

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**CRITERIOS DE DISEÑO DE AISLADORES SINTÉTICOS  
RÍGIDOS EN BASE A RESINAS EPÓXICAS, PARA MEDIA  
Y BAJA TENSIÓN.**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:**

**BISMARCK ANTONIO VIGO ESPINO**

**PROMOCIÓN**

**1977- 2**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

**CRITERIOS DE DISEÑO DE AISLADORES SINTÉTICOS  
RÍGIDOS EN BASE A RESINAS EPÓXICAS, PARA MEDIA  
Y BAJA TENSIÓN.**

Agradezco:

A quien nunca vi pero que siempre  
estuvo conmigo .....

A mi madre, a mis hijos y a todos  
aquellos de quienes recibí la gracia de  
su amor y de su sinceridad .....

A mis maestros, que me enseñaron la  
senda hacia el templo y la virtud .....

## SUMARIO

El presente informe ha sido basado en experiencias tomadas de trabajos realizados en una empresa fabricante de aisladores sintéticos diversos, para baja y media tensión y de servicios conexos de encapsulado de transformadores de medida; para ello se hacía uso de materiales plásticos rígidos, principalmente de resinas epóxicas, tanto para uso interior como para uso exterior.

Se hace una sucinta compilación de las propiedades de los materiales aislantes, profundizando en aquellos que tienen relación con el tema central, que es el diseño de aisladores soporte, haciendo uso de materiales sintéticos rígidos.

También se expone conceptos generales sobre aisladores eléctricos y se presenta la clasificación de estos según estándares internacionales.

Posteriormente se presenta los modelos comerciales vigentes de los aisladores soporte, tanto en baja como en media tensión y se exponen los criterios de diseño tanto mecánicos como eléctricos de estos dispositivos.

Al final del informe se presenta las experiencias obtenidas con el manejo de las resinas epóxicas y sus aplicaciones, anotándose también conclusiones importantes producto del desarrollo del documento.

Cierra este trabajo la literatura consultada y los anexos contemplados.

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 Conceptos generales sobre aislantes eléctricos.</b>	2
<b>1.2 Propiedades generales de los materiales aislantes.</b>	2
<b>1.2.1 Propiedades eléctricas de los materiales aislantes</b>	3
<b>1.2.2 Propiedades mecánicas de los materiales aislantes</b>	6
<b>1.2.3 Propiedades físico-químicas de los materiales aislantes</b>	10
<b>1.3 Materiales aislantes usados en electrotecnia.</b>	11
<b>1.3.1 Clasificación</b>	11
<b>1.3.2 Materiales aislantes usados para la fabricación de aisladores eléctricos rígidos.</b>	13
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>AISLADORES ELÉCTRICOS.</b>	
<b>2.1 Conceptos</b>	21
<b>2.2 Clasificación, utilización, normas y estándares.</b>	22
<b>2.3 Tipo de aisladores considerados en el desarrollo del informe</b>	25
<b>2.3.1 Estándar IEC 60660</b>	27
<b>2.3.2 Estándar IEC 60168</b>	31
<b>2.3.3 Estándar IEC 60273</b>	31
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES</b>	
<b>3.1 Antecedentes.</b>	37
<b>3.2 Introducción a las resinas epóxicas.</b>	38
<b>3.3 Propiedades de las resinas epóxicas.</b>	44
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>CRITERIOS TEÓRICOS DE DISEÑO</b>	
<b>4.1 Formas y geometría.</b>	54

<b>4.1.1</b>	<b>En baja tensión.</b>	56
<b>4.1.2</b>	<b>En media tensión.</b>	58
<b>4.2</b>	<b>Criterios de diseño de un aislador soporte.</b>	62
<b>4.2.1</b>	<b>Criterios de diseño mecánicos y eléctricos en baja tensión.</b>	62
<b>4.2.2</b>	<b>Criterios de diseño mecánicos y eléctricos en media tensión.</b>	65
<b>CAPITULO V</b>		
<b>EXPERIENCIAS Y APLICACIONES</b>		
<b>5.1</b>	<b>Caso de fallas a tierra en sub-estaciones de ex empresa Electrolima.</b>	84
<b>5.2</b>	<b>Reproducción de un aislador tipo espiga modelo 55-5 según estándar ANSI C29.5</b>	86
<b>5.3</b>	<b>Importancia del proceso de fabricación.</b>	87
<b>5.4</b>	<b>Diseño y fabricación de cabezas terminales para cable en papel impregnado en aceite.</b>	88
<b>5.5</b>	<b>Encapsulado de transformadores de medida para media tensión, con formulaciones epóxicas.</b>	90
<b>5.6</b>	<b>Fabricación de aisladores para aplicaciones especiales</b>	90
<b>CONCLUSIONES</b>		93
<b>ANEXO</b>		95
<b>Pruebas e investigaciones en un aislador de resina epóxica de 10 kV</b>		96
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>		97

## PRÓLOGO

Han sido varios motivos los que impulsaron a integrar los temas del presente informe, el primero es sin duda el deseo de volcar en su desarrollo, importantes experiencias en el manejo de materiales aislantes orgánicos rígidos y criterios para mejorar el diseño de aisladores y aislamientos de esta misma naturaleza.

El segundo, es hacer una revisión general de los estándares actualizados de la IEC, que tratan sobre las características de los aisladores soporte y sobre las pruebas a las que deben ser sometidos para verificar su comportamiento y calidad.

El tercero, dejar para el usuario un documento que le permita saber escoger y solicitar el tipo de aisladores mas adecuados a sus necesidades y exigir el control de calidad para estos productos.

El cuarto es dejar la inquietud para el desarrollo y la investigación en este campo a los profesionales del ramo, alumnos de la especialidad y porque no de la industria.

Se ha hecho uso de literatura disponible en textos de la especialidad, información técnica de los fabricantes de resinas, estudios de investigación de profesionales de la rama en otros países, estándares afines, experiencias documentadas sobre la performance de productos fabricados con resinas epóxicas y finalmente se ha presentado aplicaciones de lo que se expone; una de ellas materializada en una cabeza terminal de media tensión, que tuvo un excelente comportamiento en el tiempo, inclusive en zonas de muy alta contaminación.

Las limitaciones están principalmente en la no disposición de laboratorios equipados, donde recurrir para realizar ensayos orientados a corroborar las características de materiales, aisladores y prototipos de equipos, elaborados a partir de esta amplia gama de materiales sintéticos.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Conceptos generales sobre aislantes eléctricos.

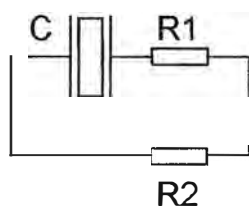
Se denomina aislante eléctrico o dieléctrico, a toda sustancia de muy baja conductividad eléctrica, la cual hace prácticamente nulo el paso de la corriente a través de ella. La pequeña corriente que lo hace se denomina corriente de fuga y la tolerancia de su intensidad, determina la clase de material aislante.

Los materiales aislantes cumplen misiones fundamentales:

Permitir aislar eléctricamente a los conductores entre si y estos con respecto a tierra o a otras masas.

Modificar, en gran proporción, el campo eléctrico que los atraviesa.

El vacío es el único aislante perfecto ya que tiene una conductancia nula, los demás materiales aislantes son imperfectos y pueden ser representados por el siguiente circuito eléctrico:



**Fig. 1.1 Esquema representativo de un material aislante**

En la Fig. 1.1, el condensador C representa la permitancia, la resistencia R1 la pérdida por absorción de corriente del dieléctrico y la resistencia R2, la componente óhmica de la corriente de fuga. En un dieléctrico perfecto, R1 sería nula y R2 tendría un valor infinito.

Los valores de C, R1 y R2 no son constantes sino que dependen de la temperatura, frecuencia y tensión aplicadas al dieléctrico.

### 1.2 Propiedades generales de los materiales aislantes.

Los materiales aislantes para poder tener un comportamiento idóneo en un equipo o en una instalación, deben cumplir con ciertas propiedades, clasificadas de la siguiente manera:

- Propiedades eléctricas



- Propiedades mecánicas
- Propiedades físico- químicas

Los materiales aislantes individualmente no pueden satisfacer todas las exigencias técnicas, por lo que para cada caso, se tendrá que escoger los más adecuados, solos o combinados y de haber varias alternativas será el precio el que decida la elección.

### 1.2.1 Propiedades eléctricas de los materiales aislantes.

Los materiales aislantes son evaluados de acuerdo a las siguientes propiedades eléctricas fundamentales:

- a) Resistencia de aislamiento
- b) Rigidez dieléctrica
- c) Constante dieléctrica
- d) Factor de pérdidas dieléctricas
- e) Factor de potencia
- f) Resistencia al arco.

Veamos someramente en que consisten estos conceptos.

#### a) Resistencia de aislamiento:

Se denomina así a la resistencia del material al paso de la corriente. Como los aislantes no son perfectos, al ser sometidos a una diferencia de potencial se hace presente una corriente de fuga, la cual sigue dos caminos posibles, uno sobre la superficie y el otro a través del cuerpo del material, por lo que habrá que distinguir entre la resistencia de aislamiento superficial y la resistencia de aislamiento transversal o volumétrica, ambas actúan en paralelo.

La resistencia superficial es la resistencia que ofrece la superficie del material al paso de la corriente, cuando se aplica una diferencia de tensión haciendo uso de dos electrodos, entre dos zonas de esta, suele medirse en megohmios/cm<sup>2</sup>. A esta magnitud se le denomina también resistividad superficial.

La resistencia de aislamiento transversal o volumétrica, o también llamada resistividad transversal o volumétrica, es la resistencia que ofrece el material a ser atravesado por la corriente cuando se aplica tensión entre sus caras; esta expresada en megohmios.cm<sup>2</sup>/cm.

Los estándares asociados a la evaluación de estas propiedades son los siguientes:

IEC 93	DIN 53 482
BS 2782	VSM 77 125
ASTM D 257	VDE 0303

En un mismo material aislante, la resistividad transversal no es una constante, sino que varía con la temperatura, la tensión aplicada, el tiempo, la humedad, el espesor del material, entre otros. Aspectos a considerar al momento de proyectar su uso.

**b) Rigidez dieléctrica:**

Se denomina así a la propiedad de un material aislante de oponerse a ser perforado por la corriente eléctrica. Su valor se expresa por la relación entre la tensión máxima que puede soportar sin perforarse y el espesor de la pieza aislante. Suele expresarse en kilovoltios por milímetro (kV/mm).

El valor de la rigidez dieléctrica no es constante y depende del espesor de la muestra en prueba, de la temperatura, la humedad, el tiempo, de la forma de onda de la tensión aplicada, de la frecuencia etc., por lo que hace necesario saber las condiciones de la obtención del valor de este parámetro. Sin embargo es necesario indicar que hay un rango de temperatura, donde la rigidez dieléctrica es prácticamente independiente de estos factores; normalmente esta entre los  $- 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+ 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aunque hay ciertos tipos de porcelanas donde la temperatura límite superior es del orden de los  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Asociado al concepto de la rigidez dieléctrica esta el de la tensión de perforación, que es el valor al cual se produce la descarga a través del aislante, este valor debe ser logrado bajo el valor de la temperatura límite, para considerarse como efecto exclusivo de la tensión aplicada.

Los estándares asociados a la evaluación de esta propiedad son:

IEC 243	VSM 77107
BS 2782	DIN 53481
ASTM D 149	VDE 0303

**c) Constante dieléctrica:**

Se denomina constante dieléctrica o permitividad relativa de un material aislante  $\epsilon_r$ , a la relación entre la capacidad de un condensador que emplea como dieléctrico al material considerado y la capacidad del mismo condensador empleando como dieléctrico al vacío.

Dándose la siguiente relación.

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \quad (1.1)$$

Donde:

$\epsilon$  = Permitividad absoluta

$\epsilon_0$  = Permitividad del vacío.....  $8.85 \times 10^{-12}$  Faradios/metro

De la fórmula de la capacidad de un condensador:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S/d \quad (1.2)$$

Donde:

$S$ = Superficie de una cara

$d$ = Distancia entre caras

Se deduce que la capacidad del condensador será mayor, cuanto mayor sea la constante dieléctrica y/o cuanto menor sea la distancia entre placas; debemos tener presente que la distancia entre placas tiene un límite mínimo determinado por la rigidez dieléctrica.

No siempre estos efectos son deseados, por ejemplo en los conductores eléctricos aislados por lo general se recurre a aislamientos de mayor grosor y con menor constante dieléctrica para controlar el efecto capacitivo.

La permitividad absoluta de un material no es contante, depende de factores como la temperatura, intensidad del campo eléctrico aplicado, humedad, frecuencia, entre otros parámetros, que se deben tener en consideración al definir una aplicación.

#### **d) Factor de pérdidas dieléctricas:**

Las pérdidas dieléctricas se dan por la potencia eléctrica perdida en el aislante, su valor es pequeño, por lo que en aplicaciones industriales puede considerarse despreciable.

La tangente de pérdidas (  $\tan \delta$  ), es la relación (cociente) entre la corriente resistiva y la capacitiva de un dieléctrico sometido a una tensión alterna.

Como la energía almacenada en un dieléctrico es proporcional a su constante dieléctrica  $\varepsilon$  , las pérdidas dieléctricas serán proporcionales al producto.

$$\varepsilon \tan \delta \quad (1.3)$$

Denominado factor de pérdidas dieléctricas.

Las pérdidas dieléctricas son calculadas por la siguiente fórmula:

$$P = 2\pi F C U^2 \tan \delta \quad (1.4)$$

$P$  = Pérdidas dieléctricas en vatios

$F$  = Frecuencia de la tensión en Hz

$C$  = Capacidad en faradios

$U$  = Tensión en voltios

Es por lo dicho, que los materiales dieléctricos pueden clasificarse teniendo en consideración su tangente de pérdidas, la cual varía con la temperatura, la tensión aplicada y especialmente con la frecuencia, por lo que deberá tenerse en consideración al momento de determinar su uso.

Estándares asociados a esta prueba:

IEC publicación 250	VDE 0303
BS 2782	DIN 53483
ASTM D150	

#### e) Factor de potencia.

Sabemos que el factor de potencia es el desfase entre la tensión y la corriente que atraviesa al aislante, si se conocen las pérdidas dieléctricas de un material aislante, se puede calcular el valor del factor de potencia.

$$\cos\varphi = P/UI \quad (1.5)$$

La tangente de pérdidas es aproximadamente igual al factor de potencia  $\cos\varphi$ , cuando este es pequeño.

#### f) Resistencia al arco:

En las instalaciones eléctricas muchos equipos están sometidos constantemente a la presencia de arcos eléctricos, los cuales pueden llegar a deteriorarlos e inutilizarlos, tal es el caso de los interruptores y los conmutadores por ejemplo.

La resistencia al arco mide el tiempo que un material aislante es capaz de resistir sus efectos destructivos antes de inutilizarse por haber formado un camino carbonizado, muchas veces conductor, sobre la superficie del aislante; este tiempo depende del valor de la corriente del arco y del valor de la tensión aplicada.

Todos los materiales no responden de manera similar a los efectos del arco eléctrico, por lo que deberá tenerse en cuenta para escoger al más adecuado en cada caso.

Estándares asociados a este ensayo:

ASTM D 495 .....	( Alto voltaje - baja corriente)
DIN 53484 .....	( Bajo voltaje - alta corriente )

### 1.2.2 Propiedades mecánicas de los materiales aislantes.

Las principales propiedades mecánicas a considerarse son las siguientes:

#### a) Resistencia a la tracción

- b) Resistencia a la compresión
- c) Resistencia a la flexión
- d) Resistencia a la cortadura
- e) Resistencia al choque (Resiliencia)
- f) Dureza
- g) Límite elástico
- h) Maquinabilidad

Veamos brevemente en que consiste cada una de ellas:

**a) Resistencia a la tracción:**

Es la propiedad de los materiales de resistir a los esfuerzos mecánicos que tienden a alargar el material. En los materiales aislantes es relativamente baja y está comprendida entre los 140 y 550 Kg/cm<sup>2</sup>, no obstante en algunos plásticos extruidos se ha obtenido valores del orden de los 4200 Kg/cm<sup>2</sup>

Estándares asociados a su evaluación:

ISO R527	VSM 77101
BS 2782	DIN 53455
ASTM D638	

**b) Resistencia a la compresión:**

Como su nombre lo indica, es la resistencia de un material a ser comprimido y por lo general su valor es superior a los de la resistencia a la tracción, el valor para los aislantes está comprendido entre los 500 y 2500 Kg/cm<sup>2</sup>.

Estándares asociados a su evaluación:

ISO 604	VSM 77102
BS 2782	DIN 53454
ASTM D695	

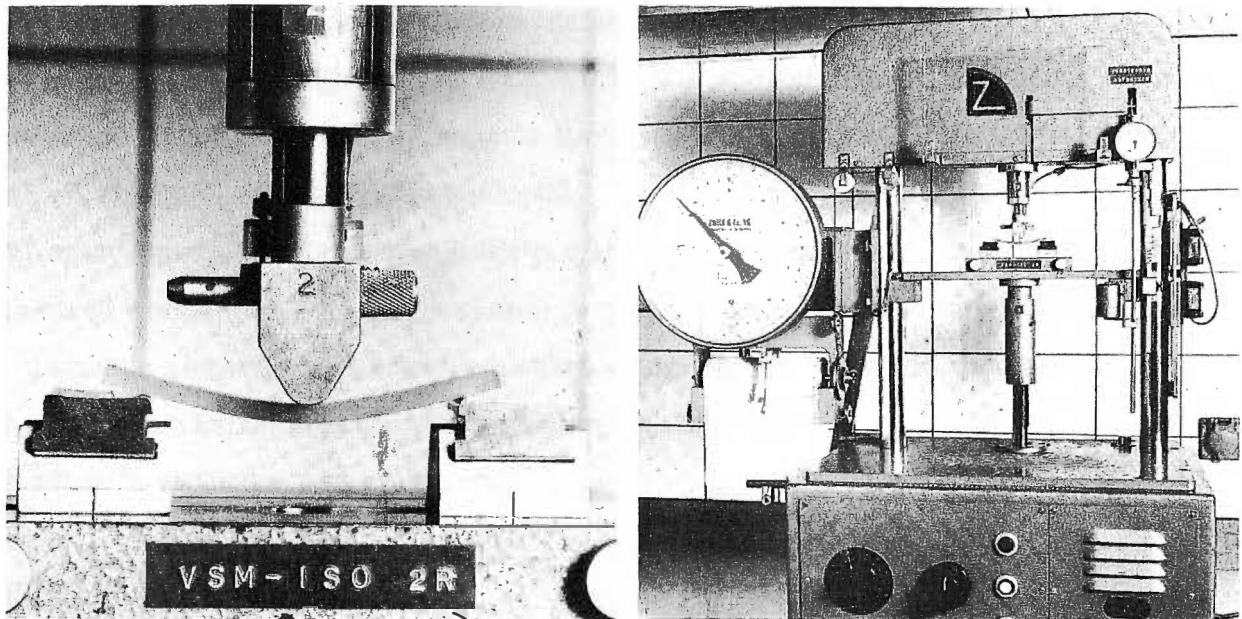
**c) Resistencia a la flexión:**

Es la propiedad de un material de resistir aquellos esfuerzos que tiendan a doblarlo; en la Fig. 1.2, se aprecia el proceso de este ensayo.

Estándares asociados a su evaluación:

ISO R178	VSM 77103
BS 2782	DIN 53452
ASTM D790	

**d) Resistencia a la cortadura**



**Fig.: 1.2 Prueba de resistencia a la flexión [3]**

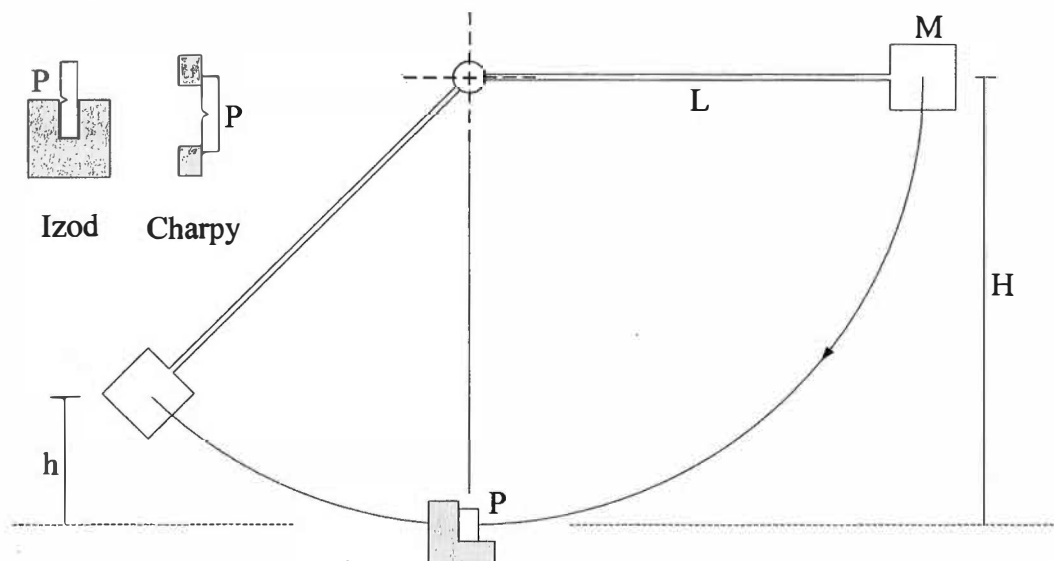
Es la propiedad del material de resistir aquellos esfuerzos que tiendan a cortarlo, haciendo deslizar una parte sobre la otra.

**e) Resistencia al choque (Resiliencia)**

Es la característica mecánica que define la resistencia de un material a los choques.

El ensayo de resiliencia, llamado también ensayo de choque, proporciona una medida de la tenacidad del material e indirectamente de su ductilidad, ya que en general existe una correlación entre ambas características.

Para la realización del ensayo se hace uso de probetas cuya sección, por lo general rectangular, y su forma son normalizadas.



**Fig.1.3 : Esquema para la prueba de resiliencia**

Existen dos métodos para la realización de esta prueba:

El método Charpy y el método Izod, en ambos se hace uso de un péndulo como el mostrado en la fig.1.3. En el primero de los nombrados la probeta (P) se apoya en cada uno de sus extremos, en el segundo en uno solo.

El ensayo mide la energía absorbida por la probeta, cuanto mayor sea la fragilidad del material y menor su tenacidad, más fácil se romperá; hay materiales muy dúctiles y tenaces capaces de absorber considerables cantidades de energía, pudiendo inclusive no llegar a romperse, quedando el valor de la resiliencia sin determinar.

Estándares asociados a su evaluación:

Izod:

ISO/R180   ASTM D256

BS 2782

Charpy:

ISO/R179   VSM 77105

BS 2782   DIN 5345

ASTM D256

**f) Dureza:**

Está relacionada con la resistencia de un material a ser rayado o penetrado por un punzón.

Estándares asociados a su evaluación:

ISO / DR 2039

ASTM D 1706

DIN 53456

**g) Límite elástico:**

Todos los materiales pueden resistir los esfuerzos que acabamos de mencionar, pero solamente hasta un límite, más allá del cual el material se deforma, sin llegar a recuperar su condición inicial.

Por lo tanto se denomina límite elástico de un material, al máximo esfuerzo que se le puede aplicar sin que este se deforme de manera permanente.

**h) Maquinabilidad:**

Se denomina así a la facilidad con la que un material puede ser mecanizado, algunos son muy fáciles de trabajar pero otros no; esta propiedad es importante porque muchos materiales son fabricados en forma de planchas, bloques u otros perfiles, para lograr a partir de ellos las piezas deseadas.

Es preciso indicar que al igual que las propiedades eléctricas se ven afectadas por la temperatura, las propiedades mecánicas también lo son, por lo que se deberá tener especial cuidado en el diseño de componentes.

### **1.2.3 Propiedades físico-químicas de los materiales aislantes.**

Es importante tratar este punto debido a que son múltiples las aplicaciones de los materiales aislantes, donde en muchos casos están sujetos a la agresión de agentes medioambientales o del entorno del trabajo donde se ponen a prueba determinadas propiedades que a continuación y de manera sucinta describiremos:

#### **a) Porosidad:**

Es la propiedad de los materiales de dejar espacios vacíos entre sus moléculas, lo cual los hace permeables a los gases y a los líquidos. La porosidad es un problema porque el material puede acumular sustancias que podrían causar su destrucción.

#### **b) Higroscopicidad:**

Este estudio consiste en evaluar el cambio de peso de una probeta después de ser inmersa en agua fría y en agua a 100 °C, como lo especifique el estándar.

Esta propiedad está ligada a la porosidad del material, ya que es en los poros donde se aloja el agua proveniente del medio en que se encuentra.

Por lo general todos los materiales aislantes absorben humedad, unos en mayor proporción que otros. La higroscopicidad es negativa ya que reduce la rigidez dieléctrica y la resistencia de aislamiento del material.

Estándares asociados a su evaluación:

ISO / R117 - DIN 53471 – VSM 77121

ISO / R62 – DIN 53475 – VSM 77119

BS 2782

ASTM D 570

DIN 53495

#### **c) Conductividad térmica:**

Es la propiedad de un material por medio de la cual permite con facilidad el paso del calor a través de sí, en algunos casos es beneficiosa pero en otros no.

En otras palabras la conductividad térmica es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que está en contacto.

Estándares asociados a su evaluación:



BS 874

DIN 62612

**d) Inflamabilidad:**

Esta relacionada con la facilidad que tiene un material para inflamarse, algunos son altamente inflamables mientras otros poco o casi nada, esta es una propiedad importante porque evita la propagación del fuego en caso de presentarse.

Estándares asociados a su evaluación:

BS 2011

ASTM D 2836

ASTM D 635

Hay otras pruebas no menos importantes que permiten caracterizar propiedades de los materiales como:

- e) El peso y el calor específicos**
- f) Resistencia al tracking y a la erosión.**
- g) Resistencia a la corrosión electrolítica**
- h) Resistencia al choque térmico.**
- i) Resistencia al Ozono**
- j) Resistencia a la luz solar**
- k) Resistencia a los ácidos y a los álcalis**
- l) Resistencia a los aceites.**
- m) Prueba de envejecimiento acelerado.**

Esta última en particular es digna de resaltar, pues somete a la probeta a una prueba combinada que asemeja el servicio de un material aislante en condiciones extremadamente desfavorables, con la finalidad de estimar su comportamiento en el tiempo.

Estándares asociados a la evaluación de la prueba de envejecimiento acelerado:

ASTM D 756-56

DIN 50 021

Para poder evaluar las propiedades de los materiales aislantes, estos deben ser sometidos a una serie de ensayos bajo los estándares indicados, los temas son muy amplios y habrá que recurrir a ellos si se tiene interés en los detalles de los procedimientos.

**1.3 Materiales aislantes usados en electrotecnia.**

La variedad de materiales aislantes usados en electrotecnia es bastante amplia, cada uno con características propias y por lo cual hay varias formas de clasificarlos, sobre la base de alguna propiedad.

Veamos algunas de estas formas:

**1.3.1 Clasificación**

- **Por su estado de agregación :**

Se clasifican en vacío, gases, líquidos y sólidos.

- Aislantes sólidos:

Aislantes cerámicos

Aislantes a base de vidrio

Aislantes a base de mica

Aislantes celulósicos y textiles

Aislantes plásticos.

Aislantes elastoméricos

Aislantes en base a siliconas, etc.

- Aislantes líquidos:

Aceites en general

Fluidos de silicona

Detergentes dieléctricos.

El agua pura, etc.

- Aislantes gaseosos:

El aire

El anhídrido carbónico

El Hidrógeno

El hexafluoruro de azufre, etc.

- El vacío.

- **Por su constitución química:**

Se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

Entendiéndose por inorgánicos a aquellos exentos de carbono en su constitución molecular.

Un aspecto técnico que marca su diferencia es la maquinabilidad, los aislantes inorgánicos no se dejan maquinar fácilmente, en cambio son casi insensibles a la intemperie; en cambio los aislantes orgánicos son maquinables, pero sufren procesos de oxidación; por lo general están destinados a uso interior, para protegerlos de los rayos ultravioleta y de la degradación que podrían causarles los agentes externos.

- **Por su forma de estratificar :**

Se clasifican en isotrópicos y anisotrópicos, distinguiéndose entre otros, porque los primeros tienen una rigidez dieléctrica similar en cualquier dirección y en los segundos la rigidez dieléctrica transversal es superior a su rigidez dieléctrica longitudinal.

### 1.3.2 Materiales aislantes usados para la fabricación de aisladores eléctricos rígidos.

Por muchos años han sido la porcelana y el vidrio la materia prima para la fabricación de aisladores eléctricos rígidos; pero con el desarrollo de los plásticos principalmente en las últimas cuatro décadas, han sido estos materiales los que han remplazado en gran medida a los primeros.

Veamos las características más importantes de estos materiales.

#### ➤ **Materiales aislantes cerámicos:**

Dentro de sus cualidades importantes están su resistencia excepcional al calor, a los cambios de temperatura y a la humedad, no son atacados por los ácidos ni por los álcalis, aún con una fuerte concentración.

Los cerámicos dependiendo de su composición son clasificados en 5 grupos.

**Grupo 1:** Predominantemente están constituidos por silicatos de aluminio (arcilla, caolín, etc.) a este grupo pertenecen la porcelana y la loza vidriada, sus propiedades son un término medio entre los demás grupos y son usados para aisladores de baja y alta tensión.

**Grupo 2:** Comprende aquellos cerámicos en cuya constitución entra en gran proporción los silicatos magnésicos (talco). Se caracterizan por su pequeño factor de pérdidas dieléctricas, su gran resistencia mecánica y su reducida contracción durante su proceso de cocción, se emplean para la fabricación de aisladores de baja y alta tensión y su material más representativo lo constituye la esteatita, utilizado también en altas frecuencias.

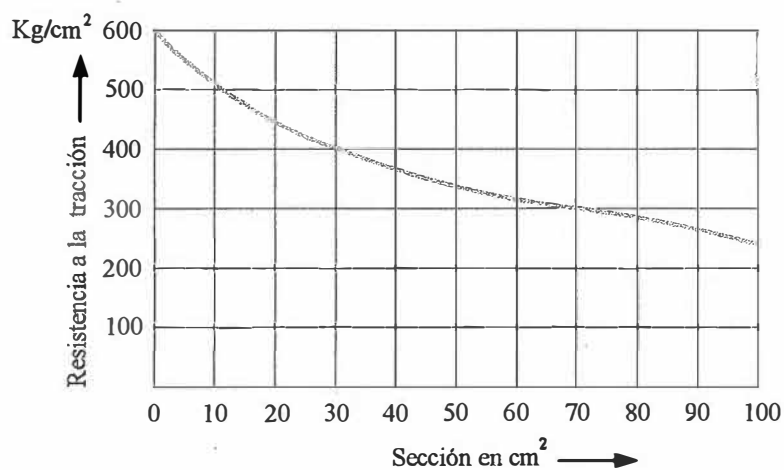
**Grupo 3:** Pertenecen a este grupo los materiales cerámicos con alta proporción de compuestos de titanio, se caracterizan por su elevada constante dieléctrica y su reducido factor de pérdidas, son adecuados para la fabricación de condensadores.

**Grupo 4:** Los materiales de este grupo tienen compuestos magnésicos y arcillas, los cuales les confieren una buena resistencia mecánica y una baja dilatación; son usados en la fabricación de bujías y soportes de conductores en hornos eléctricos.

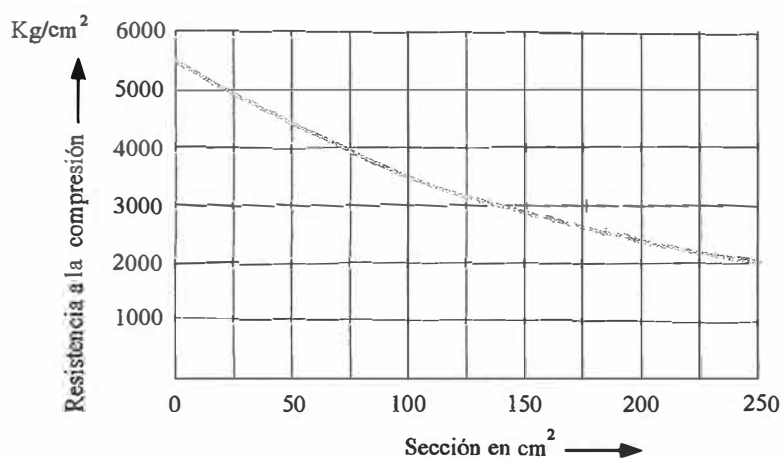
**Grupo 5:** Los cerámicos de este grupo tiene estructura porosa y por su buena resistencia al calor son usados en sistemas de calefacción eléctrica.

Los cerámicos más importantes son la porcelana, la esteatita y la loza; de estos tres, la más representativa lo constituye la porcelana electrotécnica, cuyas características las podemos observar en los gráficos de las Fig. 1.3 a la Fig. 1.11 y en la tabla 1.1.

