMPLIFICADOS

Simultáneamente a la carga de C, tiene lugar la descarga de la capacitancia Ca sobre Rd, llamada resistencia paralelo o de cola.

El valor de la tensión Uc se obtiene regulando la separación entre las esferas del explosor E.

La figura 1.7 muestra la variación teórica de los impulsos de tensión así producidos. En ella se aprecia que el valor de cresta de impulso obtenido U es inferior a la tensión de carga Uc.

La relación U/Uc se denomina rendimiento de la instalación. Este rendimiento depende de la relación C/Ca y de la forma del impulso. Así, por ejemplo, para un impulso de forma 1.2/50 y C/Ca = 1 el rendimiento es aproximadamente 0.4. Este rendimiento aumenta cuando la capacitancia de la muestra bajo prueba disminuye o la capacitancia Ca aumenta.

Para un impulso 1.2/50 μ s, el valor de la tensión de cresta del impulso es igual aproximadamente a:

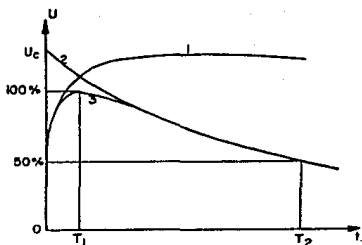
$$U = U_c \left(0.95 - \frac{C_p}{C_p + C_e} \right)$$

U = valor de cresta del impulso de tensión

Uc = Tensión de carga total

Cp = Capacitancia total resultante de la conexión en paralelo del objeto a probar con la carga base y la capacitancia parásita del generador y de los capacitores del circuito.

Ce = Capacitancia efectiva del generador que para una sola etapa coincide con Ca.



- 1 CARGA DE C_0 A TRAVES DE R_0
- 2 DESCARGA DE C_0 A TRAVES DE R_d
- 3 CARACTERISTICA DEL IMPULSO RESULTANTE

FIG. 1.7

VARIACION TEORICA DE LOS IMPULSOS DE TENSION.

El circuito simple de impulso anteriormente expuesto es utilizable sólo para tensiones de prueba de hasta 200 Kv aproximadamente.

Para tensiones más elevadas se emplea el multiplicador de tensión de Marx (Fig. 1.8).

Este montaje permite producir impulsos de tensión de valor de cresta elevado con una tensión de alimentación relativamente baja.

Su principio consiste en sustituir el capacitor único C_a de la Fig. 1.6 por una serie de capacitores que se cargan en paralelo a través de las resistencias de carga R_c y se conectan en serie por medio de los explosores E en el momento de la descarga.

El valor de la tensión del impulso viene determinado por la suma de las tensiones de carga de todas las etapas. La capacitancia efectiva del generador resulta del acomplamiento en serie de todos los capacitores C_a .

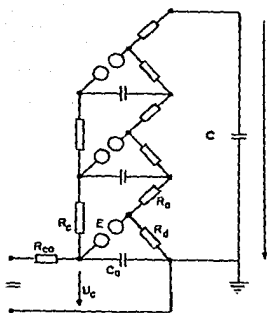


FIG. 1.8
 GENERADOR MULTIPLICADOR DE MARX.

Características de los Generadores de Impulsos.

Tensión de carga máxima.

En las normas se dan las distintas tensiones de prueba recomendadas para los equipos eléctricos de Alta Tensión. Por tanto, el nivel de tensión de la instalación de impulsos está condicionado por el nivel máximo de la tensión de los aparatos a probar.

La tensión de carga total de un generador de impulsos es igual a la tensión de carga por etapa multiplicada por el número de etapas.

El cociente U/U_c se denomina "rendimiento del generador" y viene a ser del orden de 0.8 para impulsos tipo rayo y de 0.7 para impulsos de maniobra.

Energía y capacidad efectiva.

La energía necesaria del generador de impulsos viene determinada por la capacitancia, la inductancia y la resistencia de las muestras a probar.

En la mayoría de los casos la característica capacitiva es la predominante.

En la página 20 se dió el valor aproximado de la capacitancia, de diferentes aparatos, que pueden servir de base para el cálculo de la energía necesaria del generador.

Cuando las muestras a probar sean de una capacitancia elevada, el generador de impulsos debe elegirse de forma que su capacitancia efectiva C_e sea del orden de 5 veces la capacitancia de la carga total.

En el caso de cargas inductivas, la capacitancia efectiva debe ser lo suficientemente grande como para evitar las oscilaciones en la cresta del impulso. La capacitancia mínima está dada aproximadamente por la fórmula:

$$C_e = \frac{8 T^2}{L}$$

C_e = Capacitancia efectiva mínima, en pf.

T = Duración hasta el valor medio del impulso deseado, en segundos.

L = Inductancia de la muestra a probar, en H.

Cuando se prueba un transformador de potencia trifásico acoplado en estrella, se aplica generalmente el impulso de tensión a una de las fases, estando las otras dos puestas a tierra y el secundario en corto circuito. La capacidad mínima en este caso para una onda 1.2/50 μ s esta dada por:

$$C_e = \frac{P_n 10^8}{U_n^2 E_{cc}}$$

siendo:

P_n = la potencia nominal del transformador en MVA.

U_n = su tensión nominal en KV

E_{cc} = su tensión de corto circuito en %.

La energía acumulada en un generador de impulsos se expresa como sigue:

$$W = \frac{U_c^2 \times C_e}{2} \times 10^{-9}$$

estando expresada W en KJ

U_c = Tensión de carga máxima en Kv

C_e = Capacitancia efectiva en pf.

Dispositivos de Corte de los Impulsos.

Otras de las pruebas normalizadas para algunos aparatos de alta tensión (transformadores y reactores) es la prueba con impulsos de tensión cortados, ya sea en el frente o en la cola.

Estos impulsos se consiguen cortando un impulso normal por medio de un dispositivo adecuado puesto en paralelo con la muestra a probar en el que se calibrará una distancia disruptiva. El tiempo que transcurre desde el origen convencional del impulso hasta el momento del corte, se define como tiempo de corte T_c , que debe estar comprendido normalmente entre 2 y 5 μs .

Los dispositivos empleados para cortar impulsos son los explosores, que pueden ser: de varillas y de esferas.

Explosores de varilla.

Los explosores de varillas son de campo simétrico, no presentan efecto de polaridad; sin embargo la proximidad de la tierra produce, asimétricas en el campo, de manera que, en la práctica, el tiempo de corte viene afectado por la polaridad de la onda.

Tienen el inconveniente de que el tiempo de corte no es regular; además, la tensión de corte está limitada a valores bajos.

Explosores de Esferas.

Estos explosores son empleados normalmente para cortar los impulsos de tensión. Están provistos de un dispositivo para que se establezca el arco y provocar el corte al cabo de un tiempo determinado.

Los montajes empleados normalmente están representados en las figuras 1.9 y 1.10.

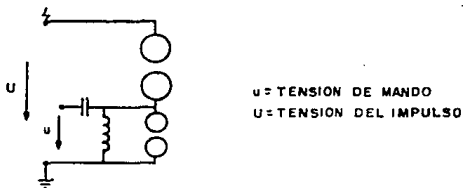


FIG. 1.9
CALIBRADO DE LOS EXPLOSORES CON CIRCUITO LC UNIDO A LA ARMADURA PUESTA A TIERRA.

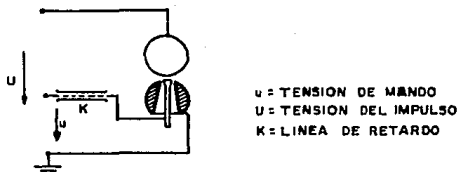


FIG. 1.10
CALIBRADO DEL EXPLOSOR CON ELECTRODO DE CEBADO.

Determinación de las Distancias de Guarda.

Las distancias mínimas a respetar entre los aparatos bajo tensión y las estructuras y objetos cercanos puestos o no al potencial de tierra han de ser tales que, en condiciones normales de funcionamiento de la instalación, no se produzca ninguna descarga eléctrica entre ellas.

En un laboratorio para pruebas de materiales de tensión máxima de servicio inferior a 300 Kv, como para esta gama de tensión no se especifican pruebas de impulso tipo maniobra, las distancias de guarda vienen determinadas por el valor máximo del impulso de tensión tipo rayo positivo que vaya a utilizarse en el laboratorio. Por el contrario, para niveles de tensión superiores o iguales a 300 Kv, las distancias de guarda vienen dadas por el valor máximo del impulso de tensión tipo maniobra positivo que vaya a utilizarse, puesto que es este tipo de impulso el que determina una tensión de ruptura menor para una misma distancia de aislamiento.

El cálculo de las distancias de guarda se pueden realizar mediante las fórmulas siguientes:

$$d = \frac{U}{450} \quad \text{Para impulsos tipo rayo}$$

$$d = \beta \frac{8}{2900 K} U \quad 1 \quad \text{Para impulsos tipo maniobra y frecuencia industrial.}$$

donde:

- d = distancia de guarda en m.
 U = valor de cresta del impulso de tensión, en Kv.
 β, B = coeficientes de seguridad, que se puede tomar igual a 1.2.
 K = factor de forma del intervalo, que para el caso más desfavorable (punta-plana) vale 1.

Si la distancia de guarda calculadas a partir de los impulsos de maniobra son excesivas, se pueden reducir dando una forma esférica de dimensiones convenientes a las partes altas de los equipos de prueba, con lo cual el factor de forma K puede aumentar hasta 1.2 o 1.3.

Red de Tierras.

Las corrientes asociadas a las pruebas de impulso dan lugar a la formación de un campo electromagnético de valor elevado que puede inducir tensiones indeseables en los circuitos de medición y control de las instalaciones del laboratorio. Por otra parte estas corrientes al ser drenadas a tierra, pueden circular por las pantallas de estos mismos cables y provocar caídas de tensión importantes que es preciso evitar. Esto se logra haciendo que el camino seguido por estas corrientes sea lo más corto posible, facilitando su recorrido mediante una buena red de conductores de tierra.

La red de tierra de la instalación de pruebas de impulso debe estar constituida por una malla de cobre, que cubra toda la zona de pruebas, soldada a varias varillas de puesta a tierra. La separación entre varillas debe ser del orden de dos veces su longitud.

Alrededor de esta red de tierras se ha de disponer otra menos efectiva, formada por ejemplo, por bandas de cobre que constituyan una malla de 1 m x 1 m. Estas bandas deben soldarse a la red de tierra de la instalación de impulso y deben cubrir todo el piso del laboratorio, soldandolas también a la estructura y malla de blindaje de las paredes del laboratorio.

En la zona de la red de tierra de la instalación de impulso, han de preverse tomas de tierra al exterior cada cierta distancia, por ejemplo una toma por cada 16 m², para poder conectar a ellas los bordes de tierra de los aparatos mediante conductores lo más cortos posible.

Los canales para cables deben ser metálicos y deben soldarse a la red de tierras.

PRUEBAS CON TENSION CONTINUA.

Las pruebas con tensión continua se utilizan para probar el aislamiento de los equipos que van a trabajar en una red de corriente continua o como sustitución de una prueba de tensión alterna para equipos de una red de corriente alterna cuando su capacidad es tan grande que requiere una potencia excesiva del equipo de prueba en C.A.

Los generadores de alta tensión continua se utilizan, para los siguientes fines:

- *Pruebas de aparatos y cables de alta tensión.*
- *Pruebas de equipos una vez instalados.*
- *Carga de generadores de impulso.*

En el campo de la investigación se usan, para el desarrollo y verificación de aparatos destinados a la transmisión de energía en corriente continua a muy alta tensión.

La generación de tensiones continuas elevadas se consigue con circuitos multiplicadores de tensión en varios escalones (conexión en cascada). El más conocido de los montajes multiplicadores por escalones en cascada es el Greinacher (Fig. 1.11).

- 1 Excitatriz
- 2 Motor trifásico
- 3 Generador monofásico de c.c.
- 4 Regulador de la tensión
- 5 Transformador de regulación
- 6 Bobina de autoinducción de compensación
- 7 Transformador de tensión elevado
- 8 Rectificador en cascada de Greinacher
- 9 Descargadores de protección
- 10 Resistencia de protección
- 11 Resistencia de medida
- 12 Objeto de prueba

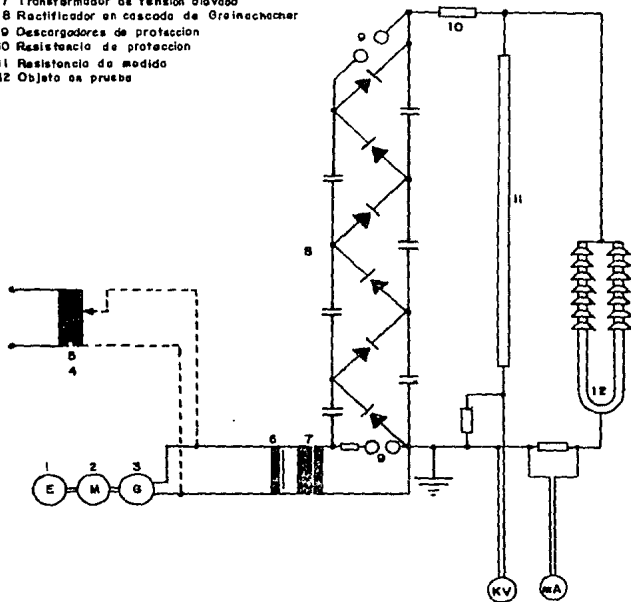


FIG. 111
EJEMPLO DE UN GENERADOR DE TENSION CONTINUA

Como se observa en la Fig. 1.11, la alta tensión puede regularse desde cero hasta su valor máximo, con el transformador de regulación o bien actuando sobre la excitatriz, en caso de utilizarse un grupo convertidor.

También existen generadores electrostáticos de tensión continua en los que la separación de cargas positivas y negativas se efectúa por medios mecánicos (generadores Van de Graaf).

Otros generadores se basan en la rectificación y filtrado de la tensión de salida de un transformador de pruebas. En estos generadores, con objeto de obtener una tensión de salida con poca ondulación se suele utilizar una alimentación a frecuencia media (400 o 500 Hz) por medio de un grupo convertidor. En caso necesario puede disminuirse más dicha ondulación conectando filtros adecuados.

Según sea el programa de pruebas, se debe aplicar una tensión de polaridad positiva o negativa; por ello en los generadores de tensión continua puede hacerse el cambio de polaridad manualmente invirtiendo los rectificadores o bien mediante dispositivos de inversión automáticos.

Por regla general, para tensiones de prueba entre 1000 y 2000 Kv puede necesitarse una corriente rectificadora del orden de 20 mA como máximo. Para las pruebas de investigación de las transmisiones de energía en corriente continua en alta tensión se necesitan rectificadores que puedan suministrar corrientes del orden de 1A.

CAPITULO II

MEDIDAS DE SEGURIDAD

CAPITULO II

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Debido al riesgo siempre presente, en mayor o menor grado, que se corre al manejar la corriente eléctrica, sea ésta de alta o baja tensión, se hace necesario instruir, con respecto a la seguridad y buen manejo de equipo e instrumental eléctrico, a los alumnos y personal involucrado en la elaboración de pruebas, en donde, intervengan tensiones y corrientes que puedan causarles algún daño.

En el presente capítulo se da a conocer el resultado de los puntos más importantes que toda persona, que interviene en las pruebas de alta tensión, necesita conocer en cuanto a medidas de seguridad se refiere, en laboratorios de alta tensión.

En un laboratorio de alta tensión, la seguridad debe ser responsabilidad tanto de los diseñadores del laboratorio como del personal a cargo del mismo, ya que es en el diseño donde se debe pensar en las zonas de exclusivas para la realización de pruebas, en los dispositivos de seguridad y señalamientos de prevención para el personal y equipos, mismos que sin la precaución del personal serían inútiles muchos de ellos.

Por lo anterior, los encargados de realizar las pruebas deben:

desarrollar buenos hábitos de trabajo, estudiar la tarea a realizar y reflexionar sobre los procedimientos, métodos y aplicación de las herramientas, instrumentos y máquinas, antes de actuar.

Es importante asegurarse de las condiciones del equipo y de peligros presentes antes de trabajar, es decir, cerciorarse que todos los conductores o cables que puedan asumir altos potenciales, y las zonas de contacto, se encuentren aterrizadas, además, verificar que todas las alimentaciones estén abiertas (interrumpidas).

Nunca se debe confiar, en dispositivos de seguridad como lo son fusibles, relevadores ya que pueden no estar funcionando y no brindar protección cuando más se necesiten.

En la zona de pruebas, todo equipo que no tenga alguna función en el desarrollo de la prueba debe ser retirado debido a que la desorganización sólo conduce a actuar con descuido.

Los movimientos corporales en un sitio de pruebas y en general en cualquier instalación eléctrica, deben ser cautelosos y siempre que no sea necesario utilizar las dos manos, es conveniente meter una al bolsillo puesto que en caso de accidente, es más peligrosa una corriente que pasa por las dos manos y cruce por el corazón que una corriente que vaya de la mano al pie.

Siempre es importante trabajar acompañado, para así tener ayuda inmediata en caso de accidente.

A continuación, se describirán los puntos fundamentales que se deben cumplir, en cuanto a medidas de seguridad que por diseño deben tener los laboratorios de alta tensión.

Aterrizado.

El objetivo del aterrizado es reducir al mínimo el peligro que presenta un sistema por la energía contenida en él o por causas externas.

Por lo que es necesario contar con una red de tierra adecuada (ver red de tierra, descrito en el capítulo I), a la cual se conecten todos los neutros de los equipos, estructuras metálicas y todas aquellas partes que requieran estar a potencial de tierra.

El aterrizado o puesta a tierra se efectúa mediante un conductor conectado a tierra dentro de la cerca; fijando la guía de tierra sobre las partes que van a ser aterrizadas, las cuales sólo podrán ser hechas con la ayuda de barras aislantes. Son permitidos interruptores (switch) para una completa visión de la posición de operación.

Aparte de las medidas que se tomen para garantizar conexiones seguras de tierra para condiciones de trabajo, uno debe recordar que pueden ocurrir rápidas variaciones de tensión y corriente durante los experimentos con alta tensión como resultado del proceso de rompimiento dieléctrico. En consecuencia aparecen corrientes

tes transitorias en las conexiones de tierra y estas pueden causar diferencias de potencial de la misma magnitud que las aplicadas en las pruebas de alta tensión.

Los elementos conectados al potencial de tierra, en condiciones de operación pueden adquirir temporalmente un alto potencial, en general el riesgo al personal no es de consecuencia. Por otro lado, pueden ocurrir daños al equipo e interferencias en las mediciones.

Cercado.

Todos los sistemas de alta tensión deben estar protegidos contra cualquier entrada intencional en zonas de peligro, por medio de muros o celdas metálicas. En algunos es suficiente con un acordonamiento o una señalización de peligro adecuada siempre que la observación del experimento sea constantemente supervisada.

Cuando se instalan cerca en sistemas de alta tensión, para tensiones hasta 1 MV; los espacios mínimos requeridos entre los componentes que forman un sistema de alta tensión, no pueden ser reducidos de los siguientes valores:

Tensiones de Impulso 20 cm por cada 100 Kv.

Tensiones de C.A. Y C.D. 50 cm por cada 100 Kv.

Para tensiones por arriba de 1MV, particularmente de tensiones de impulso por maniobra (switcheo), los espacios mínimos descritos anteriormente, pueden ser inadecuados, para lo cual se requiere la introducción de valores especiales.

La cerca debe ser aterrizada y provista de algún letrero, inscrito en el "PELIGRO ALTA TENSION y/o ALTAMENTE PELIGROSO". Esta prohibido introducir cualquier objeto que pueda ser conductor, directamente a la cerca, mientras este en uso el sistema.

Cerrojos e Interruptores de Seguridad.

En los sistemas de alta tensión, cada una de las puertas deben estar provistas de cerrojos de seguridad, esto permite que la puerta se abra, sólo cuando todas las alimentaciones principales del sistema de pruebas se encuentren abiertas (interrumpidas). Los interruptores de seguridad pueden también operar por medio de relevadores de NO Voltaje, que operen un interruptor de potencia, el cual corta toda la alimentación principal de los conductores del sistema cuando alguna puerta de acceso a la zona de peligro se encuentra abierta, Este interruptor de potencia podrá ser nuevamente operado, cuando todas las puertas de acceso se encuentren cerradas.

Para suministro directo de alta tensión en la red, la alimentación principal debe ser interrumpida visiblemente, antes de entrar al sistema, por la apertura adicional de un interruptor ais-

lante. Aquí deberá ponerse especial cuidado, particularmente, para la apertura segura del interruptor de la alimentación principal, sobre interruptores aislantes u otros puentes de conexión y sobre el escritorio de control que le concierne al sistema, para lo cual un letrero deberá ser desplegado, inscrito en el " PELIGRO! NO CERRAR EL INTERRUPTOR".

Señalamientos.

Los señalamientos en un laboratorio de alta tensión, pueden ser: acusticos, luminosos o letreros de prevención.

En cuanto a los señalamientos acusticos; antes de encender el sistema de alta tensión, deberá darse una señal de peligro corta mediante una señal audible (timbre o corneta) y/o por una llamada indicando: "ATENCION SE ENCIENDE EL SISTEMA O INTERRUPTORES CERRADOS". Estos avisos son especialmente importantes durante experimentos ruidosos, de modo que la gente que se encuentre en el área de trabajo pueda escucharlos. Si es necesario, para el apagado del sistema, puede hacerse las mismas indicaciones como se hace para el encendido o por ambas señales.

Los señalamientos luminosos, deben ser colocados en lugares visibles tanto dentro como fuera de la sala de pruebas, éstos pueden ser focos rojos para indicar que se está efectuando la prueba y verdes cuando esta desenergizada la zona de peligro.

Los letreros de prevención deben ser colocados en las puertas de acceso a la zona de pruebas, en el cercado y en aquellos sitios en donde estén presentes altas tensiones o donde exista algún peligro.

Protección contra Riesgos de Incendio, Explosiones y Radiaciones

En experimentos donde se manejen materiales como el aceite u algún otro, fácilmente inflamables, es necesario tener especial cuidado, por causas de explosiones e incendios. En dichas pruebas con el manejo de estos materiales, debe ser conveniente tener a la mano, extinguidores fácilmente manejables, listos para cualquier instante en que se desee utilizarlos.

Los productos de desperdicio, fácilmente inflamables (papel, algodón, etc.) deben ser dispuestos, inmediatamente, en recipientes o recipientes de metal (bote de basura).

Conductas que se deben seguir en caso de existir algún accidente eléctrico. En cualquier sistema eléctrico (por más seguro que éste sea), siempre está presente el riesgo de sufrir un accidente por falta de precaución o exceso de confianza, por lo que es importante que toda persona cuyo campo de trabajo se relacione con la energía eléctrica, tome en cuenta lo siguiente, en caso de presentarse algún accidente.

- *Todas las alimentaciones del sistema o conjunto de alta tensión deberán abrirse (interrumpidas), en cuanto esto no se haya llevado a cabo, ninguna persona bajo cualquier circunstancia podrá tocar a la víctima, ya que posiblemente sería afectada.*

- *Si la víctima se encuentra en un estado inconciente, inmediatamente deberá notificarse al servicio médico, doctor, etc. (por cualquier medio posible). Es conveniente que se deba tener conocimiento sobre primeros auxilios, para este tipo de casos que se presentan dando inmediatamente una res-tauración de la respiración, por medio de respiración arti-ficial (boca a boca), que en algunos casos puede ser vital su aplicación, además de dar un masaje al pecho. Estas me-didas deben ser continuadas, hasta el inicio de alguna otra operación, por tiempo de 6 a 8 minutos, antes de dar un ma-saje directo al corazón; o bien por la llegada del personal especializado.*

- *Otra medida que se debe tomar es que aún cuando la víctima no este en un estado inconciente, es recomendable que per-manezca inmóvil, para así tomar las medidas correctas, reco-mendadas por el doctor.*

CAPITULO III

MEDICIONES DE ALTA TENSION

CAPITULO III

MEDICIONES DE ALTA TENSION

Las altas tensiones desarrolladas en un laboratorio de alta tensión necesitan, para ser medidas, de instrumentos que estén diseñados para soportar la tensión a la que estarán sometidos y que posean una precisión confiable.

Los instrumentos de medición en un laboratorio de este tipo son muy variados para los diferentes fines que se persiguen. Entre estos instrumentos se encuentran, los de medición de tensión, corriente, factor de potencia, capacitancia, descargas parciales, etc.

Siendo los que más sobresalen, por ser los más utilizados en las pruebas dieléctricas, los instrumentos de medición de tensión, que son de los que nos ocuparemos en este capítulo. Es importante recalcar que las pruebas dieléctricas son las que, con mayor frecuencia, se desarrollan en los laboratorios de alta tensión.

En primera instancia podemos decir, que a nuestro parecer, son dos las formas existentes para la medición de alta tensión:

- Mediciones Directas
- Mediciones Indirectas

Mediciones Directas.

Son aquellas cuya conexión del instrumento se efectúa directamente sobre la línea de alta tensión y tierra; los instrumentos más utilizados para realizar este tipo de mediciones son: el voltmetro de esferas y el voltmetro electrostáticos.

Mediciones Indirectas.

Como su nombre lo indica en estas mediciones el instrumento de medición no se conecta directamente a la línea de alta tensión y tierra, sino que requiere de otros elementos que reduzcan la tensión a magnitudes apropiadas para realizar las mediciones necesarias mediante instrumentos convencionales, para así, conjuntamente formar un sistema de medición. Dicho sistema normalmente está formado por los siguientes elementos: Divisores de Tensión; Resistencias de Alta Tensión; Capacitores de Medida; Diodos Rectificadores; Voltmetros; Osciloscopios y Miliampermetros.

Por otra parte, se pueden realizar distintos tipos de medición de alta tensión, los cuales pueden clasificarse de acuerdo al tipo de tensión por medir; estas mediciones son: Mediciones de Tensión de C.A.; Mediciones de Tensión de C.D. y Mediciones de Tensión de Impulso.

En base a la clasificación anterior, se mencionarán los principales equipos de medición de alta tensión:

1. Medición de Tensiones de C.A.

Por medio de:

- Voltmetro de Esferas (valores pico de tensión)
- Ampermetro con una Alta Impedancia (valores pico de tensión)
- Voltmetro Electrostático (valores r.m.s. de tensión).
- Divisor de Tensión Capacitivo (valores pico de tensión)
- Transformadores de Potencial

2. Medición de tensiones de C.D.

Por medio de:

- Resistencias de Alta Tensión
- Voltmetro de Esferas (valores pico de tensión)
- Voltmetro Electrostático (valores r.m.s. de tensión)

3. Medición de Tensiones de Impulso

Por medio de:

- Divisores de Tensión
 - . Resistivos
 - . Capacitivos
 - . Mixtos (RC)

A continuación describiremos en forma general los principios fundamentales de operación, así como las características más importantes de los equipos antes mencionados; siguiendo el orden antes descrito.

VOLTMETRO DE ESFERAS.

El voltmetro de esferas es un equipo para medir el valor de cresta de altas tensiones.

Este consiste de dos esferas metálicas del mismo diámetro, pernos, vástago, dispositivos de operación, soportes aislantes, marco de soporte y terminales de medición.

Las esferas pueden ser de aluminio, bronce, latón o de aleaciones ligeras. Las superficies de las esferas deben ser lisas y sus curvaturas tan uniformes como sea posible. Los valores normalizados para el diámetro de las esferas son: 25, 62.5, 100, 125, 150, 250, 500, 750, 1000, 1500 y 2000 mm.

Los puntos en las esferas que están más cercanos, se denominan puntos de arqueo. En la práctica, las descargas disruptivas puede ocurrir en otros puntos, vecinos a los puntos de arqueo.

La ruptura entre esferas, debido a un arco, ocurre en pocos mseg una vez que la tensión aplicada excede el valor de la tensión de descarga disruptiva; esta tensión está en función del diámetro "D" de las esferas y el espaciamiento "s" que existe entre ellas.

$$U = f (D, s)$$

donde: U = Tensión de ruptura
 D = Diámetro de las esferas
 s = Espaciamiento entre esferas.

En la gráfica de la Fig. 3.1, se muestra la dependencia de la tensión de ruptura, sobre el espaciamento para diferentes diámetros de esferas.

El valor máximo que es posible medir con el voltmetro depende del diámetro de las esferas, ya que cuanto más se separan éstas, el campo es menos homogéneo y la dispersión en las tensiones de ruptura aumenta.

