



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CAMPUS ARAGÓN**

**COMPARATIVO DE AISLADORES  
PARA ALTA TENSIÓN EN UNA RED  
ELÉCTRICA**

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECANICO ELECTRICO  
AREA: ELECTRICA ELECTRONICA**

**P R E S E N T A**

Alvarado Vega José Carlos  
González Castro Omar

**ASESOR: ING. ABEL VERDE CRUZ**

**SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO**

**2012**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.



# Índice

---

## Introducción

### **Tema 1 - Clasificación y conceptos básicos sobre los aisladores más comunes**

1.1-	Aisladores eléctricos	4-5
1.2-	Cualidades específicas que deben cumplir los aisladores	6-7
1.3-	Características de los aisladores	7-11
1.4-	Funciones de los aisladores	12
1.5-	Materiales empleados en los aisladores	13-14
1.6-	Tipos de aisladores	15-18
1.7-	Especificaciones para aisladores	19-20
1.8-	Criterios de selección de aisladores	21-25

### **Tema 2 - Estudio dieléctrico para aisladores**

2.1-	Pruebas de aisladores	27-29
2.2-	Pruebas de prototipo	30-31
2.3-	Pruebas de flameo	32-33
2.4-	Pruebas de rutina	34
2.5-	Relación de impulso	35
2.6-	Dispositivos de protección	36-38

### **Tema 3 - Comparativo de los aisladores y su aplicación**

3.1-	Clasificación de aisladores eléctricos	40-42
3.2-	Nuevas tendencias en el uso de aisladores en sistemas de transmisión de energía eléctrica	42-45

3.3-	¿Qué es la resina epóxica?	46-50
3.4-	Diferentes aplicaciones de los aisladores eléctricos	51-54
3.5-	Efecto de la contaminación en los aisladores	55-57
3.6-	La contaminación en aislamientos externos	58
3.7-	Proceso de la contaminación en aislamientos eléctricos	59-60
3.8-	Tipos de contaminación	61-62
3.9-	Flameo en aisladores contaminados	63-66
3.10-	Efectos de los depósitos contaminantes sobre el aislamiento	67-68

## **Tema 4 - Aplicaciones a una red eléctrica**

4.1-	Ejercicios para el cálculo de aisladores	70-89
------	--	-------

<b>Conclusión</b>	90
-------------------	----

<b>Bibliografía</b>	91-92
---------------------	-------

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar un trabajo arduo y con algunas dificultades como el desarrollo de una tesis es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, el análisis objetivo te muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial primero que nada a Dios porque sin el consentimiento de él nada es posible y porque gracias a él estuve en una gran institución como lo es la UNAM, al Ingeniero Abel Verde Cruz por aceptarnos para realizar esta tesis bajo su dirección. Su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como ingeniero. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del trabajo que se ha realizado, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación. Le agradezco también el habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias Ingeniero Abel Verde Cruz.

También agradezco a mi compañero José Carlos Alvarado Vega mi compañero, amigo y colaborador de este trabajo de tesis por aceptar trabajar en conjunto en la misma. Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a mi papá, a mi mamá y a mi hermano que sin su apoyo moral nada de esto hubiera sido posible ya que cuando se me presentaban adversidades académicas ellos siempre me alentaban para seguir adelante, gracias familia sólo quiero que sepan una cosa más: esta carrera y este trabajo se ha concluido por que ustedes son mi fuerza y motivación para seguir adelante.

OMAR GONZÁLEZ CASTRO

## **AGRADECIMIENTO**

El finalizar este trabajo de tesis me llena de mucha emoción y dicha, concluir mi carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en una de las mejores instituciones que puede existir, la UNAM, es un privilegio que no hubiera sido posible sin el apoyo de esa gente que siempre ha estado ahí para motivarme y seguir adelante, y es por eso que me gustaría agradecer a todas esas personas que me han apoyado a lo largo de mi carrera.

Agradezco la colaboración de mi amigo y compañero Omar González Castro, con quien realice esta tesis conjunta, gracias al esfuerzo de ambos conseguimos este triunfo en nuestra vida profesional. Asimismo un gran agradecimiento a mi familia, amigos, compañeros y mi novia, por siempre brindarme lo mejor de ustedes.

Le agradezco de manera particular al Ingeniero Abel Verde Cruz por habernos asesorado a lo largo de nuestro trabajo, por ofrecernos su apoyo y su disponibilidad para poder brindarnos la información y los medios necesarios, con los cuales logramos realizar esta tesis.

Concluir este trabajo es dar fin a una etapa de mi vida, que no hubiera sido posible sin el apoyo y confianza de mis héroes y símbolos de admiración, las personas más importantes de mi vida a quienes les estoy profundamente agradecido. Gracias a ustedes hoy estoy aquí logrando uno de mis mayores anhelos. Este éxito va dedicado a ti mamá y a ti papá, gracias por estar siempre conmigo y ser esa fuerza que me hace seguir adelante. Los amo.

JOSÉ CARLOS ALVARADO VEGA

## **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer las diferentes características y los diferentes tipos de materiales de los aisladores para su adecuada selección e implementación en las redes eléctricas las cuales operan bajo ciertas condiciones, como lo son las climatológicas, eléctricas y mecánicas.

## **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Conocer la clasificación y conceptos básicos sobre los aisladores más comunes
- Conocer las diferentes pruebas dieléctricas que se les realizan a los aisladores.
- Comparar las diferentes características de los aisladores así como su aplicación.
- Aplicaciones a una red eléctrica.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad es importante contar con alternativas sobre todo en el ámbito eléctrico puesto que los costos de los dispositivos en el área de potencia (alta tensión) son muy elevados, en el presente trabajo se hablará de la comparación de los diferentes tipos de aisladores cerámicos, porcelana y la alternativa que se está utilizando en la actualidad la resina epóxica. Las propiedades eléctricas y el comportamiento de los aisladores dependen principalmente de sus propiedades superficiales (como la hidrofobicidad) y de los cambios de estas propiedades debidos a la exposición a la intemperie (envejecimiento).

Asimismo, dicho comportamiento depende también de un diseño adecuado al reducir el número de interfaces donde se pueden presentar arcos y donde puede ocurrir una degradación acelerada del material. El proceso de selección de un aislador para una aplicación particular debe incluir un análisis de los materiales disponibles, de la experiencia operativa, del dimensionamiento de su longitud y distancia de fuga, de los resultados de pruebas de envejecimiento acelerado y de las condiciones bajo las cuales va a operar.

Los aisladores no sólo deben tener resistencia mecánica suficiente para soportar con amplio margen las cargas debidas al hielo y al viento que puedan esperarse razonablemente, sino que deben ser construidos de manera que puedan resistir condiciones mecánicas muy severas, descargas atmosféricas y arcos alimentados por la corriente de servicio, sin dejar caer el conductor. La producción de arcos por contorno del aislador debe ser evitada en todos los casos, con la sola excepción del rayo, cualquiera que sean las condiciones de humedad, temperatura, lluvia o nieve, y con la cantidad de polvo que habitualmente se acumula hasta ser limpiada por las lluvias.

En general el aislamiento de una línea se logra por medio de los aisladores simples, o por medio de cadenas de aisladores. En los primeros, el conductor se apoya y fija sobre el mismo aislador, empleándose este modelo para tensiones bajas y medias.

Pero en los sistemas de alta tensión, es necesario hacer una cadena con aisladores campana. Se compone de una pieza de porcelana o vidrio templado, con adecuadas piezas metálicas que permiten el empalme, para 132kv y suspensión simple, es suficiente armar una cadena de 9 aisladores, para 33 kV. Alcanza una cadena de 3 aisladores; para tensiones muy altas, de 500 KV vemos cadenas de hasta 25 aisladores. Esta cantidad depende de si la cadena es de suspensión o de tensión y otros detalles. Las dimensiones y forma del aislador, dependen de la tensión límite que puede soportar, sin que se forme un arco en su superficie, alcanzando ambos extremos.

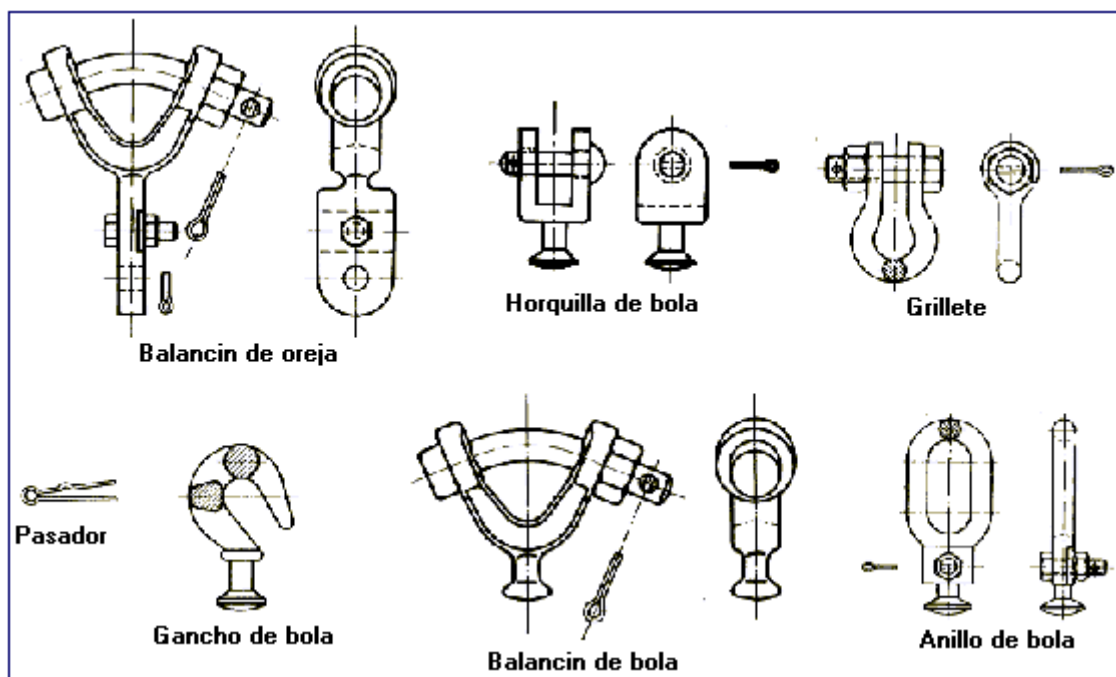
# Tema 1

## Clasificación y conceptos básicos sobre los aisladores más comunes

## I.1 AISLADORES ELÉCTRICOS

Los conductores empleados en líneas aéreas, en la mayor parte de los casos, son desnudos; por lo tanto, se necesita aislarlos de los soportes por medio de aisladores, fabricados generalmente de porcelana o vidrio. La sujeción del aislador al poste, se realiza por medio de herrajes. Pero además, un aislador debe tener las características mecánicas necesarias para soportar los esfuerzos a tracción o compresión a los que está sometido.

Su finalidad consiste en aislar eléctricamente el conductor de la línea de apoyo que lo soporta, al emplearse los conductores, se precisa que los aisladores posean buenas propiedades dieléctricas ya que la misión fundamental de este es evitar el paso de la corriente del conductor hacia tierra. La unión de los conductores con los aisladores y de estos con los apoyos se efectúa mediante piezas metálicas denominadas herrajes.



El paso de la corriente del conductor al apoyo puede producirse por las causas siguientes:

- **Por conductividad del material:** es decir a través de la masa del aislador. Para evitar esto se emplean materiales cuya corriente de fuga es despreciable (Ej.: Vidrio, porcelana, polímeros.)
- **Por conductividad superficial:** se produce cuando una corriente de fuga contornea la parte exterior del aislador por aumento de la conductividad, esto es ocasionado por haberse depositado en la superficie del aislador una capa de polvo o humedad.

Esta conductividad recibe el nombre de efecto corona y suele reducirse dando un perfil adecuado a la superficie del aislador.

- **Por perforación de la masa del aislador:** al ser muy difícil mantener la uniformidad dieléctrica de un material en toda su masa, existe el peligro de que se perfora el aislador, sobre todo si el espesor es grande. Por ello, los aisladores suelen fabricarse en varias piezas de pequeño espesor unidas por una pasta especial.
- **Por descarga disruptiva a través del aire:** puede producirse un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica a veces no es suficiente para evitar la descarga. Esto suele ocurrir con la lluvia, debido a la ionización del aire, y se puede evitar con un diseño adecuado para aisladores de intemperie, tratando de aumentar la distancia entre aislador y soporte de forma que la tensión necesaria para la formación del arco en el aire sea mayor.

## **1.2 CUALIDADES ESPECÍFICAS QUE DEBEN CUMPLIR LOS AISLADORES**

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, las cualidades específicas que deben cumplir los aisladores son:

- Rigidez dieléctrica suficiente para que la tensión de perforación sea lo más elevada posible. Esta rigidez depende de la calidad del vidrio o porcelana y del grosor del aislador. La tensión de perforación es la tensión con la cual se puede producir el arco a través de la masa del aislador.
- Disposición adecuada, de forma que la tensión de contorneamiento presente valores elevados y por consiguiente no se produzcan descargas de contorno entre los conductores y el apoyo, a través de los aisladores. La tensión de contorneamiento es la tensión con la cual se puede producir el arco a través del aire, siguiendo la mínima distancia entre fase y tierra, es decir, el contorno del aislador. Esta distancia se llama línea de fuga.
- Resistencia mecánica adecuada para soportar los esfuerzos demandados por el conductor, por lo que la carga de rotura de un aislador debe ser por lo menos igual a la del conductor que tenga que soportar.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.
- Ausencia de envejecimiento.

Los aisladores son, de todos los elementos de la línea, aquellos en los que se pondrá el máximo cuidado, tanto en su elección, como en su control de recepción, colocación y vigilancia en explotación. En efecto, frágiles por naturaleza, se ven sometidos a esfuerzos combinados, mecánicos, eléctricos y térmicos, colaborando todos ellos a su destrucción.

## **1.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES**

### **Características mecánicas**

Los aisladores de cadena deben soportar solo cierta tracción 7000, 16000 o más Kg., los aisladores rígidos deben soportar cierta compresión, y/o cierta flexión. Los ensayos de características mecánicas se hacen con sollicitación eléctrica simultánea, al estar sometidos a las inclemencias del tiempo una característica muy importante es la resistencia al choque térmico (que simula el pasar del pleno sol a la lluvia), también por los sitios donde se instalan, los aisladores son sometidos a actos vandálicos (tiros con armas, proyectiles pétreos o metálicos arrojados), es entonces importante cierta resistencia al impacto.

Frente a estas sollicitaciones el comportamiento de los tres tipos de materiales es totalmente distinto, el vidrio puede estallar, siendo una característica muy importante que la cadena no se corte por este motivo.

La porcelana se rompe perdiendo algún trozo pero generalmente mantiene la integridad de su cuerpo, mecánicamente no pierde características, solo son afectadas sus características eléctricas.

### **Características eléctricas**

Los aisladores deben soportar tensión de frecuencia industrial e impulso (de maniobra y/o atmosféricos), tanto en seco como bajo lluvia, influyen en la tensión resistida la forma de los electrodos extremos del aislador. Una característica importante es la radió interferencia, ligada a la forma del aislador, a su terminación superficial, y a los electrodos (herrajes), en las cadenas de

## Clasificación y conceptos básicos sobre los aisladores más comunes

aisladores, especialmente cuando el número de elementos es elevado la repartición de la tensión debe ser controlada con electrodos adecuados, o al menos cuidadosamente estudiada a fin de verificar que en el extremo crítico las sollicitaciones que se presentan sean correctamente soportadas. La geometría del perfil de los aisladores tiene mucha importancia en su buen comportamiento en condiciones normales, bajo lluvia, y en condiciones de contaminación salina que se presentan en las aplicaciones reales cerca del mar o desiertos, o contaminación de polvos cerca de zonas industriales.





## Tipos de daños que sufren los aisladores



Penetración de humedad en la interface núcleo – polímero



Arcos eléctricos sobre la superficie del aislador



Acción de los agentes biológicos



Acción de las aves a los aisladores de polímero



Acción de la corrosión



Destrucción del recubrimiento aislante por esfuerzos mecánicos

## 1.4 FUNCIONES DE LOS AISLADORES

- Los aisladores cumplen la función de sujetar mecánicamente el conductor manteniéndolo aislado de tierra y de otros conductores.
- Deben soportar la carga mecánica que el conductor transmite a la torre a través de ellos.
- Deben aislar eléctricamente el conductor de la torre, soportando la tensión en condiciones normales y anormales, y sobretensiones hasta las máximas previstas (que los estudios de coordinación del aislamiento definen con cierta probabilidad de ocurrencia).
- La tensión debe ser soportada tanto por el material aislante propiamente dicho, como por su superficie y el aire que rodea al aislador.
- La falla eléctrica del aire se llama contorneo, y el aislador se proyecta para que esta falla sea mucho más probable que la perforación del aislante sólido. Surge la importancia del diseño, de la geometría para que en particular no se presenten en el cuerpo del aislador campos intensos que inicien una crisis del sólido aislante.



## **1.5 MATERIALES EMPLEADOS EN LOS AISLADORES**

Los aisladores pueden ser de acuerdo al material de fabricación, de porcelana vidriada, o vidrio templado.

Los aisladores de porcelana vidriada por lo general contienen un 50% de caolín, 25% de feldespatos y 25% de cuarzo, la porcelana debe ser moldeada por los procedimientos en húmedo, homogénea, compacta sin porosidad y toda la superficie después de armado debe ser vitrificada.

(La resistencia dieléctrica de los aisladores de porcelana es del orden de 60 a 70 KV pico/ cm y su resistencia mecánica varía de 40, 000 a 65, 000 Lbs/ pulg<sup>2</sup> a la compresión y 1500 a 12, 500 lbs/ pulg<sup>2</sup> a la tensión dependiendo de la composición.)

Los aisladores de vidrio tienen una resistencia dieléctrica del orden de 140 KV pico/ cm. Estos aisladores son mecánicamente más fuertes que los de porcelana a la compresión y tienen aproximadamente la misma resistencia mecánica a la tensión que la porcelana.

### **Aisladores de porcelana**

Su estructura debe ser homogénea y para dificultar las adherencias de la humedad y polvo, la superficie exterior está recubierta por una capa de esmalte. Están fabricados con caolín y cuarzo de primera calidad.