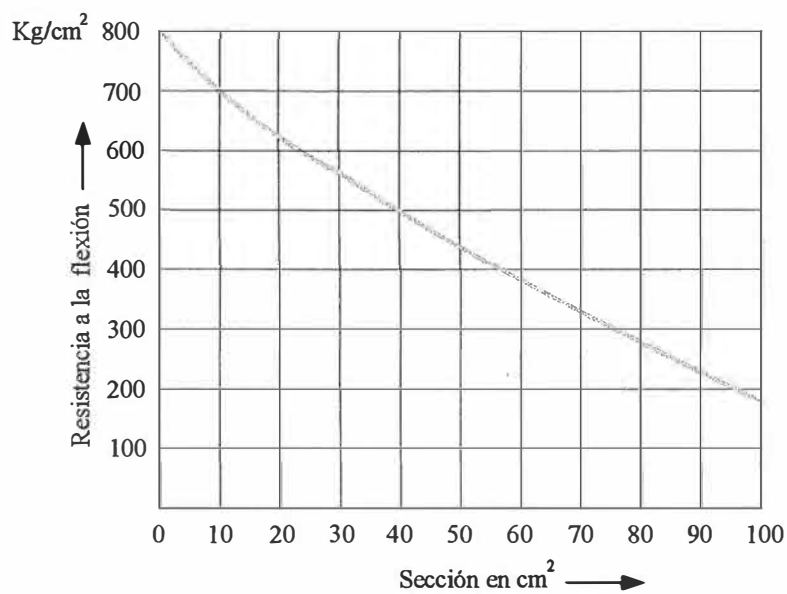
La loza resiste muy bien a los efectos químicos y soporta sin inconvenientes los cambios de temperatura, pero no tiene las cualidades aislantes como la porcelana, su ventaja es su menor costo de producción y la posibilidad de conseguir piezas de mayor tamaño.



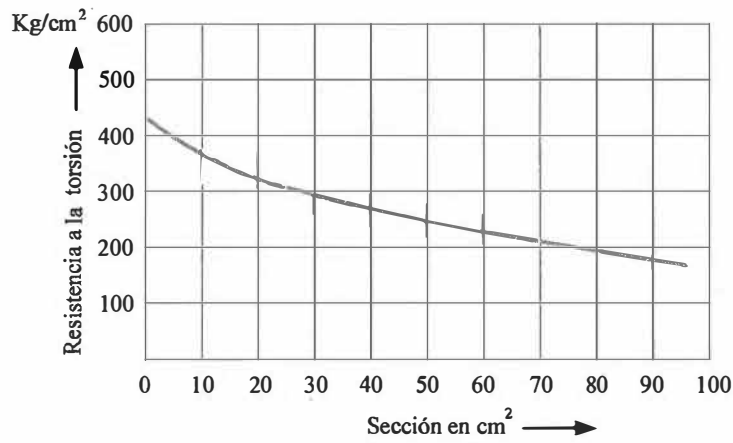
**Fig. 1.3: Resistencia a la tracción de la porcelana en función de la sección [2].**



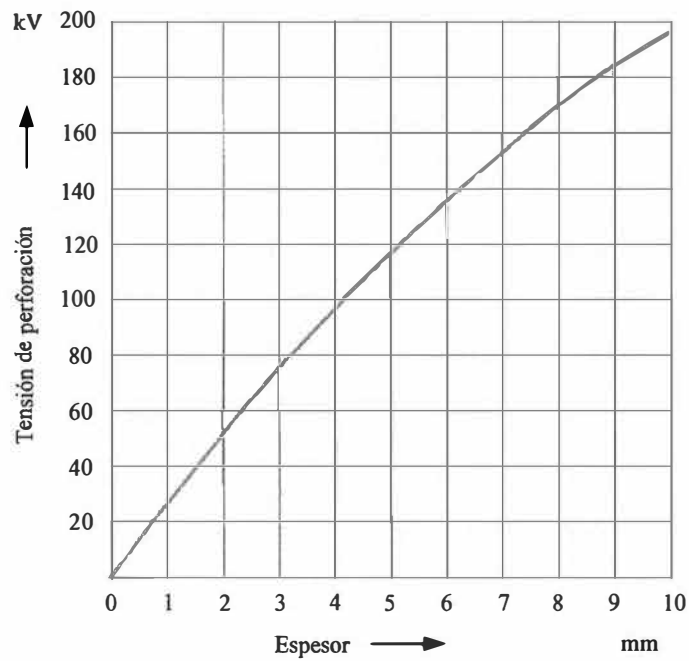
**Fig. 1.4: Resistencia a la compresión de la porcelana en función de la sección [2].**



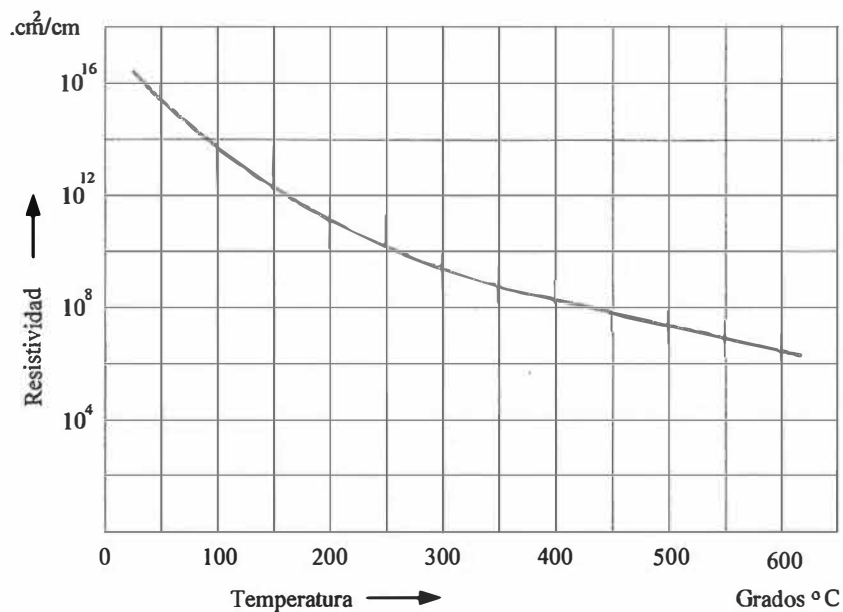
**Fig. 1.5: Resistencia a la flexión de la porcelana en función de la sección [2].**



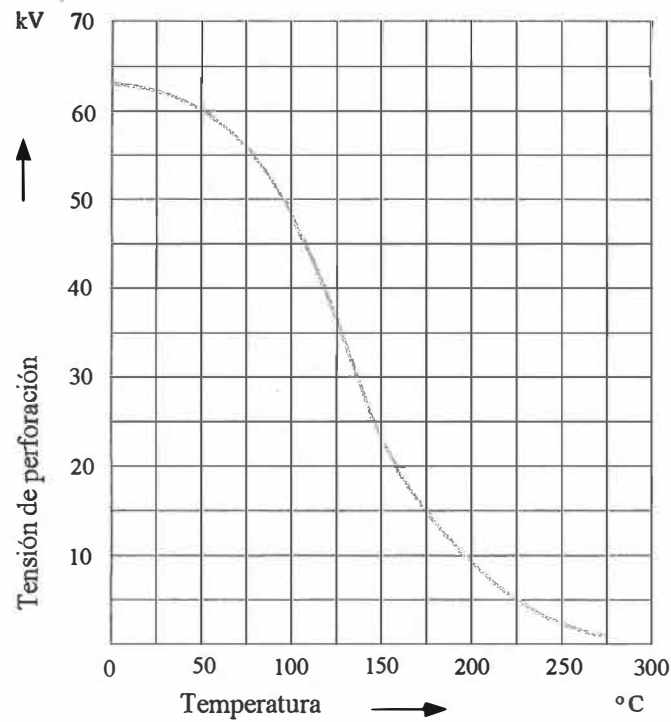
**Fig. 1.6: Resistencia a la torsión de la porcelana en función de la sección [2].**



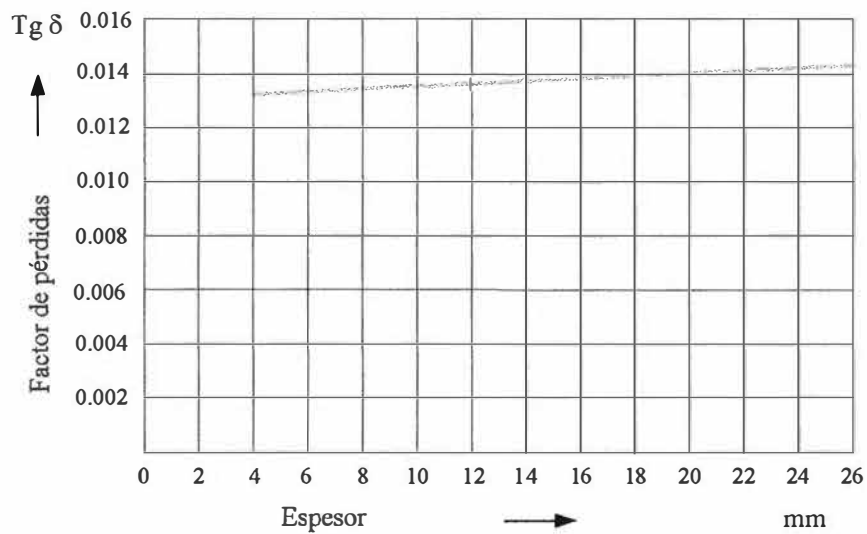
**Fig.1.7: Tensión de perforación de la porcelana en función del espesor [2].**



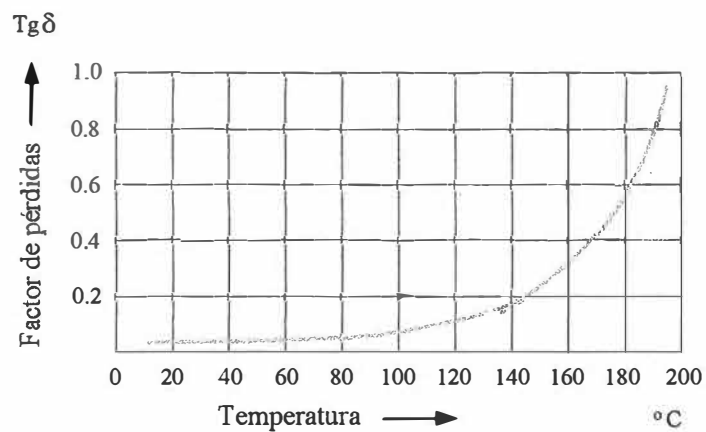
**Fig. 1.8: Resistividad volumétrica de la porcelana en función de la temperatura [2].**



**Fig.1.9: Tensión de perforación de la porcelana en función de la temperatura [2].**



**Fig.1.10: Factor de pérdidas de la porcelana en función del espesor [2]**



**Fig.1.11: Factor de pérdidas de la porcelana en función de la temperatura [2].**

**Tabla 1.1: Características técnicas de la porcelana [2].**

Características	Procedimiento de Preparación		
	Via Seca	Via Humeda	Colada
Estructura	Compacta	Compacta	Compacta
Porosidad	–	0	0
Absorción de agua en 24 horas, en %	0 ... 0.5	0	0
Peso específico en gr/cm <sup>3</sup>	2.3 ... 2.5	2.3 ... 2.5	2.3 ... 2.5
Resistencia a la tracción en kg/cm <sup>2</sup> , con esmaltado	100 ... 140	300 ... 500	–
Resistencia a la tracción en kg/cm <sup>2</sup> , sin esmaltado	70 ... 140	240 ... 300	–
Resistencia a la compresión en kg/cm <sup>2</sup> , con esmaltado	3000 ... 4000	4000 ... 5500	4000 ... 5500
Resistencia a la compresión en kg/cm <sup>2</sup> , sin esmaltado	3000 ... 3500	4000 ... 4500	4000 ... 4500
Resistencia a la flexión en kg/cm <sup>2</sup> , con esmaltado	600 ... 700	900 ... 1000	900 ... 1000
Resistencia a la flexión en kg/cm <sup>2</sup> , sin esmaltado	300 ... 600	400 ... 800	400 ... 800
Temperatura de reblandecimiento en °C	~ 1500	~ 1500	~ 1500
Temperatura máxima de servicio en °C	1000	1000	1000
Resistencia a la llama	Incombustible	Incombustible	Incombustible
Resistividad 20 °C en ohmios.cm <sup>2</sup> /cm	Superior a 10 <sup>14</sup>	Superior a 10 <sup>14</sup>	Superior a 10 <sup>14</sup>
Rigidez dieléctrica, en kV/mm a 50 Hz	34 ... 38	34 ... 38	34 ... 38
Rigidez dieléctrica, en kV/mm a 1 MHz	34 ... 38	34 ... 38	34 ... 38
Constante dieléctrica $\epsilon$ , a 50 Hz	5 ... 6.5	5 ... 6.5	5 ... 6.5
Constante dieléctrica $\epsilon$ , a 1 MHz	5 ... 6.5	5 ... 6.5	5 ... 6.5
Factor de pérdidas (tg $\delta$ ) a 50 Hz	0.017 ... 0.025	0.017 ... 0.025	0.017 ... 0.025
Factor de pérdidas (tg $\delta$ ) a 1 MHz	0.007 ... 0.012	0.007 ... 0.012	0.007 ... 0.012
Resistencia a agente químicos	Excepcional	Excepcional	Excepcional

➤ **Materiales aislantes a base de Vidrio.**

El vidrio es un material amorfo ya que no se cristaliza, es duro y frágil, generalmente transparente o translúcido y constituido por mezclas homogéneas de sílice ( SiO<sub>2</sub>) o anhídrido bórico ( B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que actúan como ácidos, con dos óxidos metálicos que actúan como bases.

Desde un punto vista físico-químico el vidrio es difícil de definir porque no puede considerarse como una sustancia sólida ni como líquida porque no existe un límite definido entre ambos estados.

Las propiedades mecánicas del vidrio están muy influenciadas por su fragilidad que es su principal desventaja, la cual es debida a que no tiene zona plástica.

En lo que se refiere a sus propiedades químicas, el vidrio es muy estable y tiene una excelente resistencia a los ácidos y al álcalis.

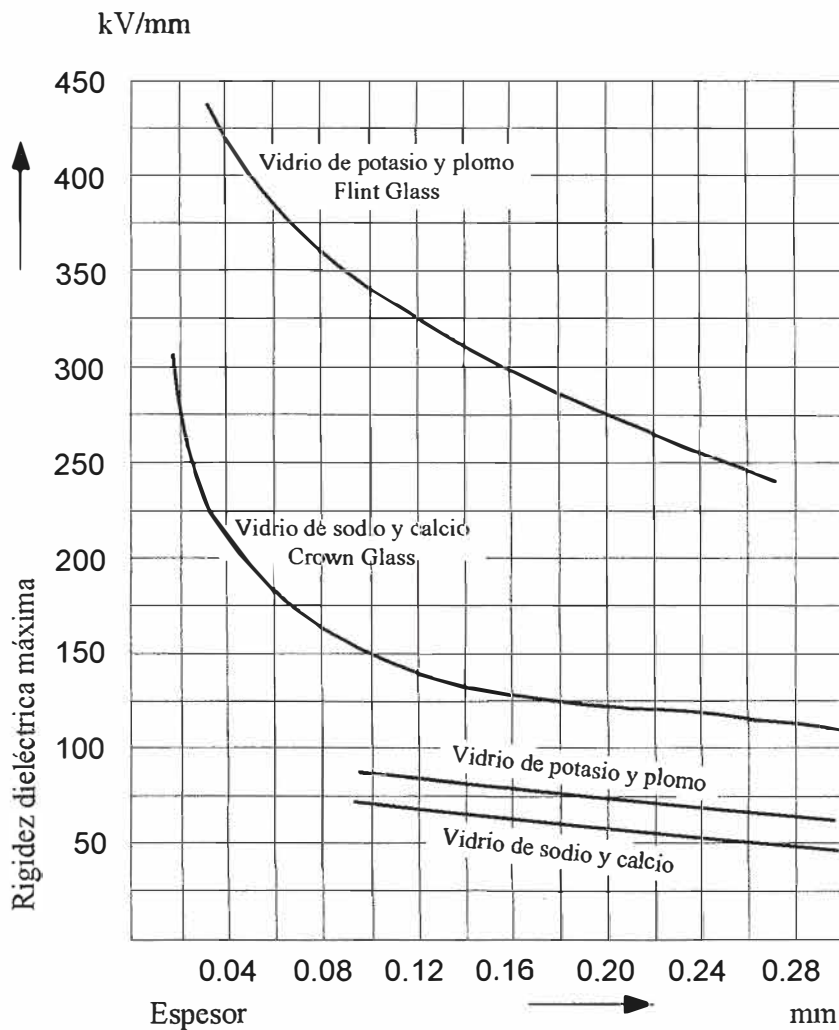
Con altas temperaturas disminuye considerablemente su resistividad.

Uno de los inconvenientes que limita el empleo del vidrio en electrotecnia es su elevado coeficiente de dilatación por lo que sus dimensiones se ven bastante afectadas por los cambios de temperatura.

Par aisladores de líneas aéreas se utiliza vidrio PYREX, que es una variedad de vidrio duro con coeficiente de dilatación reducido, en su composición no contiene Magnesio, Calcio ni Zinc y resulta menos frágil que los vidrios ordinarios.

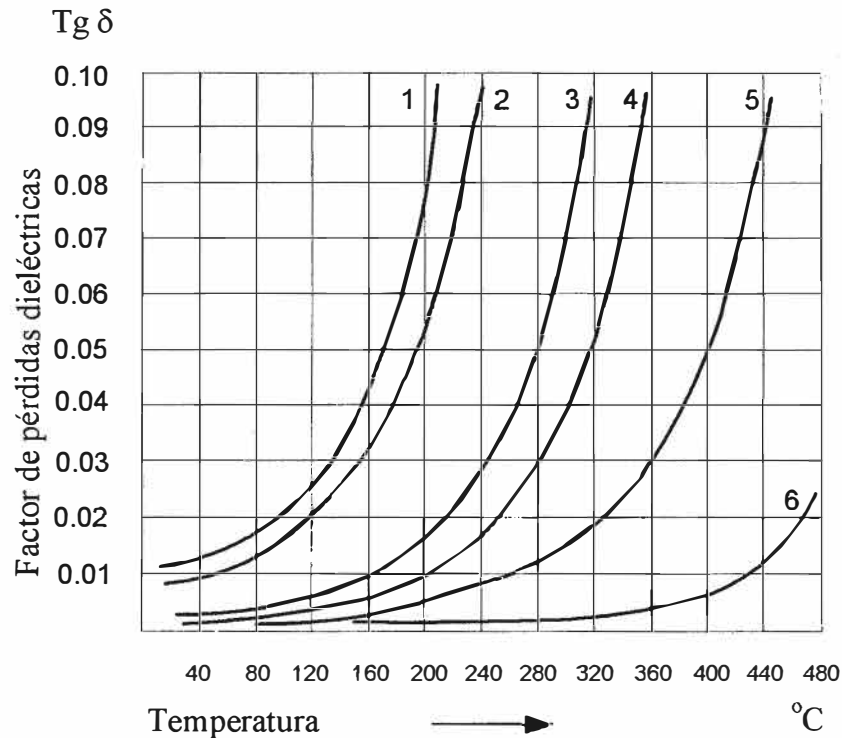
Existen muchas formas en la composición del vidrio y su campo de aplicación en electrotecnia es amplia, aunque su aplicación en la fabricación de aisladores esta limitada a algunos modelos.

No se tiene registrada la fabricación de aisladores tipo poste en vidrio, sin embargo de manera informativa, a continuación se muestran gráficos y un cuadro de propiedades de este material.



**Fig.1.12: Variación de la rigidez dieléctrica de diferentes tipos de vidrio en función del espesor [2]**





**Fig.1.13: Variación del factor de pérdidas dieléctricas de diferentes tipos de vidrio en función de la temperatura. 1. Vidrio de sodio y calcio 2. Vidrio de potasio y plomo 3, 4, 5 Vidrios electrotécnicos 6. Cuarzo fundido.[2]**

➤ **Materiales aislantes sintéticos u orgánicos.**

Para este tipo de aplicaciones, es decir para la fabricación de aisladores rígidos, lo constituyen básicamente las resinas epóxicas y en algunos casos las resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio, las cuales por un proceso de termo compresión dan lugar a productos de buena resistencia mecánica, flexibilidad y estabilidad dimensional siendo bastante utilizado para aplicaciones en baja tensión.

Una de sus desventajas es que no tienen el mismo nivel de autoextinguibilidad como lo tienen los compuestos epóxicos.

Las resinas epóxicas son utilizadas casi siempre con cargas minerales para formar un compuesto de fundición homogéneo, cuyas características las veremos con mayor amplitud en el capítulo III.

Los elastómeros de silicona, por su buen comportamiento en la intemperie, también son usados para fabricar aisladores rígidos, pero solamente para la fabricación de las campanas o faldones; la gran resistencia mecánica es lograda mediante el uso de un núcleo extruido de resina epóxica con fibra de vidrio.

**Tabla 1.2: Características técnicas de los principales aislantes vítreos [2].**

<b>Características</b>	<b>Vidrio de Sodio y Calcio</b>	<b>Vidrio de Potasio y Plomo</b>	<b>Vidrio pyrex</b>	<b>Vidrio Vycor</b>	<b>Cuarzo fundido</b>
Peso específico, en gr/cm <sup>2</sup>	2.3 ... 2.9	2.9 ... 5.9	2.23 ... 2.8	2.18	2.2
Resistencia a la tracción en kg/ cm <sup>2</sup>	175	250	400 - 800	–	5
Resistencia a la compresión en kg/ cm <sup>2</sup>	700 - 2000	400 - 700	6000 - 10000	–	14000 - 19000
Resistencia a la flexión en kg/ cm <sup>2</sup>	–	400 - 500	1000 - 2500	–	–
Temperatura máxima de operación en °C	300	450	500	800	
Absorción de agua en 24 horas en %	Nula	Nula	Nula	Nula	Nula
Resistividad en ohmios.cm <sup>2</sup> /cm	>10 <sup>13</sup>	1x10 <sup>13</sup>	1x10 <sup>14</sup>	–	>5X10 <sup>18</sup>
Rigidez dieléctrica en kV/mm a 20 °C	40 ... 50	30 ... 35	40 ... 45	20 ... 25	12 ... 20
Constante dieléctrica $\epsilon$	6 ... 8	7 ... 9	4.8 ... 4.9	4	4.2
Factor de pérdidas (tg $\delta$ )	0.01	0.0042	0.003	0.0005	0.0002

En general las principales cualidades de las siliconas son las siguientes:

- Resistencia a variaciones de temperatura comprendidas entre -50 °C y +250°C, en servicio continuo, sin que estas variaciones, aunque sean bruscas, afecten para nada en sus propiedades mecánicas y eléctricas.
- Muy buenas propiedades dieléctricas, superando incluso a muchos materiales aislantes orgánicos, sobre todo por su estabilidad frente a la temperatura y a la humedad.
- Envejecimiento despreciable frente a los agentes climatológicos, lo que permite su empleo en instalaciones exteriores.
- Resistencia al oxígeno, al ozono y al efecto corona.
- Resistencia a agentes químicos como los ácidos, los álcalis, disolventes, etc.
- Excelente flexibilidad en caliente y alargamiento suficiente para permitir la dilatación de los soportes metálicos.
- Excelente comportamiento hidrófugo o de rechazo al agua, propiedad que permanece inalterable frente a las variaciones de la temperatura.

## **CAPITULO II**

### **AISLADORES ELÉCTRICOS**

#### **2.1 Conceptos.**

Los materiales aislantes eléctricos se han desarrollado a la par con la evolución de la electricidad, habiéndose logrado en las últimas décadas importantes avances, principalmente en el desarrollo de aislantes sintéticos.

Los plásticos en especial, a los que los encontramos prácticamente en todos los sectores de la industria eléctrica, han permitido importantes mejoras en la construcción de maquinaria eléctrica, en las instalaciones eléctricas de alta, media y baja tensión y en los aislamientos de los cables de energía.

De los aisladores eléctricos podemos decir lo mismo, la concepción de su diseño ha sido en función las bondades de los materiales, alcanzadas con el desarrollo de la industria petroquímica y de otras tecnologías logradas en el desarrollo de los plásticos y de los compuestos en base a siliconas.

Son varias las organizaciones internacionales que han estandarizado al interior de la industria eléctrica, entre otros, las características eléctricas, mecánicas y físico-químicas de innumerables accesorios, equipos eléctricos y materiales, así como también los ensayos a los que estos deben ser sometidos, con la finalidad certificar la garantía de una buena performance en servicio.

Los aisladores son un grupo de estos accesorios y en el transcurso de este desarrollo mencionaremos a algunos de los estándares relacionados con este tema, indicando que hay bastante similitud y coincidencias entre los estándares de las distintas organizaciones dedicadas a su elaboración; debido a que muchos han sido concebidos sobre la base de otros, como en el caso de los escasos estándares o normas nacionales, por ejemplo.

Hasta no hace muchos años eran la porcelana y el vidrio, los únicos materiales usados en la fabricación de aisladores; a ellos se han sumado los materiales plásticos, que con la adición de cargas y fibras minerales han dado origen a la construcción de aisladores de muy buena performance de servicio conocidos como poliméricos o sintéticos.

Estos aisladores han desplazado en un porcentaje impresionante a los aisladores tradicionales de vidrio y porcelana.

Se considera que actualmente el 80% de los proyectos que se llevan a cabo en los Estados Unidos de Norte América son ejecutados con estos aisladores.

➤ **Aislador eléctrico:**

Un aislador es un elemento pensado para servir como soporte de conductores con tensión (conductores vivos), para aislarlos de tierra o de otros conductores o equipos, guardando las correspondientes distancias de seguridad, en concordancia con el diseño de la instalación.

Debido a los niveles de tensión, y a las diferentes etapas por las que pasa la energía al ser transportada desde el centro de generación hasta los centros de consumo, los aisladores tienen diferentes formas y tamaños; que con el transcurrir de los años han sido estandarizados, entre otros con la finalidad de lograr su intercambiabilidad y fijar sus características mecánicas y eléctricas.

## 2.2 Clasificación, utilización, normas y estándares.

➤ **Clasificación de los aisladores**

Las organizaciones internacionales de estandarización han creído pertinente clasificar los aisladores por la forma como prestan servicio.

En lo que respecta a los aisladores soporte para baja tensión, es necesario anotar no existen estándares que fijen sus características, ni otros que indiquen las pruebas a las que deben ser sometidos; sin embargo los fabricantes fijan valores de prueba de acuerdo a criterios propios o consensuados, como el de la tensión de sostenimiento a frecuencia industrial y el de esfuerzo de ruptura mecánica; de requerirse otros ensayos estos normalmente son definidos entre el fabricante y el comprador.

Para media y alta tensión, la porcelana y el vidrio han servido para fabricar prácticamente la totalidad de modelos de aisladores, estos modelos han servido luego de base para la elaboración de los estándares de la generalidad, los cuales hacen la siguiente clasificación:

- **Aisladores tipo suspensión:**

**Estándar referente:** ANSI C29.2

Son usados en transmisión y distribución de energía eléctrica en media y alta tensión; los hay de diferentes modelos atendiendo al mecanismo usado para formar la cadena y a la línea de fuga. Como su nombre lo indica, las líneas eléctricas van suspendidas de estos aisladores que dependiendo del nivel de tensión de servicio, de la altura geográfica a la

cual son instaladas, de las condiciones de contaminación del medio, entre otros; se forman en cadenas para lograr el aislamiento requerido.

- **Aisladores tipo carrete:**

**Estándar referente :** ANSI C29.3

Son usados en redes aéreas de distribución de energía eléctrica en baja tensión, instalados en sus respectivos soportes o porta-líneas.

- **Aisladores tipo tensor:**

**Estándar referente:** ANSI C29.4

Llamado también tipo nuez o aislador de retenida, son usados en transmisión y distribución de energía eléctrica en baja y media tensión, utilizados en la construcción de las retenidas en los postes de derivación.

- **Aisladores tipo espiga (pin) para baja y media tensión:**

**Estándar referente:** ANSI C29.5

Son usados en líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica en baja y media tensión.

- **Aisladores tipo espiga (pin) para alta tensión:**

**Estándar referente:** ANSI C29.6

Son usados en líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica en media tensión para condiciones de contaminación severas y para tensiones mayores en los rangos aún de media tensión.

- **Aisladores tipo poste para líneas eléctricas (Line post type)**

**Estándar referente:** ANSI C29.7

Llamados también aisladores tipo poste de núcleo sólido, son usados en líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica en media y alta tensión, para condiciones de muy severa contaminación.

- **Aisladores tipo espiga y caperuza para sub-estaciones y equipos.**

**(Aparatus Cap and Pin)**

**Estándar referente:** ANSI C29.8

Son usados en sub-estaciones en media tensión y alta tensión, están diseñados para ser ensamblados unos a continuación de otros, formando agrupaciones de acuerdo a los requerimientos de aislamiento de la estación, se los utiliza normalmente como soportes rígidos de equipos de corte o seccionamiento.

- **Aisladores tipo soporte de núcleo sólido para sub-estaciones y equipos**

### **(Apparatus Post Type)**

**Estándar referente:** ANSI C29.9

Su aplicación es similar a la de los anteriores, están contruidos en base a un solo núcleo sólido y han sido pensados para remplazarlos sobre la base de sus mejores características.

- **Aisladores tipo pasamuros.**

**Estándar referente:** AIEE 49

Normalmente son diseñados para baja y media tensión y sirven para interconectar celdas en instalaciones de tipo interior. También permiten el ingreso o salida de las líneas de transmisión hacia los centros de control o transformación de tipo interior, son fabricados para diferentes capacidades de corriente de las barras pasantes.

- **Aisladores porta fusibles (Cut Out).**

**Estándares referentes:** ANSI C37.41 y C37.42

Estos aisladores constituyen el soporte para el ensamblaje del porta-fusible, destinado para las líneas de transmisión o distribución, normalmente son fabricados para media tensión.

- **Aisladores soporte para subestaciones interiores.**

**Estándar referente:** IEC 60273

Como su nombre lo indica, son soportes rígidos de las barras en las sub-estaciones tanto de tipo interior como exterior, son fabricados para media y alta tensión.

Precisamente el objetivo del presente informe es dar los lineamientos de diseño de los aisladores de este tipo, para media y baja tensión, fabricados en resinas epóxicas, los cuales han venido a sustituir a los aisladores de porcelana en gran medida.

- **Aisladores pasantes para transformadores.**

**Estándar referente:** Para baja tensión: DIN 42530, para media tensión DIN 42531, DIN 42532, DIN 43533 existen otros estándares que tienen equivalencia con los estándares DIN Para altas tensiones por ejemplo está el estándar DIN 42534, para tensiones nominales de 52 kV .

Estos aisladores son llamados también pasatapas, pues sirven para dar paso a los conductores que ingresan a los transformadores con aislamiento de aceite o fluido de silicona.

- **Aisladores para líneas de ferrocarril y líneas trolley mineras.**

Son aisladores especiales que se fabrican en baja y media tensión para las particulares exigencias de los ferrocarriles.

Los aisladores trolley mineros son para baja tensión con una alta resistencia mecánica.

La clasificación para los aisladores fabricados en vidrio es similar a indicada para los aisladores de porcelana, aunque en este material no se fabrican todos los tipos.

También es necesario mencionar que dentro de la clasificación por tipos, existe una variedad de modelos, que obedecen a variantes en la concepción del diseño.

Para aquellos fabricados en materiales compuestos (composite insulators), conocidos como aisladores poliméricos, los cuales tienen un núcleo de fibra de vidrio-resina que opera como el elemento soporte de la carga mecánica y campanas de goma de silicona que se encargan del aislamiento superficial del aislador, encontramos los siguientes modelos:

Estándares que definen sus características físicas: IEC 61109, ANSI C29.12, ANSI C29.13, ANSI C29.17, ANSI C29.18, entre otros.

- Aisladores tipo suspensión
- Aisladores tipo espiga (pin) para baja y media tensión
- Aisladores tipo espiga (pin) para alta tensión
- Aisladores tipo soporte para línea eléctrica (Line post type)
- Aisladores tipo espiga y caperuza para estaciones y equipos (Apparatus Cap and Pin)
- Aisladores tipo soporte para estaciones y equipos (Apparatus Post Type)
- Aisladores tipo pasamuros
- Aisladores porta fusibles (Cut Out)

Su utilización es similar a sus equivalentes en porcelana.

#### ➤ **Estándares de ensayos o pruebas electromecánicas y físicas**

Los hay varios y que guardan mucha similitud, como ya lo indicamos, algunos de ellos a los cuales nos referiremos, son los siguientes:

#### **ANSI (American National Standards Institute)**

**ANSI C29.1:** “Métodos de prueba para aisladores de energía eléctrica.”

#### **IEC (International Electrotechnical Commission)**

**IEC 60660:** “Pruebas de aisladores soporte de materia orgánica, para instalaciones interiores con tensiones nominales superiores a 1000 v, no incluyen las de 300 kV.”

