



U
N
E
X
P
O

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"
VICERRECTORADO DE BARQUISIMETO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES



PRÁCTICA DE LABORATORIO N°3

DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE EFECTO DE LA UNIFORMIDAD DEL CAMPO ELÉCTRICO



RECUERDE CUMPLIR LAS NORMAS DE SEGURIDAD

1. CONOCIMIENTOS PREVIOS

- Comportamiento de los dieléctricos gaseosos en presencia de campo eléctrico.
- Rigidez dieléctrica.
- Efecto de la uniformidad del campo sobre el comportamiento de los dieléctricos.
- Características del aire como dieléctrico.

2. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Determinar la rigidez dieléctrica del aire en forma experimental.
- Determinar el efecto de la uniformidad del campo sobre la rigidez dieléctrica del aire.

3. EL AIRE COMO MEDIO AISLANTE

3.1 Características generales del aire como medio aislante

El aire es el medio aislante de mayor uso en las instalaciones eléctricas. Con su rigidez dieléctrica se determinan las dimensiones físicas de mayor relevancia en las instalaciones eléctricas de alta tensión, entre estas la altura de los conductores, la separación mínima entre entrada y salida de elementos energizados y otros.

El aire es un gas compuesto y en su condición natural presenta impurezas (humedad, partículas sólidas y otras) que desmejoran sus condiciones como aislante. Sin embargo estas características se le reconocen grandes ventajas tales como el bajo costo, la abundancia, el alto poder de recombinación (dieléctrico autorestable) y otras que lo mantienen con un alto grado de utilización.

Uno de los temas que debe ser de pleno conocimiento de los Ingenieros Electricistas es lo concerniente al valor real de la rigidez dieléctrica del aire en sus condiciones de operación de los sistemas eléctricos. Durante muchos años se han realizado estudios que permiten tener un conocimiento bastante preciso de su comportamiento, no obstante se han desarrollado métodos prácticos muy simples que permiten un trabajo adecuado con precisión aceptable. De igual forma se considera de sumo interés conocer, en forma aproximada, el efecto que introduce la uniformidad del campo sobre el valor de la rigidez dieléctrica del aire.

3.2 Determinación de la rigidez dieléctrica del aire

La rigidez dieléctrica (tensión de ruptura) de los gases no obedece únicamente a la distancia entre electrodos. Existen otros factores que tienen gran incidencia: la pureza del gas, la uniformidad del campo, la polaridad la forma de onda de la tensión y otros. Para nuestro caso, del aire como un dieléctrico, existen dos (2) factores de extrema importancia: las condiciones atmosféricas y la uniformidad del campo.

En casi todos los casos en donde se trata la ruptura dieléctrica del aire se consideran los campos eléctricos que se originan, los cuales son generalmente altamente no uniformes. Esto es una característica de las rupturas del aire en condiciones no controladas de laboratorio, ya que la descarga disruptiva es precedida por la formación de una corriente de falla a tierra y, en muchos casos, seguida por un líder, el cual se desarrolla antes de la ruptura. Se conoce que esos procesos ocurren bajo sobretensiones de impulso y bajo tensiones de corriente alterna y continua. A continuación se presenta una breve descripción de los procesos que se originan precedentes a la ruptura del aire.

3.2.1 Descargas de Pre-ruptura

Inicialmente se hace una descripción del fenómeno en términos de una sobretensión de impulso aplicada a un sistema de electrodos punta-punta, en donde se genera un campo eléctrico intenso. Cerca del electrodo positivo, las colisiones de electrones ionizados en el aire pueden formar avalanchas suficientemente grandes para crear un sistema de descargas a tierra, es decir, una corona que se propaga desde el electrodo. Las descargas se propagan con una velocidad mayor a 10^5 m/s y se conoce que el gradiente eléctrico en el canal de descargas está por el orden de 500 kV/m.

Una vez formada la corona su desarrollo se extingue por su propia carga, por un período de algunas décimas de microsegundos, el cual reduce el campo eléctrico cerca del electrodo, pero el campo eléctrico restante se calienta, pudiendo éste ser considerado como una pérdida de calor ($I^2 \cdot R$). Esto provoca un aumento de la temperatura, un descenso en la densidad del gas y un incremento de la ionización, sosteniendo así la transición de un canal de líder de arco, el cual parte cerca del electrodo, extendiéndose alrededor del espinterómetro a una baja velocidad, aproximadamente de 10^4 m/s. Este canal es altamente conductivo, con un bajo gradiente eléctrico y se considera como una extensión del ánodo alrededor del espinterómetro.

