

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 1
EQUIPO DE LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	

1.1 EQUIPO DE ALTO VOLTAJE

El equipo de Alto Voltaje sirve fundamentalmente para la generación y medida de voltajes alternos, continuos y de choque.

Los elementos para generación están contruidos de tal manera que puedan acoplarse para formar cada uno de los circuitos de experimentación.

Normalmente una instalación grande de 500 a 1.000 KVA con un millón de voltios, por ejemplo, necesita una comente de 0.5 a 1 Amp., proporcionalmente para una de 100 KV tendremos de 50 a 100 mA. En este caso particular se tiene para 60 c/s una cargabilidad de 50 mA. En 15 minutos. (KO 15) lo cual proporciona una potencia monofásica de 5 KVA durante el mismo tiempo, esto significa que el transformador podrá ser cargado con una capacidad de prueba de hasta 1.600 pF (1.66 M-ohm), lo cual no se presenta frecuentemente.

Para pruebas con voltaje continuo, utilizando rectificadores y condensadores de aplanamiento puede obtenerse hasta 130 KV y 260 KV, en cascada de una o dos etapas respectivamente. El porcentaje de ondulación es de 10% utilizando condensadores de 6.000 pF, con una corriente máxima de 5 MA (debido a la limitación de los rectificadores).

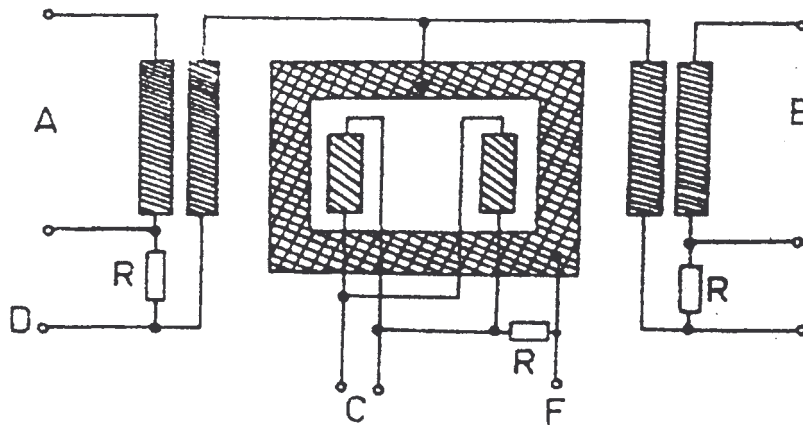
Para la generación de altos voltajes de impulso se utiliza como alimentación la fuente de continua de 130 KV, y se usan los condensadores de 6.000 pF como capacidad de choque. Con esto se puede tener una energía de 60 W-s para una sola etapa y de 120 W-s para dos etapas, en conexión según Marx.

La capacidad de carga con el objeto de tener una onda normalizada es aproximadamente la quinta parte de la de choque, o sea 1.200 pF.

Utilizando resistencias adecuadas para la descarga y amortiguamiento se puede obtener las ondas de 1/50 y 1/100 micro-segundos.

1.2 ELEMENTOS DE GENERACION DE ALTOS VOLTAJES

Transformador TZG de prueba de 100 KV, con aislamiento seco de resma fundida y que puede ser conectada en forma simétrica 2 x 50. La entrada primaria en baja tensión es variable y ajustable desde el tablero de mando a fin de conseguir en el secundario un voltaje de 0-50-100 KV. Tiene las siguientes especificaciones y conexiones.



TERMINAL ENTRADA	TERMINAL TIERRA	TERMINAL SALIDA	VOLTAJE KV	SALIDA KVA	VOLTAJE CORT/CIRC.
A	D	F-D	50	2.5	3.7
		E-D	100	5	7.6
		F-E	50	2.5	3.7
B	E	D-E	100	5	7.6
		F-E	50	2.5	2.7
C	F	E-F	50	2.5	2.7
		D-E	100	5	5.5

ELEMENTOS DISPONIBLES

NUMERO	SIMBOLO	DENOMINACION	CARACTERISTICAS
4	GS	Rectificadores de Selenio	140KV-5mA.- 500 Kohm
2	CS	Condensadores de choque	140KV-6000 pF.
2	CB	Condensadores de carga y de medida para tensiones de impulso.	140KV-1200 pF.
1	CM	Condensador de Medida	100KV-100 pF.
2	RD	Resistencias de amortiguamiento	140KV-4160 Ohm-60W.
2	RE	Resistencias de descarga	140KV-9500 Ohm-60W.
1	RL	Resistencia de carga	140KV-50 K Ohm-125W.
1	RM	Resistencia de medida	140KV-140 M Ohm-1mA.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 3
EQUIPO DE LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	

RECTIFICADORES DE SELENIO SUMERGIDOS EN ACEITE

Tienen una resistencia de protección de 500 Kohm., 8W. Esta resistencia si bien aumenta la caída de voltaje protege al rectificador y mantiene la corriente máxima de cortocircuito en 25 mA, durante 5 seg. Sirven para formar al circuito rectificador en la producción de altos voltajes continuos.

CONDENSADOR DE 6000 pF

Sirven además de capacitancias de choque para el aplanamiento de la onda rectificada.

Tienen una pequeña inductancia de aproximadamente 1,5 micro-Henrios, y como todos los otros capacitores del equipo tienen aislamiento de papel impregnado en aceite.

CONDENSADORES DE 1200 pF

Son utilizados como capacitancias de carga o como divisores de voltaje. Tienen una salida especial para conectar una capacitancia secundaria.

Resistencias de 416 Ohm, 9500 Ohm, 50 K-Ohm, 10 M-Ohm están aisladas con aire y tiene una muy pequeña inductancia pueden ser utilizadas como resistencias de campo o como limitadoras de corriente en casos especiales.

Explosores de ignición, utilizados en el circuito de choque para la generación de altos voltajes e impulsos y en la formación de cascadas con el mismo propósito. Se acoplan a motores controlados desde el panel de mando para la variación de la distancia entre las esferas.

NOTA:

Se recomienda leer detenidamente las normas de seguridad.

1.3 MEDICION DE ALTOS VOLTAJES

a. MEDICION DE ALTOS VOLTAJES ALTERNOS

- Condensador de 100 pF. (CM), el cual se conecta mediante un cable coaxial al instrumento SEM 612 (Voltímetro de cresta) que se encuentra en el panel de mando, dentro del cual está la capacitancia secundaria del divisor de voltaje. Mide $\pm V / \sqrt{2}$; V_{ef} con escalas de 20 - 50 - 100 KV.
- Voltímetro YEW, Clase 2.5, aislado, para medición de voltajes eficaces 0-5 KV.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 4
EQUIPO DE LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	

- Voltímetro electrostático YEW, con aislamiento propio, para valores eficaces del voltaje desde 0-50 KV.
- Esferas espirométricas (MF), de 10 y 5 cm. de diámetro, con variación automática y a control remoto de la distancia, permite obtener el voltaje de cresta mediante la distancia, curvas y factores de corrección.
- Circuito de Chub-Fortescue para una corriente de medida máxima de 5 mA.

b. MEDICION DE VOLTAJES CONTINUOS

- Resistencia de 140 M-Ohm y miliamperímetros de bobina móvil, graduado en KV, conectado en serie.

c. MEDICION DE VOLTAJES DE IMPULSO

- Condensador de 1.200 pF. (CB), y el instrumento StM 613, o utilizando Osciloscopios de alta velocidad con memoria, con las correspondientes protecciones y cables coaxiales y capacitancias secundarias para medición del orden de 75, 150 y 300 KV.

.1. ELEMENTOS DE PRUEBA

- Recipiente de presión con acoplamiento para electrodos, en el que se puede conseguir una sobrepresión de 5 atmósferas.
- Varios electrodos como puntas, placas con perfil Rogowsky, electrodos para la prueba de aceite aislante según VDE, BS y ASTM.
- Electrodos según Norma A.S.T.M. para estudio de las propiedades dieléctricas de: Láminas, sólidas, aceites aislantes y láminas embebidas en dieléctricos.

.2. EQUIPO COMPLEMENTARIO

- Cabezas, bases, soportes y uniones para el armado del circuito de prueba.
- Cables coaxiales.
- Elementos complementarios de protección y control.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 5
EQUIPO DE LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	

2. EQUIPOS PARA EXPERIMENTOS ESPECIFICOS

Además del equipo anteriormente descrito, existen elementos para el desarrollo de pruebas específicas, las cuales pueden necesitarse de alimentación con altos voltajes, tanto alternos como continuos. Estos experimentos pueden realizarse en el laboratorio en las diferentes instalaciones que existen dentro o fuera de la Jaula de Faraday.

- 2.1 Cilindro metálico de 60 cm. de diámetro y 240 cm. de longitud para estudio de efecto corona.
 - Fuentes de Corona.
 - Detector de corona interna y externa.
- 2.2 Puente potenciómetro para observación de líneas equipotenciales en la determinación experimental de campos eléctricos.
- 2.3 Puente de Shering de corriente alterna y condensador patrón a presión para la medida de las pérdidas y constantes dieléctricas de materiales aislantes.
- 2.4 Cuba electrolítica para la determinación del campo eléctrico tridimensional para puesta a tierra con diferentes electrodos.
- 2.5 Medidores de resistencia de tierra con implementos para instalación.
- 2.6 Medidores de resistencia de aislamiento e implementos para instalación.
Megger de 500 V - 2000 V - 5000 V - 10.000 V.
- 2.7 Equipo para pruebas dieléctricas en aceites aislantes según normas A.S.T.M., VDE y CEI.
- 2.8 Cámara de niebla para pruebas en medios contaminados.
- 2.9 Mufla para estudios de envejecimiento en materiales aislantes orgánicos y poliméricos.
- 2.10 Fuente de Alto Voltaje D.C. variable: 0 - 10.000 V.
- 2.11 Grafizador X, Y₁, Y₂.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 6
EQUIPO DE LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	

2.12 Equipo adicional:

- Multímetros
- Osciloscopios
- Fuentes de bajo voltaje variable AC y DC.