**IEC 60168:** “Pruebas de aisladores soporte fabricados en cerámica o vidrio, para instalaciones interiores y exteriores en sistemas con una tensión nominal mayor a 1000V”.

**IEC 60060:** “Técnicas de pruebas para alta tensión”

### **2.3 Tipo de aisladores considerados en el desarrollo del informe.**

Como ya hemos indicado, el presente desarrollo está orientado exclusivamente a dar pautas para el diseño de aisladores soporte rígidos, fabricados en base a resinas epóxicas.

El mayor uso de estos aisladores es en subestaciones del tipo interior para baja y media tensión, como los mostrados en la figura 2.1



**Fig. 2.1: Muestras de aisladores soporte fabricados en materiales sintéticos rígidos (Resina epóxica)**

Entendiéndose como media tensión a aquella con un valor eficaz inferior a 30KV, dada por la “ Norma de procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de utilización en media tensión en zonas de concesión de distribución” , elaborada por el Ministerio de Energía y minas mediante la R.D. Nro. 018-2002-EM/DGE.

No nos ocuparemos de los aisladores soporte poliméricos rígidos por las razones siguientes:

- No se dispone de información relacionada con la tecnología de acoplamiento del núcleo de fibra de vidrio al revestimiento del elastómero de silicona, quizás uno de los aspectos mas delicados en la fabricación de este tipo de aisladores.
- Los aisladores de material polimérico necesitan armaduras robustas tanto en la parte superior como inferior, con notables desventajas frente a las armaduras insertas de fácil y precisa ubicación, usadas cuando los aisladores son fabricados íntegramente de una mezcla epóxica.

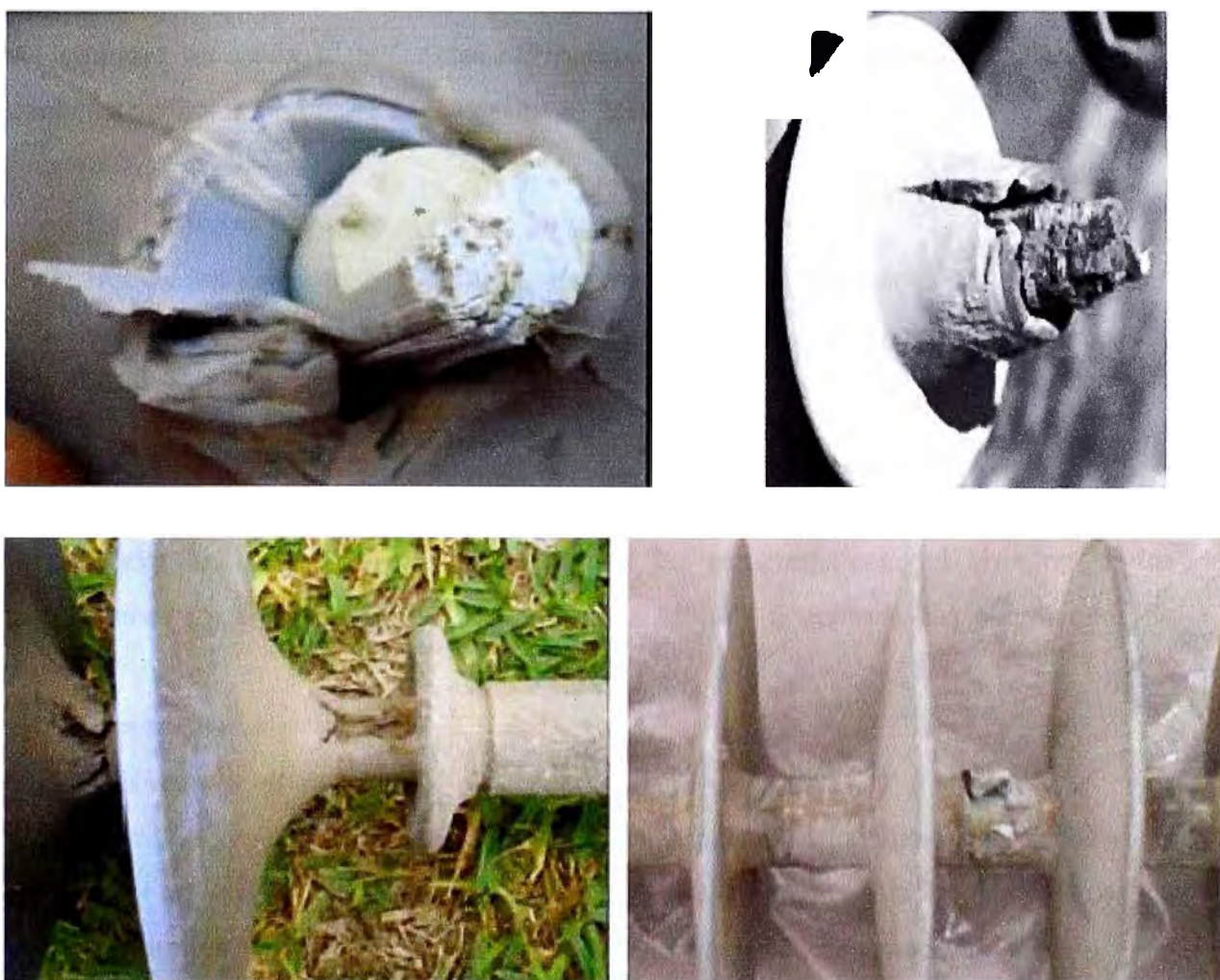
En la figura 2.2, se puede observar muestras de aisladores poliméricos con fallas en servicio, siendo una de las causas, las deficiencias de acoplamiento entre el núcleo, las armaduras y el cuerpo aleteado de silicona.

Dentro de los problemas típicos de los aisladores poliméricos, se encuentra la formación de caminos conductivos debido al tracking, la presunta degradación por efecto de los rayos ultravioleta y del medio ambiente (pérdida de su hidrofobicidad), separación del núcleo del



aislador del elastómero, que hacen pensar en la posibilidad de que la calidad de los materiales y/o los procesos de fabricación, no sean los adecuados o que las condiciones ambientales hayan superado los parámetros de diseño. En definitiva es una tecnología que sobre la cual se seguirán efectuando investigaciones y pruebas para superar los problemas que se vienen presentando.

Hechas estas aclaraciones, nos referiremos a tres estándares elaborados por la Comisión Electrotécnica Internacional, que son el estándar IEC 60660 y el estándar IEC 60168 relacionados con las pruebas electromecánicas y físicas de control y el estándar IEC 60273 referente a las características constructivas de los aisladores orgánicos



**Fig. 2.2: Muestras de aisladores poliméricos con inadecuado acoplamiento entre en núcleo, las armaduras y las aletas de silicona**

### 2.3.1 Estándar IEC 60660.

**Título:**

**“Insulators test on indoor post insulators of organic material for systems with nominal voltages greater than 1000 volts up to but not including 300 kV”**

**“Pruebas para aisladores soporte para interior fabricados en materiales orgánicos, para sistemas con tensión nominal mayor a 1000 voltios hasta 300 kV, no incluye este nivel”**

#### **Alcances y objetivo del estándar:**

Es aplicable a aisladores soporte fabricados de materiales orgánicos para servicio en instalaciones eléctricas o equipos en servicio interior, operando al aire a presión atmosférica en corriente alterna, con un voltaje nominal mayor a 1000 voltios hasta 300 kV sin incluir este nivel, a una frecuencia no mayor a 100 Hz.

Este estándar no cubre los aisladores compuestos (poliméricos), para los cuales existen estándares dedicados, algunos de los cuales lo hemos indicado anteriormente.

El objeto del estándar es:

- Definir los términos de uso del aislador.
- Definir las características eléctricas y mecánicas del aislador soporte de material orgánico y fijar las condiciones bajo las cuales los valores de estas características se cumplen.
- Establecer los métodos de prueba
- Establecer los criterios de aceptación

Este estándar no da los valores numéricos de las características del aislador, ni las prescripciones relativas de cómo escoger un aislador de acuerdo a sus condiciones de servicio.

#### **Definiciones a tomar en cuenta:**

##### **Soporte aislante para interior:**

Es un aislador soporte no destinado para ser expuesto a condiciones atmosféricas exteriores. Para condiciones interiores con condensación excesiva deben ser usados aisladores para exterior o aisladores para interior de características especiales.

##### **Categorías de diseño:**

De acuerdo a su construcción los aisladores soporte se dividen en dos categorías:

##### **Categoría A**

Aisladores soporte cilíndricos con armaduras o insertos metálicos, internos para los cuales la más corta longitud de canal de perforación a través del material aislante, es igual o mayor que la tercera parte de la longitud exterior del arco entre las armaduras de sujeción.

## **Categoría B**

Aisladores soporte cilíndricos con armaduras o insertos metálicos internos para los cuales la mas corta longitud de canal de perforación a través del material aislante, es menor que la tercera parte de la longitud exterior del arco entre las armaduras de sujeción.

### **Lote:**

Grupo de aisladores propuestos para aceptación del mismo fabricante, del mismo diseño y fabricados en idénticas condiciones. Uno o mas lotes pueden ser propuestos para aceptación; el lote propuesto puede ser todo o una parte del total solicitado.

### **Descarga Disruptiva (Flashover):**

Descarga disruptiva externa en el aislador, entre las partes sometidas a la tensión de servicio. El término incluye las descargas sobre la superficie del aislador o las descargas a través del aire adyacente.

### **Perforación:**

Descarga disruptiva a través del cuerpo del aislador la cual produce una permanente pérdida de la rigidez dieléctrica.

Un trozo proveniente de un borde o una aleta, producto del calor de una descarga superficial no es considerada como una perforación.

### **Tensión de impulso en seco no disruptiva:**

Tensión de impulso en seco que el aislador soporta bajo las condiciones establecidas por la prueba.

### **Tensión de impulso en seco disruptiva al 50%:**

Valor de la Tensión de impulso con la cual existe la probabilidad del 50% de contorneos en el aislador en seco, bajo las condiciones establecidas por la prueba.

### **Tensión de sostenimiento en seco a frecuencia industrial:**

Tensión a frecuencia industrial que el aislador soporta en seco bajo las condiciones establecidas en la prueba.

### **Tensión disruptiva en seco a frecuencia industrial:**

Promedio aritmético de las medidas de voltaje las cuales causan contorneo en seco en el aislador soporte, en las condiciones establecidas en la prueba.

### **Carga de ruptura mecánica:**

Máxima carga alcanzada por el aislador cuando es probado bajo las condiciones establecidas en la prueba.

### **Línea de fuga:**

Distancia mas corta a lo largo de la superficie aislante de aislador, entre las partes que normalmente son sometidas a la tensión de servicio.

Se debe tener en cuenta que las zonas del aislador que en condiciones de servicio son ocupadas por las partes metálicas de fijación, no se tomarán en cuenta como parte de la longitud de la línea de fuga.

### **Clasificación de las pruebas:**

La norma ha clasificado las pruebas para este tipo de aisladores en los siguientes grupos:

#### **a. Pruebas de tipo**

Este tipo de pruebas tienen el objeto de verificar las características del aislador, las cuales dependen del diseño, del material usado en su fabricación y del proceso de fabricación.

Se las ejecutan sobre un aislador y solamente se repetirán si hay cambios en los factores indicados.

#### **b. Pruebas de una muestra**

So efectuadas para verificar las características de un aislador, las cuales pueden variar con el proceso de manufactura y la calidad de los componentes de los materiales del aislador, estas pruebas se usan como pruebas de aceptación a una muestra escogida al azar.

#### **c. Pruebas de rutina.**

Están destinadas a eliminar aisladores defectuosos y se lleva a cabo durante el proceso de manufactura.

#### **➤ Pruebas de tipo:**

A su vez son divididas en tres subgrupos, como sigue:

**a.1.** Pruebas relacionadas con la elección del material aislante y con el método de fabricación.

- Prueba de absorción de agua
- Prueba de flamabilidad
- Prueba de envejecimiento en atmosfera húmeda.

**a.2.** Pruebas con relación con la elección del material aislante y con el método de fabricación pero que pueden tener influencia con el diseño del aislador.

- Prueba de resistencia mecánica a la flexión en función de la temperatura.

**a.3.** Pruebas relacionadas en particular con el diseño del aislador.

- Prueba de tensión de impulso en seco no disruptiva.
- Prueba de tensión a frecuencia industrial en seco no disruptiva.
- Prueba de perforación con tensión de impulso.

- Prueba de resistencia a variaciones bruscas de temperatura.
- Prueba de tensión de extinción de descargas parciales.
- Prueba de deflexión bajo carga mecánica a condiciones normales de temperatura.
- Prueba de ruptura mecánica a condiciones normales de temperatura.

➤ **Las pruebas de una muestra:**

Como ya se ha indicado están orientadas para efectos de recepción de lotes de aisladores, la norma indica los procedimientos para la toma de la muestra.

Las pruebas a realizar son:

- Verificación de dimensiones.
- Prueba de absorción de agua
- Prueba de voltaje de extinción de descargas parciales
- Prueba de deflexión bajo carga
- Prueba de resistencia a la flexión.

Los detalles de la ejecución de estos ensayos son descritos en el estándar.

**Las pruebas de rutina:**

Son tres:

- Examen visual.
- Prueba mecánica
- Prueba eléctrica de rutina y medida de descargas parciales.

**2.3.2 Estándar IEC 60168.**

**Título:**

**“Tests on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for systems with nominal voltages greater than 1000 V”.**

**“Pruebas de aisladores soporte fabricados en cerámica o vidrio, para instalaciones interiores y exteriores en sistemas con una tensión nominal mayor a 1000V”.**

Este estándar no es mas que una ampliación del estándar IEC 60660 y aunque se indique que cubre a los aisladores fabricados en cerámica o vidrio, también indica que puede ser aplicado a aisladores fabricados con otros materiales, como una condición mínima.

Este estándar es de utilidad para aquellos aisladores orgánicos, cuyo diseño este orientado a instalaciones a la intemperie, a los cuales habrá que adicionar a su grupo de pruebas la referente a los ensayos bajo lluvia.

**2.3.3 Estándar IEC 60273.**

**Título:**

“Characteristic of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1000 V”.

“Características de los aisladores soporte, para instalaciones interiores y exteriores en sistemas con una tensión nominal mayor a 1000 V”.

El estándar clasifica a los aisladores por el esfuerzo mecánico de ruptura, según como se indica en la tabla 2.1

**Tabla 2.1: Clasificación de los aisladores soporte por el valor de la carga mecánica de ruptura.**

Clasificación	Valor de la carga de ruptura en N
Clase 2	2000
Clase 4	4000
Clase 6	6000
Clase 8	8000
Clase 10	10000
Clase 16	16000
Clase 25	25000

En las Tablas 2.2 y 2.3, se resumen las características de electromecánicas y físicas de acuerdo al estándar (ver figura 2.3 para identificación de parámetros)

**Tabla 2.2: Características electromecánicas de los aisladores soporte - IEC 273**

Designación del aislador	Tensión impulsiva no disruptiva en seco en kV	Tensión no disruptiva en seco a frecuencia industrial por un minuto en kV	Carga mecánica de ruptura $P_0$ en N	Carga mecánica de ruptura $P_{50}$ en N	Altura del aislador H en mm
J02-60	60	28	2000	1300	95±1
J04-60	60	28	4000	2600	95±1
J06-60	60	28	6000	3900	95±1
J08-60	60	28	8000	5200	95±1
J010-60	60	28	10000	6500	95±1
J016-60	60	28	16000	10500	95±1
J025-60	60	28	25000	16400	95±1
J02-75	75	38	2000	1450	130±1
J04-75	75	38	4000	2900	130±1

J06-75	75	38	6000	4350	130±1
J08-75	75	38	8000	5800	130±1
J010-75	75	38	10000	7200	130±1
J016-75	75	38	16000	11600	130±1
J025-75	75	38	25000	18000	130±1
J02-95	95	50	2000	1550	175±1
J04-95	95	50	4000	3100	175±1
J06-95	95	50	6000	4650	175±1
J08-95	95	50	8000	6200	175±1
J010-95	95	50	10000	7800	175±1
J016-95	95	50	16000	12500	175±1
J025-95	95	50	25000	19500	175±1
J02-125	125	50	2000	1600	210±1
J04-125	125	50	4000	3200	210±1
J06-125	125	50	6000	4800	210±1
J08-125	125	50	8000	6450	210±1
J010-125	125	50	10000	8100	210±1
J016-125	125	50	16000	13000	210±1
J025-125	125	50	25000	20000	210±1
J02-145	145	70	2000	1700	270±1
J04-145	145	70	4000	3400	270±1
J06-145	145	70	6000	5100	270±1
J08-145	145	70	8000	6750	270±1
J010-145	145	70	10000	8400	270±1
J016-145	145	70	16000	13500	270±1
J025-145	145	70	25000	21000	270±1
J02-170	170	70	2000	1700	300±1
J04-170	170	70	4000	3400	300±1
J06-170	170	70	6000	5100	300±1
J08-170	170	70	8000	6850	300±1
J010-170	170	70	10000	8600	300±1
J016-170	170	70	16000	13700	300±1

J025-170	170	70	25000	21500	300±1
J04-250	250	95	4000	3600	500±1
J06-250	250	95	6000	5450	500±1
J08-250	250	95	8000	7250	500±1
J010-250	250	95	10000	9100	500±1
J016-250	250	95	16000	14500	500±1
J025-250	250	95	25000	22500	500±1
J04-325	325	140	4000	3700	620±1
J06-325	325	140	6000	5500	620±1
J08-325	325	140	8000	7400	620±1
J010-325	325	140	10000	9200	620±1
J016-325	325	140	16000	14800	620±1
J025-325	325	140	25000	23000	620±1

**Tabla 2.3: Características mecánicas y dimensionales de los aisladores soporte - IEC**

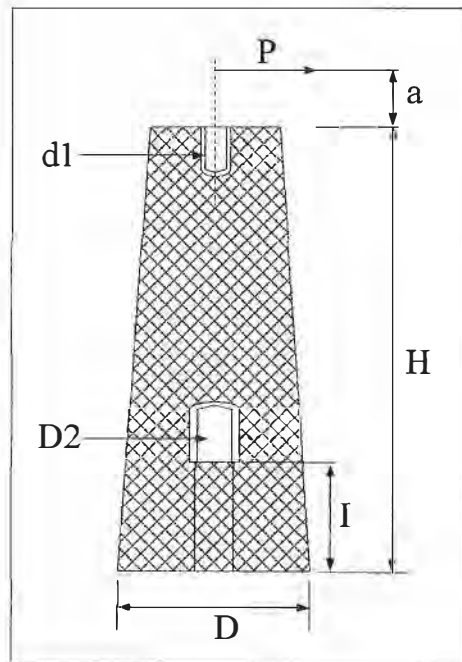
273

<b>Designación del aislador</b>	<b>Diámetro nominal máximo de aislador D en mm</b>	<b>Diferencia max. entre las deflexiones al 20% y 50% de la carga mecánica de ruptura mm</b>	<b>Incerto superior central d1</b>	<b>Incerto inferior central D2</b>	<b>Distancia max. entre la cara inf. del aislador y el extremo inf. del incerto inf. I en mm</b>
J02-60	60	1.5	M12	M12	15
J04-60	75	1.5	M12	M16	15
J06-60	80	1.5	M12	M16	15
J08-60	85	1.5	M16	M16	15
J010-60	95	1.5	M16	M16	15
J016-60	125	1.5	M16	M20	15
J025-60	145	1.5	M16	M20	15
J02-75	60	2	M12	M12	25
J04-75	75	2	M12	M16	25
J06-75	90	2	M12	M16	25
J08-75	100	2	M16	M16	25
J010-75	105	2	M16	M16	25
J016-75	125	2	M16	M20	25



J025-75	145	2	M16	M20	25
J02-95	60	2.7	M12	M12	35
J04-95	80	2.7	M12	M16	35
J06-95	95	2.7	M12	M16	35
J08-95	110	2.7	M16	M16	35
J010-95	115	2.7	M16	M16	35
J016-95	130	2.7	M16	M20	35
J025-95	155	2.7	M16	M20	35
J02-125	75	3.2	M12	M12	75
J04-125	85	3.2	M12	M16	75
J06-125	105	3.2	M12	M16	75
J08-125	125	3.2	M16	M20	75
J010-125	130	3.2	M16	M20	75
J016-125	140	3.2	M16	M20	75
J025-125	160	3.2	M16	M24	75
J02-145	75	4	M12	M12	95
J04-145	95	4	M12	M16	95
J06-145	115	4	M12	M16	95
J08-145	130	4	M16	M20	95
J010-145	140	4	M16	M20	95
J016-145	150	4	M16	M24	95
J025-145	170	4	M16	M24	95
J02-170	75	5	M12	M12	125
J04-170	105	5	M12	M16	125
J06-170	115	5	M12	M16	125
J08-170	130	5	M16	M24	125
J010-170	140	5	M16	M24	125
J016-170	160	5	M16	M24	125
J025-170	180	5	M16	M30	125
J04-250	125	8	M12	M16	250
J06-250	130	8	M12	M24	250
J08-250	140	8	M16	M24	250

J010-250	150	8	M16	M24	250
J016-250	180	8	M16	M24	250
J025-250	220	8	M20	M30	250
J04-325	130	11	M12	M20	320
J06-325	150	11	M12	M24	320
J08-325	160	11	M16	M24	320
J010-325	170	11	M16	M24	320
J016-325	200	11	M20	M30	320
J025-325	240	11	M20	M30	320



**Fig. 2.3: Esquema complementario para las tablas 2.2 y 2.3**

## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES**

#### **3.1 Antecedentes.**

La historia de la química de las resinas epóxicas probablemente comenzó por el año 1900, cuando el químico ruso Prileschajev descubrió que las olefinas reaccionaban con el ácido peroxibenzoico para formar epoxídicos. Los subsiguientes trabajos en diepoxidos datan de los años de los años 1920 a 1930, pero no fue sino hasta 1934 donde se comienza la verdadera tecnología sobre estas resinas.

A mediados de 1930 el químico Alemán Paul Schlack, solicita la primera patente aunque se refería a la producción de poliaminas, mencionaba la preparación de un diglicidil éter.

El químico Suizo Pierre Castan, entre los años 1938 y 1943 fue el primero en reconocer y utilizar de manera concreta las notables cualidades de las resinas epóxicas en el campo de las materias plásticas.

Se intentó comercializar estas resinas aplicadas a prótesis dentales, pero resultó un fracaso y las patentes fueron adquiridas por la firma Ciba de Basilea, quienes en la Feria Industrial del año 1946 mostraron un adhesivo epóxico, denominado Araldit tipo I, para unir aleaciones ligeras; al mismo tiempo se exponían muestras de productos fundidos, cuyo proceso fue patentado el año 1945.

A partir del año 1943 y paralelamente al desarrollo de estas resinas en Europa, el Dr. S. O. Greenlee, trabajando para la Empresa Devoe and Reynolds, en un estudio con la Shell Chemical Co. realizó una serie de patentes en resinas epóxicas orientadas hacia recubrimientos que posteriormente esta última comercializaría con el nombre de Epon y Epikote.

Entre los años 50 al 60 aparecieron otros tipos de resinas más flexibles y más apropiadas desde un punto de vista de inflamabilidad.

Actualmente son muchas las empresas a nivel mundial que producen diferentes tipos de resinas epóxicas, desde pegamentos domésticos de gran adherencia y endurecimiento en frío hasta resinas para colada e impregnación de endurecimiento por lo general en caliente.

### 3.2 Introducción a las resinas epóxicas.

Aunque el nombre de plásticos es el más extendido y utilizado para denominar a los materiales que vamos a tratar en el presente capítulo, en el lenguaje técnico reciben el nombre de resinas sintéticas, aunque tampoco es un nombre muy apropiado, pues existen ciertas diferencias entre los plásticos y las propiamente llamadas resinas sintéticas.

Casi todos los materiales plásticos son compuestos del carbono ( C ) cuyo átomo presenta 4 electrones en su segunda órbita, los que compartirá con otros elementos para formar moléculas.

Se denominan resinas epoxidicas o epóxicas a aquellas resinas que disponen de un número de grupos epóxicos (3.1), suficientes para su endurecimiento.



Las resinas epóxicas son resinas sintéticas que son influidas por medio de **catalizadores o aceleradores, bien solos o por medio de agentes endurecedores**, son de naturaleza orgánica solidas, semisólidas o pseudosólidas, que tienen una masa molecular indefinida y a menudo elevada y presentan tendencia a fluir, cuando se las somete a fusión.

Comercialmente hay resinas epóxicas de baja viscosidad consideradas como líquidas.

En el sentido amplio se utiliza el término resina, para designar a cualquier polímero base para la elaboración de materias plásticas (ISO R/472).[13].

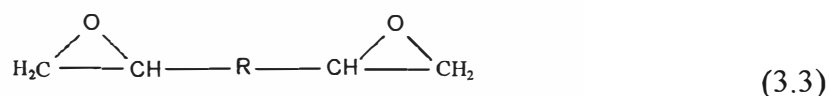
Por lo general las resina epóxicas son utilizadas **mezcladas con cargas minerales** de una determinada granulometría, como la harina de mármol, harina de mica, polvo de yeso, harina de sílice, harina de pizarra, arena, etc ;la elección de cada una de ellas dependerá de la aplicación que se le quiera dar a la mezcla.

El grupo epóxido está constituido por la unión de un átomo de oxígeno a dos carbonos contiguos, estando estos a su vez unidos a otras cadenas R<sub>1</sub> y R<sub>2</sub>.



Es necesario anotar que la denominación de “resinas epóxicas”, solamente es aplicable a los productos intermedios termoplásticos no endurecidos, porque los grupos epóxicos desaparecen durante la reacción de endurecimiento.

Sin embargo para obtener una polimerización hasta el endurecimiento de las resinas, es necesario que el átomo de oxígeno una los 2 primeros carbonos de una cadena y que otro grupo epóxido termine la cadena, quedando la formula general siguiente:

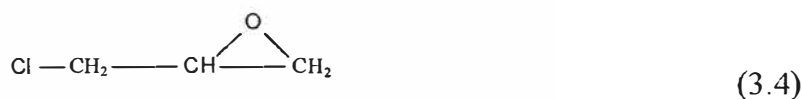


Se denomina polimerización al proceso químico en que se obtiene un cuerpo de elevado peso molecular (polímero) a partir de uno de bajo peso molecular (monómero) sin cambio de su estructura química. Las interconexiones de las cadenas se forman mediante átomos de carbono.

En realidad existen 2 grupos de resinas epóxicas como veremos luego, aquellas provenientes de la reacción del bifenol con la epiclorhidrina denominadas resinas epóxicas fenólicas y aquellas obtenidas por un proceso totalmente diferente, consistente en la epoxidación de combinaciones olefinicas especiales, con la ayuda de perácidos alifáticos denominadas resinas epóxicas cicloalifáticas. [2]

➤ **Resinas epóxicas fenólicas.**

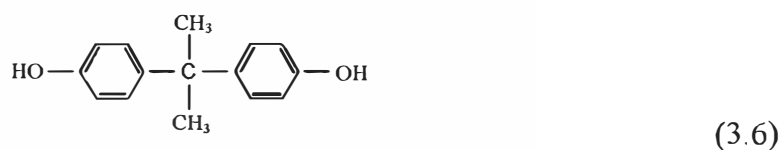
Existe una gran variedad de resinas epoxicas, pero en la práctica se recurre a una sola familia de resinas epoxidicas, que proviene de la adición a cada extremidad de la molécula de polifenol, de elevado peso molecular, de una molécula simple portadora del grupo epóxico, partiendo de estos tipos se fabrican gran cantidad de resinas modificadas por la adición de diluyentes y flexibilizadores.



**Epiclorhidrina**



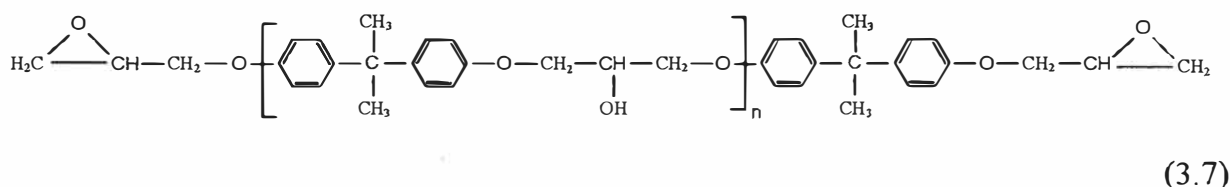
**Grupo Glicídico**



**Dioxy difenil 2,2 propano o bifenol A**

El grupo más importante de resinas epóxicas desde un punto de vista comercial lo constituyen los éteres glicídicos de compuestos dihidróxidos.

Adicionado al bifenol A una molécula de epíclorhidrina se obtiene una resina epoxica cuya fórmula general es:



Para valores de n en aumento se obtiene resinas epóxicas de punto de fusión cada vez más elevado.

Las resinas de cadena corta son líquidos viscosos mientras que las de mayor longitud y peso molecular son sólidos de color ámbar.

Las resinas epóxicas se caracterizan por su punto de fusión, viscosidad y peso equivalente indicando estas propiedades la longitud de la cadena y el peso molecular medio.

El equivalente epóxido, es el peso de la resina en gramos que contiene un equivalente gramo, como normalmente las resinas epóxicas constan de dos grupos epóxidos, el equivalente epóxido será la mitad de su peso molecular medio.

El equivalente epóxido por kg de resina es el número de equivalentes gramo de epóxido contenidos.

**Tabla 3.1: Resinas líquidas a base de bifenol A, con contenido epóxido aproximado de cinco [13].**

Nombre	Fabricante	Contenido epóxido por kg	Equivalente Epóxido	Viscosidad cP a 25 °C
Araldit CY205	Ciba	5.1 -5.5	182 - 186	9000 - 13000
Lukuterm X10	Bayer	5	185 - 200	9000 - 13000
Epikote 828	Shell	5.1 -5.5	182 - 194	10000 - 15000
DER 321	Dow	5.2	186 - 192	11000 - 14000

La epíclorhidrina se obtiene a partir del propileno, derivada del petróleo, que a elevada temperatura reacciona con el cloro formando cloruro de alilo, que a su vez es tratado con ácido hipocloroso diluido. El producto resultante es tratado con soda caustica para formar la epíclorhidrina.

**Tabla 3.2: Resinas sólidas a base de bifenol A con contenido epóxico aproximado de cinco. [13].**

Nombre	Fabricante	Contenido epóxico por kg	Equivalente Epóxico
Araldit CT200	Ciba	2.3 – 2.7	370 - 475
Lukuterm X30S	Bayer	2.6 - 2.9	380 - 400
Epikote 834	Shell	3.6 – 4.4	225 - 280
DER 337	Dow	4.0 – 4.3	230 - 260

El bifenol A se obtiene haciendo reaccionar la acetona con exeso de fenol.

Como se verá algunos de los componetes básicos para la fabricación de resinas epoxidas se obtiene a partir del petroleo, por lo que los fabricantes han hallado otros tipos de resina de distinta procedencia.

➤ **Resinas epóxicas cicloalifáticas.**

Obedecen al tipo:



Este tipo de resinas presentan una alta resistencia a las descargas eléctricas, especialmente cuando se curan con un anhídrido cicloalifático como el hexahidroftalico.

El grupo epóxido está enclavado en radicales cíclicos.

**Tabla 3.3: Resinas cicloalifáticas comerciales [13].**

Nombre	Fabricante	Contenido epóxico por kg	Equivalente epóxico	Viscosidad cP a 25 °C
Araldit CY180	Ciba	5.0 -5.4	185 - 127	1600 - 2000
Araldit CY185	Ciba	4.5 – 5.0	200 - 222	2000 - 3000
Lukuterm X100	Bayer	5.7	120 - 180	600 - 900
Epikote 190	Shell		160 - 170	650 - 800

➤ **Endurecedores**

El endurecedor es el agente de curado empleado en una resina epóxica.

Estas sustancias pasan a formar parte del polímero y por ello el tipo y cantidad que se utilice, influye en gran manera en las características eléctricas y mecánicas del producto.

Otro factor que influye en la elección del tipo de endurecedor es la reactividad que confiere a la mezcla y que influencia sobre la viscosidad.

Pueden dividirse en dos grupos:

- Endurecedores para curado a temperatura ambiente, tales como poliaminas alifáticas y poliamidas.
- Endurecedores de curado a elevadas temperaturas como las aminas aromáticas y anhídridos de ácido.

En alta tensión solamente son empleados los endurecedores anhídrido. Al ser agregados a las resinas disminuyen su viscosidad y confieren largos “pot life”, y tanto la contracción como la exotermia de la reacción durante el curado, son menores que con endurecedores tipo amina.

Como contrapartida motivan la inmovilización del molde al requerir tiempos de curado prolongados.

**Nota:** Se denomina pot life al tiempo que demora en aumentar la viscosidad de la masa hasta el límite de la colabilidad. , una vez agregado el endurecedor.

