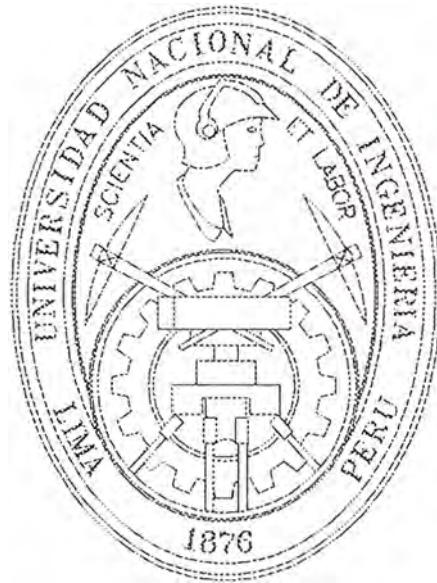


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“FACTIBILIDAD DEL USO DE AISLADORES  
POLIMERICOS EN LAS REDES DE LUZ DEL SUR”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**GARY FRANK ONOFRE APAZA**

**PROMOCIÓN 1999-II**

**LIMA – PERU**

**2006**

## **DEDICATORIA**

*El presente informe es dedicado a mi padre y madre quienes me incentivaron en todo momento para culminarlo.*

# **TABLA DE CONTENIDO**

## **PROLOGO**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

- 1.1. Definiciones Importantes
- 1.2. Tipos, formas y Aplicación de Aisladores
- 1.3. Esfuerzos encontrados en Servicio
- 1.4. Desempeño y Capacidad
- 1.5. Pruebas normalizadas para aisladores
  - 1.5.1. Necesidad de elaboración y uso de Normas
  - 1.5.2. Organizaciones responsables de elaboración de Normas
  - 1.5.3. Normas de aisladores
- 1.6. Comparación entre aisladores de porcelana, vidrio y poliméricos

## **CAPITULO II**

### **TECNOLOGIA DE AISLADORES CERAMICOS**

- 2.1. Aisladores de Porcelana
  - 2.1.1. Tipos
  - 2.1.2. Porcelana dieléctrica
- 2.2. Aisladores de Vidrio
  - 2.2.1. Tipos
  - 2.2.2. Vidrio dieléctrico

## 2.3. Pruebas Normalizadas para Aisladores Cerámicos

### 2.3.1. Pruebas Tipo

### 2.3.2. Pruebas Muéstrales

### 2.3.3. Pruebas de Rutina

### 2.3.4. Resumen

## **CAPITULO III**

### **TECNOLOGIA DE ASLADORES POLIMERICOS**

#### 3.1. Tipos

#### 3.2. Compuesto Dieléctrico

#### 3.3. El Control de esfuerzos

#### 3.4. Pruebas bajo norma de Aisladores Poliméricos

##### 3.4.1. Pruebas tipo

##### 3.4.2. Pruebas Muéstrales

##### 3.4.3. Pruebas de Rutina

## **CAPITULO IV**

### **PARAMETROS DE SELECCIÓN DE AISLADORES**

#### 4.1. Costo y Peso

#### 4.2. Nivel Básico de aislamiento a impulsos de relámpago

#### 4.3. Desempeño bajo contaminación

#### 4.4. Experiencia con aisladores de silicona en zonas de playa

#### 4.5. Inspecciones de mantenimiento

## **CAPITULO V**

### **CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLA EN AISLADORES**

- 5.1. Manipulación
- 5.2. Control de Calidad
- 5.3. Problemas de aplicación
- 5.4. Problema de Contaminación
  - 5.4.1. Fenómeno de descarga en contaminación
  - 5.4.2. Pruebas de contaminación artificial

## **CAPITULO VI**

### **EVALUACION TECNICA ECONOMICA DE LOS AISLADORES CERAMICOS Y POLIMÉRICOS**

- 6.1. Características técnicas de los aisladores poliméricos evaluados por Luz del Sur S.A.A.
- 6.2. Evaluación técnica
  - 6.2.1. Circuitos seleccionados para la instalación
  - 6.2.2. Procedimientos para las mediciones de corriente de fuga
  - 6.2.3. Resultados Obtenidos
- 6.3. Evaluación Económica
  - 6.3.1. Definición de rentabilidad de la inversión
  - 6.3.2. Determinación del período de recuperación de la inversión

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**PLANOS**

**ANEXOS**

## **PROLOGO**

La fabricación y operación de aisladores electromecánicos es una habilidad que ha sido aprendida con la experiencia.

A través de los años, muchas tecnologías de aislamiento y estrategias de mantenimiento han sido usadas en un intento por obtener un tiempo de vida más confiable; algunas de esas técnicas han trabajado muy bien mientras que otras han probado ser sólo marginalmente efectivas. Como la función principal de los aisladores electromecánicos es la de soportar los conductores aéreos; el diseño del aislador comienza examinando las cargas mecánicas previstas en redes energizadas (en servicio). La carga considerada para el diseño es la resultante del peso, de la tensión de los conductores, de la carga que es generada por la temperatura, de la tensión por viento y hielo. Así mismo se debe considerar adicionalmente la carga que ocurre durante una falla en el sistema, siendo ésta agregada al peso del material que está siendo soportado.

La capacidad mecánica de los aisladores proviene de la aproximación determinística o estadística en la cuantificación de las cargas y sus períodos de retorno.

Como la función secundaria de los aisladores electromecánicos es aislar los conductores desnudos de su estructura de soporte, el diseño del aislamiento proviene del examen de los criterios usados para los requerimientos eléctricos que por lo general surgen del nivel de seguridad requerido por el sistema.

También para el diseño de los aisladores electromecánicos se debe considerar las condiciones ambientales de operación. Desde el desarrollo de los sistemas de potencia, el diseño del aislamiento para condiciones de alta contaminación ambiental involucró la modificación del tamaño, espaciamiento y forma individual del aislador para obtener una distancia de dispersión por unidad de longitud tan grande como sea posible manteniendo altas resistencias dieléctricas para evitar perforaciones por impulsos de relámpagos o sobretensiones. A pesar que los parámetros tales como el espacio de las tejadillas, la forma y el diámetro son importantes, la distancia de dispersión se convirtió en el parámetro de diseño más importante y ha sido la clave para obtener el desempeño óptimo.

Desde luego, existen limitaciones en el tamaño, forma y características de formación del vidrio y la porcelana, ocasionando muchos diseños diferentes de aisladores los cuales han sido desarrollados a través de los años para intentar dar a conocer las limitaciones en los procesos del material. Esto produjo diseños tales como el aislador de suspensión fog-bowl (niebla-cuenco) para aplicaciones de distribución, los aisladores de suspensión



aerodinámicos super-fog (superiores para niebla) para uso en sistemas de transmisión y anti-fog para uso en sistemas de distribución, y los aisladores columna con geometrías de tejadillas complejas para aplicaciones de subestación. No obstante, a pesar de las muchas permutaciones de forma y material desarrolladas por los fabricantes, existen muy pocas pautas que gobiernan el diseño de aisladores o aún las expectativas de su desempeño.

En condiciones de contaminación ambiental, la distancia de dispersión queda como principal criterio de selección. Aunque varias guías hacen recomendaciones como la distancia de dispersión requerida para varios niveles de polución, comúnmente hablando, el uso de estas guías conduce a longitudes o diseños de aislamiento poco reales. Existen dos razones para esto; primero, los niveles de polución y los índices de limpieza natural no pueden ser determinados con ningún grado de certeza, y en segundo lugar, la acumulación de contaminación en el aislamiento no es uniforme como se asume en las guías. ***La experiencia con varios diseños en el medio ambiente es aún el modo preferido de determinar el que trabajará mejor.***

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Este capítulo trata sobre los aisladores básicamente para uso en exterior, en el cual se incluyen definiciones importantes encontradas en el uso de estos, se explican brevemente los diferentes esfuerzos encontrados en servicio y se discuten los diferentes tipos de aisladores usados comúnmente.

El volumen de entrega de energía desde las zonas de generación hasta los centros de carga está a cargo en su mayoría por líneas aéreas. Las distancias implicadas podrían extenderse varios miles de kilómetros. Para minimizar las pérdidas, la transmisión de potencia sobre tan largas distancias se lleva a cabo frecuentemente en altos voltajes (varios cientos de kV.) El voltaje se reduce varios kV. en los sistemas de distribución.

Los sistemas secundarios adicionales reducen el voltaje varios cientos de voltios para los consumidores industriales, comerciales y residenciales.

En ciertas áreas urbanas, la estética y la congestión demandan que la potencia sea transmitida por cables subterráneos. Actualmente, la transmisión subterránea es mucho más costosa que la transmisión aérea, por tanto, es de suponer que la entrega de energía por líneas aéreas será el método preferido por muchos más años.

El conductor de línea energizado debe ser fijado físicamente a la estructura de soporte, así mismo, el conductor energizado debe ser aislado eléctricamente de la estructura de soporte ya que dicha estructura es un potencial de tierra. El dispositivo utilizado para desempeñar las funciones duales de soporte y aislamiento eléctrico es el **aislador**.