### **Aisladores de vidrio**

Están fabricados por una mezcla de arena silíceo y de arena calcárea. El material es más barato que la porcelana, pero tienen un coeficiente de dilatación muy alto, que limita su aplicación en lugares con cambios grandes de temperatura; la resistencia al choque es menor que en la porcelana. Sin

embargo, debido a que el costo es más reducido y su transparencia facilita el control visual, hacen que sustituyan en muchos casos a los de porcelana.

### **Aisladores de resinas epóxicas**

Se emplean cuando han de soportar grandes esfuerzos mecánicos, debido a que su resistencia mecánica es aproximadamente el doble que los de porcelana, y sus propiedades aislantes también son superiores; sin embargo, el inconveniente es que tienen mayor costo.



## 1.6 TIPOS DE AISLADORES

Por su construcción los aisladores pueden ser:

- Tipo alfiler
- Tipo suspensión.
  
- Aisladores tipo alfiler.

Los aisladores tipo alfiler se encuentran fijados por medio de un perno o alfiler que está sujeto a su vez a la cruceta en el poste o a la estructura (torre). Por lo general se requiere que la porcelana no esté en contacto directo con el alfiler ya que este está construido de un material duro, por lo que se recubre la rosca con una capa de metal suave.

Aun este tipo de aisladores se construye para ser usado en forma múltiple para unidades grandes y en tensiones hasta de 33KV por unidad, para tensiones mayores puede resultar antieconómico su uso en virtud de que el costo se incrementa rápidamente a medida que la tensión aumenta, siendo proporcional al voltaje  $X$  donde  $X$  es mayor que dos.

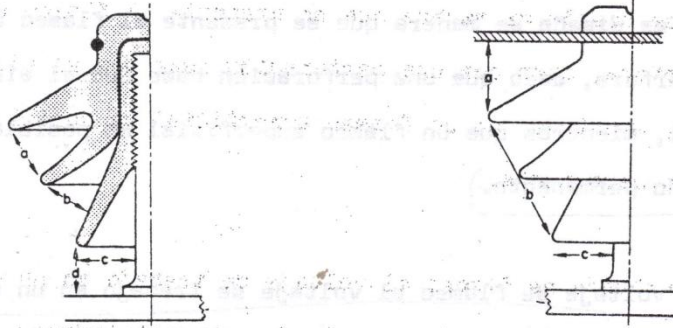
La porcelana debe ser lo suficientemente gruesa entre el conductor de la línea y el alfiler con el objetivo de tener un factor de seguridad arriba de 10 contra posibles perforaciones, de cualquier forma, el aislador se diseña de manera que se presente el flameo antes de que se perfora, dado que una perforación hace que el aislador quede inútil, mientras que un flameo superficial es posible que no cause daño permanente.

La relación del voltaje de flameo al voltaje de trabajo en un aislador se conoce como el factor de seguridad y para aisladores tipo alfiler es mucho mayor para bajos voltajes que para altos.

Con un aislador húmedo la superficie superior de las piezas o “Campanas” como se llaman frecuentemente, no tienen valor aislante y pueden conducir si

## Clasificación y conceptos básicos sobre los aisladores más comunes

existe agua o depósitos de suciedad, por lo que la distancia total de arqueo es la suma de las distancias cortas del extremo de una campana al punto más cercano sobre la campana inferior más próxima.



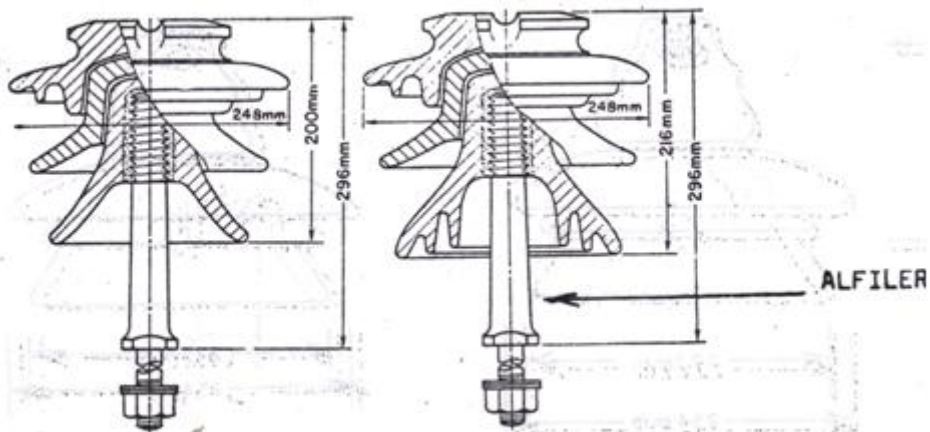
(a)

(b)

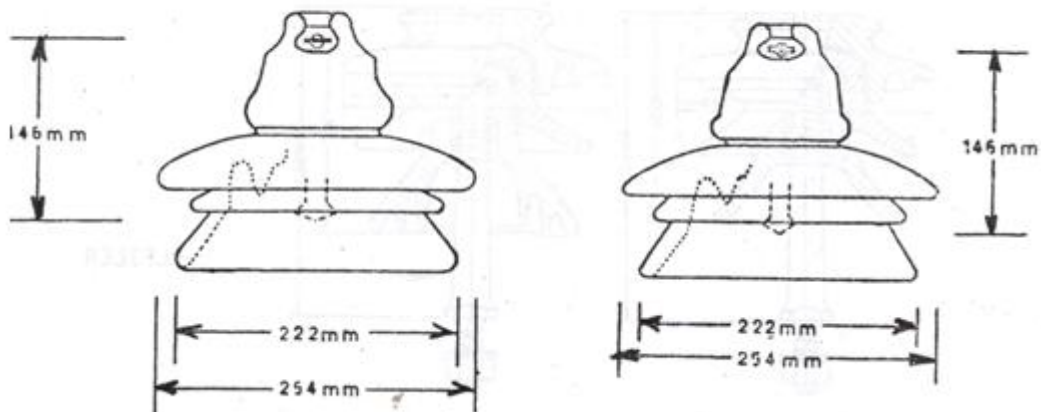
DISTANCIA DE FLAMEO EN HUMEDO

DISTANCIA DE FLAMEO EN SECO

### AISLADOR TIPO ALFILER



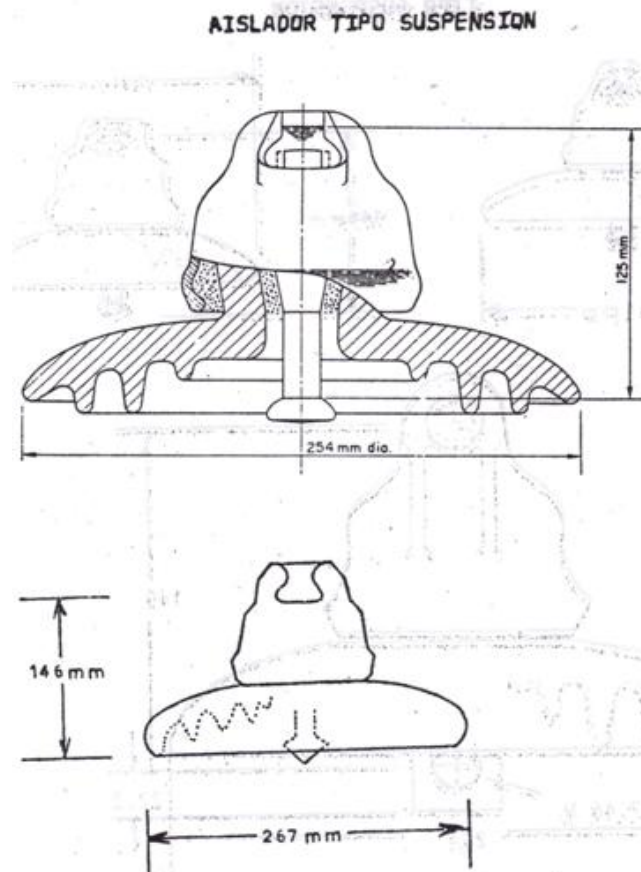
### DIMENSIONES GENERALES DE AISLADORES TIPO ALFILER





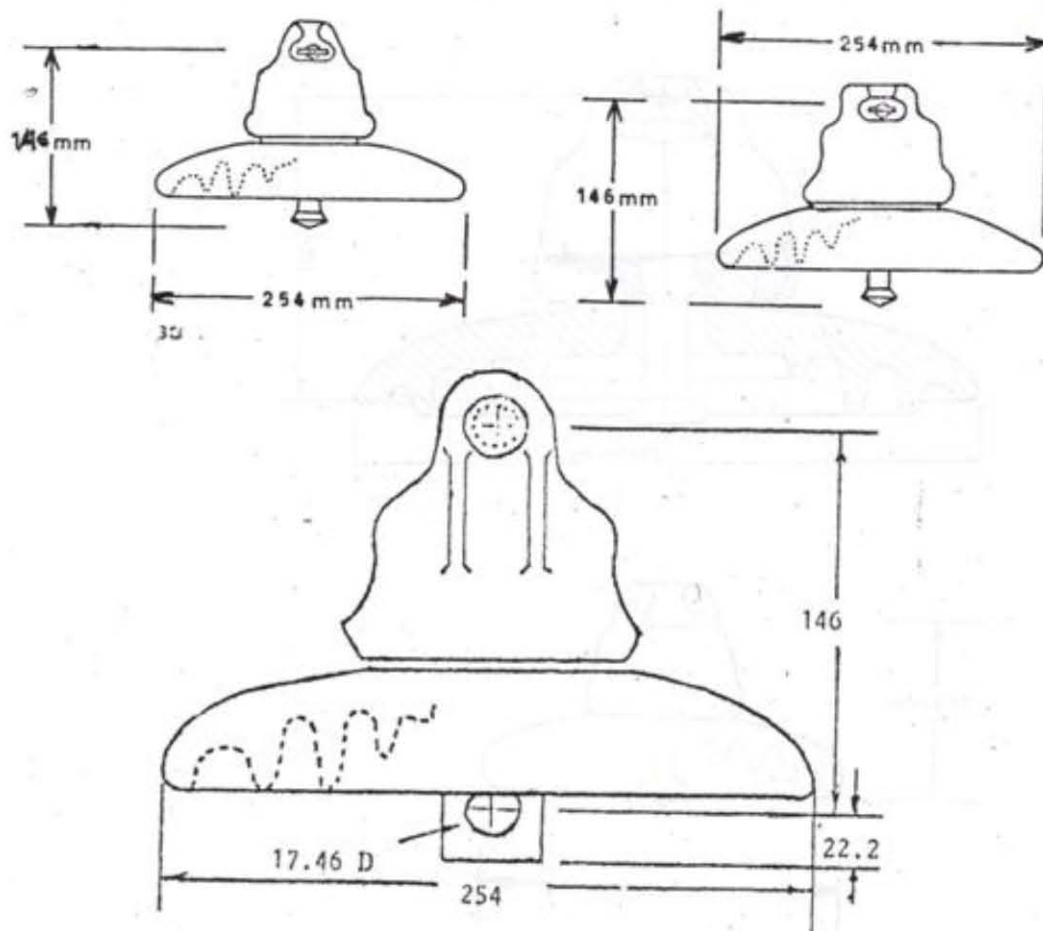
### ➤ Aisladores tipo suspensión.

A medida que las tensiones de operación aumentan el costo de los aisladores tipo alfiler aumentan. Por esta razón las líneas de transmisión de alta tensión se aíslan como aisladores tipo suspensión, en cuyo caso como su nombre lo indica el conductor se suspende debajo del soporte por medio del aislador o aisladores



DIMENSIONES GENERALES DE AISLADORES

TIPO SUSPENSION



## **1.7 ESPECIFICACIONES PARA AISLADORES**

### **🌿 Especificaciones para aisladores tipo suspensión.**

En general el pedido de un aislador se debe hacer en base a las siguientes especificaciones mínimas:

a) Características físicas.

- Espaciamiento (altura) en mm.
- Diámetro en mm
- Peso neto en Kg

b) Características eléctricas.

- Distancia en fuga en mm
- Distancia en flameo en seco en mm
- Tensión de flameo en seco a la frecuencia nominal (KV)
- Tensión de flameo en húmedo a la frecuencia nominal (KV)
- Tensión de flameo al impulso positivo en KV
- Tensión en flameo al impulso negativo en KV
- Tensión de perforación a la frecuencia nominal en KV
- Tensión en Radio Interferencial a KHZ en MV

c) Características mecánicas.

- Resistencia a la tensión mecánica en Kg
- Resistencia al impacto Kg-m
- Resistencia electromecánica combinada Kg

### **Especificaciones para aisladores tipo alfiler.**

#### Dimensiones

Distancia de fuga en mm

Distancia de flameo en seco en mm

Altura mínima del alfiler

#### Eléctricas

Flameo en seco a baja frecuencia KV

Flameo en húmedo a baja frecuencia KV

Flameo a impulso positivo KV

Flameo a impulso negativo KV

Tensión de perforación a baja frecuencia KV

Tensión de radio interferencia a 1000 KHZ MV

#### Mecánicas

Resistencia en Cantiliver Kg.

## **I.8 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE AISLADORES**

### **✿ SELECCIÓN Y APLICACIÓN**

La selección y aplicación de los aisladores depende de las necesidades específicas de los sistemas en los que se pretende utilizarlos, y dependiendo del medio en el cual van a operar los aisladores, su adecuada elección permitirá asegurar un perfecto funcionamiento.

Entre las variables importantes a considerar en la selección y aplicación deben tenerse en cuenta: La importancia del área servida, el voltaje de operación, las zonas geográficas atravesadas por la línea, las cargas mecánicas estáticas y dinámicas, las condiciones de contaminación de la zona, las condiciones de humedad relativa del medio, el nivel de descargas atmosféricas o nivel isocerámico de la zona, el nivel de radio - ruido admitido en la zona donde se construirá la línea, etc.

Cada uno de estos factores se debe analizar cuidadosamente para lograr una acertada elección de los aisladores a utilizar, pues en muchos casos es importante, en vista de las características requeridas, tomar decisiones que produzcan resultados confiables y económicos a los sistemas.

### **✿ VOLTAJE DE OPERACIÓN**

El voltaje de operación de los aisladores siempre es el voltaje de fase del sistema y con base en este valor, se pueden seleccionar los voltajes de flameo de baja frecuencia en húmedo.

### **✿ SOBRETENSIONES POR OPERACIONES INTERNAS**

Si se tiene en cuenta que en las redes actuales las sobretensiones que se originan por operaciones internas de las mismas cuando más pueden llegar a

3.5 veces la tensión de servicio, una pieza cuyo voltaje de flameo en húmedo sea mayor de 4 veces la tensión de servicio (fase), garantizará que en condiciones de disturbios internos de la red no producirá flameo.

### **SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO PROVENIENTES DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Fuera de los disturbios debidos a las operaciones normales, la línea está sometida a las sobretensiones de origen externo provenientes de las descargas atmosféricas, bien sea en forma directa o por inducción.

La instalación de cables de guarda en las líneas de transmisión, ha producido un medio excelente de protección contra descargas atmosféricas directas en los conductores que, si bien no se eliminan por completo, se reducen en forma considerable.

La magnitud de las sobretensiones externas a que estará sometido el aislamiento, depende de la rapidez con que las estructuras de las torres o las puestas a tierra, sean capaces de evacuar la inyección de corriente que originan las ondas de impulso de las descargas atmosféricas. La capacidad de las estructuras para llevar a cabo esta función depende, desde luego, de varios factores tales como la resistencia de dispersión, el medio de conexión a tierra, etc. A este respecto y en el cálculo del aislamiento, es necesario tener en cuenta los datos del nivel isocerámico de la zona correspondiente, datos que reflejan con un buen grado de aproximación el número de descargas atmosféricas que se puede esperar afecten la línea en un determinado período (ej: un año).

Se determina el nivel de aislamiento de la línea y se investiga, de acuerdo con sus características, la corriente que produciría (en una descarga), la sollicitación de voltaje predeterminada.

Luego se investiga en registros estadísticos existentes, la probabilidad de que una descarga atmosférica exceda del valor en amperios calculado.

El valor de esta probabilidad y el valor de la probabilidad de que la línea sea alcanzada por una descarga directa, pueden dar una base confiable para decidir la ventaja del nivel de aislamiento escogido. Ver boletines técnicos GAMMA No. 3, 6, 7, 9 y 13.

### ZONAS GEOGRÁFICAS - ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

Con especial cuidado se debe estudiar la zona geográfica que va a atravesar la línea bajo diseño, pues la altura sobre el nivel del mar afecta los valores de voltaje de flameo de los aisladores, en virtud de que la reducción de la presión atmosférica hace más propicias las condiciones de ionización del aire.

Para la corrección de los valores de flameo por efecto de la altura, deben consultarse los factores de corrección en las normas ANSI C29.1 e IEEE standard 4. Ver boletines técnicos GAMMA No. 6 y 7.

### CARGAS MECÁNICAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

Cada tipo de aislador posee una resistencia mecánica normalizada y para la cual ha sido diseñado. Es importante tener en cuenta que las piezas deben solicitarse con un factor de seguridad desde el punto de vista de esfuerzos mecánicos estáticos y dinámicos, si se quiere lograr un perfecto comportamiento de las mismas. En aisladores de suspensión este valor mecánico se refiere al valor de resistencia electromecánica combinada y en aisladores tipo espiga y tipo line post se refiere a su resistencia mecánica al cantilever (en voladizo).

### CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Cuando las líneas deban cruzar zonas donde las condiciones de contaminación sean un factor de peso en las consideraciones del aislamiento, debe estudiarse la posibilidad de sobreaislar la línea o utilizar aisladores con diseños especiales anti-contaminación o bien aisladores con esmaltes de

resistencia graduada (esmaltes RG). En cualquiera de los casos debe hacerse un serio estudio económico que justifique la elección final. Ver norma IEC 815 (boletines Gamma No. 34 y 35) y boletines GAMMA No. 4 y No. 17.

### **NIVIELES DE RADIO - RUIDO**

El nivel de radio-ruido admitido tiene cada vez más condiciones y es motivo de mayor cuidado por la importancia que están adquiriendo las comunicaciones y su recepción en condiciones óptimas. Los aisladores que mayor cuidado requieren para su selección, desde este punto de vista, son los aisladores tipo espiga de media y alta tensión. Es recomendable en este caso, y cuando el nivel de ruido lo requiera, utilizar aisladores cubiertos con esmaltes semiconductores, RF (Radio Freed), que reducen considerablemente los niveles de radio-interferencia y minimizan las pérdidas de energía. Ver boletín Gamma No. 33.