Algunos endurecedores anhídridos empleados:

Anhídrido ftálico, anhídrido exahidroftálico, anhídrido maleico, anhídrido metilnódico.

**Los endurecedores proveen tres características de manejo fundamentales:**

- Tiempo de gelado.
- Viscosidad de mezclado
- Tiempo de desmoldeo

**Los endurecedores proporcionan cinco propiedades físicas fundamentales:**

- Propiedades de tensión
- Propiedades de compresión
- Propiedades de flexión
- Dureza
- Resistencia al impacto

**El desempeño de los endurecedores es influenciado por cinco características químicas:**

- Tipo de resina
- Tipo y cantidad de diluyentes en la resina
- Tipo y cantidad de cargas en la resina
- Relación de mezclado



- Tipo y cantidad de las cargas en el endurecedor.

**El desempeño de los endurecedores son influenciados por cinco características físicas:**

- Temperatura ambiente.
- Temperatura de los componentes del sistema.
- Humedad.
- Masa o volumen de la resina siendo mezclada; por ejemplo, un sistema epóxico puede conservarse 20 minutos en un contenedor, pero cuando se extiende una capa delgada en una lamina entera, el tiempo de vida se puede alargar dos horas más
- Calidad del mezclado.

➤ **Cargas:**

La adición de cargas modifica las características de las resinas, su influencia puede resultar en ventajas o en desventajas como se indica:

Ventajas:

- Reducción del precio.
- Reducción de la contracción durante el curado.
- Reducción en el aumento de la temperatura exotérmina en el curado.
- Aumento de la conductividad térmica.
- Temperaturas de deformación por calor más elevadas.
- Absorción de agua disminuida.
- Mejora de la resistencia a la abrasión.
- Aumento de la resistencia a la compresión.
- Aumento de la rigidez dieléctrica
- Aumento de la resistividad superficial.

Desventajas:

- Aumento de peso.
- Aumento de viscosidad.
- Pérdida de transparencia.
- Tendencia a ocluir el aire.
- Dificultad de mecanizado.
- Reducción de la resistencia a la tracción.
- Aumento del factor de potencia.
- Incertidumbre en la homogeneidad de los suministros.

Algunos tipos de cargas típicas: Harina de mármol, yeso, harina de sílice, harina de mica, arena, etc.

### 3.3 Propiedades de las resinas epóxicas.

#### ➤ Propiedades generales.

En la industria eléctrica siempre existió la necesidad de aislantes con alto punto de fusión, para sustituir principalmente a compuestos asfálticos; las resinas fenólicas y las resinas de poliéster no cumplían a cabalidad las características buscadas por su alta contracción, lo cual originaba fisuras y además podían deteriorar bobinados encapsulados.

Las resinas siliconas quienes poseen muy buenas propiedades aislantes incluso a temperaturas altas, no tienen buena resistencia mecánica y no se adhieren del todo bien a otros materiales.

Las resinas epóxicas, si bien algo inferiores a las siliconas en cuanto a sus propiedades dieléctricas, poseen buenas propiedades mecánicas y una baja contracción (del orden del 1%) en el curado, son resistentes a la humedad y a los ataques de agentes químicos y tienen características importantes de resaltar:

- Versatilidad en su aplicación, pueden utilizarse para impregnar, recubrir, colar y barnizar.
- Pueden utilizarse bien a temperatura ambiente o elevada, dependiendo de la selección de los componentes.
- Permiten el recubrimiento de pantallas electrostáticas repartidoras de campo, partes activas o piezas de unión, manteniéndolas sólidas en una posición.
- No se desprenden productos volátiles durante la reacción de endurecimiento.
- Pequeña contracción durante el proceso de endurecimiento.
- Sus propiedades pueden modificarse con la adición de cargas.
- Cuando endurecen se adhieren tenazmente a la mayor parte de cuerpos.
- Una vez endurecidas, presentan excelentes propiedades mecánicas y eléctricas en una gama de temperaturas comprendidas entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ .

En algunas aplicaciones no es necesario tomar medidas para controlar el gradiente de potencial, más allá de cerciorarse de que se está dentro de los límites soportables de la resina. Aunque la rigidez dieléctrica para los compuestos de resina epóxica suelen ser del orden de 20 a 25 kV/mm, puede tomarse para el cálculo un valor aproximado a 2 kV/mm [13], este criterio es necesario tenerlo presente al momento de diseñar algún modelo de aislador.

Las solicitaciones eléctricas entre cuerpos a distinto potencial de forma esférica o cilíndrica pueden calcularse de forma relativamente sencilla; en la práctica las formas son mucho más complejas, utilizándose diversos métodos para resolver este problema, siendo el más completo el de las cargas puntuales.

Para el trazado de las líneas equipotenciales puede utilizarse el método de la cuba electrolítica o mediante la utilización de otros instrumentos disponibles para estos casos.

Otro tema que es necesario comentar es la **contracción del moldeo**, que es la diferencia de medidas entre el molde y la pieza obtenida con la formulación de la resina, después que ésta ha enfriado a la temperatura ambiente, luego del proceso de post curado.

En la Fig.3.1 se muestran las curvas que explican el proceso típico de polimerización de un mezcla epóxica, la curva A representa el comportamiento de la mezcla resina, cargas y endurecedor con el aumento de temperatura, la curva B representa la gelificación o endurecimiento de la mezcla, estando la masa líquida sobre esta curva y sólida debajo de ella, en esta fase el producto presenta características pseudo-elásticas; y la curva C muestra el estado final del proceso de polimerización.

Una conclusión importante es que a menores temperaturas del proceso, la contracción es menor y por lo tanto son menores los esfuerzos sobre los insertos metálicos o componentes encapsuladas siendo menores las probabilidades de agrietamiento.

Las resinas epóxicas son, con frecuencia, modificadas con otros productos para mejorar alguna propiedad del sistema final, como la dureza u otras las propiedades mecánicas.

Tanto los aditivos, las cargas y los solventes determinan la viscosidad del sistema y el grado de contracción de la mezcla e impactan en las propiedad físicas del producto

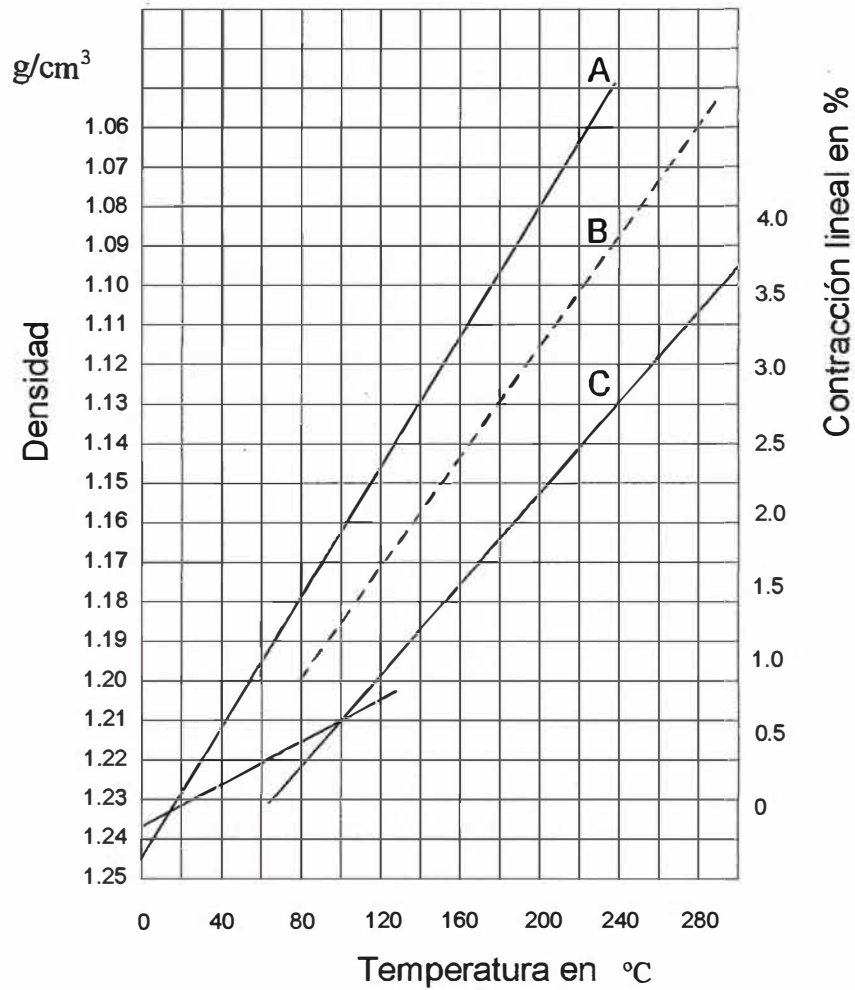
El endurecedor junto con la resina epóxica, contribuye mucho a las propiedades finales del sistema curado, hay que tener presente que el endurecedor no es un catalizador; el catalizador promueve la reacción, pero químicamente no se convierte en parte del producto final.

#### ➤ **Propiedades de las resinas epóxicas bifenólicas**

Las propiedades mecánicas y físicas las podemos observar en la tabla 3.4

Las propiedades dieléctricas las podemos observar en la tabla 3.5

En ambas tablas hemos escogido las características del Araldit CT200, que como ya se indicó, es una resina sólida muy usada y difundida en la industria electrotécnica y cuyas características presentan mucha similitud con resinas similares de diferentes fabricantes; es una resina que es curada con anhídrido ftálico a alta temperatura.



**Fig. 3.1: Curvas del proceso de curado del sistema resina epóxica bifenólica, con Anhídrido ftálico.**

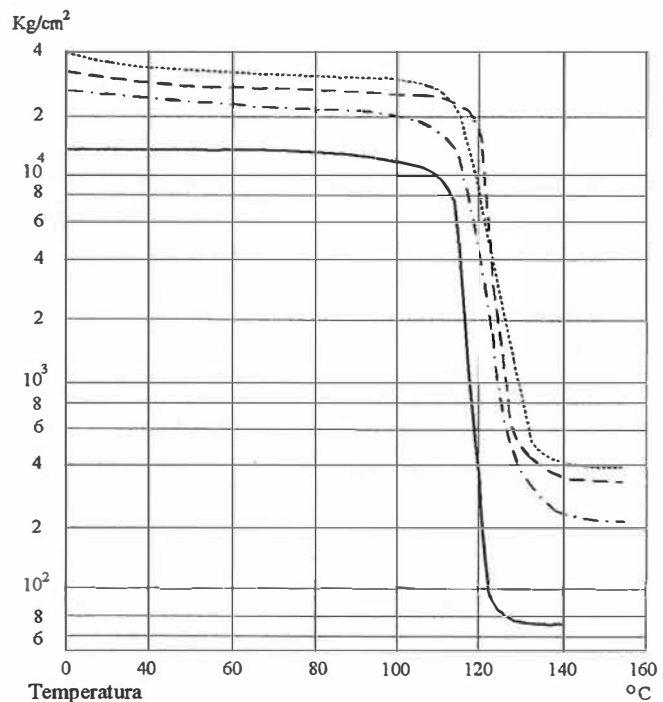
Araldite B (CT 200) con varios tipos de carga:

Mescla	1	2
Araldite B (CT 200)	100	100
Endurecedor HT 901	30	30
Harina de cuarzo		180

Mescla	3	4
Araldite B (CT 200)	100	100
Endurecedor HT 901	30	30
Microdol	75	
Harina de pizarra		100

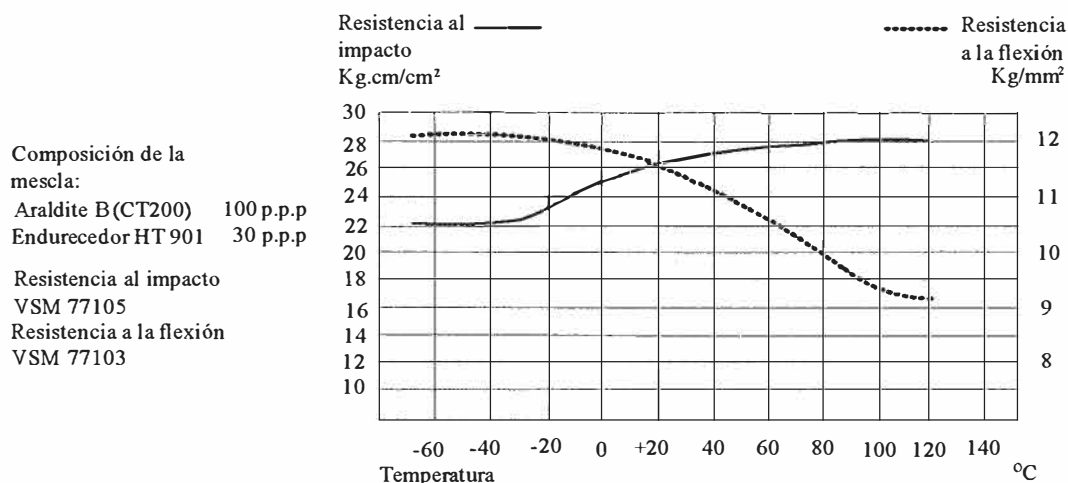
- 1
- - - 2
- · - · 3
- · - · - · 4



**Fig.3.2: Modulo de corte en función de la temperatura**

**Tabla 3.4: Propiedades mecánicas y físicas de una composición típica de resina epóxica bifenólica (interior), empleada en la industria eléctrica.**

Propiedad	Norma	Unidad	Araldit B (CT 200) 100pp Endurecedor HT901 30 pp	Araldit B (CT 200) 100pp Endurecedor HT901 30 pp Harina de sílice 200pp
Resistencia a la tracción	VSM 77101	Kg/mm <sup>2</sup>	5.5 - 8.5	7.0 - 8.5
Resistencia a la compresión	VSM 77102	Kg/mm <sup>2</sup>	11-13	20-22
	DIN 53454	Kg/cm <sup>2</sup>	1300	2100
Resistencia a la flexión	VSM 77103	Kg/mm <sup>2</sup>	10-14	9-13
	DIN 53452	Kg/cm <sup>2</sup>	1400	800
Flecha (Deflexión)	DIN 53452	mm	9.4	-
Resistencia al choque	VSM 77105	Kgcm/cm <sup>2</sup>	13-20	6-7
Módulo de elasticidad	VSM 77111	Kg/mm <sup>2</sup>	300 - 400	1200-1400
	DIN 53455	Kg/cm <sup>2</sup>	3.8x10 <sup>4</sup>	9.6x10 <sup>4</sup>
Peso específico	VSM 77109	g/cm <sup>3</sup>	1.2-1.3	1.7-1.8
Dureza Brinell	DIN 50351	Kg/mm <sup>2</sup>	17-18	30-31
Coefficiente lineal de dilatación térmica	VSM 77110	10 <sup>-6</sup> mm/mm°C	60 - 65	30 - 35
Temperatura de deformación Calor Martens	DIN 53458	°C	95	115
Resistencia a la llama	VDE 0302	Grado de resistencia	1	1
Conductibilidad térmica	DIN 52612	Kcal/mh°C	0.15 - 0.20	0.25 - 0.28
Absorción de agua en probetas de 60x10x4 mm				
240 h 20 °C		%	0.25 - 0.35	0.25 - 0.35
1 h 100 °C		%	0.30 - 0.45	0.30 - 0.45

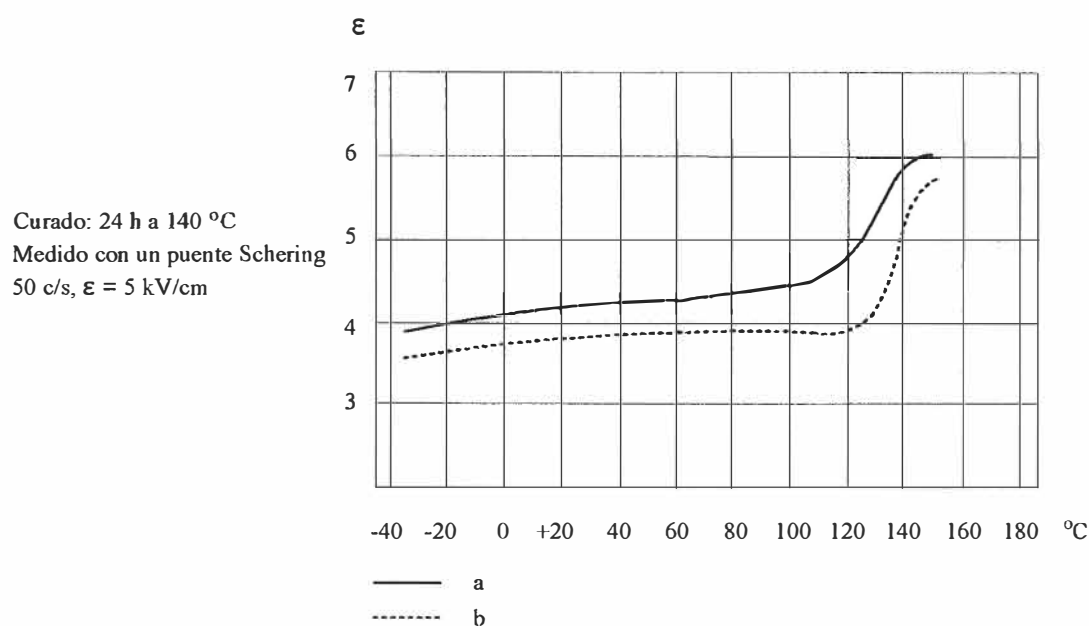


**Fig.3.3: Resistencia a la flexión y al choque en función de la temperatura.**

**Tabla 3.5: Propiedades dieléctricas de una composición típica de resina epóxica bifenólica (interior), empleada en la industria eléctrica.**

Propiedad	Norma	Unidad	Araldit B (CT 200) 100pp Endurecedor HT901 30 pp	Araldit B (CT 200) 100pp Endurecedor HT901 30 pp Harina de sílice 200pp
Constante dieléctrica $\epsilon$ a 20 °C			3.7 – 3.9	4.0 – 4.2
Tang. del ángulo de pérdidas $Tg\delta$ a 20°C	VDE 0303	%	0.4 – 0.7	1.2 – 1.6
Resistividad volumétrica $\rho$ a 20 °C	VDE 0303	$10^{15}$ ohm $\times$ cm	20 – 30	20 – 30
Rigidez dieléctrica a 1 min. 50 Hz. 20 °C 50 Hz. 90 °C	VSM 77107	kV/cm	170 – 190 180	220 – 240 230
Resistencia a la erosión superficial	VDE 303	Paso	T4	T2
Resistencia al arco	DIN 53484		L1	L1
Temperatura de descomposición	VSM 77113	°C	356	-

Composición de la mezcla:      b) Araldite B (CT 200) 100 p. p. p.  
a) Araldite B (CT 200) 100 p. p. p. Endurecedor HT 901 30 p. p. p.  
Endurecedor HT 901 30 p. p. p. Harina de Cuarzo 200 p. p. p.

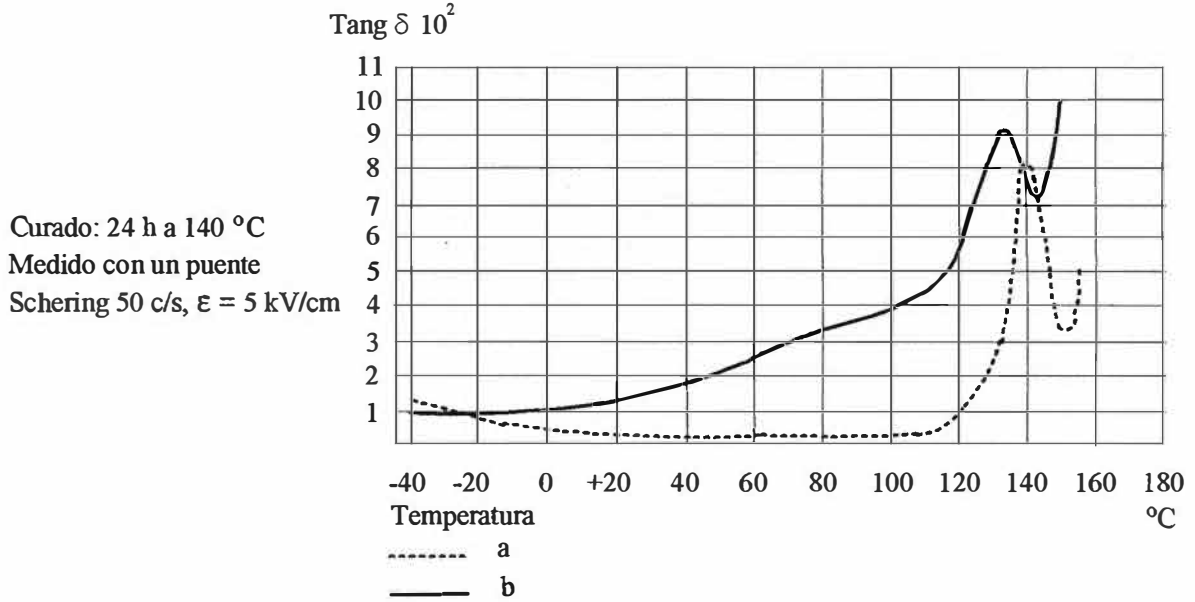


**Fig.3.4: Constante dieléctrica en función de la temperatura.**

Composición de la mezcla:

a) Araldite B (CT200) 100 p.p.p  
Endurecedor HT 901 30 p.p.p

b) Araldite B (CT200) 100 p.p.p  
Endurecedor HT 901 30 p.p.p  
Harina de cuarzo 200 p.p.p

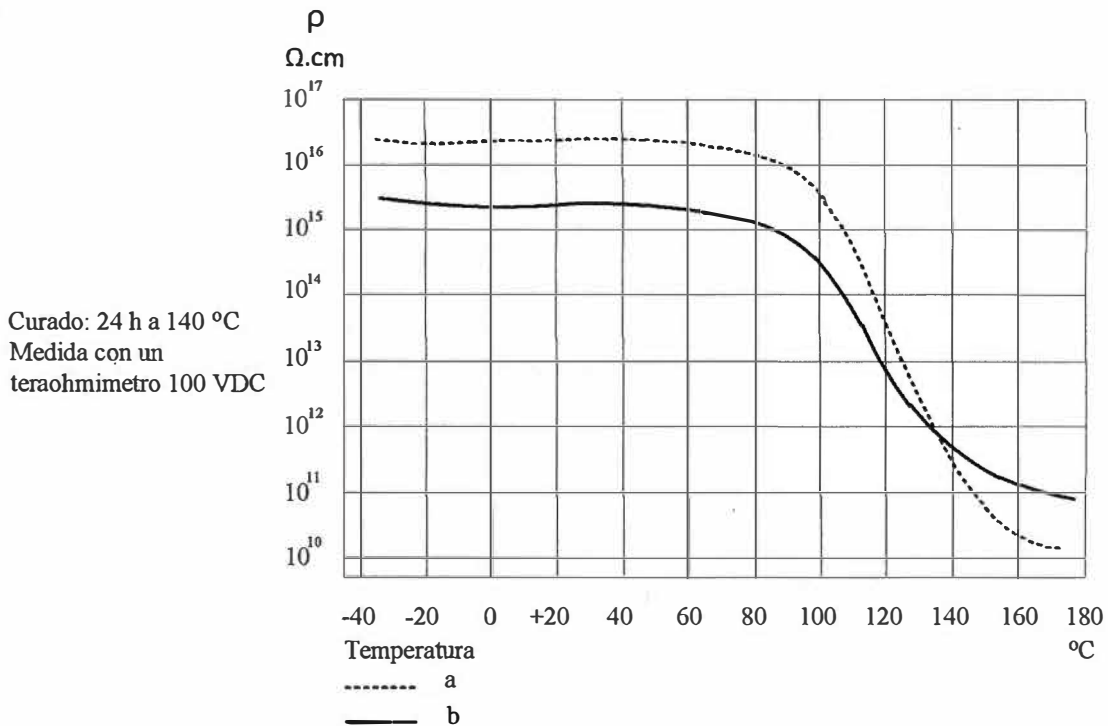


**Fig.3.5: Factor de pérdidas dieléctricas en función de la temperatura.**

Composición de la mezcla:

a) Araldite B (CT200) 100 p.p.p  
Endurecedor HT 901 30 p.p.p

b) Araldite B (CT200) 100 p.p.p  
Endurecedor HT 901 30 p.p.p  
Harina de cuarzo 200 p.p.p



**Fig.3.6: Resistividad volumétrica en función de la temperatura.**

➤ **Propiedades de las resinas epóxicas cicloalifáticas.**

Las propiedades mecánicas y físicas las podemos observar en la tabla 3.6

Las propiedades dieléctricas las podemos observar en la tabla 3.7

En ambas tablas hemos escogido las características del Araldit CY184. Esta es una resina líquida muy difundida en la industria electrotécnica y cuyas características presentan mucha similitud con resinas similares de diferentes fabricantes; es una resina que es curada con anhídrido cicloalifático a alta temperatura.

**Tabla 3.6: Propiedades mecánicas y físicas de una composición típica de resina epóxica cicloalifática (exterior), empleada en la industria eléctrica.**

Propiedad	Norma	Unidad	Araldit CY 184 100pp Endurecedor HT907 90 pp Acelerador DY 071 3pp Harina de sílice EST 300pp	Araldit CY 184 100pp Endurecedor HT907 90 pp Acelerador DY 071 3pp Harina de sílice 200pp	
Resistencia a la tracción	ISO/R527	N/mm <sup>2</sup>	80 - 90	90 - 100	
Resistencia a la compresión	ISO /R604	N/mm <sup>2</sup>	170 - 180	160 - 170	
Resistencia a la flexión	ISO/R178	N/mm <sup>2</sup>	130 - 140	150 - 165	
	DIN 53452	N/mm <sup>2</sup>	120 - 130	150 - 165	
Flecha	ISO/R178	mm	1.5 - 2	2 - 2.5	
Resistencia al choque	ISO/R179	kJ/m <sup>2</sup>	7 - 8	8 - 9	
Módulo de elasticidad en tensión	DIN 53457	N/mm <sup>2</sup>	11000 - 12000	10000 - 11000	
Peso específico	VSM 77109	g/cm <sup>3</sup>	1.6 - 1.7	1.6 - 1.7	
Dureza Brinell					
Coeficiente lineal de dilatación térmica $\alpha$	VDE 0304	K <sup>-1</sup> .10 <sup>-6</sup>	20 - 70 °C	35	40
			20 - 100 °C	45	50
Temperatura de deformación Calor Martens	DIN 53458	°C	100 - 110	95 - 105	
Resistencia a la llama	DIN 53459	Grado de resistencia	2b	2b	
Conductibilidad térmica	DIN 52612	W/mk	0.8 - 0.85	0.8 - 0.85	
Absorción de agua en probetas de 60x10x4 mm					
4 días a 23 °C	DIN 53472	% w/w	0.07 - 0.1	0.08 - 0.11	
10 días a 23 °C	ISO/R62	% w/w	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	
30 min 100 °C	ISO/R117	% w/w	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	
60 min 100 °C	CTM	% w/w	0.15 - 0.2	0.15 - 0.2	



**Tabla 3.7: Propiedades dieléctricas de una composición típica de resina epóxica cicloalifática (exterior), empleada en la industria eléctrica.**

Propiedad	Norma	Unidad	Araldit CY 184 100pp Endurecedor HT907 90 pp Acelerador DY 071 3pp Harina de sílice EST 300pp	Araldit CY 184 100pp Endurecedor HT907 90 pp Acelerador DY 071 3pp Harina de sílice 200pp
Constante dieléctrica $\epsilon_r$ a 23 °C a 50 °C a 80 °C a 100 °C	DIN 53483			
			3.8 - 4.2	3.8 - 4.2
			3.9 - 4.3	3.9 - 4.3
			4.2 - 4.6	4.2 - 4.6
Tang. del ángulo de pérdidas $\delta$ a 23°C a 50°C a 80°C a 100°C	DIN 53483	%	2 - 2.5	1.5 - 2
		%	3 - 3.5	2.5 - 3
		%	4 - 5	3 - 4
		%	5 - 6	4 - 5
Resistividad volumétrica $\rho$ a 23°C a 50°C a 80°C a 100°C	DIN 53482			
		ohmxcn	$10^{15}$	$10^{15}$
		ohmxcn	$10^{15}$	$10^{15}$
		ohmxcn	$10^{14}$	$10^{14}$
Rigidez dieléctrica a 20 seg, 2 mm espesor, 23 °C, 50 Hz	IEC 243	kV/mm	18 - 20	19 - 21
Resistencia a las corrientes superficiales (Tracking)	DIN 53480	Grado	KA 3c	KA3c
	IEC 112	V	>600	>600
Resistencia al arco	ASTM D 495	S	185 - 190	185 - 190
	DIN 53484	Grado	L4	L4
Ensayo en plano inclinado de corrientes superficiales y erosión	ASTM D 2303			
Voltaje inicial de corrientes superficiales		kV/min	3.5/40	3.5/50
Tiempo de aplicación de las corrientes superficiales		h	35 - 45	30 - 40

**Nota:** Las tablas 3.4 ,3.5, 3.6 y 3.7 así como las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, han sido obtenidas de las hojas de instrucción de CIBA GEIGY.

No se ha considerado información de otros fabricantes, porque son bastante similares.

### ➤ Características especiales de las resinas epóxicas cicloalifáticas

Las resinas epóxicas cicloalifáticas son de aplicación especial para instalaciones a la intemperie o interiores con altos niveles de contaminación y humedad; sabemos que las sollicitaciones sobre los aislamientos al aire libre son mucho más fuertes que en las instalaciones cubiertas, debido a los agentes atmosféricos como la humedad (lluvia, niebla, rocío), el ensuciamiento (formación de una capa externa con partículas de diferente naturaleza), los rayos ultravioleta (luz solar), ataque de agentes corrosivos conductores etc., que originan corrientes superficiales muy dañinas; estas resinas soportan de muy buena manera todos estos fenómenos.

Se han hecho innumerables experimentos de exposición en servicio [19] [20], de aisladores fabricados con estos materiales, en diversos climas y condiciones ambientales con distintos niveles de contaminación como:

- Los desiertos de África, con considerables gradientes de temperatura, polvo y viento.
- En zonas industriales y cementeras con fuerte presencia de contaminación inherente a sus características.
- En zonas cercanas al mar Mediterráneo, con presencia de polución salina y altos niveles de humedad.
- Costa de Suecia y Finlandia, con niveles de contaminación baja y severa; en Finlandia la instalación fue masiva estimándose en 400,000 unidades instaladas, habiéndose comprobado tras veinte años de operación el excelente comportamiento de la resina cicloalifática.

Se llevaron a cabo estudios de exposición a la intemperie por periodos prolongados en algunos casos de hasta 36 meses, de aisladores fabricados con resina cicloalifática CY 184 y aisladores de porcelana para efectos de comparación y algunos de cuyos resultados indicamos a continuación:

- La distribución del contaminante a, lo largo de la línea de fuga de los aisladores de resina es más uniforme que en los aisladores de porcelana en general. Se determinó también que el perfil del aislador influenciaba en esta característica.
- La cantidad equivalente de NaCl para la capa de polución en aisladores de porcelana ascendía a  $0.6 \text{ mg/cm}^2$ , tras 24 meses de exposición a la contaminación del desierto, mientras que llegó a sólo  $0.2 \text{ mg/cm}^2$  y  $0.14 \text{ mg/cm}^2$  para los aisladores de resina epóxica de plato y campana respectivamente para el mismo lapso de tiempo de exposición bajo las mismas condiciones de contaminación.

- Se determinó que en los aisladores de porcelana hay mayor probabilidad de que haya condensación de la humedad en su superficie, debido a que alcanzan mayores diferencias de temperatura con relación al medio ambiente.
- El análisis químico de los contaminantes capturados por aisladores de porcelana y resina epóxica muestran que los porcentajes de CaO y SO<sub>3</sub> (contaminantes) son hallados en mayor cantidad en los aisladores de porcelana que en los de resina epóxica ésta es una ventaja para estos últimos, pues estos contaminantes favorecen la acción de los voltajes de contorno.
- El uso de una capa de grasa de silicona sobre la superficie de los aisladores de resina, ayuda a proteger su superficie de la acción de los rayos ultravioleta.
- Los análisis infrarrojos sobre las aletas de los aisladores expuestos por 36 meses bajo diferentes condiciones ambientales, muestran que el material es el mismo y que no ha ocurrido ningún cambio en su estructura.

Hofman y Buckhart [20], estudiaron las aplicaciones de las resinas Cicloalifáticas en interruptores de potencia y concluyeron que tenían un excelente comportamiento en servicio tanto en los interruptores en aceite como en los de gas.

Upton y Dodds [20], estudiaron la performance de los aisladores de resina epóxica Cicloalifática por tres años, seis modelos fueron instalados y expuestos a radiación ultravioleta, humedad salina y contaminación industrial. Los análisis de los resultados indicaron que la radiación ultravioleta no afectó su comportamiento.