Las avalanchas que resultan de la formación de las descargas, también ocurren en el cátodo, pero en éste los electrones avanzan por regiones de campo eléctrico reducido. Las regiones de ionización son menos extensas y requieren de un mayor gradiente eléctrico, por el orden

de 1000 kV/m, para la propagación de la descarga. La corona negativa es mucho menos extensa que la positiva. La descarga disruptiva ocurre luego que se establece un canal conductor alrededor del espinterómetro, es decir, cuando las zonas de ionización de ambos electrodos se juntan.

3.2.2 La curva en U.

De la descripción de la tasa de crecimiento de las descargas a tierra y líderes surge que la tensión de descarga en un espinterómetro depende de la proporción en la cual aumenta la tensión de impulso y de la separación de los electrodos. Estas dependencias se presentan en las curvas en U. Para una separación constante de los electrodos, la tensión de descarga, presenta como función del tiempo de cresta de una onda de impulso, pasa a través de un valor mínimo claramente definido. Hay una curva en U diferente para cada valor de separación de los electrodos y en algunas curvas el valor mínimo de tensión genera el máximo tiempo de cresta a medida que aumenta la separación entre los electrodos, como se puede observar en la Figura 3.1.

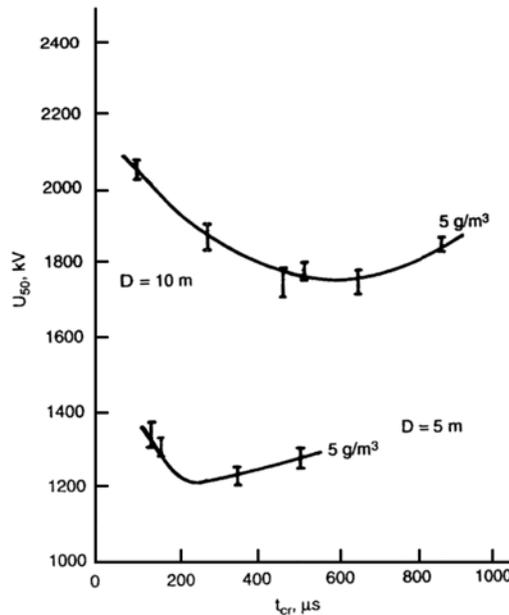


Figura 3.1. Curva en U obtenida de la tensión de impulso para diferentes tiempos de cresta aplicada a electrodos punta-placa (Humedad relativa 5 g/m³)

3.2.3 El factor de separación.

El factor de separación es una regla utilizada para la estimación de la tensión de descarga disruptiva en espinterómetros de distintas geometrías, tomando como referencia la tensión de descarga disruptiva en un espinterómetro punta-placa de la misma longitud, de nuevo esto es discutido en términos de la descarga disruptiva producida bajo tensión de impulso.

En este caso, la tensión de descarga depende de la geometría de los electrodos. Esto ha dado lugar al concepto del factor de separación que se define como la proporción de la tensión de descarga producida en una configuración de electrodos dada para la cual en un espinterómetro punta-placa muestra la tensión disruptiva más pequeña para la misma separación.

Sin embargo el concepto del factor de separación se debe utilizar con mucho cuidado. El proceso de la ruptura depende de los efectos combinados debido a la tensión de tiempo de cresta y la distribución del campo eléctrico. Las curvas en U del espinterómetro punta-placa y del sistema de electrodos considerado no se relacionan por una simple proporcionalidad, en otras palabras, el factor de separación varía con la forma de onda.

El factor de separación aumenta proporcionalmente con la altura del espinterómetro sobre el nivel de tierra. Éste es el resultado de los cambios en el efecto perturbador del plano de tierra sobre la distribución del campo eléctrico en el espinterómetro. Bajo un impulso tipo rayo, los factores de separación tienden a ser menores que bajo un impulso tipo maniobra. Ésta es una consecuencia del poco desarrollo del líder, no obstante la cercanía de las superficies metálicas puestas a tierras puede ejercer un efecto considerable en las características de ruptura.