3. NORMAS PARA PRESENTACION DE INFORMES

- 3.1 Todo informe debe ser presentado en papel bond formato A4 a tinta (a mano o a máquina).
- 3.2 Se debe adjuntar a todo informe la hoja de datos donde consta el registro de realización de la práctica.
- 3.3 Todo gráfico se lo hará en papel milimetrado y a tinta.
- 3.4 No es necesario adjuntar al informe las hojas guías de la práctica respectiva.
- 3.5 El informe debe ser entregado en la fecha señalada. Por cada día de retraso se descuenta un punto, con un límite de 4 días de retraso.
- 3.6 Se debe presentar un informe por grupo.
- 3.7 La presentación, el contenido y la bibliografía son los aspectos de mayor peso en un informe.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 1
NORMAS DE SEGURIDAD	

NORMAS DE SEGURIDAD

1 GENERALIDADES

- 1.1 Toda persona que trabaja con las instalaciones de alto voltaje está obligada a observar las normas de seguridad.

La falta de atención a estas regulaciones, hace peligrar la propia vida y la de los demás.

- 1.2. Todo aquel que tenga que entrar en la instalación de Alto Voltaje debe asegurarse visualmente que todos los conductores e implementos que podrían estar con voltaje se hallen conectados a tierra y que los interruptores en las líneas de alimentación se hallen abiertos.
- 1.3. La entrada y permanencia de personas extrañas al Laboratorio sólo está permitida en compañía de personas autorizadas.
- 1.4 Está terminantemente prohibido firmar durante las prácticas.

2. BLINDAJE O CERRAMIENTO

- 2.1 Toda instalación de Alto Voltaje debe estar blindada o cerrada por una malla metálica de protección conectada a tierra.

- 2.2 Las distancias mínimas entre la mala y las piezas sometidas a alto voltaje debe ser:

Voltaje alterno: 50 cm. por cada 100 KV
Voltaje de choque: 20 cm. por cada 100 KV
Separación mínima: 50 cm.

- 2.3 La introducción de objetos conductores a través de la malla es prohibida en todos los casos (excepto cables de medida blindados, previa comprobación que el blindaje se halle conectado a tierra).
- 2.4 Las puertas de acceso a la instalación de prueba están previstas de un interruptor de seguridad que bloquea la alimentación al transformador elevador.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 2
NORMAS DE SEGURIDAD	

2.5 Las luces de señal indican:

ROJO: Alto Voltaje conectado: **PELIGRO**
VERDE: Alto Voltaje desconectado

2.6 Está prohibida la permanencia dentro de la jaula cuando está conectada el Alto Voltaje.

3. PUESTA A TIERRA

3.1 Por principio se debe primero poner a tierra la instalación y luego cortocircuitar los elementos, (líneas, condensadores) antes de mover los equipos, y el proceso inverso antes de hacer funcionar la instalación.

3.2 Para entrar en la instalación debe haberse cumplido el punto 3.1 en los transformadores y condensadores de alta tensión.

3.3. La puesta a tierra debe ser hecha solamente después de haber desconectado la fuente de alimentación.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1 Si varias personas participan en un mismo experimento solamente una de ellas puede hacer las maniobras de conexión y desconexión.

4.2 Antes de iniciar el trabajo se debe revisar el circuito especialmente las resistencias de protección y los divisores de tensión, así como la conexión correcta de los instrumentos de medida.

4.3 Para experimentos con aceite y otros materiales fácilmente inflamables, se debe tomar especiales medidas de seguridad. Todos los participantes deben conocer el manejo de extinguidores de gas carbónico.

4.4 Mientras la prueba está bajo voltaje no debe alejarse el que está haciendo el experimento. La única excepción es en pruebas de duración una vez tomadas las precauciones necesarias.

4.5 Todo aquel que trabaje en el Laboratorio está obligado a tener en orden las máquinas, instrumentos de medida y equipos y a comunicar inmediatamente cualquier falla o desperfecto que en ellos encuentre.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE	HOJA 3
NORMAS DE SEGURIDAD	

5. COMPORTAMIENTO EN CASO DE ACCIDENTE

- 5.1 Las personas que participan en un experimento con alto voltaje deben conocer las normas básicas de primeros auxilios para accidentes eléctricos.
- 5.2 Teléfonos a los que se puede llamar en caso de accidente:

Ext. 691: Departamento Médico
131 Cruz Roja
102 Cuerpo de Bomberos
911 Emergencias

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 02	HOJA 1
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES	

1 OBJETIVO:

Familiarizarse con los primeros fundamentos de la técnica de Alto Voltaje y los equipos usados en el Laboratorio. (Atención a la Normas de Seguridad). Conocer y hacer un estudio comparativo de los diferentes métodos de medida de Altos Voltajes alternos. Examinar esquemas de conexión de rectificación y multiplicación del voltaje y métodos para la medida de Altos Voltajes Continuos.

2 INFORMACIÓN

Para la generación de Altos Voltajes, independientemente de su tipo (alterna, continua o de choque), se empieza en general por el transformador elevador. Por esta razón la medición de altos voltajes alternos, es de importancia básica para casi todos los ensayos de A.V. de cualquier forma.

El método de medición más sencillo pero también menos exacto, consiste en determinar el valor del AV. alterno mediante la lectura del bajo voltaje en el primario del transformador.

Como en los fenómenos de descarga es el valor máximo de cresta la base para comparaciones o coordinación de aislamiento, se requieren mediciones exactas cuando la forma de la onda se aleja de la sinusoidal. En este caso el valor eficaz del voltaje será:

$$V_{ef} \neq \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}}$$

El valor de cresta de los altos voltajes alternos se puede medir mediante esferas espinterométricas (llamadas también explosores de esferas). La perforación del aire se produce por “ionización por impacto de las moléculas de gas cuando la intensidad de campo supera un valor crítico. Esto se produce al llegar el voltaje al valor del “Voltaje estático de perforación” en un tiempo de pocos microsegundos. Por esta razón se produce siempre en la cresta de la onda de voltaje.

Los voltajes de descarga en las disposiciones espinterométricas están indicadas en forma de tablas en función del diámetro de las esferas y para distintas distancias (ver apéndice).

Estos valores se refieren a condiciones normalizadas de presión y temperatura (b760 torr y $t = 20^{\circ}\text{C}$). El voltaje de descarga es proporcional a la densidad relativa del aire dentro de ciertos límites, se obtiene el verdadero voltaje de descarga, multiplicando el valor de las tablas por un factor que depende de, la densidad relativa del aire.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 02	HOJA 2
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES	

Para la medida del valor eficaz se puede conectar directamente un voltímetro electrostático o usar un divisor de voltaje con un instrumento de bajo voltaje calibrado para el caso.

Los altos voltajes continuos se emplean para ensayos sobre equipos Alto Voltaje con gran capacidad. (Condensadores, cables), para investigaciones en el campo de la física (aceleradores) y encuentra aplicaciones técnicas en varios dispositivos electrostáticos separadores, instalaciones químicas, pinturas, etc.

La generación de A.V. continuo se consigue en general, mediante rectificación de voltajes alternos, seguida a veces de “multiplicación” del voltaje, raramente se la obtiene de máquinas electrostáticas o generadores de cinta.

En sistemas de electrodos que forman campos fuertemente no-homogéneos siendo dieléctrico el aire o un gas, se presentan predescargas previas a la perforación completa; en el caso de aplicación de voltaje continuo, la polaridad de los electrodos tiene un efecto importante en el voltaje de descarga, efecto que solo puede ser explicado por la polaridad de los portadores de carga (iones) y su predominio en el gas dieléctrico.

ATENCIÓN:

Se requiere un máximo de cuidado en los ensayos con voltaje continuo, pues los condensadores pueden conservar su carga por largo tiempo, aún después de la desconexión.

Seguir rigurosamente las normas de puesta a tierra.

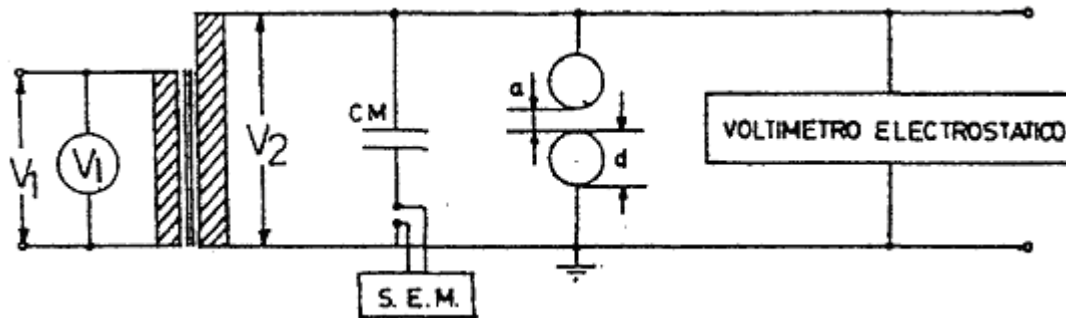
También los condensadores no utilizados pueden cargarse con voltajes peligrosos.