Las investigaciones sobre los problemas de la polución y los efectos de la degradación del medio ambiente sobre los aisladores orgánicos, ha ido incrementándose debido al interés, cada vez mayor, en el uso de los aisladores en sistemas eléctricos de potencia.

La geometría de los aisladores es importante y debe tomarse en cuenta en función del lugar donde prestarán servicio, pues tiene una influencia decisiva sobre las descargas de contorno. [19]

Existen muchas pruebas de laboratorio para determinar ciertas características de los aisladores como la prueba en la cámara de niebla salina o las pruebas de resistencia al tracking, pero ninguna de ellas puede remplazar a las pruebas de exposición a la intemperie de largo plazo y por lo tanto es imposible tratar de lograr una correlación entre los resultados de ambas. [19]

## **CAPÍTULO IV**

### **CRITERIOS TEÓRICOS DE DISEÑO**

#### **4.1 Formas y geometría.**

Los aislantes sintéticos y en este caso las resinas epóxicas, surgieron como una alternativa y como la posibilidad de implementar nuevas concepciones en los diseños de una variedad de equipos de energía en baja y alta tensión, se habría la posibilidad de lograr aisladores y bases aislantes, que por su complejidad era prácticamente imposible construirlos con los materiales tradicionales, las celdas de corte y seccionamiento se reducirían y por lo tanto los costos seguirían el mismo camino.

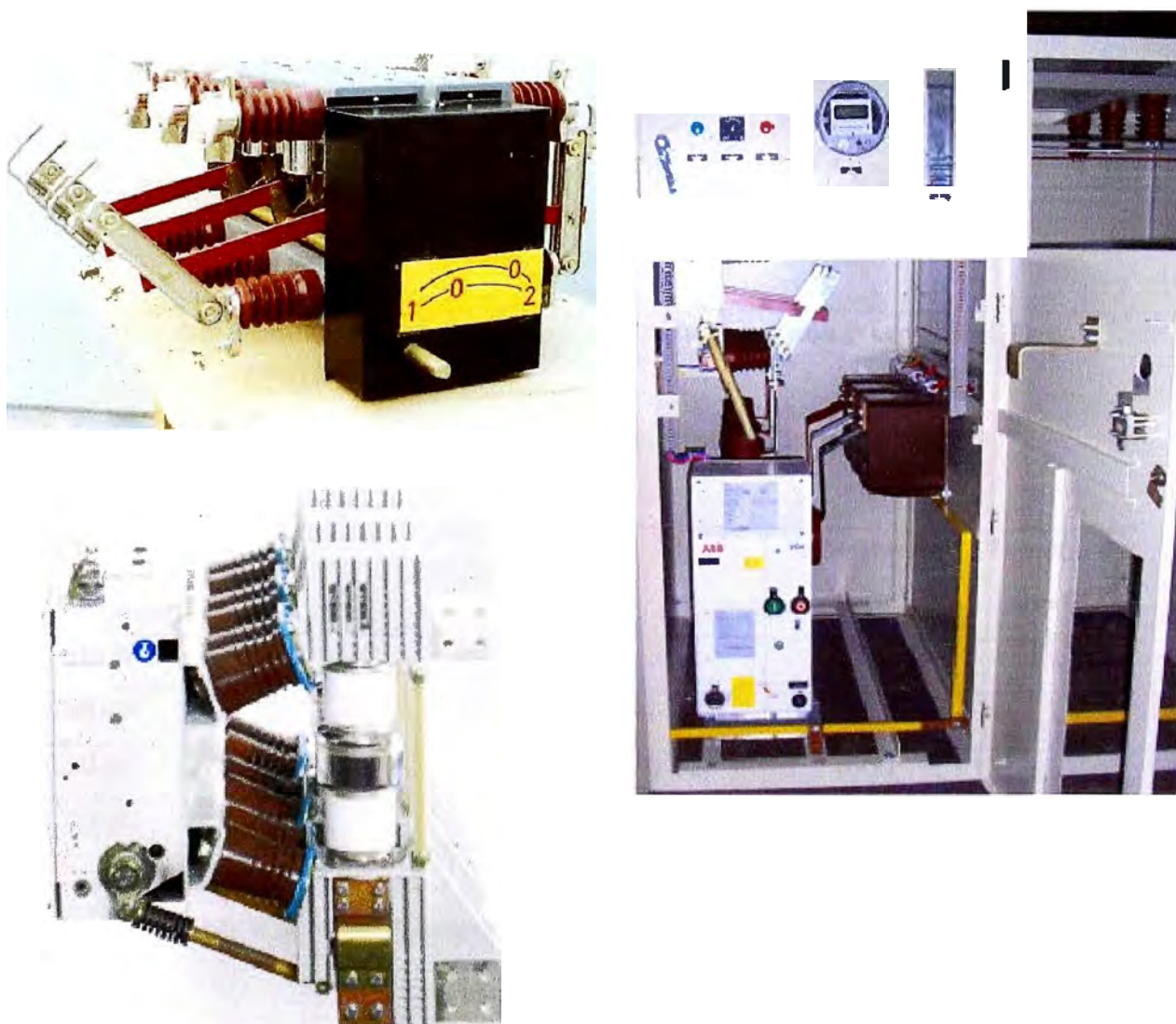
Sus excelentes características eléctricas, su alta conductibilidad térmica, su ejecución ligera, su facilidad para el moldeo, la homogeneidad dimensional en la producción, la homogeneidad en la masa del cuerpo fundido, su gran resistencia mecánica a la flexión, a la tracción y al impacto; la posibilidad de incorporar insertos metálicos en la pieza fundida, que permite en cierta manera el control del campo eléctrico; fueron las razones que hicieron pensar en las ventajas de desarrollar entre otros aisladores soporte, aisladores pasantes, encapsulado de transformadores y la construcción de varillas reforzadas con fibra de vidrio, las cuales soportan esfuerzos de tracción superiores al acero y que a permitido la construcción de aisladores de suspensión con excelentes características electromecánicas.

Los aisladores soporte no solamente son utilizados como apoyos de las barras o conductores en las sub-estaciones, los encontramos también formando parte de otros equipos como seccionadores, porta-fusibles, interruptores, etc. y por lo general los veremos fabricados en materiales sintéticos (ver figura 4.1).

Como ya hemos indicado, un aislador no es más que un elemento que nos permite mantener una distancia entre las partes sujetas a una diferencia de potencial, y dependiendo del lugar de uso o zona de instalación, se clasifican en aisladores para interiores y aisladores para exteriores; su forma geométrica, que tiene como base un tronco de cono o un cilindro, puede adoptar un perfil liso o estar conformada por una serie de nervaduras o aletas, dependiendo del lugar de instalación. Su robustez y longitud serán determinadas por

las exigencias de los esfuerzos electrodinámicos, motivados por cortocircuitos y por las sollicitaciones eléctricas, producto de sobretensiones en el sistema o niveles de contaminación de los lugares de instalación.

Son muy comunes las experiencias de las salidas de servicio de centros de transformación o distribución por fallas a tierra de los aisladores y es común encontrar durante las labores de mantenimiento a aisladores con muestras de erosión por efectos de las corrientes superficiales; todo esto nos debe hacer pensar en la importancia del buen diseño de estos accesorios y en la necesidad del conocimiento de sus características, lo cual nos podría ayudar a mejorar la implementación de los sistemas eléctricos con significativos ahorros económicos.



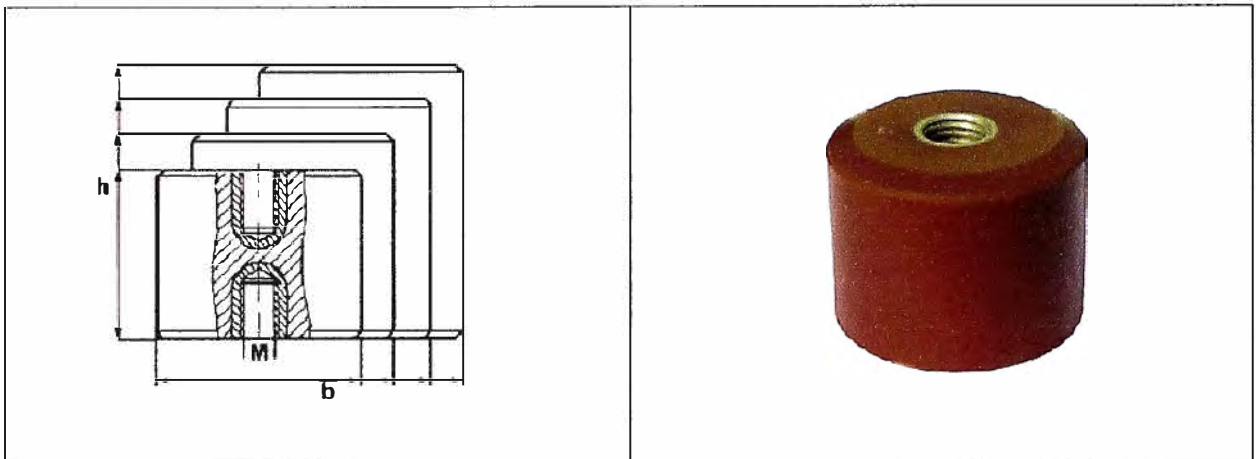
**Fig 4.1: Muestras representativas del uso de los aislantes sintéticos en base a resinas epóxicas**

#### 4.1.1 En baja tensión.

En baja tensión, no hay un estándar para los aisladores soporte o referencias técnicas oficiales que cubran sus características plenamente, por lo que muchos modelos obedecen a diseños especiales solicitados por los clientes, e implementados por los fabricantes sobre la base de su experiencia.

Los más comunes son los de tipo poste; rectos, cónicos u ondulados, como los mostrados en los las figuras siguientes.

**En materiales orgánicos:**



**Fig 4.2: Serie de aisladores cilíndricos en baja tensión (ver tabla 4.1)**

**Tabla 4.1 Serie de aisladores cilíndricos en baja tensión**

Modelo	$\phi b$	H	M	Esfuerzo de ruptura Kg	Tensión de servicio
<b>C30-30</b>	30	30	5-6	350	1 kV
<b>C40-40</b>	40	40	10-12	750	1 kV
<b>C50-50</b>	50	50	10-12	1000	1 kV
<b>C60-60</b>	60	60	10-12	1250	1.5 kV

**Tabla 4.2: Serie de aisladores con nervaduras en baja tensión**

Modelo	Uso	Aletas	H mm	d mm	M	I mm	A mm	B mm
<b>I3333 M 8</b>	Interior/ Exterior	4	60	58.5	M8	12	40	46
<b>I3333 M 10</b>	Interior/ Exterior	4	60	58.5	M10	15	40	46
<b>I3333 M 12</b>	Interior/ Exterior	4	60	58.5	M12	18	40	46

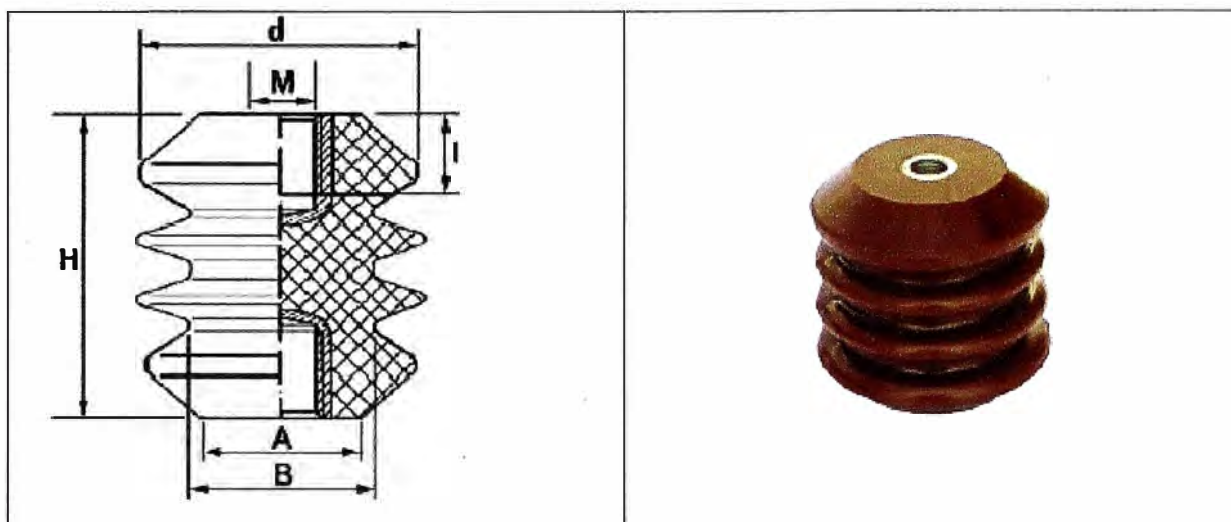


Fig. 4.3: Serie de aisladores con nervaduras en baja tensión (ver tabla 4.2)

En porcelana:

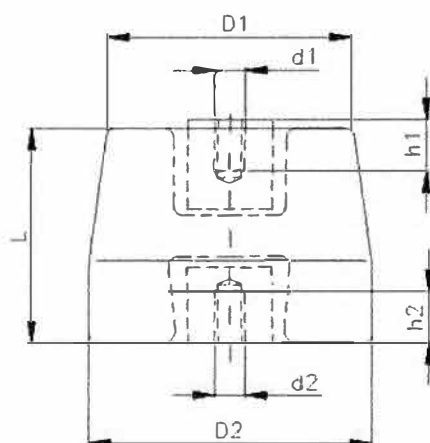


Fig 4.4: Serie de aisladores cónicos en baja tensión (ver tabla 4.3)

Tabla 4.3 Serie de aisladores cónicos en baja tensión

Modelo		J2-1	J4-1	J8-1
<b>Dimensiones:</b>				
$L \pm 1.5$	mm	45	60	65
D1	mm	45	55	70
D2	mm	55	70	80
d1	mm	M8	M10	M12
d2	mm	M10	M12	M12
h1	mm	9	11	16

h2	mm	11	16	18
<b>Características electromecánicas:</b>				
Esfuerzo de ruptura (kN)		2	4	8
Tensión no disruptiva a frecuencia industrial en seco por un minuto (kV)		10	10	10
Tensión disruptiva a frecuencia industrial en seco (kV)		20	20	20
Tensión de servicio (kV)		1	1	1
Peso (Kg)		0.25	0.55	0.80

### **Observaciones importantes:**

Los modelos más usados por los fabricantes de tableros, en los modelos adosados, son los aisladores de 30 y 40 mm de altura, porque permiten un adecuado arreglo de las llaves termomagnéticas; podemos observar que estos modelos no son ofertados en porcelana.

También podemos notar el mayor peso y volumen de los aisladores de porcelana en comparación de sus equivalentes en resina epóxica, quienes los superan en capacidad de carga mecánica por unidad de sección.

En nuestro país no se fabrica porcelana electrotécnica y ninguna fábrica en Sud América los oferta, en Europa son pocos los países que los fabrican.

La forma de especificarlos normalmente es con una o dos letras, las que muchas veces están relacionadas con el lugar de instalación, seguido de dos números referidos a la tensión de servicio máxima y a la carga mecánica de ruptura.

#### **4.1.2 En Media Tensión**

La geometría de los aisladores es concebida también sobre la base de troncos de cono, cilíndricos o de perfiles parabólicos; lisos, con nervaduras o aleteados dependiendo de su utilización, tomando formas características peculiares, en función al material con el cual son fabricados, como se muestran en las Fig. 4.5 a la 4.9.

#### **En materiales orgánicos:**

Estos materiales permiten diversidad de modelos y pueden tener diferentes colores, aunque los más utilizados son aquellos provenientes de óxidos de hierro los cuales dan una tonalidad rojiza.

Es importante que estos aisladores tengan una superficie pulida similar a la porcelana esmaltada, esto ayudará a evitar acumulaciones de polvo; es característica es importante para definir la calidad de estos accesorios.



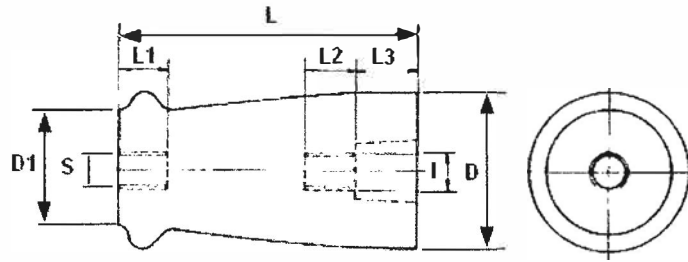


Fig. 4.5: Serie de aisladores con perfil parabólico en media tensión.(ver tabla 4.4)

Tabla. 4.4: Serie de aisladores con perfil parabólico en media tensión.

Tipo	Tensión nominal kV	Resistencia a la rotura Kg.	L	D	D1	L1	L2	L3	I	S
AI-3/400	3	400	75	45	35	10	10	25	3/8	3/8
AI-6/400	6	400	90	50	35	25	25	30	1/2	1/2
AI-12/400	12	400	120	62	44	25	25	32	5/8	1/2
AI-12/750	12	750	120	68	50	25	25	32	5/8	1/2
AI-12/1250	12	1250	145	80	52	25	25	32	3/4	1/2
AI-24/750	24	750	200	75	52	25	25	40	3/4	1/2
AI-30/750	30	750	280	87	52	25	25	40	3/4	5/8

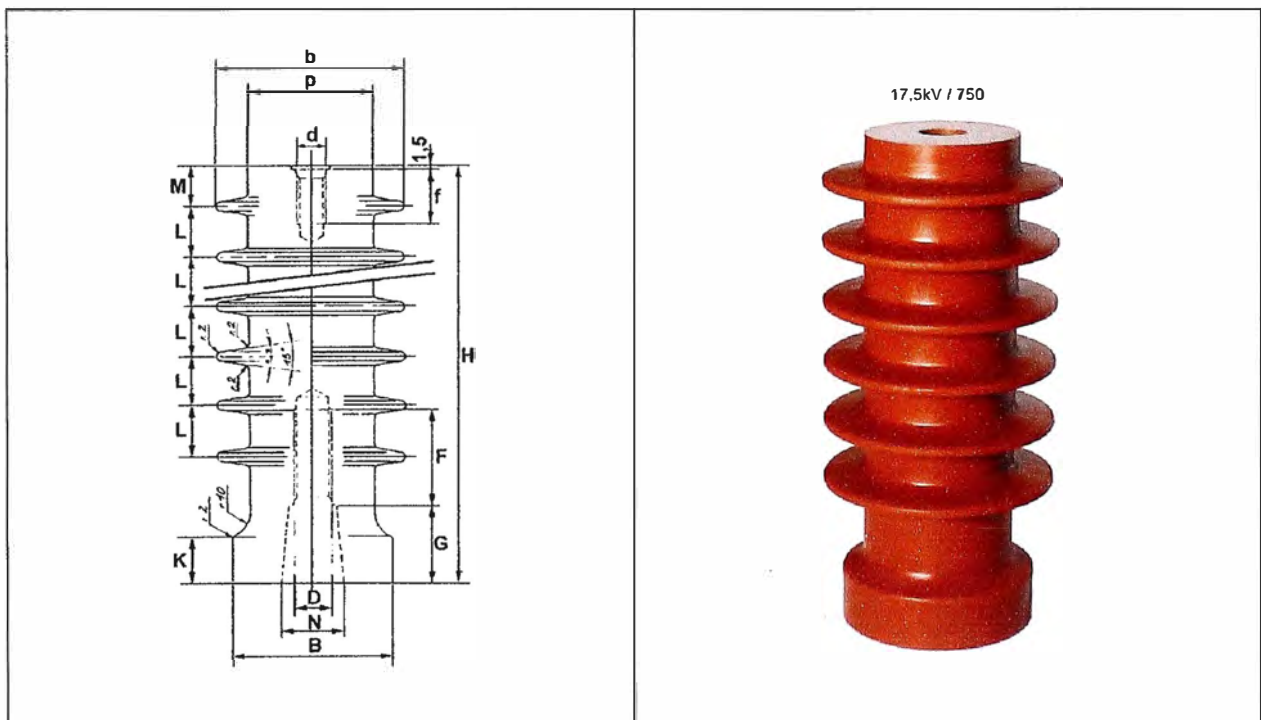
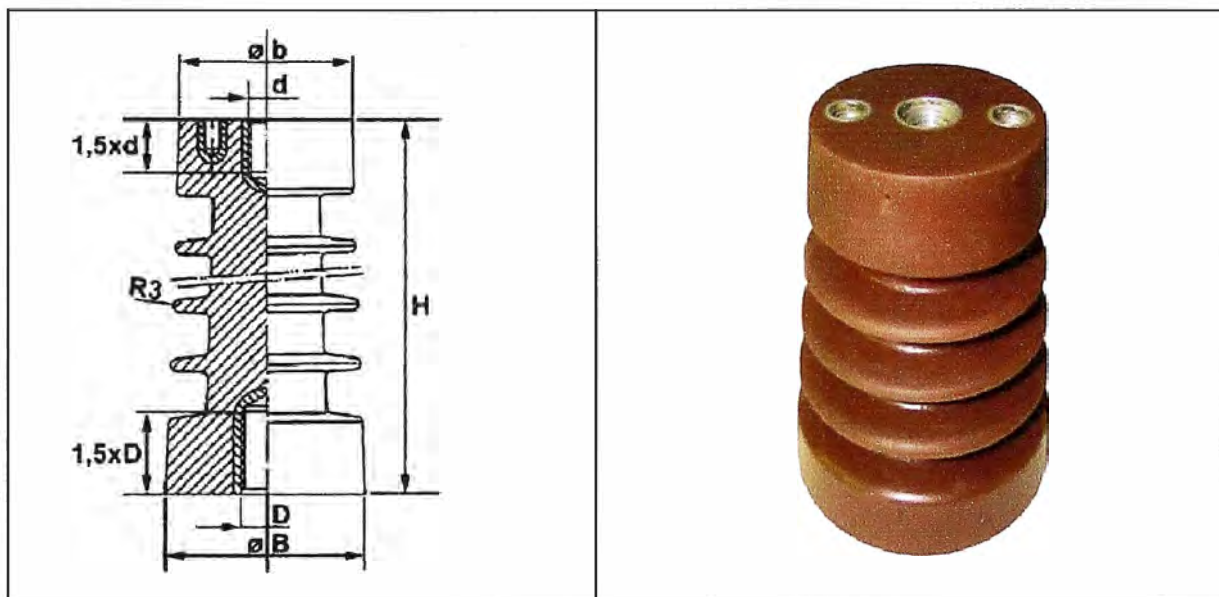


Fig. 4.6: Serie de aisladores con cuerpo cilíndrico y aletas para media tensión (ver tabla 4.5)

**Tabla. 4.5: Serie de aisladores con cuerpo cilíndrico y aletas para media tensión**

Tipo	R	1 kV	2 kV	3 kV	H	N N	b	B	d	D	f	F	G	K	L	M	N	P
12/750	4	12	35	75	130	7500	75	65	M12	M16	24	27	22	20	21	17	24	50
17.5/750	6	17.5	45	95	175	7500	79	67	M12	M16	23	40	32	20	21	17	26	52
24/750	8	24	55	125	210	7500	81	69	M12	M16	23	40	65	20	21	17	30	54

R= Nro. Aletas 1=Tensión nominal 2=Tensión de prueba a frecuencia industrial 3=Tensión de impulso 1/50 N=Resistencia a la flexión  
Dimensiones en mm Tolerancia para H= ±1 mm

**Fig. 4.7: Serie de aisladores con cuerpo cónico y aletas para media tensión**

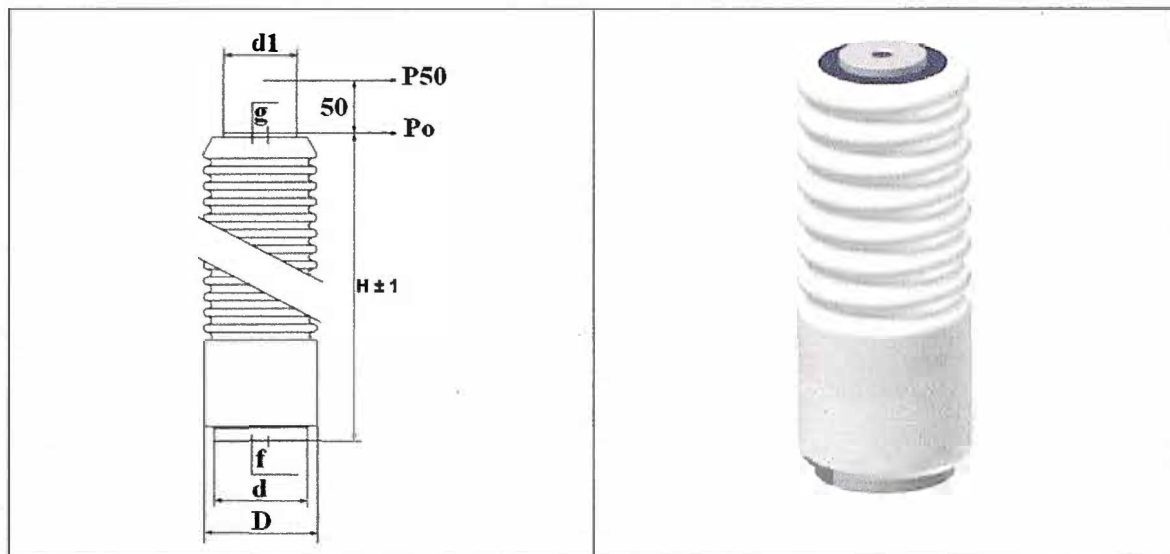
(ver tabla 4.6)

**Tabla 4.6: Serie de aisladores con cuerpo cónico en media tensión.**

Tipo	R	1	2	3	H	N	b	B	d	D
JO1.8-45	2	3.6	21	45	95	1800	40	55	M12	M12
JO1.8-75	3	12	35	75	131	1800	40	55	M12	M12
JO3.75-75	3	12	35	75	131	3750	60	70	M12	M16
JO7.5-75	3	12	35	75	131	7500	70	95	M16	M20
JO3.75-95	5	17.5	45	95	175	3750	60	75	M12	M16
JO7.5-95	5	17.5	45	95	175	7500	70	100	M16	M20
JO30-95	5	17.5	45	95	175	30000	115	150	M20	M24
JO3.75-125	7	24	55	125	225	3750	60	80	M12	M16
JO7.5-125	7	24	55	125	225	7500	70	115	M16	M20
JO3.75-170	12	36	75	170	310	3750	60	100	M12	M20
JO7.5-200	14	41.5	85	200	360	3750	60	105	M12	M20
JO7.5-200	14	41.5	85	200	360	7500	70	125	M16	M24
JO7.5-250	21	52.5	110	250	500	7500	70	130	M16	M24
JO3.75-325	27	72.5	145	325	620	3750	60	110	M12	M20
JO15-325	27	72.5	145	325	620	15000	100	170	M16	M24
JO3.75-370	29	82.5	155	370	650	3750	60	110	M12	M20

R= Nro. Aletas 1=Tensión nominal 2=Tensión de prueba a frecuencia industrial 3=Tensión de impulso 1/50 N=Resistencia a la flexión  
Dimensiones en mm Tolerancia para H= ±1 mm

En porcelana servicio interior:



**Fig. 4.8: Serie de aisladores con cuerpo cilíndrico y ondulaciones para media tensión (ver tabla 4.7)**

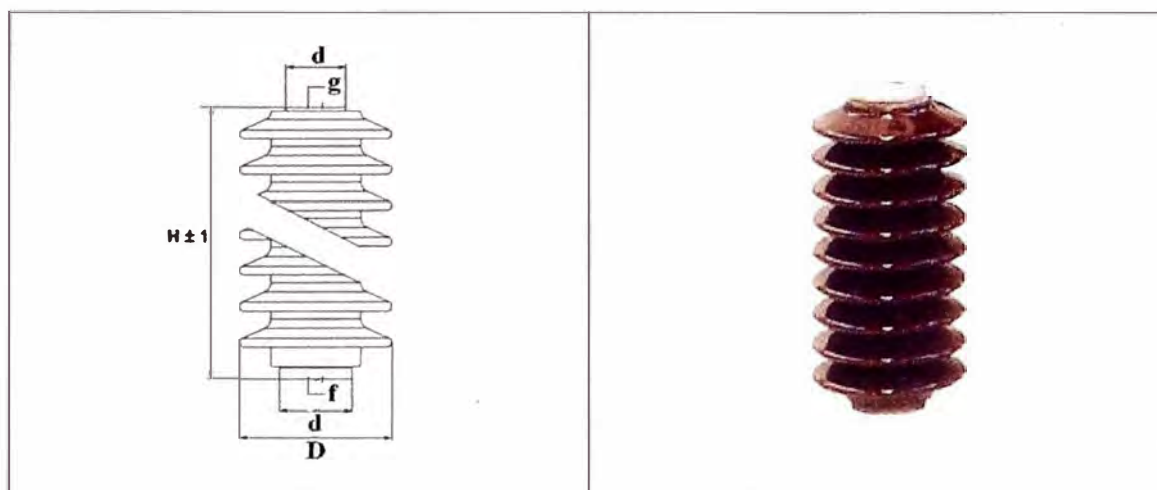
**Tabla 4.7: Serie de aisladores con cuerpo cilíndrico y ondulaciones para media tensión**

IEC	H	D	d	d1	f	g	Peso	1(kV)	2(kV)	3(kV)	Flexión	Torsión
J2-60	95	60	35	35	M12	M12	0.70	6/7.2	28	60	200	130
J4-60	95	75	60	50	M16	M12	1.10	6/7.2	28	60	400	260
J8-60	95	85	60	50	M16	M16	1.57	6/7.2	28	60	800	520
J2-75	130	60	35	35	M12	M12	0.90	10/12	38	75	200	145
J4-75	130	75	60	50	M16	M12	1.60	10/12	38	75	400	290
J8-75	130	100	80	65	M16	M16	2.75	10/12	38	75	800	580
J16-75	130	125	105	85	M20	M16	5.00	10/12	38	75	1600	1160
J2-95	175	60	35	35	M12	M12	1.20	15/17.5	50	95	200	155
J4-95	175	75	60	50	M16	M12	2.10	15/17.5	50	95	400	310
J8-95	175	100	80	65	M20	M16	3.60	15/17.5	50	95	800	620
J16-95	175	130	110	90	M20	M16	7.20	15/17.5	50	95	1600	1250
J2-125	210	75	45	35	M12	M12	2.30	20/24	50	125	200	160
J4-125	210	85	70	55	M16	M12	3.00	20/24	50	125	400	320
J8-125	210	125	105	70	M20	M16	6.50	20/24	50	125	800	645
J16-125	210	140	114	95	M20	M16	8.40	20/24	50	125	1600	1300
J2-170	300	75	45	35	M12	M12	3.00	30/36	70	170	200	170
J4-170	300	100	80	55	M16	M12	5.80	30/36	70	170	400	340
J8-170	300	125	105	70	M24	M16	9.00	30/36	70	170	800	685
J16-170	300	160	140	95	M24	M16	15.00	30/36	70	170	1600	1370
J4-250	500	125	115	70	16M	M12	14.30	45/52	95	250	400	360
J8-250	500	140	115	80	M24	M16	17.50	45/52	95	250	800	725
J4-325	620	125	115	70	M20	M12	17.50	66/72.5	140	325	400	370

Dimensiones en mm 1=Tensión nominal 2=Tensión de prueba a frecuencia industrial 3=Tensión de impulso 1/50

Flexión=N Torsión=Nxm

### En porcelana servicio exterior:



**Fig. 4.9: Serie de Aisladores con cuerpo cilíndrico y aletas para media tensión (ver tabla 4.8)**

**Tabla 4.8: Serie de Aisladores con cuerpo cilíndrico y aletas para media tensión**

IEC	H	D	d	f	g	Peso	R	1(kV)	2(kV)	3(kV)	Flexión
H4-60	95	125	62	M16	M16	2.20	3	7.2	20	60	400
H8-60	95	152	62	M16	M16	2.70	3	7.2	20	60	800
H16-60	95	160	115	M20	M20	4.20	3	7.2	20	60	1600
H4-75	130	127	62	M16	M16	2.90	4	12	28	75	400
H8-75	130	152	80	M20	M20	3.90	4	12	28	75	800
H16-75	130	160	85	M20	M20	6.00	4	12	28	75	1600
H4-95	175	127	60	M16	M16	3.70	5	17.5	38	95	400
H8-95	175	152	85	M20	M20	4.40	5	17.5	38	95	800
H16-95	175	182	100	M20	M20	8.40	5	17.5	38	95	1600
H4-125	210	127	60	M16	M16	4.50	6	24	50	125	400
H8-125	210	167	85	M20	M20	8.80	6	24	50	125	800

Dimensiones en mm 1=Tensión nominal 2=Tensión de prueba a frecuencia industrial bajo lluvia 3=Tensión de impulso 1/50

R=Nro. De aletas Flexión=N

## 4.2 Criterios de diseño de un aislador soporte.

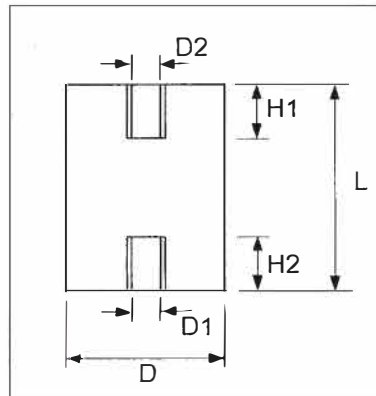
Debemos tener en cuenta que es imposible disponer de un aislador ideal, no existe y lo mejor que podemos hacer es saber como escoger o como lograr diseñar al más adecuado. Este dispositivo, de aparente simplicidad, tiene que cumplir con solicitaciones tanto mecánicas como eléctricas y adicionalmente tiene que soportar las condiciones de contaminación y agresividad de variada índole, en el lugar de su instalación.