## 1.1 DEFINICIONES IMPORTANTES

Muchas de las definiciones mencionadas a continuación han sido obtenidas del Diccionario Patrón IEEE de Términos Eléctricos y Electrónicos, el Código Nacional de Seguridad Eléctrica (US) y del documento ANSI C2 de 1997, así como de la norma DGE de Terminología en Electricidad.

**Aislador:** Material aislante diseñado para soportar física y eléctricamente un conductor, separándolo de otros conductores u objetos.

**Aislamiento Externo:** El aislamiento del aire y de las superficies expuestas de los aisladores, que están sujetos a esfuerzos dieléctricos, a los efectos

atmosféricos y otras condiciones externas tales como contaminación, humedad, etc.

**Aislamiento Interno:** El aislamiento interno comprende los elementos internos del aislador que están protegidos de los efectos atmosféricos y otras condiciones externas tales como contaminación, humedad, etc.

**Aislamiento con Auto-restauración:** Aislamiento que recupera completamente sus propiedades aislantes después de una descarga disruptiva. El aislamiento de este tipo es por lo general, aunque no necesariamente, aislamiento externo.

**Aislamiento sin Auto-restauración:** Aislamiento que pierde sus propiedades aislantes, o no las recupera por completo, luego de una descarga disruptiva. El aislamiento de este tipo es por lo general, aunque no necesariamente, aislamiento interno.

**Perforación:** Camino formado a través de un sólido por una descarga que produce un daño permanente. El término también se utiliza como sinónimo de ruptura eléctrica en sólidos.

**Descarga:** Movimiento discontinuo de las cargas eléctricas a través de un medio aislante, que se inicia por avalanchas de electrones y se complementa con procesos secundarios.

**Nivel Básico de Aislamiento a Impulsos de Relámpagos (BIL):** Valor pico de un impulso de relámpago patrón con el cual el aislamiento muestra un 90% de probabilidad de soportarla (10% de probabilidad de falla) bajo condiciones específicas aplicadas por el aislamiento con auto-restauración.

**Nivel Básico de Maniobra a Impulsos de Relámpagos (BSL):** Valor pico de un impulso de maniobra patrón con el cual el aislamiento muestra un 90% de probabilidad de soportarla (10% de probabilidad de falla) bajo condiciones específicas aplicadas por el aislamiento con auto-restauración.

**Distancia de Fuga o de Arco:** Distancia más corta a través del medio circundante entre los electrodos terminales, o la suma de distancias entre los electrodos intermedios, siendo ésta la más corta (Fig. 1.1).

**Longitud de Conexión:** Distancia más corta entre el conductor y la estructura de soporte. Esta incluye la distancia de arco más las dimensiones de la ferretería (Fig. 1.1).

**Distancia de Dispersión o Esgurrimiento:** Suma de las distancias más cortas medidas a lo largo de la superficie aislante entre las partes conductivas (Fig. 1.1).

**Distancia Protegida de Dispersión o Esgurrimiento:** Partes de la superficie del aislador que no están directamente expuestas a elementos

naturales como el sol, viento y lluvia. En aisladores de porcelana y de vidrio los rebordes en la parte inferior del aislador contribuyen a la distancia protegida de dispersión (Fig. 1.1).

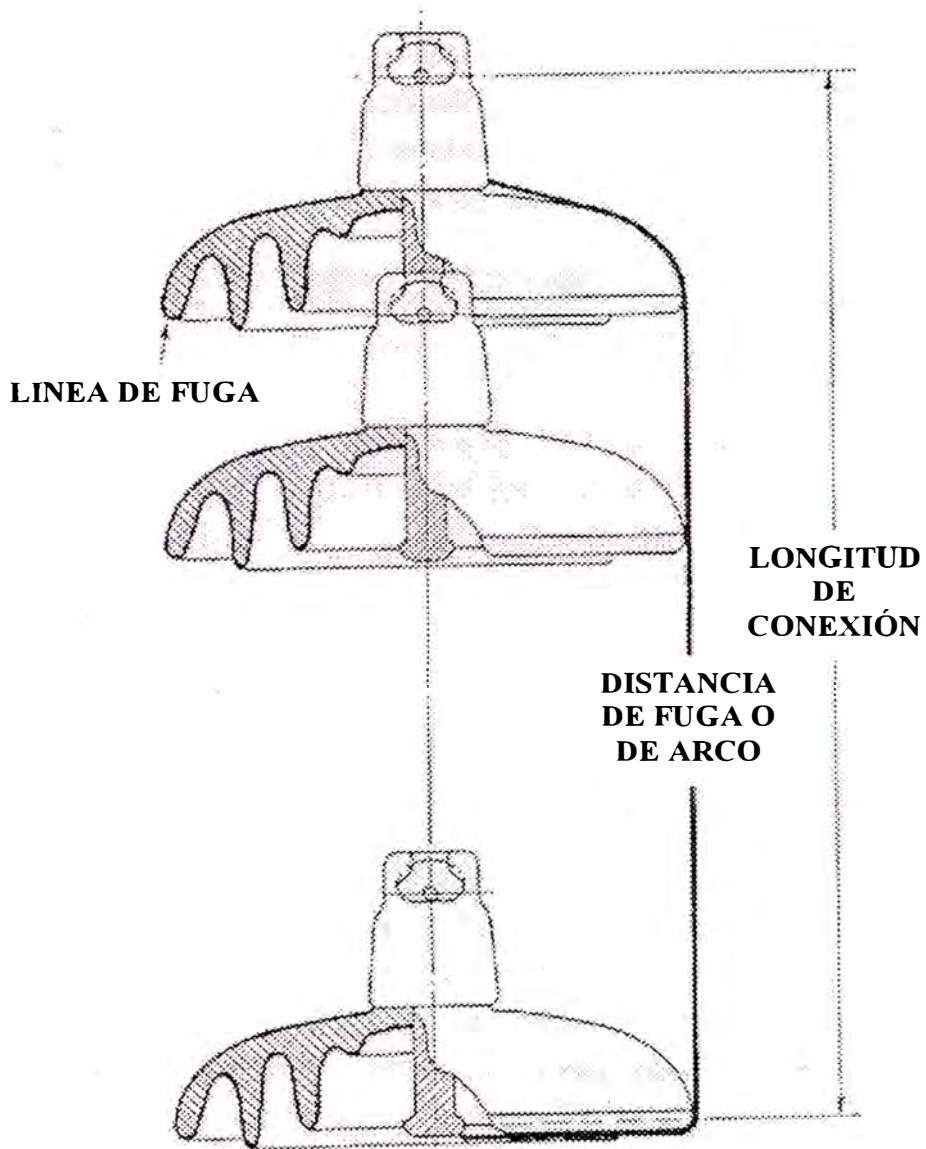


Fig. 1.1. Esquema de un aislador mostrando varios parámetros dimensionales

## 1.2 TIPOS, FORMAS Y APLICACIÓN DE AISLADORES

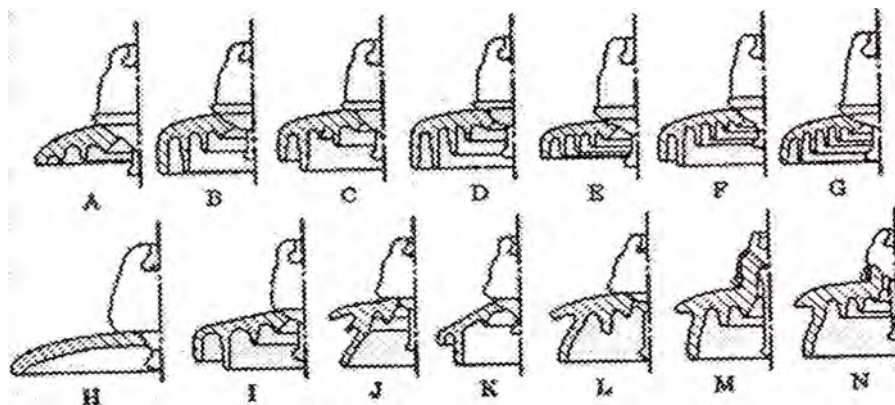
**Tipos:** Actualmente, un aislador es un sistema de componentes que consta del dieléctrico, los electrodos terminales o fijadores-extremos, y las partes internas que ayudan a ajustar el dieléctrico a los electrodos. Existe una completa variedad de detalles de estos componentes y métodos de construcción. Los aisladores son reconocidos ampliamente por el material dieléctrico empleado. Existen tres clases principales de dieléctricos que han sido usados en la construcción de aisladores exteriores: porcelana, vidrio y polímero. Estos materiales son la base de la nomenclatura común de los aisladores de porcelana, de vidrio y poliméricos. Los aisladores de porcelana y vidrio son conocidos también como aisladores cerámicos. Los aisladores poliméricos son también conocidos comúnmente con otros nombres, tales como: compuesto (en Europa) y no-cerámico (en Norte América).

Los aisladores de porcelana y de vidrio han sido usados por más de 100 años. El uso de los aisladores poliméricos empezó en Norte América durante los años '70.