3 EQUIPO:

Transformador de elevación TZG-050- 1 00KV.2. 5-5KVA
Divisores de voltajes resistivos y capacitivos
Elementos rectificadores
Aparatos de medida
Osciloscopio de rayos catódicos
Esferas espinterométricas
Equipo de conexión.

4 PROCEDIMIENTO:

4.1 Comparación de los distintos métodos de medida de A.V. alternos. El transformador de 100KV se le conecta con uno de los terminales puestos a tierra, en el lado de alta se conecta un condensador de medida CM y las esferas de medida, como se muestra en la figura.

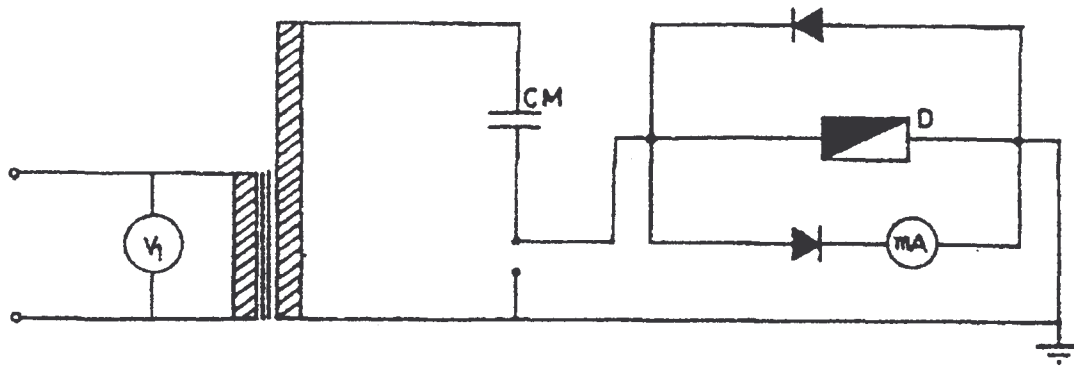


Para distancias $a = 10, 20, 30, 40, 50, 60$ mm, se debe medir el voltaje de descarga utilizando los métodos siguientes:

$V_{1, rt}$	mediante medida	Lectura del instrumento de bobina móvil en el pupitre de mando
V_{2ef}	mediante medida	SEM, divisor capacitivo
$\frac{\hat{V}_2}{\sqrt{2}}$	mediante medida	SEM, divisor capacitivo con rectificador y condensador de carga.
V_{2ef}	mediante medida	Voltímetro electrostático (tiene dos escalas, de 25 y 50 KV. Tener cuidado de no sobrepasar su capacidad).
$\frac{\hat{V}_2}{\sqrt{2}}$	De las tablas	Tómese en cuenta la densidad relativa del aire. Ver apéndice.

El valor del voltaje de descarga será el promedio de por lo menos tres lecturas para cada distancia, si uno de los tres valores obtenidos es notablemente diferente de los demás, tómese una nueva lectura y desprecie ésta (Ocupe el lugar marcado con (*) en la tabla de datos 1.4. 1.)

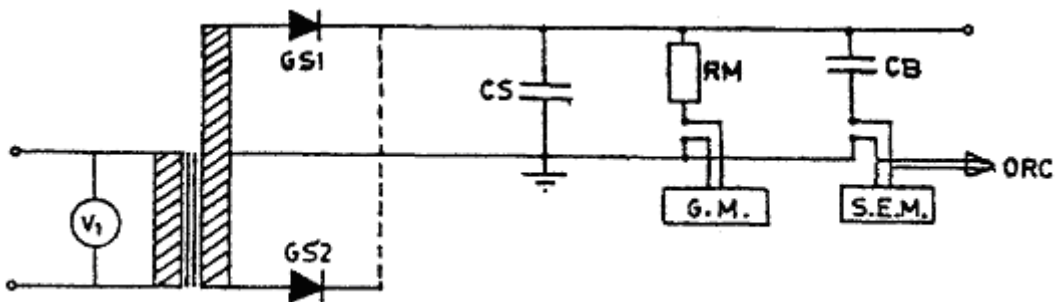
4.2 Tomando como referencia los valores de V_1 (Voltaje en el primario del transformador), realice mediciones de corriente (i_m), en 1 miliamperímetro conectado en el circuito de Chubb Fortercue. Complete tabla 4.1, mediante el cálculo de $\hat{V} / \sqrt{2}$ a partir de éste método.



4.3 Generación de A.V. continuo y medida de la ondulación.

Se conecta a tierra el centro del enrollamiento secundario del transformador, de modo que se tenga en forma simétrica 2 x 50KV. Se construye un sistema de rectificación primero de media onda y luego de onda completa. Para aplanamiento un condensador CS de 6.000 pF.

La medida del voltaje alterno superpuesto se lo hace mediante un condensador CB de 1 .200 pF y el instrumento SEM. Para ambos tipos de rectificación hay que medir la ondulación y el voltaje V del instrumento GM obtenido mediante un divisor de voltaje resistivo RM., como se muestra en la figura.



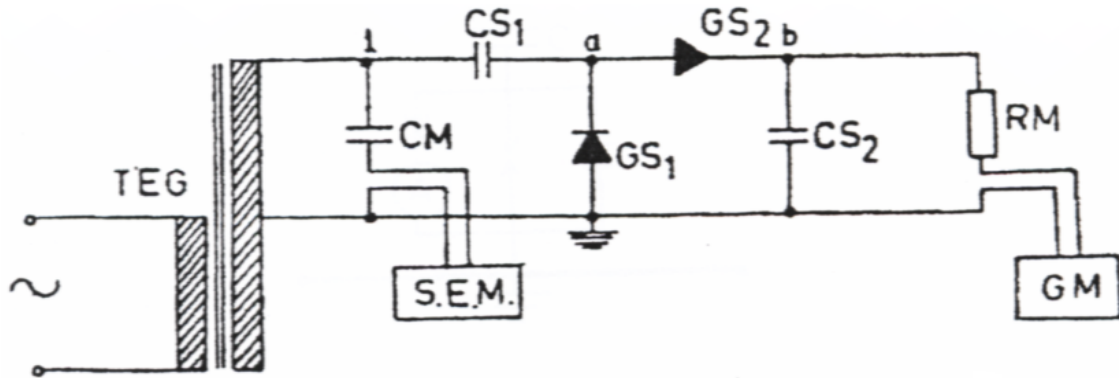
Tome por lo menos cinco lecturas hasta llegar a 50 KV en el instrumento GM.

Cambie el condensador de 6.000 pF por otro de 1.200 pF y repita lo anterior, pero solo para un tipo de rectificación.

NOTA:

Tome en cuenta que el instrumento SEM está calibrado para un condensador primario de 100 pF determine el factor a usarse para el de 1.200 pF.

4.4 Fundamentos de una cascada de Greinacher

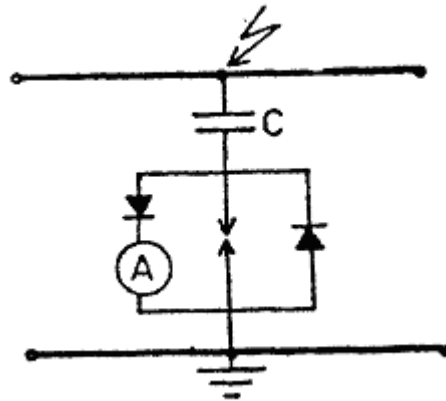


Tome lecturas del voltaje alterno de alimentación y tensiones en los puntos de conexión de los componentes del circuito, los suficientes como para determinar el desarrollo de los voltajes.

5 INFORME

- 5.1 Según norma, establecer las características del alto voltaje alterno generado para que sea considerado como ALTO VOLTAJE ALTERNO DE PRUEBA. Aplicaciones.
- 5.2 Grafice (en forma superpuesta) el voltaje en función de la distancia entre esferas, de los datos de la tabla 4.1. Haga un comentario de los resultados. Calcule el error relativo tomando como referencia el método que crea el más preciso. Grafice el error Vs. Voltaje. Comente estos resultados.
- 5.3 Utilizando los métodos de regresión, determinar la(s) ecuación(es) de la curva tomada como referencia en el punto 5.2. Compare con los valores medidos, comente.
- 5.4 En el esquema de la figura, se muestra el método de medida según Chubb-Fortescue, en donde C es una capacidad conocida y A un miliamperímetro de bobina móvil. Demostrar que el valor máximo del voltaje es proporcional a la comente medida por el amperímetro.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 02	HOJA 6
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES	