### **BOLETINES ANUNCIADOS**

Los boletines de GAMMA mencionados corresponden a los siguientes:

- \* Boletín No. 3 Gamma: "Características de las descargas atmosféricas y su efecto sobre las líneas de transmisión".
- \* Boletín No. 4 Gamma: "Consideraciones en la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación atmosférica".
- \* Boletines No. 6 y No. 7 Gamma: "Una metodología para el diseño del aislamiento en una línea de transmisión". Parte I y Parte II.
- \* Boletín No. 11: "Estudio de parámetros de diseño en líneas de transmisión por medio de modelos".



- \* Boletín No. 13: "Consideraciones sobre el comportamiento de las líneas de distribución ante descargas atmosféricas".
  
- \* Boletín No. 15: "Puestas a tierra de líneas de transmisión".
  
- \* Boletín No. 17: "Diseño del aislamiento bajo contaminación del segundo circuito de interconexión a 500 KV, del sistema central colombiano en la costa Atlántica.
  
- \* Boletín No. 20: "Determinación de la longitud de líneas de transmisión".
  
- \* Boletín No. 33: "Esmalte semiconductor para aisladores de baja, media y alta tensión".
  
- \* Boletín No. 34: "Guía para la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación - Primera parte".
  
- \* Boletín No. 35: "Guía para la selección de aisladores bajo condiciones de contaminación - Segunda parte".

# **Tema 2**

## **Estudio dieléctrico para aisladores**

## 2.1 PRUEBAS DE AISLADORES

Uno de los aspectos que frecuentemente es descuidado por los ingenieros de diseño de líneas de transmisión, es el conocimiento conceptual de las pruebas a las que se someten los aisladores, y a la interpretación de sus resultados, con el objeto de especificar correctamente sus características de diseño

Antes de mencionar y describir brevemente las pruebas más representativas en aisladores, es conveniente aclarar los conceptos que se mencionan, para lo cual se darán algunas definiciones dadas en la Norma del Comité, Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica (CCONNIE) publicación 8-3-1, sobre métodos de prueba en aisladores de porcelana para energía eléctrica.

➤ **Tensión sostenida a baja frecuencia.**

Es el valor eficaz (RMS) de la tensión que se puede aplicar a un aislador en condiciones específicamente, sin causas flameo o perforación sostenida en húmedo y tensión sostenida en rocío.

➤ **Tensión de perforación a baja frecuencia.**

El valor eficaz (RMS) de la tensión aplicada a un aislador bajo condiciones específicas que origina una descarga disruptiva a través de cualquier parte del aislador.

➤ **Tensión de flameo al impulso.**

La tensión de flameo al impulso de un aislador de cresta de la onda de impulso que bajo condiciones específicas produce el flameo a través del medio circundante.

### ➤ **Tensión crítica de flameo al impulso**

La tensión crítica de flameo al impulso de un aislador es el valor de cresta que la onda de impulso que bajo condiciones especificadas produce el flameo a través del medio circundante en el 50% de las aplicaciones.

Es esta definición conviene aclarar que se deben aplicar ondas positivas y negativas y en el aire para tensiones inferiores a 230 KV las criticas son las ondas positivas.

### ➤ **Tensión al impulso ( No disrruptiva)**

La tensión al impulso es el valor cresta de la onda de impulso que bajo condiciones especificadas debe reducir un aislador sin que produzca flameo o perforación del mismo. Para tal fin conviene ver la norma correspondiente a pruebas de impulso en aisladores.

### ✿ **Distancia de fuga.**

La distancia de fuga de un aislador es la suma de las distancias más cortas a lo largo de las superficies aislantes entre las partes conductoras.

### ✿ **Distancia de flameo en seco.**

La distancia de flameo en seco de un aislador es la distancia más corta medida a través del medio circundante entre las partes conductoras. En caso de existir partes metálicas conductoras intermedias, la distancia de fuga en seco es la suma de las distancias parciales medidas según se indica en la definición de distancia de fuga.

Las pruebas más comúnmente realizadas a aisladores pueden agruparse en tres categorías:

- Pruebas prototipo
- Pruebas de flameo
- Pruebas de rutina.

Las pruebas prototipo por lo general se hacen para probar la calidad del producto de los fabricantes, las pruebas de flameo normalmente se hacen para hacer correcciones al diseño y las pruebas de rutina se hacen en todos los aisladores cuyos prototipos han sido aceptados.

## 2.2 PRUEBAS DE PROTOTIPO

Dentro de estas pruebas se pueden mencionar como más importante las siguientes:

### ► **Prueba de ciclo térmico (Shock térmico)**

En esta prueba el aislador se sujeta tres veces a un ciclo de temperatura, como sigue; inmersión por un tiempo T minutos en un baño de agua a una temperatura no menor de 70°C sobre la temperatura del agua, se seca y se vuelve a sumergir de manera inmediata en agua a temperatura ambiente. Se seca por T minutos y se vuelve a repetir el proceso hasta terminar el ciclo.

El tiempo T se calcula de acuerdo con la expresión:

$$T = \left(15 + \frac{W}{1.36}\right)$$

Donde W= peso del aislador en kg

El aislador pasa la prueba si al completar el ciclo no se daña la porcelana o el recubrimiento externo.

### ► **Prueba mecánica**

Se trata de una prueba de flexión en la cual para los aisladores tipo suspensión se aplica una carga de dos veces la máxima carga de ruptura especificada por los fabricantes durante un minuto, no se deben presentar daños en el aislador, la deflexión permanente debe ser menor del 1%.

### ► **Prueba electromecánica**

Esta prueba solo se aplica a aisladores de tipo suspensión o tensión únicamente. Consiste en someter al aislador a un esfuerzo mecánico de 2.5 veces la máxima carga de trabajo especificada por los fabricantes, durante un minuto y aplicando simultáneamente el 75 % de la tensión de flameo.

El aislador pasa la prueba si al terminarla no presenta flámeos (manchas en su superficie) y desgaste en su superficie exterior.

### ► **Prueba de perforación**

Esta prueba en el caso de aisladores tipo suspensión, se aplica una tensión entre la lámina y entre las uniones metálicas que sostienen el aislador.

En esta prueba el aislador debe estar completamente sumergido en aceite aislante en un cuarto que tenga la temperatura controlada, elevando la temperatura rápidamente como lo indica la norma correspondiente, el aislador no debe sufrir daños y/o perforación para aprobar la prueba.

Como una alternativa se puede aplicar una prueba de sobretensión de impulso y en este caso el aislador se arregla como para una prueba de flameo en aire y se aplica una onda de 1.2/50  $\mu$ s negativa con un valor de dos veces la onda de impulso de flameo del 50% de la tensión de flameo, se deben de aplicar veinte de estos impulsos al aislador en cuestión; el procedimiento se debe de repetir para tensiones prospectivas de 2.5, 3 y 3.5 la tensión de flameo del 50% y continuar hasta que el aislador se perfora o se llegue al límite de capacidad del generador de impulsos, el aislador pasa la prueba si no se perfora.

## 2.3 PRUEBAS DE FLAMEO

Entre las pruebas de flameo más importantes se pueden mencionar las siguientes:

### ► **Prueba de flameo al 50% de la tensión de impulso**

Esta prueba se debe hacer sobre un aislador limpio montado en forma normal como lo indica la norma y el generador de impulsos debe aplicar una onda normalizada de 1.2/50  $\mu$ s de una amplitud tal que el 50% de los impulsos aplicados causen fláneos, se invierte la polaridad de las ondas aplicadas y se repite la prueba. Se deben aplicar por lo menos una serie de veinte ondas de impulso en cada impulso y el aislador no debe presentar daño alguno para pasar dicha prueba.

### ► **Prueba de tensión permisible al impulso (prueba de BIL)**

Pruebas de aislamiento, existen dos tipos de pruebas: la prueba de baja frecuencia y la de BIL. La prueba de BIL, está basada en un impulso de sobrevoltaje de gran magnitud en un pequeño intervalo de tiempo, siendo el máximo valor de aislamiento que debe existir sin que se flamee o se perfore el aislamiento, la onda de impulso de BIL, es una onda normalizada de una duración de 1.5 x 40  $\mu$ s. La prueba de baja frecuencia se basa en, aplicar una sobretensión al sistema seleccionado, con la característica de que dicha sobretensión se encuentre a la misma frecuencia que la nominal.

La norma NEMA establece, aplicar el 100 % del voltaje nominal más 2000 volts durante un periodo de 5 minutos. La norma IEC establece, aplicar un sobrevoltaje del 75 % del nominal más 1000 volts, durante un 1 minuto.



### ► **Prueba de flameo en seco por un minuto**

Esta prueba consiste en aplicar a un aislador limpio montado en la forma normal una tensión a la frecuencia nominal del sistema (60Hz en nuestro país), la tensión se aumenta en forma gradual hasta los valores que especifica la norma y se mantiene durante un minuto hasta que el flameo ocurra.

El aislador se hace flamear por lo menos otras cuatro veces incrementando en cada caso la tensión de flameo hasta que llegue al valor de prueba aproximadamente en 10 segundos y la media de las 5 aplicaciones consecutivas no debe ser menor que el valor que se establezca en la norma.

### ► **Prueba de flameo en húmedo y prueba de lluvia por minuto**

En estas pruebas el aislador montado normalmente se moja con agua inyectada en forma de rocío con características tales que tenga una resistencia entre 900 y 1100 ohms/mm con una temperatura del orden de 10°C de la temperatura ambiente en la vecindad del aislador durante de la prueba. El agua se aplica con un ángulo de 45° teniendo un volumen equivalente a una precipitación media de orden de 3.00 mm/min.

El aislador con una tensión aplicada del 50 % de la prueba de un minuto se le rocía con el agua durante 2 minutos y entonces se eleva la tensión al valor de la prueba durante un minuto, en un tiempo de 10 segundos aproximadamente y se mantiene en ese valor durante un minuto. A partir de este valor se aumenta la tensión hasta que ocurre el flameo, el procedimiento se repite tomando un tiempo entre pruebas de unos 10 segundos hasta que el aislador flamee por lo menos otras cuatro veces, la tensión de flameo no debe ser menor que las que se especifiquen en las normas según sea el tipo de aislador.

## **2.4 PRUEBAS DE RUTINA**

Entre este tipo de pruebas podemos mencionar como más importantes las siguientes:

### **► Pruebas eléctricas de rutina**

Esta prueba se efectúa poniendo los aisladores en posición invertida a su montaje normal y se sumergen en agua hasta una profundidad suficiente para cubrir el cuello del aislador, el agujero donde se introduce el alfiler también se llena con agua.

La prueba se inicia con bajas tensiones que se van incrementando hasta que ocurra el flameo en intervalos de varios segundos, la tensión debe mantenerse a este valor por lo menos 5 minutos o hasta que ocurra la falla, por lo general la falla ocurre hasta 5 minutos después que la última pieza ha sido removida. Al llegar a esta situación la tensión se reduce hasta un tercio de la tensión de prueba antes de desconectarse.

### **► Pruebas mecánicas de rutina**

Esta prueba se realiza después de haber montado una cadena de aisladores ya sea de forma suspendida en posición vertical u horizontal, aplicándosele una carga de tensión mecánica con un 20% de exceso del valor especificado por el fabricante como máxima tensión de resistencia mecánica, durante el tiempo de un minuto.

## 2.5 RELACIÓN DE IMPULSO

De la descripción breve que se ha hecho para las pruebas en aisladores que en general se aplican dos tipos de tensión. De impulso y a la frecuencia nominal y estas son mucho mayores las de impulso.

La razón es que con un impulso el tiempo que transcurre entre la aplicación y el valor pico es excesivamente corto (1 a 2 micro segundos) y no hay tiempo para preparaciones en la trayectoria de la tensión de ruptura en el método circundante. Con las tensiones a la frecuencia nominal por tratarse de una caída de tensión alterna hay tiempo suficiente para que se presente el proceso de colisión que resulta de la ionización, esto tiene un efecto sensiblemente menor en la tensión de ruptura.

La relación de las dos tensiones de flameo se conoce como relación de impulso y se expresa como:

$$\text{RELACION DE IMPULSO} = \frac{\text{Tensión de flameo al impulso}}{\text{Tensión de flameo a la frecuencia nominal.}}$$

Esta relación tiene valores del orden de 1.4 para aisladores tipo alfiler y 1.3 para el tipo suspensión.

Cabe aclarar que en el caso de aisladores que van a operar en zonas de contaminación con depósito de sal y otros tipos de depósitos, se diseñan otras clases que como se mencionó al principio de este capítulo se conocen con el nombre genérico de “tipo niebla” y que se prueban en condiciones que se asemejan bastante a las de operación en laboratorios que cuentan con las llamadas causas de contaminación.

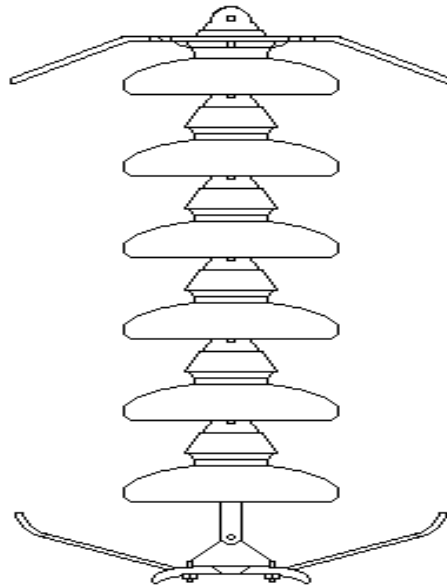
## **2.6 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN**

El daño recibido por los aisladores en caso de arco es un serio problema de mantenimiento, y se han ideado diferentes dispositivos para conseguir que en caso de saltar el arco, se mantenga apartado de la cadena de aisladores.

Tales dispositivos han resultado útiles, pero los adelantos en los métodos de protección de líneas aéreas mediante cable a tierra y el uso limitado, pero relativamente afortunado, de los tubos de explosión, no solo han reducido los daños en los aisladores, sino que han mejorado el comportamiento del conjunto de la línea.

La primera medida de precaución consistió en pequeños cuernos o antenas fijados a la grapa se encontró sin embargo, que para obtener resultados eficaces era necesario disponer de antenas bien abiertas, no solo en la grapa, sino también en la parte superior del aislador, bajo tensiones de choque o descargas atmosféricas, especialmente, el arco tiende a saltar en cascada en la cadena de aisladores, y las pruebas demostraron que la separación entre los cuernos debía ser considerablemente inferior a la longitud de la cadena de aisladores.

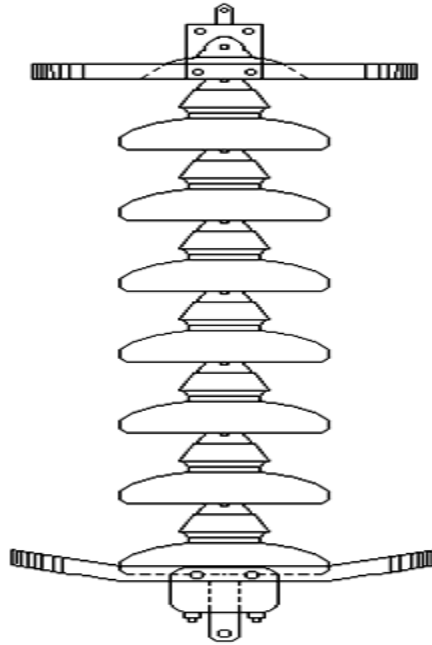
Por ello, la protección con cuernos o antenas produce una reducción de la tensión de arco o exige un aumento del número de unidades y de la longitud de la cadena de aisladores.



Cuernos de arco para un aislador

### **Aros equipotenciales**

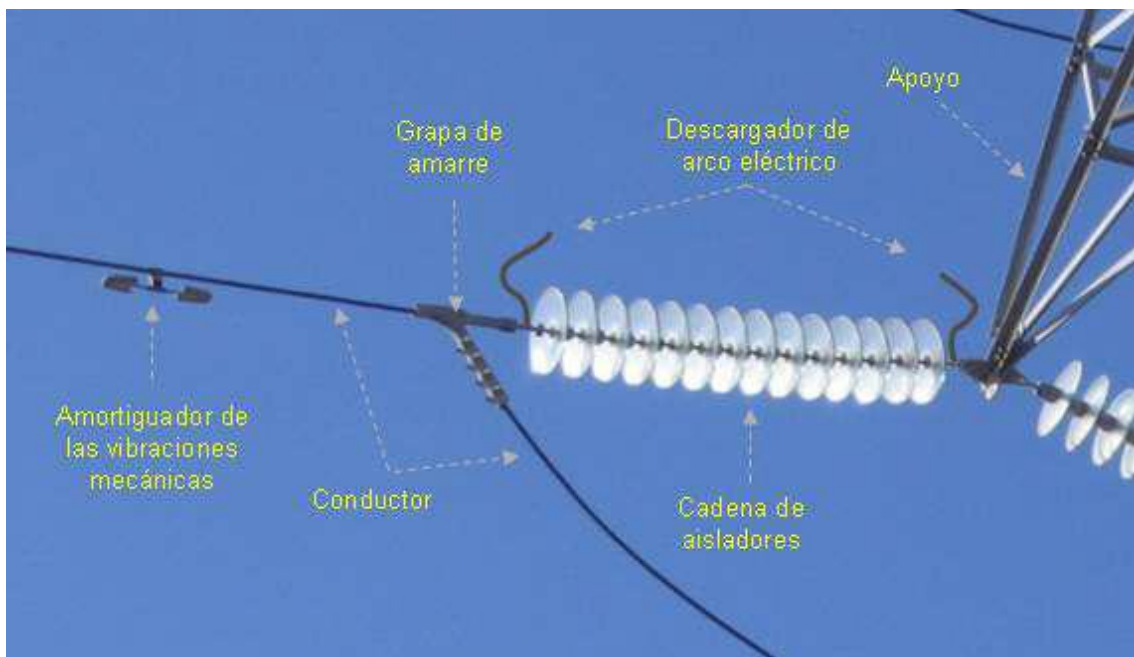
Son anillos que dan la misma protección que las puntas de arco al aislamiento de las líneas de transmisión. Los anillos de protección, pantalla reguladora del gradiente de potenciales, resultan más eficaces, los ensayos con tensión de choque o impulso demuestran que si el diámetro de los anillos guarda la debida proporción con la longitud de la cadena, puede evitarse la descarga en cascada sobre los aisladores, incluso con ondas de frente muy recto o escarpado, la eficacia de estos anillos consiste en que tienden a igualar el gradiente a lo largo del aislador y a producir un campo más uniforme, con ello la protección conseguida no se limita simplemente a ofrecer una distancia explosiva más corta para el arco, como en el caso de las antenas los anillos eficaces son de diámetro más bien ancho, y, tratándose de cadenas de suspensión, debe comprobarse que la distancia a las torres o estructuras sea por lo menos igual que al distancia entre anillos.