**Formas:** Las descargas debido a ondas están determinadas por la distancia más corta en el aire entre los electrodos de un aislador (distancia de fuga). El voltaje de descarga bajo ondas de relámpago es dependiente de la distancia de fuga y las descargas bajo

condiciones de contaminación son dependientes de la distancia de dispersión o escurrimiento, como se ilustra en la Fig. 1.1.

A fin de incrementar la distancia de dispersión y para ayudar a conservar ciertas partes del aislador secas, es común ver ondulaciones en la parte interna de los aisladores de suspensión ó capucha y pin de porcelana y vidrio. La distancia de fuga y la distancia de dispersión requeridas se obtienen apilando varias unidades, el número dependerá del nivel del voltaje, la severidad de la contaminación y del perfil del aislador. Se han desarrollado muchas formas para los aisladores de porcelana y vidrio como se muestra en la Fig. 1.2, de las cuales las más comunes son las de perfil normalizado tipo niebla (A) y de perfil aerodinámico (C).



**Fig. 1.2. Perfiles desarrollados para los aisladores de porcelana y vidrio.**

Comúnmente son usados el normalizado (A), tipo niebla (C) y aerodinámico (H)

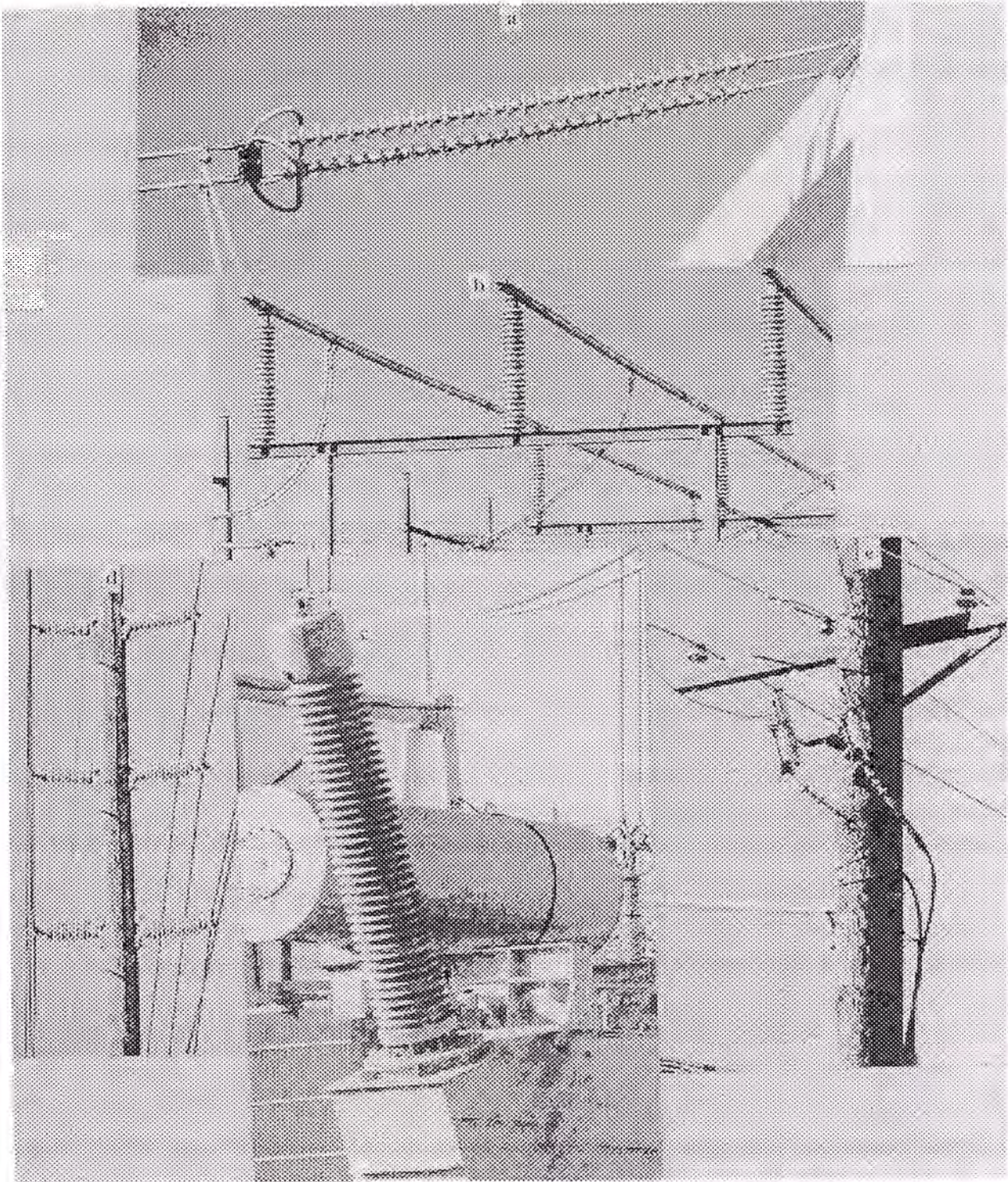


Para aisladores poliméricos, como no presentan electrodos intermedios, la distancia de dispersión requerida puede ser obtenida con formas relativamente simples.

- **Aplicación:** Los aisladores tienen varios tipos de aplicación, por ejemplo algunos son usados para el soporte de líneas aéreas, para el soporte de las barras colectoras en subestaciones de transformación, para la conexión entre los terminales de equipos de medida y transformación y el sistema, para terminaciones de cables subterráneos.

Los aisladores para líneas aéreas a su vez tienen distintos tipos de aplicaciones dependiendo de la función que desempeñen. Los aisladores usados para suspender el conductor aéreo desde la estructura son conocidos como aisladores de suspensión, los aisladores usados en estructuras donde las líneas terminan o se originan, o donde la dirección de la línea cambia, son conocidos como aisladores terminales (en Norte América) y aisladores de tensión o anclaje (en Europa y en otras partes). Los aisladores de suspensión y anclaje son montados en crucetas conectadas al poste. La Fig. 1.3 ilustra el uso de aisladores en varias aplicaciones.





**Fig. 1.3: Fotografías de aisladores de porcelana anclaje (a) y columna para subestación, bushing de porcelana para aparatos (c), columna de porcelana para línea (d) y anclajes poliméricos para cable.**



### 1.3 ESFUERZOS ENCONTRADOS EN SERVICIO

Los aisladores aéreos están sujetos a una variedad de esfuerzos, entre ellos los esfuerzos mecánicos, eléctricos y del medio ambiente. Estos esfuerzos actúan al mismo tiempo. La naturaleza y magnitud exactas de estos esfuerzos varían significativamente y dependen de los detalles de diseño, aplicación y ubicación del aislador. Por ejemplo, los aisladores de suspensión y anclaje encuentran una carga de tensión debido al peso y tensión del conductor. El aire y el hielo imponen una carga adicional. Adicionalmente pueden generarse condiciones de carga transitorias, cargas de torsión durante la construcción de dicha línea, cargas de vibración impuestas debido a la vibración y al movimiento del conductor, cargas de choque (o impacto) son posibles durante eventos naturales como temblores, avalanchas, o eventos generados por el hombre como el impacto de vehículos en postes, y vandalismo (disparos).

Los esfuerzos eléctricos incluyen los esfuerzos de estado estable impuestos por la frecuencia de potencia nominal del voltaje de operación. Las ondas de voltaje generadas por relámpagos u operaciones de maniobra imponen un alto, aunque, momentáneo esfuerzo en el aislador. En caso de ocurrir una descarga en el aislador, éste estaría sujeto a una extensa falla de corriente (varios kA.) a la frecuencia de potencia, formándose un arco denominado arco eléctrico. Este arco eléctrico se mantiene hasta que la protección aísla la falla.

Las condiciones ambientales exteriores varían sobre un amplio rango. La temperatura afecta las propiedades de aislamiento de todos los materiales como el incremento de la conductividad. La humedad, en alguna de sus formas (lluvia, rocío, niebla, hielo derretido y nieve), disminuye significativamente la resistencia de aislamiento de la superficie con respecto a un estado seco. En presencia de contaminación, la resistencia de la superficie se reduce aún más drásticamente. La altitud o la elevación sobre el nivel del mar afecta las propiedades de aislamiento reduciendo la densidad del aire, en consecuencia, debilitan la resistencia de aislamiento de la superficie. Estos esfuerzos podrían actuar en diferentes combinaciones sobre los aisladores. De aquí se explica que los aisladores deben trabajar bajo un amplio rango de condiciones de servicio. Está de más decir que sólo los aisladores, diseñados para tomar todos estos esfuerzos en cantidad, trabajarán satisfactoriamente en el campo por muchos años.