Para la medida de una tensión U se puede tomar, como regla general, un diámetro mínimo para las esferas, definido por:

$$D \geq U$$

(en m m) (en KV)

Como consecuencia de esto, tensiones elevadas exigen esferas de gran diámetro y la ocupación de un importante espacio en la sala de pruebas, por lo anterior el voltmetro de esferas es raramente utilizado para medición de tensiones arriba de 1 MV. Además, la proximidad de objetos, de las paredes y/o del suelo, modifican el campo e influyen sobre el resultado de las mediciones lo que obliga a mantener un espacio libre suficiente alrededor del voltmetro. Este espacio es un tanto mayor, cuanto mayor es el diámetro de las esferas.

El mayor inconveniente de la medida de valores de cresta con el voltmetro de esferas, reside en que después de la ruptura esperada al estar aplicando la tensión al objeto a probar no pueden ha-

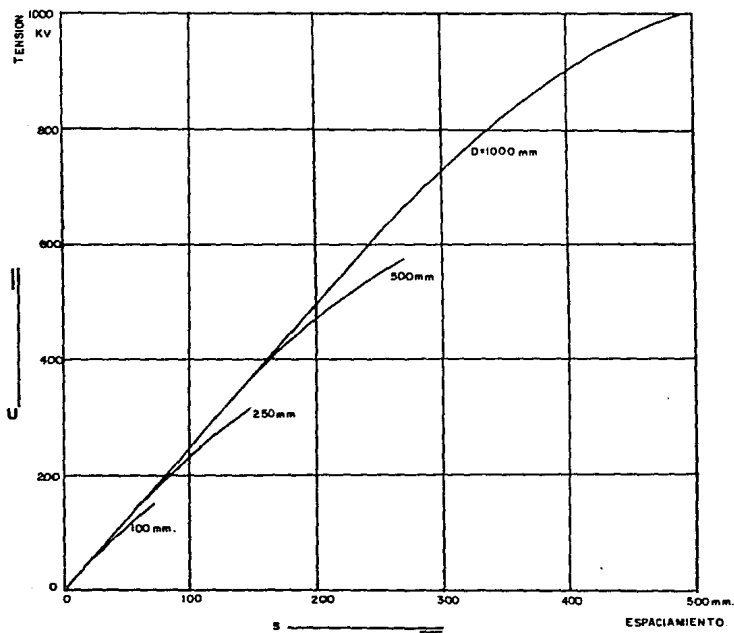


FIG. 3.1

cerse mediciones en forma continua, ya que en el instante de ruptura es corto circuitada la fuente de tensi6n. El voltmetro de esferas puede estar dispuesto de dos formas:

- *Arreglo de Eje Vertical.*
- *Arreglo de Eje Horizontal.*

Arreglo de Eje Vertical.

Cuando las esferas tienen arreglo vertical el vástago de la esfera de A.T. no debe tener aristas o esquinas y el diámetro del vástago no debe exceder de $0.2 D$ en una longitud igual a D . Esto se hace con el objeto de reducir la influencia del vástago de alta tensión. (A.T.).

Si se usa un distribuidor de campo eléctrico, al final del vástago, su dimensión mayor, perpendicular al eje de las esferas, no debe exceder de $0.5 D$. Tal distribuidor debe estar cuando menos a $2D$ del punto de arqueado de la esfera de A.T. El vástago de tierra y el mecanismo de operación tienen un menor efecto y sus dimensiones son por lo tanto menos importantes. La fig. 3.2 muestra los límites para el tamaño de los componentes en un voltmetro de esferas de arreglo vertical.

Arreglo de Eje Horizontal.

El voltmetro de esferas debe ser utilizado sobre un plano horizontal de tierra, fig. 3.3, tal como una red conductora que este en, o sobre el piso del laboratorio. La altura A del punto de arqueado de la esfera de A.T., sobre el referido plomo de tierra, debe estar dentro de los límites dados en la tabla 3.1. Este requisito se aplica a ambos tipos de voltmetro de esferas (vertical u horizontal).

Nota: Los vástagos de las esferas deben estar razonablemente alineados, cualquiera que sea el arreglo.

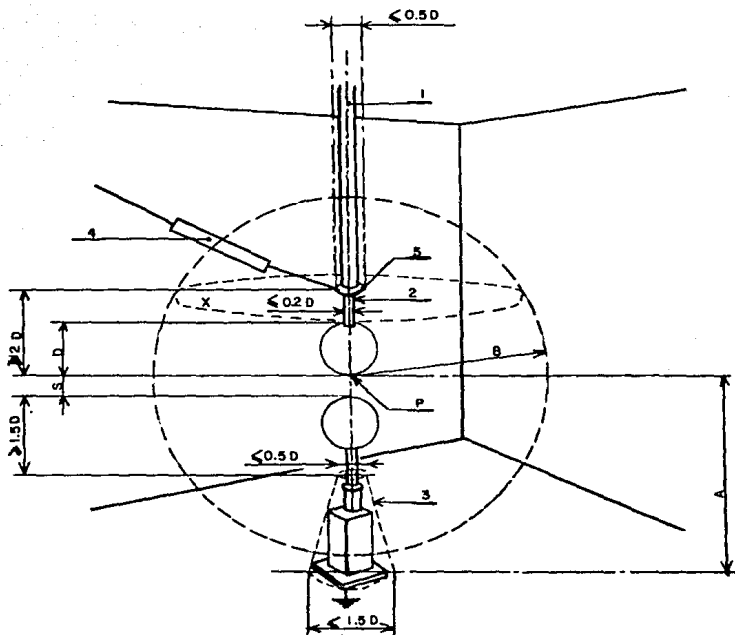
El arreglo horizontal es usualmente preferido para el diámetro de esferas a 500 mm ($D < 500$ mm), utilizado para bajos rango de tensión, para diámetros de esferas superiores se selecciona el arreglo vertical, el cual es de mayor comodidad para la medición de tensión con referencia al potencial de tierra.

Los claros alrededor de las esferas se deben tomar muy en cuenta al utilizar el voltmetro de esferas. El claro es la distancia desde los puntos de arqueo, de la esfera de A. T., hasta cualquier objeto extraño (tales como techo, paredes, tanques de transformadores, generador de impulso, boquillas, etc.) así como a la estructura de soporte de las esferas (si esta es de material conductor), no debe ser menor que el valor B que aparece en la tabla 3.1.

Independientemente del valor de "a", el valor de "B" no debe ser menor que 2D. salvo cuando sean estructuras aislantes, limpias y secas, y se utilicen solo para mediciones de tensiones alternas o de impulso, para lo cual la distancia "B" en el punto de arqueo de la esfera de A. T. a la estructura no deberá ser menor de 1.6D.

Diámetro de esfera "D" cm	Valor mínimo de "A"	Valor máximo de "A"	Valor mínimo de "B"
Hasta de 6.25	7 D	9 D	14 s
10 - 15	6 D	8 D	12 s
25	5 D	7 D	10 s
50	4 D	6 D	8 s
100	3.5 D	5 D	7 s
150	3 D	4 D	6 s
200	3 D	4 D	6 s

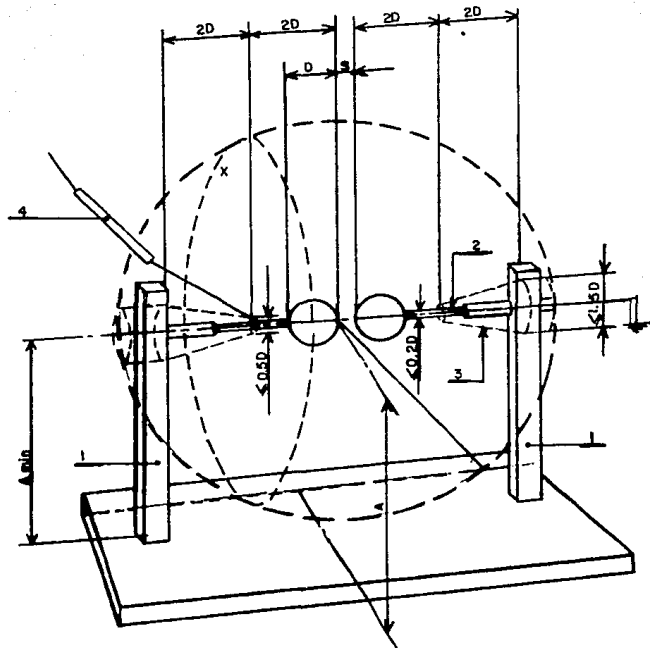
Tabla 3.1 Claros alrededor de las esferas



- 1 Soporte aislante
 2 Vástago de la esfera
 3 Mecanismo de operación, indicando las máximas dimensiones
 4 Conexión de alta tensión con resistor en serie
 5 Distribuidor de campo eléctrico indicando las máximas dimensiones
 A Altura de punto P sobre el plano de tierra
 B Radio del espacio a las estructuras externas
 P Punto de arco de la esfera de alta tensión
 S Espaciamento entre esferas
 X La conexión de alta tensión (vease parte 4, resistor) no debe cruzar este plano dentro de una distancia B o partir de P

FIG. 3.2

VOLTMETRO DE ESFERAS VERTICAL



- 1 Soporte aislante
- 2 Vértice de la esfera
- 3 Mecanismo de operación, indicando las máximas dimensiones
- 4 Conexión de alta tensión con resistor en serie
- A Altura del punto P sobre el plano de tierra
- B Radio del espacio libre a las estructuras externas
- S Espaciamiento entre esferas
- X La conexión de alta tensión (vease parte 4, resistor) no debe cruzar este plano dentro de una distancia B a partir de P
- P Punto de arqueo de la esfera de alta tensión

FIG 3 3
VOLTMETRO DE ESFERAS HORIZONTAL

Para la conexión de A.T. se debe observar lo siguiente: El conductor de A.T. puede contener un resistor en serie, que no este en el propio véstago, debe estar conectado a un punto del mismo que se encuentre por lo menos a $2D$ de distancia del punto de arqueo de la esfera de A.T.

El conductor de A.T. (incluyendo el resistor en serie, si lo hay) no debe cruzar a través del plano "X" normal, al eje del voltmetro de esferas, situado cuando menos a una distancia $2D$ del punto de arqueo de la esfera de A.T. y contenido en la región "B".

Se debe tomar precauciones, con el objeto de reducir la picadura de las esferas y para prevenir oscilaciones de alta frecuencia, las cuales pueden causar descargas disruptivas erráticas. Para lograr esto, se debe conectar en serie con el voltmetro de esferas, una resistencia no inductiva entre 100 K. Ω y 1 M. Ω . Esta gama de valores de resistencia se aplica en la medición de tensiones de c.d. y c.a. a la frecuencia industrial (60 Hz). Las resistencias son no inductivas, con el objeto de que no deformen la forma de onda.

El resistor debe colocarse tan cerca como sea posible de las esferas, y en serie únicamente con la esfera de A. T., a fin de amortiguar las oscilaciones anteriormente dichas y limitar la corriente de descarga.

Para estas resistencias se emplean tubos de material aislante (vidrio, porcelana, materias plásticas) llenos de agua purificada. Los valores de las resistencias para cada diámetro de esferas normalizado están dados en la Tabla 3.2.

DIAMETRO DE LAS ESFERAS (mm)	RESISTENCIA EN (M.Ω)
62.5	2.5
100	2.0
125	1.7
250	1.2
500	0.8
750	0.7
1000	0.6
1500	0.5
2000	0.4

Tabla 3.2

En mediciones de A.T., el procedimiento usual consiste en establecer una relación entre la medición hecha con un voltmetro de esferas y la indicación de un voltmetro, un osciloscopio o algún otro dispositivo conectado en el circuito.

MEDICION DE TENSIONES DE C.D. Y C.A.

La tensión debe ser aplicada con una amplitud suficientemente baja, para evitar una descarga disruptiva durante el transitorio que ocurre al cerrar el circuito, después se incrementa lentamente, para que en el indicador de B.T. pueda leerse en el instante de la descarga disruptiva.

Otro procedimiento consiste en aplicar al vóltmetro de esferas una tensión constante y reducir lentamente la distancia entre ellas hasta que ocurra la descarga disruptiva.

Si hay polvo o material fibrosos en el aire, puede ocurrir descargas disruptivas erráticas, especialmente cuando se miden tensiones de c.d. esto hace necesario llevar a cabo varias pruebas hasta obtener resultados consistentes.

MEDICIONES DE TENSIONES DE IMPULSO.

A fin de obtener para un vóltmetro de esferas, el valor de la tensión con 50% de probabilidad de descarga disruptiva (valor 50%), el espaciamiento entre esferas debe ajustarse en pasos que correspondan a no más de 2% del valor esperado de la descarga disruptiva.

Tensiones de descarga disruptiva entre esferas.

Las tensiones de descarga disruptiva para diferentes espaciamientos entre esferas, están dadas en la tabla 3.3. Esta tabla da tensiones disruptivas (tensión crítica de flanco o de 50% de probabilidad, en pruebas de impulso) en kilovolts pico para:

- Tensiones alternas
- Tensiones directas de ambas polaridades.
- Impulsos completos normalizados negativos (esta tabla no es válida para mediciones de impulso abajo de 10 KV)

La tabla 3.3 da la tensión crítica de flameo o de 50% de probabilidad en kilovolts pico para impulsos completos normalizados, positivos. (para esta condición son válidos los valores abajo de 10 KV).

Espaciamiento entre esferas cm	Diámetro de la esfera, cm							Espaciamiento entre esferas cm	Diámetro de la esfera, cm				
	2	5	6.25	10	12.5	15	25		50	75	100	150	200
0.05	2.75												
0.10	4.52												
0.15	5.30												
0.20	7.57	7.87											
0.25	9.45	9.45											
0.30	11.0	11.0											
0.40	14.2	14.1											
0.50	17.1	17.1	16.0	16.5	16.5	16.5		5	150	150			
1.0	30.2	31.5	31.4	31.2	31.2	31.2		7.5	180	180			
1.5	(39.4)	44.5	44.7	44.5	44.7	44.5		10	200	200	252	252	252
2.0		55.5	57.5	58.1	58.0	58.1		12.5	215	215			
2.5			59.5		71.5		71.5	15	247	240	385		
3.0		(74.3)	79.0	82.7	84.0	84.1	84.5	17.5	415	415			
3.5		(81.2)	(105.0)	103.5	95.5	94.4		20	482	483	550	500	500
4.0			(105.5)	103.5	100	109.2	110	25	520	575	605		
4.5			109.0	113.2	117	120		30	(575)	555	700	730	735
5.0			(105.5)	121	127	131	135	35	(620)	725	795		
5.5			(110)	(120)	135	141	141	40	(660)	(785)	802	940	950
6.0			(114)	(136)	144	150	(150)	45	(690)	(835)	825		
6.25			(115)		145			50	(720)	(880)	1000	1110	1150
7.0				(145)	(159)	164	161	55	(805)	(1020)	1200	1370	1370
8.0				(152)	(171)	174	203	70	(1010)	(1170)	(1370)	(1570)	(1570)
9.0					(182)	(182)	222	75	(1020)	(1170)	(1450)	(1670)	(1670)
10					(192)	(185)	240	80			(1500)	(1750)	(1750)
11					(200)	(206)	257	90			(1500)	(1750)	(1800)
12					(208)	(215.5)	271	100			(1500)	(1800)	(1810)
12.5					(210)	(220)	277	110				(1800)	(1890)
								120				(1870)	(1940)
15								130				(1940)	(2170)
17.5								140				(1940)	(2140)
20								150				(1930)	(2210)
22.5								160					(2200)
25								170					(2300)
								180					(2370)
								190					(2420)
								200					(2480)

NOTAS:

1- Los valores entre paréntesis, los cuales se refieren a espaciamientos de más de 0.50, están dentro del ± 0.5% si se cumple con los criterios mínimos indicados en la tabla 1.

2- Condiciones atmosféricas de referencia: PTC ± 101.3 AN/4.1 (1013 mmHg) a 760 mm de Hg a 0°C; 25°C ± 208.15 K; 0°C ± 273.15 K.

TABLA 3.3 VOLTMETRO DE ESFERAS CON UNA ESFERA A TIFINA

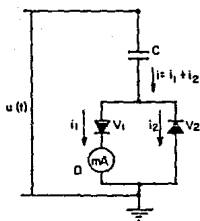
MEDICION DE VALORES PICO DE TENSION UTILIZANDO UN AMPERMETRO EN SERIE CON UNA ALTA IMPEDENCIA.

Los valores efectivos de A.T., se pueden obtener por la medición del flujo de corriente que circula a través de un circuito, que contiene una alta impedancia. (la medición se hace con un miliampermetro cuya impedancia se considera despreciable).

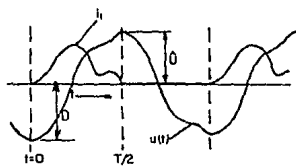
Un método adecuado para determinar los valores pico de tensiones alternas de A.T. de c.a., es la medida de corriente que pasa por un capacitor conectado en serie con un miliampermetro, el circuito es descrito en la Fig. 3.4.

Es decir, lo que será medido en el circuito anterior es una corriente de carga i , dada por la velocidad de cambio de la tensión aplicada $U(t)$.

Dicha corriente i pasa a través de dos rectificadores (diodos) acoplados en paralelo inverso ($V1$ y $V2$) a tierra. El valor medio aritmético \bar{I} , de la corriente i en la rama izquierda, es medida por el miliampermetro, esta corriente es proporcional al valor pico \hat{U} de A.T. Si el comportamiento de los rectificadores se asume ideal, entonces, para el período de conducción de $V1$, se tiene:



a) Circuito



b) Curvas de corriente y tensión

FIG. 3.4. MEDICIÓN DE VALORES PICO DE TENSÓN CA

$$i = i = C \, dU/dt \quad \text{para } t = 0 \dots T/2$$

$$I = 1/T \int_0^T i \, dt = 1/T \int_0^{T/2} C \, dU/dt \cdot dt = C/T [U(T/2) - U(0)]$$

Si la tensión es simétrica con respecto a la línea cero se tiene:

$$U(T/2) - U(0) = 2\hat{U} \quad \text{con } T = 1/f$$

se obtiene:

$$\hat{U} = I \cdot 1/2 \, fC$$

Como puede determinarse con precisión el valor de la frecuencia (f), la capacitancia (C) y la corriente (I); las mediciones de tensión de c.a., con esta técnica, pueden emplearse en calibración de equipos de medición de valores pico de tensión.

Este circuito presenta algunas deficiencias, como lo son: la necesidad de lecturas precisas y el error introducido por picos múltiples en la forma de la onda de tensión.

Otro método utilizado es una resistencia de A.T. conectada en serie con el miliampermetro, los valores de A.T. se obtienen de la medición del flujo de corriente, a través del circuito que contiene dicha resistencia, por tanto, con el producto de la corriente que circula por el miliampermetro y la resistencia de A.T. se obtiene la tensión desconocida.

La precisión de la medición depende fundamentalmente del diseño de la resistencia de A.T., ya que estas resistencias de A.T. deben tener un coeficiente de temperatura despreciable y ser libres de descargas por efecto corona.

Este último método es principalmente utilizado en la medición de A.T. de c.d. y por lo cual, será tratado posteriormente (ver mediciones con resistencias de A.T.).

VOLTMETRO ELECTROSTATICO MEDICION DE VALORES R.M.S.

Para medir valores eficaces de las tensiones alternas se emplea este tipo de voltmetro, en el que la fuerza que tiende a mover el elemento indicador es proporcional en cada instante al cuadrado de la tensión aplicada y su valor medio es, por tanto, proporcional al cuadrado del valor eficaz de dicha tensión.

Un voltmetro electrostático consiste esencialmente de un par de electrodos de disco planos paralelos, separados por una pequeña distancia. Este arreglo hace el campo electrostático uniforme en la posición central de los electrodos.

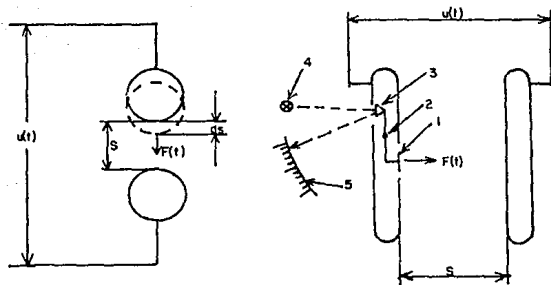
Cuando una tensión $U(t)$ es aplicada a un arreglo de electrodos, como el que se muestra en la fig. 3.5.

El campo eléctrico produce una fuerza $F(t)$ la cual tiende a reducir el espacio s entre los electrodos. Esta fuerza de atracción puede ser calculada, del cambio de energía $W(t)$ del campo eléctrico, del capacitor formado por los electrodos.

$$W(t) = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

donde: la capacitancia C depende del espaciamiento s , por lo tanto si:

$$C = Q/V$$



a) Usando electrodos esféricos

b) Usando un segmento de electrodo móvil

- 1 Segmento de electrodo móvil
- 2 Eje de rotación
- 3 Espejo
- 4 Fuente luminosa
- 5 Escala

FIG. 3.5. VOLTMETRO ELECTROSTATICO PARA A.T.

se tiene:

$$W(t) = \frac{1}{2} C U^2(t)$$

La fuerza F dependiente del tiempo es obtenida de la Ley de la Conservación de la Energía: $dW + Fds = 0$; asumiendo la desconexión de la fuente de tensión.

Tomando en cuenta esto, la carga $CU(t)$ es independiente de s , así se tiene que:

$$F(t) = -dW(t)/ds = 1/2 U^2(t) dC/ds$$

Si el valor medio aritmético F de la fuerza es calculado de esta expresión, la relación lineal entre F y el cuadrado del valor r.m.s. de la tensión aplicada es aproximado:

$$\bar{F} = 1/2 dC/ds \frac{1}{T} \int U^2(t) dt \doteq U^2 \text{ r.m.s.}$$

La influencia del factor dC/ds depende de la forma como actúa la fuerza F sobre el segmento del electrodo móvil, dicho factor muestra, sobre la escala de medición, una dependencia cuadrática no muy estricta.

Como ejemplo se muestra, en forma simplificada, la fig. 3.5b. La fuerza $F(t)$ actúa sobre un pequeño plato (1), que está montado

en una palanca con eje de rotación central (2) y en el lado opuesto de la palanca esta un pequeño espejo (3), el cual refleja la fuente de luz (4) en dirección a una escala (5), donde será medido. El par (torque) de restauración se provee en el punto (2).

Como puede verse de la descripción anterior del principio de trabajo del voltmetro electrostático, este tipo de instrumentos también puede ser usado para mediciones de valores de tensión de corriente directa. Los voltmetros electrostáticos representan la mejor forma de medir directamente alta tensión de c.d.

Los voltmetros electrostáticos están caracterizados por su muy alta resistencia interna y muy pequeña capacitancia. Estos voltmetros también son utilizados directamente en mediciones de A.T. de alta frecuencia, extendiéndose hasta la región de los MHz.

Medición de Valores Pico de Tensión con Divisores de Tensión Capacitivos.

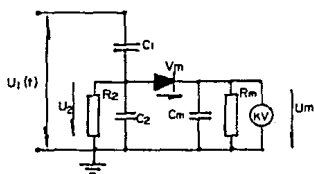
Varios circuitos han sido desarrollados para la medición de valores pico de A.T. de c.a. con la ayuda del divisor de tensión capacitivo (D.T.C.). La mayoría de estos métodos tienen la ventaja de que la lectura es independiente de la frecuencia.

El circuito que se muestra en la fig. 3.6 es particularmente simple y también suficientemente exacto para la mayoría de estos propósitos.

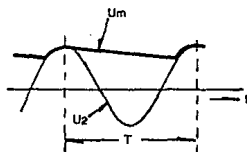
En el circuito anterior el capacitor de medida C_m es cargado por el valor pico de \hat{U}_2 de la unidad secundaria U_2 (t) del D.T.C. La resistencia R_m , la cual descarga al capacitor C_m , es necesaria para asegurar la reducción de tensión aplicada para una constante de tiempo adecuada. (inferior a 1 seg.).

La selección de la constante de tiempo para el proceso de descarga, se determina por: la respuesta deseada del arreglo de medición, para lo cual la resistencia interna de los instrumentos de medición se tomarán en cuenta; generalmente se selecciona:

$$R_m C_m < 1 \text{ seg.}$$



a) Circuito



b) Forma general de tensión

FIG. 3.6. MEDICIÓN DE VALORES PICO CON DIVISOR CAPACITIVO

Aunque la constante de tiempo debe ser grande comparada con el periodo $T = 1/f$ de la tensión alterna que será medida, de modo que la tensión U_m a través de C_m no decaiga significativamente entre los ciclos de recarga; la dependencia del tiempo $U_m(t)$ es indicada en la fig. 3.6.b; La condición apropiada aquí es:

$$R_m C_m \gg 1/f$$

La resistencia R_2 en paralelo con el capacitor C_2 es necesaria a fin de prevenir la carga del capacitor C_2 por el flujo de corriente a través del rectificador V_m .

La relación entre el valor pico de A.T. y el valor de tensión U_m , la cual está dada por:

$$\hat{U} = U_m [(C_1 + C_2) / C_1]$$

El instrumento indicador podrá tener una alta impedancia de entrada; son adecuados el voltmetro electrostático y los instrumentos de bobina móvil de alta resistencia y sensibilidad.

MEDICIONES CON TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

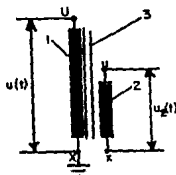
Altas Tensiones de c.a. también pueden ser medidas por medio de transformadores de potencial (T.P.). Aunque estos aparatos son extensamente usados en redes de suministro de energía, por el contrario raramente son utilizados en laboratorios para mediciones de tensión por arriba de 100 KV. Los circuitos básicos de transformadores de potencial inductivo y capacitivo, para mediciones de tensión con respecto a tierra, son mostrados en la fig. 3.7.

Los transformadores de potencial inductivo para muy altas tensiones pueden fabricarse únicamente a un elevado costo, por la baja frecuencia de prueba (50 o 60 Hz), ya que el producto del flujo magnético y el número de vueltas del devanado de alta tensión, por las leyes de inducción, toma muy elevados valores, lo cual conduce a diseños muy costosos.

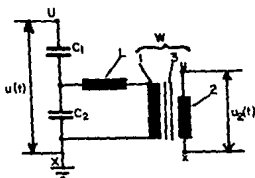
El transformador de potencial tipo capacitivo usado extensamente en redes de suministro, es frecuentemente considerado inadecuado para pruebas de frecuencia industrial, principalmente porque impone una considerable carga capacitiva sobre la fuente de tensión.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Los transformadores de potencial tanto inductivo como capacitivo serán, por tanto, utilizados en prácticas de laboratorio, sólo cuando se requieran mediciones precisas de tensiones inferiores a 100 KV. La tensión secundaria de un transformador de potencial reproducirá la forma de la tensión primaria, independientemente de la carga del secundario. Dependiendo del tipo de aparato de medición conectado, es posible medir el valor pico de tensión, el valor r.m.s. ó la curva de tensión.



a) Transformador de potencial inductivo
1 y 2 Devanados Primario Secundario
3 Núcleo de hierro



b) Transformador de potencial capacitivo
C1 y C2 Divisor capacitivo
L Inductancia
W Transformador

FIG. 3.7 CIRCUITOS BASICOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

MEDICIONES CON RESISTENCIAS DE ALTA TENSION.

La medición de Alta Tensión de c.d. puede, con la ayuda de resistencias de A.T., simplificarse a la simple medición de una corriente directa. El circuito básico es mostrado en la fig. 3.8.

Para aplicaciones de A.T. de c.d. existe el problema, de que la corriente a medir debe ser muy pequeña, del orden de los mA; a modo de evitar calentamiento de la resistencia de medición, por consiguiente, dicha corriente puede ser errática debido a corrientes de fuga, como las que ocurren en: rompimiento de materiales aislantes, sobre las superficies de estos y también como resultado de descargas por efecto corona.

Los parámetros característicos de las mediciones de tensión de c.d. dependen del principio de trabajo del ampermetro, a potencial de tierra y conectado en serie con la resistencia de medición.