Aros equipotenciales

## Amortiguadores de vibración

Los amortiguadores de vibración absorben la energía de las vibraciones actuando como amortiguador y perturbador del movimiento vibratorio, los amortiguadores se aseguran en el cable a una determinada distancia de las clemas y sustraen del cable la energía de vibración, poniendo masas en movimiento.



# Tema 3

## Comparativo de los aisladores y su aplicación

## **3.1 CLASIFICACIÓN DE AISLADORES ELECTRICOS**

### **◆ Ventajas y desventajas entre los aisladores de porcelana y de vidrio**

En términos generales los aisladores de vidrio tienen las siguientes ventajas y desventajas sobre la porcelana.

- 1) Se pueden observar las perforaciones y constituciones no homogéneas.
- 2) Después de una onda de sobrevoltaje un aislador fallado se puede identificar más rápidamente por lo que el vidrio se estrella y la porcelana se rompe cuando falla el dieléctrico.
- 3) El vidrio tiene un menor coeficiente de expansión térmica lo cual minimiza los esfuerzos causados por cambios en la temperatura ambiente.
- 4) Los aisladores de vidrio sufren un sobrecalentamiento menor debido a los rayos solares ya que la mayoría de ellos pasan a través de estos y no son absorbidos como en los de porcelana.

Desde el punto de vista de condiciones ambientales los aisladores se fabrican en dos tipos.

- 1) Normal.
- 2) Para ambiente contaminante (tipo niebla)



## ❖ **Ventajas y desventajas entre los aisladores suspensión y alfiler**

El uso de aisladores tipo suspensión tiene ventajas importantes sobre el tipo de alfiler como son:

- 1) Cada aislador se diseña para una tensión de trabajo relativamente baja y entonces el voltaje total requerido se obtiene usando una cadena con un número deseable de aisladores.
- 2) En el caso de una falla en un aislador, sólo se requiere cambiar un aislador y no la cadena completa.
- 3) Los esfuerzos mecánicos se reducen en virtud de que la línea se encuentra suspendida flexiblemente, en el caso de los aisladores tipo alfiler la naturaleza rígida del soporte produce fatiga debido a las característica intermitente del esfuerzo se vuelve quebradizo el aislador.
- 4) En el caso de aumentar la tensión nominal de operación de una línea, los requerimientos de aislamiento se pueden lograr aumentando en N° de aisladores necesarios a la cadena, y no el cambio total de aisladores como ocurre con los de tipo alfiler.

Las principales desventajas del tipo suspensión son:

- 1) A tensiones iguales y sin modificaciones el gasto inicial de un aislador tipo alfiler es menor de 50 KV y hacía arriba que uno tipo suspensión.
- 2) La flexibilidad que los aisladores tipo suspensión dan en el montaje, reduciendo los esfuerzos mecánicos durante la operación de las líneas provocan a su vez mayor oscilación por efecto de temblores o viento que los de tipo alfiler para claros interpostales iguales y consecuentemente

se requiere de una distancia mayor entre fases y de fase a estructura lo que hace que esto aumente ligeramente el costo de las líneas de transmisión. Un tamaño normalizado de aisladores para cadena es de 254 x 146 mm. (10x5 ¾ PLG)

## **3.2 NUEVAS TENDENCIAS EN EL USO DE AISLADORES EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA**

Los aisladores de porcelana vidriada y de vidrio han sido usados durante muchos años en las líneas de transmisión, subtransmisión y redes de distribución, en particular los aisladores de porcelana tienen un gran uso en el equipo eléctrico que se instala en subestaciones como es el caso de los aisladores tipo suspensión y alfiler, los aisladores de los divisores de tensión, en interruptores, boquillas de transformadores, en apartarrayos, transformadores de instrumento, etc.

A lo largo de la operación de aisladores con materiales tipo convencional se han observado algunos problemas de tipo eléctrico y mecánico que se han tratado de resolver de distintas formas como son el peso, las tensiones mecánicas de trabajo, el efecto de contaminación, las distancias de fuga y tensiones críticas de flameo, además de un problema que en la actualidad comienza a adquirir el carácter de crítico y que se refiere a la escasez de materia prima para la fabricación de aisladores de porcelana.

El proceso de fabricación de aisladores de porcelana es básicamente especializado y solo algunos países es el mundo los fabrican, la demanda de este producto es tal que la materia prima tiende a disminuir en forma considerable, razón por la que además de los problemas mencionados con anterioridad ha hecho que desde hace algunos años en ciertos países se

hayan iniciado trabajos de investigación y desarrollo sobre la posible aplicación de otro tipo de materiales para la construcción de aisladores usados en la industria eléctrica.

Se han hecho numerosos intentos para adoptar materiales orgánicos para que soporte altos esfuerzos dieléctricos, esfuerzos mecánicos considerables, efectos ambientales por largos periodos de tiempo, una amplia variedad y cantidad de elementos contaminantes. Inicialmente se intento hacer combinaciones entre elementos a base de fibra de vidrio y otras sustancias como silicón, etileno y propileno obteniéndose algunos progresos que han sido reportados en base a las experiencias tenidas en laboratorios y en el campo, en particular uno de los problemas graves que se encuentran en el inicio de estos desarrollos fue la acelerada degradación por efectos combinados de esfuerzos dieléctricos, mecánicos y temperatura, aspectos que se han superado en forma continua en base a los programas de desarrollo de institutos de investigación y fabricantes.

En el presente se han desarrollado aisladores a base de compuestos de etileno y propileno copolimero combinado con otras sustancias como alúmina hidratada de relleno y en general se ha encontrado que tienen la mismas características eléctricas y mecánicas que la porcelana vidriada, e incorporando a estos diseños a un alma o núcleo de fibra de vidrio ofrece características tales que superan a los aisladores convencionales de porcelana vidriada o vidrio ya que por ejemplo la relación resistencia mecánica-peso es mucho más favorable en los aisladores sintéticos que con los convencionales, se ha encontrado por ejemplo que en igualdad de condiciones especificadas un aislador sintético, pesa del orden de un 10% del equivalente de un aislador de porcelana vidriada, y esto en particular para las líneas de alta y extra alta tensión puede significar un ahorro considerable, no solo un aislamiento, sino también en estructuras al tener una reducción de peso considerable.

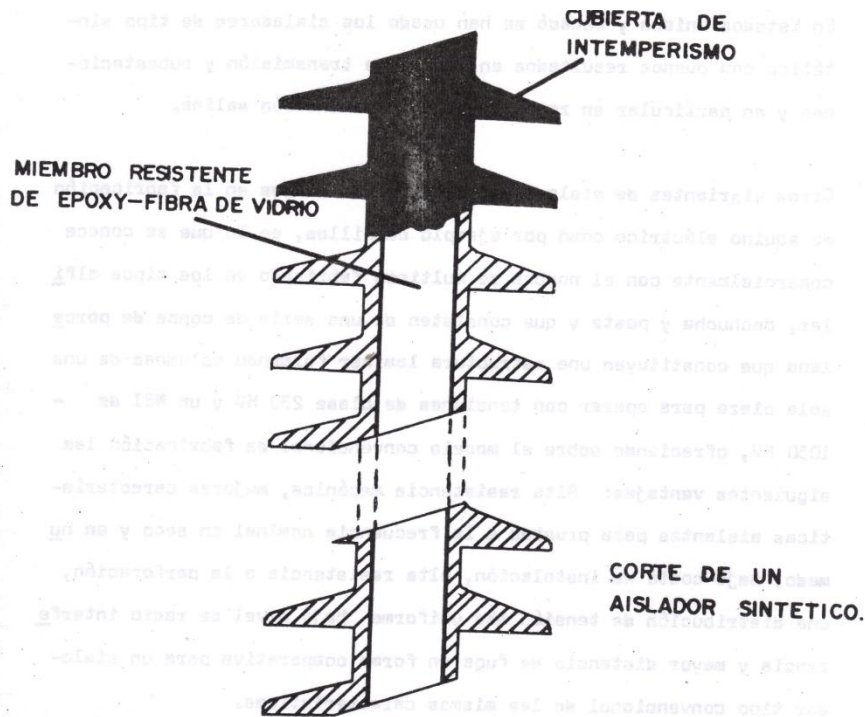
Algunos de estos aisladores sintéticos han logrado un incremento considerable en sus propiedades mecánicas mediante el uso de miembros o varillas como alma de fibra de vidrio y resinas epóxicas, pero una ventaja

considerable que ofrece es su notable reducción de los efectos contaminantes, que como se ha mencionado antes afecta la distancia de fuga, y en el caso de los aisladores del tipo convencional esta tiende a aumentar a medida que la contaminación aumenta, por otro lado el efecto corona y la radio interferencia se ven reducidas en aisladores sintéticos, los problemas de deterioro por vandalismo también se reducen debido a que tienen mejores propiedades al impacto los aisladores sintéticos que los de porcelana o vidrio, técnicamente es conveniente hacer una evaluación del tiempo de vida ya que el costo de estos superior a los del tipo convencional.

En Estados Unidos y Canadá se han usado los aisladores de tipo sintético con buenos resultados en líneas de transmisión y subestaciones y en particular en zonas de alta contaminación salina.

Otras variantes de aisladores de porcelana usados en la fabricación de equipo eléctrico como por ejemplo cuchillas, es lo que se conoce comercialmente con el nombre de multicon fabricado en los tipos alfiler, cachucha y poste y que consisten de una serie de conos de porcelana que constituyen una estructura laminar formando columnas de una sola pieza para operar con tensiones de clases 230kv y un NBI de 1050kv, ofreciendo sobre el modelo convencional de fabricación las siguientes ventajas:

- Alta resistencia mecánica
- Mejores características aislantes para pruebas a la frecuencia nominal en seco y en húmedo
- Bajo costo de instalación
- Alta resistencia a la perforación
- Una distribución de tensión mas uniforme
- Bajo nivel de radio interferencia
- Mayor distancia de fuga en forma comparativa para un aislador tipo convencional de las mismas características



En resumen los aisladores del denominado tipo sintético en general están basados en un núcleo mecánicamente resistente de fibra de vidrio, con resinas epóxicas y recubrimientos de un polímero denominado recubrimiento ambiental y que ofrecen las siguientes ventajas:

- Relación esfuerzo mecánico-peso muy mejorada con respecto al tipo convencional de vidrio o porcelana lo que los hace adaptables a las líneas de extra alta tensión.
- Resistencia mecánica de trabajo en aisladores tipo suspensión de hasta tres veces comparado con el tipo convencional
- Resistencia a la fractura del mismo orden que los de vidrio o porcelana
- Excelente resistencia a los factores climáticos
- Superior a los aisladores de porcelana o vidrio a las descargas de impulso.
- No es afectado por la perforación eléctrica
- Altamente resistentes al vandalismo
- El tipo alfiler es fácilmente adaptable a distintos tipos de montajes.

### 3.3 ¿QUE ES LA RESINA EPOXICA?

Es una sustancia aislante que posee muy buenas propiedades eléctricas y mecánicas, resiste esfuerzos de compresión y flexión. Es también resistente a golpes, vibraciones y a la abrasión. No es atacable por la mayoría de los ácidos ni solventes y con herramientas adecuadas puede eventualmente mecanizarse. Desde el punto de vista dieléctrico posee un elevado valor de perforación y muy alta resistividad volumétrica, que permite su utilización en baja, media y alta tensión.

#### Resinas epóxicas para aisladores de uso interior

En la siguiente tabla se encuentran las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas de las resinas epóxicas, para manufacturar los productos especificados para uso interior.

Estos aisladores son utilizados en la industria eléctrica como en la fabricación de aisladores para tableros, subestaciones encapsuladas, seccionadores, aisladores de soporte, centro de control de motores, etc.

TABLA 1a

PROPIEDADES MECANICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tracción	23° C	ISO/R527	N/mm <sup>2</sup>	70 - 80
Elongación a la rotura	23° C	ISO/R527	%	0.8 - 1.1
Resistencia a la compresión	23° C	ISO/R604	N/mm <sup>2</sup>	200 - 220
Resistencia a la flexión	23° C	DIN 53452 ISO/R178	N/mm <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup>	110 - 120 115 - 125
Deformación Superficial unitaria	23° C	DIN 53452 ISO/R178	% mm	1.0 - 1.5 1.0 - 1.5
Resistencia al impacto	23° C	ISO/R179 VSM/77105	KJ/mm <sup>2</sup> KJ/mm <sup>2</sup>	10 - 12 8 - 10
Módulo de elasticidad estático derivado del ensayo de tensión	23° C	DIN 53457	N/mm <sup>2</sup>	12000 - 14000
Absorción de agua Probetas 60*14*14 mm. 10 días 30 min.	23° C 100° C	ISO/R62 ISO/R117	% %	0.1 - 0.2 0.1 - 0.2

TABLA 1b

PROPIEDADES TERMICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Temperatura de ablandamiento (MARTENS)		DIN 53458	° C	80 - 90
Temperatura de transición		DSC	° C	90 - 100
Conductividad térmica		DIN 52612	W/mK	0.8 - 0.9
Resistencia al calor sin llama		DIN 53459	Grado	2b
Coefficiente de expansión térmica lineal Rango 20 - 80° C		VDE 0304	1 / K	30-35 x 10 <sup>-4</sup>

## Comparativo de los aisladores y su aplicación

**TABLA 1c**

PROPIEDADES ELECTRICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Esfuerzo eléctrico: placa de 2mm, 20s, 50 HZ (electrodos cara a cara $\phi$ 25 mm y $\phi$ 75 mm en aceite de castor)	23° C	IEC 243	KV/mm	18 - 20
Resistencia al arco		ASTM-D495 DIN 53484	s Grado	185 - 195 L1
Corrosión electrolítica		DIN 53489	Grado	A - 1
Factor de pérdida. $\tan \delta$	23° C	DIN 53483	%	2 - 3
	60° C		%	3 - 4
	100° C		%	8 - 10
Constante dieléctrica $\epsilon_r$	23° C	DIN 53483		3.9 - 4.3
	60° C			4.3 - 4.7
	100° C			5.4 - 5.8
Resistencia volumétrica	23° C	DIN 53482	$\Omega$ cm	$10^{16}$
	60° C		$\Omega$ cm	$10^{16}$
	100° C		$\Omega$ cm	$10^{15}$

### Resinas epóxicas para aisladores de uso exterior.

En las siguientes tablas se muestran las especificaciones de las propiedades físicas, mecánicas, químicas y eléctricas de las resinas epóxicas que se emplean en la elaboración de aisladores de uso exterior. Este tipo de resinas se utilizan en la industria eléctrica, en aplicaciones de tipo intemperie como son aisladores de poste o PIN, seccionadores de exterior, y en general toda la gama de aisladores expuestos a condiciones de uso exterior.

**TABLA 2a**

PROPIEDADES MECANICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tracción	23° C	ISO/R527	N/mm <sup>2</sup>	80 - 90
Elongación a la rotura	23° C	ISO/R527	%	0.9 - 1.3
Resistencia a la compresión	23° C	ISO/R604	N/mm <sup>2</sup>	170 - 180
Resistencia a la flexión	23° C	DIN 53452	N/mm <sup>2</sup>	120 - 130
		ISO/R178	N/mm <sup>2</sup>	130 - 140
Deformación Superficial unitaria	23° C	DIN 53452 ISO/R178	% mm	1.4 - 1.8 1.5 - 2.0
Resistencia al impacto	23° C	ISO/R179	KJ/mm <sup>2</sup>	7 - 8
Módulo de elasticidad estático derivado del ensayo de tensión	23° C	DIN 53457	N/mm <sup>2</sup>	11000 - 12000
Absorción de agua Probetas 60*14*14 mm. 10 días 30 min.	23° C	ISO/R62	%	0.1 - 0.2
	100° C	ISO/R117	%	0.1 - 0.2

TABLA 2b

PROPIEDADES TERMICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Temperatura de ablandamiento (MARTENS)		DIN 53458	° C	100 - 110
Temperatura de transición		DSC	° C	110 - 115
Conductividad térmica		DIN 52612	W/mk	0.8 - 0.85
Resistencia al calor sin llama		DIN 53459	Grado	2b
Coefficiente de expansión térmica lineal Rango 20 - 70° C		VDE 0304	1 / K	35 x 10 <sup>6</sup>

TABLA 2c

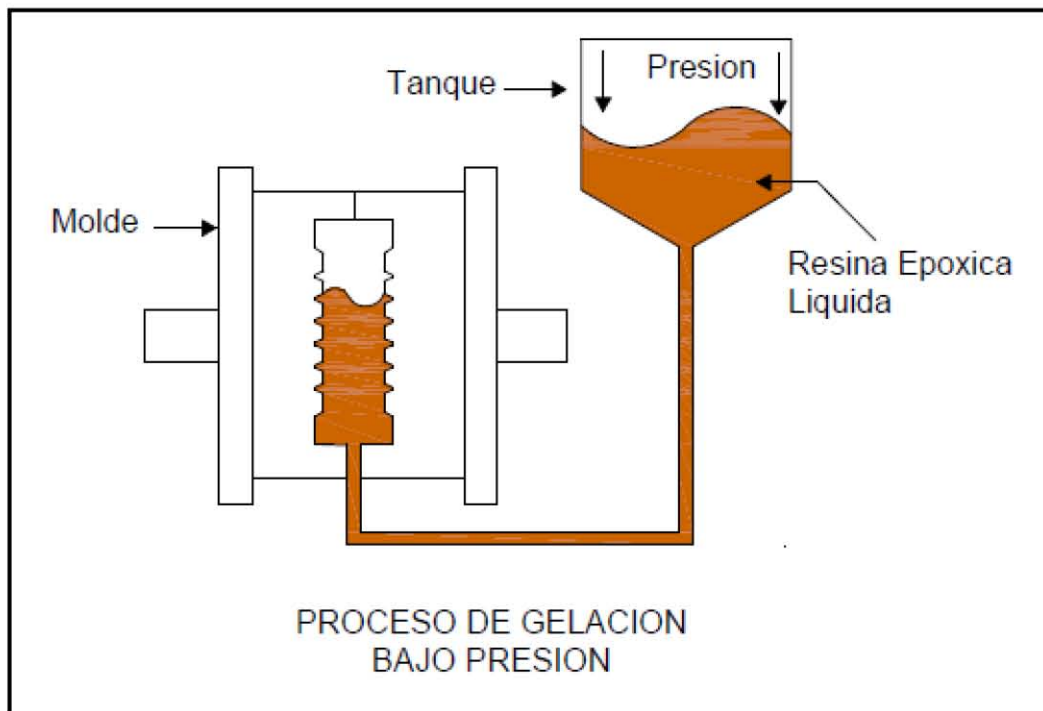
PROPIEDADES ELECTRICAS	TEMP. ENSAYO	METODO	UNIDAD	VALOR
Esfuerzo eléctrico: placa de 2mm, 20s, 50 HZ (electrodos cara a cara φ25 mm y φ75 mm en aceite de castor)	23° C	IEC 243	KV/mm	18 - 20
Resistencia al arco		ASTM-D495 DIN 53484	s Grado	185 - 190 L4
Corrosión electrolítica		DIN 53489	Grado	A - 1
Factor de pérdida. tan δ	23° C	DIN 53483	%	2 - 2.5
	80° C		%	4 - 4
	100° C		%	5 - 6
Constante dieléctrica ε <sub>B</sub>	23° C	DIN 53483		3.8 - 4.2
	80° C			4.2 - 4.6
	100° C			4.3 - 4.7
Resistencia volumétrica	23° C	DIN 53482	Ω cm	10 <sup>15</sup>
	80° C		Ω cm	10 <sup>15</sup>
	100° C		Ω cm	10 <sup>14</sup>

## Método de fabricación

Los aisladores mediante el método de gelación bajo presión, desarrollado para fabricar aisladores libres de tensiones internas, con control del encogimiento, y partiendo de formulaciones con una vida útil de hasta 6 días, lo cual le permite someter la mezcla epóxica a vacío durante muchas horas antes de ser inyectada a los moldes que se encuentran a alta temperatura, lo que garantiza que el producto final esté libre de burbujas en su interior y en su superficie.