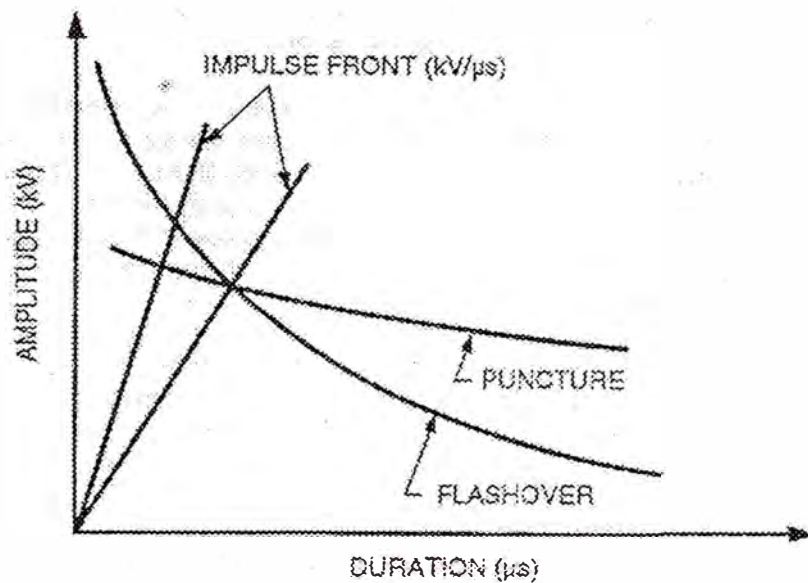
#### 1.4 DESEMPEÑO Y CAPACIDAD

- **Desempeño:** El material dieléctrico del aislador es ampliamente responsable del desempeño eléctrico del aislador. Esto es importante para diferenciar las propiedades volumétricas o másicas de las propiedades superficiales. La resistencia dieléctrica volumétrica está determinada por los defectos en la forma de las impurezas y vacíos. Estos defectos provocan zonas de concentración de esfuerzos eléctricos que podrían derivar en la formación de rutas permanentes de fallas dentro del dieléctrico.

La resistencia dieléctrica superficial está determinada ampliamente por los sedimentos y humedad superficial.

Bajo condiciones secas, se obtiene una alta resistencia superficial. Sin embargo, en presencia de humedad, los valores de resistencia superficial disminuyen su magnitud, y disminuyen aún más en presencia de contaminantes iónicos en la superficie.

La falla de un aislador por descarga superficial o perforación, dependerá de la magnitud y duración del esfuerzo eléctrico aplicado, las dimensiones del aislador y de los defectos del material. Una falla por perforación ocurrirá en el punto donde la curva voltaje-tiempo de la descarga superficial intercepte la de falla interna, como se muestra en la Fig. 1.4. Las fallas requieren la formación de un canal ionizado, y este canal se establecerá dentro de la duración del voltaje aplicado. Si el aislador es defectuoso (por ejemplo, con amplios vacíos o impurezas), puede perforarse debido a pulsos extremadamente cortos en duración y grandes en magnitud. Tanto las ondas de relámpago como las de maniobra pueden causar descarga si tienen la magnitud adecuada, aún en condiciones secas. Los esfuerzos de larga duración, tales como los impuestos por la frecuencia de potencia, no generan perforación.



**Fig. 1.4: Relación entre la perforación y la descarga de un aislador de suspensión**

El desempeño mecánico de los aisladores aéreos está determinado por todos los componentes principales del aislador, incluyendo el dieléctrico, los fijadores en los extremos y los detalles de enganche interno del dieléctrico con los fijadores en los extremos. Las fallas en el desempeño mecánico del aislador provocan la caída de los conductores. Este tipo de falla en un aislador no es aceptable ya que provoca una interrupción de energía prolongada, posibles daños y averías.

- **Capacidad:** Desde que los aisladores desempeñan funciones mecánicas y eléctricas, son identificados por una combinación de capacidades mecánicas y eléctricas (M y E). Las capacidades M y E están definidas como la carga mecánica a la cual el aislador falla en el desarrollo de sus funciones eléctricas y mecánicas (cuando esfuerzo y voltaje son aplicados simultáneamente).

Es normal diseñar el aislador de manera que las cargas continua y máxima que experimente no excedan el 20% y el 50% de las capacidades M y E respectivamente. Las normas internacionales requieren que todas las unidades de los aisladores de suspensión sean probadas rutinariamente con un 50% (por el Instituto Nacional Americano de Normas – ANSI) o un 60% (por la Comisión Internacional Electrotécnica – IEC) del valor de la carga M y E durante 10 segundos.

Los aisladores poliméricos son calificados según su Carga Mecánica Específica (SML), que está definida por el fabricante como la carga de tensión específica y que debe ser verificada durante una prueba de carga mecánica. La relación entre la capacidad M y E o la capacidad SML (carga continua, carga máxima y carga de prueba rutinaria) a la que todos los aisladores están sujetos se muestra en la Fig. 1.5.



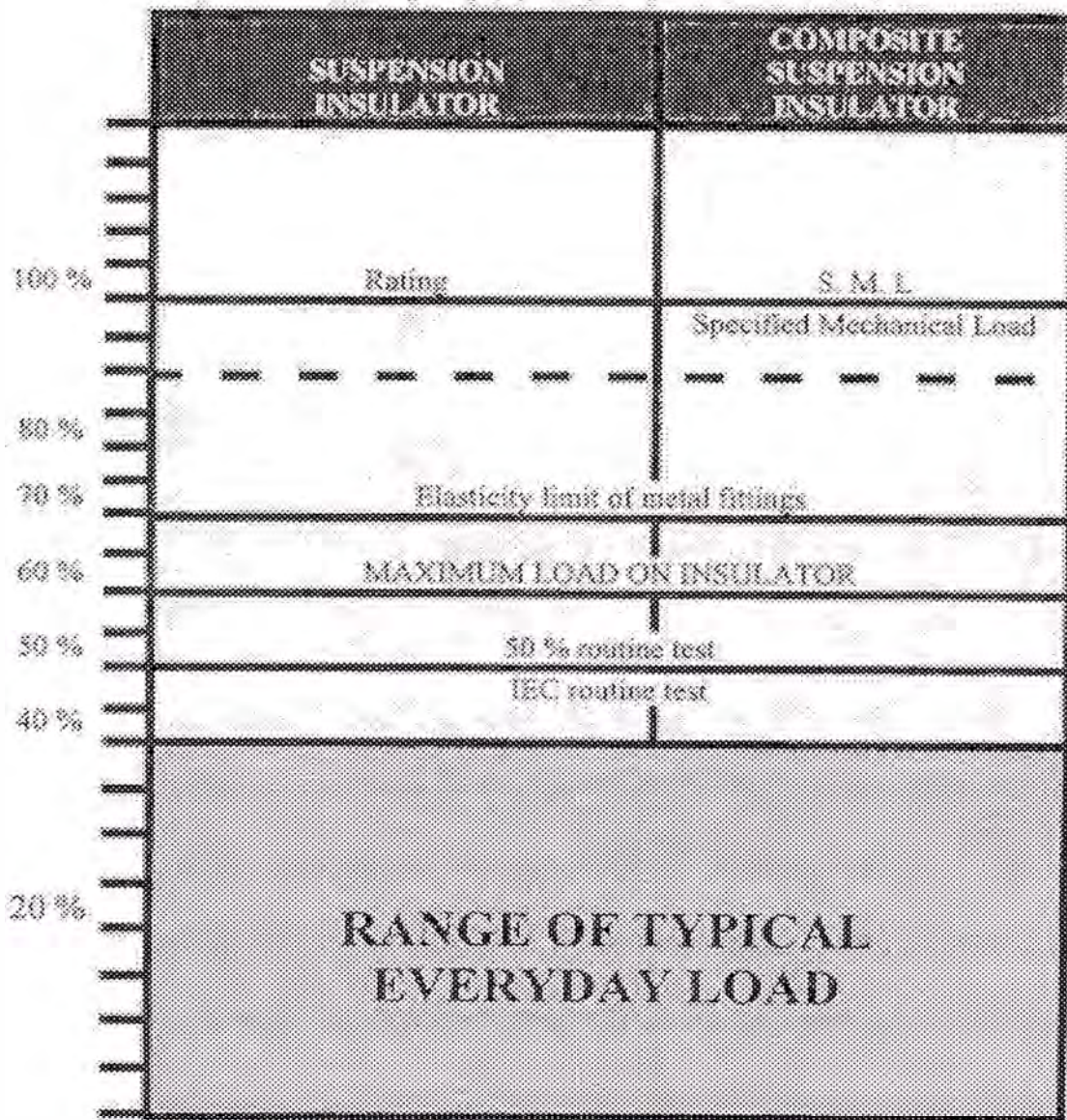


Fig. 1.5: Esquema que muestra la relación de las capacidades M y E/SML con las cargas diaria, máxima y de prueba rutinaria

## 1.5 PRUEBAS NORMALIZADAS PARA AISLADORES

### 1.5.1 De elaboración y uso de normas

A fin de asegurar que los aisladores exteriores trabajarán satisfactoriamente en servicio bajo varios esfuerzos, necesitarán ser probados antes de su instalación. Las pruebas en el aislador involucran el uso de fuentes eléctricas y mecánicas y equipo de



monitoreo sensible. Las pruebas son conducidas con mayor efectividad en un laboratorio adecuado, que ofrezca un medioambiente seguro, bien definido y controlado, así como pueden también proporcionar las bases para el diseño óptimo del aislamiento, desarrollo de materiales y diseños superiores para el aislador, y conocimientos científicos de los mecanismos de falla del aislador.