3.2.4 Características de la descarga disruptiva

La variabilidad en los procesos de pre-ruptura descritos anteriormente provoca un cambio en la tensión de descarga, particularmente cuando se aplican tensiones de impulso. Por consiguiente es necesario implementar una tensión de descarga promedio para describir la robustez de un espinterómetro en particular. Para este propósito se utiliza el U_{50} o 50% de la tensión de descarga, la cual es la tensión de cresta de impulso a la que existe una probabilidad de 0.5 que en el espinterómetro ocurra la descarga. Con las tensiones de impulso el U_{50} puede determinarse de dos (2) maneras: utilizando el método de la tensión variable ó el “método *up-and-down*”.

En el método de la tensión variable se hace una estimación del valor probable de U_{50} , ya sea por experiencias previas o por medio de varias pruebas y diversas configuraciones de electrodos, aplicando a cada configuración 20 impulsos a tensión de cresta constante. Los niveles de tensión aplicados pueden diferir entre sí en un 1% de U_{50} . Cada uno de los 20 impulsos genera una probabilidad de que ocurra la descarga a la tensión aplicada. Se realiza una gráfica de las probabilidades contra la tensión obteniendo una línea aproximadamente recta, determinando inmediatamente el U_{50} .

El “método *up-and-down*” es más económico en el número de impulsos requeridos. La tensión se incrementa, a un valor cercano al U_{50} estimado, en pasos constantes de 2 ó 3% de ese valor, hasta que se produzca una descarga. Luego es descendida en un solo paso. Si no ocurre la descarga, la tensión se incrementa de nuevo y se repite el procedimiento, incrementando o disminuyendo la tensión de acuerdo el resultado obtenido en el impulso anterior. Después de un número de impulsos, usualmente menos de 50, se alcanzará una tensión cercana al U_{50} . Esta técnica puede ser más precisa si, después de terminar el procedimiento anterior, grupos de 50 pruebas se realizan en las condiciones de U_{10} y U_{90}

estimadas. Si se grafica el resultado obtenido con el resto de los datos se puede determinar un valor de U_{50} con un error mínimo.

3.2.5 Características de la tensión de descarga disruptiva

3.2.5.1 Condiciones de la tensión de impulso.

En la actualidad, se pueden conseguir una variedad de configuraciones de electrodos, pero se ha tomado al espinterómetro punta-placa como una valiosa referencia. Algunos estudios han demostrado, para esta configuración, la grafica de la pendiente del gradiente de ruptura U_{50}/d contra la longitud de separación de los electrodos, mostrando también el resultado para tensiones de corriente alterna y continua. La Figura 3.2 muestra esta característica.

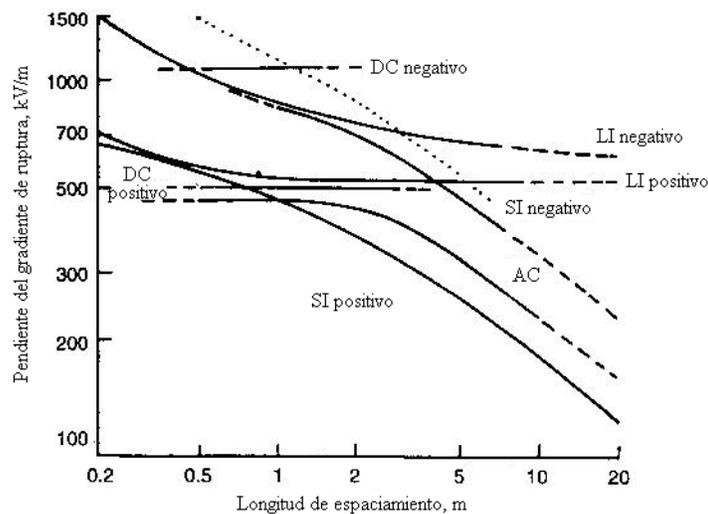


Figura 3.2. Pendiente del gradiente de ruptura de espinterómetros punta-placa bajo condiciones atmosféricas normalizadas como función de la longitud de separación de los electrodos, para diferentes formas de ondas de prueba