Generalmente se selecciona un instrumento con resorte muy sensible, indicación de que es una medición del valor medio \bar{U} de la tensión de c.d. El rango de medición puede ser fácilmente cambiado mediante la conexión en paralelo de una resistencia R_2 , con el instrumento de medición; el cual cambia la resistencia en serie a un divisor de tensión resistivo (D.T.R.). En lugar del ampermetro debe conectarse un voltmetro con una resistencia interna, preferentemente, mucho mayor que R_2 .

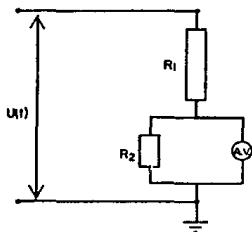


FIG. 3.8. MEDICION DE TENSIONES DIRECTAS POR MEDIO DE UN RESISTOR ó UN DIVISOR RESISTIVO

DIVISORES DE TENSION.

La tensión que se maneja durante las pruebas en A.T., resulta bastante elevada, por lo que para medirla se hace necesario reducir convenientemente la magnitud de dicha tensión, de modo que tenga un valor compatible con la escala del voltmetro a utilizar.

Uno de los dispositivos que nos permite disminuir la magnitud de la alta tensión por medir es el divisor de tensión.

El Divisor de Tensión (D.T.) consta de dos impedancias, acopladas en serie una llamada "unidad primaria" (de alta tensión) y la otra llamada "unidad secundaria" (de baja tensión).

La unidad primaria se encarga de tomar la mayor porción de tensión y la unidad secundaria el resto de ésta; lugar donde estará acoplado o conectado el instrumento de medición, los instrumentos más empleados para llevar a cabo estas mediciones son: el voltmetro de cresta (o voltmetro pico) y el osciloscopio.

Durante la medición de A.T. de variaciones rápidas los sistemas de medición son afectados debido a los fenómenos de transitorios, repercutiendo en el comportamiento de la respuesta.

De cualquier modo, para las variaciones de tensión encontradas en Impulsos tipo rayo e Impulsos tipo maniobra, la respuesta transitoria del sistema de medición es determinada, sobre todo por las propiedades del Divisor de Tensión.

Básicamente el D.T. puede estar constituido por: resistencias, capacitores y por una combinación de ambos. La fig. 3.9 muestra un esquema de los tipos de Divisores de Tensión.

Para registrar en un osciloscopio la forma de onda del impulso, el barrido del osciloscopio (haz electrónico) debe ser disparado por la señal a estudiar. Cuando los impulsos a estudiar son muy rápidos, es indispensable registrar el comienzo del fenómeno, esto puede conseguirse aplicando la tensión reducida a las placas deflectoras del osciloscopio por medio de un cable ó línea de retardo (más adelante se hablará sobre este concepto). Este retardo debe ser superior al tiempo necesario para disparar el barrido del osciloscopio y puede estar comprendido entre 0.1 y 1μseg.

El D.T. y la Línea de Retardo forman un sistema que debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. La influencia de tal sistema, sobre el fenómeno a estudiar, debe ser despreciable.
2. La tensión aplicada a las placas deflectoras, del osciloscopio, debe ser una reproducción atenuada, sin deformación, del impulso a registrar.

La principal fuente de error en las mediciones efectuadas por el D.T., se debe a la capacitancia parásita, entre el elemento de alta tensión del Divisor y tierra (comunmente llamada capacitancia a tierra). La inductancia de montaje también influye en aquellos fenómenos a registrar, cuya duración es inferior a $1 \mu\text{seg.}$

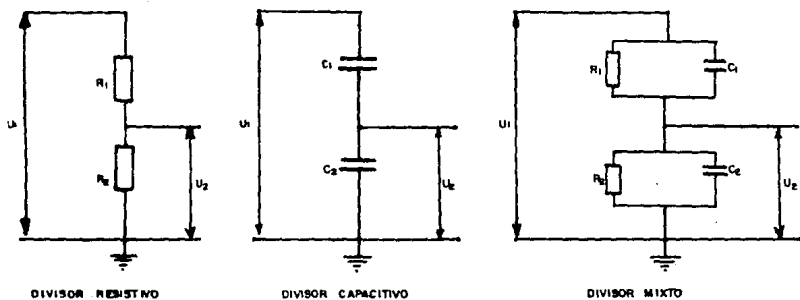


FIG 3.9 ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LOS DIVISORES DE TENSION

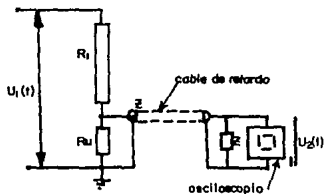
Divisores de Tensión Resistivos.

Los Divisores de Tensión Resistivos (D.T.R.) son relativamente simples, sin embargo, son usados para mediciones de Impulso tipo rayo muy elevado, de no muy larga duración, los D.T.R. para Impulsos tipo maniobra, debe de ser construidos con una resistencia de valor muy elevada, a causa del calentamiento y carga de la fuente de alimentación, lo cual resulta una desfavorable respuesta, para variaciones rápidas de tensión.

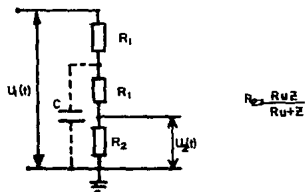
El disturbio más importante en el comportamiento de un D.T.R. es provocado por la capacitancia a tierra de la rama de A.T., la cual debe, necesariamente, ser de valor muy elevado por razones de aislamiento a muy altas tensiones.

Esta capacitancia a tierra se indica, mediante la capacitancia C en el circuito equivalente de la fig. 3.10.

Para tensiones por encima de 1MV, la construcción práctica de D.T.R. de respuesta rápida, llega a ser cada vez más difícil, ya que uno debe de compensar los efectos capacitivos; para un D.T.R. cilíndrico vertical puede tomarse una capacitancia a tierra de valores desde 15 hasta 20 pf por metro de altura, por ejemplo: para el D.T. R. de 1MV con resistencia $R = 10 \text{ k}\Omega$ y 3m de altura, la capacitancia a tierra $C_e = 60 \text{ pF}$ y su tiempo de respuesta $T = 100 \text{ seg.}$ siendo $T \sim 1/6 RC_e$.

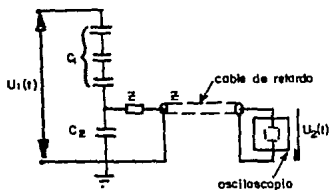


a) Diagrama del circuito

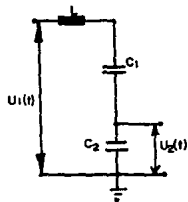


b) Circuito equivalente con capacitancia a tierra

FIG. 3.10 SISTEMA DE MEDICION PARA TENSIONES DE IMPULSO CON DIVISORES RESISTIVOS



a) Diagrama del circuito



b) Circuito equivalente con inductancia guía

FIG. 3.11 SISTEMA DE MEDICION DE TENSIONES DE IMPULSO CON DIVISORES CAPACITIVOS

Divisores de Tensión Capacitivo.

En los Divisores de Tensión Capacitivos (D.T.C.) la relación entre la tensión de salida y la tensión de entrada (constante del divisor) es independiente de la frecuencia de la señal, por lo que pueden ser utilizados para el registro de fenómenos rápidos y lentos.

No obstante, cuando se utiliza con tensiones de variaciones lentas, se pueden producir errores importantes, si la impedancia de entrada del equipo de medida, que se conecta a la salida del D.T.C. no es suficientemente elevada. Un sistema de medición con D.T.C. se muestra en la fig. 3.11.

Para frecuencias muy elevadas C_2 actúa como un corto circuito, por tanto, la relación de transformación cambia de valores:

$$\begin{array}{ccc} \text{alta} & \frac{C_1 + C_2}{C_1} & \text{baja} \\ \text{frecuencia} & & \text{frecuencia} \end{array} \quad \frac{C_1 + C_2 + C_k}{C_1}$$

C_k puede despreciarse, comparada con C ; siendo C_k la capacitancia del cable de retardo.

Mientras la capacitancia a tierra del D.T.C. pueda tomarse en cuenta, dentro de las correcciones de la relación de transformación del Divisor, el comportamiento de la respuesta, esencialmente, se determina por la inductancia guía al Divisor.

Para D.T.C. una resistencia de amortiguamiento adicional es, usualmente, conectada en la línea de A.T. El amortiguamiento que se presenta en el circuito provoca la respuesta. Particularmente las resistencias de amortiguamiento resultan convenientes por el comportamiento del Divisor.

Este tipo de D.T.C. Amortiguado, actúa para altas frecuencias como un Divisor Resistivo y para bajas frecuencias como Divisor Capacitivo. Por lo tanto puede ser utilizado sobre un amplio rango de frecuencias, por ejemplo: para tensiones de Impulso tipo (rayo o maniobra) de diferente duración y también para A.T. de c.a.

Divisor de Tensión Mixto.

Si se acoplan capacitores en paralelo con las resistencias de un D.T.R., se obtiene un D.T. mixto (RC). Este se comporta ante los fenómenos rápidos como Divisor de Tensión Capacitivo, y ante los fenómenos lentos como Divisor de Tensión Resistivo, previamente descritos.

El brazo de B.T. de un divisor de tensión es conectado a las placas deflectoras del osciloscopio, por medio de un cable coaxial. La longitud del cable varía en pocos metros entre 100-200 m; dependiendo del tiempo de retardo requerido entre la operación del generador y la llegada de la señal a las placas. Los dos tipos principales de cables son:

El cable de núcleo de aire y el cable de polietileno. En cables de núcleo de aire, la onda de tensión viaja aproximadamente a la velocidad de luz, y un cable de 100 m de longitud da un retardo de 0.333 μ seg, el cual es suficiente para el tiempo base de disparo del osciloscopio.

En un cable de polietileno la velocidad de propagación será más lenta, por tanto una longitud más corta puede utilizarse para suministrar el mismo tiempo de retardo.

El cable de retardo provoca distorsión y atenuación en el registro de la onda, en un estudio de la respuesta de cables: núcleo de aire y polietileno muestran que, a fin de evitar errores apreciables, los cables de núcleo podrán ser utilizados sobre ondas rápidas.

Un cable ideal es aquel que no tiene pérdidas. De cualquier modo, todo cable tiene alguna atenuación.

La fuente de pérdidas en cables son la resistencia del conductor central, la envoltura o forro exterior, la conductancia y la histeresis dieléctrica en el medio aislante utilizado; las pérdidas usualmente son expresadas como atenuaciones en decibeles por 100 pies (30.48 m) a una frecuencia fija.

El cambio de impedancia con la frecuencia, es introducida por el cambio de la inductancia del cable, provocado por una distribución no uniforme de corriente en el conductor central y el forro, conforme se incrementa la frecuencia. Esto es llamado "Efecto Piel", el cual también provoca un cambio en la resistencia con la frecuencia.

CAPITULO IV

EQUIPO SUJETO A PRUEBAS EN ALTA TENSION.

CAPITULO IV

EQUIPO SUJETO A PRUEBAS EN ALTA TENSION

Este capítulo describirá en forma breve las características sobresalientes de los equipos que están sujetos a pruebas en alta tensión. Debido a que todo equipo de alta tensión, tiene entre las partes que lo constituyen, materiales aislantes; también se tratarán las características de los aislamientos más utilizados en dichos equipos.

Con esto no queremos decir que sean todos los aislamientos y equipos, para lo cual sólo señalaremos los más usuales, así como las pruebas que se les practican.

Todo equipo que este formado en mayor o menor cantidad de material aislante, se le practican pruebas en alta tensión.

AISLANTES ELECTRICOS

Un aislante es un cuerpo cuya conductibilidad es nula o, prácticamente, muy pequeña. También los aislantes se llaman dieléctricos, para indicar que se oponen al paso de la electricidad por conducción, es decir a la corriente eléctrica.

Los dieléctricos desempeñan un papel muy importante en electricidad.

- *Permiten aislar eléctricamente los conductores entre sí y estos mismos conductores respecto a tierra.*
- *Modifican, en gran proporción, el valor del campo eléctrico que los atraviesa.*

Los aislamientos utilizados en sistema eléctricos se clasifican en dos grupos:

- **Aislamientos Externos**
- **Aislamientos Internos**

Aislamientos Externos

Las características de los aislamientos externos dependen de las condiciones atmosféricas: presión, temperatura y humedad. Estos aislamientos están en general expuestos a la intemperie y por tanto sus características aislantes deben especificarse tanto para atmósfera seca como para condiciones de lluvia; además pueden ser afectados por la contaminación atmosférica que se presenta en zonas industriales ó en lugares donde pueden producirse depósitos de sales; como por ejemplo, en la proximidad del mar.

A continuación se mencionan los más importantes.

Porcelana

La porcelana es un producto cerámico que se obtiene por cocción, hacia los 1400 °C, de una mezcla de arcilla y de caolín, cuarzo y feldespato; se endurece gracias a la intervención de reacciones químicas, fenómenos de coagulación ó de cristalización.

Es resistente a los cambios de temperatura, no es atacada por sustancias alcalinas, ni por ácidos, a excepción del ácido fluorhídrico.

Las propiedades particulares se obtienen modificando la proporción de los componentes normales ó agregando algunas sustancias suplementarias.

La rigidez dieléctrica varía con la composición y con el espesor del dieléctrico.

En este grupo de aislamientos quedan incluidos los distintos tipos de aisladores de porcelana y las boquillas de los distintos equipos (bushings).

Vidrio.

El vidrio es un producto de la fusión de vidrios con boro-silicatos cuyas componentes principales son sílice, ácido bórico, sosa y potasa.

El vidrio presenta una resistencia a los choques y a la compresión un poco superior a la porcelana, es resistente a los cambios bruscos de temperatura.

El vidrio sería excelente aislador, si no fuera por los valores tan elevados que, en general, alcanza en ellos la conductibilidad superficial, que guarda relación con el grado de humedad del aire y la cantidad de álcalis que contiene el vidrio. El vidrio es muy usado en aisladores tipo suspensión.

Además de los aislantes mencionados anteriormente, existen materiales aislantes sintéticos, que se utilizan para recubrir cables de energía que pueden estar sometidos a ambientes agresivos; como por ejemplo cables de distribución subterránea y en cables submarinos.

Aislamientos Internos

Los aislamientos internos, a diferencia de los aislamientos externos, las características son independientes de las condiciones atmosféricas.

Los aislamientos internos mas usuales se dividen en dos clases:

- Aislamientos que comprenden materiales orgánicos tales como: algodón, papel, seda; impregnados o sumergidos en un dieléctrico líquido (aceite).
- Aislamientos que comprenden materiales inorgánicos tales como: mica, fibra de vidrio, asbesto, aglutinados mediante materiales orgánicos; (silicona de reciente utilización en México, y hexafluoruro de Azufre SF_6 , que es un aislante gaseoso).

El caso más importante entre los aislamientos internos es el aislamiento de los transformadores, la mayor parte de estos, tienen su núcleo y sus devanados sumergidos en aceite mineral, el cual sirve como medio aislante y como refrigerante; por lo tanto el aislamiento interno de los transformadores debe poder soportar la acción del aceite caliente; un material económico, que cumple este requisito es el papel, también se usan fibras vegetales como el algodón y el lino; en cambio están proscritos el hule, la ebonita y muchos barnices; en tanto el aislamiento sólido a ba-

se de resinas epoxid se utiliza para ciertos tipos de TC's y TP's. (Transformadores de Corriente y Potencial).

A continuación se mencionarán los aislamientos más importantes de cada grupo.

Papel

Los papeles están compuestos, principalmente, de celulosa. El algodón que es la celulosa más pura obtenida en el comercio, permite fabricar excelentes papeles aisladores.

El papel es muy higroscópico y contiene en condiciones normales del 5 al 10% de agua, por esta razón, para las aplicaciones eléctricas, debe pasarse por un proceso de calentamiento e impregnarlo con barniz o con aceite.

Los papeles son empleados para el aislamiento de los cables a alta tensión, de conductores eléctricos en general, de condensadores y como soporte de otros aislamientos.

Cartón

Este aislante está fabricado con fibras de madera y se presenta en forma de hojas de cartón fuerte, cuyas caras están endurecidas y vidriadas; se presta muy bien para el aislamiento en baja tensión de las piezas de accesorios pequeños en equipos como interruptores, transformadores y máquinas rotatorias para el aislamiento de las ranuras.

Aceite

El aceite como un medio aislante y refrigerante de equipos eléctricos debe ser mineral obtenido de la destilación fraccionada del petróleo crudo, especialmente preparado y refinado para el uso en dichos equipos, que pueden ser: transformadores, interruptores, reguladores, etc.

Aislamiento por Gas.

Cabe mencionar que existen aislantes gaseosos utilizados en líneas de transmisión y equipos de subestaciones eléctricas.

Los aislantes de este tipo más frecuente son:

- Aire circundante en el medio ambiente*
- Hexafluoruro de Azufre (SF_6) utilizado en interruptores como aislante y extintor del arco, producido en la apertura de éste; también sirve para compactar subestaciones eléctricas encapsulándolas en este medio.*

Todos los materiales aislantes descritos en la clasificación anterior son utilizados para la fabricación o como componentes de equipos de alta tensión.

A continuación se mencionarán los equipos más importantes, en donde de alguna u otra forma se ven involucrados los aislamientos:

- Transformadores
- Aisladores
- Boquillas
- Interruptores
- Pararrayos
- Reactores
- Cables Aislados

La lista anterior nos da una idea de la importancia que tienen los aislamientos en los sistemas eléctricos.

En el laboratorio de Ingeniería Eléctrica existen equipos y muestras que pueden ser utilizados como especímenes en las pruebas de Alta Tensión; por lo que mencionaremos en forma general, las principales características constitutivas y de funcionamiento de los equipos con que se cuenta.

TRANSFORMADORES

El transformador es un equipo empleado para transferir la energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro. Esta transferencia va acompañada habitualmente, pero no siempre de un cambio de tensión. Un transformador puede recibir energía y devolverla a una tensión más elevada, en cuyo caso se llama transformador elevador, o puede devolverla a una tensión más baja, en cuyo caso es un transformador reductor. En el caso en que la energía suministrada tenga la misma tensión que la recibida, el transformador se dice que tiene una relación de transformación igual a la unidad.

Los transformadores pueden ser, generalmente, clasificados en cuatro grupos:

1. Transformadores de Potencia.
2. Transformadores de Distribución.
3. Transformadores de Instrumento.
4. Transformadores de Electrónica.

NOTA: Para los propósitos de este trabajo no se contemplarán los transformadores de electrónica.

Transformadores de Potencia

Es aquel cuya capacidad es mayor a 500 kva. (fig. 4.1a)

Transformador de Distribución

Es el que tiene una capacidad hasta 500 kva; hasta 67 kv nominales en alta tensión y hasta 15 kv nominales en baja tensión. (fig. 4.1b)

Transformadores de Instrumento

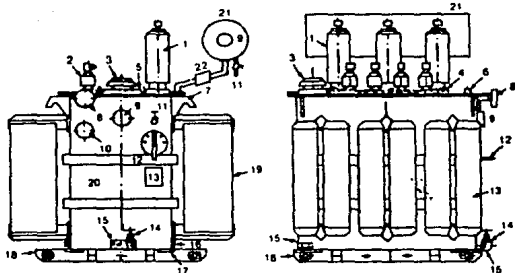
Son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general. Son de dos tipos:

Transformadores de Potencial

Son utilizados para cambiar la tensión del circuito primario a un valor tal que pueda ser usado con los instrumentos de medición y protección normales, generalmente 120 y 115 Volts. (fig. 4.2).

Transformadores de Corriente

Son utilizados para cambiar la corriente del circuito primario a un valor tal que pueda ser usado con los instrumentos de medición y protección normales, generalmente 5 Amperes (fig. 4.3).



DESCRIPCIÓN

- | | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | Boquillas para alta tensión | 12 | Maneral para operación sin excitación del cambiador de derivaciones, con seguro para candado e indicador de posiciones |
| 2 | Boquillas para baja tensión | 13 | Placa de características |
| 3 | Relevador mecánico de sobrepresión | 14 | Válvula para drenaje |
| 4 | Orejón con ojo para levantar la tapa | 15 | Válvula para muestreo |
| 5 | Pegrisco | 16 | Placas para conexión a tierra |
| 6 | Coolie con tapón para llenado al vacío | 17 | Refuerzos para palanqueo o soportes para gato |
| 7 | Orejón de gancho para izar el conjunto | 18 | Base deslizable |
| 8 | Mánometro-vacuómetro | 19 | Rodadores tipo o desmontables. Con o sin vólvulas |
| 9 | Indicador magnético de nivel en o con contacto para alarma | 20 | |
| 10 | Indicador de temperatura del aceite con o sin contactos P. alarma | 21 | Tanque conservador |
| 11 | Válvula superior para conexión a filtro prensa | 22 | Relevador de gas (Buchholz) |

Fig. 4.1a TRANSFORMADORES DE POTENCIA

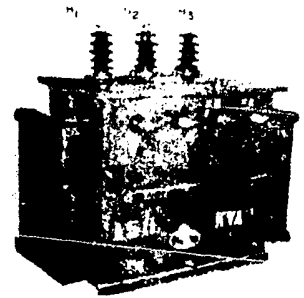
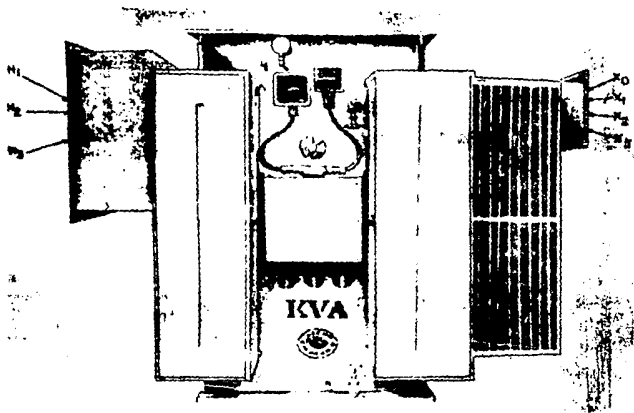


Fig. 4.1b Transformadores de Distribución

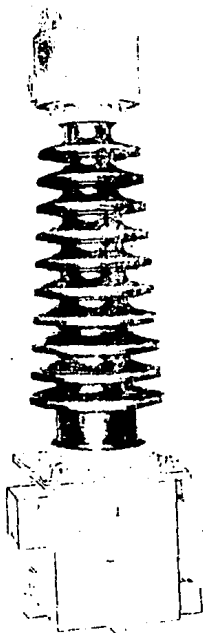


FIG. 4.2 TRANSFORMADORES

DE POTENCIAL

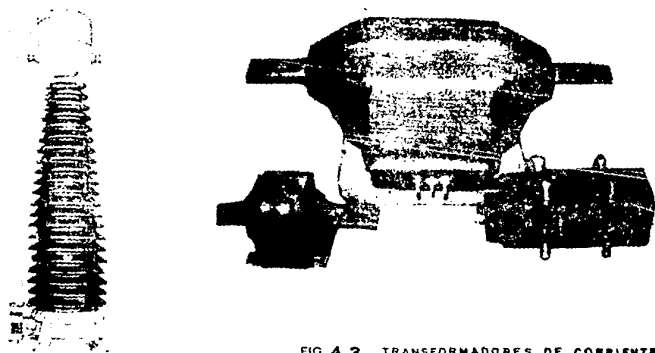


FIG 4.3 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Pruebas en Alta Tensión a Transformadores

Transformadores de Distribución y Potencia

Prueba de Impulso

Prueba de Potencial Aplicado

Prueba de Potencial Inducido

Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite

Prueba de Descargas Parciales

Prueba de Factor de Potencia a los Aislamientos del Conjunto.

Transformadores de Potencial (TP's)

Prueba de Impulso

Prueba Dieléctrica de Tensión entre Devanado Primario y Secundario a Tierra.

Prueba Dieléctrica de Tensión entre Devanado Secundario y Primario a Tierra.

Prueba Dieléctrica de Tensión Inducida.

Transformadores de Corriente (TC's)

Prueba de Impulso

Prueba Dieléctrica de Tensión entre Devanado Primario y Secundario a Tierra.

Prueba Dieléctrica de Tensión entre Devanado Secundario y Primario a Tierra.

Prueba de Operación con el Circuito Secundario Abierto.

AISLADORES

Los conductores de las líneas de transmisión y las barras colectoras de las subestaciones, están aislados por el aire circundante y los puntos de soporte y sujeción por aisladores de porcelana o de vidrio templado.

Se fabrican distintos tipos de aisladores, de acuerdo con su uso.

Tipo Suspensión

Tipo Carrete

Tipo Alfiler

Tipo Pasamuro

Tipo Poste

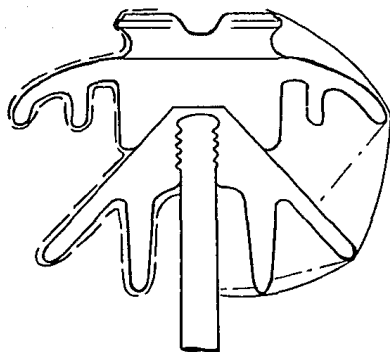
Tipo Columna

Tipo Retenida

El parámetro dominante en el comportamiento de los aisladores sometidos a tensiones de baja frecuencia es la longitud del contorno del aislador o línea de escape superficial.

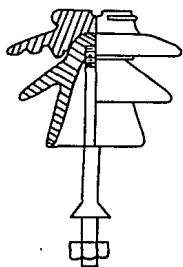
El nivel de aislamiento de los aisladores para sobretensiones de baja frecuencia, en atmósfera seca, está determinado por la longitud de la línea de flameo en seco.

En atmósfera húmeda, el nivel de aislamiento para sobretensiones de baja frecuencia, está determinado por la longitud de la línea de flameo en húmedo.

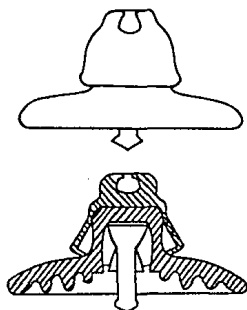


- LINEA DE ESCAPE SUPERFICIAL
————— LINEA DE FLAMEO EN SECO
- · - · - LINEA DE FLAMEO EN HUMEDO

FIG. 4.4 Características de Flameo en un Aislador



(a)
Aislador de alfiler



(b)
Aislador de suspensión

Fig. 4.5 Aisladores para líneas de transmisión.

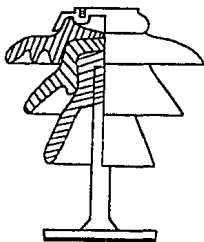
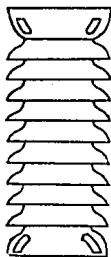
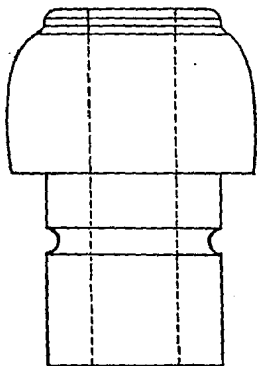


Fig. 4.6 Aisladores para subestaciones.

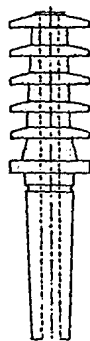
BOQUILLAS DE PORCELANA PARA TRANSFORMADORES

Las boquillas son partes auxiliares de los transformadores.

Dispositivo con aislamiento de porcelana que permite el paso de la corriente a través del transformador, evita que haya un escape indebido de corriente y permite tener acceso de conexión a cada terminal de los devanados de baja y alta tensión de un transformador, terminando en un conector en el exterior para su fácil y segura conexión con los alambres o cables del transformador a la línea.



BOQUILLA PARA BAJA TENSION



BOQUILLA PARA ALTA TENSION

FIG. 4.7 Boquillas

Pruebas en Alta Tensión a Aisladores y Boquillas.

Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado.

Prueba de Tensión de Flameo en Seco.

Prueba de Tensión de Flameo en Húmedo.

Prueba de Tensión Sostenida en Seco.

Prueba de Tensión Sostenida en Húmedo.

Prueba de Tensión Sostenida Rocío.

Prueba de Tensión de Flameo al Impulso (Valor 100%)

Prueba de Tensión al Impulso (No Disruptiva)

Prueba Visual de Efecto Corona.

Prueba de Perforación.

Boquillas de Porcelana.

Prueba de Flameo en Seco

Prueba de Flameo en Húmedo

Prueba de Tensión Sostenida en Seco

Prueba de Tensión Sostenida en Húmedo

Prueba de Impulso de Onda Completa

Prueba de Impulso de Onda Cortada

*Determinación de la Tensión Crítica de Flameo al Impulso
(Valor 50%).*

Determinación del Factor de Potencia.