### 4.2.1 Criterios de diseño mecánicos y eléctricos en baja tensión.

El punto de partida lo constituyen las características generales de las resinas epóxicas, las que las califica como idóneas para la fabricación de este tipo de accesorios.

Como ya se ha indicado en el capítulo referente a estandarización, en baja tensión no se dispone de un estándar ni de referencias técnicas oficiales que den los lineamientos de las pruebas electromecánicas a las que deberían ser sometidos los aisladores soporte, tampoco se dispone de un estándar que fije las características físicas de estos componentes, por lo que primará el criterio y la experiencia para su diseño o su selección.

Cuando se proyectan aisladores soporte para baja tensión, ya sean cilíndricos, cónicos o con nervaduras, se tienen en consideración las siguientes dimensiones fundamentalmente:



**Fig. 4.10: Esquema básico de un aislador soporte en baja tensión**

#### **Altura L: (Fig. 4.10)**

Los valores comerciales son 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, pero por lo indicado al inicio de este acápite, se puede diseñar soportes con alturas de acuerdo a las solicitaciones del usuario.

#### **Diámetros D1-D2 y longitudes H1-H2 de las armaduras roscadas de latón: (Fig 4.10)**

Se sugiere usar roscas comerciales como: 1/4", 3/8", 1/2", 5/8" respectivamente con relación a las alturas comerciales L, en estándar americano o en su equivalente métrico.

Para las longitudes H1 y H2, se recomienda que estas deban ser tales, que la longitud efectiva de la rosca sea como mínimo igual al diámetro de la misma.

El diámetro D, que es determinante en la capacidad de carga del aislador, puede ser obtenido de manera experimental, partiendo de una unidad similar con capacidad de carga conocida y haciendo uso de moldes provisionales de muy bajo costo, los resultados son rápidos y la obtención de las características finales del prototipo directas. Se puede hacer también un cálculo estimado del diámetro, utilizando la fórmula para el momento flector de un cuerpo cilíndrico, tal como se verá luego para los aisladores en media tensión.

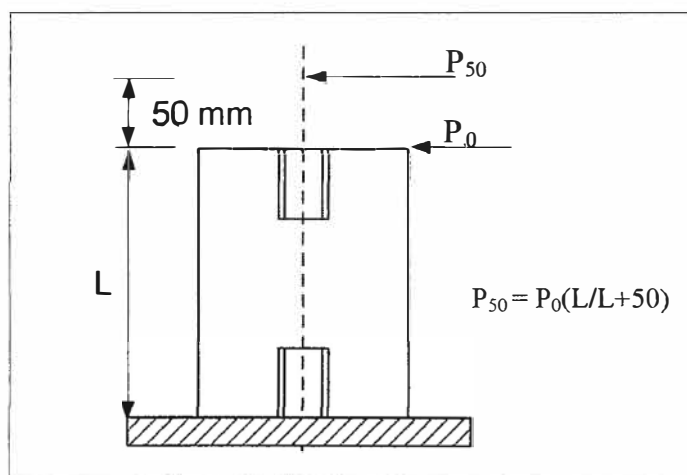
La carga de rotura real de diseño, será tomada del valor más bajo de las muestras ensayadas, sin embargo el valor comercial será menor, considerando el factor de seguridad.

Para el caso de aisladores de geometría especial, las pruebas para la obtención de las características, serán de común acuerdo entre el fabricante y el comprador.

**Prueba mecánica recomendada para los aisladores soporte en baja tensión:**

La prueba recomendada es la prueba de flexión, la que es realizada en cada uno de los aisladores de la muestra del lote fabricado y consiste en la aplicación de una carga mecánica perpendicular al eje del aislador, sobre la cara superior, o a 50 mm por encima de ella; como se indica en la fig. 4.11. Se empieza el ensayo con la aplicación rápida de la carga desde cero hasta el 50 % de valor especificado y luego de manera paulatina hasta alcanzar el 100%, se considera satisfactoria la prueba si ningún aislador llega a la rotura con un valor inferior o igual al valor comercial estipulado.

Las condiciones del ensayo tanto para la determinación de la muestra, como para la adopción del criterio de aceptación, será de común acuerdo entre el fabricante y el cliente, pudiendo tomarse como base lo estipulado para los aisladores de media tensión.



**Fig. 4.11: Esquema de la prueba mecánica para un aislador soporte en baja tensión**

**Pruebas eléctricas recomendadas para los aisladores soporte en baja tensión:**

Normalmente los aisladores soporte en baja tensión son sometidos a dos pruebas, que son la prueba de tensión aplicada o de sostenimiento a frecuencia industrial por un minuto y la prueba de tensión de contorneo en seco a frecuencia industrial.

**1. Tensión aplicada a frecuencia industrial por un minuto.**

Existen diferentes criterios para la adopción de los valores de la tensión de prueba, algunos de los cuales se sugieren de manera referencial y en todo caso este será determinado de común acuerdo entre el fabricante y el cliente o comprador.

- Valor de la tensión de prueba = 4 x tensión nominal + 1000V

- Valor de la tensión de prueba = 2 kV + tensión nominal [17]
- Valor de la tensión de prueba = 10 kV (En Polonia)

La prueba se considera satisfactoria si el aislador no sufre desperfecto alguno y no se producen descargas disruptivas, debe ser ejecutada bajo las mismas recomendaciones que la norma IEC 60660 indica para los aisladores de media tensión.

**Tabla 4.9: Valores experimentales de la tensión de contorno aplicada en la sala de pruebas de la empresa BKR (fabricante nacional).**

Altura del aislador en mm	Valor mínimo de la tensión de contorno en kV	75 % del valor mínimo de la tensión de contorno en kV
30	20	15
40	25	18
50	28	23
60	32	26

## 2. Determinación de la tensión de contorno en seco a frecuencia industrial.

La tensión de contorno es función directa de la altura y perfil del aislador.

La prueba se efectúa de la siguiente manera; estando el aislador dispuesto para el ensayo, se eleva la tensión rápidamente hasta alcanzar el 75% del valor esperado, luego en un periodo comprendido entre 5 y 30 segundos se debe alcanzar el valor de la tensión de contorno, se debe repetir la prueba 5 veces y tomar el promedio como valor de la prueba.

Se espera que no ocurra perforación de las piezas ensayadas para considerar la idoneidad del prototipo o la aceptación del lote fabricado.

**Nota:** En el desarrollo del informe se utilizará indistintamente los términos de flameo, contorno o disruptiva, dada su equivalencia.

### 4.2.2 Criterios de diseño mecánicos y eléctricos en media tensión.

Conocidas las bondades de la materia prima y conocidas las características de las solicitaciones de aislador, se determina la compatibilidad de ambas como condición previa para el inicio del proyecto. Un aislador soporte tiene básicamente que cumplir funciones operativas, las cuales las podemos agrupar de la siguiente manera:

- Funciones eléctricas
- Funciones mecánicas
- Funciones físico químicas.

Salvo casos muy raros y especiales un aislador será proyectado fuera de características estándares establecidas (IEC 60273). Pero de darse el caso, habría que recurrir a las recomendaciones que detallaremos a continuación para dar solución al problema planteado; lo que más cotidianamente encontraremos serán los casos de requerimientos de aisladores con líneas de fuga ampliadas, para hacer frente a condiciones de contaminación elevadas. En este aspecto los estándares dan libertad de adoptar los perfiles más convenientes.

➤ **Criterios eléctricos de diseño:**

Los criterios eléctricos para el diseño de un aislador soporte, son consecuencia de las pruebas que los estándares exigen cumplir, en función de las condiciones de servicio.

**A. Altura del aislador:**

Este parámetro permite que el aislador pueda pasar satisfactoriamente las siguientes pruebas:

- Prueba de tensión de impulso en seco no disruptiva.
- Prueba de tensión a frecuencia industrial en seco no disruptiva.
- Prueba de perforación con tensión impulsiva (indirectamente).

La altura es estimada mediante fórmulas tomadas de literatura especializada, como las mostradas en la tabla 4.10

**Tabla 4.10: Relaciones recomendadas para la estimación de la altura H de un aislador**

$U_c$  = Tensión de contorno a frecuencia industrial

$U_{ci}$  = Tensión impulsiva de contorno [5]

	Fuente Bibliográfica	Fórmula			Rango de aplicación
		$U_c$	onda 1.2/50		
			$U_{ci(+)}$	$U_{ci(-)}$	
1	Böning *1	$20+3.35H$	$60+5.2H$	$150+6.5H$	$20 \leq H \leq 200$ cm
2	Fac. Alta Tensión RPP*1	$5.6H+20.9$	$3.35H+20$	$7.65H+34.1$	$10 \leq H \leq 200$ cm
3	Sirotinski *1	Fig . 4.13	Fig. 4.12	Fig. 4.12	$H < 50$ cm

\*1 **Böning** , Investigador en temas de materiales eléctricos para alta tensión, se puede ver referencias de sus trabajo en [1] [5]

**Fac. Alta Tensión RPP.** Instituto Tecnológico de la ex República Popular de Polonia  
**Sirotinski , I .** Investigador de nacionalidad Rusa, con artículos en la especialidad de alta tensión [5].



Se recomiendan las siguientes relaciones, sin que ello sea una regla a aplicar [5]:

$$U_c > 1.4 \dots 1.5 U_t \quad (4.1)$$

$$U_{ci} > 1.1 \dots 1.2 U_{ti} \quad (4.2)$$

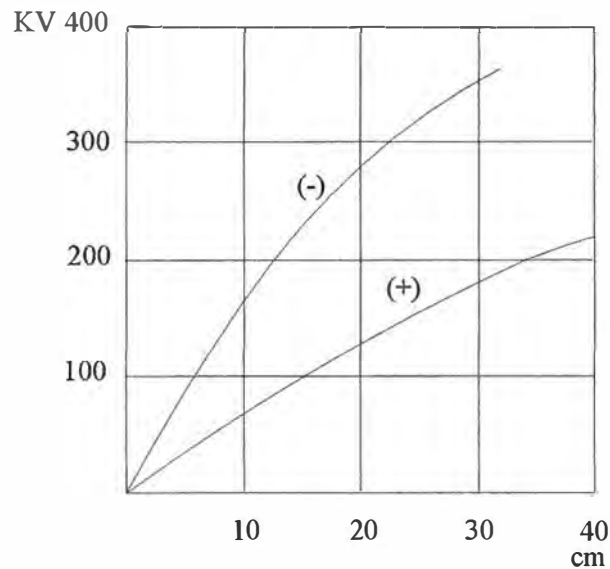
Donde:

$U_c$  = Tensión de contorno (disruptiva) a frecuencia industrial.

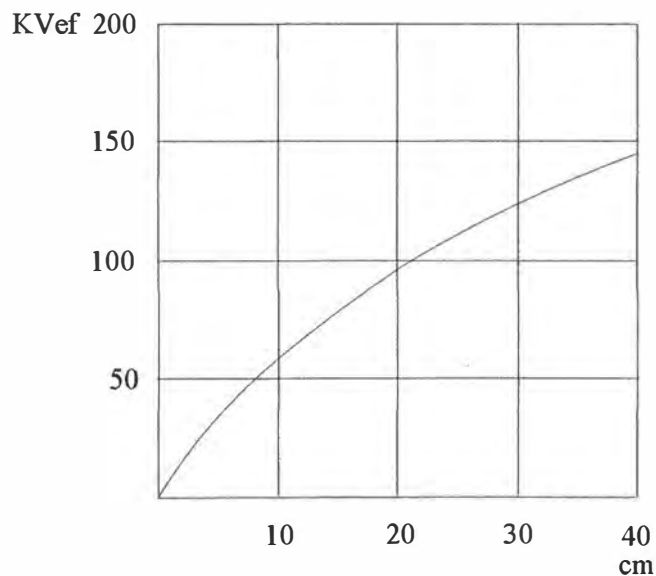
$U_t$  = Tensión de sostenimiento (no disruptiva) a frecuencia industrial por un minuto.

$U_{ci}$  = Tensión de impulso en seco disruptiva al 50%, ó tensión crítica de flameo (VCF)

$U_{ti}$  = Tensión de impulso en seco no disruptiva, en ambas polaridades, este valor es equivalente al nivel básico de aislamiento (BIL)



**Fig. 4.12 Tensión de impulso disruptiva**



**Fig. 4.13 Tensión disruptiva a frecuencia industrial**

La altura para los aisladores soporte, que por lo general es igual a la distancia de arco, debe ser tal que no se produzcan descargas disruptivas con la aplicación del nivel de tensión impulsiva no disruptiva del sistema (Uti ó BIL) o estén dentro del margen que el estándar establece.

Los valores del BIL en función de la tensión de servicio, los podemos obtener de las tablas 4.11 y 4.12, extraídas de los estándares IEC 71 y NEMA SG6.

Veamos las siguientes definiciones que nos ayudarán a aclarar conceptos:

#### **Tensión crítica de flameo (VCF).**

La tensión crítica de flameo es el valor de la tensión al cual se tiene una probabilidad de flameo del 50% y los valores usados para diseño corresponden a los niveles básicos de aislamiento (por impulso de rayo o de maniobra), que son cantidades inferiores y que darían probabilidades de flameo máximas del 10 % es decir, se espera que no se produzca flameo por lo menos en un 90% de los casos. [18]

#### **Distancia de arco en seco.**

La distancia de arco en seco de un aislador, es la suma de las distancias más cortas a través del aire o sobre la superficie del aislador, entre la parte metálica con tensión y las partes aterradas, en un aislador dispuesto para la prueba disruptiva en seco. [12]

**Tabla 4.11: Tomada del Estándar IEC 71 - 1958: Niveles de aislamiento**

Tensión del sistema kV		Tensión de impulso no disruptiva 1X50us en kV	Voltaje de prueba a frecuencia industrial bajo lluvia kV	
Tensión nominal del sistema	Tensión más alta del sistema		Lista 1	Lista 2
3	3.6	45	16	21
6	7.2	60	22	27
10	12	75	28	35
15	17.5	95	38	45
20	24	125	50	55
30	36	170	70	75
45	52	250	95	105
60	72.5	325	140	140
80	100	450-380	185-150	185-150
100	123	550-450	230-185	230-185
120	145	650-550	275-230	275-230
150	170	750-650	325-275	325-275
220	245	1050-900	460-395	460-395
275	300	1050	460	460

**Tabla 4.12: Tomada del estándar NEMA Pub. SG 6 -1960 Niveles de aislamiento normalizados para interruptores exteriores de potencia**

Sistema			Equipo	
Tensión nominal kV	Max tensión tolerable kV	Tensión de impulso no disruptiva (BIL) kV	Tensión nominal kV	Tensión de impulso no disruptiva kV
7.2	8.25	95	7.2 (7.5)	95
8.32	9.52	110	14.4 (15)	110
12	13.2	110	14.4 (15)	110
12.47	13.7	110	14.4 (15)	110
13.2	14.5	110	14.4 (15)	110
14.4	15.5	110	14.4 (15)	110
23	25.8	150	23	150
27.6	31	200	34.5	200
34.5	38	200	34.5	200
46	48.3	250	46	250
69	72.5	350	69	350
92	96.6	450	115	550
115	121	550	115	550

Tomando en cuenta las definiciones anteriores, la tensión  $U_{ci}$  indicada en la tabla 4.10, corresponde a la tensión crítica de flameo VCF que es el valor con el cual debemos calcular la altura del aislador.

Veamos un ejemplo que nos permita sacar conclusiones sobre los planteamientos de la tabla 4.10.

Supongamos que tenemos un nivel de tensión impulsiva en un determinado lugar, del orden de 150 KV, el cual vendría a ser el “Nivel Básico de Aislamiento” solicitado, y queremos saber cual sería la altura recomendada para el aislador a usar.

Determinamos la tensión crítica de flameo tomando el factor de 1.15, dentro del rango recomendado en la relación (4.2).

$$VCF = U_{ci} = 1.15 \times 150 = 172.5 \text{ kV}$$

- a. Según la fórmula planteada por el Sr. Böning, la altura sería como sigue:  
 $172.5 = 60 + 5.2H$  obteniéndose un valor de 21.63 cm
- b. Según la fórmula del Instituto Tecnológico de Polonia el valor de la altura sería:  
 $172.5 = 3.35H + 20$  obteniéndose un valor de 45.52 cm
- c. Haciendo uso de la Fig. 4.12 de Sirotinski, altura aproximada sería de 27 cm

- d. Si observamos los valores considerados en el estándar IEC 273 veremos que para 145 kV el valor recomendado es de 27 cm, ver tabla 2.2 [17].

Concluimos que dada la existencia del estándar IEC 273, primeramente habría que recurrir a los valores allí sugeridos, en segunda instancia habría que recurrir a los gráficos de Sirotinski.

Tanto los valores obtenidos por la aplicación de la relación o fórmula de Böning, como los valores resultantes de la aplicación de la relación sugerida por el Instituto de Alta Tensión de Polonia, por su divergencia, tan solo debían ser considerados como referenciales.

### B. Distancia mínima entre armaduras o insertos metálicos:

La distancia entre armaduras a través del cuerpo aislante, debe guardar concordancia con el valor de la rigidez dieléctrica del compuesto de resina epóxica, la cual se estima en un valor promedio de 20 - 25 kV/mm. Es común encontrar valores de diseño de 2 kV/mm[13]; en todo momento debemos tener presente que el aislador debe ser sometido a la prueba de tensión de impulso, cuyo valor de cresta hay que tener en consideración para determinar la distancia mínima entre las armaduras con tensión y las de sujeción a la estructura (tierra).

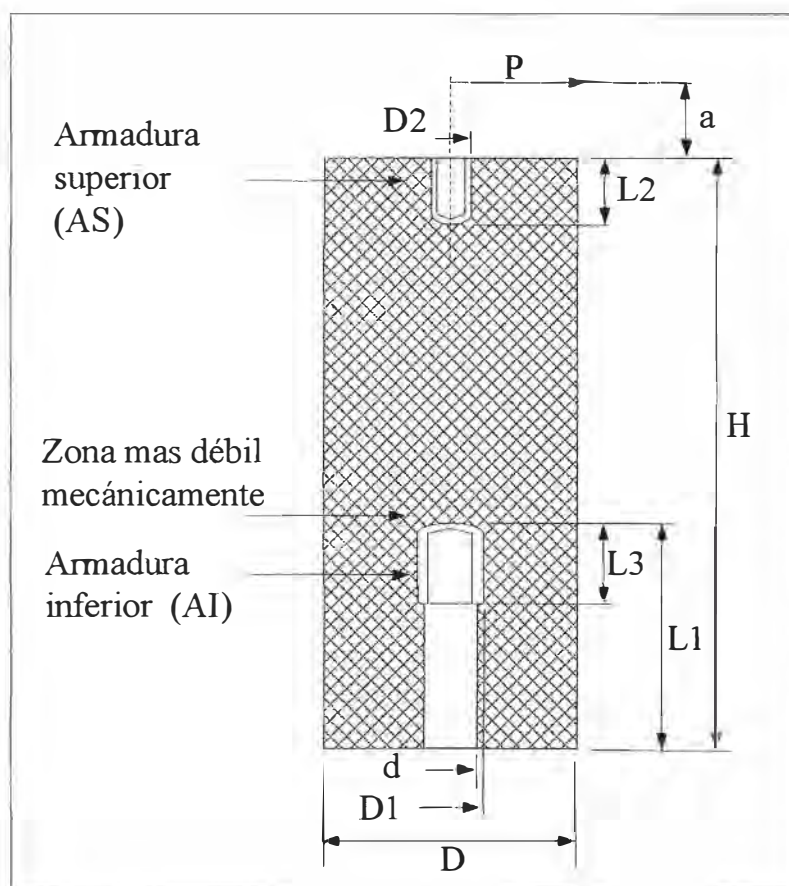


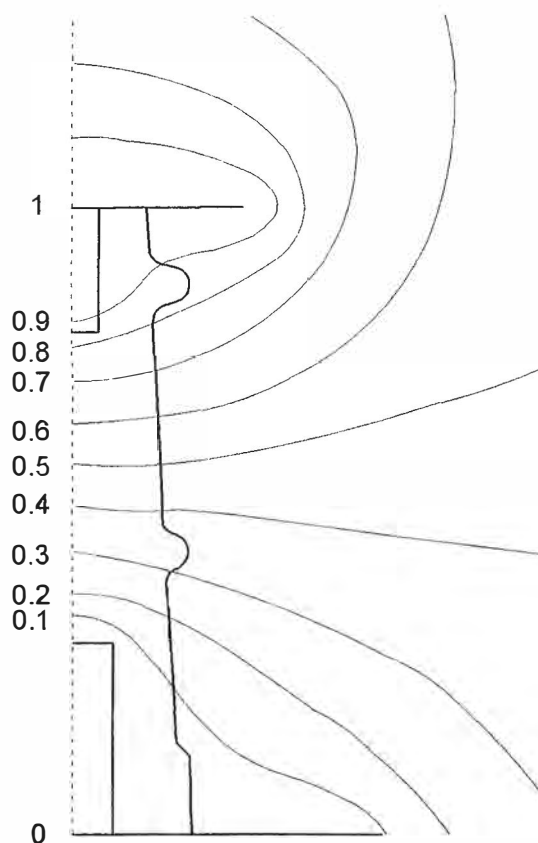
Fig 4.14: Esquema básico de un aislador soporte en media tensión.

### C. Distribución homogénea del campo eléctrico y de las líneas equipotenciales:

Cuando se trabaja con prototipos de aisladores, los investigadores o los fabricantes recurren al uso de cubas electrolíticas, que son equipos que permiten el trazado de la distribución de las líneas equipotenciales en el entorno del aislador, con el objeto de observar las zonas sometidas a los mayores gradientes de potencial y poder evaluar los riesgos o defectos del diseño.

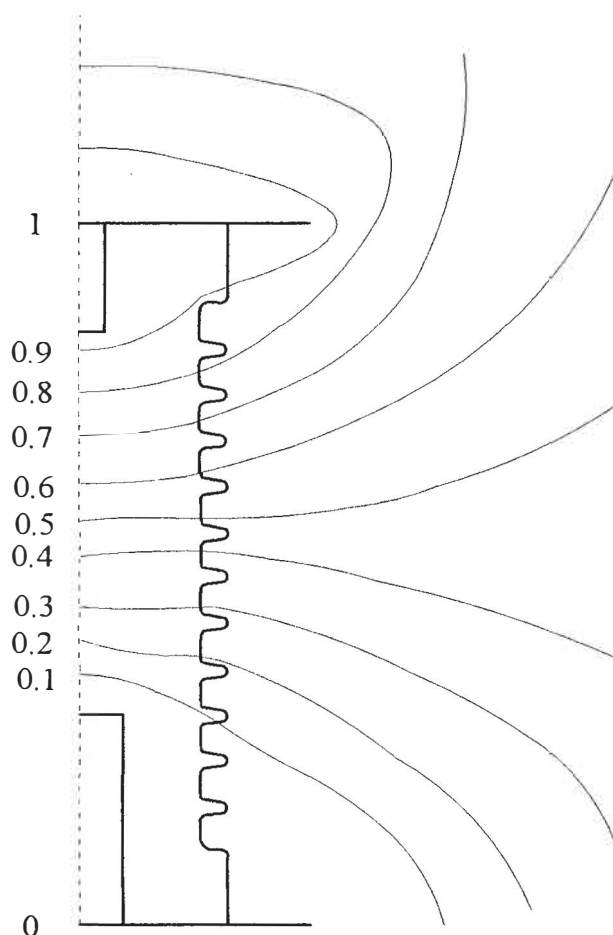
Para el caso de los aisladores soporte en resina epóxica, se han realizado estudios por entidades especializadas, con la finalidad de analizar de que manera influye en la formación del campo eléctrico, la variación de la distancia entre las armaduras, la variación de su tamaño y la presencia de las aletas o nervaduras en el cuerpo del aislador y cuyas importantes conclusiones las anotamos a continuación. [5]

- La uniformidad del campo empeora con el aumento de la longitud de la armadura inferior del aislador.
- La cantidad y posición relativa de las ondulaciones, aletas (sombrillas), usadas para aumentar la línea de fuga del aislador no tiene mayor influencia en la uniformidad del campo eléctrico. (ver Fig. 4.15 y 4.16)



**Fig. 4.15: Mapa del campo eléctrico en un aislador soporte de 2 ondulaciones**

- La uniformidad del campo mejora con el aumento de la longitud de la armadura superior del aislador.
- Las armaduras no deberán tener bordes angulosos.
- La uniformidad del campo mejora con el aumento del diámetro de la armadura superior del aislador.



**Fig. 4.16: Mapa del campo eléctrico en un aislador soporte de múltiples ondulaciones**

En realidad estas conclusiones son referenciales para el diseño, pues como veremos luego, las dimensiones aludidas, también influyen en el comportamiento mecánico del aislador, por lo que la solución obedecerá en mucho al criterio de los proyectistas.

#### **D. Longitud de la línea de fuga.**

En la literatura de la especialidad, vamos a encontrar la definición de un parámetro llamado factor de dispersión, que resulta de dividir la longitud de la línea de fuga entre la tensión de servicio.

$$Fd = LF/Vn \quad (4.3)$$

$Fd$  = Factor de dispersión

$V_n$  = Tensión nominal de servicio en KV

$LF$  = Valor de la línea de fuga en centímetros.

Este valor característico sirve para determinar la aplicación del aislador de acuerdo a los niveles de contaminación.

Un aislador puede pasar todas las pruebas indicadas en los estándares y posteriormente tener un pobre comportamiento en servicio (ver capítulo V acápite 5.1), con mucha certeza se puede afirmar que esto es debido a que no se supo escoger la línea de fuga adecuada, de allí la importancia de esta característica.

En las Tablas 4.13 y 4.14 se dan valores recomendados del factor de dispersión, de acuerdo a diferentes grados de contaminación.

**Tabla 4.13: Valores recomendados del factor de dispersión en función del grado de contaminación**

Grado de contaminación Tabla 4.15	Valores de consenso en cm/KV	IEC 815 : en cm/KV
1. Ligero	1.2 - 1.5	1.6
2. Medio	1.5 - 1.7	2.0
3. Pesado	1.7 - 3.0	2.5
4. Muy pesado	3.0 - 3.4	3.1



**Tabla 4.14: Valores del factor de dispersión utilizados en Alemania. [4]**

Zona de emplazamiento	Factor de dispersión en cm/KV
Tierras de cultivo o bosques donde no hay fábricas	1.7 – 2.0
Poca polución pero niebla frecuente	2.2 – 2.5
Fábricas y alta polución	2.7 – 3.2
Áreas de muy malas condiciones	3.8 – 4.5

Veamos las siguientes figuras ilustrativas:



**Fig. 4.17: Modelo de aislador con alto factor de dispersión (uso exterior).**

 <p style="text-align: center;">A</p>	<p>Instalación: Interior</p> <p>Tensión nominal. 12 kV</p> <p>Atura: 12 cm</p> <p>Factor de dispersión: 1.45 cm/kV</p>
 <p style="text-align: center;">B</p>	<p>Instalación: Interior</p> <p>Tensión nominal. 12 kV</p> <p>Atura: 12 cm</p> <p>Factor de dispersión: 2.35 cm/kV</p>

**Fig. 4.18: Ilustraciones de aisladores con diferente factor de dispersión**

El aislador A puede cubrir zonas con grado de contaminación 1

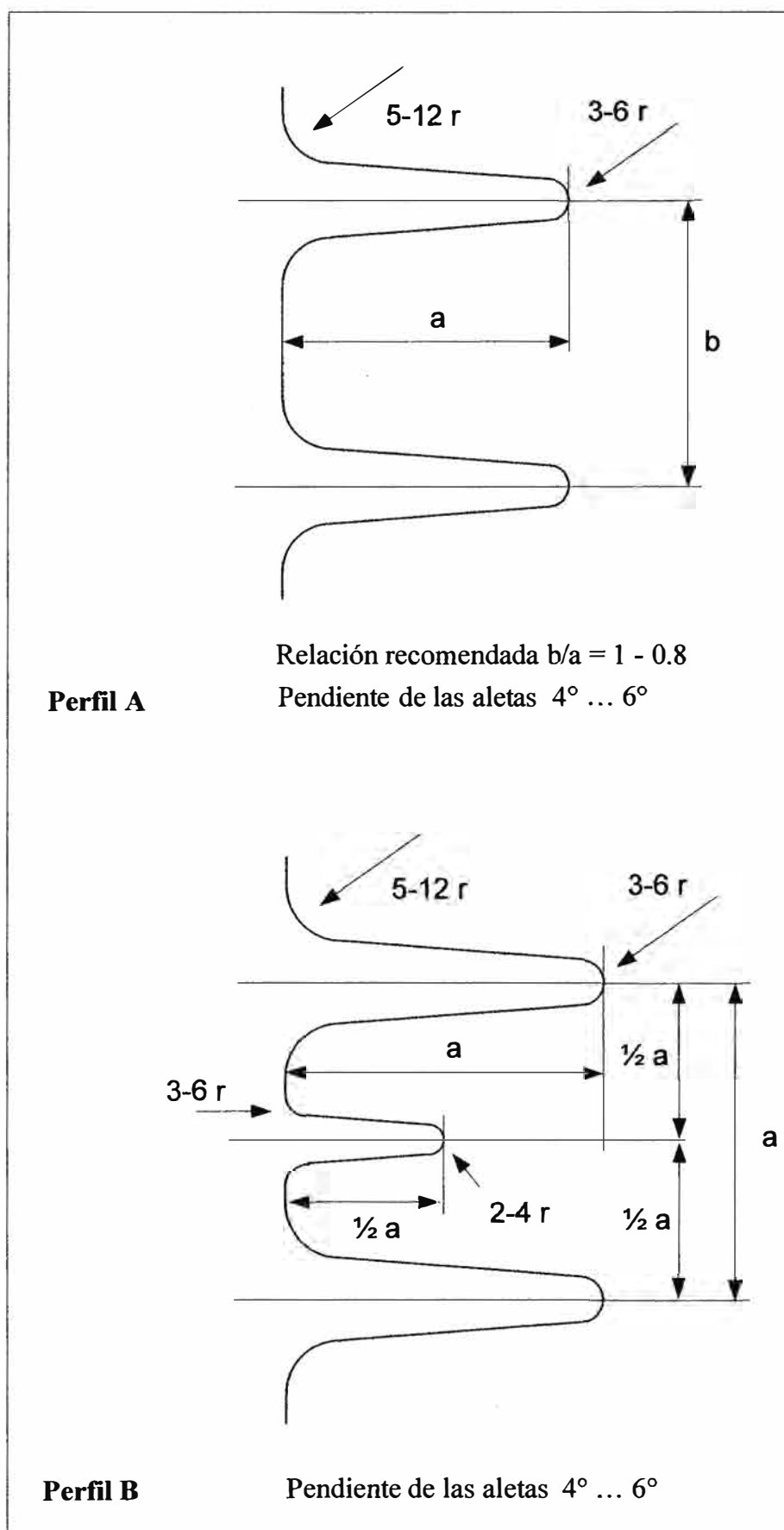
El aislador B puede cubrir zonas con grado de contaminación 2

Ninguno de estos modelos puede ser usado en zonas con grados de contaminación 3 ó 4, en estos casos se debería recurrir a modelos como el mostrado en la figura 4.17 con los cuales se logran factores de dispersión de 3.5 ó más, o en todo caso estimar el uso de aisladores de mayor altura.

Para la obtención de estos modelos se recomiendan los perfiles indicados en la figura 4.19. Los costos de fabricación de estos aisladores son más altos que de aquellos con una superficie sin lisa o con ondulaciones de poca profundidad y ello radica en los altos costos de las matrices o moldes, las cuales deberían ser fabricados en acero para evitar el deterioro de su superficie con el uso; muchos fabricantes aminoran los costos haciendo estos moldes en aluminio, pero el acabado superficial de las piezas obtenidas no es pulido, lo cual va en desmedro de la calidad de los aisladores.

La buena elección de la longitud de la línea de fuga, evitará o limitará la presencia de descargas superficiales prolongando la vida del aislador, así como permitirá periodos más prolongados en las frecuencias de mantenimiento.