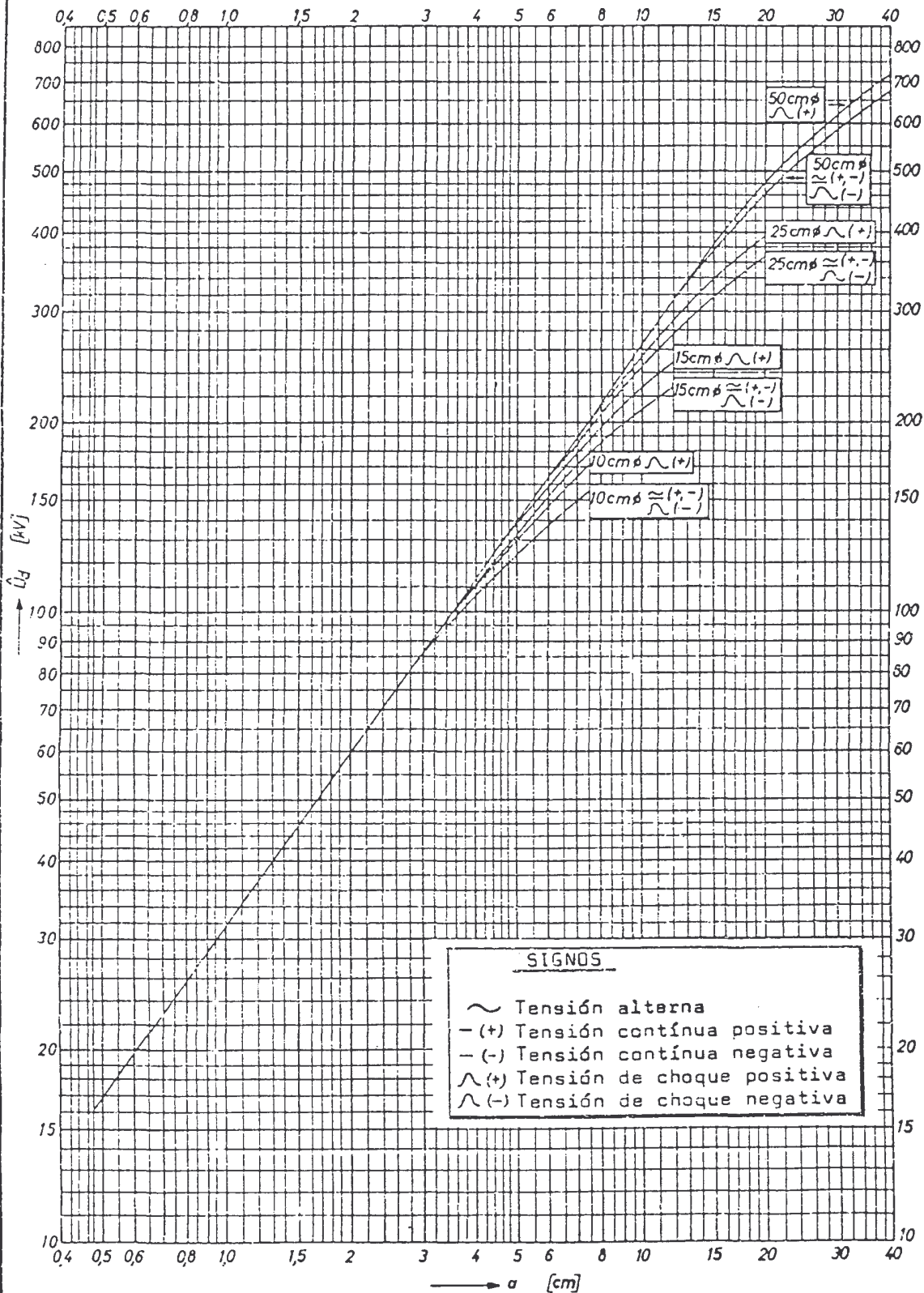


- 5.5 Según Norma, establecer las características del alto voltaje continuo generado para que sea considerado ALTO VOLTAJE CONTINUO DE PRUEBA. Aplicaciones.
- 5.6 Determinar el nuevo factor de división para el SEM, cuando se usa $C_M = 1200$ pF en vez de 100 pF.
- 5.7 Con los datos obtenidos en 4.3. Calcule el Rizado y el factor de rizado para cada caso. Compare estos resultados con los obtenidos mediante análisis y cálculo matemático.
- 5.8 Explicar el funcionamiento del circuito de 4.4. Trazar un diagrama común al curso de los potenciales en (a) y (b) con referencia al valor de cresta del voltaje del transformador. Suponga que las características de los elementos que componen la instalación son ideales (desde $t = 0$ hasta aprox. $t - 50$ ms). Compare los valores obtenidos.
- 5.9 Conclusiones Personales.

6 REFERENCIAS:

- A. Roth "Técnica de la Alta Tensión" Edit. Labor Barcelona, 1966.
- E. Kuffel "High Voltage Engineering" Pergamon Press, 1966.
- A Mena "Técnica de la Alta Tensión", Curso 1973 - 1974.
- CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), Norma CEI - Pub. 60.

Tensión disruptiva (o descarga) \hat{U}_d para esferas esferométricas, estando la una puesta a tierra; para diámetros de las esferas de 10, 15, 25 y 50 cm



Tensión disruptiva \hat{U}_d (valor de cresta en KV) para esferas empin- terométricas, una de ellas puesta a tierra, para 20 °C y 760 Torr												
Para cada diámetro dado, la columna izquierda ($\sim, -, \wedge$) es váli- da para tensiones: alterna, continúa positiva y negativa, y de chq que negativa. La de la derecha para tensión de choque positiva.												
Distancia dis- ruptiva cm	Diámetro de las esferas d en cm.											
	$\approx (+, -)$ ²		$\approx (+, -)$ ⁵		$\approx (+, -)$ ¹⁰		$\approx (+, -)$ ¹⁵		$\approx (+, -)$ ²⁵		$\approx (+, -)$ ⁵⁰	
	$\sim (-)$	$\wedge (+)$	$\sim (-)$	$\wedge (+)$	$\sim (-)$	$\wedge (+)$	$\sim (-)$	$\wedge (+)$	$\sim (-)$	$\wedge (+)$	$\sim (-)$	$\wedge (+)$
0,05	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,10	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,15	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,20	8,0	-	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	9,6	-	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,30	11,2	11,2	11,2	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	14,4	14,4	14,3	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-
0,50	17,4	17,4	17,4	17,4	16,8	16,8	16,8	16,8	-	-	-	-
0,60	20,4	20,4	20,4	20,4	19,9	19,9	19,9	19,9	-	-	-	-
0,70	23,2	23,2	23,4	23,4	23,0	23,0	23,0	23,0	-	-	-	-
0,80	25,8	25,8	26,3	26,3	26,0	26,0	26,0	26,0	-	-	-	-
0,90	28,3	28,3	29,2	29,2	28,9	28,9	28,9	28,9	-	-	-	-
1,0	30,7	30,7	32,0	32,0	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	-	-
1,2	(35,1)	(35,1)	37,6	37,8	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	-	-
1,4	(38,5)	(38,5)	42,9	43,3	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	42,9	-	-
1,5	(40,0)	(40,0)	45,5	46,2	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	-	-
1,6			48,1	49,0	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	-	-
1,8			53,0	54,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	-	-
2,0			57,5	59,5	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0
2,2			61,5	64,0	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5	64,5
2,4			65,5	69,0	69,5	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
2,6			(69,0)	(73,0)	74,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5
2,8			(72,5)	(77,0)	79,5	80,5	80,5	80,5	80,5	81,0	81,0	81,0
3,0			(75,5)	(81,0)	84,0	85,5	85,5	85,5	86,0	86,0	86,0	86,0
3,5			(82,5)	(90,0)	95,0	97,5	98,0	98,5	99,0	99,0	99,0	99,0
4,0			(88,5)	(97,5)	105	109	110	111	112	112	112	112
4,5					115	120	122	124	125	125	125	125
5,0					123	130	133	136	137	138	138	138
5,5					(131)	(139)	143	147	149	151	151	151
6,0					(138)	(148)	152	158	161	163	164	164
6,5					(144)	(155)	161	168	173	175	177	177
7,0					(150)	(163)	169	178	184	187	189	189
7,5					(155)	(170)	177	187	195	199	202	202
8,0							(185)	(196)	206	211	214	214
9,0							(198)	(212)	226	233	239	239
10							(209)	(226)	244	254	263	263
11							(219)	(238)	261	273	286	287
12							(229)	(249)	275	291	309	311
13									(289)	(308)	331	334
14									(302)	(323)	353	357
15									(314)	(337)	373	380
16									(326)	(350)	392	402
17									(337)	(362)	411	422
18									(347)	(374)	429	442
19									(357)	(385)	445	461
20									(366)	(395)	460	480
22											489	510
24											515	540
26											(540)	(570)
28											(565)	(595)
30											(585)	(620)
32											(605)	(640)
34											(625)	(660)
36											(640)	(680)
38											(655)	(700)
40											(670)	(715)

1. La tabla no es válida para tensiones de impulso inferiores a aproximadamente 10 KV.
2. En caso de tensiones de impulso, para mediciones repetidas, tienen el significado de tensiones de descarga de impulso del 50 %
3. Los valores entre paréntesis deben evitarse, en lo posible.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 03	HOJA 1
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES DE IMPULSO	

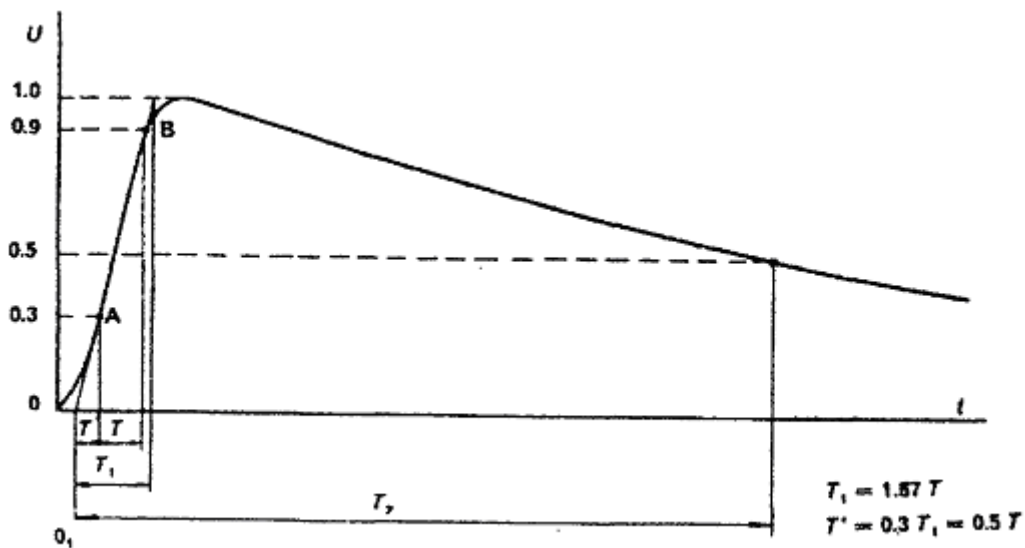
1 OBJETIVO:

Conocer los circuitos generadores de voltajes de impulso, métodos de observación y medida.