### **1.5.2 Organizaciones Responsables de Elaboración de Normas**

En Norte América, la ANSI (Instituto Nacional Americano de Normas) y la CSA (Asociación de Normas Canadiense) son las primeras organizaciones que desarrollaron normas para aisladores. En Europa, la IEC (Comisión Internacional Electrotécnica) es la primera organización que dirigió el desarrollo de normas. Es usual que dichas organizaciones compartan información en el desarrollo de normas. En consecuencia, existen muchas más similitudes que diferencias en los documentos de normas producidos por dichas organizaciones.

Dentro de la ANSI, el comité C29 es responsable de las normas para aisladores. La cantidad deseable de miembros del comité es aquella que tenga la representación adecuada entre los usuarios de aisladores, fabricantes y personal de investigación y de pruebas en laboratorio. Sin embargo, a través de los años por varias razones, la cantidad de miembros ha sido dominada por los fabricantes. Lo mismo es por lo general cierto en la organización IEC. Debido a esta

situación, existen a veces insuficientes aportes de los usuarios e investigadores en el desarrollo de estas normas. Esto podría dar como resultado situaciones en las que las normas son mucho más apropiadas para valores específicos que para usos generales o universales. Por lo tanto, dependiendo de la situación, pruebas adicionales pueden ser necesarias para asegurar que los aisladores trabajarán satisfactoriamente en un medioambiente específico de uso.

### **1.5.3 Normas de Aisladores**

Existe una gran cantidad de normas para los aisladores de porcelana y vidrio. Los usuarios sólo necesitan especificar el número relevante del documento de norma para asegurar el acatamiento de varias características importantes tales como la distancia de dispersión, distancia de arco, longitud de conexión, etc.

Para aisladores poliméricos este nivel de normalización no existe actualmente. El método de enganche de la ferretería a la varilla, línea y estructura, los materiales de la envoltura, forma de la tejadilla y el espaciamiento, son diferentes entre los fabricantes, consecuentemente la distancia de dispersión, longitud de conexión y distancia de arco pueden ser diferentes entre los fabricantes. Esto conlleva a realizar una evaluación previa cada vez que se requiera reemplazar un aislador de un fabricante a otro.

Para aisladores de porcelana y vidrio, las reglas para la selección de aisladores hechos de estos materiales son idénticas. En las normas del aislador, la mayoría de pruebas son aplicables tanto a la porcelana como al vidrio. Sin embargo, existen ciertas diferencias, que surgen de las propiedades fundamentales de la porcelana y el vidrio así como del proceso por el cual hayan sido hechos. Esto ha traído como resultado ciertas pruebas que son específicas para porcelana y vidrio.

## **1.6 COMPARACIÓN ENTRE AISLADORES DE PORCELANA, VIDRIO Y POLIMÉRICO**

Los aisladores de porcelana y de vidrio son conocidos por poseer una alta resistencia al calor debido a la actividad de descargas eléctricas en forma de arcos, coronas y reacciones químicas encontradas durante el servicio. Su alta estabilidad es debido a las fuertes uniones electrostáticas entre la infinidad de átomos del material. Este atributo también le imparte un elevado valor de energía libre en la superficie, siendo esta una cantidad termodinámica que determina la resistencia de adhesión de la superficie con el agua. En pocas palabras, la porcelana y el vidrio se vuelven a humedecer fácilmente con el agua. Es por ello que los aisladores hechos con estos materiales necesitan tener una distancia de dispersión suficiente y formas complicadas a fin de retener una alta resistencia superficial bajo condiciones ambientales de humedad y contaminación.

La porcelana y el vidrio son materiales densos, de aquí que los aisladores hechos con estos materiales son pesados.

Son materiales frágiles, por ello tales aisladores necesitan ser manipulados con mucho cuidado para evitar fracturas.

Las envolturas o tejadillas para intemperie de los aisladores poliméricos, están hechas de materiales orgánicos, principalmente hidrocarburos. Los materiales orgánicos, en comparación con la porcelana y el vidrio inorgánicos, tienen uniones electrostáticas débiles que pueden romperse fácilmente, por tanto, los aisladores poliméricos están más propensos a deteriorarse por el calor generado en actividades de descarga eléctrica, reacciones químicas y de elementos naturales como los rayos solares, humedad, temperatura, etc. Es por ello que los aisladores poliméricos pueden sufrir con el tiempo una reducción en las propiedades eléctricas y mecánicas, siendo estos cambios irreversibles.

Envejecimiento, es el término usado para describir estos cambios permanentes e irreversibles. Todos los materiales sufren envejecimiento, aunque en diferentes magnitudes. Como los materiales orgánicos son más susceptibles a cambios debido al medioambiente y esfuerzos aplicados, es más común hablar de envejecimiento en los aisladores poliméricos que en los aisladores de porcelana y vidrio. Sin embargo, debería mencionarse que aún los aisladores de porcelana y vidrio están sujetos a envejecimiento.

Cuando las uniones químicas en los hidrocarburos se rompen, se genera la liberación de carbono, que es conductor aún en estado seco. Esto es, obviamente, indeseable. La formación de rutas conductoras carbonosas en la superficie de los materiales poliméricos se denomina arrastre (tracking).

Los materiales poliméricos pueden ser formulados de manera que el carbono sea físicamente desalojado de la superficie o removido en forma de productos gaseosos, tales modos de remoción de carbono originarán pérdida de material, lo cual se denominó erosión. La erosión es un modo de degradación mucho menor que el arrastre. De aquí que la resistencia al arrastre y a la erosión de los materiales es un aspecto extremadamente importante en los aisladores poliméricos.

Debido a la naturaleza débil de las uniones electrostáticas, los materiales orgánicos tienen mucha menor energía libre en la superficie, de aquí que no sean fácilmente humedecidos por el agua. En efecto, en los nuevos aisladores poliméricos, el agua usualmente forma pequeñas gotas individuales en vez de una película continua. Esta propiedad de repelencia al agua es denominada hidrofobicidad. Esta resistencia a la humedad del agua es deseable tanto como se incrementa la resistencia superficial del aislador bajo condiciones de humedad y contaminación.

## CAPITULO II

### TECNOLOGIA DE AISLADORES CERAMICOS

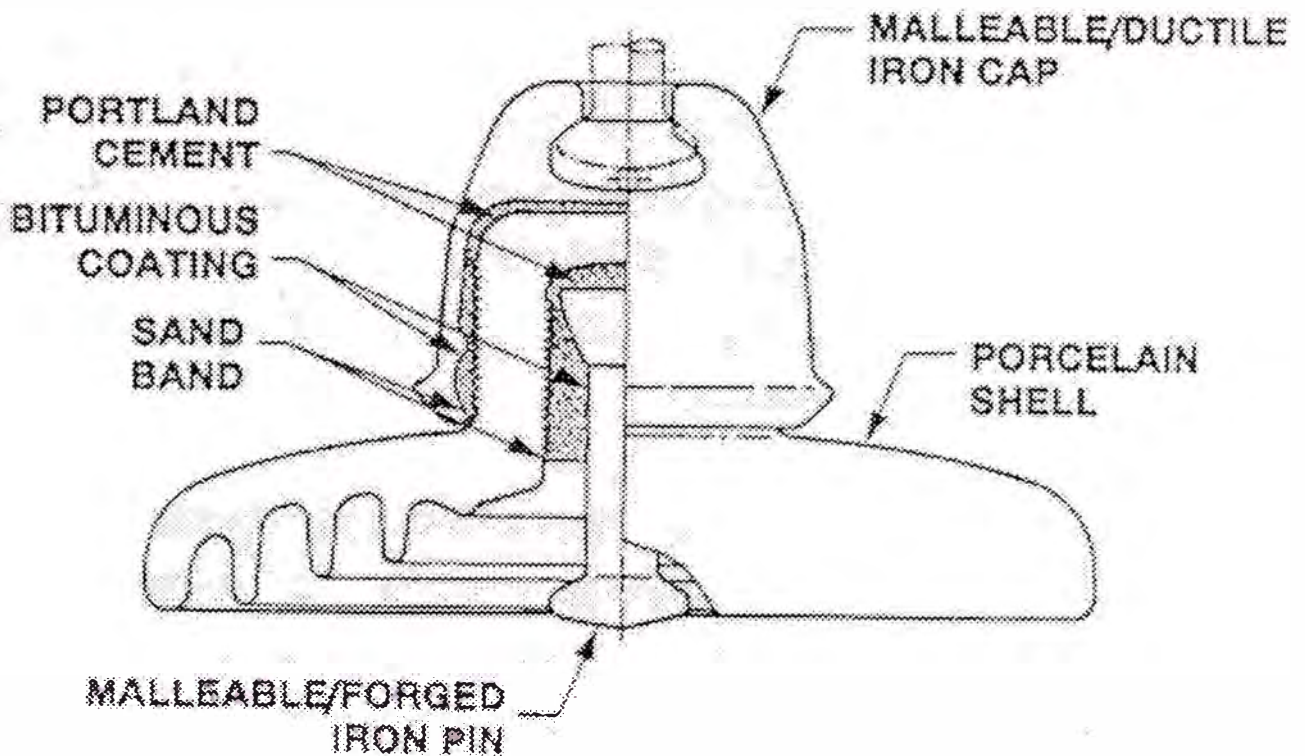
#### 2.1 AISLADORES DE PORCELANA

Existen 5 tipos básicos de fabricación de la porcelana que se usan en aisladores aéreos. En Norte América, el cuarzo o porcelana de baja resistencia y la alúmina o porcelana de alta resistencia, son usados en aisladores de baja y de alta resistencia respectivamente. En Alemania, se usan los aisladores de esteatita y alúmina, y en Japón, se usa principalmente el de porcelana cristobalite.