**Fig.4.19: Perfiles recomendados para exteriores con contaminación grado 3 y 4.**

**Tabla 4.15: Categorías y grados de contaminación para aplicaciones en instalaciones eléctricas**

<b>CONDICIONES DE SERVICIO E INSTALACIÓN (NEMA ICS-I)</b>				
<b>MEDIO AMBIENTE (LOCACIÓN)</b>			<b>MEDIO AMBIENTE (EQUIPO)</b>	
<b>Categoría del medio ambiente</b>	<b>Condiciones generales existentes</b>	<b>Localización típica</b>	<b>Grado de contaminación (GC)</b>	<b>Condiciones generales existentes</b>
I	<b>Temperatura del aire:</b> Controlada continuamente <b>Humedad:</b> Controlada continuamente <b>Polvo:</b> Removido continuamente <b>Condensación:</b> No existe	Cuartos limpios controlados Procesos de fabricación y similares	1	<b>Humedad:</b> Ninguna, siempre seco <b>Polvo:</b> Insignificante
II	<b>Temperatura del aire:</b> Controlada pero no continuamente <b>Humedad:</b> No controlada <b>Polvo:</b> No controlado - cantidades pequeñas <b>Condensación:</b> No existe	Oficinas y edificios comerciales	2	<b>Humedad:</b> Presencia ocasional <b>Polvo:</b> Cantidad suficiente para convertirse en conductor con la humedad
III	<b>Temperatura del aire:</b> Controlada pero no continuamente <b>Humedad:</b> No controlada <b>Polvo:</b> No controlado - cantidades pequeñas a moderadas <b>Condensación:</b> Frecuente	Industria ligera	3	<b>Humedad:</b> Presencia frecuente <b>Polvo:</b> Cantidad suficiente para convertirse en conductor con la humedad
IV	<b>Temperatura del aire:</b> No controlada <b>Humedad:</b> No controlada <b>Polvo:</b> No controlado - cantidades grandes <b>Condensación:</b> Continua	Industria pesada Lugares abiertos o parcialmente abiertos	4	<b>Humedad:</b> Presencia continua <b>Polvo:</b> Cantidad suficiente para convertirse en conductor con la humedad

➤ **Criterios mecánicos de diseño:**

Las solicitaciones mecánicas presentes en los aisladores soporte, son las combinaciones de esfuerzos de flexión, tracción, torsión y compresión.

La norma IEC 60660 dice que la prueba mecánica de ruptura consistirá de una o más de las siguientes 4 pruebas:

Prueba de flexión

Prueba de tensión

Prueba de torsión

Prueba de compresión.

Salvo otro acuerdo entre el fabricante y el comprador, el estándar recomienda efectuar solamente la prueba de flexión.

Si se observa la figura 4.14 veremos que el momento en la base del aislador por efecto de la carga P es:

$$M = P (H + a) \quad (4.4)$$

$M$  = En Kg-cm

$H, a$  = en cm

Para la mezcla epóxica estándar se recomienda la relación siguiente:

$$\sigma_r / \sigma = 3.5 \dots 4.5 \quad (4.5)$$

Donde :

$\sigma_r$  = Resistencia a la rotura por flexión de la mezcla epóxica utilizada.

$\sigma$  = Valor de resistencia de flexión para efectos de cálculos de diseño del aislador.

El valor comprendido en el intervalo 3.5 a 4.5, corresponde al margen de seguridad e indica cuantas veces el requerimiento de flexión se aleja del valor de rotura.

En los cuadros de características de las resinas epóxicas podemos ver el valor de  $\sigma_r$  para la mezcla Araldit CT 200 - Endurecedor HT 901- Harina de cuarzo es: 800 Kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a la teoría de elasticidad un cuerpo cilíndrico, como el del aislador de la figura 4.14, sometido a flexión, cumple la siguiente relación: (ecuación fundamental de la flexión)

$$\sigma = M/W \quad (4.6)$$

$M$  = Momento flector

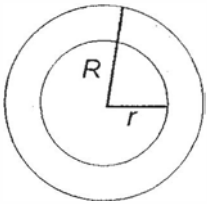
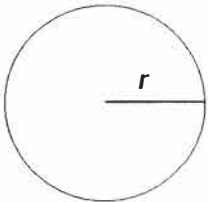
$W$  = Módulo del momento resistente.

$$W = I/r \quad (4.7)$$

$I$  = Momento de inercia de la sección transversal

$r$  = Radio del círculo de la sección transversal

Dependiendo donde se quiera estimar el radio del aislador se harán uso de las siguientes fórmulas para el cálculo del momento de inercia

	$I = \pi(R^4 - r^4) / 4$
	$I = \pi r^4 / 4$

**Fig. 4.20: Fórmulas para cálculo del momento de inercia**

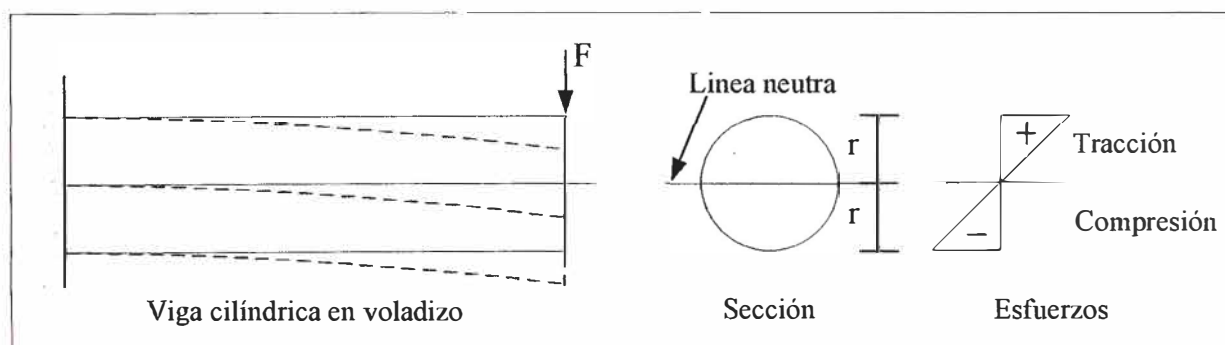
Con la ayuda de estas fórmulas podemos calcular el diámetro en la base del aislador en la figura 4.14.

$$\sigma = 32DM / \pi(D^4 - d^4) \quad (4.8)$$

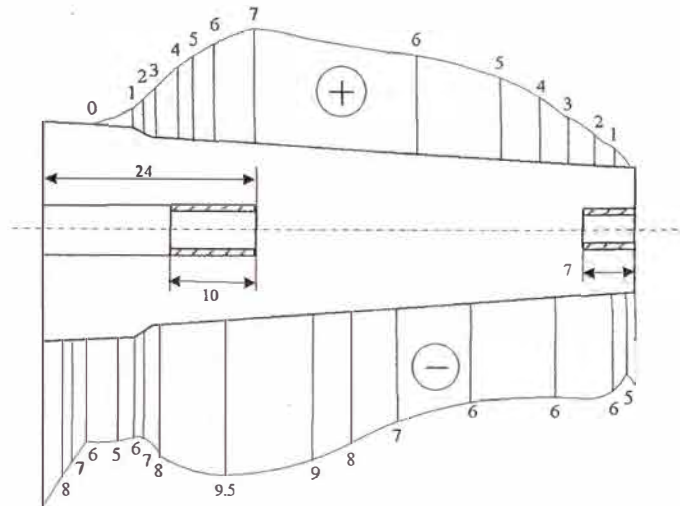
El valor calculado, lo podemos comparar con el valor máximo indicado en el estándar IEC 273, para el mayor diámetro del aislador.

Una vez fabricado el modelo, este puede ser sometido a un análisis de fotoelasticidad, con la finalidad de observar distribución de los esfuerzos.

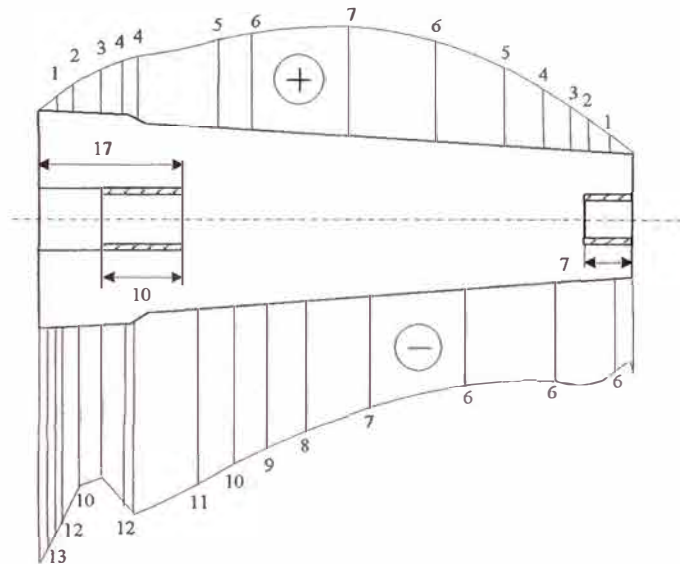
Analizaremos los resultados de un estudio de fotoelasticidad realizado con aisladores soporte, en los cuales se han realizado variantes constructivas, con la finalidad de observar como estas influyen en la distribución de los esfuerzos mecánicos. [5]



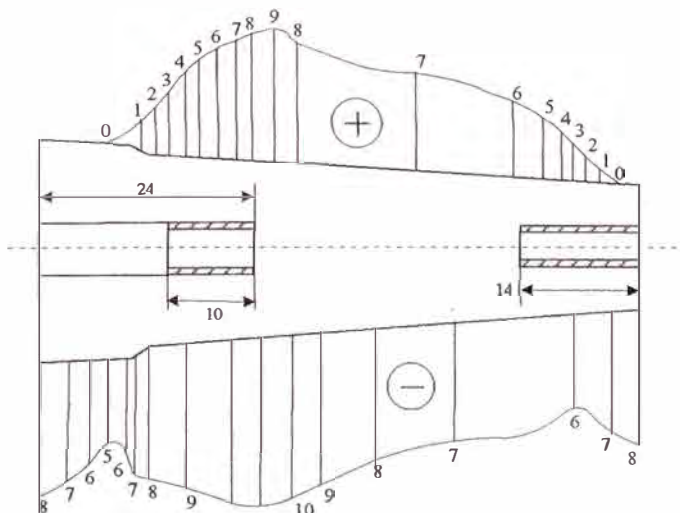
**Fig.: 4.21 Distribución de esfuerzos en una viga en voladizo (aislador).**



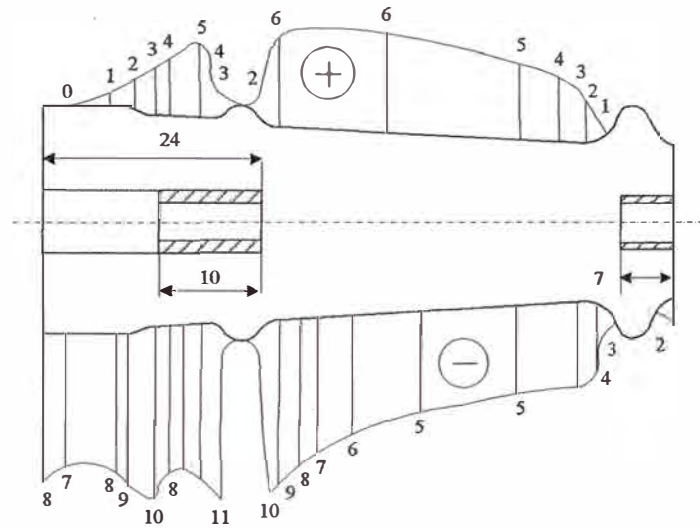
**Fig. 4.22: Aislador cónico base**



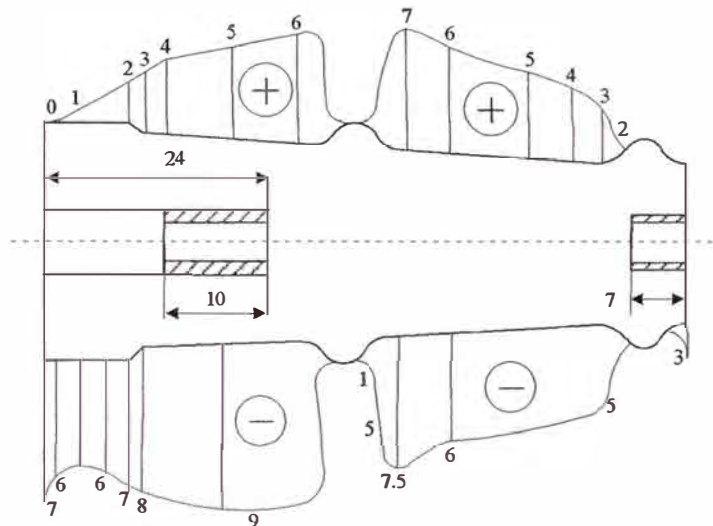
**Fig. 4.23: Aislador cónico base con armadura inferior más cercana a la base**



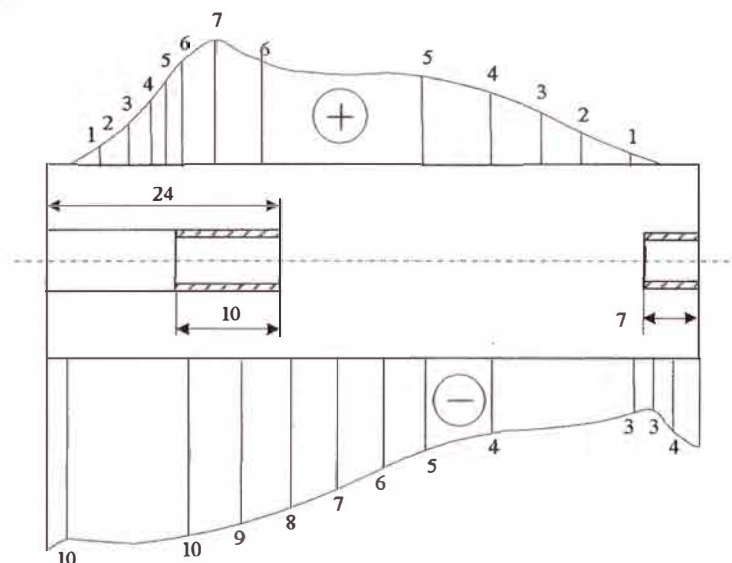
**Fig. 4.24: Aislador cónico base con armadura superior de mayor longitud**



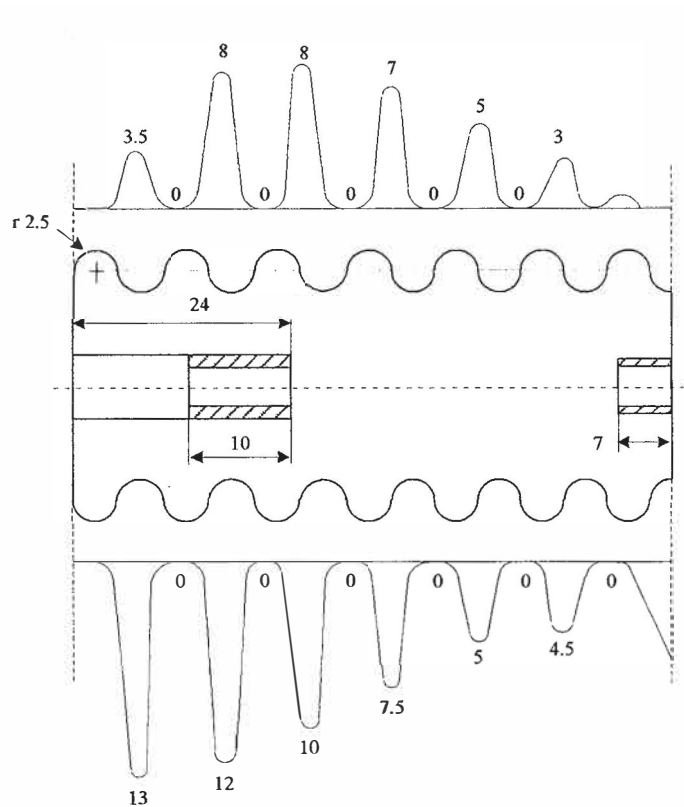
**Fig. 4.25: Aislador cónico base con dos nervaduras, la inferior ubicada a la altura de la armadura inferior.**



**Fig. 4.26: Aislador cónico base con dos nervaduras, la inferior ubicada sobre la armadura inferior.**



**Fig. 4.27: Aislador cilíndrico, con armaduras similares al aislador cónico base.**



**Fig. 4.28: Aislador cilíndrico con múltiples nervaduras y con armaduras similares al aislador cónico base.**

De las figuras 4.22 a la 4.28 se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Cuando la armadura inferior se ubica más cerca de la base, los esfuerzos en esta zona aumentan, observar la fig. 4.22 y compararla con las demás figuras a excepción de la fig. 4.28 que es un caso especial a observar.
- Cuando la longitud de la armadura superior aumenta, los esfuerzos de la parte inferior del aislador aumentan, (ver fig. 4.24 y 4.25) siendo más notorio el aumento de los esfuerzos de tracción,  
No olvidemos que sin embargo la uniformidad del campo eléctrico se favorece.
- Para los aisladores con múltiples ondulaciones, hay concentración de esfuerzos en los valles de estas (fig. 4.28), para el caso de aisladores que las tengan, la necesidad de tener una línea de fuga ampliada su existencia será obligada, por lo que se tendrá que corroborar la carga de diseño con las correspondientes pruebas.
- Es posible aumentar el diámetro de la armadura inferior sin que se produzca concentración de carga suplementaria sensible.
- Para aisladores con pocas ondulaciones, como 2 ó 3 por ejemplo, se recomienda ubicar la ondulación inferior sobre la armadura inferior (ver figuras 4.24 y 4.26), la distribución de los esfuerzos mejora.



**Fig. 4.29: Aislador 20kV 1250 Kg fracturado por una carga de tracción de 6500 Kg**



**Fig. 4.30: Aisladores 20 kV 1250 Kg y 20 kV 400 Kg fracturados por cargas de compresión de 48000 y 28000 Kg respectivamente.**



**Fig.4.31: Aislador 20 kV 1250 Kg fracturado por carga de flexión de 1500 Kg aplicada a 6 mm sobre la cara superior y perpendicular a su eje.**

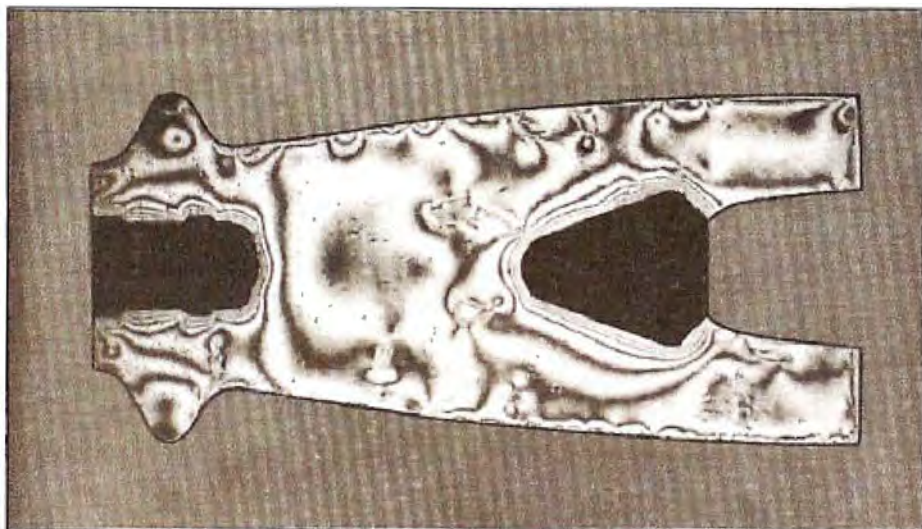


**Fig.4.32: Aislador 20kV 1250 Kg fracturado por carga de flexión de 1850 Kg aplicada sobre la cara superior y perpendicular a su eje.**





**Fig. 4.33: Aislador 20 kV 400 Kg fracturado por carga de torsión de 3250 Kg/cm.**



**Fig 4.34: Muestra fotográfica del espectro luminoso de un aislador soporte de material orgánico, visto por un equipo de pruebas de fotoelasticidad.**

Las fotografías mostradas en las figuras 4.29 – 4.33 han sido incluidas, porque permiten una apreciación visual de la forma como se fracturan los aisladores frente a la aplicación de distintos tipos de esfuerzos mecánicos.

Para el aislador mostrado en la fig. 4.32, la rotura se ha dado al nivel superior de la armadura inferior, punto más débil, cuando la carga mecánica es aplicada sobre la cara superior del aislador, no sucediendo lo mismo cuando la carga es desplazada 6 mm sobre la cara superior fig. 4.31, trasladándose el punto más débil a la altura de la armadura superior. Para una carga de tracción indudablemente el punto más débil será la zona de menor sección esto se comprueba observando la figura 4.29.

**Nota: Fotografías tomadas del documento [14].**

## CAPITULO V

### EXPERIENCIAS Y APLICACIONES

#### 5.1 Caso de fallas a tierra en subestaciones de ex empresa Electrolima.

Si bien es cierto que lo que se describe sucedió hace tres décadas, se trata de eventos que son vigentes y que a pesar de los años transcurridos se encuentran latentes y supeditados al poco interés que en materia de investigación se da en el país.

En las décadas de los 70, 80 y parte de los 90, la empresa concesionaria de los servicios de suministro de energía eléctrica en Lima era la empresa estatal Electrolima, principal consumidor de aisladores soporte llamados también portabarras, fabricados en el país por la Empresa BEKORA S.A.

La tensión de distribución era, como hasta ahora lo es 10 kV. Los aisladores de mayor demanda eran los mostrados en la figura 5.1, un aislador con 3 nervaduras y otro de una sola para una carga de rotura de 750 kg y 1250 Kg. respectivamente.



**Fig 5.1: Modelos de aisladores soporte en resina epóxica usados por la ex empresa Electrolima**

Esta empresa reporto, con mucha preocupación, fallas a tierra de los aisladores y salidas de servicio de sus subestaciones en sectores ubicados en Chorrillos, Villa María del Triunfo,

San Miguel, lugares que por su cercanía al mar, eran bastante húmedos y de una atmósfera salina. Los aisladores fallados tenían una antigüedad en su instalación de 8 meses hasta 7 años y estaban sujetos a los periodos de mantenimiento semestral. En definitiva las fallas eran por tracking o erosión superficial debido a la presencia de descargas parciales.

Tras la propuesta de cambiar los modelos utilizados por otros con mayor línea de fuga, Electrolima indicó que ello implicaría mayor cantidad de nervaduras lo que haría más difícil las tareas de mantenimiento y por ende aumentarían los costos.

También se reportó fallas de aisladores de porcelana, pero en menor proporción. Indudablemente la decisión de la empresa fue cambiar los aisladores epóxicos por aisladores de porcelana en los lugares donde los índices de contaminación eran de grado 3 ó 4, a pesar de que también habían fallado, sus índices eran inferiores.

Electrolima ya con anterioridad y por interés y cuenta propia, había enviado a Suiza al laboratorio **Schweizerischer Elektrotechnischer Verein Association Suisse des Electriciens**, muestras de aisladores de una sola nervadura fabricados por BEKORA S.A, para ser sometidos a ensayos y asegurarse de la calidad de su fabricación, habiéndose recibido un informe favorable, como se muestra en el anexo A.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Determinación de la resistencia de superficie.
2. Resistencia del cuerpo aislante a la corriente de fuga.
3. Resistencia al calor del material de aislamiento
4. Combustibilidad del material de aislamiento.
5. Resistencia a la tensión hasta la descarga disruptiva exterior o interior
6. Control radiográfico
7. Medición de la dureza de la masa de resina sintética.
8. Ensayo químico sobre la composición del material.
9. Ensayo de flexión.
10. Juicio general.

El Juicio emitido en el punto diez indicaba:

En base a los resultados obtenidos de las pruebas 1 – 9, el aislador cumple con las condiciones mecánicas y eléctricas exigidas para una red de 10 kV.

- La forma del aislador ensayado, superficie lisa sin nervaduras, corresponde a un aislador de montaje en instalaciones interiores. (En ningún momento se indicó que estos aisladores eran usados también para ambientes con alta humedad y deposición salina).

- En las muestras ensayadas se descubrieron algunas impurezas, como arena volante, la cual hace pensar en la utilización en instalaciones al aire libre o interiores cubiertas pero abiertas lateralmente.
- Para tales condiciones atmosféricas, el aislador es menos apropiado por razón de su forma, existiendo la posibilidad de depósitos que pudieran influenciar negativamente sobre la resistencia superficial.

**Con estos antecedentes las conclusiones nuestras fueron las siguientes:**

- Los materiales usados en la fabricación de estos aisladores (compuestos de resina epóxica bifenólica) no eran los adecuados, se recomendó el uso de aisladores fabricados con resinas epóxicas cicloalifáticas.
- Los diseños utilizados tampoco eran los apropiados, hemos visto en el capítulo IV, en el acápite correspondiente a la línea de fuga, que precisamente el aislador de tres nervaduras tiene un factor de dispersión para instalaciones con grado de contaminación de nivel 1.
- Posiblemente los intervalos de mantenimiento también no eran los adecuados, principalmente en las zonas con niveles de contaminación alto (cercanas al mar o fábricas), toda vez que también habían presentado problemas de descargas superficiales los aisladores de porcelana.
- De acuerdo con el informe del laboratorio Suizo, los aisladores eran fabricados con calidad adecuada, lo que sucedía era que se estaba haciendo una mala utilización de los mismos.

## **5.2 Reproducción de un aislador tipo espiga modelo 55-5 según el estándar ANSI C 29.5**

La ex cooperativa azucarera Casagrande, solicitó con carácter de urgencia aisladores modelo 55-5 para una línea de 10 kV, ubicada en sus instalaciones de la Libertad; la línea cruzaba plantaciones de caña de azúcar, en una zona bastante húmeda contaminada por polvo cargado de material orgánico, con presencia de insectos que anidaban en las depresiones o canales de los aisladores.

El aislador fue fabricado geométricamente igual al modelo estandarizado para porcelana y se hizo uso de material Cicloalifático que era recomendado por el fabricante para instalaciones a la intemperie. Se remitieron muestras.

La línea se salió de servicio a los 8 meses, por causa de los aisladores puestos en prueba. El cliente informó que la línea salió de servicio por falla a tierra, originada por descargas superficiales; las unidades mostraban erosión en su superficie.

**Se analizaron las muestras falladas con las conclusiones siguientes:**

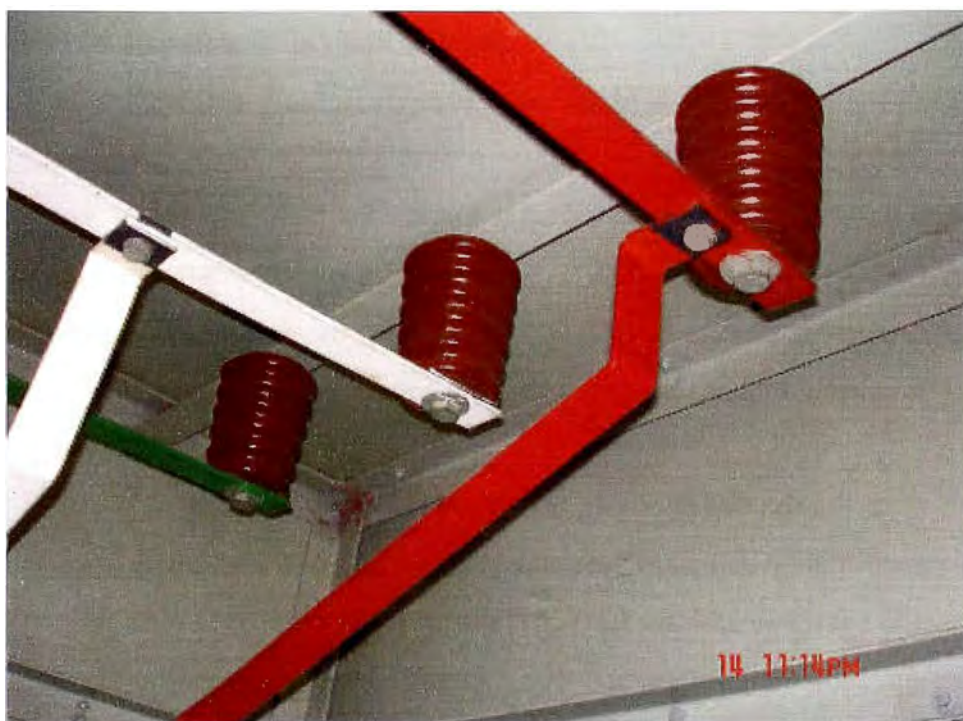
- Con respecto a la falla en si:

Toda la zona erosionada era opaca y absorbía agua.

Las fallas eran tan solo superficiales, no había perforación en el cuerpo aislante.

- Con respecto al modelo fabricado:

Los modelos utilizados para fabricar aisladores en porcelana no deben ser utilizados para fabricar aisladores sintéticos, por la sencilla razón de que los modelos en porcelana por lo general tienen sombrillas, aletas o nervaduras gruesas, porque las características del material y el proceso de fabricación lo exigen. Con el mismo volumen de material, o menor inclusive, pudo haberse logrado un aislador epóxico con una mayor línea de fuga que hubiese dado los resultados esperados. [19].



**Fig. 5.2: Modelo de aislador soporte para porcelana, fabricado en resina epóxica.**

### **5.3 Importancia del proceso de fabricación.**

El proceso de fabricación juega un papel importante en la calidad de los aisladores, a continuación se describen recomendaciones, sobre la base de deficiencias detectadas durante este proceso:

#### **a) Limpieza profunda de los insertos metálicos o armaduras.**

Se detectó durante los controles de calidad de la producción, que habían aisladores que tenían presencia de partículas de latón en el cuerpo aislante, la causa era la limpieza inadecuada de la viruta de latón que dejaba la herramienta moleteadora en las armaduras,

no se investigó las consecuencias en el servicio de los aisladores, pero es de suponer que la uniformidad del campo eléctrico pudo haberse alterado.

No se hicieron mayores investigaciones, en planta solamente se mejoró los controles en los procesos, para evitar inconvenientes insospechados.

**b) Limpieza profunda de las armaduras con desengrasantes.**

Es común en la actualidad encontrar usuarios que preguntan: ¿Por qué se salen las armaduras de algunos aisladores al momento del apriete?, Preocupados porque no siempre son pocos los aisladores que presentan este problema.

Una de las causas e inherente a la fabricación, es la presencia de aceite en estos insertos, que presumiblemente sea el aceite que usa la máquina en el proceso de su fabricación y evita la correcta adherencia de la masa aislante.

**c) Uso obligatorio y técnicamente controlado del vacío durante el proceso de fundición.**

Si se aplica mal, los niveles de vacío, algunos de los componentes pueden separarse de la mezcla (sublimación) alterando sus propiedades.

Si no se tiene especial cuidado en esta recomendación, el cuerpo aislante estará lleno de minúsculas burbujas de aire, lo cual merma la perspectiva de vida del aislador y disminuye su respuesta mecánica.

**d) Proceso de post endurecimiento de las piezas fabricadas.**

Si esta parte no se realiza de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes de resinas, el aislador, en lenguaje corriente saldrá “crudo”, lo cual implica deterioro entre otros de su resistencia a la flexión, como quiera que normalmente los aisladores son sobredimensionados, si se obvia este proceso es necesaria la verificación que el lote producido esta dentro de normas.

Como esta etapa tiene un costo, porque implica la operación de hornos por tiempos considerables, muchos fabricantes no lo hacen amparados en que visualmente no se diferencia un aislador post-curado de uno que no ha pasado por esta etapa.