El proceso parte entonces con una mezcla líquida, que al ser inyectada en el molde cerrado caliente y a presión, polimeriza produciendo así un producto de alta calidad y uniforme en sus características garantizadas lote tras lote.





**TABLA COMPARATIVA DE PROPIEDADES**

Características	Porcelana	Poliéster mas fibra de vidrio	Laminados Fenolicos	Epoxi
Rigidez Dieléctrica	MB	B	M	MB
Resistencia Volumétrica	MB	B	B	MB
Esfuerzos Mecánicos	B	MB	B	MB
Contaminación superficial	M	R	M	B
Mecanizado Posterior	M	MB	MB	B
Agentes Químicos	MB	MB	MB	MB
Golpes	M	MB	B	B
Uso en BT	MB	MB	B	MB
Uso en MT	MB	B	R	MB
Uso en AT	MB	N/A	N/A	B

**MB: Muy bueno    B: Bueno    R: Regular    M: Malo    N/A: No Aplica**

### Aplicaciones

Los aisladores de soporte, son utilizados en equipos eléctricos en donde es necesario cumplir con estrictos requisitos mecánicos y eléctricos de acuerdo a normas internacionales (IEC 273 e IEC 660), son utilizados en sistemas eléctricos con voltajes que van desde 0.6 hasta 36kV.

- Aisladores para soporte de barrajes hasta 36 KV
- Aisladores para seccionadores
- Aisladores pasamuros
- Bujes pasatapas para transformadores
- Soportes para CCM
- Aisladores de diseño especial

### Instrucciones especiales para aplicación de torque

Dependiendo de la rosca del aislador, a continuación se especifica el torque máximo de apriete para fijación, de tal manera que se garantice el contacto eléctrico sin afectar la resistencia mecánica del mismo.

ROSCA EN milímetros	ROSCA EN Pulgadas	TORQUE NOMINAL (N.m)	TORQUE NOMINAL (lb-ft)
M5	3/16	4	2.9
M6	1/4	6.5	4.8
M8	5/16	15	11
M10	3/8	19	14
M12	1/2	41	30
M16	5/8	109	80
M20	3/4	220	162

- Norma ISO para tornillería calidad 8.8
- Rango de aplicación: + 15%

Los aisladores pueden ser fabricados con roscas en milímetros o en pulgadas, a solicitud del cliente.

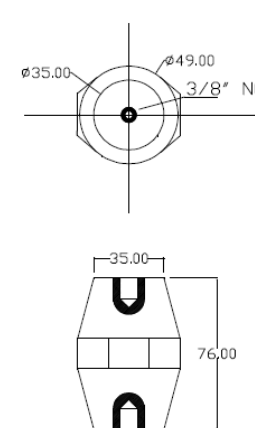
## 3.4 DIFERENTES APLICACIONES DE LOS AISLADORES ELÉCTRICOS

A continuación se hace mención de algunos de los diferentes aisladores que existen, así como el material de fabricación, su aplicación y algunas de sus características:

### AISLADORES DE SOPORTE PARA VOLTAJES SUPERIORES 2 kV

T-75M (Ref 1019 - 2019)

CARACTERISTICAS	VALOR	UNIDAD
TENSION DE TRABAJO	5	kV
ALTURA	76	mm
DISTANCIA DE FUGA	78	mm
TENSION APLICADA EN SECO DURANTE 1 MINUTO	25	kV
BIL	50	kV
FUERZA DE FLEXION DE ROTURA (Po)	>2500	N
PESO	330	gr
TEMPERATURA DE OPERACION	- 20°C hasta +90°C	°C
FLAMABILIDAD	V0	
USO	INTERIOR	
ANGULO DEL AVELLANADO DE LOS BUJES	2	Grados

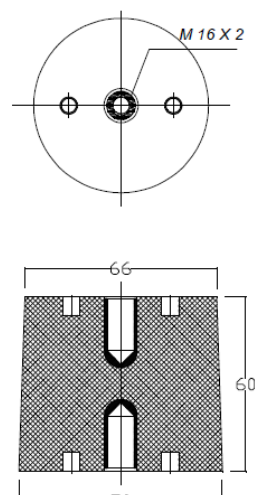


Dimensiones en mm

Los insertos utilizados, pueden ser en pulgadas o en milímetros, de acuerdo a solicitud del cliente.

T-PRI (Ref 5000)

CARACTERISTICAS	VALOR	UNIDAD
TENSION DE TRABAJO	5	kV
ALTURA	60	mm
DISTANCIA DE FUGA	60	mm
TENSION APLICADA EN SECO DURANTE 1 MINUTO	25	kV
BIL	50	kV
FUERZA DE FLEXION DE ROTURA (Po)	>8000	N
PESO	380	gr
TEMPERATURA DE OPERACION	- 20°C hasta +90°C	°C
FLAMABILIDAD	V0	
USO	INTERIOR	
ANGULO DEL AVELLANADO DE LOS BUJES	2	Grados



Dimensiones en mm

Los insertos utilizados, pueden ser en pulgadas o en milímetros, de acuerdo a solicitud del cliente.

### **Aislador APR-60**



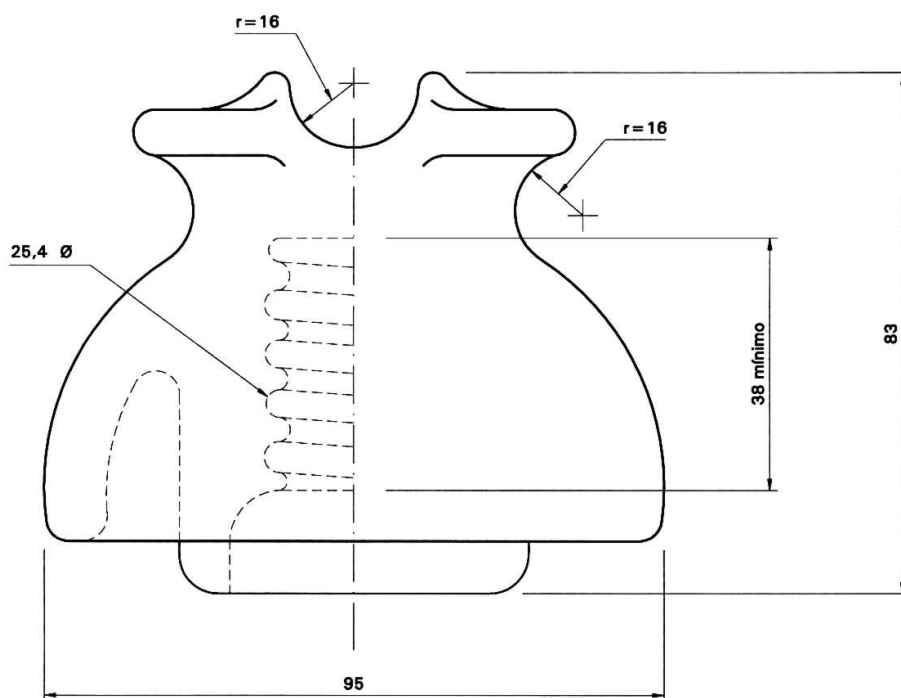
<b>Material</b>
Resina epóxica
<b>Uso</b>
Aisladores de Apoyo para interior
<b>Tensión nominal</b>
6 kv

### **Aislador APR-65**



<b>Material</b>
Resina epóxica
<b>Uso</b>
Aisladores de Apoyo para interior
<b>Tensión nominal</b>
3.6 kv

## AISLADOR BA 55-2



Escala: sin

Acotaciones en mm

### CLAVE DEL NOMBRE

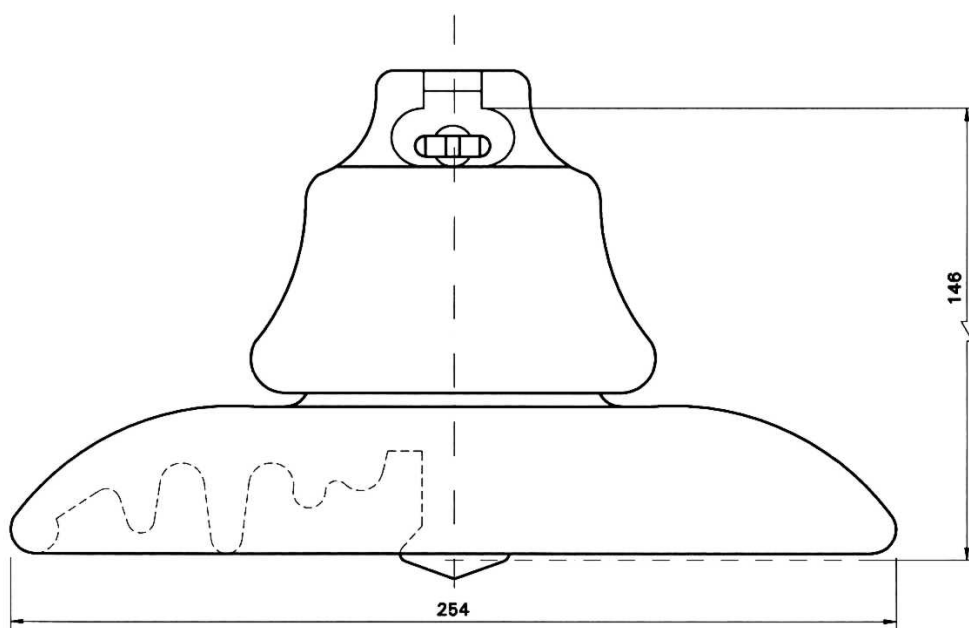
55-2 = Clase de aislador.

B = Baja tensión

A = Tipo de alfiler

<b>Material</b>	
Porcelana vidriada color café o gris, de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-J-247, última revisión.	
<b>Uso</b>	
Fijado en cruceta o plataforma, mediante alfiler 64, soporta y aísla líneas de baja tensión.	
<b>Normas</b>	
<b>NMX-J-202</b>	Determinación de las características de aisladores de porcelana para energía eléctrica, última revisión.
<b>NMX-J-247</b>	Aisladores de porcelana tipo alfiler para media y baja tensión, última revisión.

## AISLADOR S 52-5



Escala: sin

Acotaciones en mm

### CLAVE DEL NOMBRE

S = Tipo suspensión

52-5 = Clase de aislador

Material	
Campana.- Porcelana vidriada color gris preferentemente o vidrio templado.	
Uso	
Este tipo de aislador puede ser de porcelana o vidrio templado. Utilizado para formar cadenas de aisladores en líneas de transmisión, redes de distribución y subestaciones, en tensiones de 23, 85 y 230 kV.	
Normas	
<b>NMX-J-245</b>	Aisladores de porcelana tipo suspensión, última revisión.
<b>NMX-J-334</b>	Aisladores de vidrio templado tipo suspensión, última revisión.
<b>NMX-H-074</b>	Productos de hierro y acero galvanizado por inmersión en caliente.

## **3.5 EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN EN LOS AISLADORES**

Durante la operación de las líneas de transmisión se pueden tener problemas con el aislamiento por varios factores, uno de ellos es la contaminación atmosférica que puede producir alteraciones en el comportamiento del aislador.

La resistencia superficial de un aislador como se ve afectada por el depósito forman conductoras continuas cuando hay humedad. Las corrientes de dispersión en estas condiciones fluyen por estas capas y el agua se evapora primero en aquellas áreas en donde el producto de la densidad de corriente y la resistividad de la superficie es mayor.

Este procedimiento conduce a la formación de bandas de aislamiento secas de forma circular que tienen a ser cada vez más anchas hasta que la corriente de dispersión se reduce tan pequeña que no puede sostener evaporaciones subsecuentes.

Los flámeos por contaminación ocurren con frecuencia bajo condiciones de niebla o lluvia salina, aunque también cuando los aisladores por humos o polvos quedan cubiertos en forma de agua contaminada por la humedad o bien por agua contaminada propiamente y en algunas ocasiones por hielo contaminado.

Los métodos que se conocen para prevenir los flámeos por efectos de la contaminación, entre los que se pueden mencionar los siguientes.

- 1) Los aisladores se pueden lavar con la línea en vivo por medio de chorros de agua a alta presión lanzados por mangueras. Este método requiere de equipo costosos y el agua que se usa debe ser limpia y en lugares fríos se debe emplear agua caliente o anticongelante no conductor.

- 2) Baños de agua permanente en forma de regadera se pueden montar arriba de cada aislador o cadena de aisladores, como se hace en Japón, este sistema no es muy usado en lugares donde no se ha perfeccionado debido a que si el agua que se usa está contaminada, por ejemplo, se corre el riesgo de producir más flámeos que sin usar este sistema.
- 3) En lugares con alto índice de contaminación la limpieza de aisladores se puede hacer manualmente y aunque resulta costoso es necesario. En este caso se debe poner fuera de servicio la instalación para llevarse a cabo esta función.
- 4) Los sitios para la localización de subestaciones y equipo tipo exterior se deben localizar cuidadosamente ya que la contaminación puede variar considerablemente entre dos áreas localizadas a un Km de distancia.
- 5) Los aisladores tipo alfiler que se usen en aéreas de alta contaminación se deben seleccionar de tal forma que las “camisas” produzcan el máximo de beneficios cuando se tenga lluvia para lavado.
- 6) Dado que la superficie húmeda de los aisladores casi no ofrece resistencia los extremos de las campanas deben estar entonces suficientemente espaciadas de manera que se tenga una trayectoria de dispersión suficientemente larga a través del aire entre campanas adyacentes y entre la campana inferior y el alfiler, para los aisladores tipo alfiler.
- 7) Los aisladores pueden ser recubiertos con una jalea de petróleo repelente al agua. La jalea es suave y suficiente para absorber las partículas sucias aislando unas de otras y previniendo que el agua no haga contacto con ellas, esta jalea debe ser químicamente estable y no cambiar su estado gelatinoso con los cambios de temperatura, una característica importante es que debe ser fácil de poner y quitar ya que cambia cada 12 meses o más dependiendo de la cantidad de contaminación, actualmente se usa en subestaciones exteriores de 182 KV y 230 KV.



- 8) Las subestaciones tipo interior eliminan en forma efectiva los problemas de contaminación, pero como solución resultan demasiado caras.
- 9) Se están desarrollando aisladores de materiales distintos al vidrio o a la porcelana como por ejemplo el politetrafluoretileno (PTFT) que es más repelente al agua que el vidrio o la porcelana vidriada. Los aisladores recubiertos con PTF o con silicón aislado aumentan su efectividad aproximadamente al doble.
- 10) Las torres de transmisión con sus secciones transversales (brazos) aisladores con resinas a base de fibra de vidrio están en desarrollo también ya que esto puede reducir el esfuerzo eléctrico en las cadenas de aisladores sin aumentar el tamaño de la torre. Estos brazos al estar horizontales son fácilmente lavados por la lluvia. Los principales problemas que se han tenido son la fragilidad mecánica y la erosión.
- 11) Se pueden emplear barnices semiconductores sobre los aisladores de porcelana con lo que se logra teóricamente una resistencia infinita a las corrientes dispersas, pero debido a que los barnices tienen un coeficiente de temperatura negativo (para la resistencia) la corriente de dispersión es del orden de 1mA. de esta forma la formación de humedad y anillos secos que conducen a los flámeos se previenen. La principal dificultad con este método es que la resistencia del barniz semiconductor aumenta con el tiempo debido a la corrosión electrolítica.
- 12) Uso de aisladores especiales tipo poste con baño de aceite (interno) es otra posibilidad de solución.