CABLES AISLADOS DE ALTA TENSION.

La función primordial de un cable de energía aislado, es la de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión preestablecidas, durante cierto tiempo.

Es por esto que sus elementos constitutivos primordiales deben estar diseñados para soportar el efecto combinado producido por estos parámetros.

Estos elementos son:

- a) El conductor, por el cual fluye la corriente eléctrica.
- b) El aislamiento, que soporta la tensión aplicada.
- c) La cubierta, que proporciona la protección contra el ataque del tiempo y los agentes externos.
- d) Las pantallas, que como función principal permiten una distribución de los esfuerzos eléctricos en el aislamiento en forma radial y simétrica.
- e) Las armaduras metálicas, que son colocadas sobre los elementos anteriores cuando se desea dar protección adicional contra agentes externos y/o esfuerzos de tensión extraordinarios.

El cable por su formación final podrá ser unipolar (Fig. 4.8) o tripolar (Fig. 4.9), de acuerdo al número de conductores que contenga.

En el caso de cables tripolares, los espacios dejados entre fases se ocupan con rellenos adecuados.

Los cables unipolares, una vez terminados, pueden ser reunidos en un cableado en espiral de paso largo, dando lugar a un cable en formación triplex (Fig. 4.10).

Pruebas en Alta Tensión a Cables Aislados

Prueba de Alta Tensión con Corriente Alterna.

Prueba de Alta Tensión con Corriente Directa.

Prueba de Impulso.

Prueba de Factor de Potencia.

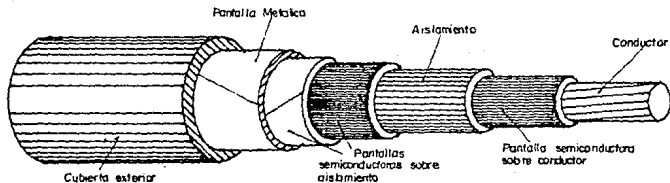


FIG. 4.8 CABLE DE ENERGÍA UNIPOLAR AISLADO PARA MEDIA TENSIÓN (5-35KV)

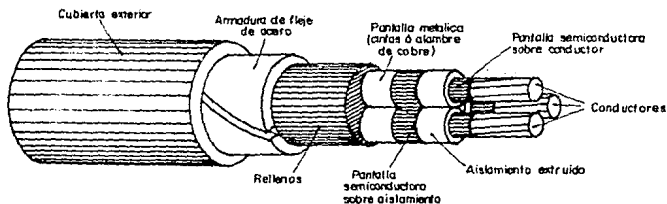


FIG. 4.9 CABLE DE ENERGÍA TRIPOLAR AISLADO PARA MEDIA TENSIÓN (5-35KV)

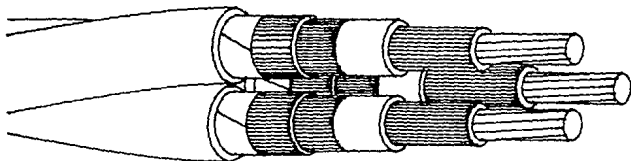


FIG. 4.10 CABLE DE ENERGÍA EN FORMACIÓN TRIPLEX AISLADO PARA MEDIA TENSIÓN (5-35KV)

CAPITULO V

PRUEBAS EN ALTA TENSION

CAPITULO V

PRUEBAS EN ALTA TENSION

En este capítulo se dará a conocer las pruebas más importantes en Alta Tensión.

Cabe señalar que, para la realización de algunas de estas pruebas en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica, se tiene que adquirir: equipos de prueba y adecuar algunas de las instalaciones, con que actualmente cuenta el laboratorio. (lo anterior se analizará en el capítulo VI, de este trabajo).

Las pruebas a los equipos y materiales eléctricos abarcan un gran campo de estudio, que no es exclusivo del sector eléctrico, por lo cual clasificaremos en primera instancia y en forma general las pruebas que intervienen en la fabricación de equipos y materiales eléctricos a fin de determinar las pruebas a las que nos avocaremos.

Pruebas de Investigación.

En este tipo de pruebas intervienen muy variadas disciplinas, como lo son la ingeniería, la física y la química entre otras; en donde se investigan nuevos materiales, efectos contaminantes en los equipos, desarrollo de nuevos aparatos, etc.

Pruebas de Prototipo o de Diseño.

Se podría decir que este tipo de pruebas es un subconjunto de las anteriores, ya que son aplicables a nuevos diseños de equipos o modificaciones de diseños anteriores, así como también a nuevos materiales o a las mejoras que se pueden hacer de algunos. Se efectúan con el propósito de verificar si el producto cumple con las características de diseño o mejoramiento y asegurarse que este dentro de los requisitos establecidos por norma.

Pruebas de Rutina.

Se realizan durante la producción de equipos o materiales, con propósitos de control de calidad.

Pruebas de Aceptación.

Son las establecidas entre comprador y fabricante, con el objeto de verificar las características específicas del equipo o material y así garantizar la calidad del producto.

Pruebas de Campo.

Algunos equipos eléctricos necesitan en ocasiones que se les practiquen pruebas en su sitio de operación con el fin de verificar su estado.

Aunque gran cantidad de pruebas de la clasificación anterior son generalmente costosas, no quedan totalmente suprimidas cuando se cuenta con recursos experimentales modestos, como es el caso de la universidad, al menos en lo que a materia de pruebas eléctricas de alta tensión se refiere.

En cada una de las pruebas de la clasificación anterior interviene una gran cantidad de pruebas no eléctricas, por lo que podemos describir otra clasificación a partir de las pruebas anteriores que dividiríamos en:

- Pruebas no eléctricas
- Pruebas eléctricas

Pruebas No Eléctricas.

Son aquellas en donde se determinan características mecánicas, químicas y físicas de los materiales y equipos eléctricos.

Pruebas Eléctricas.

Son todas aquellas en las cuales interviene la energía eléctrica, con el fin de comprobar la operatividad y característica de los equipos y materiales eléctricos.

Este tipo de pruebas se divide a su vez en:

- Pruebas de corriente
- Pruebas de tensión

Pruebas de Corriente.

En este tipo de pruebas intervienen altas corrientes y muy bajas tensiones con el fin de probar; la operatividad, la capacidad para soportar altas corrientes, los esfuerzos térmicos y electro-dinámicos.

Pruebas de Tensión.

En estas pruebas intervienen bajas corrientes y distintos rangos de tensión, en dichas pruebas se obtienen determinadas características eléctricas ante tensiones de prueba a equipos y materiales. Estas últimas pruebas las podemos dividir en:

- No dieléctricas
- Dieléctricas

Pruebas No Dieléctricas.

Son aquellas donde se emplean tensiones de prueba que llegaran a ser como máximo del valor de tensión nominal del equipo, aunque dependerá fundamentalmente, de la prueba a efectuar. Tienen como finalidad el proporcionar y verificar las características de operación de los distintos equipos eléctricos.

Pruebas Dieléctricas.

Son aquellas que tienen como finalidad el determinar y verificar las características dieléctricas y la calidad de materiales y equipos eléctricos, mediante tensiones (generalmente altas) que dependeran del equipo y prueba a efectuar, algunas de estas pruebas son de tipo destructivo. Las Pruebas dieléctricas las podemos dividir en:

- Pruebas de Alta Tensión con Corriente Directa
- Pruebas de Alta Tensión con Corriente Alterna a Frecuencia Industrial
- Pruebas de Impulso

Finalmente del capítulo IV, se puede apreciar que existen pruebas comunes y similares entre los diferentes equipos, las cuales quedarán contenidas en la siguiente agrupación:

- Pruebas de Impulso
- Pruebas de Potencial Aplicado
- Pruebas de Potencial Inducido
- Pruebas de Tensión de Flameo { Seco
Húmedo
- Pruebas de Tensión Sostenida { Seco
Húmedo
Rocío
- Prueba de Rigidez Dieléctrica
- Prueba del Factor de Potencia

Y como pruebas particulares a algunos equipos, se tiene:

- Prueba Visual del Efecto Corona
- Prueba de Alta Tensión con c.a.
- Prueba de Alta Tensión con c.d.

A continuación se presenta una tabla de Pruebas v.s. Equipo que nos muestra el orden en el que se describirán dichas pruebas.

PRUEBA	EQUIPO													
	IMPULSO	TENSION AL IMPULSO NO DISRUPTIVA	DETERMINACION DE LA TENSION CRITICA DE FLAMEO AL IMPULSO 50%	TENSION DE FLAMEO AL IMPULSO 100%	IMPULSO COMPLETA	DE ONDA CORTADA	POTENCIAL APLICADO	POTENCIAL INDUCIDO	TENSION SECO DE FLAMEO HUMEDO	TENSION SECO HUMEDA HUMEDO	RIGIDEZ DIELECTRICA	FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS	VISUAL DEL EFECTO CORONA	ALTA TENSION C.A. C.D.
TRANSFORMADORES DE POTENCIA Y DISTRIBUCION	•						•	•						
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL	•						•	•						
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	•		•				•	•						
AISLADORES DE PORCELANA		•	•	•					•	•	•	•	•	•
AISLADORES DE VIDRIO,TEMPLOO		•	•	•					•	•	•	•	•	•
BORQUILLAS DE PORCELANA DE A.T.			•		•									
ACEITE AISLANTE											•	•	•	•
CABLES AISLADOS DE ALTA TENSION	•													•
MUESTRAS DE MATERIALES AISLANTES														•

* La prueba de tensión sostenida en nabo es aplicable solamente a aisladores de porcelana y de vidrio templado.

TABLA 5.1 PRUEBAS VS EQUIPO

PRUEBA DE IMPULSO

Mediante esta prueba se pueden simular las condiciones en que se encontraría un determinado equipo, expuesto a una sobretensión originada por descarga atmosférica o maniobra de algún interruptor.

Se hace con el objeto de detectar situaciones anormales originadas por dichas sobretensiones, cuando el equipo se encuentre en operación normal.

Aunque las condiciones que se producen en la realidad cuando se presentan estos fenómenos transitorios, no son fielmente reproducidas en la prueba, ésta nos permite garantizar con confianza este aspecto de la operación del equipo bajo prueba.

Esta prueba es de tipo destructivo por lo cual deberá efectuarse un mínimo de veces en la vida de un aislamiento.

La prueba consiste en aplicar al equipo, que se desee probar, una descarga de alta tensión cuya duración es muy breve, medida en el orden de microsegundos.

La descarga se aplica mediante un generador de impulso fig. 5.1, que consiste esencialmente en una serie de condensadores, separados por explosores, que se cargan en paralelo a través de resistencias alimentadas por una fuente de corriente continua.

Cuando el potencial de carga de cada condensador alcanza al valor de ruptura del primer explosor, inmediatamente rompen todos los demás explosores, formando un circuito serie que finalmente se descarga en el equipo a probar. La descarga de alta tensión en forma de impulso puede ser positivo o negativo (dependiendo de como se haya conectado el circuito de carga).

R_f - Resistencia de frente
 R_c - Resistencia de cola
 R - Resistencia de carga
 R_{fe} - Resistencia de frente externa
 E - Explosores
 C - Capacitancia por paso
 R_p - Resistencia de protección
 E_g - Tensión de carga

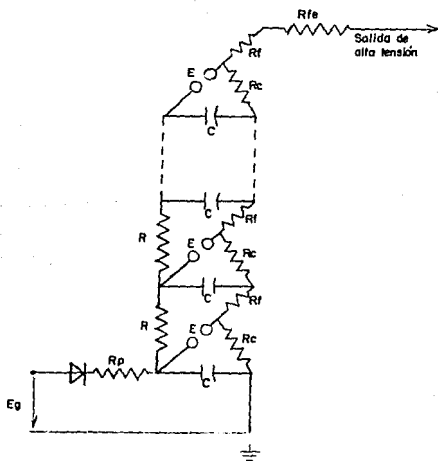


FIG. 5.1 DIAGRAMA ELEMENTAL DE UN GENERADOR DE IMPULSO.

La descarga que produce el generador de pulso debe corresponder a un modelo de onda como muestra la fig. 5.2.

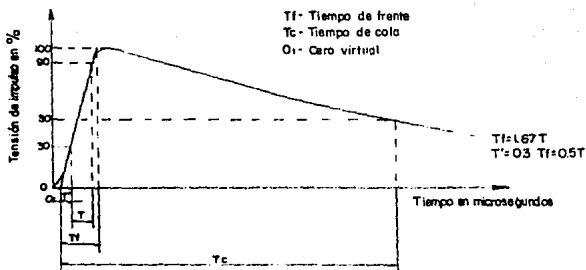


FIG. 5.2 FORMA DE ONDA DE TENSION DE IMPULSO NORMALIZADA ($T_f = 1.2 \mu s$, $T_c = 50 \mu s$) POR LAS NORMAS IEC y ANSI NOM

Las Pruebas de Impulsos se dividen en:

IMPULSOS

POR RAYO

Tiempo de Frente

$$T_f = 1.2 \pm 30\% \mu\text{seg.}$$

Tiempo de Cola

(al 50% de su valor)

$$T_c = 50 \pm 20\% \mu\text{seg.}$$

POR MANIOBRA

Tiempo de Frente

$$T_f = 250 \pm 20\% \mu\text{seg.}$$

Tiempo de Cola

(al 50% de su valor)

$$T_c = 2500 \pm 60\% \mu\text{seg.}$$

Valor de Cresta. Va de acuerdo a la clase de aislamiento del equipo a probar. El tiempo para llegar a la cresta desde el cero virtual no debe ser superior a 2.5 μs .

Frente de onda. Región ascendente de la onda hasta alcanzar el 50% del valor de cresta. El tiempo para descender a este valor a partir del cero virtual no debe ser menor de 50 μs .

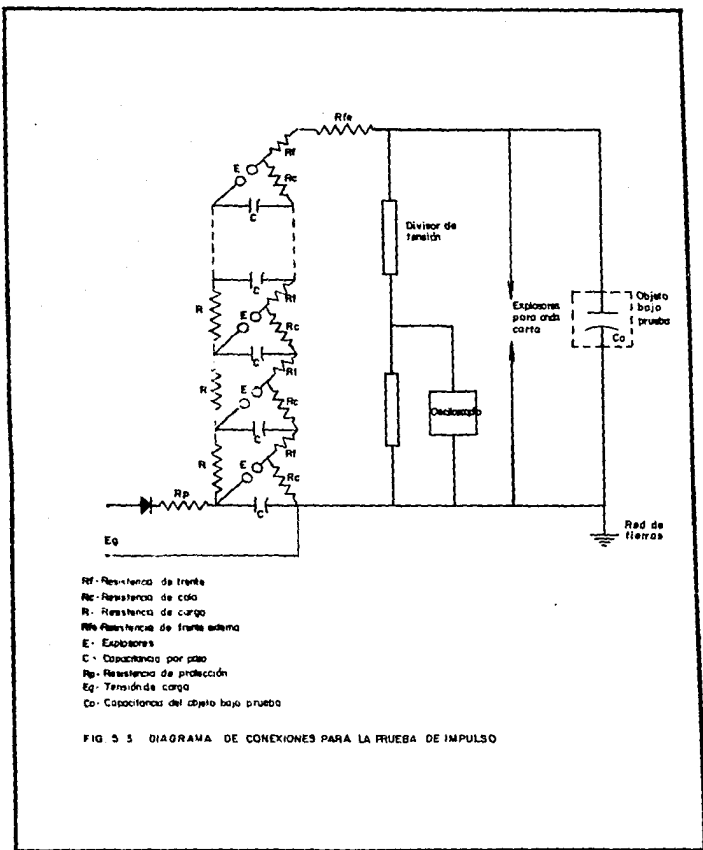
Cero Virtual. El cero virtual se determina localizando dos puntos en el frente de onda en los cuales la tensión sea el 30% y 90% del valor de cresta y dibujando una línea recta entre ellos. La intersección de esta línea y el eje del tiempo, es el cero virtual.

Para lograr la forma de onda, así como los tiempos requeridos, se diseña el generador de impulso con valores de capacitancias y resistencias adecuadas.

La prueba de impulso abarca varios aspectos:

- *La aplicaci3n de onda completa a tensi3n reducida, cuyo valor de cresta es una fracci3n del valor correspondiente a la onda completa de tensi3n plena.*
- *Aplicaci3n de frentes de onda y ondas cortadas, lo que se logra interrumpiendo las ondas con explosores calibrados*
- *Aplicaci3n de la onda completa a tensi3n plena.*
- *Registro de Onda.*

Todos los impulsos que se apliquen a un objeto de prueba y que excedan del 40% del valor de cresta de la onda completa, se deben registrar por medio de un osciloscopio. Este instrumento implica un divisor de tensi3n que debe estar instalado entre generador de impulso y el objeto en prueba. (figura 5.3)



- R_f - Resistencia de frente
- R_c - Resistencia de cola
- R - Resistencia de carga
- R_{fe} Resistencia de frente externa
- E - Explosivos
- C - Capacitancia por paso
- R_p - Resistencia de protección
- E_q - Tensión de carga
- C_o - Capacitancia del objeto bajo prueba

FIG 5 5 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE IMPULSO

Prueba de Impulso a Transformadores

Esta prueba se realiza a los transformadores de nuevo diseño, cuando así se especifica en un contrato de compra de transformadores (para demostrar dicho diseño), y sólo en los devanados que se especifique. Por el contrario, es muy raro aplicar esta prueba a transformadores que hayan estado en operación. Esta prueba se realiza estando el transformador sin excitación.

La onda normalizada de impulso que se usa en la prueba es de 1.2/50 μ s., de polaridad positiva o negativa. Para pruebas de frente de onda la polaridad siempre debe ser negativa.

Se recomienda, usar para transformadores sumergidos en aceite, ondas de polaridad negativa y para aparatos tipo seco, ondas de polaridad positiva.

Cuando se especifican pruebas de impulso en las terminales de línea, éstas se deben aplicar en el siguiente orden:

Una onda a tensión reducida, dos ondas cortadas y por último una onda completa, (Fig. 5.4).

Cuando también se especifican pruebas de frente de onda, se debe aplicar una de tensión reducida, dos frentes de onda, dos ondas cortadas y una onda completa, (Fig. 5.5).

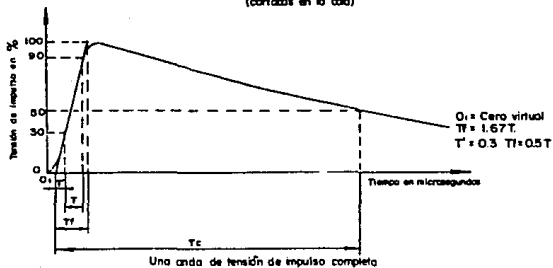
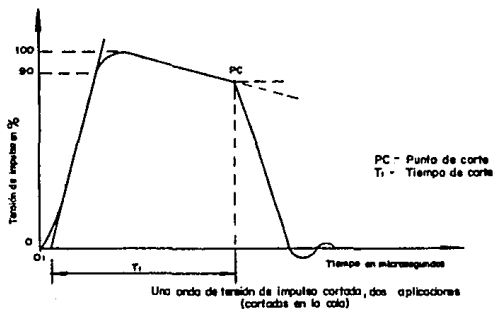
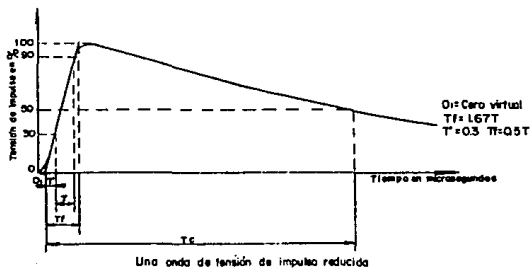
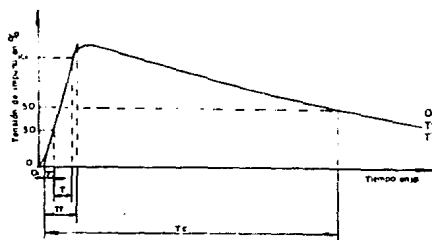
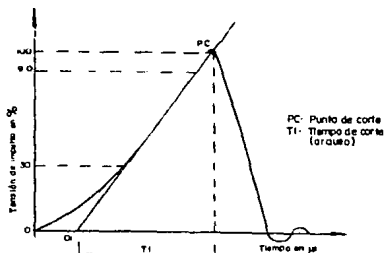


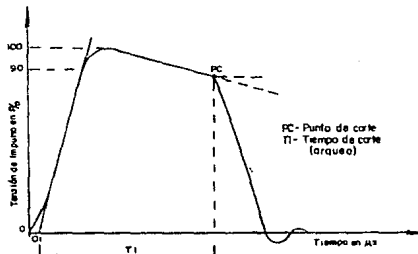
FIG. 5.4 DIFERENTES FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN PARA LA PRUEBA DE IMPULSO A TRANSFORMADORES, DE ACUERDO CON NORMAS NOM J 169 (1978) y ANSI/IEEE C57.12.90 (1990)



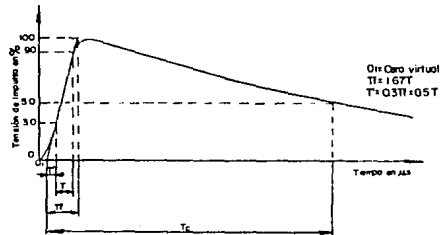
a) Una onda de tensión de impulso reducido



b) Frente de onda de tensión de impulso (cortada en el frente) dos aplicaciones



c) Onda de tensión de impulso cortada (cortada en la cola) dos aplicaciones



d) Una onda de tensión de impulso completa

FIG. 5.5. DIVERSAS FORMAS DE ONDA DE TENSIÓN PARA LA PRUEBA DE IMPULSO A TRANSFORMADORES: CUANDO SE ESPECIFICA DE ACUERDO CON LA OTRA MODALIDAD DE PRUEBA, CONFORME A LAS NORMAS NOM. J-169 (1978) y ANSI / IEEE C57.12.90 (1990).

Prueba de Onda Completa a Tensión Reducida.

Para efectuar esta prueba, se debe aplicar una onda de tensión con un valor de cresta entre el 50% y 70% del valor de onda completa.

Prueba de Onda Cortada.

Para efectuar esta prueba la onda de tensión aplicada se debe cortar en la parte descendente por medio de un explosor adecuado.

Prueba de Frente de Onda.

Para efectuar esta prueba la tensión se debe cortar en la parte ascendente de la onda antes de que alcance el valor de cresta, por medio de un explosor adecuado.

Prueba de Onda Completa.

Para esta prueba la onda de tensión debe tener un valor de cresta que corresponde al del nivel básico de aislamiento al impulso y es de acuerdo a la clase de aislamiento que tenga el transformador en prueba.

El tiempo entre la aplicación de la última onda cortada y la onda completa final, se debe reducir al mínimo a fin de evitar la recuperación de la rigidez del aislamiento.

El valor de cresta de la onda de tensión para la prueba de onda completa, así como para las pruebas de onda cortada y frente de onda con sus tiempos específicos de arqueado están tabulados en el apéndice B tablas 1, 2 y 3.

Conexiones.

Cada una de las terminales del transformador se debe probar por separado. Las terminales del devanado bajo prueba, deben conectarse directamente a tierra, o a través de una resistencia de bajo valor cuando se requiera medir la corriente.

Las terminales de los demás devanados deben conectarse a tierra en la misma forma para limitar las tensiones inducidas.

Detección de fallas.

Se pueden observar fallas durante el desarrollo de la prueba, así como en el resultado de los oscilogramas, en el primer caso tenemos:

- Humo y burbujas.

Las burbujas con humo que suben a través del aceite en el transformador son una evidencia definitiva de falla.

- Ausencia de arqueado en el explosor.

Si al hacer la prueba de onda cortada no ocurre en arqueado en el explosor o cualquier parte externa, a pesar de que los oscilogramas muestren una cortada, esto es una indicación definitiva de un arqueado dentro del transformador.

- *Ruidos perceptibles.*

Los ruidos perceptibles dentro del transformador en el instante de la aplicación del impulso puede ser una indicación de falla.

En el segundo caso tenemos:

- *Se debe considerar como falla cualquier diferencia en la forma de onda entre la onda de tensión reducida y la onda de tensión completa.*

Se deben considerar como posibles fallas las diferencias que se observen al comparar las ondas de tensión reducida y la onda de tensión completa.

- *Oscilograma de corriente a tierra.*

Diferencia entre los oscilogramas a tensión reducida o de onda completa y el oscilograma de corriente a tierra, cuando se toma este último por medio de un osciloscopio extra, conectado a través de un derivador intercalado en el aterrizado del devanado en prueba.

Prueba de Tensión al Impulso a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado, No Disruptiva.

El procedimiento es el siguiente:

Se debe efectuar la prueba con un impulso de tal polaridad, que produzca en el espécimen la tensión más baja de flameo. Se deben aplicar al espécimen 5 impulsos con el valor de cresta especificado de acuerdo al tipo de aislador, apéndice B.

Con las correcciones atmosféricas adecuadas, apéndice A.

Si no ocurre la descarga disruptiva en ninguna de las aplicaciones se considera que el objeto de prueba satisface los requisitos.

Si solamente ocurre una descarga disruptiva, se deben aplicar 10 impulsos adicionales.

Si no ocurre descarga disruptiva en ninguno de los 10 impulsos adicionales se considera que el objeto de prueba satisface los requisitos.

Determinación de la Tensión Crítica de Flameo o de 50% de Probabilidad al Impulso en Aisladores de Porcelana, Vidrio Templado y Boquillas de A.T.

Esta prueba debe efectuarse solamente en condiciones secas y deben hacerse las correcciones a condiciones normales apéndice A.

La determinación de la tensión crítica de flameo al impulso puede hacerse por el siguiente método:

La tensión del generador de impulso se ajusta en pasos del 2% al 5% alrededor de la tensión disruptiva esperada. Se hacen 10 aplicaciones de impulso en cada caso.

Un procedimiento práctico en algunos casos es aplicar un impulso con el valor de descarga disruptiva probable, si hay descarga, reducir la tensión en pasos no mayores del 5% hasta obtener un valor en que no la haya. Si no hay descarga en la primera aplicación, aumentar la tensión en pasos no mayores de 5%. El valor 50% se obtiene interpolando entre dos valores, uno de los cuales de menos de cinco descargas pero más de una y el otro más de cinco pero menos de diez; de una serie de diez aplicaciones para cada valor.

Un método menos preciso es ajustar el generador de impulsos hasta que de una serie de 10 aplicaciones sucesivas, se obtengan de 4 a 6 descargas disruptivas.

Prueba de Tensión de Flameo al Impulso Valor 100% a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado.

Esta prueba se hace bajo condiciones secas y tiene por objeto comprobar que los aisladores cumplan con las características de tensión de flameo al impulso especificadas para cada tipo de aislador.

El procedimiento es el siguiente:

Se deben aplicar 5 impulsos de la amplitud especificada. Si cada impulso causa flameo, los resultados de la prueba son satisfactorios. Si en más de un impulso no ocurre flameo los resultados de la prueba no son satisfactorios.

Si en sólo un impulso no ocurre flameo, deben aplicarse 10 impulsos adicionales; si cada uno de esos impulsos adicionales causan flameo, los resultados de la prueba son satisfactorios.

Prueba de Impulso a Boquillas de Porcelana

La preparación de la boquilla que será probada debe cumplir con lo que marca el apéndice A.

Prueba de Onda Completa.

El procedimiento es el siguiente:

Se le aplican a la muestra 3 impulsos positivos y 3 negativos usando una onda normalizada de $1.2 \times 50\mu s$ con la tensión de onda completa.

Prueba de Impulso de Onda Cortada.

El procedimiento es el siguiente:

Se le aplican a la boquilla tres ondas cortadas con el tiempo y el valor de cresta especificado.

El valor de cresta de la onda de tensión para la prueba de onda completa, así como para la prueba de onda cortada con un tiempo específico de arqueado están tabulados en el apéndice B tabla 5.


PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

Esta prueba sirve para verificar el aislamiento entre devanados, entre un devanado y tierra, así como el aislamiento de las boquillas o pasamuros de los distintos tipos de transformadores a los cuales se les efectúa esta prueba.