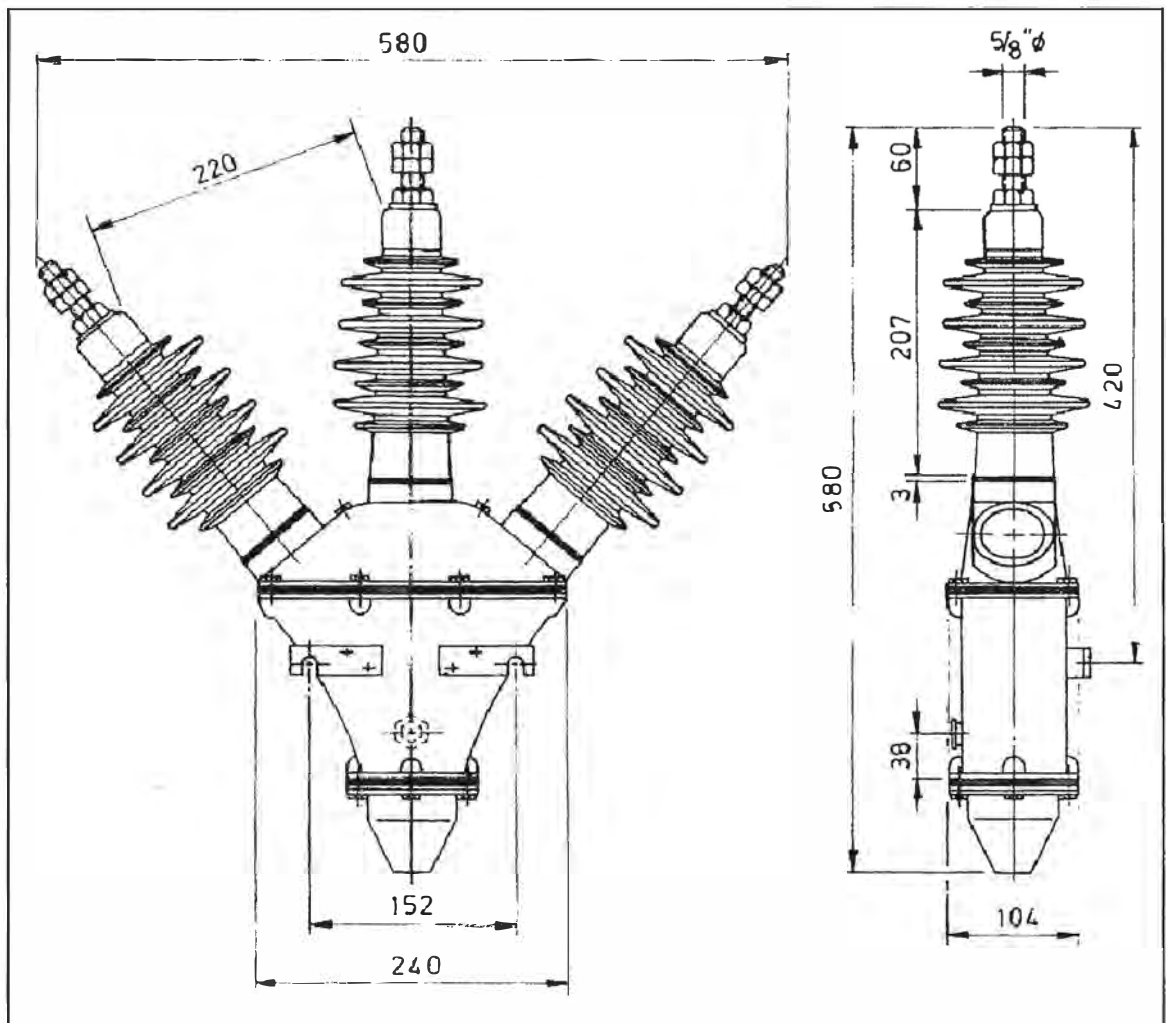
**Conclusión:** De nada sirve un buen diseño y/o un buen material si el proceso de fabricación es mal ejecutado.

**5.4 Diseño y fabricación de cabezas terminales para cables en papel impregnado en aceite.**

El cable en papel impregnado en aceite (NKY), fue por muchos años el más utilizado en las redes de distribución subterránea.

Hace algunos años fue remplazado por cables con aislamiento de polietileno reticulado, denominados como cables secos.

Ambos tipos de cables usan terminaciones para salir al exterior o viceversa, cumpliendo el papel de un empalme entre las redes aéreas con las subterráneas. En el caso de los cables en papel impregnado en aceite estas terminaciones se denominaban cabezas terminales.(Fig 5.3)



**Fig.5.3: Cabeza terminal para instalaciones exteriores 12/15 kV, con aisladores orgánicos.**

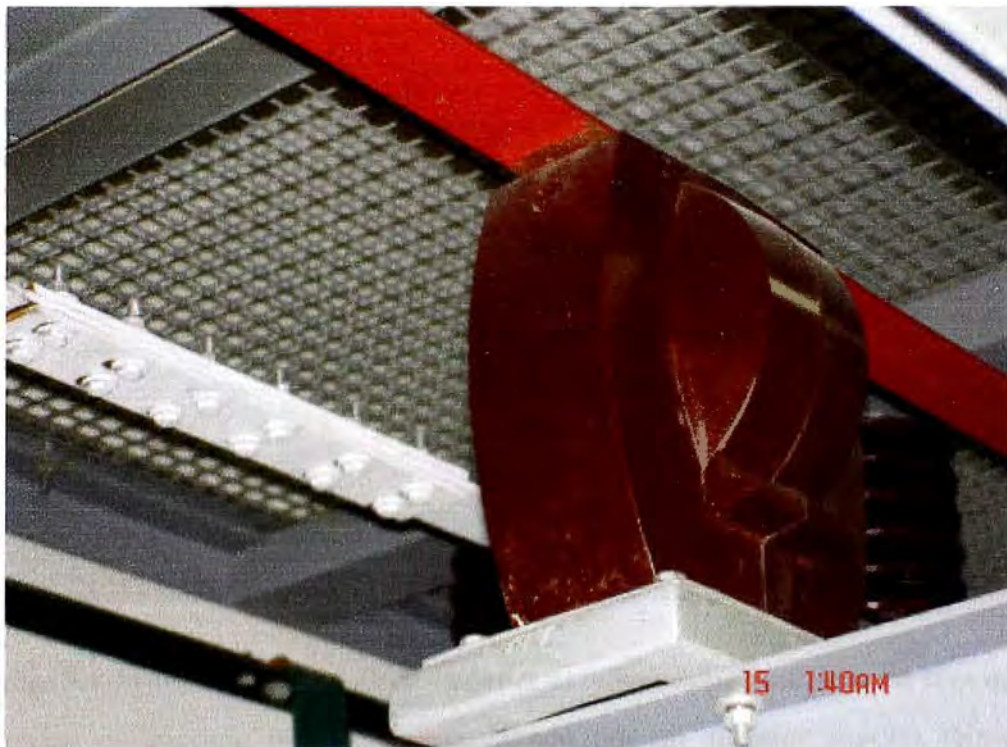
Las cabezas terminales y los cables en papel impregnado en aceite han dejado de utilizarse, pero la experiencia lograda con su desarrollo fue muy importante, pues permitió observar el comportamiento de las resinas cicloalifáticas, en ambientes variados hasta aquellos con contaminación muy severa.

En la figura 5.3 se muestra la vista frontal y lateral de la cabeza terminal donde se puede ver detalles del aislador como su altura.

No vamos a ocuparnos del proceso, que fue muy interesante; lo resaltante y de importancia para el presente trabajo, fue que se logró un aislador para uso a la intemperie con buenos resultados operativos, lo que permitió que las cabezas inclusive se exportaran.

Se recurrió a un perfil de aislador recomendado por CIBA- GEIGY, el cual había sido sometido a pruebas en instalaciones con altos niveles de contaminación, en varias regiones de Europa y África como se indica en el capítulo IV.

### **5.5 Encapsulado de transformadores de medida para media tensión con formulaciones epóxicas.**



**Fig. 5.3: Transformador de medida de corriente en servicio, para 10 kV, con aislamiento seco de resina epóxica (encapsulado).**

La empresa ya tenía en su línea de producción la fabricación del encapsulado de transformadores de medida en baja tensión y se tomó la decisión de incursionar en la producción de transformadores de medida en media tensión, encapsulados con formulaciones de resina epóxica tanto para interiores como para exteriores; el tamaño de la bobinas permitía la elaboración de una adecuada línea de fuga ( factor de dispersión para interiores de 2.2 cm/kV y 3.4 cm/kV para exteriores), nunca se tuvo información de fallas por aislamiento y es común verlos en las celdas de medida de muchas subestaciones eléctricas como en puntos de medición aéreos.

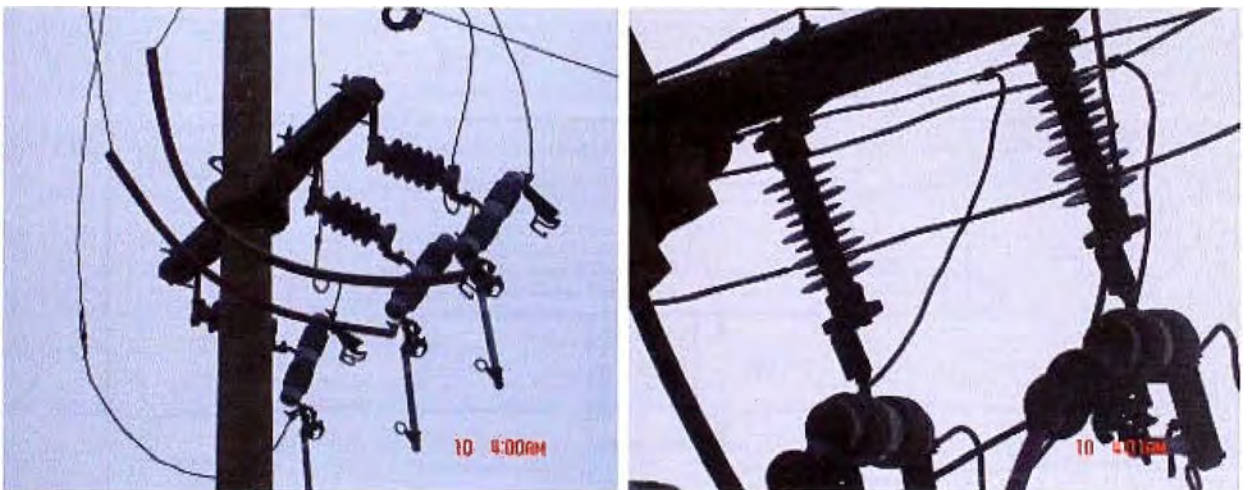
### **5.6 Fabricación de aisladores para aplicaciones especiales.**



Actualmente los desconectadores fusibles o cut-outs, usados en las redes aéreas de media tensión de 10 kV, el Lima, son instalados sobre un aislador conocido como extensor.

Este aislador ha permitido resolver el problema de falla a tierra de estos dispositivos en zonas de alta contaminación y humedad [21].

En primera instancia se usó un aislador soporte de porcelana, con una línea de fuga de 550 mm para una tensión de servicio de 25 kV, el cual prácticamente resolvió el problema, pero tenía los inconvenientes de ser muy pesado y tener las armaduras de hierro, las cuales se corroían muy rápidamente; fueron estas las razones primordiales para recurrir al uso de aisladores soporte poliméricos, los cuales son usados actualmente como se puede apreciar en la Fig 5.4



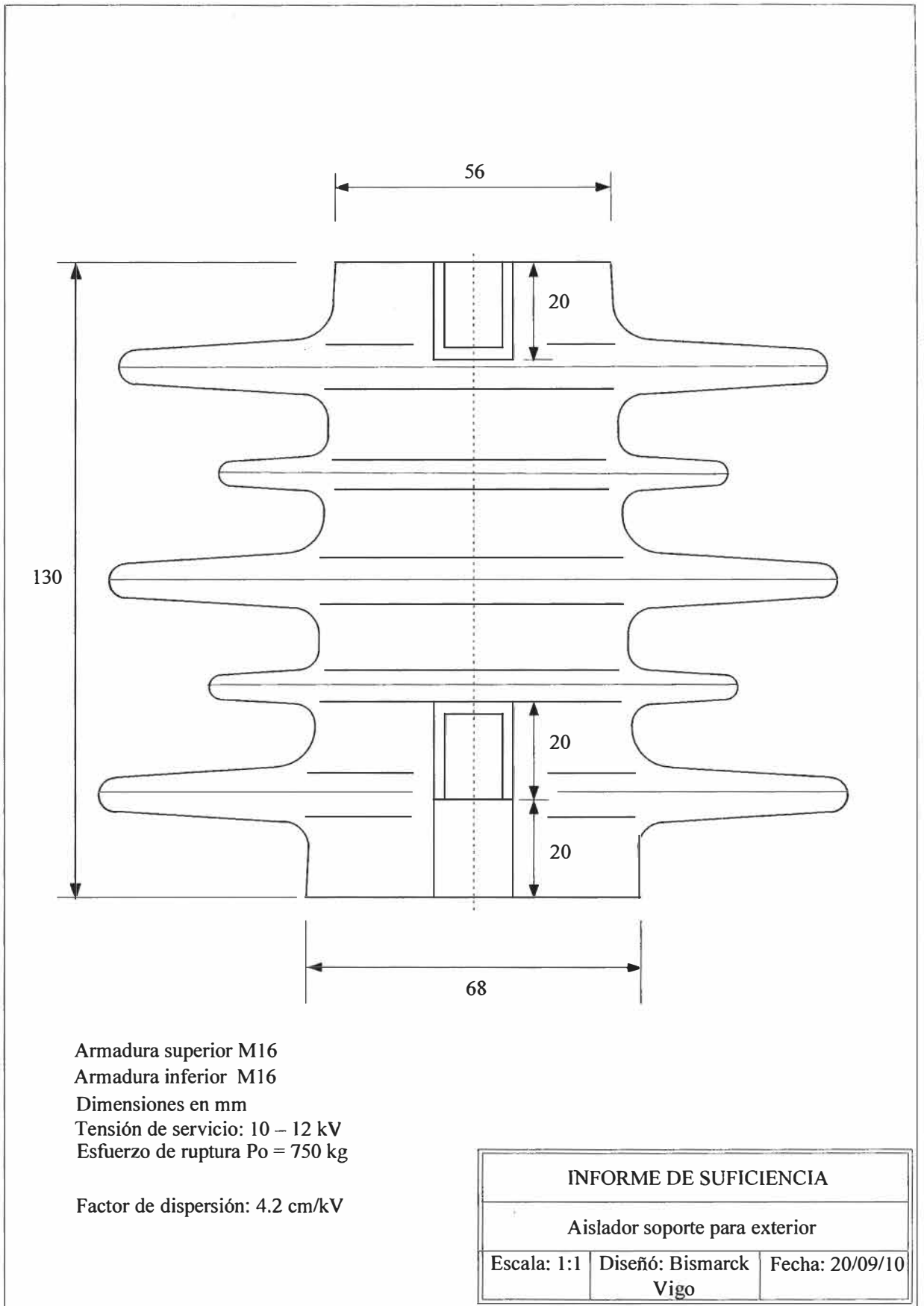
**Fig. 5.4 Muestra grafica de aisladores extensores poliméricos en servicio**

Este aislador polimérico, puede ser remplazado por un aislador soporte fabricado con resinas epóxicas Cicloalifáticas, con un perfil como el mostrado en la Fig. 5.5

El aislador epóxico propuesto, tendría las ventajas siguientes:

- Sus armaduras no estarían expuestas y por lo tanto no tendrían el problema de corrosión.
- Las armaduras estarían fabricadas de latón, cuyo precio es mucho más cómodo que cualquier accesorio de acero inoxidable.
- La fabricación sería local y con un precio bastante competitivo.
- El peso sería similar al de un polimérico, es decir liviano si se lo compara a los aisladores extensores de porcelana.

De ser necesaria una línea de fuga mayor, se recurriría a aisladores de mayor altura, y con un perfil similar.



**Fig. 5.5: Aislador soporte para exterior**

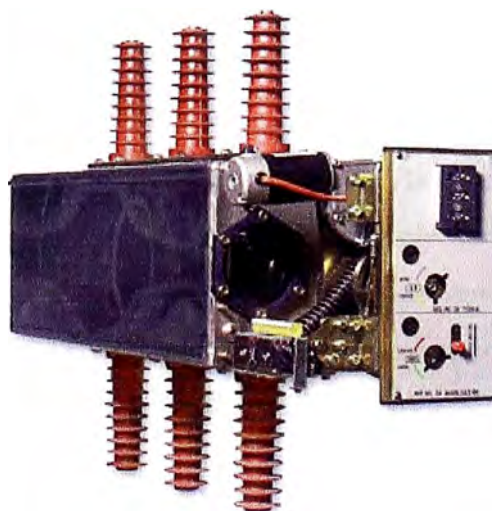
## CONCLUSIONES

Algunas conclusiones se han ido desarrollando en el capítulo V, como resultado de algunas de las experiencias descritas, a ellas vamos a agregar algunas más:

➤ Es necesario anotar que los materiales sintéticos tienen desventajas; la más obvia es que siendo de origen orgánico tienen una temperatura a la cual ocurre una descomposición química y en el extremo de los casos, el aislador sencillamente se quema.

➤ También se ve que el flameo producido por un arco eléctrico, sin llegar a temperaturas de descomposición del aislador, produce erosión en su superficie. Debemos tener en cuenta que no es posible controlar la temperatura del arco para que esto no suceda, por lo que los diseños de aisladores con materiales sintéticos tienen menor expectativa de vida que otros en vidrio o porcelana, pero esto no los hace menos económicos. Es importante recalcar que la principal manera de limitar las corrientes superficiales es con el perfil y la mejor línea de fuga que se pueda obtener con el diseño y las resinas epóxicas se prestan para lograr geometrías con estas características; a parte de ello y dependiendo de la longitud de la línea de fuga, hay casos en los cuales también se pueden insertar explosores de brecha de aire en los cuales evolucionen los eventuales arcos eléctricos.

➤ El desarrollo de accesorios y equipos fabricados con resinas epóxicas ha ido en aumento, es común ver estos materiales como aislamientos de la mayoría de tipos de interruptores, seccionadores y porta-fusibles, en sistemas de distribución en media tensión,





sin embargo el alto índice de fallas en subestaciones por falla a tierra del aislamiento, hace pensar que no se le da la importancia debida a su adecuada selección o se desconoce la forma de hacerlo, en función de la contaminación del aire y otros parámetros atmosféricos y geográficos

Es posible diseñar y fabricar aisladores de mejores características que remplacen a aquellos con altos índices de falla a tierra.

➤ La facilidad del proceso de las formulaciones de las resinas epóxicas representa una buena posibilidad para el crecimiento de la industria eléctrica nacional, ya que permite lograr dichos componentes con una calidad idéntica o competitiva a los fabricados por marcas reconocidas.

➤ Las investigaciones realizadas sobre materiales cicloalifáticos y su aplicación en las instalaciones a la intemperie ha dejado el camino abierto al desarrollo de aisladores para líneas eléctricas principalmente en media tensión.

➤ No existe un organismo estatal ni privado que se encargue de manera responsable y en el nivel técnico que se requiere, de velar por la implementación y/o aplicación de estándares que permitan un adecuado control de calidad de la producción nacional.

➤ Es bastante difícil realizar labores de investigación y desarrollo en el país, ya que existen serias limitaciones en la disponibilidad de laboratorios implementados y de acceso viable al servicio de estas tareas.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**

**PRUEBAS E INVESTIGACIONES EN UN AISLADOR DE RESINA EPÓXICA DE  
10 KV**

**Schweizerischer Elektrotechnischer Verein Association Suisse des Electriciens  
ASEV**

**Para: Empresas Eléctricas Asociadas  
Lima - Perú**



# Prüfbericht

Informe de ensayo

A. Nr. 302 512

Blatt 1 Umfasst Blatt  
Hoja 1 Contiene 8 hoj

Cliente: Finpartec SA, Via G.B. Pioda 6,  
6901 Lugano

Fecha del pedido/  
Referencia : 31.5.1977/852/77-EEA 3201

Objeto : Investigaciones en conexión con  
un aislador de resina epóxi de  
10 kV, *Fabricante BEKOLA Lima-Perú*  
utilizado en:  
Empresas Eléctricas Asociadas  
Electrolima  
Lima / Perú

Lugar del ensayo : SEV Zurich y EMPA Dübendorf, Suiza

Fecha del ensayo : " Julio - Diciembre de 1977

Representante del cliente :

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN  
Materialprüfanstalt

El Jefe del Departamento:

*V. F. ...*

Zurich, 30 de enero de 1978

Dep./ Ponente: AE/Tappier/bl

Visado:

Alcance del ensayo

1. Determinación de la resistencia de la superficie
2. Resistencia del cuerpo aislante a la corriente de fuga
3. Resistencia al calor del material de aislamiento
4. Combustibilidad del material de aislamiento
5. Resistencia a la tensión hasta la descarga disruptiva exterior o interior
6. Control radiográfico
7. Medición de la dureza de la masa de resina sintética
8. Ensayo químico sobre la composición del material
9. Ensayo de flexión
10. Juicio general

Resultados:1. Determinación de la resistencia de la superficie  $R_o$ 

La medición se realizó de acuerdo con la Publicación IEC-93 (1958)

"Recommended methods of test for volume and surface resistivities of electrical insulating materials".

Tensión de medición aplicada: 1000 V =

Electrodos: Plata conductiva L = 5 cm

Distancia d. = 1 cm

Valor medido:  $R_o = 2,7 \cdot 10^{11} \Omega$

Valor medio de orientación para resina epóxi:

$R_o \sim 10^9 - 10^{12} \Omega$

El valor medido corresponde a las exigencias generales para aisladores de resina colada.



### 1.1 Resistencia de la parte interior $R_D$

La resistencia fue medida entre los dos casquillos fundidos, provistos de rosca.

Tensión de ensayo aplicada: 1000 V =

Valor medido:  $R_D = 8 \cdot 10^{11} \Omega$

Valor medio de orientación para resinas sintéticas a base de epóxi:

Resistencia específica de la parte interior =  $R_D \sim 10^{11} \dots 10^{12} \Omega \text{ cm.}$

### 2. Resistencia del cuerpo aislante a la corriente de fuga

La medición se realizó de acuerdo con la Publicación IEC-112 (1971),

"Recommended method for determining the comparative tracking index of solid insulating materials under moist conditions".

Según la definición que se encuentra en IEC-112, página 7, en el párrafo 2, a las tensiones de ensayo de 175-500 V (página 13, párrafo 6) deberán caer a la superficie del aislador más de 50 gotas.

Valor medido:

Tensión de ensayo V	Número de gotas n
500	10
380	> 50
250	> 50

### 3. Resistencia al calor del material de aislamiento

La medición fue realizada de acuerdo con la Publicación IEC-335-1 (1970),

"Safety of house hold and similar electrical appliances".

La resistencia al calor del material de aislamiento fue medida utilizando el método del ensayo de la presión por bolas (IEC-335, página 123 - párrafos 30.1 y 30.2).

Valor medido:

Ensayo por presión de bola a 125 °C

Huella medida en la resina epóxi:  $\varnothing 1,2 \text{ mm} \wedge 17,2 \text{ N/mm}^2$

Valor máximo admisible:  $\leq 2 \text{ mm}$

4. Combustibilidad del material de aislamiento.

La medición fue realizada de acuerdo con VDE 0471 - Parte 2 (1970).

"Reglas para el ensayo relacionado en la seguridad contra el fuego de productos electrotécnicos, de sus grupos de construcción y de sus partes".

Para determinar la combustibilidad se utilizó el nuevo método - Ensayo del filamento incandescente - a una temperatura de ensayo del lazo del filamento incandescente de 960 °C + 15 °C.

Valor medido:

La altura de llama que se produjo en la pieza a ensayar fue inferior a 10 mm.

Tiempo de quemado ulterior: se apaga enseguida, no se observa ningún goteo de material ardiente ni incandescente

La resina epóxi es difícil de quemar

## 5. Resistencia a la tensión hasta la descarga disruptiva exterior o interior

Como valor de orientación para el ensayo de tensión se tuvieron en cuenta los valores indicados en la Publicación IEC-186 (1969) "Transformadores de Tensión", tabla III B, página 23.

Serie de tensión kV	Tensión de ensayo kV	Frecuencia Hz
15,5	34	50

El aislador a ensayar soportó el ensayo durante 1 minuto.

A continuación se elevó la tensión hasta que se produjo la descarga disruptiva exterior, respectivamente interior. La descarga se produjo a una tensión superior a 60 kV.

## 6. Control radiográfico

Durante la colada de la resina epóxi se pueden presentar, de vez en cuando, irregularidades de homogeneidad en el cuerpo colado (formación de rechupes). Dichas irregularidades no son visibles desde el exterior pero, sin embargo, pueden influenciar negativamente las propiedades eléctricas y mecánicas del aislador. Se examinaron los aisladores mediante un aparato de rayos X para observar si existían ciertas irregularidades de homogeneidad.

### Resultado:

En base a la radiografía no se llegó a encontrar ninguna irregularidad en la homogeneidad.

En relación con la radiografía vease hoja adjunta No. 1.

### 7. Medición de la dureza de la masa de resina sintética

Prueba de dureza mediante el ensayo de huella según DIN 53456 - Enero 1973 "Prueba de la dureza por ensayo de huella". Alec

Se ensayó un corte de forma anular del aislador con respecto a su dureza mediante 5 medidas en la parte inferior y otras 5 en la parte superior.

#### Valor medido

Dureza a la penetración de bola H 961/30: 25.9 N/mm<sup>2</sup> a 23 °C

Discrepancia standard : 4.9 N/mm<sup>2</sup>

Resultado: El valor de 25.9 N/mm<sup>2</sup> corresponde a los valores medios para masas standard de epóxi.

### 8. Ensayo químico sobre la composición del material

La relación resina/material de relleno fue controlada de acuerdo con DIN 53 395, octubre 1969 "Determinación de la pérdida por incandescencia de materias sintéticas reforzadas con fibra de vidrio".

#### Valor medido

Contenido medio de resina : 41,02, % de peso

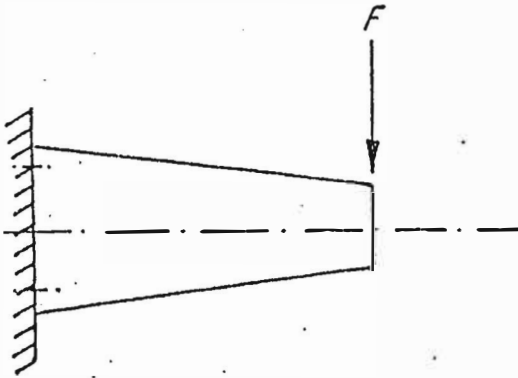
Contenido medio de sustancia de relleno: 58,98 % en peso

Densidad media en bruto: 1,79 g/cm<sup>3</sup>

Resultado: La relación medida corresponde a la composición general del material que se encuentra en los aisladores.

### 9. Ensayo de flexión

En esta prueba se atornilló el aislador en posición horizontal a un angular de sujeción con un momento de giro de  $100 \text{ N} \cdot \text{m}$  para cada uno de los.



#### Valor medido

Carga máxima F  
en kN

Constataciones

11.7

Rotura lisa de grano fino, aproximadamente en el punto medio del aislador (siendo el casquillo roscado M 14)

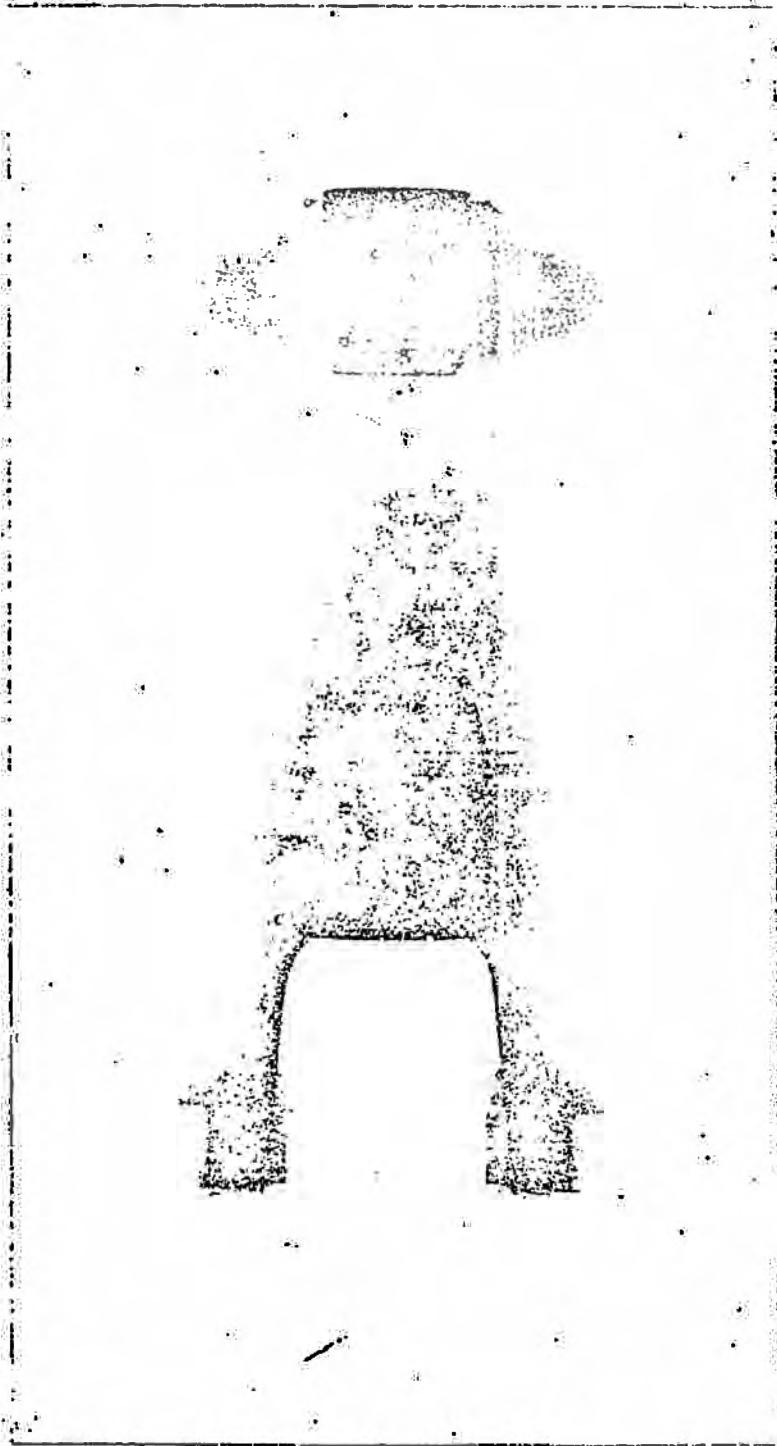
### 10.

En base a los resultados - que han sido indicados en los puntos 1 a 9 -, el aislador cumple con las condiciones mecánicas y eléctricas exigidas para una red de 10 kV.

- La forma del aislador del objeto ensayado - superficie lisa, sin nervios - corresponde al montaje en instalaciones para interior. En las muestras a ensayar se descubrieron algunas impurezas, como por ejemplo arena volante.

Estas impurezas hacen pensar en la utilización en instalaciones al aire libre o en instalaciones al interior cubiertas pero abiertas lateralmente.

Para tales condiciones atmosféricas el aislador es menos apropiado por razón de su forma. Existe el peligro de depósitos de cuerpos extraños que puedan influenciar negativamente la resistencia de la superficie.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hans Von Beeren, Técnica de la alta tensión, 7ma. Reimpresión, España 1973
- [2] José Ramirez Vasquez, Materiales electrotécnicos, 2da. Edición, España 1980
- [3] CIBA – GEIGY, Materials Testing Facilities Part 1 and Part 2, England 1972
- [4] NGK, Insulators, Catalog Nr. 60, Japan 1976.
- [5] Chiril Popescu y Theodor Huidu, Probleme ale proiectarii izolatoarelor support de interior din rasini epoxidice, Rumania 1968
- [6] CIBA – GEIGY, Instruction Sheet for Araldite B (CT 200) and Hardner HT 901, Publ. Nro. 33266/e, Switzerland 1976
- [7] CIBA – GEIGY, Araldite Cycloaliphatic Casting Resin Systems (CY 184) and Hardner HT 907, Publ. Nro. 24531/d, Switzerland 1979
- [8] CIBA – GEIGY, Outdoor Electrical Insulators made from Cycloaliphatic Araldite Epoxy Resins, Publ. Nro. 35886/e, Switzerland 1968.
- [9] Estándar IEC 60660, “Insulators test on indoor post insulators of organic material for systems whit nominal voltages greater than 1000 v up to but not including 300KV”, Segunda Edición, Switzerland 1999.
- [10] Estándar IEC 60168. ”Test on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for sytems with nominal voltages greater than 1000 V”, Cuarta Edición, Switzerland 1994
- [11] Estándar IEC 60273, “Characteristic of indoor and outdoor post insulators for systems with nominal voltages greater than 1000V”, Tercera Edición, Switzerland 1990
- [12] Estándar ANSI C29.1, “ Test methods for electrical power insulators”, U.S 1988
- [13] Santiago Goyarrola Arrien, “Resinas epóxicas de colada y su aplicación en Electrotécnia”, España 1978.
- [14] Raoul Béguelin - GARDY s.a., Boletín Técnico: Información de procesos y ensayos con resinas epóxicas, Switzerland 1970
- [15] GARDY s.a., Aisladores Soporte en resina epóxica, Boletín TB 27200.



Switzerland 1968

- [16] BINAME, Aisladores para baja y alta tensión, Belgica- 2008
- [17] Equipos Electricos CORE s.a., Boletin técnico: Aisladores soporte para baja y media tensión, Mexico 2009
- [18] Enriquez Harper – LIMUSA, Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Segunda Edición, Mexico 2005
- [19] Pentti Mähönen, Hans Rudolf, Ernst Hubler, “Long term performance of cycloaliphatic epoxy casting resin systems under outdoor operating conditions”, Switzerland, Finland, 1988.
- [20] El Koshairy M.A.B, El Arabaty A. “The performace of high voltage transmission lines epoxy resins insulators under desert pollution conditions”, International Conference CIGRE, República árabe de Egipto, 1978.
- [21] José Mamani Quenta,” Solución al problema de descargas a tierra (Flashover) de cut-outs en redes aéreas ubicads en zonas de alta corrosión y de alta contaminación” Revista de la Asociación Electrotécnica Peruana Nro. 105, Abril -2005.