## **3.6 LA CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS EXTERNOS**

La contaminación es causada por un gran variedad de agentes como: polvos obtenidos de la combustión de carbón, petróleo, polvos de cemento, lluvia salina, irrigación con plaguicidas, fertilizantes, etc., estos cuando se mezclan por efecto de la lluvia o niebla, pueden reducir la tensión de flameo a la frecuencia nominal en aisladores de porcelana hasta la mitad y en ocasiones hasta una cuarta parte dependiendo del tipo y densidad de contaminantes, así como de la frecuencia de las lluvias de lavado.

Los aisladores que se encuentran bajo condiciones de intemperie, están sometidos a las condiciones del medio en que se encuentran situados, las cuales varían ampliamente de lugar a otro, dependiendo de las características de la zona en que se encuentre la parte de la instalación en cuestión, estas características hacen posible que el nivel de aislamiento requerido, pueda variar a lo largo de una misma línea, pues las condiciones de contaminación son diferentes a lo largo de la traza.

De manera general puede decirse que los aisladores ubicados en las líneas eléctricas aéreas están siempre expuestos a la contaminación, pues aun cuando se toman medidas con respecto a limitar o reducir las emisiones contaminantes por las fuentes industriales, la contaminación del tipo natural es prácticamente imposible de evitar, por lo que se ha dirigido principalmente los trabajos de investigación al diseño y selección de aislamientos adecuados, a si como de establecer medidas y procedimientos para su explotación, bajo diferentes condiciones meteorológicas y de contaminación que se pueda presentar.

## **3.7 PROCESO DE LA CONTAMINACIÓN EN AISLAMIENTOS ELÉCTRICOS**

El proceso de contaminación en aisladores se origina cuando se depositan partículas de contaminante sobre la superficie aislante, estas se adhieren por la acción de diversos factores involucrados en dicho proceso, además al interactuar con la humedad se vuelven conductoras, originando sobre la superficie del aislador la aparición de corrientes de fuga, descargas parciales y finalmente flameo, con la subsiguiente salida de operación de las líneas de transmisión, distribución y subestaciones eléctricas.

México cuenta con una gran variedad de climas y suelos, los cuales favorecen el proceso de contaminación en los sistemas externos. La contaminación ambiental es una de las causas más frecuentes de falla en líneas tanto de transmisión, distribución, y subestaciones de energía eléctrica; de acuerdo con estudios realizados se sabe que la severidad del nivel de contaminación que afecta a los aisladores, está directamente asociado tanto con la climatología como con el tipo de contaminante que predomine en la región.

Generalmente las partículas que se depositan en la superficie de los aisladores forman una capa contaminante, la cual tiene la capacidad de absorber humedad presente en el medio ambiente provocando la aparición de corrientes de fuga sobre la superficie.

### **Materia insoluble en suspensión permanente**

Comprende todos los materiales inorgánicos insolubles, condensables, de tamaño microscópico, los cuales tienen un índice de disolución en agua muy bajo, estos se mantienen en suspensión mediante fuerzas cinéticas debidas al movimiento molecular de los gases en la atmósfera, pero se precipitan por medio de fuerzas eléctricas. Generalmente la materia insoluble no contribuye en la conductividad eléctrica, pero si influye en el voltaje de flameo debido a su

capacidad de retener humedad, un ejemplo claro de material insoluble es el caolín, material que es utilizado en los laboratorios para contaminar artificialmente a los aisladores.

### **Materia soluble en suspensión**

Comprende todos los materiales orgánicos pesados (sales, polvos, gases, humos, polen, etc.), los cuales se depositan en la superficie de los aisladores, fundamentalmente por gravedad, dentro de este mismo grupo también se encuentran las materias orgánicas en descomposición y partículas de vapor de agua (niebla, llovizna, sereno,) que se condensan o dispersan de acuerdo a las condiciones meteorológicas del viento y la temperatura ambiente. Desde el punto de vista eléctrico, la materia soluble, es la que permite la conducción eléctrica de fase a tierra a través de la superficie del aislador.

## 3.8 TIPOS DE CONTAMINACION

Existen dos tipos fundamentales de contaminación: marina, industrial y rural, pudiéndose incluir un cuarto tipo en los casos de las zonas industriales cercanas la mar.

- **La contaminación marina:** puede ubicarse no solo en las inmediaciones de la costa, sino también a considerables distancias de las mismas por la acción de los vientos; su nivel de contaminación se ubica entre los niveles medio y alto, siendo en algunos casos considerados como crítico; esta contaminación contiene un alto contenido de sal con un grado de humedad elevado, esto debido a que generalmente se tiene una dirección de mar a tierra, además es muy inestable, ya que en un año puede alcanzarse tanto el nivel mínimo como el máximo de contaminación.
- **La contaminación industrial,** tiene su aparición con el desarrollo de las industrias y los efectos de las mismas al medio pueden ser de diversos tipos, en dependencia de la fuente que la origina: química, petroquímica, metalúrgica, etc., este tipo de contaminación es considerada del tipo artificial, los desechos que arrojan las industrias sobre las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas ocasionan altos niveles de contaminación en periodos cortos de tiempo, en algunos lugares los desechos se adhieren fuertemente a la superficie del aislador, provocando el deterioro y deficiencia en su desempeño eléctrico, trayendo como consecuencia el flameo de los aisladores. En su forma general, los contaminantes constan de dos partes fundamentales: una parte eléctricamente inerte que al humedecerse no se disocia en iones, y que por lo tanto no es conductora y cuya función es darle a la capa sus características adhesivas y absorbentes, y una parte eléctricamente activa que al humedecerse se disocia y presenta por tanto características conductoras.

## Comparativo de los aisladores y su aplicación

---

ZONA DE CONTAMINACION	CARACTERISTICAS NOTABLES
EXTRA FUERTE (EF)	Polvos de carbón, petróleo, productos químicos, grandes cantidades de partículas salinas en suspensión. Zonas desérticas con grandes periodos sin lluvia.
FUERTE (F)	Lluvia marina, polvos de carbón, petróleo, zonas con lluvia ligera y niebla. Áreas expuestas a los vientos del mar o muy cercanas a la costa.
MEDIA (M)	Lluvia marina ligera, irrigación con plaguicidas y fertilizantes, niebla ligera y pocas lluvias áreas expuestas a los vientos del mar pero no muy cercanas a la costa.
LIGERA (L)	Niebla, fertilizantes, plaguicidas, lluvias intensas, zonas rurales sin quema de pastizales. Áreas sin industrias, zonas agrícolas.

Características de las zonas expuestas a la contaminación

## **3.9 FLAMEO EN AISLADORES CONTAMINADOS**

El flameo en aisladores debido a la contaminación, es un fenómeno dinámico que se presenta en varias etapas, estas pueden resumirse en los siguientes pasos:

### **❖ Formación de la capa contaminante**

Los problemas de contaminación en aisladores ocurren cuando el medio que los rodea lleva diversas sustancias, especialmente salinas e industriales, estas sustancias se depositan sobre los aisladores creando una capa que en condiciones secas no causan mayor problema. el depósito de contaminante es gobernado por la interacción de varias fuerzas que actúan simultáneamente (gravitacional, eléctrica, viento), el componente conductor de los contaminantes influye en el voltaje de arqueo del aislador proveyendo en condiciones húmedas, una cubierta conductiva en la superficie del aislador, el componente inerte por otro lado, es la porción de materia sólida que no se disuelve; la humedad es entregada por la naturaleza a través de los mecanismos de condensación y rocío, la condensación representa un proceso lento de humedad durante el cual los contaminantes conductivos se pueden disolver completamente, este proceso a menudo se produce bajo condiciones de niebla o rocío en las horas de la mañana, la bruma y llovizna pueden causar el mismo efecto.

La superficie del aislador suele ser un factor muy importante, debido a que se ha encontrado que la cantidad de partículas contaminantes depositadas sobre los aislamientos varía en forma lineal con la rugosidad de la superficie del aislador, es decir, mientras más lisa sea la superficie de un aislador menor será la cantidad de partículas que se depositen, por el contrario, la rugosidad de la superficie permite la formación de esta capa. El campo eléctrico debido a su acción provoca la atracción de las partículas, haciendo con esto más denso el depósito del contaminante en regiones de mayor intensidad, es decir, en el lado

de la línea, por esto la capa formada sobre la superficie del aislamiento no es homogénea.

### ❖ **Humedecimiento de la capa contaminante**

Esta se presenta por migración de humedad (la cual puede ser niebla, rocío, o lluvia ligera) en la capa contaminante, cuando esta capa se humecta, su comportamiento es el de un electrolito, disminuyéndose su resistencia e incrementándose la corriente de filtración a través de ella. Con el aumento de la corriente se incrementa el calor generado y a su vez la temperatura de la capa contaminante lo que hace que disminuya a un más su resistencia debido al coeficiente térmico de los electrolitos.

Cuando un aislador contaminado esta seco, la distribución de voltaje es esencialmente la misma que para un aislador limpio, pero a medida que el proceso de humectación progresa la resistencia superficial se ve afectada, debido a que la parte soluble del contaminante se convierte en electrolito iniciándose así un flujo de iones conocidos como corrientes de fuga.

### ❖ **Secado de la capa contaminante**

Cuando la resistencia de la capa empieza lentamente a aumentar, hasta que la pérdida de humedad sea tal que la capa empieza a secarse, momento en el cual alcanza valores altos de resistencia, este fenómeno es mas acentuado en las partes estrechas del aislador donde la densidad de corriente es mayor, es en este instante que la capa empieza a secarse y la conductividad de estas zonas bajan rápidamente hasta que alcanzan el cero, formándose así zonas perfectamente secas detectables a simple vista, las cuales son conocidas con el nombre de bandas secas. El incremento en la resistencia producido por la banda seca, hace que la corriente disminuya pero su formación implica que la mayor parte de la tensión aplicada al aislador aparezca a través de ella, por estar a un mojado o húmedo el resto de la capa contaminante depositada sobre el aislador y por tanto posee baja resistencia.



### ❖ **Descarga a través de las bandas**

El ancho de la banda seca varia en dependencia de varios factores: características de absorción de la capa, régimen de humectación, lugar donde se forma la banda seca, etc., dicha banda se sigue formando a través de un proceso cíclico hasta un punto en que la tensión aplicada a la misma es ligeramente inferior al valor requerido para iniciar la descarga por el aire, por lo que cualquier disminución en el ancho de la banda, distorsión del campo eléctrico o el desarrollo de algún proceso de ionización provocara la descarga, el arco crecerá hasta un límite en el que dependiendo las características del sistema este se extingue o produce un corto circuito en el aislador.

### ❖ **Descarga parcial**

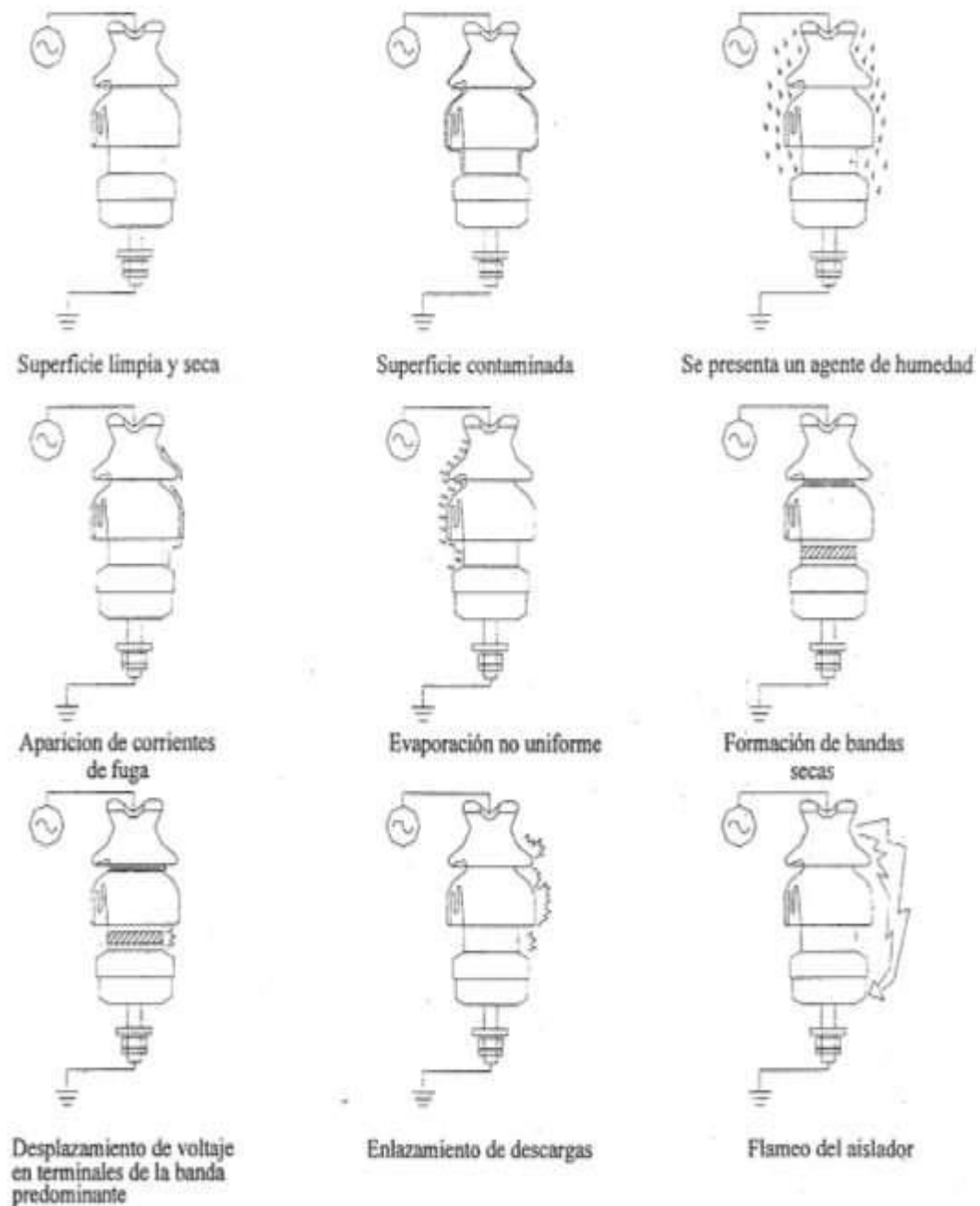
Cuando una banda seca completa es establecida, la mayor parte del voltaje aplicado en el aislador es entonces impuesto entonces en ella debido a su alta resistencia, la corriente es interrumpida por la ruptura del aire como puente entre esta banda seca y mantendrá la corriente, el arco lleva la corriente en un canal concentrado liberando el calor en una forma muy concentrada más que distribuirlo sobre la superficie, esto conduce a preferir la elongación de la amplitud de la banda seca en la ubicación del punto final de arco, donde la densidad de corriente es más alta, el arco puede extenderse longitudinalmente y se llega a cubrir una parte critica del camino a lo largo de la fuga, el arqueado definitivo será prácticamente inevitable.

### ❖ **Flameo**

En condiciones de humedad, la circulación de la corriente de fuga genera la disipación de energía por efecto joule ( $I^2 R$ ) ocasionando la evaporación de la humedad contenida en la capa contaminante. El incremento de esta corriente en las regiones conductivas, permite la falla por flameo, debido a que se reduce la resistencia superficial y se incrementa la corriente de fuga, logrando que las descargas lleguen a encadenarse y se presente la falla a tierra causando la salida de operación de la línea.

## Comparativo de los aisladores y su aplicación

La energía liberada durante el arco de potencia puede ser de tal magnitud, que ocasione la falla del aislador ya sea por ruptura mecánica (caída del aislador), o por daño parcial, en caso de no llegar a la ruptura mecánica o algún daño parcial después del arco de potencia, el aislador seguirá trabajando hasta que nuevamente la actividad de las bandas secas ocasione otro arco de potencia. La siguiente figura muestra, en forma gráfica cada una de las etapas del flameo mencionadas anteriormente.



## **3.10 EFECTOS DE LOS DEPÓSITOS CONTAMINANTES SOBRE EL AISLAMIENTO**

Entre los principales efectos que provoca la contaminación sobre los aislamientos externos encontramos los siguientes:

### **❖ *Excesiva corriente de fuga***

A medida que se humedece la superficie del aislador, disminuye su resistencia superficial, y se presenta una corriente de fuga apreciable de carácter intermitente sobre la superficie del aislador, lo cual provoca la disipación de energía en forma calorífica, aumentando la temperatura y esta a su vez disminuyendo la resistencia dieléctrica del aislador, ocasionándole pérdidas de su capacidad aislante del material.

### **❖ *Flámeos continuos***

El riesgo de flameo por contaminación puede presentarse en tres casos especiales:

1. Cuando el aislador se expone a la lluvia, después de haber sido energizado al voltaje nominal de trabajo durante un largo periodo de tiempo.
2. Cuando un aislador contaminado y húmedo se energiza a su voltaje nominal de trabajo.
3. Cuando un aislador contaminado y húmedo se somete a un voltaje transitorio.

### ❖ **Perforación**

El excesivo calentamiento local y el calentamiento diferencial ocasionados por la excesiva corriente de fuga, disminuyen rápidamente la resistencia dieléctrica del material, lo cual se traduce en una mayor disipación de energía calorífica, hasta producir la ruptura y perforación del aislado

### ❖ **Corrosión**

Se produce una acelerada corrosión de las partes metálicas en las instalaciones que operan en zonas de alta contaminación, las principales causas de dicha corrosión son:

1. Efectos electrolíticos debidos a la corriente de fuga.
2. Pérdida de la capa de zinc (galvanizado), quedando el metal expuesto a la acción corrosiva del medio.
3. Generación de ácido nítrico a partir del ozono producido por el efecto corona y el calentamiento.