Aparatos y Equipo:

- Para la prueba se requiere un transformador elevador, alimentado en baja tensión con una fuente de tensión regulada, y capaz de suministrar en alta tensión, la tensión requerida para la prueba; debe tener integrado un voltmetro que reporte con la debida precisión los Kv en alta tensión. No se debe colocar ninguna resistencia de valor apreciable entre el equipo de prueba y el que está bajo prueba. Se permite sin embargo, el uso de bobinas reactivas.
- Es conveniente incluir explosores o voltmetros de esferas calibrados a una tensión 10% en exceso de la tensión de prueba.
- un cronómetro.

Esta prueba se debe efectuar de dos formas para los diferentes tipos de transformadores:

Potencial Aplicado 
Entre devanado primario y secundario conectado a tierra.
Entre devanado secundario y primario conectado a tierra.

Procedimiento para los diferentes tipos de transformadores:

- *Todas las terminales del devanado bajo prueba deben conectarse entre sí y a la línea del equipo de prueba, por medio de alambre desnudo delgado pero de diámetro no menor de 0.3 mm. Todas las demás terminales y partes conductoras, incluyendo núcleo y tanque deben conectarse entre sí, a tierra y a la otra terminal del equipo de prueba formando un circuito sólido metálico.*
- *La prueba debe iniciarse a un valor máximo del 25% de la tensión de prueba, y se incrementa hasta su valor total en un tiempo no mayor de 15 segundos. La tensión de prueba se mantiene durante un minuto. Después del minuto de duración de la prueba, la tensión debe reducirse gradualmente a un valor igual o menor que el de iniciación en un máximo de 5 segundos y se desenergiza el circuito.*
el valor de la tensión de prueba depende de la clase de aislamiento y lo fijan las normas, (véase las tablas 2, 3, y 4 del apéndice B). según el tipo de transformador.

Además de lo anterior, para cada equipo se debe observar lo siguiente:

- Para transformadores de potencial (TP's)
Para transformadores que van a ser probados a 50 Kv o menos, es permisible para efectuar la medición del valor de prueba, utilizando la relación de transformación del transformador elevador, por medio de un voltmetro en el primario de dicho transformador.
- Para transformadores de corriente (TC's)
Si el transformador es de tipo ventana con aislamiento completo, la prueba se efectúa simulando el primario por medio de un elemento conductor que pase a través de su ventana, de tal manera que quede en contacto con las paredes interiores de la misma.

Tanto para transformadores de corriente tipo ventana como para los tipo boquilla, se debe observar lo siguiente:

- si tienen base metálica no desmontable, ésta se conectara a tierra.
- si no tienen base metálica y van a ser instalados sobre superficies metálicas, la prueba se efectúa colocando el transformador entre dos placas metálicas en contacto directo con el aislamiento y conectando las placas a tierra.

Tanto para transformadores de potencial como para transformadores de corriente, cuando haya más de un devanado secundario, la tensión de prueba debe aplicarse sucesivamente a cada uno de los devanados.

Las fallas son detectadas a través de una disminución de tensión y un aumento de corriente en los instrumentos de medición, además de presentar ruido en el equipo bajo prueba.

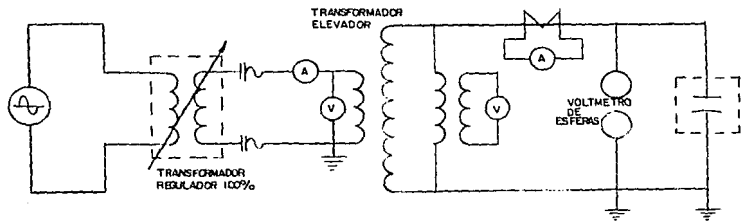


FIG. 5.6 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO

Esta prueba tiene por objeto verificar el aislamiento entre espiras y entre capas, de todos los devanados del transformador, se aplica a transformadores de potencia, distribución y de instrumento.

Consiste básicamente en inducir en los devanados del transformador una tensión de 200% de la tensión nominal y hacerlos trabajar a este valor durante un tiempo determinado.

Dado que durante esta prueba se incrementan los volts por vuelta del transformador, la frecuencia de la tensión de prueba debe ser lo suficientemente alta para limitar la densidad de flujo en el núcleo.

La frecuencia mínima para lograr esta condición esta dada por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\text{Tensión inducida a través del devanado}}{1.1 \text{ Tensión nominal del devanado}} \times \text{Frecuencia nominal}$$

Pudiendo utilizar, frecuencias mayores, mientras mayor sea la frecuencia, la prueba es más severa, de manera que se recomienda que su duración sea aproximadamente 7200 ciclos.

Para frecuencias múltiplos de 60 Hz, la duración de la prueba esta especificada en la siguiente tabla:

FRECUENCIA Hz	DURACION Segundos
120 ó menos	60
180	40
240	30
300	24
360	20
400	18

Tabla 5.2 Duración de la prueba de potencial inducido.

Aparatos y Equipo:

Para esta prueba se requiere un grupo motor-generador a una frecuencia comprendida entre las de la tabla anterior. Si la fuente no incluye un voltmetro y un ampermetro, estos deben intercalarse en el circuito de alimentación del transformador de prueba. Y un cronómetro.

Conexiones:

Se debe elegir uno de los devanados del transformador que sea posible alimentar al 200% de su tensión nominal el cual se conecta a la fuente, incluyendo un voltmetro y un ampermetro. El otro devanado debe permanecer en circuito abierto.

El procedimiento es el siguiente:

La prueba se debe iniciar con un valor igual o menor que el 25% de la tensión completa y se aumenta gradualmente hasta alcanzar el valor de prueba en aproximadamente 15 segundos. Se mantiene la tensión plena durante el tiempo de prueba, mientras se observa si no aparece ninguna anomalía, como:

- Ruidos extraños.

Cualquier ruido extraño que se perciba dentro del transformador debe investigarse.

- Burbujas de humo (cuando se trate de aparatos sumergidos en aceite).

El humo, en forma de burbujas gaseosas que se desprenden del seno del líquido aislante del transformador, es una evidencia definitiva de falla. Las burbujas de gas producidas por el aire atrapado en el aparato pueden o no ser evidencias de falla. Esto se debe investigar repitiendo la prueba, para determinar si ocurre una falla.

- Inestabilidad de la corriente de excitación.

Al concluir el tiempo de prueba, se reduce la tensión a un valor igual o menor que el de iniciación, en aproximadamente 5 segundos y se abre el circuito.

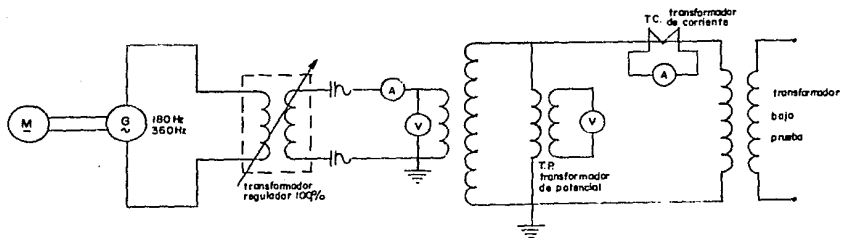


FIG. 5.7 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO

PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO EN SECO

Es una prueba donde se verifica que la descarga disrruptiva se presenta para la tensi3n de prueba especificada.

La tensi3n de flameo a baja frecuencia de la muestra, es el valor eficaz (rms) de la tensi3n de baja frecuencia, que en las condiciones normales de prueba, origina un flameo o descarga disrruptiva sostonida a travs del medio circundante.

Las muestras a la que se les pr3ctica esta prueba son: los aisladores de porcelana, vidrio templado y a las boquillas de alta tensi3n para transformadores.

Los valores de tensi3n de prueba est3n de acuerdo, al tipo de aislador y a la clase de aislamiento de la boquilla, tabulados en el ap3ndice B tablas 5 a la 10.

Los valores de tensi3n se deben corregir para condiciones ambientales diferentes de las normales, ap3ndice A.

Aparatos y Equipo:

Para la prueba se requiere un transformador, alimentado en baja tensi3n con una fuente de tensi3n regulada, y capaz de suministrar la tensi3n requerida para la prueba. Debe tener integrado un voltmetro que reporte con la debida precisi3n los Kv en alta

tensión. Es conveniente incluir explosores o voltmetro de esferas a una tensión del 10% en exceso de la prueba, además de lo anterior se requiere de un cronómetro.

El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca la muestra a probar entre los electrodos, para aisladores ver apéndice C, para boquillas se cuidará que cuente con un punto de descarga para limitar la tensión a no más del 105% de lo especificado, véase columna 3 de la tabla 5 del apéndice B.
- Se aplica la tensión elevandola inicialmente hasta un 75% del valor de prueba. La elevación de tensión restante debe hacerse entre 5 y 30 segundos y una vez alcanzado el valor, se reduce a cero.
- Se repite el procedimiento anterior 5 veces, dejando entre cada aplicación un intervalo no menor de 15 segundos, ni mayor de 5 minutos.

Informe:

Se debe indicar si el objeto bajo prueba soporto o no los 5 flameos.

PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO EN HUMEDO

Esta prueba consiste en verificar que la descarga disrruptiva se presenta para la tensión de prueba especificada para condiciones húmedas o de lluvia.

Las muestras a las que se les aplica esta prueba son los aisladores de porcelana, vidrio templado y boquillas de alta tensión para transformadores.

Esta prueba debe cumplir con los valores de tensión especificados, véase las tablas 5 a 10 del apéndice B.

En esta prueba deben hacerse correcciones por densidad relativa del aire, no se harán correcciones por humedad. Apéndice A, incisos 2 y 3).

Aparatos y Equipo:

- Se utilizarán los mismos aparatos y equipo que en la prueba de flameo en seco.
- Aspersores en número suficiente para obtener la precipitación requerida. Los aspersores deben mantener el agua a una presión entre 245 KPa (2.5 kg/cm^2) y 412 KPa (4.2 kg/cm^2).

Recipiente de medición de la precipitación.

La medición del agua debe hacerse con un recipiente de 15 a 30 cm de diámetro con una altura aproximada de 2.5 cm y un espesor máximo de 1.5 mm.

Preparación de la prueba, Apéndice A, inciso 1.

El procedimiento es el siguiente:

- se sigue el mismo que para la prueba de flameo en seco.

Informe:

Se debe indicar si el objeto bajo prueba soporta sin daño los cinco flameos.

PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN SECO

Esta prueba consiste en verificar que el aislamiento de la muestra a la que se le efectuará la prueba, cumple con su rigidez dieléctrica nominal para la cual fue diseñada.

Las muestras a las que se les practica esta prueba son los aisladores de porcelana, vidrio templado y boquillas para transformadores.

La correcciones de tensión por condiciones ambientales diferentes a las normales están dadas en el inciso 3 del apéndice A.

Aparatos y Equipo:

Son los mismos que para la prueba de flameo en seco.

El procedimiento es el siguiente:

Antes de efectuarse cada prueba debe tenerse en cuenta lo siguiente:

Para boquillas:

- La conexión a la terminal de la boquilla en prueba debe salir de ésta en una dirección tal que la separación a tierra no sea menor de la distancia de flameo en seco.

- No debe haber objetos cerca de la boquilla que puedan afectar los resultados de la prueba.
- El ambiente debe estar libre de ionización en el momento de iniciar cada prueba.

Para aisladores:

- Se coloca la muestra bajo prueba entre los electrodos, la forma de montaje de los aisladores se da en el apéndice C.
- La muestra bajo prueba debe soportar durante un minuto, la aplicación de la tensión nominal sostenida en seco para boquillas ver columna 3 de la tabla 5 del apéndice B; para aisladores dependiendo de su tipo consultar la tabla correspondiente en el apéndice B, sin que ocurra perforación o flameo.
- Se le aplica a la muestra bajo prueba la tensión especificada inicialmente hasta el 75% del valor de prueba. La elevación restante se debe hacer entre 5 y 30 segundos.
- Después de alcanzar la tensión correspondiente, esta se debe mantener durante un minuto y reducirse a cero en un tiempo aproximado de 5 segundos.

Informe:

Se debe informar si hubo o no flameo; si la muestra soporto sin daño la tensión de prueba durante el tiempo especificado, se considera que paso la prueba.

Si sucede un solo flameo se puede repetir la prueba, en caso de repetirse el flameo, la muestra se considera con falla.

PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN HUMEDO

Esta prueba consiste en verificar que el aislamiento de la muestra al que se le efectuará la prueba cumple con su rigidez dieléctrica nominal para condiciones húmedas para la cual fue diseñada.

Las muestras a las cuales se les efectúa esta prueba son a los aisladores de porcelana, vidrio templado y boquillas de porcelana para transformadores.

Se deben observar las mismas condiciones que para la prueba de flameo en húmedo, (véase apéndice A, incisos 2 y 3). Aunque no se efectuarán correcciones por humedad.

Aparatos y Equipo:

Se utilizará el mismo equipo que para la prueba de flameo en húmedo.

Preparación de la prueba.

- La muestra se coloca en un área mojada por los aspersores cuyo ancho sea al menos 2 veces el de la muestra y el largo 1.25 veces la misma.

- Se colocan los aspersores y el equipo complementario por lo menos a 90 cm de la muestra bajo prueba.
- Se inicia la aspersión y se mide la precipitación de acuerdo con lo indicado en el siguiente inciso.

Medición de la precipitación.

Para medir la precipitación, se coloca el vaso de medición con la parte abierta horizontalmente sostenido entre la muestra bajo prueba y los aspersores de tal manera que el borde del vaso quede aproximadamente a 8 cm de cualquier parte de la misma.

Deben hacerse 3 mediciones separadas. Cada medición debe efectuarse durante un minuto. El promedio de las 3 mediciones no debe ser mayor del 10% de lo normal y ninguna de ellas puede desviarse más del 25%.

El procedimiento es el siguiente:

La tensión de prueba será de acuerdo al tipo de aislador según apéndice B, tablas 6 a 10. Y para las boquillas la tensión señalada en la columna 4 de la tabla 5 del apéndice B. Incrementándola rápidamente hasta el 75% del valor de prueba. La elevación restante se debe hacer entre 5 y 30 segundos.

Después de haber alcanzado la tensión de prueba, ésta se debe sostener durante 10 segundos y reducirse después a cero en un tiempo aproximado de 5 segundos.

Informe:

Se debe informar si hubo o no arqueo. En caso de presentarse un arqueo se puede repetir la prueba, si persiste el arqueo, la muestra se considera con falla.

PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA EN ROCIO

Esta prueba consiste en verificar que el aislamiento de la muestra bajo prueba cumpla con su rigidez dieléctrica para condiciones de rocío.

Las muestras a las que se les practicará esta prueba son a los aisladores de porcelana y vidrio templado.

Las correcciones de los valores de tensión serán de acuerdo al apéndice A, incisos 2 y 3. No se harán correcciones por humedad.

Aparatos y Equipo:

- *El mismo que para la prueba de flameo en seco.*
- *Un refrigerador de temperatura controlable.*

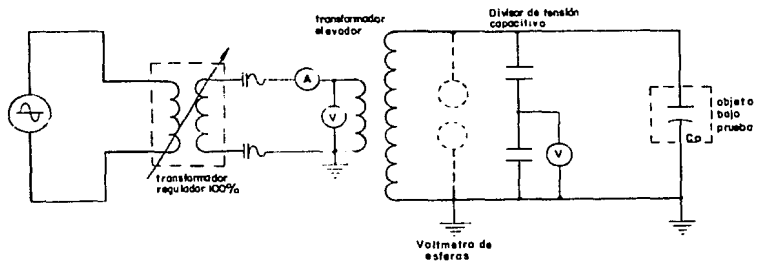
El procedimiento es el siguiente:

- *Los especímenes se deben colocar en una cámara que tenga una temperatura entre -10 y -15 °C, hasta que éstos se hayan enfriado completamente.*
- *El enfriamiento se lleva a cabo en un período de 10 a 12 horas.*

- Los especímenes se deben montar de acuerdo al tipo de aislador que se trate, en una cámara de pruebas que tenga una temperatura de $25 \pm 3^\circ\text{C}$. La humedad relativa en la cámara de pruebas debe ser de 100% (+0% y -10%). Estos se puede obtener inyectando, dentro de la cámara vapor de agua a la presión atmosférica.
- La tensión se debe aumentar rápidamente hasta el valor de la tensión de prueba sostenida en roclo, mientras el espécimen está totalmente cubierto de roclo. El tiempo que se debe emplear para elevar la tensión, no debe ser mayor de 20 segundos.
- La tensión de prueba (tensión nominal sostenida en roclo), con las correcciones atmosféricas apropiadas, se debe aplicar al espécimen durante 10 segundos.

Informe:

Se indicará si el aislador presento arqueos o no.



C_p : Capacitancia del objeto bajo prueba

Nota:

Se utilizara el voltmetro de esferas solo cuando no exista el Divisor de tensión capacitivo.

FIG. 5.8 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA Y TENSION DE FLAMEO

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES

La rigidez dieléctrica de un material aislante es la máxima intensidad de campo eléctrico que puede soportar sin llegar a la ruptura, se calcula prácticamente dividiendo la tensión de ruptura por el espesor del material aislante entre los electrodos de prueba.

La prueba consiste en medir la tensión de ruptura dieléctrica de la muestra bajo prueba, como indicio de que las características aislantes son adecuadas para su uso.

Esta prueba es aplicable a cualquier material aislante eléctrico.

Aparatos y Equipo:

Se requiere de un equipo que reúna las siguientes características:

- Transformador de alta tensión. Un transformador elevador alimentado en baja tensión por una fuente de tensión regulada. Para pruebas de muestras de capacitancia muy pequeña, el transformador de prueba puede tener una capacidad hasta de 0.5 KVA. Para muestras de capacitancia considerable, se debe usar un transformador de capacidad suficiente.

Cuando la forma de la onda no puede ser determinada convenientemente, debe usarse un transformador de una capacidad mínima de 2 KVA para tensiones no mayores de 50 kv, y un transformador de 5 KVA como mínimo, para tensiones mayores de 50 kv.

- **Interruptor.** El transformador de prueba debe protegerse mediante un interruptor automático que abra el circuito instantáneamente a partir del momento en que la muestra es perforada.
- **Control de tensión.** De preferencia se debe tener un control automático para incrementar la tensión a la velocidad que determine la norma del material a probar.
- **Medidor de tensión.** Un voltmetro integrado al equipo, que nos indique con la mayor precisión los kv en el secundario del transformador elevador.
- **Electrodos.** La rigidez dieléctrica de un material aislante varía con el espesor del material, área y forma de los electrodos de prueba.

Los electrodos deben ser como se indica a continuación:

- Para materiales sólidos delgados (hoja y placa).

Materiales anchos.

Discos de metal de 5.08 cm de diámetro y 2.54 cm de longitud con filos redondeados a un radio de 0.635 cm.

- **Materiales angostos (cintas)**
Oponiendo dos barras cilíndricas de 0.635 cm de diámetro con filos redondeados a un radio de 0.079 cm.
- **Para materiales sólidos gruesos.**
Discos de metal de 2.54 cm de diámetro y 2.54 cm de longitud con filos redondeados a un radio de 0.318 cm.
- **Para líquidos.**
Discos de metal de 2.54 cm de diámetro con filos a 90° montados, sobre un eje horizontal y separados 0.254 cm.
- **Para un compuesto aislante.**
Electrodos de metal semiesféricos de 1.270 cm. de diámetro y a la distancia especificada en la norma del material correspondiente.

Preparación de la prueba.

Es conveniente probar los materiales en el medio en el que van a ser usados, pero cuando las condiciones de uso no estén bien definidas, se deben probar en aire.

Para muestras que tienen un alto punto de ruptura, como materiales muy gruesos, es usual hacer las pruebas en aceite.

En la preparación de las muestras de materiales sólidos, debe tenerse el cuidado de que las superficies adyacentes a los electrodos sean paralelas, tan planas y uniformes como sea posible.

Para pruebas en aceite, puede usarse una tina de aceite provista de algún medio que haga circular el aceite en tal forma, que la temperatura sea substancialmente uniforme alrededor de la muestra en prueba.

Los electrodos deben estar alineados perfectamente. Cuando se coloquen en los electrodos los elementos para prueba de superficies planas, éstos deben tener sus superficies paralelas, una con la otra y deben tenerse perfectamente limpias, púidas y libres de escoriaciones e impurezas.

El tamaño de las muestras al efectuar la prueba debe ser el apropiado para evitar arqueos entre los electrodos, antes de que se efectúe la perforación o ruptura de la muestra.

El procedimiento es el siguiente:

La tensión debe incrementarse a velocidad uniforme hasta el punto de ruptura.

Prueba de Rigidez Dieléctrica del Aceite Aislante para Transformadores

1. Electrodo planos.

Aparatos y Equipo:

Los aparatos y equipos utilizados en esta prueba deben ser de las mismas características que las mencionadas en las de rigidez dieléctrica a materiales aislantes.

- Transformador de Alta Tensión.
- Interruptor
- Control de tensión. Debe de incrementar la tensión a razón de 3 kv/seg. \pm 20%
- Voltmetro
- Copa de prueba. Debe cumplir con los siguientes requisitos:

La copa de prueba debe ser de un material de alta rigidez dieléctrica e insoluble en los líquidos que se usen para limpiarla.

Debe tener los electrodos rígidamente montados, con sus caras paralelas y sus ejes coincidentes en línea horizontal. Los electrodos deben ser discos de bronce pulido, de 2.54 cm de diámetro, cuando menos 0.3 cm de espesor con aristas a 90° y separados una distancia de 2.54 ± 0.01 mm.

Ninguna parte de la copa debe estar a menos de 1.3 cm. de cualquier parte de los electrodos y su borde superior debe estar a 3.2 cm de la parte superior de los electrodos.

- Muestreadores. Son dispositivos adecuados para extraer la muestra de acuerdo al recipiente de almacenamiento.
- Recipiente de muestreo. Se deben usar botellas de vidrio transparente para una mejor inspección visual.
- Termómetro.

El procedimiento es el siguiente:

La copa previamente lavada; se llena lentamente hasta un nivel no menor de 20 mm arriba del borde superior de los electrodos, evitando la inclusión de aire y se coloca en el equipo de prueba.

La prueba se lleva a cabo a temperatura ambiente siempre y cuando no sea menor de 20 °C.

Después de 2 o 3 minutos de haber llenado la copa se aplica la tensión incrementandola gradualmente a una velocidad de 3 kv/seg. \pm 20% desde cero hasta que ocurra la ruptura.

La ruptura se caracteriza por una descarga continua entre electrodos, que hace operar el interruptor de seguridad. En ocasiones ocurren pequeñas descargas momentáneas que no deben tomarse en cuenta.

Una vez determinada la ruptura, se vacía la copa en un recipiente limpio, y se llena nuevamente con otra porción de muestra, determinando nuevamente su ruptura.

Si ningún valor de las dos primeras pruebas está por debajo del valor de aceptación, el aceite se considera bueno y no requiere más pruebas.

Si cualquiera de los valores resultara por debajo de aceptación, entonces se requiere otras tres pruebas de la muestra.

Entonces se obtiene la diferencia entre los valores mayor y menor de las cinco pruebas, y se multiplica por tres.

Si el valor obtenido es mayor que el inmediato superior al valor mínimo, la estadística es insuficiente y habrá que efectuar otras cinco pruebas. El promedio de los diez resultados se reportará como la tensión de ruptura de la muestra. Si no es así, basta el promedio de las primeras cinco.

Informe:

- Nombre del método empleado.
- Temperatura del aceite en el momento de la determinación.

- Valores individuales y promedio de las tensiones de ruptura.
- Indicación de si la muestra presenta evidencia de contener agua libre o impurezas contaminantes.

2. Electrodo Semiesférico.

Aparatos y Equipo:

Se utiliza el mismo equipo que en el método con electrodos planos, con los siguientes cambios:

- Los electrodos deben ser semiesféricos de bronce pulido, con las dimensiones señaladas.
- La copa de prueba. Debe ser aproximadamente cúbica con una capacidad aproximada de un litro.

Los electrodos deben mantenerse rígidamente y desde lados opuestos, con la separación aproximadamente al centro. Las distancias desde cualquier lado de la copa y cualquier parte del dispositivo de agitación debe ser como mínimo de 1.3 cm. La copa debe estar provista con un motor que opere a una velocidad entre 200 y 300 rpm. El propulsor debe girar en una dirección tal, que el flujo del líquido se dirija hacia abajo contra el fondo de la copa.

La separación entre electrodos debe ser de 1 ± 0.03 mm.

El procedimiento es el siguiente:

Es el mismo método que con electrodos planos, con los siguientes cambios.

- Se aplica la tensión desde cero hasta que ocurra la ruptura, en una relación de aproximadamente 1/2 kv/seg.(0.500 V por segundo).
- Debe haber un intervalo de por lo menos 3 minutos entre el llenado de la copa y la aplicación de la tensión para la primera ruptura y por lo menos intervalos de 1 minuto entre aplicaciones de tensión para rupturas sucesivas.
- El propulsor debe hacer circular el aceite en todo momento.

Informe:

- El mismo que para la prueba con electrodos planos.

Nota: La rigidez dieléctrica debe cumplir con lo establecido en la norma oficial Mexicana NOM-J-123 vigente.

TIPO DE PRUEBA	Kv MINIMO
Electrodos planos	30
Electrodos Semiesféricos	20

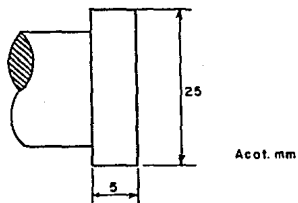


FIG. 5.9 ELECTRODO PLANO

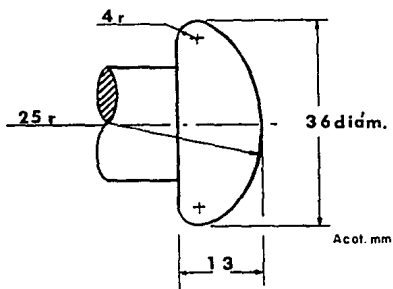


FIG. 5.10 ELECTRODO SEMIESFERICO

Prueba de Tensión de Perforación (Rigidez Dieléctrica) a Aisladores de Porcelana y Vidrio Templado

Aparatos y Equipo:

Los aparatos y equipos utilizados en esta prueba deben ser de las mismas características que las mencionadas en las de rigidez dieléctrica a materiales aislantes.

- Transformador de Alta tensión
- Interruptor
- Voltmetro
- Tina para prueba en aceite
- Electrodo para materiales sólidos y gruesos

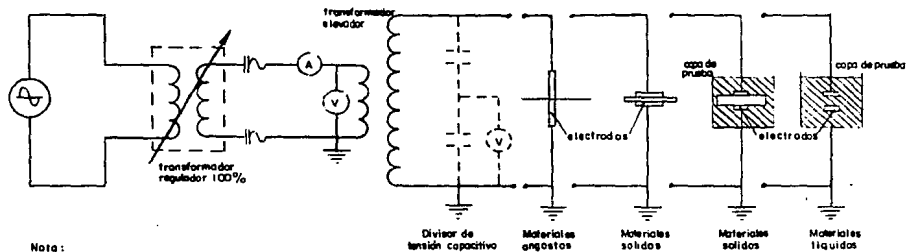
El procedimiento es el siguiente:

- Los aisladores se deben sumergir en posición invertida en aceite aislante que tenga una rigidez dieléctrica no menor de 12.5 kv.
- El aceite debe cubrir todas las partes de la muestra y por lo menos el nivel del aceite debe estar 15 cm. arriba de cualquier parte del aislador.
- Se debe aplicar la tensión entre electrodos íntegramente ensamblados al aislador.

- La tensión inicialmente aplicada, se puede aumentar rápidamente hasta el valor nominal de la tensión de flameo en seco de la muestra.
- Después de alcanzar esa tensión, la tensión debe aumentarse a razón de 10000 volts cada 15 seg. Hasta que se produzca la perforación.

Informe:

- Se informará el valor de la tensión de ruptura (perforación del aislador).