Para el impulso tipo rayo de polaridad positiva la pendiente del gradiente permanece constante para longitudes de separación por encima de un (1) m, en aproximadamente 500 kV/m. Así la tensión de descarga aumenta linealmente con la longitud de separación. Para el impulso tipo rayo de polaridad negativa el gradiente es mayor pero no es constante con la longitud de separación del espinterómetro, aumentando la tensión de descarga a medida que esta separación disminuye. No puede darse una explicación simple del hecho de que se haya estudiado con menos énfasis la polaridad negativa que la positiva, la razón de esto es que grandes gradientes producen tanto impulsos positivos como negativos peligrosos para los sistemas de potencia, siendo los impulsos negativos menos peligrosos que los positivos. Bajo el impulso tipo maniobra positivo el gradiente disminuye con el incremento de la longitud de separación debido al incremento sostenido del canal del líder de bajo gradiente.

3.2.5.2 Descargas disruptivas bajo tensiones de corriente alterna.

Aquí también el espinterómetro punta-placa muestra la tensión de descarga disruptiva más baja y la condición del 50% de ruptura está dada, para separación entre electrodos mayores a 2 m, por la ecuación 3.1:

$$U_{50} = 750 * \ln(1 + 0.55d^2) \quad \text{kV} \quad (3.1)$$

Donde:

d: Separación de los electrodos (m).

Haciendo una perspectiva se puede notar que los valores picos de U_{50} están por el orden del 20% por encima de los valores picos de los impulsos de maniobra para el mismo espinterómetro. Para la estimación de la tensión disruptiva para impulsos de maniobra de otras configuraciones además de la punta-placa se aplica un factor de separación K. La ecuación 3.2 muestra el factor de corrección U_{50} en función del factor K:

$$U_{50} = U_{50}(rp) * (13.5K - 0.35K^2) \quad \text{kV RMS} \quad (3.2)$$

Para separaciones entre $2 < d < 6$ m esta ecuación se mantiene dentro de $\pm 10\%$ para las siguientes configuraciones: conductor-placa, conductor-estructura, punta-punta, conductor-punta, conductor-cable. Las tensiones disruptivas son influenciadas por el incremento de la tensión, con una disminución de hasta 5% para las proporciones de aumento de la tensión hacia la ruptura.

3.2.5.3 Descargas disruptivas bajo tensiones de corriente continua.

En los espinterómetros punta-placa positivos que presentan una separación entre electrodos en el rango $0.5 < d < 5$ m la tensión de descarga aumenta linealmente con la longitud de separación con una pendiente del gradiente por el orden de los 500 kV/m. Esta característica es similar a la del espinterómetro punta-placa bajo un impulso tipo rayo. En ambos casos, la linealidad está dada por el dominio de la pre-descarga a tierra, pero en el caso de la tensión de corriente continua de polaridad positiva, la reproductividad de la tensión de descarga es mayor, siendo la desviación estándar menor que 1%.

Para el espinterómetro punta-placa negativo el gradiente es mayor, por el orden de 1000 kV/m. El espinterómetro punta-punta tiene un uso particular como herramienta para la medición de tensión de corriente continua debido a que retiene la propiedad de linealidad hasta una separación entre electrodos de 3 m y debido a que está bien montado sobre el plano de tierra, posee la misma característica sin importar la polaridad de la tensión usada. Éste se utiliza, según la Norma IEC, como un estándar secundario para la medición de tensiones de corriente continua.

3.2.6 Flameo a través de las superficies aislantes en el aire.

El aspecto más débil del aislamiento de los sistemas de alta tensión es la rigidez dieléctrica de la superficie del aislador, el cual se utiliza para separar a los conductores. Las descargas,

una vez que han comenzado, pueden viajar más rápido por ciertas superficies del aislador en el aire que en la ausencia de ellos y se las cargas depositadas en la superficie por la corona puede alterar la distribución del campo eléctrico así como facilitar la ruptura.

En la práctica otros factores pueden causar distorsiones del campo y provocar la ruptura, como lo es la distribución no lineal de la capacitancia entre aisladores, la capacitancia a tierra, la concentración del campo en la unión entre el aislador, el conductor y el aire, las capas de contaminación, la lluvia y humedad. Todo esto puede contribuir debilitar la rigidez dieléctrica de la superficie aislante.