# Tema 4

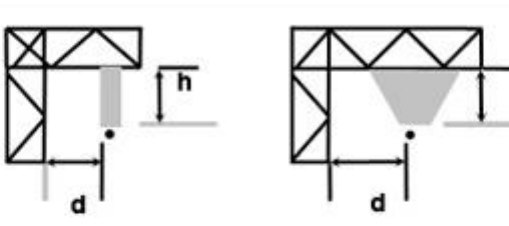
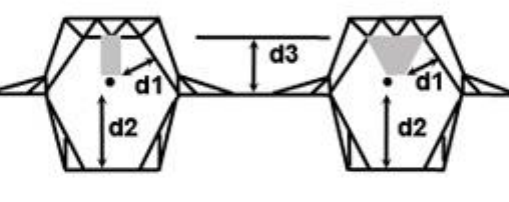
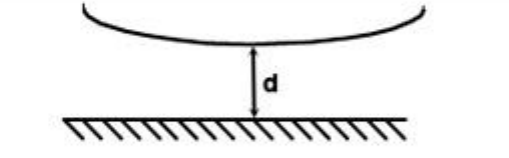
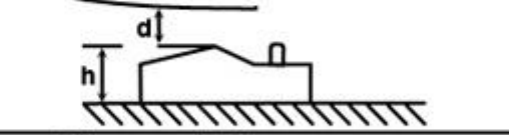
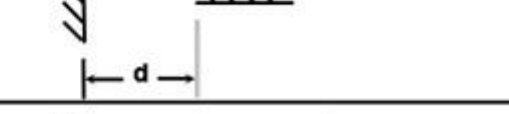


# APLICACIÓN A UNA RED ELECTRICA

## 4.1 EJERCICIOS PARA EL CÁLCULO DE AISLADORES

Tablas a utilizar para los siguientes problemas

### ❖ Tabla 1

VALORES DE LOS FACTORES  $K_n$ ,  $K_m$  y  $K_r$  PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES DE ENTRE-HIERRO, TOMADOS DE LA ESPECIFICACION CFE-L0000-06

CONFIGURACION DE ENTRE-HIERRO	DIAGRAMA	$K_n$	$K_m$	$K_r$
FASE - TORRE		1.40	1.25	550
FASE - VENTANA DE TORRE		1.30	1.20	550
CONDUCTOR - SUELO		1.30	1.10	550
CONDUCTOR - OBJETO		1.45	1.35	550
VARILLA - PLANO		1.20	1.00	480
CONDUCTOR - CONDUCTOR		1.65	1.50	550
ENTRE ANILLOS (EQUIPOTENCIALES) DE CONDUCTORES		-	1.60	550

❖ **Tabla 2**

**TABLA 2. NIVELES BASICOS DE AISLAMIENTO POR IMPULSO TIPO RAYO, NBAI Y NIVELES BASICOS DE AISLAMIENTO POR IMPULSO TIPO MANIOBRA, NBAM, DE FASE A TIERRA Y DE FASE A FASE Y DISTANCIAS MINIMAS DE FASE A FASE Y DE FASE A TIERRA, PARA DIFERENTES NIVELES DE TENSION DE SUBTRANSMISION.**

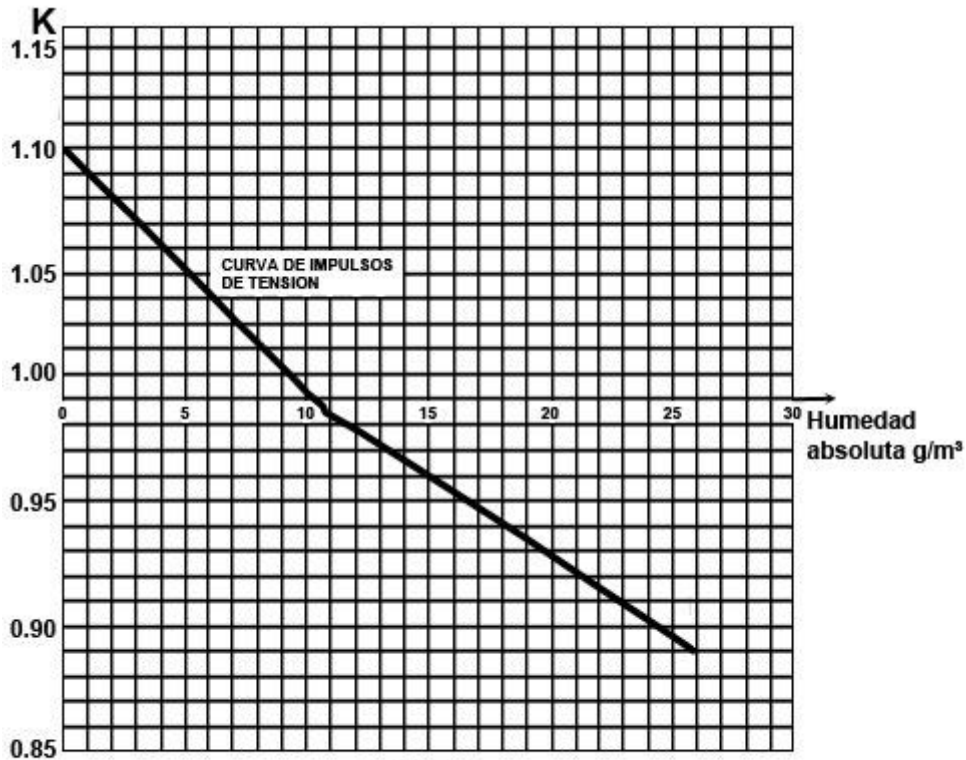
TENSION NOMINAL kV	TENSION MAXIMA kV	NBAI FASE - TIERRA kV	NBAM FASE - TIERRA kV	NBAI FASE - FASE kV	NBAM FASE - FASE kV	DISTANCIA FASE - TIERRA mm	DISTANCIA FASE - FASE mm
4.4	4.4	75	-	75	-	120	120
6.9	7.2	95	-	95	-	160	160
13.8	15.5	110	-	110	-	220	220
24	26.4	150	-	150	-	320	320
34.5	38	200	-	200	-	480	480
69	72.5	350	-	350	-	630	630
115	123	450 550	-	450 550	-	900 1100	900 1100
138	145	450 550 650 550	-	550 650 650 650	-	1100 1300 1100	1100 1300 1300
161	170	650 750	-	650 750	-	1300 1500	1500

❖ **Tabla 3**

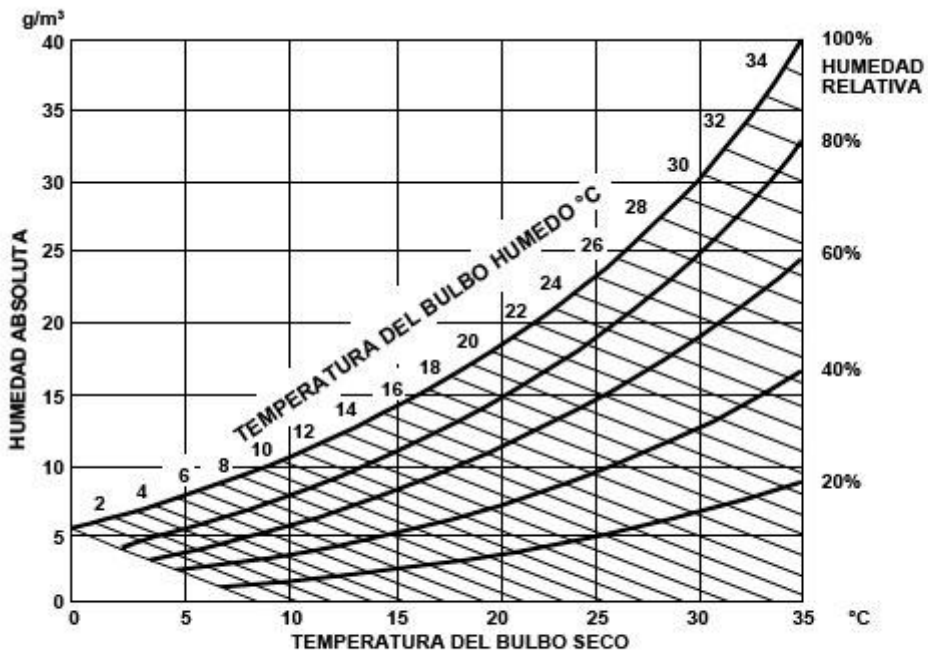
**FACTORES DE CORRECCION POR PRESION ATMOSFERICA A  
DISTINTAS ALTITUDES**

ALTITUD EN METROS	PRESION		FACTOR DE CORRECCION Kda	ALTITUD EN METROS	PRESION		FACTOR DE CORRECCION Kda
	mbar	mm Hg			mbar	mm HG	
0	1013	760	1.00	2500	747	560	0.737
100	1001	751	0.988	2600	747	554	0.728
200	989	742	0.976	2700	728	546	0.718
300	977	733	0.965	2800	720	540	0.710
400	968	726	0.954	2900	708	531	0.698
500	955	716	0.942	3000	701	526	0.692
600	943	707	0.931	3100	692	519	0.683
700	932	699	0.919	3200	683	512	0.674
800	921	691	0.908	3300	675	506	0.665
900	909	682	0.897	3400	665	499	0.656
1000	905	679	0.893	3500	656	492	0.647
1100	888	666	0.876	3600	648	486	0.639
1200	877	658	0.866	3700	639	479	0.629
1300	867	650	0.855	3800	629	472	0.621
1400	856	642	0.845	3900	621	466	0.613
1500	845	634	0.834	4000	613	460	0.605
1600	836	627	0.824	4100	605	454	0.597
1700	825	619	0.814	4200	597	448	0.590
1800	815	611	0.804	4300	591	443	0.583
1900	805	604	0.794	4400	584	438	0.576
2000	795	596	0.784	4500	577	433	0.569
2100	785	589	0.774	4600	571	428	0.562
2200	775	581	0.765	4700	563	422	0.555
2300	765	574	0.756	4800	556	417	0.549
2400	756	567	0.746	4900	549	412	0.542





**FIG. 1**  
**FACTOR K DE CORRECCION POR HUMEDAD EN**  
**FUNCION DE LA HUMEDAD ABSOLUTA**



**FIG. 2**  
**HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE EN FUNCION DE LAS TEMPERATURAS DE**  
**BULBO SECO, BULBO HUMEDO Y DE LA HUMEDAD RELATIVA EN PORCIENTO**

❖ **Tabla 5.6**

Nivel de aislamiento al impulso de rayo para diferente numero de aisladores estándar y diferentes altitudes sobre el nivel del mar. (Sin considerar efecto de humedad)

$$\text{NBI} = 0.961 \text{ VCF}$$

Numero de aisladores	VCF KV (1)	NBI KV (2)	NBI (KV) Corregido por altitud			
			Metros sobre el nivel del mar			
			0 - 500	501 - 1500	1501-2500	2501 - 3200
1	125	120	112	99	87	79
2	255	245	229	203	179	163
3	345	331	310	274	242	220
4	415	398	372	330	291	265
5	495	475	445	394	348	316
6	585	562	526	466	411	374
7	670	643	602	533	471	428
8	760	730	684	605	535	486
9	845	812	760	673	595	540
10	930	893	836	741	654	594
11	1015	975	913	809	714	649
12	1105	1061	994	880	777	706
13	1185	1138	1066	944	834	757
14	1265	1215	1138	1008	890	809
15	1345	1292	1210	1072	947	860
16	1425	1369	1282	1136	1003	911
17	1505	1446	1354	1200	1059	963
18	1585	1523	1427	1264	1116	1014
19	1665	1600	1499	1328	1172	1065
20	1745	1676	1570	1391	1228	1117

## Aplicación a una red eléctrica

---

21	1825	1753	1642	1454	1284	1167
22	1905	1830	1714	1518	1341	1218
23	1985	1907	1786	1582	1397	1270
24	2065	1984	1859	1646	1454	1321
25	2145	2065	1934	1713	1513	1375
26	2220	2133	1998	1770	1563	1420
27	2300	2210	2070	1834	1619	1471
28	2375	2282	2138	1894	1672	1521
29	2455	2359	2210	1957	1729	1571
30	2530	2431	2277	2017	1781	1619

- En líneas de transmisión, el efecto de humedad se considera mínimo por rayo
- Aisladores de 254 x 146 mm (10 x 5  $\frac{3}{4}$  plg)
- Las columnas 1 y 2 dan valores en condiciones estándar de presión barométrica y temperatura a las cuales se pueden referir los cálculos.

❖ **Tabla 5.7**

Numero de aisladores estándar de 254 x 146 mm requerido por algunas líneas de transmisión a diferentes altitudes (No se considera efecto de humedad)

Tensión nominal (KV)	NBI recomendado (KV)	Numero de aisladores estándar de 254 X 146 mm			
		Metros sobre el nivel del mar			
		0-500	501-1500	1501-2500	2501-3200
69	350	4	5	5	6
115	550	7	8	9	10
230	750	9	11	12	13
230	900	11	12	14	15
400	1300	17	19	22	24
400	1425	18	21	24	26

Valores para tensiones de menos uso en la Republica Mexicana					
138	650	8	10	12	13
161	750	9	11	14	15
345	1175	18	20	24	25

❖ **Tabla 5.7 A**

Valores recomendados para diseño de líneas aéreas y a partir de los cuales se obtienen los datos de la tabla 5.7

Tensión nominal	Nivel básico al impulso NBI (KV)	Longitud Max de la línea (KM)	Longitud promedio del claro (metros)	Resistencia Max al pie de la torre (Ohoms)	Nivel isocerámico
69	350	70	190	10	30
115	550	115	250	10	30
138	650	140	320	10	30
161	750	160	380	10	30
230	750	100 6	450	10	30
230	900	menos	450	10	30
345	1175	230	480	20	30
400	1300	345	500	20	30
400	1425	100 6 menos 400	500	20	30

## Ejercicio numero 1

La Línea de Sub-transmisión 73690 Tepazolco-Tlacotepec opera a una altitud de 2000 m.s.n.m. con una humedad relativa y temperatura promedios de 70 % y 10°C respectivamente durante las noches. Sabemos que el NBAI, para condiciones normalizadas de una L ST que opera a 115 KV es de 550 KV. Calcular el número de aisladores que deben llevar las cadenas de sus estructuras considerando un nivel de contaminación ligera.

- De la Tabla 3 obtenemos  $K_{da} = 0.784$
- De la Figura 2 obtenemos 7 gr/m<sup>3</sup>, y con este valor en la Figura 1 nos da una  $K_h = 1.03$
- En base a la distancia en aire por sobretensiones de impulso:
- El NBAI para un voltaje de 115 kV es de 550 KV, obtenido de la Tabla 2, por lo tanto:

$$TCF = \frac{NBAI}{0.961} = \frac{550}{0.961} = 572.3 \text{ KV}$$

- Se obtiene  $K_r = 550$  de la Tabla 1 para fase a estructura, entonces:

$$K_{co} = K_r \frac{K_{da}}{K_h} = 550 \frac{0.784}{1.03} = 418.6$$

$$d = \frac{TCF}{K_{co}} \quad d = \frac{572.3}{418.6} = 1.367 \text{ m}$$

- Si usamos los aisladores 27SVC111 que tienen un paso de 146 mm tenemos:

$$NA = \frac{1.367}{0.146} = 9.4 \approx 9 \text{ aisladores}$$

- En base a los niveles de contaminación:

Para 115 KV tenemos un voltaje máximo de 123 kV, obtenido de la Tabla 2 y la distancia específica de fuga para contaminación tipo ligero es 28 mm/kV, por lo tanto:

$$D_{fct} = 28 \left( \frac{123}{1.732} \right) (1.0 \times 1.05) = 2087.8 \text{ mm}$$

$$NA = \frac{2087.8}{279} = 7.48 \approx 8 \text{ aisladores}$$

## Ejercicio numero 2

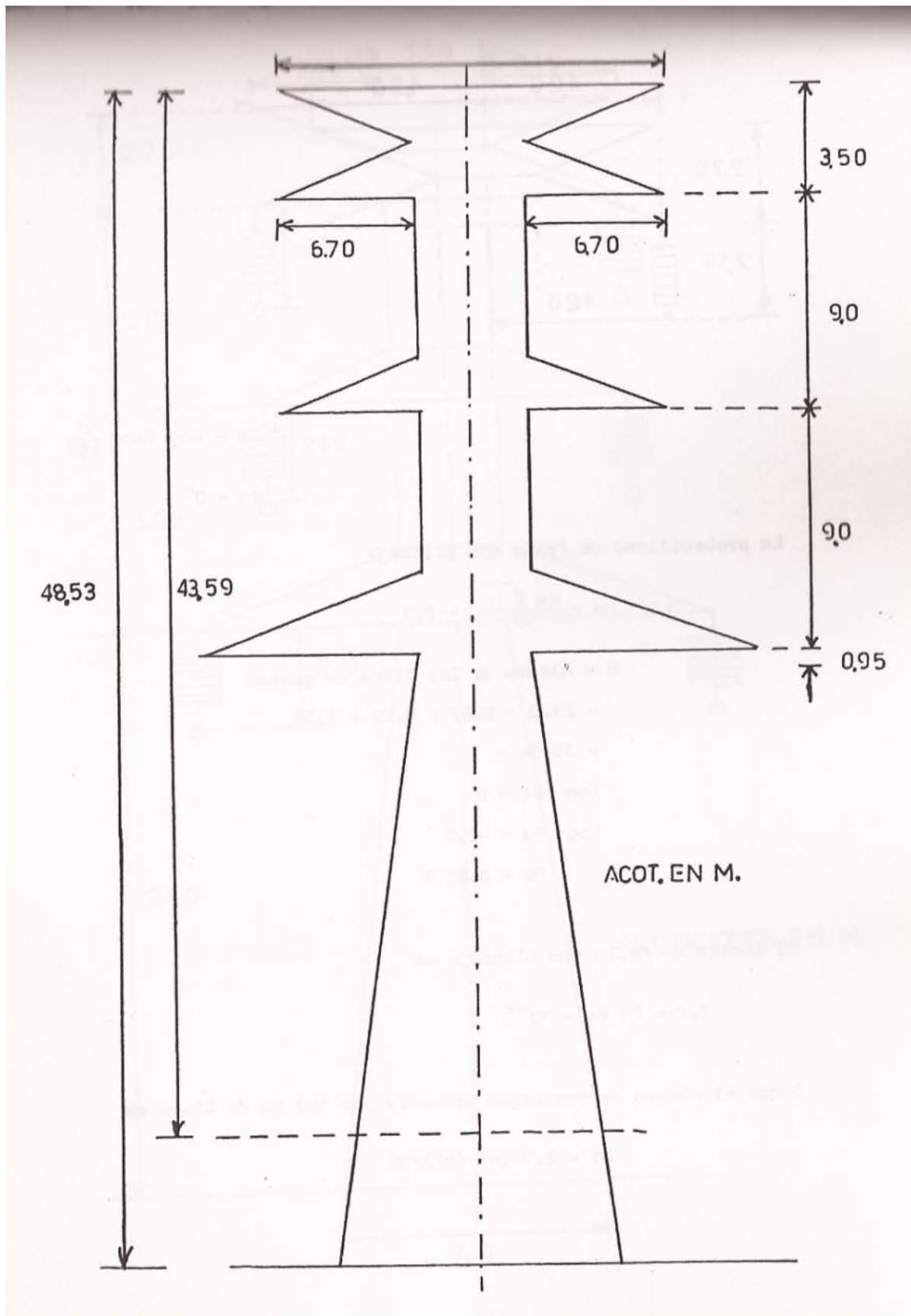
Calcular el sistema por rayo y por maniobra de interruptores para una línea trifásica de 400 Kv nominales entre fase, que tendrá una distancia interpostal media (claro) de 350m, un nivel de protección estándar con una corriente del rayo de 100 KA se instalara en 2 etapas, una a 1200 MSNM con un nivel isocerámico de 30 en la primera etapa la temperatura media anual es 25°C y en la segunda 20°C, la línea tiene una longitud total de 240 km, la segunda etapa está a 2500 MSNM.