2 INFORMACIÓN:

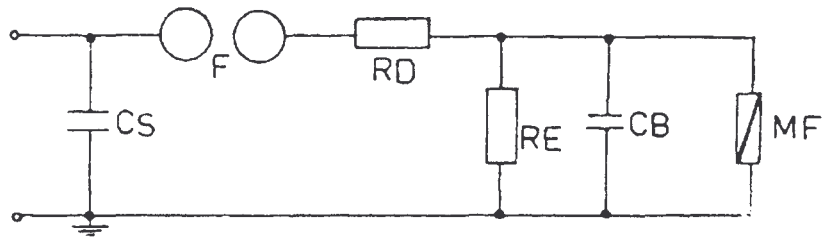
Para pruebas en equipos que van a estar sujetos a sobrevoltajes de origen atmosférico ó de maniobra, se simula en el Laboratorio los llamados voltajes de choque que presentan en el frente, una gradiente de potencial sumamente grande hasta alcanzar su máximo y decrecen en forma más lenta hasta cero.

Según la norma CEI Pub. 60 - 1962 la onda de choque tiene la forma y característica siguientes:

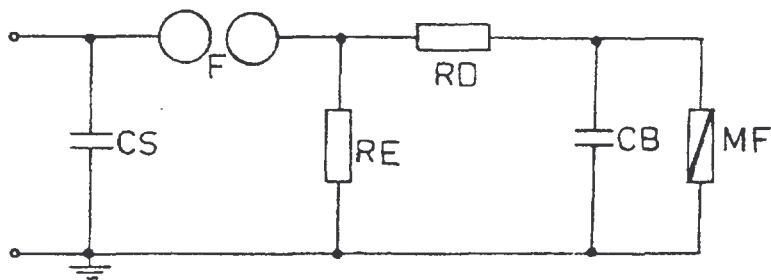


La onda de impulso normalizada que simula un sobrevoltaje de origen atmosférico, es una onda completa de relación T 1.2/50 Microsegundos (CEI).

El impulso es generado mediante la descarga de un condensador sobre un circuito RC que incluye el elemento de prueba y básicamente se adapta a los circuitos siguientes:



(a)



(b)

Si se analiza matemáticamente el transitorio que se genera y se desprecia las inductancias y capacitancias parásitas del circuito físico, se puede demostrar que:

$$V(t) = \frac{\exp(-\alpha_1 t) - \exp(-\alpha_2 t)}{t_2(\alpha_2 - \alpha_1)} V_g$$

Donde:

V_g = Voltaje de carga del condensador C_s
 $t_2 = C_b \cdot R_d$

α_1 ó α_2 = Raíces de la ecuación diferencial, iguales a:

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 03	HOJA 3
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES DE IMPULSO	

Circuito Básico a)

$$\alpha_1 \text{ ó } \alpha_2 = \frac{1 + X + t_2 / t_1 X}{2 t_2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 t_2 / t_1}{(1 + X + t_2 / t_1 X)^2}} \right]$$

Circuito Básico b)

$$\alpha_1 \text{ ó } \alpha_2 = \frac{1 + X + t_2 / t_1}{2 t_2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 t_2 / t_1}{(1 + X + t_2 / t_1)^2}} \right]$$

Donde:

$$X = Cb/Cs$$

$$t_1 = Cs.Re$$

El tiempo T_1 de frente de onda, y el rendimiento de la instalación valen:

$$T_1 = \frac{\ln(\alpha_2 / \alpha_1)}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

$$\eta = \frac{\exp(-\alpha_1 T_1) - \exp(-\alpha_2 T_1)}{T_2(\alpha_2 - \alpha_1)}$$

Rendimiento de la instalación (η), es la relación entre el valor de cresta de la tensión de impulso (Y) y el voltaje de carga del condensador Cs (Vg).

Bajo ciertas consideraciones, la forma de onda y rendimiento cumplen con las siguientes fórmulas aproximadas:

Circuito Básico a)

$$T_1 = \frac{2}{b} \cdot \frac{Rd.Re}{Rd + Re} \cdot \frac{Cb.Cs}{Cb + Cs}$$

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 03	HOJA 4
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES DE IMPULSO	

$$T_2 = \frac{1}{a} \cdot (R_d + R_e) \cdot (C_b + C_s)$$

$$\eta = \frac{\hat{V}}{V_g} = \frac{R_e}{R_d + R_e} \cdot \frac{C_s}{C_b + C_s}$$

Circuito Básico b)

$$T_1 = \frac{2}{b} \cdot R_d \cdot \frac{C_b \cdot C_s}{C_b + C_s}$$

$$T_2 = \frac{1}{a} \cdot R_e \cdot (C_b + C_s)$$

$$\eta = \frac{C_s}{C_b + C_s}$$

Resistencia en Ohmios
 Capacitancia en microfaradios
 Tiempo en microsegundos

$$\frac{1}{a} \approx 0.73, \quad \frac{2}{b} \approx 2.96 \text{ para}$$

$$T_1/T_2 = 1.2/50 \mu s, \text{ aplicables a ambos circuitos.}$$

La conexión transitoria del condensador Cs (Condensador de choque) con el resto del circuito, se consigue mediante uno (ó varios) explosores de carga F y puede calibrarse en KV.

La medida del voltaje de cresta puede realizarse mediante esferas espinterométricas, dentro de ciertos limites de precisión, y es correcta, cuando al aplicar un cierto número de impulsos, la descarga se produce en el 50% de probabilidad de descarga” o simplemente “Voltaje del 50%”. Los voltajes del 0% y 100% no tienen ningún significado.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 03	HOJA 5
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES DE IMPULSO	

El método que permite una medición óptima y observación de la onda generada es mediante un osciloscopio de rayos catódicos que utiliza un divisor de voltaje apropiado. La señal es retardada mediante un cable y el disparo del ORC se lo realiza mediante una señal externa.

3 EQUIPO:

Elementos de generación de Alto Voltaje alterno.
Rectificadores
 $C_s=6.0$
 $C_b= 1.300\text{pF}$
 $R_d=416 \text{ Ohmios}$
 $R_s = 10 \text{ Megaohmios}$
 $R_e = 9.500 \text{ Ohmios}$
 $R_m 140 \text{ Megaohmios}$
Elementos complementarios de los divisores de voltaje
Esferas espirométricas de encendido y medida
Cables de medida y amortiguamiento
Osciloscopio de rayos catódicos
Elementos de maniobra y control.

4 PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Construya un generador de impulsos según el circuito básico a) y realice mediciones del voltaje de cresta para cinco diferentes valores de voltaje V_g (Voltaje de carga de C_s), con polaridad positiva y negativa.

Oscilografique dos ondas (positiva y negativa) con el adecuado barrido que permita determinar aproximadamente los tiempos T_1 y T_2

- 4.2 Construya un generador de impulsos según circuito básico b) y repita el proceso de

5 INFORME

- 5.1 Según normas, establecer las características y tolerancias respectivas que deben presentar los voltajes de impulso generados para que sean considerados como VOLTAJES DE IMPULSO DE PRUEBA.

- 5.2 Explicar el funcionamiento de los circuitos básicos generadores de voltajes de impulso, estableciendo la función que desempeña cada elemento.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 03	HOJA 6
GENERACIÓN Y MEDIDA DE ALTOS VOLTAJES DE IMPULSO	

- 5.3 Explicar el funcionamiento de los métodos de medición utilizados y establecer la función que desempeña cada elemento.
- 5.4 A partir de los parámetros del circuito determinar la forma de onda y el rendimiento de la instalación, utilizando las fórmulas conseguidas mediante el análisis matemático y las fórmulas aproximadas. Analizar los resultados comparando con los valores permitidos en normas y con los datos tomados en la práctica.
- 5.5 Diseñe un generador de impulsos de 1.2/200 p.s
- 5.6 Determinar la máxima capacitancia de la muestra de prueba, tal que la forma de onda esté dentro de las tolerancias establecidas en las normas.

6 REFERENCIAS:

Roth A. “Técnica de la Alta Tensión” Edit. Labor Barcelona, 1966.

Mena A, “Tecnica de la Alta Tensión”, Curso 1973 - 1974.

Norma CEIPub. 60 - 1962.

A. Kuffed and M. Abdullah “High Voltage Engineering” Perganon Press, 1966.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 1
DESCARGAS EN GASES	

1. OBJETIVO:

Estudio experimental del comportamiento de los gases como aislantes frente a altos voltajes alternos. Comprobación experimental de la ley de Paschen.

2. INFORMACION:

Un átomo o molécula se ioniza cuando es chocado por una partícula cuya energía cinética es mayor o igual al trabajo necesario para ionizarlo. O sea:

$$W = m \frac{v^2}{2} \gg w_i$$

Donde: w = Energía de la partícula ionizada
 m = Masa de la partícula
 v = Velocidad alcanzada por la partícula previo al choque.
 w_i = Energía necesaria para la ionización.