##### 2.1.1 Tipos de diseño

##### a) *Aisladores de Suspensión de Porcelana*

Desde su introducción en 1909, el aislador de suspensión ha sido aplicado universalmente para el soporte mecánico y el aislamiento eléctrico de líneas aéreas. El diseño del aislador de suspensión es ilustrado en la Fig. 2.1.

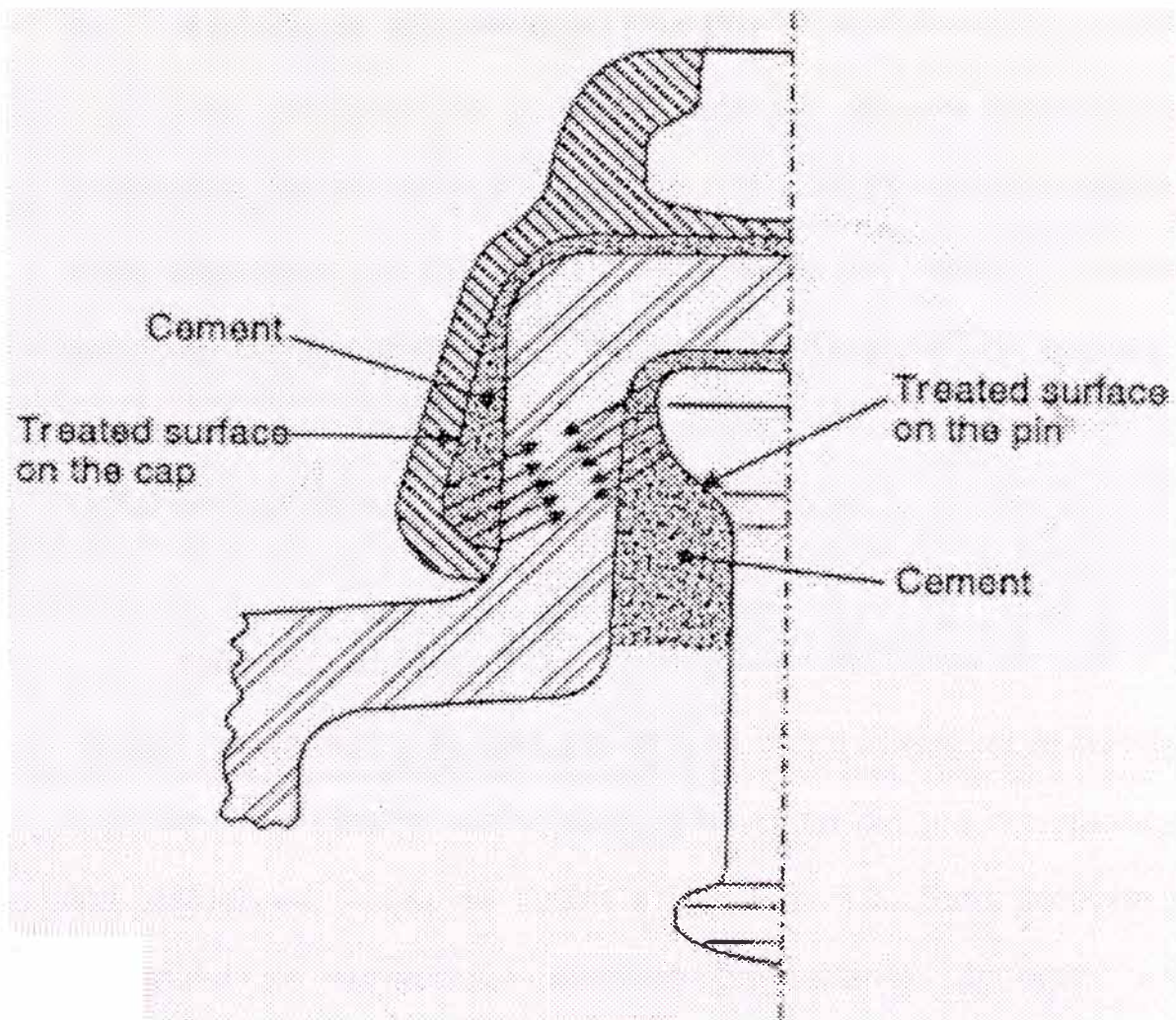


**Fig. 2.1. Diseño de un aislador de suspensión de porcelana**

Los componentes esenciales en el diseño son un casco de porcelana cocida, ferretería consistente en una capucha de hierro galvanizado maleable o dúctil y un pin de hierro forjado o maleable, unidos por un mortero de cemento Pórtland.

Con el labrado de la capucha y el pin, la tensión mecánica en el aislador es transformada en cargas cortantes y de compresión aplicadas a la porcelana dieléctrica (ver Fig. 2.2). Puesto que la fractura por resistencia a la compresión de la porcelana es aproximadamente 10 veces su fractura por resistencia a la tensión, el diseño utiliza porcelana para su máxima resistencia ventajosa.





**Fig. 2.2. Diseño mecánico de un aislador de suspensión de porcelana**

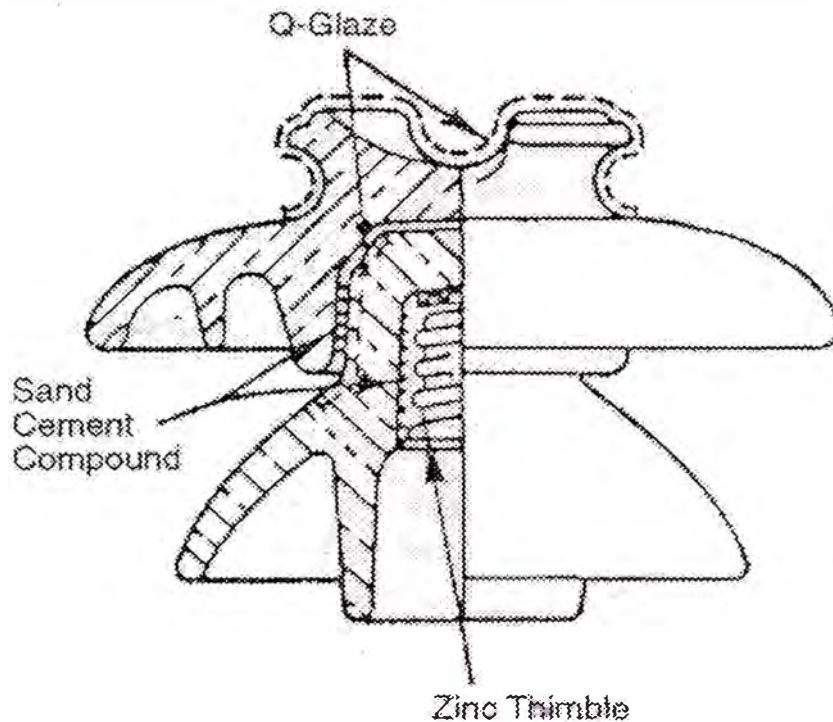
En aplicación para líneas de Alta tensión (mayores a 30 KV.), los aisladores de suspensión generalmente son acoplados en serie para formar cadenas que son usadas individualmente o en paralelo si se requieren altas resistencias. Los requerimientos de aislamiento eléctrico establecen la longitud de cadena mientras que los requerimientos de resistencia mecánica imponen la resistencia individual del aislador y el número de cadenas paralelas.



**b)    *Aisladores de Porcelana tipo Pin***

Los aisladores de porcelana tipo pin de una pieza o varias piezas son hechos de manera similar a los aisladores de suspensión. Para aisladores utilizados en alta tensión, un vidriado conductivo conocido comúnmente como “Vidriado-Q” (“Q-glaze”) es aplicado en la parte superior de la sección para elevar los niveles de interferencia radial encima de su voltaje normal de operación.