Los conductores tienen las características siguientes:

2 conductores por fase de ACSR 1113 MCM, 45/7 hilos	
Diámetro externo	32mm
Áreas	603mm <sup>2</sup>
Carga de ruptura	14030kg
Tensión máxima	3700kg

Los cables de guarda tienen las siguientes características

Acero extra galvanizado de 7 hilos	
Diámetro externo	9.5mm
Áreas	51.2mm <sup>2</sup>
Carga de ruptura	4900kg
Tensión máxima	1000kg





### **Inciso A, Aislamiento por rayo**

Considerando para una línea de 400 kv un nivel básico de impulso de 1425 kv

### **Etapa A**

De la relación entre la tensión crítica de flameo y el nivel básico al impulso el impulso dada por la IEC-71

$$NBI = VCF (1.0 - 1.3\sigma)$$

$$\sigma = 0.03 \text{ para rayo}$$

$$NBI = 0.961 VCF$$

$$\text{A } 1200 \text{ MSNM} \quad \sigma_{\tau} = 0.86$$

Entonces para la cadena la tensión crítica de flameo corregida al nivel del mar es:

$$VCF = \frac{NBI}{0.961 \sigma_{\tau}} = \frac{1425}{0.961 \times 0.86} = 1724.22 \text{ kv}$$

En este nivel de tensión los niveles básicos de aislamiento adoptados para las distancias mínimas a través del aire son aproximadamente un 10% mayores que las de las cadenas de aisladores de modo que para determinar las distancias mínimas se toman los valores siguientes:

$$NBI = 1425 = 1425 \times 1.1 = 1567 \text{ kv}$$

Y entonces

$$VCF = \frac{1567}{0.961 \times 0.86} = 1896 \text{ kv}$$

Que corresponde a 22 aisladores de 254 x 146 mm

**Etapa B**

A 2500 y 20°C

$$\sigma\tau = 0.76$$

$$VCF = \frac{1425}{0.961 \times 0.76} = 1961 \text{ Kv}$$

Para las distancias mínimas se toma un 10% más del NBI

NBI= 1567

$$VCF = \frac{1567}{0.961 \times 0.76} = 214.5 \text{ KV}$$

Con esta tensión se requerirán 25 aisladores tipo estándar de 254 x 146 mm.

Los valores anteriores se verifican para sobretensiones por maniobra de Interruptores, este procedimiento es aplicable a líneas de 300 KV o mayores donde se ha demostrado que la tensión exacta a la cual las ondas por maniobra de interruptores resultan más críticas dependiendo de varios factores, pero el principal es el nivel de onda de switcheo.

Es deseable entonces reducir las ondas unitarias por switcheo(maniobra de interruptores) para aumentar las tensiones del sistema. Como una guía de diseño en condiciones promedio se pueden considerar como satisfactorios los siguientes valores:

Tensión nominal del sistema (KV)	Tensión máxima del sistema (KV)	Máxima onda por maniobra de interruptores (P:V)
300-400	362-420	2.5
500	525	2.25
735	765	2.0

En particular el método que se desarrolla a continuación se aplica para el establecimientos de las dimensiones generales de la estructura o bien como ocurre comúnmente, cuando se conoce ya el tipo de torre a emplear, se verifica que las dimensiones sean las adecuadas desde el punto de vista de distancia

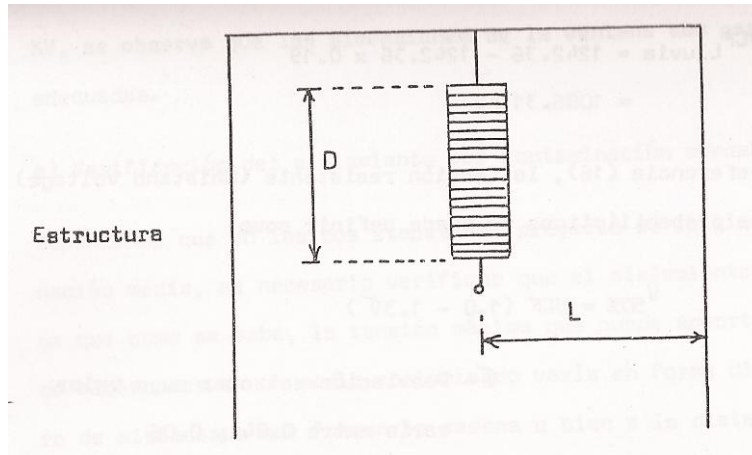
mínimas por esfuerzos eléctricos para determinar la sobre tensión máxima en fase a tierra producida por la operación de interruptores se debe multiplicar la tensión nominal de línea a tierra, un valor cresta por el factor de sobretensión por ejemplo considerando un valor de 2.5 de la tabla anterior.

$$EMAX = 2.5 \times \sqrt{2} \times \frac{400}{\sqrt{3}} = 816 \text{ KV}$$

Este valor representa la sobretensión máxima esperada por maniobra de interruptores, y se debe verificar que el nivel básico por maniobra (switchéo) NBS sea mayor que este valor para garantizar que las ventanas que forman las crucetas de las torres están dimensionadas adecuadamente.

Para el diseño de aislamiento por sobretensiones debidas a maniobras de interruptores se debe establecer una distancia mínima de las partes vivas (conductores) al cuerpo de la torre y un ángulo de desplazamiento máximo de la cadena, que depende principalmente de las condiciones de viento que existen en una región en donde va a operar la línea, y que en principio se puede tomar como valor medio 30°, susceptible de ser aumentado o disminuido según sean las características de una región en particular.

Suponiendo que el punto de partida para la verificación de las dimensiones antes mencionadas es la longitud de la cadena de aisladores calculada por rayo, con aisladores de 254 x 146 mm, con un estribo de 457 mm y herraje en la parte superior de 192 mm de longitud y en la parte inferior de 805 mm suponiendo que se considera la etapa de 2500 MSNM.

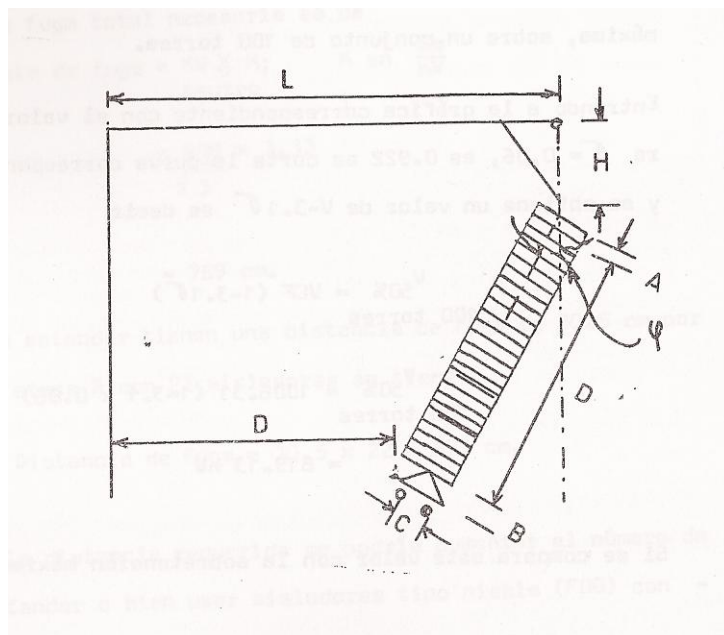


### CADENA EN POSICION VERTICAL

En este caso la distancia de la cadena

$$D = 25 \times 146 = 3650 \text{ mm.}$$

Dimensiones de la cadena y herrajes para el ángulo de desplazamiento  $\varphi$  por viento



En donde

H= es la longitud del estribo (457 mm).

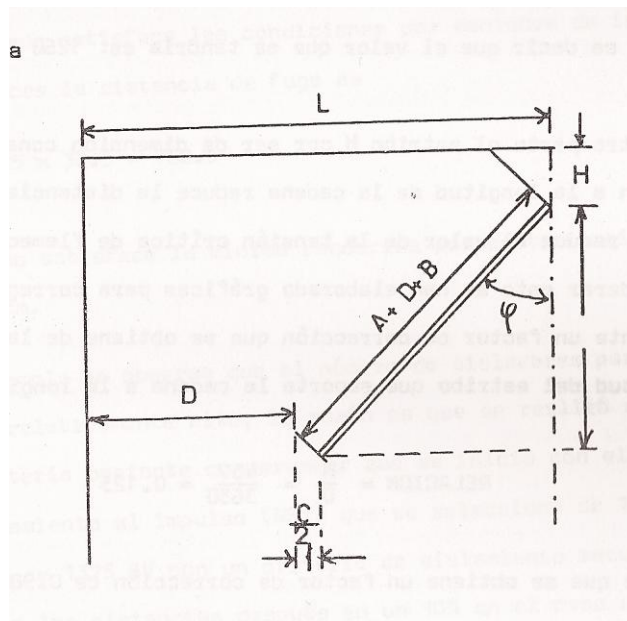
D= longitud de la cadena de aisladores.

A= longitud del herraje en la parte superior de la cadena de aisladores (192mm).

B=longitud del herraje en la parte inferior de la cadena de aisladores (305 mm)

C= ancho del yugo de la cadena de aisladores (457 mm).

De la figura



$$L = D + (D+A+B) \sin \varphi + \frac{C}{2} \cos 30^\circ$$

$$L = 5921.38 \text{ mm.}$$

La relación L/D es:

$$\frac{L}{D} = \frac{5921.38}{3650} = 1.622958$$

Entrando a la curva para determinar la tensión crítica de flameo en seco a partir de la relación L/D es aproximadamente 1400 KV valor cresta para una fase lateral.

Suponiendo que en la cadena se usan anillos para efecto corona, estas reducen en un 10% la tensión crítica de flameo obtenida anteriormente es decir que el valor que se tendría es: 1260 KV.

Por otra parte el estribo H por ser de dimensión H considerable en relación a la longitud de la cadena reduce la distancia a la torre es decir reduce el valor a la tensión crítica de flameo en seco, para considerar esto se han elaborado gráficas para corregir este valor mediante un factor de corrección que se obtiene de la relación de la longitud del estribo que soporta la cadena a la longitud de la cadena.

$$RELACION = \frac{H}{D} = \frac{457}{3650} = 0.125$$

Con lo que se tiene un factor de corrección de 0.986

Tensión crítica de flameo= 0.986 x 1260= 1242,36 KV.

Si se considera al efecto de lluvia o humedad se puede suponer que la tensión crítica de flameo en seco ya corregido por la relación de estribo a longitud de la cadena se reduce en un 4% y por condiciones relativas del aire y humedad hasta un 15% de reducción.

$$VCF_{lluvia} = 1242.36 - 1242.36 \times 0.19 = 1006.31 \text{ KV}$$

La tensión resistente (whistand voltaje) de estudios probalísticos se puede definir como:

$$V_{50\%} = VCF (1.0 - 1.3\sigma)$$

$\sigma =$  desviación estandar cuyo valor entre 0.04 y 0.06

Considerando= 0.06 según IEC – 71

$$V_{50\%} = 1006.31 (1.0 - 1.3 \times 0.06)$$

= 927.81 KV para una sola cadena de aisladores.

Suponiendo que la maniobra de interruptores produce una sobretensión máxima, sobre un conjunto 100 torres.

Entrando a la gráfica correspondiente con el valor de  $(1.0 - 1.3\sigma)$  para  $\sigma = 0.06$ , es 0.922 se corta la curva correspondiente a 100 torres y se obtiene un valor de  $V - 3.1\sigma$  es decir

$$V_{50\%} = VCF (1 - 3.1\sigma)$$
$$100 \text{ Torres}$$
$$V_{50\%} = 1006.31 (1 - 3.1 \times 0.06) = 819.13 \text{ KV}$$
$$100 \text{ torres}$$

Si se compara este valor con la sobretensión máxima esperada de 816 KV, se observa que las dimensiones de la ventana son para las torres adecuadas.

### Verificación del aislamiento por contaminación atmosférica

Suponiendo que en las dos etapas del proyecto de la línea de contaminación media, es necesario verificar que el aislamiento adecuado ya que como se sabe, la tensión máxima que puede soportar una cadena de aisladores en un medio contaminado varía en forma directa al número de aisladores que forman la cadena o bien a la distancia de fuga.

En el caso de que el número de faldas y diámetro de los aisladores no cambie el parámetro principal esta representado por la distancia de fuga. Para un medio atmosférico con contaminación media la constante en cm/KV es de 3.33 por lo que:

La distancia de fuga total necesaria es de:

$$DISTANCIA DE FUGA = KV \times K \quad K \text{ en } \frac{cm}{KV}$$
$$= \frac{400}{\sqrt{3}} \times 3.33 = 769 \text{ cm}$$

Los aisladores estándar tienen una distancia de fuga de 30.5 cm por lo que, en la etapa A con 22 aisladores se tiene:

$$\text{Distancia de fuga} = 30.5 \times 22 = 671 \text{ cm.}$$

Para obtener la distancia requerida se podría aumentar el número de aisladores estándar o bien usar aisladores tipo niebla (FOG) con una distancia de fuga de 43.2 cm la decisión de que solución tomar esta considerada entre otros casos por el máximo número de aisladores que pueden llevar la torre en función de sus dimensiones.

Usando 22 aisladores tipo niebla la distancia de fuga es:

$$22 \times 43.2 = 950.4 \text{ cm.}$$

Que cubre perfectamente la mínima requerida.

En la etapa B de 2500 MSNM se habría calculado una cadena con 25 aisladores que satisface las condiciones por maniobras de interruptores y entonces la distancia de fuga es:

$$23 \times 30.5 = 762.5 \text{ cm}$$

Que de hecho satisface la mínima requerida por contaminación media es de 769 cm.

En este ejemplo se observa que el número de aisladores para las dos etapas es relativamente alto, la razón es que se realizó el cálculo con un criterio bastante conservador que se inicia con el nivel básico de aislamiento al impulso (NBI) que se seleccionó de 1425 KV que podría ser de 1375 KV con un criterio de aislamiento reducido ya que se aumentan las distancias después en un 10% en el caso de aislamiento por rayo, lo cual no es necesario ya que se considera  $NBI = 0.961 \times VCF$  lo que cubre este concepto automáticamente. .



En el caso de maniobra de interruptores el 15% de corrección por humedad y dimensiones de herrajes pudiera resultar excesivo y podría tomarse un valor del orden del 10% para cálculos en ciertas regiones de cantidad de humedad conocida como relativamente baja. Con estas consideraciones se efectuaron cálculos que se resumen en la tabla 5.7 en particular para la tensión de 400 KV.

## CONCLUSIÓN:

Visto lo expuesto, en la presente tesis hemos llegado a la conclusión de que las características tanto eléctricas como mecánicas en los aisladores son de suma importancia, ya que en un sistema de distribución eléctrica los aisladores son a los cuales tenemos que prestar mayor atención, debido a que son un tipo de protección, puesto que su principal función es aislar la fase de la tierra y de cualquier parte metálica por la que pudiese transitar corriente eléctrica, esto principalmente para evitar una falla a tierra.

Con este trabajo se demuestra que el uso de aisladores convencionales como son los de vidrio y porcelana no son la única alternativa ya que en la actualidad se están utilizando aisladores cuyo material es de resina epóxica, la cual presenta mejores características tanto eléctricas como mecánicas.

El mantenimiento en los aisladores eléctricos es una parte importante, ya que algunos agentes biológicos como la acumulación de polvo pueden llegar a provocar fallas en estos, como puede ser la producción de un arco eléctrico. Con el fin de evitar este tipo de fallas se le brinda cierto mantenimiento a los aisladores, que en comparación con los de vidrio y porcelana, los de resina epóxica requieren un menor mantenimiento.

Aunado a esto hemos llegado a la conclusión del costo inmediato con respecto a los aisladores de resina epóxica, ya que los aisladores de vidrio y porcelana presentan un costo relativamente accesible en comparación con los aisladores de este tipo de material, pero si lo vemos a largo plazo convendría comprar aisladores de resina epóxica ya que el material con el cual están contruidos proporciona mayores ventajas con respecto a las característica eléctricas y mecánicas, para un mejor funcionamiento y una mayor durabilidad de este tipo de dispositivos.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- An on-Porcelain Insulator for Transmission Design, Lapp Products 1976.
- CFE, Normas de Distribución.
- Estudio de sobretensiones transitorias en sistemas eléctricos y coordinación de aislamiento Ing. Gilberto Henriquez Harper Ed. Limusa
- Electric Power Transmission and Distribution P.J. Freemann Ed. G. Harrap, London 1969.
- International Electrotechnical Comission, Technical Comitee 42, publication 19 (1972).
- Norma ASA C29.6 – 1961. Wet process.Porcelain Insulators High-Voltage Pin type.
- Normas de la Comisión Federal de Electricidad CNI-05EOO6, CNI-05R010, CNI-05RO15.
- Normas: USAS C29.1 1961; test Methods for Electrical Power Insulators.
- Proyecto de Norma CCNONNIE. Aisladores tipo Alfiler.
- Proyecto de Norma CCNONNIE. Aisladores tipo Suspensión.
- Proyecto de Norma CCONNIE, Métodos de prueba para la determinación de las características de aisladores de las características de porcelana.
- Power System Analysis, J.R. Mortlock. H. W. Davies Chapman & Hall, London 1952.

- Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse 1964
- .The Transmission and Distribution of Electric Energy; H. Cotton, H. Barber, The English University Press- 1970.