La tendencia de una superficie a reducir su rigidez se minimiza por la adaptación de cubiertas para incrementar la separación total entre los conductores. Los aisladores de suspensión toman este concepto hasta el límite y casi todas las líneas eléctricas que trabajan por encima de 100 kV utilizan cadenas de aisladores de este tipo. Las faldas profundas aseguran que las descargas deben cubrir la mayoría de su camino en el aire y las pruebas han mostrado que la pérdida de la rigidez dieléctrica, comparada con la del aire, usualmente no es mayor al 3% bajo tensiones de impulso.

Este resultado es real para situaciones entre conductor y cruceta, para ambas polaridades, pero pueden darse grandes diferencias de polaridad cuando una configuración tal como la punta-placa, se prueba junto con los aisladores. De hecho, cuando se aplican las tensiones de impulso de polaridad negativa al electrodo con mayor esfuerzo, pueden obtenerse resultados que son muy sensibles al perfil del electrodo. Esto es porque las altas concentraciones de campo en la unión entre el aislador, el conductor y el aire pueden crear una especie de cátodo que provoque la iniciación de las descargas.

3.2.7 Efectos atmosféricos

Los fenómenos descritos anteriormente varían con la temperatura, la presión y la humedad del aire. Por consiguiente es necesario establecer un procedimiento que posibilite estimar las tensiones disruptivas a cualquier condición atmosférica. Este procedimiento consiste en corregir las condiciones ambientales medidas a condiciones atmosféricas normalizadas para compararlas con los resultados obtenidos en otros laboratorios y/o en momentos diferentes.

3.2.7.1 Efectos de la densidad atmosférica

La relación entre los efectos de la temperatura y presión atmosférica determinan la densidad del aire. Los procesos de ionización dependen principalmente de este factor. Muchos estudios han mostrado que las tensiones de ruptura varían linealmente con la densidad y se pueden definir una serie de condiciones, las cuales pueden considerarse como una característica de la atmósfera normal, y relacionarlas con las condiciones de presión y densidad de una atmósfera normal.

Se considera que una atmósfera normal se da cuando se tiene 101.3 kPa (760mmHg) de presión atmosférica y 293 °K (20 °C) de temperatura. Entonces, a cualquier temperatura T y presión p , el valor de densidad está definido por la ecuación 3.3.

$$\delta = \frac{p}{101.3} * \frac{293}{T} \quad (3.3)$$

El valor de δ representa la proporción de la densidad para los valores de presión y temperatura que están siendo estudiados (p, T) a las condiciones normalizadas. δ es conocida como la densidad relativa del aire, siendo igual a uno (1) en condiciones normales. Si ahora el valor de U_{50} en la densidad relativa del aire, $\delta = 1$, se denota como U_0 , entonces el valor de U en (p, T) está dado por la ecuación 3.4.

$$U = U_0 * \delta \quad (3.4)$$

Los valores y curvas de corrección presentados en la literatura son corregidos a $\delta = 1$ para la medición de tensiones de impulso, además de tensiones de corriente alterna y continua.

3.2.7.1 Efectos de la humedad atmosférica

La humedad atmosférica puede variar por debajo de 1 g/m^3 en países muy fríos y por el orden de los 30 g/m^3 en los tropicales. Los efectos de la humedad en la descarga disruptiva son complejos, pero pueden ser generalizados en los siguientes puntos:

- La humedad tiene mayor influencia en la descarga de pre-ruptura positiva.
- La humedad no tiene un efecto significativo en la descarga disruptiva de polaridad negativa bajo tensiones de impulso tipo rayo y bajo tensiones continuas.

Por tanto una regla deriva de lo anterior es que cuando una descarga es precedida sólo por la corona positiva, hay una influencia significativa de la humedad. Pero cuando es precedida sólo por la corona negativa no hay efecto insignificante. Así, por ejemplo, bajo un impulso tipo rayo se muestra un efecto máximo de la humedad cuando ocurre una descarga disruptiva en el espinterómetro punta-placa positiva, pero no se muestra ningún efecto él en negativo.

Los efectos de la humedad en la descarga han sido estudiados ampliamente y han llevado a realizar un procedimiento de corrección en el cual se usan las curvas IEC mostradas en la Figura 3.3. En éstas k es un factor por el cual debe multiplicarse una tensión de descarga disruptiva a una humedad normal h de 11 g/m^3 para estimar su valor en cualquier otra humedad. Cabe denotar que en el eje de las abscisas se representa h/δ , dónde δ es la densidad relativa del aire. Esto surge por el hecho de que una presión parcial de vapor de agua dada genera una proporción variante de la humedad del aire.