Este vidriado está hecho por adición de óxido de hierro a la mezcla de vidriado y es aplicado al área sobre la que va el conductor y el canal del alambre de amarre, al hoyo del pin y a las uniones de los aisladores, como se ilustra en la Fig. 2.3. Esto produce una superficie de conducción eléctrica permanente, uniforme y lisa después de la cocción. La difusión del elemento conductor por todo el vidriado en las áreas tratadas les proporciona un brillo metálico a dichas áreas.



**Fig. 2.3. Diseño de un aislador de porcelana tipo pin**

El cemento que se usa comúnmente en aisladores de porcelana tipo pin es el cemento Pórtland normal tipo I.

### **2.1.2 Porcelana Dieléctrica**

Las propiedades eléctricas de la porcelana dependen de ciertos parámetros, que incluyen la composición, espesor, condiciones superficiales y temperatura. Sin embargo, el espesor es el más afectado en la fractura de la resistencia del dieléctrico. La fractura de la resistencia del dieléctrico se incrementa exponencialmente con el incremento del espesor de muestra.

Debido a que la materia prima es heterogénea y a pesar del proceso de mezclado en humedad, los vacíos o formas irregulares

están siempre presentes en la porcelana. Algunos de estos vacíos son creados debido a la presencia de materiales orgánicos en los materiales de relleno de cuarzo. Normalmente, la resistencia eléctrica de la porcelana disminuye en tanto aumenten las porosidades.

La porcelana de cuarzo contiene una gran cantidad de granos de cuarzo no disueltos y con mucha frecuencia se encuentran rajaduras periféricas entre la parte lustrosa y los granos de cuarzo. De forma similar, la porcelana de alúmina contiene rajaduras entre la parte lustrosa y los granos de alúmina. Estas rajaduras son los puntos de partida de rajaduras más amplias las cuales contribuyen a reducir la resistencia a la perforación. Debido a la alta temperatura de cocción, la porcelana cristobalite contiene muy pocos defectos, sin incluir la de los poros, dentro de su micro-estructura. Tanto los granos de cuarzo y de cristobalite son lo suficientemente pequeños que no presentan rajaduras periféricas.

Las rajaduras que se introducen durante la etapa de la arcilla verde, durante el torneado por ejemplo, son generalmente más grandes que los defectos y contribuyen a la reducción de la resistencia a la perforación. Adicionalmente, las fallas introducidas en el dieléctrico durante el ensamble también hacen disminuir en gran cantidad la resistencia a la fractura. Comúnmente hablando, **son los**

**defectos en la porcelana cocida los que reducen drásticamente la resistencia dieléctrica.**

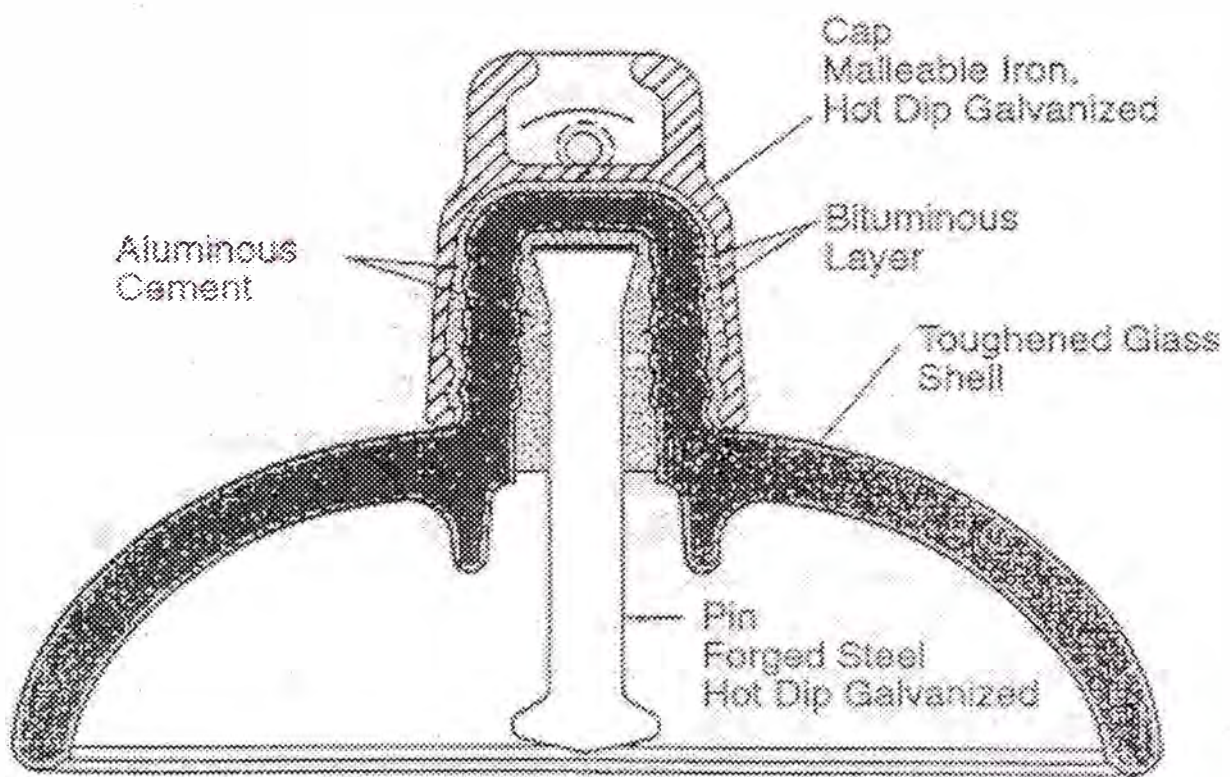
## **2.2 AISLADORES DE VIDRIO**

### **2.2.1 Tipos de diseño**

#### **a) *Aislador de Suspensión de Vidrio***

Los componentes esenciales del aislador de suspensión de vidrio incluyendo la capucha, el pin, el vidrio dieléctrico, y el cemento se colocan como se muestra en la Fig. 2.4. De manera similar al diseño del aislador de suspensión de porcelana, la parte superior del pin es ahusada en un ángulo que haga juego cercanamente con la inclinación de la parte inferior del lado interior de la capucha. De este modo, cuando el aislador está bajo carga de tensión la porción ahusada del pin transmite fuerza a toda la capa de cemento hacia la pared interna de la capucha que proporciona la fuerza restringente. La fuerza de tensión puede ser descompuesta en una fuerza de compresión a través del dieléctrico y una pequeña componente de tensión o corte a lo largo de la porción con rebordes del casco. El diseño del aislador de suspensión de vidrio es ventajoso en que la resistencia mecánica del vidrio es mucho mayor en compresión que en tensión.

El aislador de suspensión de vidrio es un diseño bastante efectivo para carga constante sin embargo también tiene la habilidad de distribuir cargas cíclicas que pueden generarse debido a cargas de viento y hielo en líneas aéreas.

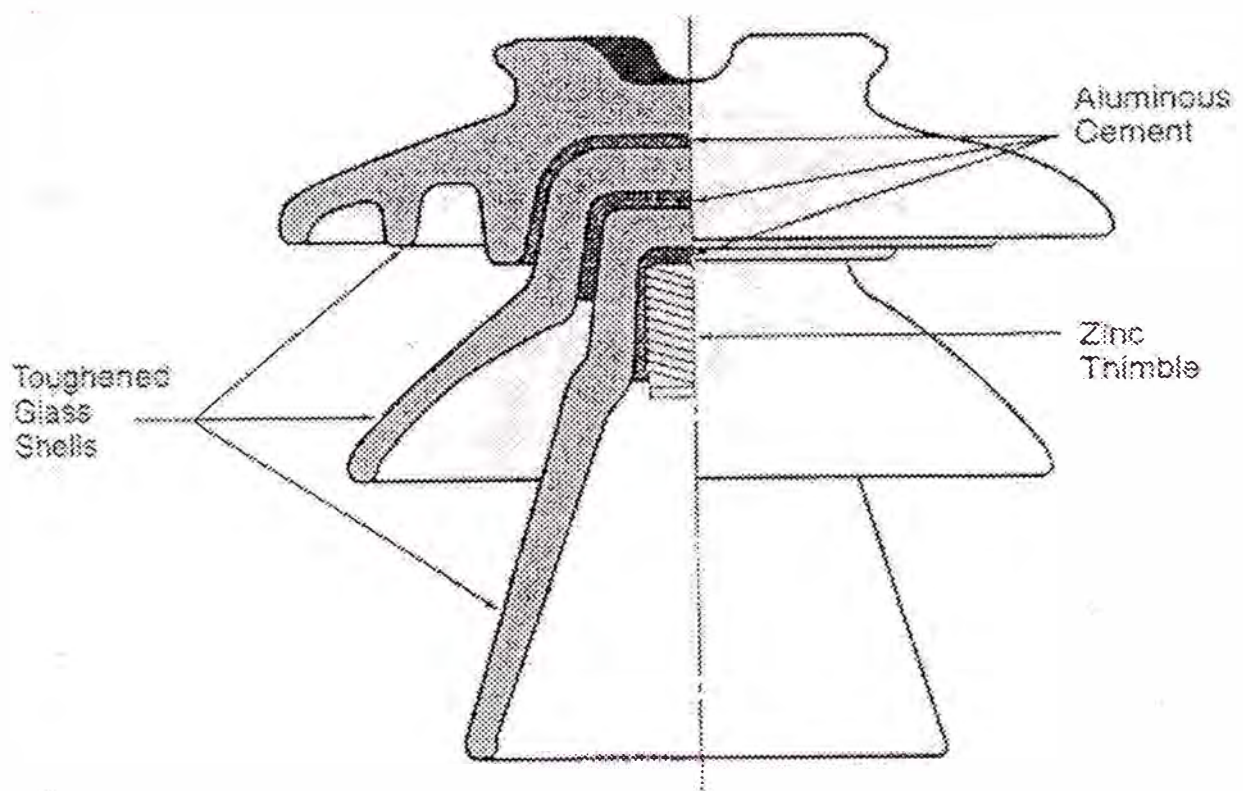


**Fig. 2.4. Diseño de un aislador de suspensión de vidrio**

### **b) Aisladores Tipo Pin de Vidrio**

Los aisladores tipo pin hechos de vidrio se usan comúnmente en todo el mundo. El aislador tipo pin de una pieza consiste en un casco de vidrio endurecido con una sección superior formada con una montura para sostener el conductor, y con un canal alrededor del lado exterior para