Nota:
Solo se utilizara el Divisor de tensión capacitivo cuando la tensión de ruptura Dieléctrica sea superior a 50 KV

FIG. 5.11 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS

Esta prueba proporciona una indicación de la calidad de un aislamiento, sobretodo en la referente a la detección de humedad y otros contaminantes; como el aislamiento de un equipo es en sí, dieléctrico de un capacitor, al aplicar una diferencia de potencial circulará una corriente que, debido a que no es posible realizar un dieléctrico perfecto, estará adelantada con respecto a la tensión aplicada (\vec{V}) un ángulo ϕ menor de 90° . La corriente total (\vec{I}_0) que circula a través del aislamiento en prueba, puede considerarse formada por dos componentes, como se muestra en la figura siguiente:

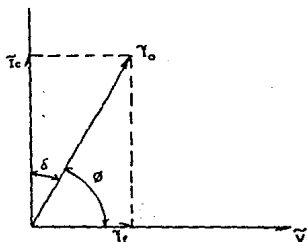


FIG. 5.12 Diagrama Vectorial del
Factor de Potencia Y/ϕ
Pérdidas Eléctricas

La figura anterior muestra la corriente componente (\bar{I}_c), debida a la capacitancia de la muestra en prueba adelantada 90° con respecto a la tensión aplicada (\bar{V}) y una corriente componente (\bar{I}_p) de pérdidas en fase con la tensión aplicada, es decir, que en cada capacitancia existen pérdidas dieléctricas, que pueden representarse convenientemente mediante una resistencia en paralelo con un capacitor.

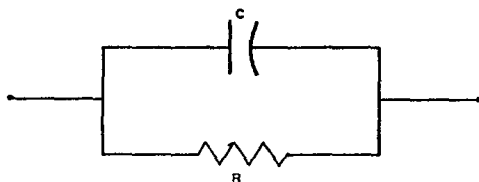


FIG. 5.13 REPRESENTACION DE UN DIELECTRICO

El factor de potencia de aislamiento ($\cos \phi$) se define comúnmente como la relación de la resistencia a la impedancia de esta combinación.

El ángulo complementario de ϕ se conoce como ángulo de pérdidas, este ángulo es, generalmente, muy pequeño, el factor de potencia ($\cos \phi$) puede tomarse igual a la $\text{Tang } \delta$, conocido como factor de disipación.

Este factor de potencia se mide en la misma forma en cualquier capacitor; aplicando una tensión al aislamiento y midiendo amperes y watts, o usando puentes de c.a.; para determinar la resistencia y capacitancia efectiva, a fin de calcular el factor de potencia.

La prueba de medición del factor de potencia es aplicable a toda clase de aislamientos, ya sea en muestras o en equipos que los contengan.

Entre los dispositivos utilizados para la medición de el factor de potencia esta el llamado puente de Schering, el cual debido a su disposición y a las variables involucradas en él, puede ser utilizado además de la medición del factor de potencia, para la medición de la capacitancia.

En el diagrama del circuito del puente de Schering (Fig. 5.14) puede observarse que además de R_a y R_b , también es variable C_b . Ello tiene su origen en el hecho de que son dos las expresiones que se encuentran en equilibrio, una nos da a conocer la capacitancia de la muestra (C_x) y la otra su resistencia (R_x).

$$C_x = C_c \cdot \frac{R_b}{R_a}$$

$$R_x = R_a \cdot \frac{C_b}{C_c}$$

En lugar de la resistencia se puede evaluar directamente el ángulo de pérdida, dado por:

$$\operatorname{Tg} \delta = \omega R_b C_b ; \text{ donde } \omega = 2\pi f$$

o bien

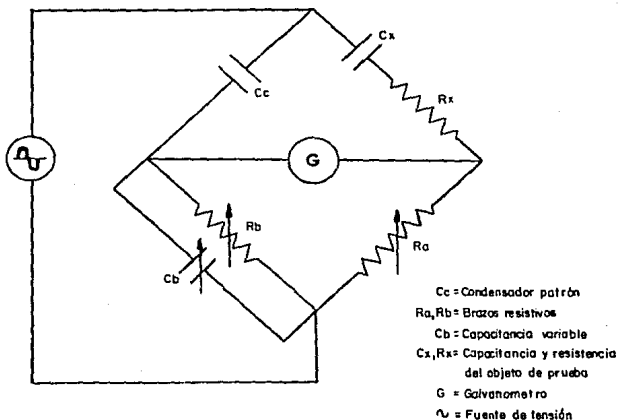


FIG. 5. 14 DIAGRAMA DEL CIRCUITO DEL PUENTE DE SCHERING

Prueba del Factor de Potencia a los Aislamientos de Transformadores

El método de prueba que aquí se describe se aplica al conjunto de aislamientos del transformador, sumergido en aceite.

El transformador que se sujete a la prueba debe estar en las siguientes condiciones:

- Con todos los devanados sumergidos en aceite*
- Con todos los devanados en corto circuito*
- Con todas las boquillas en sus respectivos lugares.*

Además, se recomienda que la temperatura de los devanados y del aceite sea cercana de 20 °C. Si la temperatura es distinta de 20 °C los resultados que se obtengan deben corregirse a esta temperatura, véase factor de corrección de temperatura para la prueba en el apéndice A.

El procedimiento es el siguiente:

La tensión que se debe aplicar a cualquier parte de un devanado, para medir el factor de potencia del aislamiento, debe ser 10 kv como máximo, o de la mitad de la tensión de la prueba de potencial aplicado. (En función de la clase de aislamiento del transformador).

El factor de corrección de temperatura para el factor de potencia del aislamiento de transformadores depende de los materiales aislantes, de su estructura, de su contenido de humedad, etc. Los valores del factor de corrección K que se indican a continuación, son típicos y son satisfactorios para fines prácticos al usarse con la siguiente ecuación:

$$F_{p20} = \frac{F_{pt}}{K}$$

en donde:

F_{p20} = factor de potencia corregido a 20 °C

F_{pt} = factor de potencia medido a temperatura T °C

K = factor de corrección, según la tabla 5.2.

T = temperatura de prueba.

Se puede considerar que la temperatura del aislamiento es la temperatura promedio del aceite.

Cuando se mide el factor de potencia del aislamiento a temperatura relativamente alta y los valores corregidos son anormalmente altos, se debe dejar enfriar el transformador y repetir las mediciones a una temperatura cercana a 20 °C.

FACTOR DE CORRECCION PARA LA TEMPERATURA DE PRUEBA

TEMPERATURA DE PRUEBA T EN °C	FACTOR DE CORRECCION K
10	0.80
15	0.90
20	1.00
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
55	2.18
60	2.42
65	2.70
70	3.00

TABLA 5.2

El factor de potencia del aislamiento se puede medir por medio de puentes o por el método de volt-amperes y watts. Las mediciones se deben llevar a cabo a frecuencia de 60 Hz.

Las pruebas de factor de potencia del aislamiento se deben hacer entre los devanados y tierra y entre los devanados como se indica en la Tabla 5.3.

TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS

Prueba sin circuito de guarda Prueba con circuito de guarda

Alta tensión vs baja tensión
y tierra.

Alta tensión vs baja tensión
y tierra
Baja tensión vs alta tensión
y tierra.

Baja tensión vs alta tensión y
tierra

Alta tensión vs tierra, baja
tensión conectada a la guarda

Alta y baja tensión vs tierra

Baja tensión vs tierra, alta
tensión conectada a la guarda

TABLA 5.3
MEDICIONES QUE SE DEBEN HACER PARA LA PRUEBA
DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO

Determinación del Factor de Potencia de Boquillas de Alta Tensión

La preparación que se requiere para la realización de esta prueba, es la misma que se tuvo para la prueba de flameo en seco a baja frecuencia, también aplicada a boquillas.

El Procedimiento es el siguiente:

- Se mide el factor de potencia sobre el conductor de la boquilla y la derivación de prueba. Cuando la derivación de prueba no este accesible, la medición puede hacerse entre el conductor y la brida conectada a tierra.
- Se somete la boquilla a la prueba de tensión sostenida en seco, durante un minuto, con la tensión especificada por su clase de aislamiento.
- Se vuelve a medir el factor de potencia.

La medición se hace con un puente para medir el factor de potencia con una escala adecuada.

Informe:

En el informe de esta prueba se deben reportar los valores en por ciento del factor de potencia de la boquilla antes y después de la prueba de tensión sostenida.

Determinación del Factor de Potencia del Aceite Aislante no Inhibido para Transformadores

Esta prueba debe efectuarse a temperaturas de 25 y 100 °C. Para la realización de esta prueba se requieren los siguientes elementos:

Aparatos y Equipo:

- Celda de prueba
- Cámara de prueba
- Electrodo de guarda
- Puente de Schering

El procedimiento es el siguiente:

Para obtener el factor de potencia se aplica un gradiente de potencial no menor de 200 v/mm, ni mayor de 1200 v/mm.

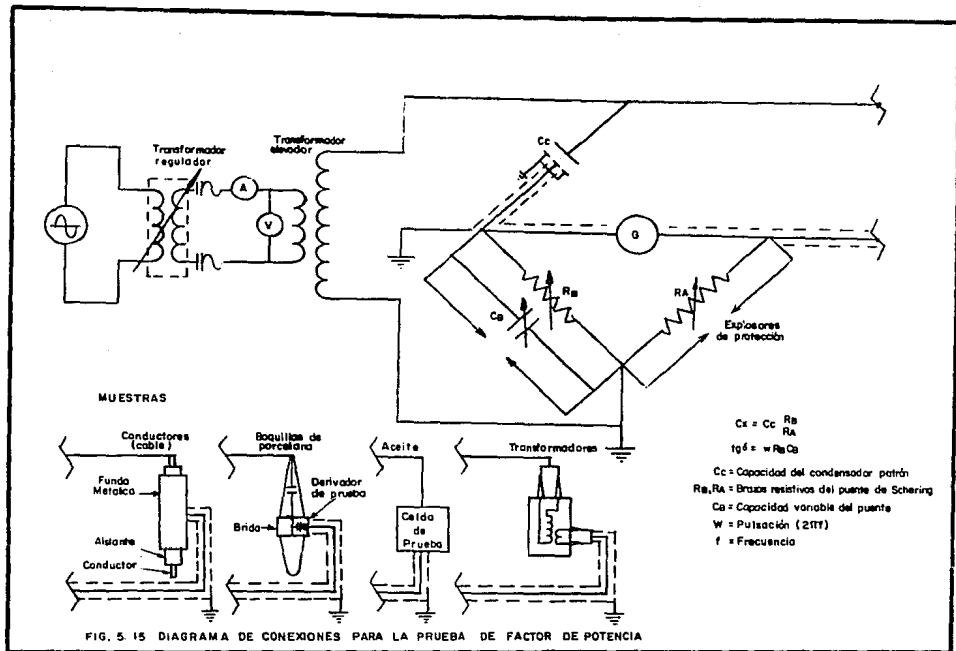
Informe:

- Tensión promedio en volts/mm
- Frecuencia en Hz
- Temperatura de la muestra en grados centígrados.
- Factor de potencia

Nota: El factor de potencia a 60 Hz debe cumplir con lo establecido en la norma oficial Mexicana NOM-J-123. vigente.

ACEITE AISLANTE NO INHIBIDO PARA TRANSFORMADORES

TEMPERATURA	FACTOR DE POTENCIA EN %
25 °C	0.05 máximo
100 °C	0.3 máximo



PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES

La medida de descargas parciales tiene como fin la detección de la presencia de vacíos internos en el aislamiento del aparato que se ensaya y en los cuales se producen pequeñas descargas eléctricas cuando se somete a tensión y que, por no afectar a la totalidad del espesor del aislamiento, se denominan "Descargas Parciales". Estas descargas producen una degeneración paulatina del aislamiento, que desenlaza en una perforación dieléctrica total al cabo de un tiempo más o menos prolongado.

En la actualidad, se considera que el material que se ensaya queda garantizado contra fallos por sobretensiones y contra degradación interna de larga duración por efecto de la tensión a frecuencia industrial, aplicada en servicio; si se realiza un ensayo de la medida de descargas parciales además de los ensayos dieléctricos a frecuencia industrial o con impulsos por rayo y maniobra.

Una descarga parcial es una fuga de corriente entre dos electrodos rompiendo la rigidez del medio que los separa, pero sin llegar al corto circuito.

Se presentan tres tipos de descargas parciales:

- Descargas externas.

Cuando un conductor de alta tensión presenta salientes puntiagudas, principalmente en las conexiones mal terminadas, es una zona de alta concentración del campo eléctrico, y por consiguiente favorece la formación de pequeños arcos hacia el medio circundante. Si esta situación se presenta en el interior del transformador produce degradación del aceite.

- Descargas superficiales.

El origen es muy similar al de descargas externas, pero con la diferencia de que los arcos, en vez de dispersarse en el medio circundante, inciden en la superficie de un aislamiento, provocando la degradación del mismo.

- Descargas internas.

Cuando un dieléctrico presenta inclusión de burbujas o de impurezas, el coeficiente dieléctrico es notablemente menor en estas zonas con respecto al resto del cuerpo aislante, lo cual provoca concentración del campo eléctrico, que lo atraviesa, hasta el punto de ruptura de la rigidez de la burbuja o impureza, presentándose un pequeño arqueado dentro del dieléctrico. También en este caso existe un proceso de degradación.

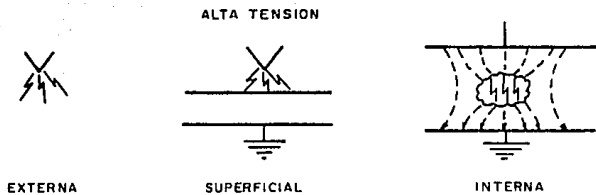


FIG. 5.16 TIPOS DE DESCARGAS PARCIALES.

Debido a la cantidad de equipo e instalaciones especializadas que esta prueba requiere y la falta de los medios para implementarla en el laboratorio de ingeniería eléctrica, esta prueba no será tratada como las anteriores.

Prueba Visual de Efecto Corona

Quando la intensidad de campo eléctrico, originado por una diferencia de potencial, excede la rigidez dieléctrica del aire que rodea a un dieléctrico o conductor, se presenta el efecto corona. Este efecto se puede oír y ver como una crepitación y luminosidad, respectivamente, que se producen sobre la superficie del dieléctrico o conductor. El aire ambiente presenta, en este momento, una gran ionización, con formación de ozono.

El efecto corona depende de los siguientes factores: temperatura, tipo de tensión, humedad, densidad relativa del aire, etc.

Tal efecto trae como consecuencia:

- pérdidas en forma de calor
- oscilaciones electromagnéticas de alta frecuencia, que provocan perturbaciones de radio interferencia.

Aplicaremos esta prueba principalmente a aisladores de porcelana y vidrio templado, aunque no es exclusiva de éstos ya que el efecto corona se presenta como se menciono anteriormente en cables desnudos, uniones, etc. Pero para fines didácticos la prueba a aisladores es la más representativa.

Aparatos y Equipo:

- Un transformador elevador
- fuente de tensión regulada
- un cuarto oscuro con herrajes adecuados
- un voltmetro
- un divisor de tensión

El procedimiento es el siguiente:

Se debe aplicar una tensión superior a la cual se inicia el Efecto Corona y se va disminuyendo lentamente, hasta que todas las descargas desaparezcan del espécimen. La tensión a la cual desaparecen todas las descargas se considera como la tensión de Efecto Corona.

El observador debe acostumbrarse previamente a ver dentro del cuarto oscuro antes de proceder a hacer las observaciones visuales anteriores.

Informe:

Se indicará la tensión de Efecto Corona y las zonas de la muestra que presentaron luminiscencia.

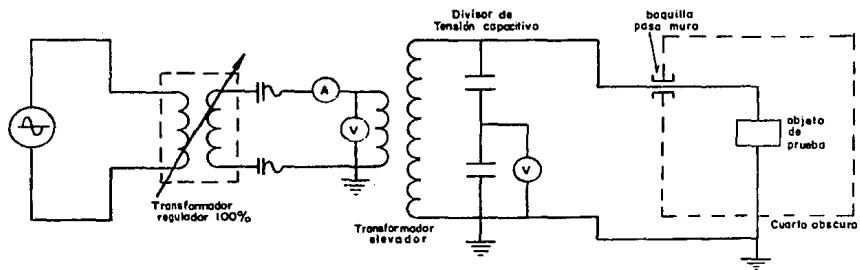


FIG. 5.17 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA VISUAL DE EFECTO CORONA.

PRUEBA DE ALTA TENSION CON CORRIENTE ALTERNA

Esta prueba tiene como propósito verificar que la clase de aislamiento de los conductores eléctricos este de acuerdo con la tensión de corriente alterna a la que van a estar sometidos.

Cabe señalar que los conductores eléctricos aislados tienen un comportamiento distinto ante la corriente alterna y la corriente directa, siendo necesario efectuar pruebas que verifiquen el estado de los aislamientos para estas dos situaciones de tensión, mismas que trataremos en esta la siguiente prueba.

Aparatos y Equipo:

- a) Un transformador elevador, excitado por una fuente regulable.*
- Un interruptor para protección del transformador.*
- Fuente regulable que permita un incremento lo más lineal posible.*

- b) Voltmetro para medir la tensión de salida del transformador, con divisor de tensión.*

- c) Ampermetro para medir la corriente de operación en el circuito.*

- d) Cronómetro
- e) Tanque con agua, para la prueba que lo requiera.

El procedimiento es el siguiente:

- a) De acuerdo al tipo de cable a probar, la prueba se efectuará con el cable sumergido en una tina con agua o en seco.
- b) La muestra de cable deberá ser lo más grande posible, tomando en consideración el lugar de la prueba, así como las dimensiones de la tina con agua.
- c) Para cables monoconductores con pantalla y multiconductores con pantalla individual, la tensión debe aplicarse conectando el conductor o los conductores a una de las terminales del transformador y la pantalla o pantallas a tierra junto con la otra terminal del transformador.
- d) Para cables monoconductores sin pantalla se debe aplicar la tensión al conductor, conectando éste a una terminal del transformador, y la otra terminal del transformador al tanque con agua.
- e) Para cables multiconductores sin pantalla se debe efectuar la prueba de tensión en alguna de las siguientes formas:
 - Cables con cubierta.
aplicar la tensión entre cada conductor y los restantes conectados a tierra.

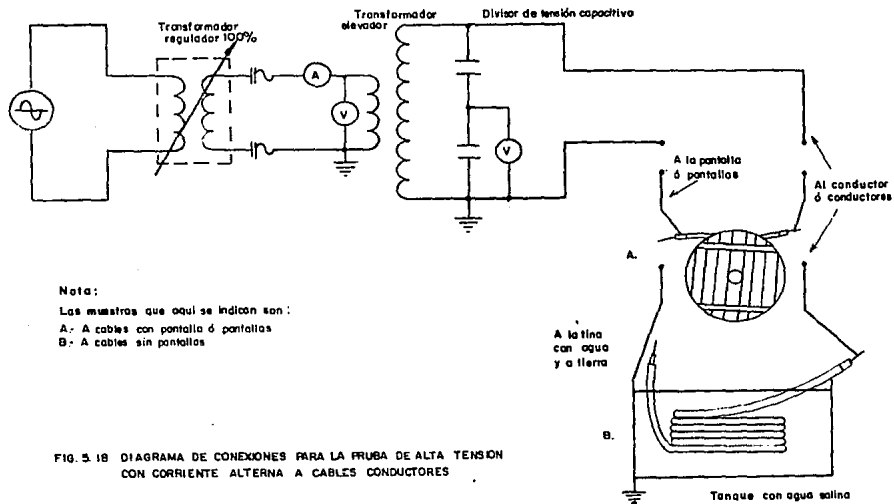
- Cables sin cubierta.

aplicar la tensión a todos los conductores conectados a una terminal del transformador, y la otra terminal al tanque con agua.

- f) Para cables multiconductores con pantalla general, la tensión debe aplicarse entre cada conductor, y los restantes junto con la pantalla, conectados a tierra.
- g) La tensión inicial aplicada no debe ser mayor del 20% de la tensión de prueba, incrementándose gradualmente hasta alcanzar la tensión especificada de acuerdo a su clase de aislamiento en no menos de 10 seg., ni más de 60 seg., manteniendo ese valor de tensión durante un período de cinco minutos.
- h) Al terminar la prueba debe reducirse la tensión gradualmente con objeto de evitar trastornos que puedan dañar al equipo y al cable.
- i) Al cortar la alimentación de c.a., debe tenerse la precaución de descargar el cable a tierra.

Informe:

Se informará la clase de aislamiento en la que se encuentra el cable y si es la que el fabricante menciona.



PRUEBA DE ALTA TENSION CON CORRIENTE DIRECTA

Esta prueba tiene como propósito verificar que la clase de aislamiento de los conductores eléctricos este de acuerdo con la tensión de corriente directa a la que van a estar sometidos.

Aparatos y Equipo:

Se utilizarán los incisos (c) al (e) de la prueba de alta tensión con corriente alterna, además de un generador con equipo rectificador que suministre la tensión de corriente directa necesaria para esta prueba y un voltmetro de esferas ajustado a la tensión de la clase de aislamiento del cable.

El procedimiento es el siguiente:

Esta prueba en sus primeras etapas va de acuerdo a los incisos (a) al (f) de la prueba de alta tensión con corriente alterna, con la única excepción del transformador (o generador) que será sustituido por una fuente de tensión de corriente directa.

La tensión inicial aplicada no debe ser mayor del 20% de la tensión de prueba y se debe incrementar uniformemente hasta alcanzar la tensión de prueba en no menos de 10 seg., ni más de 60 seg., podrá ser mayor de 60 seg., si por la capacitancia del cable no se alcanza la tensión de prueba en este tiempo.

La tensión de prueba será de tres veces el valor de tensión aplicada en la prueba de corriente alterna y con una duración de 15 minutos.

Al terminar la prueba debe reducirse la tensión gradualmente para evitar daños al equipo y al cable.

Debe tenerse la precaución de cortar la alimentación a la fuente de c.d. y descargar el cable a tierra.

Informe:

Se informará si el cable esta dentro de la clase de aislamiento que da el fabricante.

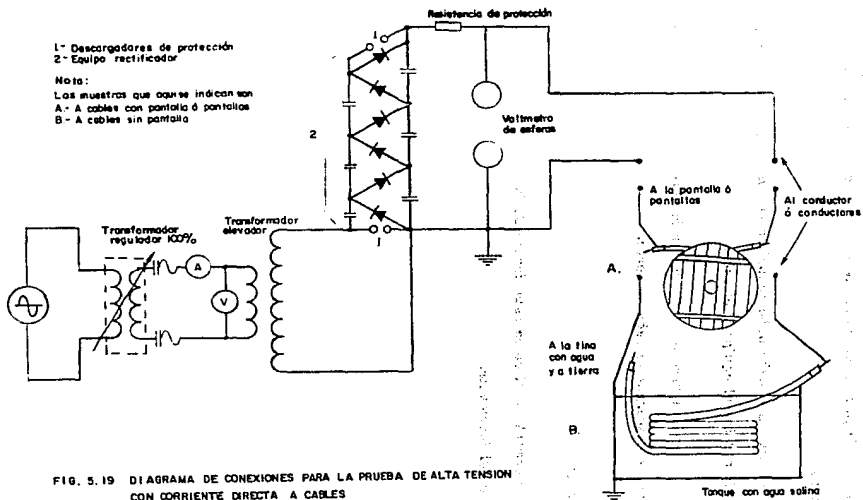


FIG. 5.19 DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA PRUEBA DE ALTA TENSION CON CORRIENTE DIRECTA A CABLES

A través de las pruebas descritas anteriormente, se ha podido observar la posibilidad de algunos equipos para ser empleados en varias pruebas, dando a estos equipos una gran importancia dentro de un laboratorio de alta tensión.

A manera de resumen de este capítulo, en cuanto a pruebas, aparatos y equipos empleados, daremos una tabla en donde se enlistan las pruebas descritas contra los aparatos y equipos empleados en ellas.

A dichos aparatos y equipos se les asignó un número en la tabla, número que puede consultarse en la página subsecuente donde se encuentran los nombres de esos elementos.

P R U E B A S		A P A R A T O S Y E Q U I P O																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRUEBA DE IMPULSO		•	•	•			•															•						•		•	
PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO					•	•	•				•													•			•	•		•	
PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO						•					•		•	•										•		•					
PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA	EN SECO				•		•				•														•			•	•		
	EN HUMEDO				•		•				•					•	•							•			•				
	EN ROCIO					•					•								•						•			•			
PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO	EN SECO				•	•	•				•														•			•	•		
	EN HUMEDO				•	•	•				•						•	•							•			•			
PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA			•	•						•		•										•									
PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA			•	•	•	•		•	•		•		•											•		•					
PRUEBA DE DESCARGAS PARCIALES		•	•					•		•	•	•			•								•						•		
PRUEBA VISUAL DE EFECTO CORONA							•				•												•								
PRUEBA DE A.T. CON C.A.							•				•																				
PRUEBA DE A.T. CON C.D.							•																•								

TAB. 5.2 APARATOS Y EQUIPO

Aparatos y Equipo.

1. **Generador de Impulsos**
2. **Osciloscopio**
3. **Electrodos**
4. **Transformador Elevador**
5. **Cronómetro**
6. **Voltmetro de Esferas**
7. **Celda de Pruebas para la Medición de Factor de Potencia de Aceite Aislante**
8. **Un Puente de Schering u otro equipo capaz de medir factores de potencia a partir de 0.01%.**
9. **Interrupción Automática**
Equipo de Control de Tensión
Medidor de Tensión
Copa de Prueba
10. **Contador Electrónico**
Medidor de Lectura Promedio de Corriente de Descarga
Sintonizadores con Aluvocas o Audifonos
Micrófonos
Cámara Silente
11. **Fuente de Alta Tensión Regulada**
12. **Voltmetro de Cresta**
13. **Frecuencímetro**
14. **Grupo Motor Generador**

15. Capacitor de Acoplamiento
16. Aspersores
17. Recipiente de Medición de Precipitación
18. Cámara de Enfriamiento
19. Tanque con Aceite y Equipo para sostener el aislador y los electrodos
20. Cámara Oscura
21. Fuente de Corriente Directa Rectificada
22. Horno
23. Voltmetro
24. Termómetro
25. Ampermetro
26. Bobinas Reactivas
27. Divisor de Tensión
28. Medidores de Humedad
29. Cable de Coaxial
30. Cable de cobre desnudo de no menos de 0.3 mm

CAPITULO VI

**EVALUACION DE LA INVESTIGACION
Y CONCLUSIONES.**

CAPITULO VI

EVALUACION DE LA INVESTIGACION Y CONCLUSIONES

El laboratorio de Ingeniería Eléctrica, presenta grandes problemas que necesitan ser atendidos con la mayor prontitud y en la medida de lo posible explotar así el potencial que brinda dicho laboratorio, ampliando en sus alumnos nuevos horizontes de interés.

Para solucionar, no sólo la necesidad de realizar mediciones en alta tensión, sino también los problemas de espacio e interferencia entre los grupos de las distintas materias (cuyas prácticas se imparten en el laboratorio de ingeniería eléctrica), la falta de operatividad de equipo descompuesto o que no se utiliza, y por otro lado, la falta de equipo para la realización de algunas pruebas, etc. Se han planteado algunas soluciones de las que se hablará a continuación:

1. Establecer un nuevo laboratorio de ingeniería eléctrica que comprenda: áreas bien definidas y con el espacio suficiente para las distintas secciones que en él se alberguen.

Para el laboratorio de alta tensión, cuidar que posea todas las características propias de éstos laboratorios, desde la ubicación de la nave de pruebas hasta el cuarto de control, teniendo en cuenta la necesidad de efectuar pruebas simul-

túneles, procurando la existencia de varias zonas de prueba, así como las debidas protecciones y medidas de seguridad.

Cabe señalar que la construcción de dicho laboratorio tendría grandes ventajas, entre las que se encuentran:

- Una inmejorable calidad de enseñanza, en lo referente a la comprensión de cada prueba, es decir, dando al alumno un mayor entendimiento de la finalidad y la importancia de las pruebas en alta tensión, tomando como base los criterios de normalización establecidos, tanto nacionales como internacionales.
- Brindar a las industrias medianas y pequeñas un servicio, para ellas muy necesario, de pruebas a prototipos y de aceptación, pudiendo así obtener un ingreso económico importante para el mantenimiento propio del laboratorio.

Esta ventaja también presenta la posibilidad de desarrollo nuevos diseños y una investigación por parte de profesores y alumnos mejor enfocada, ya que la carrera de ingeniería eléctrica cuenta con asignaturas que abarcan aspectos de diseño y construcción de máquinas eléctricas, a las cuales se les debe dar una visión más práctica, esto es, verificando la calidad de los diseños que la industria vende y las maneras como podrían ser mejoradas.