Bajo un impulso tipo rayo de polaridad positiva la descarga disruptiva es determinada por el gradiente de descarga y éste es reflejado en la expresión para k en la cual la tasa de cambio para la tensión de impulso es de 0.01 o 1% por g/m^3 . El procedimiento de corrección se lleva a cabo muy bien en este caso.

Bajo tensiones de corriente continua la descarga disruptiva es determinada por su crecimiento y el procedimiento de corrección se lleva a cabo muy bien con una tasa de cambio del valor de k de 0.014 o 1,4% por g/m^3 . Esto tiene una limitación importante para separaciones por el orden de un (1) m o mayor y para humedades de aproximadamente 13 g/m^3 . En este caso la linealidad entre la tensión de descarga y el espacio entre los electrodos

desaparece y de nuevo es aconsejable verificar la influencia de la humedad por las pruebas prácticas dónde sea posible.

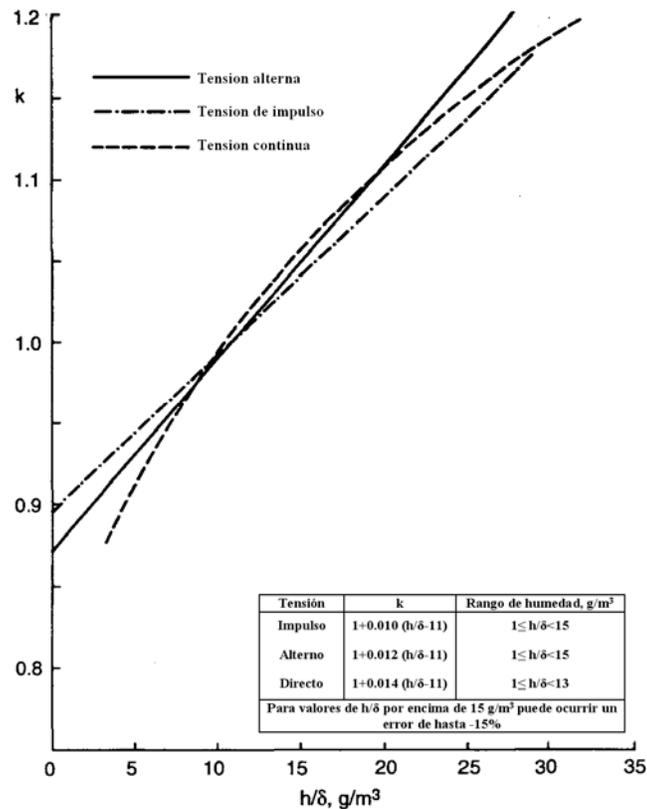


Figura 3.3. Curvas IEC y expresiones utilizadas para los procedimientos de corrección por humedad

Bajo tensiones de corriente alterna la aplicación de los procedimientos de corrección es más complejo y se ha demostrado que en valores de humedad moderados, alrededor de 13 g/m³, la tensión de descarga disruptiva puede tornarse variable.

Para la consideración de las condiciones atmosféricas se han desarrollado valiosos estudios y trabajos experimentales en los cuales han quedado bien definidas las formas en la que influye cada uno de los factores señalados. Por ejemplo los efectos de la densidad (temperatura y presión) y la humedad se han representado por dos (2) factores señalados en las ecuaciones 3.5 y con los factores de la tabla 3.1 es posible obtener los factores de corrección.

$$Kd = \left(\frac{P}{P_0} \right)^m \left(\frac{273 + t_0}{273 + t} \right)^n \quad (3.5)$$

$$Kh = (K)^w$$

Tabla 3.1. Factores de corrección por condiciones atmosféricas

| Tipo de tensión | Configuración de los electrodos | Polaridad | Densidad del aire (m y n) | Corrección por humedad | |
|-------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------|------------------------|--------------|
| | | | | Factor k | Exponente w |
| Tensión alterna | | - | 1 | Ver fig. 6.1 | 0 |
| | | - | Ver fig. 6.2 | Ver fig. 6.1 | Ver fig. 6.2 |
| | | - | Ver fig. 6.2 | Ver fig. 6.1 | Ver fig. 6.2 |
| Impulso tipo rayo | | ± | 1 | Ver fig. 6.1 | 0 0 |
| | | ± | 1 | Ver fig. 6.1 | 1.0 0.8 |
| | | ± | 1 | Ver fig. 6.1 | 1.0 0 |

De igual forma se han desarrollado expresiones experimentales como la que se muestra en la ecuación 3.6.

$$V_c = 24.4(\delta)(d) + 7.5\sqrt{6d} \quad (3.6)$$

Donde:

V_c : Tensión de ruptura (V)

δ : Densidad relativa del aire (g/m^3).

d : Separación entre electrodos (mm).