Esta energía o trabajo de ionización será el producto de una fuerza que acelera a la partícula (electrón) por la distancia llamada “distancia libre de ionización (λ)”.

$$w_i = F \cdot \lambda_i$$

Como: $F = E \cdot q$ y $\lambda_i = qV_i$

Siendo: E = Intensidad del campo eléctrico
 q = Carga de la partícula
 V_i = Tensión de ionización característico del gas.

Se tiene que: $W_i = q E \lambda_i$

Puede decirse que se produce ionización por choque, si se cumple la condición:

$$E \cdot \lambda \gg V_i$$

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 2
DESCARGAS EN GASES	

Las distancias de separación entre partículas del gas, se distribuyen en forma probabilística de la forma e^{-1/λ_m} en donde λ_m es la distancia libre media.

La probabilidad de que λ_m sea mayor o igual a λ_i , es decir que se cumpla la condición de ionización por choque, será:

$$P(\lambda_m \geq \lambda_i) = e^{-\frac{\lambda_i}{\lambda_m}}$$

Expresado por unidad de longitud, se tiene lo que se denomina “primer coeficiente de Townsend” (α).

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_m} e^{-\frac{\lambda_i}{\lambda_m}}$$

“Número de pares de iones producidos por un electrón en un centímetro en la dirección del campo”.

La distancia media es función inversa de la presión del gas, expresada por:

$$\lambda_m = \lambda_o \frac{760}{P}$$

$$\alpha = \frac{P}{\lambda_o \cdot 760} e^{-\frac{\lambda_i}{\lambda_m}}$$

P = Presión del gas

λ_o = Distancia media a presión atmosférica.

Luego:

$$\frac{\alpha}{p} = \frac{1}{\lambda_o \cdot 760} e^{-\frac{v_i}{E}} \cdot \frac{P}{\lambda_o \cdot 760}$$

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 3
DESCARGAS EN GASES	

En forma general:

$$\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) \rightarrow \text{Para...electrones}$$

$$\frac{\beta}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right) \rightarrow \text{Para...iones..positivos}$$

En el proceso de ionización, se producen iones positivos, cuya energía es mayor que la de los electrones, al chocar contra el cátodo, acelerados por el campo, producen más electrones por desprendimiento. El número de electrones será proporcional al número de iones.

$$\eta^- = \gamma \eta^+$$

η^- = Número de electrones producidos

η^+ = Número de iones

γ = Segundo coeficiente de Townsend dependiente del tipo de material del cátodo

Considerando intensidad de corriente se tiene:

$$i = nqv = nqbE$$

n = Portadores de carga por unidad de volúmen

q = Carga eléctrica de cada portador

v = Velocidad con que se mueven

b = movilidad

E = Intensidad del campo eléctrico

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 4
DESCARGAS EN GASES	

En un campo homogéneo ($E = Kte$), la corriente de emisión secundaria será:

$$i_s = [i - (i_0 + i_s)]\gamma$$

i_s = Corriente de emisión secundaria

i = Corriente total

i_0 = Corriente producida por emisión espontánea o generada por excitación externa

$$i_s = \gamma/(1-\gamma) \cdot (i - i_0)$$

$$i = (i_0 + i_s) e^{-\alpha s}$$

s = Distancia de separación de las placas.

Luego:

$$i = \left[i_0 + \frac{\gamma}{1+\gamma} (i - i_0) \right] e^{\alpha s}$$

$$i = \frac{i_0 e^{\alpha s}}{1 - \gamma (e^{\alpha s} - 1)}$$

En la descarga $i \rightarrow \infty$

Luego:

$$\gamma (e^{\alpha s} - 1) \approx 1$$

Como: $\gamma \ll 1$

$\alpha s \approx \ln(1/\gamma)$ - Para campos homogéneos

$\int \alpha dx \approx \ln(1/\gamma)$ - Para campos no homogéneos

$$\alpha \cdot s = \alpha/p \cdot p \cdot s$$

$$\alpha \cdot s = f(E/p) \cdot p \cdot s$$

$$E/p = Vd/p \cdot s$$

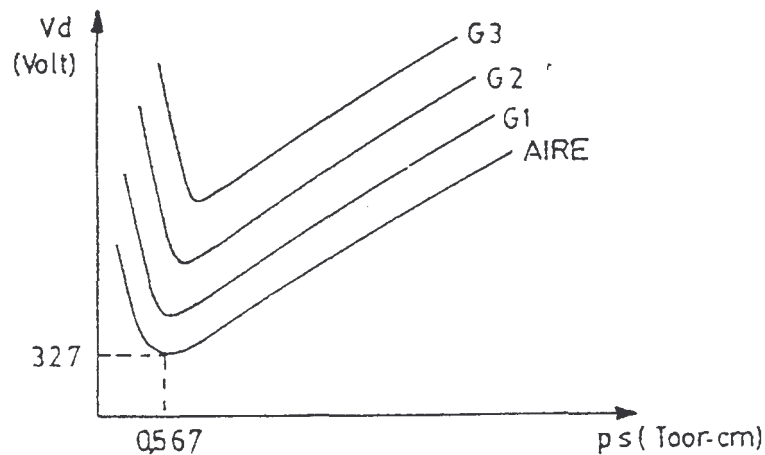
Vd = Voltaje de descarga

$$\alpha \cdot s = f(vd/p \cdot s) \cdot p \cdot s = Kte \text{ (campos homogéneos)}$$

$$\int \alpha dx = f [f(vd/s)/p] \cdot p \cdot s = Kte \text{ (Campos no homogéneos)}$$

Fórmulas que definen lo que se denomina “Ley de Paschen”

El voltaje de ruptura en un gas es función del producto de la presión por la distancia entre electrodos, en campos homogéneos, y en general de la geometría del sistema por la presión en campos no homogéneos.



Una de las aplicaciones prácticas de la ley, es la posibilidad de reducir las dimensiones de los electrodos con el respectivo aumento de a presión del gas. A más de los parámetros descritos, la descarga en un gas depende del tipo de voltaje y condiciones ambientales como: presión, temperatura, humedad, contaminación, etc.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 6
DESCARGAS EN GASES	

Si bien el aire es el elemento aislante universalmente utilizado, existen otros gases que presentan propiedades aislantes superiores, cuyo uso se justifica en el caso de poseer una buena regeneración después de la descarga, ser químicamente estables, no ser tóxicos y relativamente baratos. El Sf_6 , CO_2 y otros han permitido el diseño y construcción de subestaciones paquete que ahorra notablemente el espacio disponible.

A más de las propiedades dieléctricas estos gases son electronegativos, es decir son ávidos de electrones, característica que permite el control de predescargas y de descargas en general.

3 EQUIPO:

Generador de A. V. alternos
Cámara de presión (Sobrepresión 0-5 Kg/cm²)
Compresor de aire
Cilindros de N_2 y CO_2 Sf_6
Aparatos de medida

4 PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Con una muestra de aire comprimido, en el cual se ha precedido a reducirle su humedad y con el arreglo de electrodos propuesto, tome lecturas del voltaje pico de ruptura para los diferentes valores de sobrepresión. (Promedio de 3 descargas en cada condición de sobrepresión).
- 4.2 Con el mismo arreglo introduzca aire a presión (presencia de humedad) y repita lo mismo del numeral anterior.
- 4.3 Introducir en la cámara de presión otros gases y repita el procedimiento descrito en 3.4.1.
- 4.4 Cambie la separación entre electrodos y proceda con 3.4.2.

5 INFORME

- 5.1 Con los datos obtenidos, graficar: Voltaje pico de descarga, función del producto, presión absoluta por distancia de separación; incluir en un mismo gráfico los valores obtenidos en 3.4.2 y 3.4.4. Comentarios

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 04	HOJA 7
DESCARGAS EN GASES	

- 5.2 Aplicando el método de Schwaiger calcular los voltajes de descarga para aire seco, a las presiones utilizadas en la práctica. Considerar que la rigidez dieléctrica varía con la densidad relativa del aire. Grafizar y comparar con los datos experimentales. Dar un criterio sobre la validez del método.
- 5.3 Si se utilizan dos esferas separadas, como electrodos, determinar la distancia de separación, función del diámetro, para que cumpla con la Ley de Pashen en campo homogéneo.
- 5.4 Introducir la presión en la teoría del mecanismo de canal, que explica el proceso de descarga en gases y establecer la relación con el voltaje de descarga.
- 5.5 Conclusiones personales.

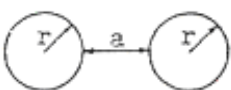
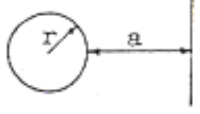
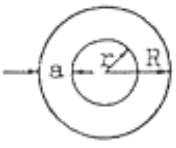
6 REFERENCIAS:

- Roth A. “Técnica de la Alta Tensión” Edit. Labor Barcelona, 1966.
- Mena A, “Curso Técnica de la Alta Tensión”, E.P.N. 1973- 1974.