2. La siguiente opción consiste en dividir las funciones del actual laboratorio, es decir, construir un laboratorio más pequeño que el anterior descrito en la opción anterior, en donde se establezcan los laboratorios de alta tensión y transformadores, conservando la ubicación en el actual laboratorio a los laboratorios de máquinas rotatorias y potencia.

Siendo el costo que ello implica, el obstáculo más grande para la realización de las dos soluciones anteriores; se sugiere la siguiente que es la más práctica y de realización más factible.

3. Hacer los siguientes ajustes en el actual laboratorio:

- a) La implementación de una sección de pruebas en alta tensión, utilizando para ello algunas instalaciones no aprovechadas dentro de él mismo.
- b) Mediante la colaboración de las autoridades, profesores y alumnos, efectuar los estudios pertinentes para realizar la rehabilitación del laboratorio de ingeniería eléctrica. Por medio de tesis, que al finalizar dejen como testimonio de su realización una aportación práctica al laboratorio. Realizar un inventario del laboratorio en donde se indique el equipo inservible y retirarlo del laboratorio.

- c) Formular un programa de adquisición gradual de nuevo equipo para así ampliar el número de prácticas a elaborar.

En la presente tesis se señala la implementación de la sección de alta tensión según el objetivo de la misma.

Con la información obtenida en los capítulos anteriores, se tiene una idea clara sobre: los objetivos, la construcción y tipos de pruebas que se realizan en un laboratorio formal de alta tensión, así como los equipos utilizados para las mediciones de tensiones elevadas. Dicha información será el punto de referencia para establecer, cuales son los recursos y las necesidades del laboratorio de ingeniería eléctrica, para así implementar una sección de pruebas en alta tensión.

Para dar un mejor tratamiento a la información obtenida, la presente descripción se dividirá en las siguientes partes:

- I. Consideraciones que se tomaron en cuenta en el laboratorio de alta tensión (sección de pruebas en alta tensión) para su implementación.
- II. Características constructivas y sugerencias.
- III. Análisis comparativo de las pruebas contra los equipos necesarios para su realización.

I. El propósito de el laboratorio de alta tensión será básicamente de enseñanza, por lo cual, su localización -que es inapropiada para la entrada y salida continua de equipo- no impedirá su funcionalidad, esto debido a la existencia de aparatos a probar dentro del laboratorio. Aunque cabe señalar que se podría dar servicio de pruebas a pequeños fabricantes, que carezcan del equipo de prueba.

Los equipos a probar cuyo peso no permitirá una fácil movilidad, de preferencia no deberán ser movidos -como es el caso de algunos transformadores- pero es conveniente construir una estructura móvil más pequeña y de mayor maniobrabilidad, que auxilie a la grúa con que se cuenta actualmente, debido a lo aparatosa y de difícil manejo que resulta ser, dicha grúa, en una brea con tan poco espacio para moverla.

Será aprovechada una zona en donde se encuentran ciertos equipos e instalaciones que son necesarios para la implementación del laboratorio, donde se tomará en cuenta la existencia de estructuras fijas y semipermanentes que algunos de dichos equipos poseen.

Algunos de los equipos -ya establecidos en esa zona- están muy deteriorados por su falta de uso y mantenimiento, pero debido a su utilidad, se considerará que serán rehabilitados, por lo cual se tomará en cuenta sus dimensiones para la distribución de espacios del laboratorio.

II. En el actual laboratorio de ingeniería eléctrica se cuenta con una zona que posee un cercado de protección y en donde se encuentra la mayoría de los equipos que serán utilizados para la implementación del laboratorio de alta tensión.

En el plano 1, se muestra el aspecto general del laboratorio de ingeniería eléctrica y se indica la zona que se utilizará para la implementación del laboratorio de alta tensión. En el plano 2, se muestra con más detalle la zona descrita anteriormente. Dadas las características de construcción permanente y semipermanente de las estructuras donde reposan algunos de los equipos y dado el desembolso tan grande, además del tiempo que implicaría alterar la distribución actual de dichos equipos, se pensó en una rehabilitación que altere en lo más mínimo posible la disposición que se tiene actualmente.

Se ha dispuesto un aumento en el área, para así tener una mayor funcionalidad en el laboratorio, la cual se indica en el plano 3. Para este aumento fueron consideradas las distancias mínimas de guarda y el espacio suficiente para tener una buena facilidad de maniobra de los equipos.

Lo anterior es debido a la necesidad que se tiene de una sala de control en donde puedan observarse ampliamente y sin peligro las pruebas que se elaboren.

En el plano 4 se aprecia la distribución del equipo en la nueva área de alta tensión mayormente detallada.

Para indentificar con mayor facilidad el equipo que aparece en los diagramas, se ha elaborado un inventario en donde aparece una relación numerada de los equipos que existen en el laboratorio.

El laboratorio de alta tensión lo hemos dividido en seis secciones (ver plano 4) que son:

- Sección I. Cuarto de Control.
- Sección II. Prueba de Impulso.
- Sección III. Prueba de Potencial Aplicado.
- Sección IV. Pruebas Ambientales.
- Sección V. Prueba de Tensión Inducida.
- Sección VI. Prueba de Rigidez Dieléctrica.

Es importante colocar interruptores de seguridad en las puertas de acceso de las zonas II, III y V que son las de mayor riesgo.

En la zona II, se debe colocar una red de tierras de acuerdo a lo establecido para la prueba de impulso.

Para lograr la utilización plena de las secciones del laboratorio, es necesario realizar algunas otras modificaciones así como, comprar y reparar algunos de los equipos que son

en muchos casos insustituibles, por tal motivo se realizó la parte III de esta descripción, que más adelante para ser más específicos, se realizarán las observaciones necesarias de acuerdo a la prueba a realizar.

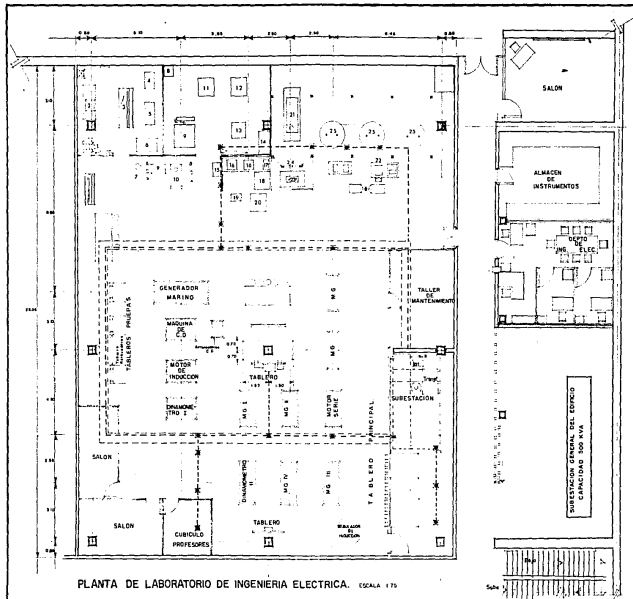
PLANOS DE LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA

**PLANO 1 DISTRIBUCION GENERAL Y SISTEMA DE TIERRAS DEL LA-
BORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA ACTUAL.**

**PLANO 2 DISTRIBUCION ACTUAL DE LA SECCION DE ALTA TEN-
SION.**

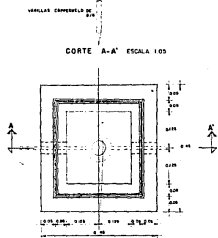
**PLANO 3 DISTRIBUCION GENERAL Y SISTEMA DE TIERRAS DEL LA-
BORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA CON EL AREA DE
AMPLIACION REQUERIDA.**

PLANO 4 SECCIONES DE PRUEBAS DE ALTA TENSION.



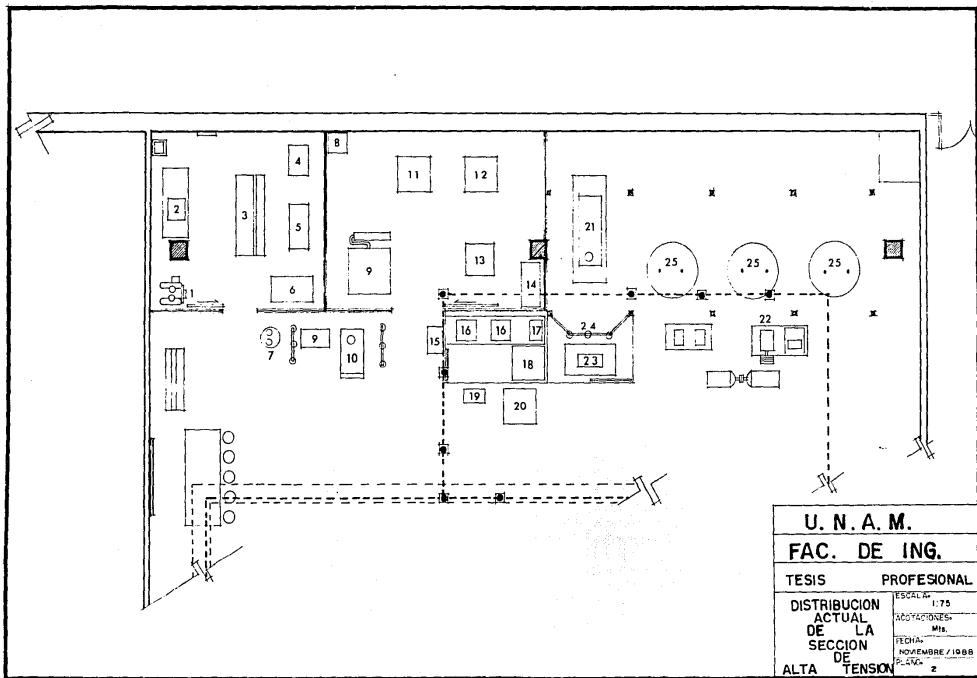
PLANTA DE LABORATORIO DE INGENIERIA ELECTRICA. ESCALA 1:75

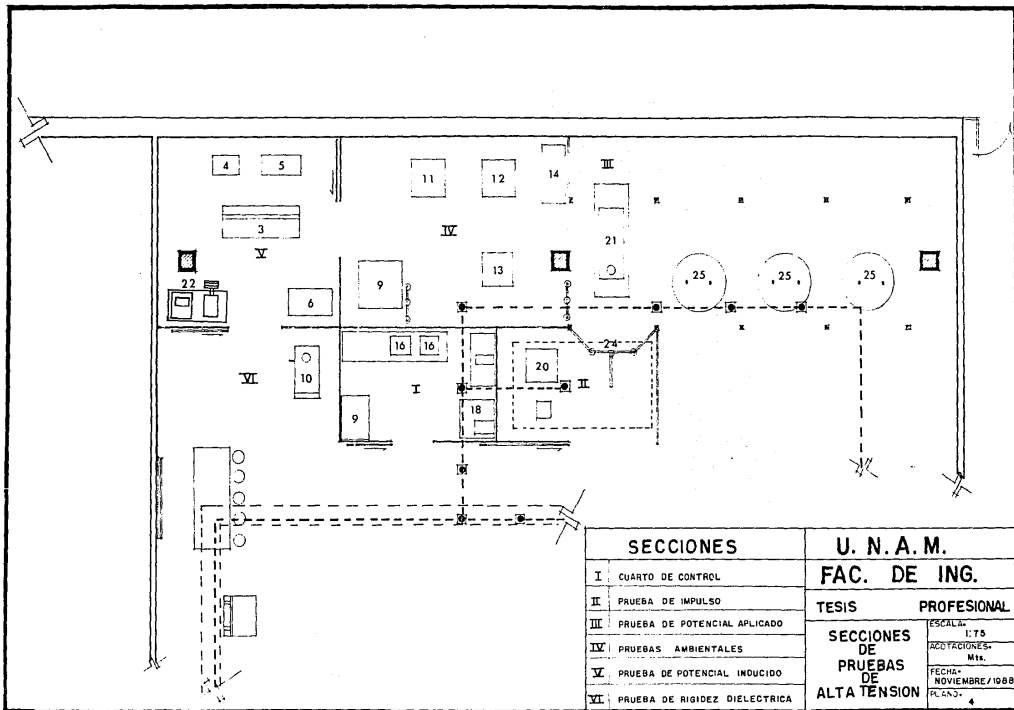
LISTA DE MATERIAL	
DESCRIPCION	CANT.
CAJAS PARA TOMA DE TIERRAS	20 PZS
CONEXIONES PLUMBAS DE CABLE DE 1/2"	20 PZS
CABLE DE CABLE DE 1/2" DE DIAM. DEL. 1/4" DIA.	100 MTS
CABLE DE CABLE DE 1/2" DE DIAM. DEL. 1/4" DIA.	100 MTS
ARMILLOS CONFORMES DE 3.14" DE DIAM.	20 PZS



PLANTA CAJA PARA TOMA DE TIERRAS. ESCALA 1:50

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
DISTRIBUCION GENERAL	ESCALA 1:75
SISTEMA DE TIERRAS	TIPO DE TUBERIA
DEL LABORATORIO DE INGENIERIA ELEC.	INDICACIONES





SECCIONES		U. N. A. M.	
I	CUARTO DE CONTROL	FAC. DE ING.	
II	PRUEBA DE IMPULSO	TESIS	PROFESIONAL
III	PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO	SECCIONES DE PRUEBAS DE ALTA TENSION	ESCALA: 1:75
IV	PRUEBAS AMBIENTALES		MODIFICACIONES: N/A.
V	PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO		FECHA: NOVIEMBRE/1988
VI	PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA		PLANO: 4

INVENTARIO DE LABORATORIO

INVENTARIO DE LABORATORIO

1. APARATO PARA PRUEBAS MECANICAS EN AISLADORES Y CABLES

2. HORNO
40 °C - 220 °C

3. TABLERO DE CONTROL CON:

VOLTMETROS DE 0 - 150V (3)
AMPERMETROS DE 0 - 5A (3)
WATTMETROS DE 0 - 1600W (3)

4. TRANSFORMADOR IEM TRIFASICO
15 KVA, 6KV/480/240 V, 60 Hz

5. TRANSFORMADOR G.E. TRIFASICO.
50 KVA 6000-220 Y/127 440 Y/254, 50 Hz

6. EQUIPO DE PRUEBAS DE ALTA CORRIENTE
50/60 Hz

7. TRANSFORMADOR IEM MONOFASICO
55 KVA, 2.4KV/240/120 V, 60 Hz

8. APARATO PARA DETERMINAR LA RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIA-
LES AISLANTES.
450 VA, 115 V/15 KV, 30 mA, 50/60 Hz

9. CAMARA AMBIENTAL.
Posto Simulado
Medidor de Porciento de Húmedad Relativa
Aisladores Tipo Alfiler (4)
Calentador de Aire

10. FUENTE DE ALTA TENSION REGULADA
5KVA, 60 Hz
Tensión Primaria 110/220 V
Tensión Secundaria 30/60 KV

11. ELEVADOR DE TENSION BALTEAU
1.2 KVA, 110 V/35 KV, 50/60 Hz

12. ELEVADOR DE TENSION BALTEAU

3 KVA, 50/60 Hz

Tensi3n Primaria 110 V

Tensi3n Secundaria 35 KV

13. TRANSFORMADOR RECTIFICADOR

100 KV, 30 mA c.d.

14. HORNO REFRIGERADOR, con TERMOMETRO exterior de varilla.

- 80 °C	-----	175 °C
- 120 °F	-----	350 °F

15. TRANSFORMADOR DELTA MEX.

15 KVA, 60 Hz

Tensi3n Primaria 440/420 V

Tensi3n Secundaria 220/127 V

16. MUERLE PARA USAR CON ELEVADOR (2)

0 - 40 KV

17. SISTEMAS DE CONTROLES AUTOMATICOS CIME

VOLTS 0 - 600 V c.a.

AMPERES 0 - 1000 A c.a.

18. GENERADOR DE ALTO VOLTAJE DE CC
0 - 10 KV 0 - 3 mA
19. TRANSFORMADOR MUESTRA
20. GENERADOR DE IMPULSOS. 50 KV
5 PASOS DE 10 KV c/u
21. GENERADOR ELEVADOR DE TENSION C.A WESTINGHOUSE.
25 KVA, 120/240/480 V a 50/100 KV, 60 Hz
22. MOTOR GENERADOR
23. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL. BALTEAU
2000 a 120 V
24. VOLTMETRO DE ESFERAS FIJO (UNA ESFERA A TIERRA)
Esferas de 20 cm de diámetro.
25. TRANSFORMADORES MONOFASICOS G.E. (3)
500 KVA, 120/6000 V

NOTA: Además se cuenta con distintas muestras que se pueden utilizar en las distintas pruebas.

III. En esta sección, se analizará cada prueba a realizar en el laboratorio, en donde indicaremos primeramente, el equipo mínimo requerido haciendo la correspondiente anotación de las características de los mismos -en caso de contar con ellos- además se efectuarán las observaciones y las modificaciones mínimas a realizar en el laboratorio, para hacer posible la prueba. Por último se indicarán los objetos de prueba o muestras que puedan ser empleados para las mismas.

PRUEBA DE IMPULSO

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Generador de Impulso

5 Pasos de 10 Kv c/u

Fuente de C.D. rectificada

Tensión de 0 a 10 KV,
Corriente de 0 a 3 mA

Además la F.I. cuenta con:

Transformador elevador

3 KVA, 110 V/35 KV

Transformador rectificador

100 KV, 30 mA

Dispositivos de corte de los Impulsos.

Explosor de arreglo vertical, con esferas de diámetro de 20 cm.

2. EQUIPO DE MEDICION

Divisor de Tensión Resistivo-Capacitivo.

Con relación 1000: 1

Tensión de operación 100 KV

No lo hay

Osciloscopio

Estandar

Cables coaxiales (cables de retardo) de polietileno, con una impedancia de 50

No lo hay

Cámara fotográfica instantánea

No la hay

Modificaciones Míimas Necesarias para hacer la Prueba:

Se debe contar con una zona en donde se cuiden las distancias mínimas de guarda entre los equipos de prueba y medición, que para el laboratorio es de 14 cm. para 50 KV de impulso.

Se debe colocar una red de tierras adecuada, en el sitio donde se realice la prueba de impulso.

Es conveniente instalar el puesto de control en donde quede visible la zona de pruebas.

Observaciones:

El generador de impulso del laboratorio ofrece una tensión máxima de 50 Kv al 100% de eficiencia, pero esta prueba, para fines didácticos, se desarrollará a una tensión reducida (40% BIL del objeto de prueba).

PRUEBA DE POTENCIAL APLICADO

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Fuente de tensi3n regulada

Generador de Tensi3n C.A.

Transformador elevador

25 KVA, 60 Hz
120-240-480 V/50-100 KV

Resistencias No Inductivas

Acopladas al generador de tensi3n.

Cables de conexi3n de di3metro no menor 0.3 mm.

Si lo hay

2. EQUIPOS DE MEDICION

Divisor de Tensi3n Resistivo-Capacitivo con relaci3n 1000:1
Tensi3n de operaci3n de 100 KV

No lo hay

Voltmetro de esferas

Arreglo vertical con esferas de 20 cm. de di3metro.

Voltmetro

Los hay de distintas escalas.

Cron3metro

Est3ndard

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

Se sugiere que la reja frontal del cercado que contiene al generador de A.T. sea movable, es decir, que sea corrediza en toda su extensión, esto facilitará el acceso de mayor variedad de objetos de prueba.

Observaciones:

El generador nos ofrece una tensión de 50 o 100 KV, cuando el objeto a probar exceda de estas características, para fines didácticos, se le aplicará una tensión reducida a un 40% de la prueba.

PRUEBA DE POTENCIAL INDUCIDO

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Grupo motor generador "KATO" que tenga una frecuencia entre 120 y 360 Hz.

Si lo hay

Transformador de Potencial

Relación de Transformación 600/120, 240/120

Transformador de Corriente

Relación de Transformación 500/5 a 600 V

2. EQUIPOS DE MEDICION

Voltmetro

0 a 250 V

Ampermetro

0 a 5 A

Cronómetro

estándar

Frecuencímetro

No lo hay

Tacómetro

Hasta 50000 RPM

*Modificaciones Mínimas Necesarias para la Prueba:
Únicamente hacer conexiones próximas a los equipos de prueba.*

Observaciones:

Para el desarrollo de esta prueba se requiere acoplar los elementos del grupo motor generador.

PRUEBA DE TENSION DE FLAMEO Y PRUEBA DE TENSION SOSTENIDA

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Fuente de tensión regulada
Transformador elevador

El mismo equipo que el utilizado para la Prueba de Potencial Aplicado.

Aspersores

No lo hay

Refrigerador de temperatura controlable

Escala -80°C --- 175°C con termómetro exterior de varilla.

2. EQUIPOS DE MEDICION

Divisor de Tensión o Voltmetro de esferas

El mismo equipo que el utilizado para la Prueba de Potencial Aplicado.

Voltmetro

La escala depende de el lado de baja del divisor de tensión.

Cronómetro

Estándard

Medidor de precipitación

No lo hay

Higrómetro

Medidor en porciento de humedad relativa

Termómetro

-10 a 110°C .

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

Se requiere de herrajes adecuados para soportar los objetos de prueba y extensión de la barra de mayor potencial del voltmetro de esferas.

Hacer los cambios necesarios para el suministro de tensión a la cámara ambiental y modificaciones de la misma.

Observaciones:

Los equipos mencionados anteriormente son propios para ambas pruebas, en sus dos modalidades (seco y húmedo); a excepción del refrigerador que se usará sólo en la prueba de tensión sostenida en su modalidad de: en rocío.

Es deseable que los aspersores y el medidor de precipitación que se requieren para la prueba en húmedo sean los normalizados, pero sino se pueden adquirir, podrán ser dispositivos improvisados que cumplan con el fin que les marca la prueba.

Se requiere que el tipo de los aisladores por probar tengan un valor de tensión de prueba dentro de el rango de tensiones que se pueden alcanzar en el laboratorio.

PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE MATERIALES AISLANTES

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Fuente de tensión regulada	120-240-480 V/50-100 KV 25 KVA
Transformador elevador	110-120 V/30-60 KV 5 KVA
Copa de prueba	Si la hay
Electrodos	Electrodos circulares de bronce de 25 mm, 0.3 mm de espesor, capacidad de 0.250 l (para probar aceite).

2. EQUIPOS DE MEDICION

Voltmetro de esferas	El mismo que el utilizado en la Prueba de Potencial Aplicado.
Voltmetro	Si lo hay

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

Se necesitan adaptar electrodos a los distintos equipos de prueba, para sujetar cualquier tipo de muestra.

Observaciones:

Esta prueba se puede realizar en tres equipos distintos, dependiendo del material a probar se seleccionará uno de estos. El generador de tensión c.a. de menor capacidad ya está adaptado para probar aceite.

PRUEBA DE ALTA TENSION CON C.A. Y C.D. A CABLES DE ENERGIA

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Fuente de tensión regulada
Transformador elevador

Es el mismo que para la Prueba de Rigidez y Dieléctrica.

Equipo Rectificador

Transformador rectificar
Tensión de salida 100 KV
30 mA

Fuente de A.T. de C.D.
(regulable)

0 a 10 KV, 3 mA

Transformador de Corriente

En función del rango de valores con los que se va a trabajar.

2. EQUIPOS DE MEDICION

Divisor de tensión o
Voltmetro de esferas

Es el mismo que se utilizo para la Prueba de Tensión de Flameo.

Voltmetro

De escala acorde con la tensión en el lado de baja del divisor.

Ampermetro

La escala depende de el secundario del T.C.

Cronómetro

Estándard

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

El sitio de prueba debe contar con una red de tierras adecuada.

Observaciones:

El equipo rectificador se usará en la prueba de A.T. con C.D.
De acuerdo al cable a probar se usará el tanque con agua.

PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LOS AISLAMIENTOS

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE LA F.I.

1. EQUIPOS DE PRUEBA

Fuente de tensión regulada
Transformador elevador

El mismo que se utilizo en la Prueba de Rigidez Dieléctrica.

Celda de prueba (normalizada)

No la hay

Horno de circulación forzada

0 a 200 °C No lo hay

2. EQUIPOS DE MEDICION

Wattmetro

(adaptado a medidas con un factor de potencia muy pequeño, bajo alta tensión.

Ampermetro

según el valor a medir.

Voltmetro

según el valor a medir.

Puente de Schering

No lo hay

Termómetros

0 - 220 °C

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

No las requiere.

Observaciones:

La celda de prueba, el horno de circulación forzada y termómetro, sólo se utilizan en la medición del factor de potencia del aceite para transformadores.

El resto del equipo se usa en la medición del factor de potencia de los aislamientos de transformadores.

PRUEBA DE MEDICION DE LA CAPACITANCIA

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

**CARACTERISTICAS DEL EQUIPO
DE LA F.I.**

1. EQUIPO DE PRUEBA

*Fuente de tensión regulada
Transformador Elevador*

*El mismo que el utilizado
en la Prueba de Rigidez
Dieléctrica.*

2. EQUIPOS DE MEDICION

*Puente de Schering
Puente para medir
capacitancias*

Si lo hay

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

No las requiere.

Observaciones:

Esta prueba se podrá realizar si se adquiere el equipo de medición requerido.

PRUEBA VISUAL DEL EFECTO CORONA

EQUIPO MINIMO REQUERIDO

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO
DE LA F.I.

1. EQUIPO DE PRUEBA

Fuente de Tensión regulada
Transformador elevador

El mismo que el utilizado
para la Prueba de Poten-
cial Aplicado.

Cuarto obscuro

No lo hay

2. EQUIPOS DE MEDICION

Divisor de tensión o
Voltmetro de esferas

El mismo que el utilizado
para la Prueba de Poten-
cial Aplicado.

Modificaciones Mínimas Necesarias para hacer la Prueba:

Adaptar o construir una cámara obscura.

Observaciones:

Esta prueba se podrá llevar a cabo siempre y cuando se cuente con la cámara obscura.

LISTA DE EQUIPOS Y MATERIALES A PROBAR

OBJETIVOS DE PRUEBA

1. TRANSFORMADORES

a) Distribución

- 3 #, 50 KVA, 6 KV/220 Y V BIL 75 KV (1)
- 1 #, 55 KVA, 2.4 KV/240 V BIL 45 KV (1)
- 3 #, 15 KVA, 6 KV/480/240 V BIL 75 KV (1)

b) Potencia

- 1 #, 500 KVA, 6KV/120 V BIL 95 KV (3)

c) Potencial

- 25 KV/2 KV/120 V (1)
- 240V/120 V BIL 30 KV (4)
- 12KV/120 V (3)
- 600V/120 V (2)
- 300V/110 V (4)
- 440V/110 V (1)

d) Corriente

- 25 A/5 A @ 600 V (9)
- 50 A/5 A (3)
- 800 A/5 A @ 2.5 KV (3)
- 25 KA/5 A @ 8 KV (1)
- 500 A/ 5 A @ 600 V (1)

2. AISLADORES

- a) *Tipo Suspensión*
Vidrio Templado (14)
Porcelana (4)

- b) *Tipo Columna*
Porcelana (1)

- c) *Tipo Alfiler*
Porcelana (1)

- d) *Tipo Boquilla*
Porcelana (1)

- e) *Tipo Pasamuro*
Porcelana (1)

3. BOQUILLAS

De Transformadores de A.T.
Porcelana (2)

4. PORTAFUSIBLES

Porcelana (2)

APENDICE

FACTORES DE CORRECCION

TABLAS DE TENSIONES DE PRUEBA

PARA DISTINTOS EQUIPOS

FORMA DE MONTAJE PARA DISTINTOS

TIPOS DE AISLADORES

APENDICE A

FACTORES DE CORRECCION

1. Preparación de la muestra para las pruebas.

La muestra antes de someterla a las pruebas correspondientes, debe satisfacer los requisitos siguientes:

- a) La muestra debe estar montada en la posición para la cual ha sido diseñada.
- b) La muestra debe estar completamente armada, o sea con todos los elementos considerados como partes integrales de la misma.
- c) La muestra debe estar limpia y seca.

2. Condiciones normales de prueba.

Las condiciones normales a las que se deben efectuar las pruebas son las siguientes:

- a) Temperatura ambiente; 25 °C.
- b) Presión Atmosférica; 760mm de Hg.
- c) Humedad absoluta; 15.45 mm de Hg.

además para las pruebas en húmedo se debe observar lo siguiente:

- d) Temperatura del agua $25^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$
- e) Precipitación $5 \pm 10\%$ mm/min
- f) Angulo de precipitación 45°
- g) Resistividad del agua, $17800\text{ ohms} - \text{cm}^2 \pm 15\%$

3. Factores de corrección

Las características de los aislamientos externos dependen de la temperatura ambiente, la presión atmosférica y la humedad absoluta. Cuando las condiciones de prueba difieran de las mencionadas en el inciso 2, deben aplicarse los siguientes factores de corrección:

Por densidad relativa del aire.