Considerando las consideraciones y las conclusiones obtenidas se han desarrollado trabajos experimentales muy simples donde es posible observar el efecto de la uniformidad del campo sobre la tensión de ruptura. En este caso se parte de la definición de la eficiencia (N) del campo para diversas configuraciones o del factor de configuración (f), ecuación 3.7 o 3.8, respectivamente.

$$N = \frac{E_{\text{medio}}}{E_{\text{máximo}}} \quad (3.7)$$

$$f = \frac{1}{N} = \frac{E_{\text{máximo}}}{E_{\text{medio}}} \quad (3.8)$$

Si $f \approx 1$ se considera campo uniforme; para $f \approx 3$ se considera campo medianamente uniforme y para $f > 3$ se considera campo poco uniforme.

4. EQUIPOS A UTILIZAR

- Sistema de prueba de tensión alterna.
- Espinterómetros de 12.5 cm con disposición vertical.
- Espinterómetros de 6.25 cm con disposición vertical.
- Diferentes tipos de electrodos.

5. EXPERIMENTOS

5.1 EXPERIMENTO No. 1. Acondicionamiento de las instalaciones:

1. Instale el sistema de prueba de tensión alterna según se muestra en la figura 3.4.
2. Prepare la instalación y compruebe su funcionamiento.
3. Revise el cumplimiento de las normas de protección.

5.2 EXPERIMENTO No.2. Obtención de la rigidez dieléctrica para electrodos esféricos de 12.5 cm.

1. Revise la calibración de cero (0) en la separación entre electrodos.
2. Anote las condiciones de presión y temperatura.
3. Separe los electrodos una distancia de 10 mm y aplique tensión hasta que se produzca la ruptura. Anote el valor de tensión. Repita la operación hasta obtener tres (3) lecturas confiables. El valor de tensión de ruptura será el valor medido promedio.
4. Proceda a separar los electrodos hasta 15 mm y repita lo señalado en el punto 3.
5. Proceda a separar los electrodos hasta 20, 30 y 40 mm y repita lo señalado en el punto 3.
6. Anote sus resultados en la Tabla 3.2.

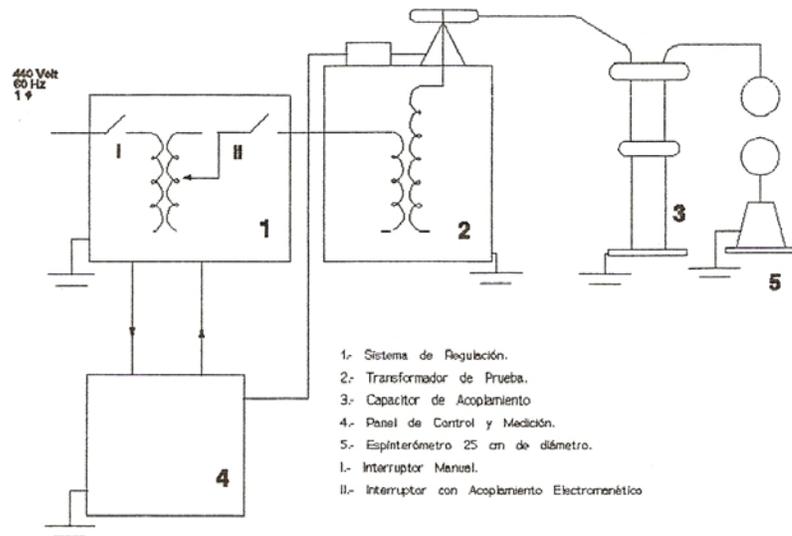


Figura 3.4. Conexión de las Fuentes durante los ensayos.