FACTORES DE UTILIZACIÓN SEGÚN SCHAWAIGER PARA ESFERAS

En la siguiente tabla están los factores de utilización según Schwaiger para las principales disposiciones de esferas, en función de p , donde:

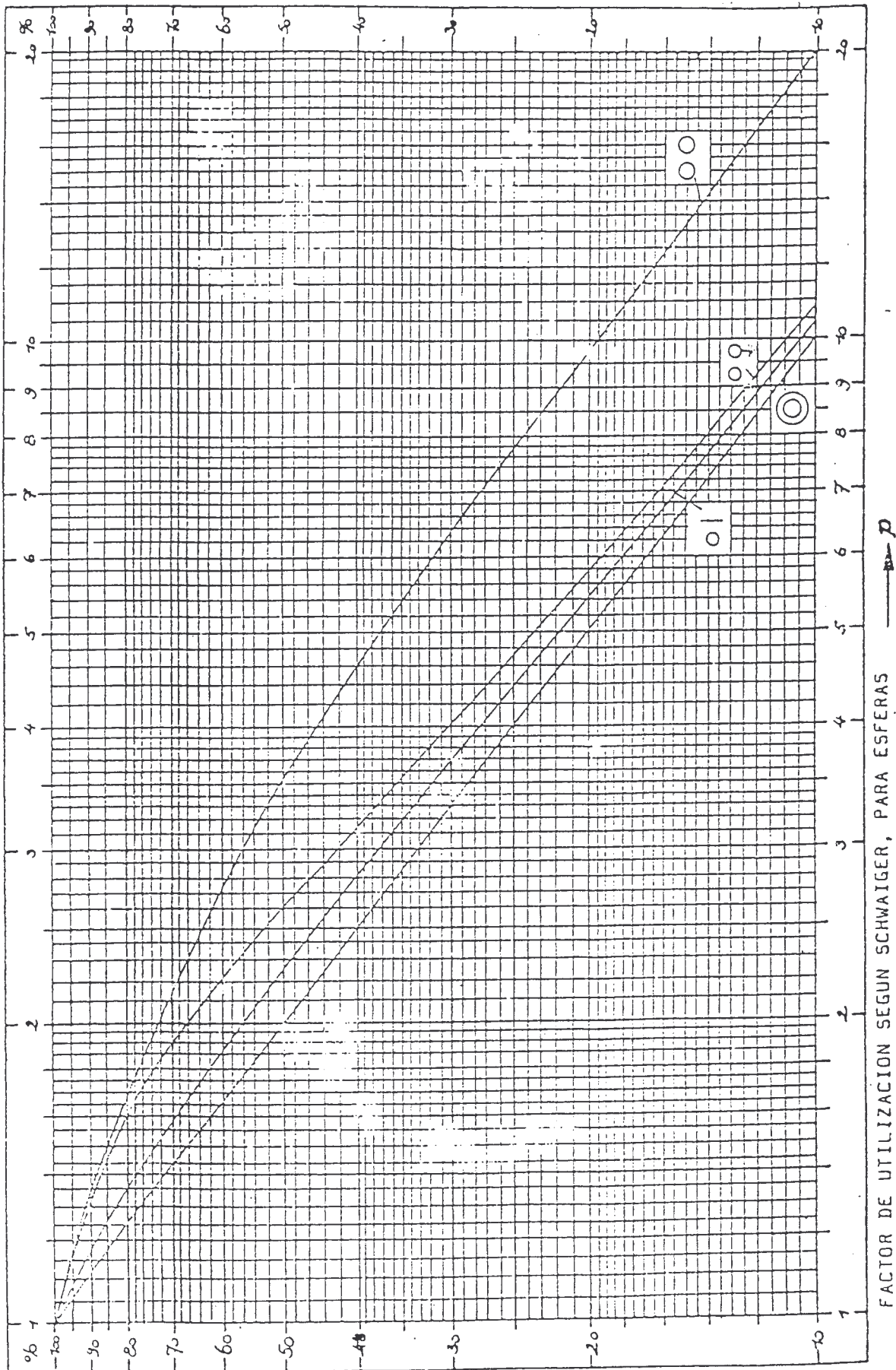
$$p = \frac{a + r}{r}$$

p				
	Distribución simétrica de la tensión	Un polo puesto a tierra.		
1	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %
1,5	85,0 %	83,4 %	73,2 %	66,7 %
2	73,2 %	66,0 %	56,3 %	50,0 %
3	56,3 %	42,8 %	37,2 %	33,3 %
4	44,9 %	30,8 %	27,6 %	25,0 %
5	37,2 %	23,8 %	21,8 %	20,0 %
6	31,8 %	19,3 %	17,8 %	16,7 %
7	27,6 %	16,3 %	15,2 %	14,3 %
8	24,4 %	14,0 %	13,3 %	12,5 %
9	21,8 %	12,3 %	11,7 %	11,1 %
10	19,7 %	11,0 %	10,5 %	10,0 %
15	13,3 %			
20	10,0 %			

Ejemplo: Dos esferas iguales con una separación de $a = 4$ cm y radio $r = 1$ cm. Buscar el factor de utilización para distribución simétrica de la tensión.

Solución:

$$p = \frac{a + r}{r} = \frac{4 + 1}{1} = 5 ; \text{ de la tabla: } \eta = 37.2\%$$



LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 05	HOJA 1
ENSAYO SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LINEAS	

1. OBJETIVO:

Conocer experimentalmente el comportamiento de los aisladores y equipos sometidos a Altos Voltajes.

2 INFORMACION:

Las pruebas sobre equipos en general tienden a perfeccionar un prototipo, a dar seguridad sobre elementos críticos constitutivos de un equipo, a certificar el funcionamiento integral, a calificar un proceso de fabricación en serie o a evaluar el estado de equipos previo a su entrada en servicio. La Comisión Electrotécnica Internacional hace la siguiente división:

- > Pruebas en prototipos (Prototype Test)
- > Pruebas tipo (Type Test)
- > Pruebas de rutina (Routine Test)
- > Pruebas de muestreo (Sampling Test)
- > Pruebas de recepción (Acceptance Test)

A fin de que el Ingeniero tenga un concepto claro que pueda conducirlo a una acertada decisión, las pruebas escogidas deben ser aquellas que den suficiente información.

3 EQUIPO:

Elementos de generación de Altos Voltajes Alternos
Elementos de generación de Altos Voltajes Continuos
Elementos de generación de Altos Voltajes de Impulso
Aparatos de medición
Osciloscopio de rayos catódicos
Cámara fotográfica adaptable a osciloscopio
Elementos de prueba.

4 PROCEDIMIENTO:

- 4.1 Determinar para una serie de muestras, los voltajes de contorno en seco y en húmedo, con voltaje alterno de frecuencia industrial.
- 4.2 Prueba de voltaje de impulso,

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 05	HOJA 2
ENSAYO SOBRE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LINEAS	

Construya un generador de impulso de doble etapa apropiado para obtener una onda normalizada de $1.2/50\mu s$.

Oscilografar la onda y verificar las características de la misma.

4.3 Descargar sobre cada una de las muestras, ondas de impulso de valor Creciente, obtener el voltaje del 50% de descarga.

5 INFORME

5.1 Analice los resultados de las pruebas sobre cada una de las muestras, determine la clase de pruebas y si serán a su criterio suficientes para calificar el equipo, comparar con los valores establecidos en normas. Comentarios.

5.2 Analice la disposición de los elementos bajo prueba, y el método de prueba. Indique alguna otra disposición o métodos, o de criterios sobre alguna mejora en el proceso.

5.3 Del oscilograma tomado en 4.2., determine los tiempos T1 y T2, el rendimiento de fa instalación, comparar con el cálculo analítico a base de los elementos del circuito.

5.4 Conclusiones personales.

6 REFERENCIAS:

American National Standard C. 29- 1976

CEI Comisión Electrotécnica Internacional No. 274 – 1968

Ayora P. “Pruebas en Equipos con AT 1974 (Texto)

A. Roth “Técnica de la Alta Tensión” Edit. Labor Barcelona, 1966.

W.A. Hawlwy “Impulse Voltage” Chapman and Hall London - 1959.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 1
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

1. **PRUEBAS ORDINARIAS**

1. **RESISTENCIA DE AISLAMIENTO:**

1.1 **OBJETIVO**

Comprobar si las partes activas del transformador están suficientemente aisladas, es decir presentan una resistencia alta, previo a la energización del transformador.

1.2 **NORMA ANSI C. 57. 12**

PROCEDIMIENTO

Mediante MEGGER medir la resistencia que presenta el aislamiento entre:

Bobinado de Alto Voltaje - Bobinado de Bajo Voltaje
Bobinado de Alto Voltaje - Tanque
Bobinado de Bajo Voltaje - Tanque

ATENCION

Poner mucho cuidado con el voltaje que puede inducirse en el lado de A.V. Antes de hacer conexiones comprobar si el neutro está aislado del Tanque.

1.3 **EQUIPO:**

MEGGER de 5.000 - 10.000 V
Equipo de conexión.

2 **PRUEBA DIELECTRICA EN EL ACEITE AISLANTE**

2.1 **OBJETIVO:**

Verificar la bondad del dieléctrico.

2.2 **NORMA A.S.T.M. (29-D-877)**

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 2
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

Electrodos: Discos Ø1”

Separación: 0.1”

Régimen de elevación de voltaje: 3KV/seg. Hasta perforación.

Número de pruebas por muestra: 5

Período de tiempo entre pruebas: 1 minuto

Criterio de bondad del dieléctrico: Se considera aceite en buen estado si su voltaje promedio de disrupción es igual o mayor a 30KV”.

2.3 EQUIPO:

Probador de aceite según norma A.S.T.M.

Equipo elevador de tensión

Aparatos de medición

3 RELACION DE TRANSFORMACION

3.1 OBJETIVO:

Verificar los datos de placa del transformador en relación al voltaje.