El factor de corrección "D" se determina por medio de la siguiente formula:

$$D = \frac{0.392 b}{273 + ^{\circ}\text{C}}$$

donde: D = Factor de corrección del aire por densidad relativa

b = Presión atmosférica en mm de Hg.

$^{\circ}\text{C}$ = Temperatura en grados centígrados.

El factor obtenido de la ecuación anterior, se buscare en la siguiente tabla, a dicho valor le correspondera un factor de corrección "k" que es el que se utilizará para ajustar la tensión de la prueba.

<i>Densidad relativa del aire (d)</i>	<i>Factor de corrección (k)</i>
0.70	0.72
0.75	0.77
0.80	0.82
0.85	0.86
0.90	0.91
0.95	0.95
1.00	1.00
1.05	1.05
1.10	1.09
1.15	1.13

Tabla A.1 Factor de Corrección de la Densidad del Aire

Para tomar en cuenta la corrección por humedad atmosférica, pueden aumentarse los valores de la tensión de flameo en 1% por cada mm de Hg en defecto de la condición normal de prueba y disminuirse en 1% por cada mm de Hg en exceso.

A P E N D I C E B

Tipo de aplicación	Clase de aislamiento kV	Nivel básico de aislamiento al impulso (NIBI) y onda completa kV cresta	Onda cortada (onda cortada en la cresta)		Frente de onda (onda cortada en el frente)	
			kV cresta	Tiempo mínimo de arqueo en μ s	kV cresta	Tiempo específico de arqueo en μ s
Transformadores de distribución	1.2	30	36	1.0	--	--
	2.5	45	54	1.5	--	--
	5.0	60	69	1.5	--	--
	8.7	75	88	1.5	--	--
	15.0	95	110	1.8	--	--
	18.0	125	145	2.25	--	--
	25.0	150	175	3.0	--	--
	34.5	200	229	3.0	--	--
	48.0	250	292	3.0	--	--
63.0	350	400	3.7	--	--	
Transformadores de potencia	1.2	45	54	1.5	--	--
	2.5	60	69	1.5	--	--
	5.0	75	88	1.6	--	--
	8.7	95	110	1.8	165	--
	15.0	110	130	2.0	195	--
	18.0	125	145	2.25	--	--
	25.0	150	175	3.0	260	0.5
	34.5	200	230	3.0	345	0.5
	46.0	250	290	3.0	435	0.5
	69.0	350	403	3.0	580	0.58
	92.0	450	520	3.0	710	0.71
	115.0	550	630	3.0	825	0.825
	138.0	650	750	3.0	950	0.95
	161.0	750	860	3.0	1 075	1.075
	196.0	900	1 035	3.0	1 240	1.24
	215.0	975	1 120	3.0	--	--
	230.0	1 050	1 210	3.0	1 400	1.40
315.0	1 425	1 640	3.0	--	--	
345.0	1 550	1 760	3.0	--	--	
375.0	1 675	1 925	3.0	--	--	
400.0	1 800	2 070	3.0	--	--	

Clase de aislamiento y valores para la prueba de impulso por rayo a transformadores de distribución y de potencia sumergidos en líquido dieléctrico, de acuerdo con las normas NOM J 116 (1983), NOM J 284 (1980), NOM J 709 (1978) y ANSI / IEEE C 57.12.00 (1980).

TABLA B.1

Datos de placa			Tensión actual del circuito	Conexión preferible del transformador	Prueba normal a frecuencia industrial	Pruebas dieléctricas normales		
Clases normales de aislamiento	Relaciones de transformación normales	Tensiones primarias nominales normales				Pruebas de impulso		
						Onda cortada		Onda plana 1.2 x 50 μs
KV		Volts	Volts		KV eficaces	μs	KV crestas	
Catálogo 1: 0.6 a 15 KV, aislamiento completo, límite de tensión Y = √3 x límite de tensión Δ								
0.6	1:1	120/208Y	120	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
	2:1	240/416Y	240	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
1.2	1:1	120/208Y	120	Δ 6 Y	10	36	1.0	30
	2:1	240/416Y	240	Δ 6 Y	10	36	1.0	30
4.1	1:1	480/832Y	480	Δ 6 Y	10	36	1.0	30
	5:1	600/1040Y	600	Δ 6 Y	10	36	1.0	30
5.0	2:1	2400/4160Y	2400	Δ 6 Y	19	69	1.5	60
			4160	Δ 6 Y				
8.7	35:1	1200/7280Y	1200	Δ 6 Y	26	88	1.6	75
	40:1	4800/3120Y	4800	Δ 6 Y	26	88	1.6	75
15L	60:1	7200/12470Y	7200	Δ 6 Y	34	110	1.8	95
	70:1	8400/14560Y	8400	Δ 6 Y	34	110	1.8	95
15H	60:1	7200/12470Y	7200	Δ 6 Y	34	130	2.0	110
	70:1	8400/14560Y	8400	Δ 6 Y	34	130	2.0	110
Catálogo 2: 0.6 a 345 KV, aislamiento completo, límite de tensión Y = límite de tensión Δ								
0.6	1:1	120/120Y	120	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
	2:1	240/240Y	240	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
	4:1	480/480Y	480	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
	5:1	600/600Y	600	Δ 6 Y	4	12	1.0	10
2.5	20:1	2400/2400Y	2400	Δ 6 Y	15	34	1.25	45
	40:1	4800/4800Y	4800	Δ 6 Y	19	69	1.5	60
8.7	60:1	7200/7200Y	7200	Δ 6 Y	26	88	1.6	75
15L	100:1	12000/12000Y	12000	Δ 6 Y	34	110	1.8	95
	120:1	14400/14400Y	14400	Δ 6 Y	34	110	1.9	95
15H	100:1	12000/12000Y	12000	Δ 6 Y	34	130	2.0	110
	120:1	14400/14400Y	14400	Δ 6 Y	34	130	2.0	110
25	200:1	24000/24000Y	24000	Δ 6 Y	50	175	3.0	150
	300:1	36000/36000Y	36000	Δ 6 Y	70	230	3.0	200
46	400:1	46000/46000Y	46000	Δ 6 Y	95	290	3.0	250
Catálogo 3: 25 a 345 KV, aislamiento reducido en el extremo neutro, para conexión directamente a tierra								
25	1200/200:1	14470 para 25000Y-2	24800	solo Y-2	50	175	3.0	150
	1754/200:1	20120 para 34500Y-2	34500	solo Y-2	70	230	3.0	200
46	2400/400:1	27600 para 46000Y-2	46000	solo Y-2	95	290	3.0	250
69	3500/600:1	40250 para 69000Y-2	69000	solo Y-2	140	400	3.0	350
	92	4800/800:1	55200 para 92000Y-2	92000	solo Y-2	185	520	3.0
115	6000/1000:1	69000 para 115000Y-2	115000	solo Y-2	230	630	3.0	550
138	7000/1200:1	80500 para 138000Y-2	138000	solo Y-2	275	750	3.0	650
	161	8070/1400:1	92070 para 161000Y-2	161000	solo Y-2	325	865	3.0
196	10000/1700:1	115000 para 196000Y-2	196000	solo Y-2	395	1035	3.0	900
250	12000/2000:1	138000 para 250000Y-2	250000	solo Y-2	460	1210	3.0	1050
	287	15000/2300:1	172500 para 287000Y-2	287000	solo Y-2	575	1500	3.0
345	18000/3000:1	207000 para 345000Y-2	345000	solo Y-2	690	1785	3.0	1550

CLASES NORMALES DE AISLAMIENTO, RELACIONES DE TRANSFORMACION NORMALES, TENSIONES PRIMARIAS NOMINALES NORMALES Y PRUEBAS DIELECTRICAS NORMALES PARA TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

TABLA B.2

CLASE DE AISLAMIENTO	TENSION APLICADA A FRECUENCIA NOMINAL (KV)	NBI ONDA PLENA (KV DE CRESTA)	ONDA CORTADA	
			KV DE CRESTA	TIEMPO MÍNIMO DE ARQUEO (μ seg.)
0.6	4	10	12	--
1.2	10	30	36	1
2.5	15	45	54	1.5
5.0	19	60	69	1.5
8.7	26	75	88	1.6
15L	34	95	110	1.8
15H	34	110	130	2
18	40	125	145	2.25
25	50	150	175	3
34.5	70	200	230	3
46	95	250	290	3
69	140	350	400	3
92	185	450	520	3
115	230	550	630	3
138	275	650	750	3
161	325	750	865	3
180	360	825	950	3
196	395	900	1,035	3
215	430	975	1,170	3
230	460	1,050	1,210	3
260	520	1,175	1,350	3
287	575	1,300	1,500	3
315	670	1,425	1,640	3
345	690	1,550	1,780	3
375	750	1,675	1,925	3
400	800	1,800	2,070	3
430	850	1,925	2,220	3
460	920	2,050	2,360	3
490	980	2,175	2,500	3
520	1,040	2,300	2,650	3
545	1,090	2,425	2,800	3

TABLA B.3

CLASE DE AISLAMIENTO Y TENSION DE PRUEBAS DIELECTRICAS
PARA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

<i>Clase de aislamiento KV</i>	<i>Potencial aplicado KV</i>	<i>Clase de aislamiento KV</i>	<i>Potencial aplicado KV</i>
0.6	4	92	185
1.2	10	115	230
2.5	15	138	275
5.0	19	161	335
8.7	26	196	395
15	34	215	430
18	40	230	460
25	50	315	630
34.5	70	345	690
46	95	375	750
69	140	400	800

TABLA B.4 Valores del potencial aplicado de acuerdo a la clase de aislamiento.

Col. 1	Col. 2	Pruebas de Tensión sostenida 60 Hz		Col. 5	Pruebas de Impulso Onda Cortada			
		Col. 3	Col. 4		Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9
Clase de aislamiento	Nivel Básico de aislamiento al impulso NBAI	Un minuto en seco	Diez segundos - húmedo	Onda completa	Cresta	Tiempo mínimo de flameo	Cresta	Tiempo - mínimo de flameo
kV	kV	kV	kV	kV	kV	μ s	kV	μ s
1.2	30	10	6	30	36	1.0		
5.0	60	21	20	60	69	1.5		
8.7	75	27	24	75	88	1.6		
15	95	50	45	95	110	1.8	142	
25	150	60	50	150	175	3	195	2
34.5	200	80	75	200	230	3	255	2
46	250	105	95	250	290	3	320	2
69	350	160	140	350	400	3	450	2

Tabla B.5 Características Eléctricas de las Boquillas

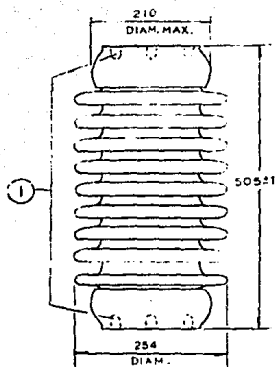
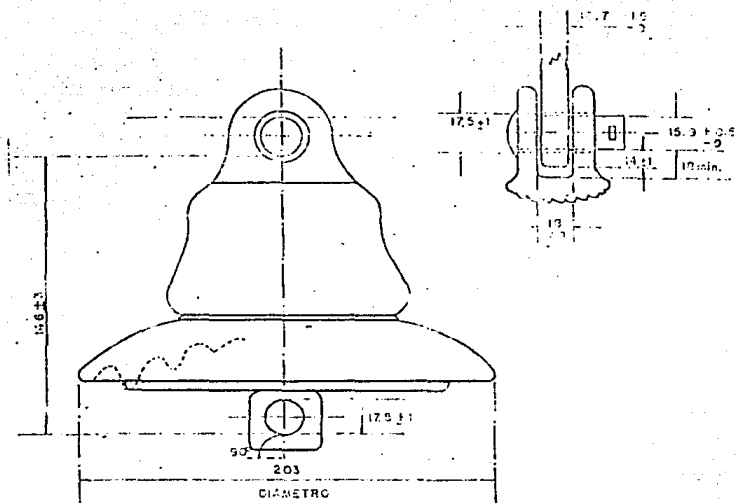


FIG. B.1 Aislador Tipo Columna
(Referencia Técnica 231)

Clasi- fica- ción	Flameo en seco a baja frecuen- cia, en kV	Flameo en húme- do a ba- ja frecuen- cia, en kV	Flameo al impul- so crítico positivo en kV	Flameo al impul- so crítico negativo en kV	Tensión sus- tenida en- seco a baja frecuencia, en kV	Tensión sus- tenida en- húmedo a ba- ja frecuen- cia, en kV	tensión al impulso, en kV
202	60	40	105	120	36	30	55
205	85	55	125	200	50	45	110
207	110	75	170	250	70	60	150
210	145	100	225	290	95	80	200
214	170	125	280	340	120	100	250
215	235	150	390	475	175	145	350
220	60	40	105	170	36	30	55
225	85	55	125	200	50	45	110
227	110	75	170	250	70	60	150
231	146	100	225	290	95	80	200
362	660	570	1210	1450	545	455	1050
368	745	660	1410	1650	610	525	1300
372	830	740	1610	1850	690	590	1470

TABLA B.6 Características Eléctricas



Acotaciones en Mm.

**FIG.B.2 Aislador de Vidrio Templado
(Tipo Suspensión (Clase 52-2))**

Plano de diseño de Características Eléctricas	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6 (S 1)	1-7 (S 2)	2-6	2-7	2-8
Plano de diseño de la función de energía en kV	0	95	80	80	80	85	100	80	85	85
Plano de diseño de la función de energía en kV	30	75	50	50	50	75	70	50	50	50
Plano de diseño de la función de energía en kV	88	105	125	125	125	140	150	125	150	150
Plano de diseño de la función de energía en kV	90	115	130	130	130	120	150	150	130	150
Tensión de operación en kV	90	90	130	130	130	130	130	130	130	130

TABLA B.7 Características Eléctricas

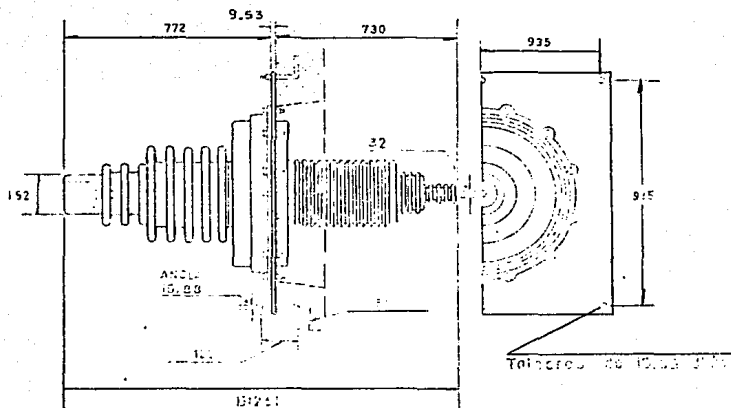


FIG. B.3 Aislador Tipo Pasamuro (Clase 58-1)

acot: m m

CARACTERÍSTICAS	CLASE DE AISLADOR				
	58 - 1	58 - 2	58 - 3	58 - 4	58 - 5
Tensión nominal, en KV	5.7	15	22	31.5	63
Frecuencia de ensayo a alta frecuencia, en KV	27	50	70	95	175
Frecuencia de ensayo a baja frecuencia, en KV	24	45	70	95	175

TABLA B.8 Características Eléctricas

Otros Tipos de Aisladores del Tipo Pasamuro

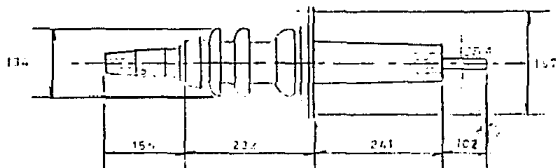


FIG. B.4 Aislador Tipo Pasamuro (Clase 58-4)

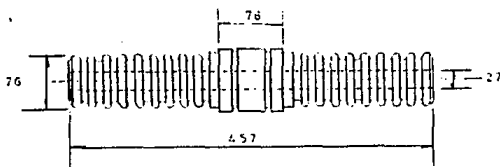


FIG. B.5 Aislador Tipo Pasamuro (Clase 58-5)

acot: mm

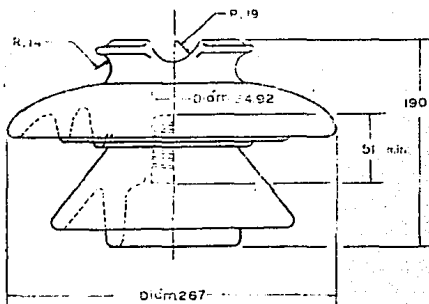


FIG. B.6 Aislador Tipo Alfiler (Clase 56-3)

acot: mm

CARACTERÍSTICAS	CLASE DE AISLADOR				
	56-1	56-2	56-3	56-4	56-5
Fuerza nominal (kV) Fuerza de prueba (kV)	60	70	110	140	175
Fuerza nominal (kV) Fuerza de prueba (kV)	60	70	110	140	175
Fuerza nominal (kV) Fuerza de prueba (kV)	150	175	200	225	250
Fuerza nominal (kV) Fuerza de prueba (kV)	175	200	225	250	275
Fuerza nominal (kV) Fuerza de prueba (kV)	175	200	225	250	275

TABLA B.9 Características Eléctricas

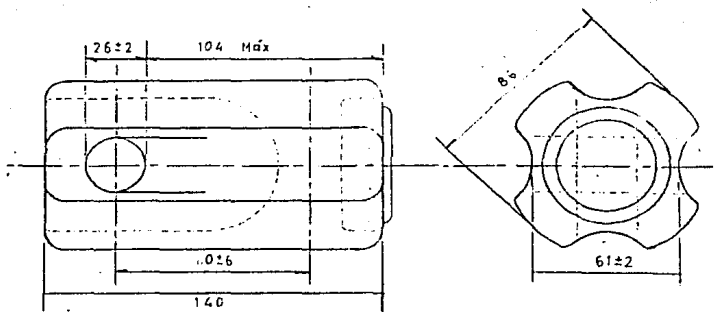


FIG. B.7 Aislador Tipo Retenida (Clase 54-3)

acot: m m

CLASES	54-1	54-2	54-3	54-4
Flujo en kV de aislamiento, en kV	10	15	20	30
Flujo en kV de aislamiento, en kV	10	15	20	30

TABLA B.10 Características Eléctricas

APENDICE C

MONTAJE DE AISLADORES PARA PRUEBAS ELECTRICAS

AISLADORES TIPO SUSPENSION

El espécimen (unidad o cadena) se debe suspender verticalmente en el extremo de un conductor conectado a tierra, de tal manera que la distancia vertical desde la parte superior del herraje del aislador a la estructura soporte, no sea menor de 90 cm.

El conductor o electrodo inferior energizado debe estar derecho y puede ser una varilla lisa o un tubo cuyo diámetro exterior no sea mayor de 1.5% de la distancia de flameo en seco del espécimen en prueba y en ningún caso, ser menor de 2.5 cm.

Este electrodo debe ir acoplado a la terminal interior del espécimen, en tal forma que la distancia entre la orilla inferior de la última campana del aislador y la superficie superior del electrodo, sea equivalente a una distancia entre 0.5 y 0.7 del diámetro de dicha campana. El conductor debe ser horizontal y estar en ángulo recto con el eje del espécimen, además tener una longitud tal que el flameo no se inicie en sus extremos. Ningún objeto que no sea parte del dispositivo de prueba debe estar más cerca del espécimen o electrodos energizados, que 1.5 veces la distancia de flameo en seco del espécimen con una distancia mínima permisible de 90 cm.

AISLADORES TIPO ALFILER Y POSTE

Forma de Montaje.

La cruzeta soporte debe ser horizontal, derecha, lisa, conectada a tierra, hecha de un tubo metálico o de fierro estructural, cuyo ancho en el sentido horizontal no sea menor de 7.5 cm., ni mayor de 15 cm. Debe tener una longitud adecuada para evitar que se inicien los arcos de sus extremos.

Alfiler de Montaje (Si se requiere).

Si para instalar un aislador es necesario un alfiler desmontable, este debe ser metálico de 2.5 cm de diámetro y de longitud adecuada, para que cuando el espécimen esté montado verticalmente, la distancia más corta de flameo en seco entre la pieza conductora superior y las partes metálicas conectadas a la cruzeta, sea 25% mayor que la misma distancia al alfiler. El alfiler debe ser coaxial al espécimen. Los aisladores con herraje integral para el montaje directo sobre la cruzeta de prueba, se deben montar sobre ésta en forma vertical.

El conductor superior energizado debe ser una varilla redonda horizontal, o un tubo colocado en ángulo recto a la cruzeta soporte y de un diámetro no menor de 1.25 cm. Debe tener una longitud tal que se evite que los arcos se produzcan en sus extremos.

El conductor debe fijarse correctamente en la parte superior del espécimen. Si el conductor se fija por medio de alambres de amarre, se deben usar por lo menos dos vueltas de un alambre de cuya sección no sea menor de 8.37 mm^2 y cuyas extremidades queden perfectamente enrolladas sobre el conductor, a cada lado del aislador.

Ningún otro objeto, excepto las partes mismas del conjunto para la prueba, debe estar más cerca del conductor energizado del espécimen, que 1.5 veces la distancia de arco en seco del espécimen, con una distancia mínima permisible de 90 cm.

AISLADORES DE SOPORTE (Tipo Alfiler y Columna).

Forma de Montaje

El espécimen se debe montar verticalmente hacia arriba, sobre una canal de fierro de 25 cm, colocada horizontalmente, conectada a tierra y con los patines hacia abajo. De acuerdo con las características del aislador, si es necesario, se puede usar una base adicional para sujetarlo.

La canal de fierro debe tener una longitud suficiente para evitar que se produzcan arcos en sus extremos y la distancia mínima de su parte superior al suelo, debe ser de 90 cm.

El electrodo o conductor superior energizado, debe ser una varilla redonda o tubo horizontalmente colocado en ángulo recto a la canal soporte y su diámetro debe ser aproximadamente igual al 5% de la distancia de flameo en seco del espécimen dentro de los límites de 11.5 y 1.3 cm. La longitud del conductor debe ser tal, que no se produzcan arcos en sus extremos. Se debe montar en contacto directo con la parte superior integral del espécimen (capucha) y con un eje horizontal en el mismo plano del eje vertical del espécimen.

Ningún otro objeto que las partes mismas del conjunto para pruebas, debe estar más cerca del espécimen o de los electrodos energizados, que 1.5 veces la distancia de flameo en seco del espécimen, con una distancia mínima permisible de 90 cm.

AISLADORES TIPO RETENIDA

Forma de Montaje

El espécimen se debe montar en una posición tal, que su eje mayor forme un ángulo de 45° con la posición vertical, debiendo usarse un conductor metálico flexible con un diámetro aproximado al 50% del diámetro del agujero.

Para la prueba de flameo en húmedo, el eje principal debe formar un ángulo recto con la dirección del agua y el eje del agujero o ranura superior para el conductor, debe estar horizontal.

Los conductores se deben fijar por medio de grapas separadas del aislador, a una distancia no menor que la longitud del propio aislador. Se debe aplicar una tensión mecánica adecuada, que evite que este arreglo se cuelgue. El conductor inferior debe quedar conectado a tierra.

Ningún objeto distinto de las partes del conjunto de prueba, debe quedar más cerca del espécimen o de los electrodos energizados que 1.5 veces la distancia de flameo en seco del espécimen y a una distancia mínima a permisible de 30 cm.

AISLADORES TIPO CARRETE.

Forma de Montaje.

El espécimen se debe montar horizontal o verticalmente sobre una varilla metálica de diámetro apropiado que lo atraviese axialmente. Este conjunto se soporta por dos soleras metálicas lisas (de aprox. 38 mm de ancho y espesor apropiado), que quedan en un extremo en contacto con los extremos del espécimen y la distancia entre ellas, en ningún punto sea menor que la altura del espécimen. El otro extremo de las soleras se sujeta a un soporte y se conecta a tierra.

El electrodo energizado debe consistir en una vuelta de un conductor desnudo cuya sección no sea menor de 8.37 mm^2 colocado alrededor de la ranura del aislador y quedar por sí mismo. Este conductor debe extenderse del espécimen en forma perpendicular a él y en dirección opuesta a las soleras soporte.

BIBLIOGRAFIA

- NOM-J-116
1984 *Transformadores de Distribución.*
- NOM-J-120
1970 *Método de Prueba para la Determinación de la Rigidez Dieléctrica de Materiales Eléctricos Aislados.*
- NOM-J-123
1982 *Aceite Aislante no Inhibido para Transformador.*
- NOM-J-169
1972 *Clasificación de Materiales Aislantes.*
- NOM-J-202
1977 *Determinación de las Características de Aisladores de Porcelana para Energía Eléctrica.*
- NOM-J-234
1984 *Boquillas de Porcelana de Baja y Alta Tensión para Transformadores de Distribución.*
- NOM-J-245
1977 *Aisladores de Porcelana Tipo Suspensión.*
- NOM-J-246
1977 *Aisladores de Porcelana Tipo Alfiler para Alta Tensión.*
- NOM-J-248
1977 *Aisladores de Porcelana Tipo Poste.*
- NOM-J-250
1977 *Aisladores de Porcelana Tipo Columna.*

NOM = NORMA OFICIAL MEXICANA.

NOM-J-251 1977	Aisladores de Porcelana Tipo Retenida.
NOM-J-252 1977	Aisladores de Porcelana Tipo Pasamuro.
NOM-J-262 1977	Aisladores de Porcelana Tipo Carrete.
NOM-J-263 1977	Métodos de Prueba para Transformadores de Corriente.
NOM-J-271 1980	Técnicas de Prueba en Alta Tensión.
NOM-J-282 1981	Medición de Tensión por medio del Voltmetro de Esferas.
NOM-J-284 1981	Transformadores de Potencial.
NOM-J-288 1981	Métodos de Prueba para Transformadores de Potencial.
NOM-J-293 1985	Conductores Eléctricos Aislados.
NOM-J-309 1981	Conductores Aislados, Método de Prueba de Tensión de Impulso a la Ruptura.
NOM-J-334 1978	Aisladores de Vidrio Templado Tipo Suspensión.
NOM-J-335 1978	Medición de Descargas Parciales.
NOM-J-408 1980	Transformadores de Potencial Capacitivo.

Manual Técnico de Cables de Energía
Condumex
Ed. Mc Graw Hill 1985

Revista Selmec
Año 8. Número 3, Noviembre, Diciembre 1971

Redes Eléctricas, Vol. I y II
Jacinto Viqueira Landa
Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. 1973

Técnicas de las Altas Tensiones, Volumen I y II
G. Enriquez Harper
Ed. Limusa 1978

An Introduction to High-Voltage Experimental Technique
Dieter Kind
Braunschweig, Vieweg 1978

Pruebas de Equipo Eléctrico
Victor Pérez Amador
Ed. Limusa 1981

Experimentos con Equipo Eléctrico
Theodore Wildt y Michael J. de Vito
Ed. Limusa 1975

Medición Eléctrica Métodos e Instrumentos, Volúmenes I y II,
Tomo I
A. Bandini Buli
Ediciones Técnicas Rede, 1970

Tratado de Electricidad
Ch. L. Dawes
Ed. Gustavo Gilli 1962

Proyecto de Distribución para el Nuevo Laboratorio de Ingeniería Eléctrica.
López Mendoza Andrés
Tesis 1980

High - Voltage Engineering
E. kuffel, M. Abdullah
Ed. Pergamon Press 1970.

Diseño de Subestaciones Eléctricas
Raúl Martín
Ed. Mc. Graw Hill 1987.

Los Laboratorios de Extra Alta Tensión y Alta Potencia de la CFE
en Irapuato.
Boletín IIE
Febrero de 1980.

El Laboratorio de la Comisión Federal de Electricidad
Boletín IIE
Octubre de 1977.

Técnicas Modernas en Laboratorios de Alta Tensión
El Laboratorio de Alta Tensión en el Diseño de Aislamiento de
Líneas de Transmisión.
Algunas Instalaciones de Pruebas de Alta Tensión en México.
Boletín IIE
Diciembre de 1978.