5.2 EXPERIMENTO No.2. Obtención de la rigidez dieléctrica para electrodos esféricos de 6.5 cm.

1. Revise la calibración de cero (0) en la separación entre electrodos.
2. Anote las condiciones de presión y temperatura.
3. Separe los electrodos una distancia de 10 mm y aplique tensión hasta que se produzca la ruptura. Anote el valor de tensión. Repita la operación hasta obtener tres (3) lecturas confiables. El valor de tensión de ruptura será el valor medido promedio.
4. Proceda a separar los electrodos hasta 15 mm y repita lo señalado en el punto 3.
5. Proceda a separar los electrodos hasta 20, 30 y 40 mm y repita lo señalado en el punto 3.
6. Anote sus resultados en la Tabla 3.2.

5.3 EXPERIMENTO No.3. Obtención de la rigidez dieléctrica para electrodos semiesféricos.

1. Sitúe los electrodos señalados en el sistema de prueba y verifique la posición de cero.
2. Sitúe una separación de 10 mm entre los electrodos y proceda a elevar tensión hasta alcanzar la ruptura del aire. Anote la tensión alcanzada. Repita el procedimiento hasta alcanzar tres (3) lecturas. La Tensión de ruptura será el valor promedio.

3. Sitúe una separación sucesiva de 15, 20, 30 y 40 mm y proceda a repetir lo señalado en el punto 2.
4. Anote sus resultados en la Tabla 3.2.

5.4.- EXPERIMENTO No.4. Obtención de la rigidez dieléctrica para electrodos punta-placa con el plano conectado a tierra.

1. Sitúe los electrodos señalados en el sistema de prueba y verifique la posición de cero (0).
2. Sitúe una separación de 10 mm entre los electrodos y proceda a elevar tensión hasta alcanzar la ruptura del aire. Anote la tensión alcanzada. Repita el procedimiento hasta alcanzar tres (3) lecturas. La Tensión de ruptura será el valor promedio.
3. Sitúe una separación sucesiva de 15, 20, 30 y 40 mm y proceda a repetir lo señalado en el punto 2.
4. Anote sus resultados en la Tabla 3.2.

6. RESULTADO DE LOS EXPERIMENTOS.

6.1. Presentación del Informe.

- Nombre y N° de C.I de los integrantes del grupo.
- Fecha de realización de la práctica.
- Condiciones ambientales al inicio y final de la práctica.
- Presente todos los resultados en forma de tablas.
- Determine las posibles variaciones que introduce la temperatura y humedad. Realice las correcciones necesarias.
- Dibuje las características de tensión de ruptura contra distancia.
- Determine la rigidez dieléctrica del aire para cada una de las configuraciones de los electrodos.
- Determine el factor de configuración de cada configuración considerando los electrodos esféricos de 12.5 cm como campo uniforme.

Tabla 4.2. Resultados.

| Tipo de Electrodo | Separación (mm) | Tensión 1 (kV) | Tensión 2 (kV) | Tensión 3 (kV) | Tensión Promedio (kV) |
|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Electrodos esféricos de 12.5 cm | 10 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 20 | | | | |
| | 30 | | | | |
| | 40 | | | | |
| Electrodos esféricos de 6.25 cm | 10 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 20 | | | | |
| | 30 | | | | |
| | 40 | | | | |
| Electrodos semiesféricos | 10 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 20 | | | | |
| | 30 | | | | |
| | 40 | | | | |
| Electrodo punta-placa con el plano conectado a tierra | 10 | | | | |
| | 15 | | | | |
| | 20 | | | | |
| | 30 | | | | |
| | 40 | | | | |

7. Cuestionario.

1. ¿Qué es rigidez dieléctrica?
2. Sustente teóricamente porqué el valor de la rigidez dieléctrica del aire se ve afectada para diferentes tipos de electrodos.
3. ¿Por qué viene aunado a la rapidez de la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire a la forma del electrodo?

4. ¿Cree usted que la temperatura y presión influyen en los experimentos realizados anteriormente, explique?
5. Indique para que elementos o componentes eléctricos se emplea el aire como aislante.
6. ¿Cree usted que usando otro tipo de aislante diferente al aire (como el aceite, papel, cartón, resina y otros) se ven afectadas las dimensiones del dispositivo?
7. ¿Por qué cree usted que para pruebas de impulso de polaridad positiva y negativa sus valores son diferentes y que tiene que ver con la configuración de los electrodos?