3.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) - Pub.76, Sección 12, Tabla XIV

Descripción: Aplicación de voltaje a uno de los bobinados del transformador y medición del voltaje inducido en el opuesto, en circuito abierto para cada tap, a frecuencia nominal.

Tolerancia: En el tap principal la tolerancia es el menor de estos dos valores:

$\pm 1/200$ de la relación indicada por el fabricante, o el porcentaje de la relación declarada igual a $1/10$ del voltaje de cortocircuito actual a corriente nominal expresado en porcentaje.

La tolerancia en otros taps deben estar sujetas al arreglo entre fabricante y comprador.

3.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje variable, 60 Hz

Aparatos de medición

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 3
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

4 PRUEBAS DE CIRCUITO ABIERTO

4.1 OBJETIVO:

Determinar la corriente de magnetización y las pérdidas en vacío.

4.2 NORMA

CEJ (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 12.

Descripción: Con el primario en circuito abierto se alimenta por el secundario en voltaje nominal a 60 Hz y mediante un vatímetro de bajo factor de potencia se determinan las pérdidas. En transformadores trifásicos las conexiones se las realiza de acuerdo a las normas dependiendo de la conexión de funcionamiento.

Tolerancia: En transformadores trifásicos con un bobinado Delta conectado deberá asegurarse que el voltaje inducido no contenga 5ta. y 6ta. armónica en cantidad superior a un 5% del voltaje eficaz..

Para el cálculo de las pérdidas debe indicarse si el núcleo está construido con hierro laminado en frío o caliente.

4.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje variable, 60 Hz.
Vatímetro de bajo factor de potencia
Aparatos de medición

5 PRUEBAS DE CORTOCIRCUITO.- DETERMINACION DE LA IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO

5.1 OBJETIVO:

Determinación de las pérdidas en los devanados y verificación de la impedancia con la dada en la placa.

5.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 12.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 4
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

Descripción: Se alimenta el primario del transformador con un voltaje variable de 60 Hz, hasta conseguir en el secundario, en cortocircuito, el 25% o el 100% de la corriente nominal. Se toman lecturas de potencia, voltaje y corriente.

La medida será corregida por medio del cuadrado de la relación de corriente entre la medida y la nominal, luego, referida a la temperatura de Normas dada en la tabla XV.

Las pérdidas serán medidas en los devanados conectados en el tap principal.

La resistencia de los devanados de transformadores, sumergidos en aceite se lo mide cuando éstos han dejado de ser excitados por lo menos 3 horas antes de la medida.

Tolerancia: Las pérdidas declaradas deben tener una tolerancia de + 1/7 con las reales, siempre que no excedan a las totales y éstas declaradas por el fabricante deben tener una tolerancia de + 1/10 con las reales.

5.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje variable, 60 Hz.
Aparatos de medición

6 PRUEBA DE RELACION DE FASE, POLARIDAD Y GRUPO DE CONEXION

6.1 OBJETIVO:

Verificar la conexión dada por la placa.

6.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 12.

Descripción: Mediante la adición o sustracción de voltaje inducidos se determina la polaridad de las bobinas en caso de transformadores trifásicos por adición o sustracción directo se determina el voltaje y grupo de conexión.

6.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje alterno de 60 Hz.
Aparatos de medición

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 5
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

II PRUEBAS ESPECIALES

7 PRUEBA DE VOLTAJE APLICADO

7.1 OBJETIVO:

Comprobar si todos los puntos sometidos a Alto voltaje están aislados suficientemente del lado de Bajo voltaje y del tanque.

7.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 7 y 12.

Descripción: A cada bobina de alto voltaje se le aplica el voltaje determinado por las tablas (*) de la sección 7, de la norma (niveles de aislamiento).

El lado de bajo voltaje estará en cortocircuito con el tanque. El voltaje de aplicación deber ser sinusoidal a una frecuencia de por lo menos el 80% de la nominal. Tiempo de aplicación: 1 minuto.

(*) NOTA:

Para el caso de experimento aplicar sólo el 50% del voltaje de tablas.

7.3 EQUIPO:

Fuente de Alto Voltaje variable de 60 Hz.
Aparatos de medición

8 PRUEBA DE VOLTAJE INDUCIDO

8.1 OBJETIVO:

Verificar el estado de aislamiento de los bobinados.

8.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 12 y 7.

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 6
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

Descripción: Aplicación de voltaje según Norma Sección 7 con las siguientes características:

Completamente sinusoidal.

Frecuencia tal que la corriente de excitación no sea excesiva.

El tiempo de aplicación es de 1 minuto para frecuencias menores que el doble de la nominal ó 120 veces la frecuencia nominal dividida por la frecuencia de prueba, o 15 segundos por lo menos.

8.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje variable de 440 Hz.
Aparatos de medición

9 PRUEBA DE ELEVACION DE TEMPERATURA

9.1 OBJETIVO:

Comprobar si la elevación de temperatura (°C) del aceite y de los devanados bajo carga, mediante el método de cortocircuito, están dentro de las Normas.

9.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 12.

Descripción: Al transformador, conectado como para la prueba de cortocircuito, se le alimenta, con las pérdidas totales, tomándose lecturas de variación de temperatura en el aceite por medio de un termómetro y de los bobinados por el método de variación de la resistencia se tomaron lecturas hasta la estabilización.

9.3 EQUIPO:

Fuente de voltaje variable de 60 Hz.
Aparatos de medición

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE – PRACTICA 06	HOJA 7
PRUEBAS EN TRANSFORMADORES SEGÚN NORMAS	

10 PRUEBA DE IMPULSO DE ONDA COMPLETA

10.1 OBJETIVO:

Verificar el aislamiento del transformador frente a ondas de choque.

10.2 NORMA

CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) Pub. 76, Sección 7 y 12.

Descripción: Aplicación de un voltaje de impulso de $1.2/50\mu s$, cuyo valor de cresta viene determinado por las tablas de la sección 7 de la Norma. El voltaje será aplicado a cada terminal de línea. El control de la onda se lo realiza por medio de un osciloscopio de rayos catódicos, visualizando el comportamiento del transformador.

10.3 EQUIPO:

Generador de impulsos de $1.2/50\mu s$
Osciloscopio rayos catódicos
Equipo fotográfico adaptable al osciloscopio
Aparatos de medición.

11. INFORME:

- 11.1 ¿Qué pruebas sugiere usted que se realice en un transformador previa a su instalación y por qué?
- 11.2 Haga un informe de las pruebas que se han realizado en la práctica.
- 11.3 Conclusiones personales.

12 REFERENCIAS:

Normas A.S.T.M. 29 - D - 877
Norma CEI Pub. 76.

AIRE SECCO		AIRE HUMEDO		AIRE +		AIRE +		AIRE +	
Presión	V KV	Presión	V KV	Presión	V KV	Presión	V KV	Presión	V KV
SEPARACION DE ELECTRODOS (cm)									
Temperatura ambiente: Tipos de electrodos: Dimensiones de los electrodos:									

HOJA DE DATOS

Datos de 4.1. CIRCUITO BASICO (a)

	V_g (KV)	VAC (KV)	a (mm)	\hat{V} (tablas) (KV)	V_{ORC} (Volt)	$\hat{V}=V_{ORC} \times K$ (KV)	η (%)
POSITIVA							
NEGATIVA							

Datos de 4.2. CIRCUITO BASICO (b)

	V_g (KV)	VAC (KV)	a (mm)	\hat{V} (tablas) (KV)	V_{ORC} (Volt)	$\hat{V}=V_{ORC} \times K$ (KV)	η (%)
POSITIVA							
NEGATIVA							

HOJA DE DATOS

TABLA 4.1

Distancia a (mm)	10	20	30	40	50	60
V_1 (Volt.) $V_1 \times r_t$ (KV)	1					
	2					
	3					
	*					
	P					
V_{2ef} SEM (KV)	1					
	2					
	3					
	*					
	P					
$\hat{V}_2/\sqrt{2}$ (KV)	1					
	2					
	3					
	*					
	P					
V_{2ef} Volt Elec. (KV)	1					
	2					
	3					
	*					
	P					
Chubb Fortescue	im (μ A)					
	$\hat{V}_2/\sqrt{2}$ (KV)					
De tablas $\hat{V}_2/\sqrt{2}$ (KV)						
Diámetro de las esferas:	Temperatura:		Presión:			

TABLA 2.- RESUMEN DE NORMAS PARA PRUEBAS DE ACEITES
DIELECTRICOS

NORMA	CEI	VDE	ASTM	BS
Electrodo	Esferas \emptyset 12.5 a - 13.0mm. - Casquetes esféricos $\phi = 25$ mm.	Casquetes - esféricos - ϕ 25m.m.	Discos \emptyset 1" + Ensayo VDE	Esferas \emptyset - 13 m.m.
Separación	2.5 m.m.	2.5" mm	0.1"	4.0 m.m.
Nº de muestr.	1	1	1	3
Nº de pruebas para muestra.	6	6	5	1
Incremento de voltaje	2KV/s hasta perforación	3KV/s hasta perforación	3KV/s hasta perforación.	10 a 15 - seg. hasta valor definido.
Duración	-----	-----	-----	1mn - 40KV
Transformador.	20mA en cortocircuito a 15KV	250VA a 60KV	> 2 KVA	20mA en cortocircuito a 15KV.
Voltaje de ruptura.	promedio de las 6 descargas.	Promedio de las 5 últimas descargas.	Promedio de 5 descargas.	
Criterio de bondad del aceite.	Aceite no-tratado. - min. 30KV- Tratado, - min.50KV.	50KV. ϕ 200KV/cm.	min. 30KV	Dos muestras que se excedan los - 40KV.