mantener el alambre de amarre en su lugar. Un manguito de zinc está cementado dentro de la parte superior del casco de manera que el aislador pueda ser atornillado en un pin de acero. Los aisladores de 2 y 3 piezas son cementados en conjunto usando cemento aluminoso, tal como se ilustra en la Fig. 2.5. Estos aisladores tipo pin son usados encima de los 35kV.



**Fig. 2.5. Aislador tipo-pin hecho de vidrio**

### **2.2.2 Vidrio Dieléctrico**

Aunque varias definiciones del vidrio son usadas para describir las propiedades físicas, mecánicas o químicas desde un punto de vista dieléctrico, el vidrio puede ser considerado



como un electrolito en el cual la principal carga es tomada desde los componentes alcalinos NaO y KOH. Los iones álcali Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> elevan la constante dieléctrica, el factor de potencia dieléctrico y la conductividad del vidrio. En operación con tensión continua (DC) los pequeños iones Na<sup>+</sup> migrarán a través de canales del sistema de sílice. El mismo proceso ocurre con los grandes iones K<sup>+</sup>, pero a valores más bajos. La migración es un proceso lento que se incrementa con la temperatura. El resultado de la migración es la acumulación de metal álcali en el cátodo y desarrollo de oxígeno en el ánodo lo cual en esencia es hidrólisis. En áreas con polución, particularmente a lo largo de la costa, la conducción iónica en el vidrio dieléctrico puede elevarse y destrozarse los cascos.

El flujo de corriente DC a través del vidrio dieléctrico genera dos efectos en el material. En primer lugar, en los granos, piedras y cordones que a veces se encuentran en el vidrio, puede ocurrir una acumulación de iones y su consecuente neutralización con iones de oxígeno que se manifiesta en un aumento de volumen, con lo cual se origina un esfuerzo mecánico localizado. En segundo lugar, la conducción iónica en una zona angosta puede derivar en fugas térmicas.

En cualquiera de los dos casos, se produciría la destrucción del vidrio dieléctrico.

### **2.3 PRUEBAS NORMALIZADAS PARA AISLADORES CERÁMICOS**

La variedad de pruebas desempeñadas en los aisladores pueden ser divididas en varias categorías. Algunas pruebas llamadas pruebas tipo, son desempeñadas para verificar las características principales de un aislador. Estas dependen principalmente del diseño del aislador y usualmente son realizadas en un pequeño número de muestras en un nuevo diseño o proceso de fabricación del aislador y luego subsecuentemente repetida sólo cuando el diseño, material o proceso de fabricación sea cambiado. Estas pruebas son consideradas válidas para todos los aisladores del mismo diseño, que usen los mismos materiales y métodos de fabricación.

Otra categoría de pruebas es llamada pruebas muestrales. Las pruebas muestrales son desempeñadas para verificar las características del aislador que pueden variar con el proceso de fabricación y la calidad de materiales componentes de los aisladores. Las pruebas muestrales son usadas como pruebas de aceptación en una muestra de los aisladores tomado al azar de un lote. Algunas pruebas son desempeñadas en todo y en cada aislador. Estas pruebas son llamadas pruebas rutinarias, y estas son desempeñadas para eliminar aisladores con defectos de fabricación. Estas pruebas son realizadas durante el proceso de fabricación.



Las pruebas tipo, muestrales, y rutinarias envuelven pruebas eléctricas así como mecánicas. Aunque el aislador desempeña funciones eléctricas y mecánicas simultáneamente durante el servicio, desde el punto de vista de las pruebas, es conveniente hacer dichas pruebas por separado para las funciones eléctricas y mecánicas. Sin embargo, existen algunas pruebas, como la prueba electro-mecánica (sólo para aisladores de porcelana) que requieren una combinación de aportes eléctricos y mecánicos durante la misma prueba.

Es así que sometiendo los aisladores a estas pruebas se logra un compromiso representativo y aceptable entre la conveniencia de las pruebas y los aspectos importantes de simulación del servicio actual.

### **2.3.1 Pruebas Tipo**

Las siguientes pruebas tipo están estandarizadas: Prueba de Carga de Falla Electromecánica, Prueba de Carga de Falla Mecánica, Prueba Termomecánica, Prueba de Impulso en Seco, Prueba de Resistencia a la Humedad, y Verificación de Dimensiones.

Las cargas que causan fallas en las pruebas anteriores se espera que sean significativamente más altas que el máximo valor experimentado en servicio. La diferencia entre las cargas de falla en estas pruebas y las cargas máximas de servicio es el margen de seguridad o factor de seguridad.

- **Prueba de Carga de Falla Electromecánica:** la prueba electromecánica fue desarrollada para determinar la carga máxima de tensión que puede ser aplicada en un aislador energizado. El aislador es energizado durante toda la prueba. La magnitud del voltaje usado es el voltaje de resistencia a la humedad especificado de un cadena corta de aisladores dividido entre el número de campanas usadas en dicha cadena. La ocurrencia de una descarga eléctrica interna (perforación) o la separación mecánica del aislador constituyen la falla de la prueba. El valor medio de la carga mecánica a la cual ocurre la falla en la prueba no debería ser más bajo que la carga electro-mecánica o mecánica especificada por el fabricante.
- **Prueba de Carga de Falla Mecánica:** esta prueba es desempeñada para determinar el valor de la carga mecánica que causa la falla mecánica en el aislador. Se considera que el aislador ha pasado la prueba si la carga de falla mecánica especificada es alcanzada sin generar la falla mecánica del componente aislante. El aislador no es energizado durante esta prueba.
- **Prueba Termomecánica:** esta prueba es desempeñada para asegurar que no existe movimiento de la ferretería del aislador.

En aisladores de porcelana, la ferretería (capucha y pin) está recubierta con una capa bituminosa para prevenir la corrosión de dicha ferretería al estar en contacto con el cemento. Es importante que dicha capa se mantenga intacta en un entero rango de temperaturas que podrían ser vistas en servicio. En esta prueba, las unidades aisladoras son tensionadas a 60-65% de la carga de falla electromecánica o mecánica especificada y luego sometidas a una variación de temperatura a partir de  $-35^{\circ}\text{C}$  a  $45^{\circ}\text{C}$  por un total de 96 horas.

- **Prueba de Impulso de Relámpago Seco:** esta prueba es desempeñada para asegurar que los aisladores soportan el nivel de impulso de voltaje especificado, el cual depende de la distancia de fuga o arco. El propósito es asegurar que los aisladores no descarguen para valores de impulso de voltaje por debajo del BIL para el cual hayan sido diseñados, y que no existan perforaciones debido a impulsos de relámpagos. Esta prueba es desempeñada en condiciones secas, ya que la lluvia tiene influencia insignificante en el voltaje de descarga por impulso de relámpago. El nivel de impulso de voltaje está determinado por los requerimientos de coordinación del aislamiento. Los aisladores son probados por 10 impulsos para cada polaridad, positiva y negativa. El voltaje de descarga podría ser diferente para ambas polaridades. De aquí la

importancia de probarlos en cada polaridad para determinar el valor más bajo del voltaje de descarga.

- **Prueba de Resistencia a la Humedad:** Puede esperarse que el voltaje de descarga del aislador durante la lluvia sea más bajo que el valor obtenido bajo condiciones secas debido a los efectos combinados de la superficie del aislador húmeda y la caída de gotas de lluvia que podrían generar un puente a través de la brecha de aire entre las unidades o campanas. La cadena de aisladores debería ser capaz de soportar bajo condiciones húmedas un voltaje que es significativamente más grande que los valores de voltaje nominales del aislador.
- **Verificación de Dimensiones:** esta prueba es desempeñada para asegurar que las dimensiones de los aisladores probados están de acuerdo con sus dimensiones especificadas.

### **2.3.2 Pruebas Muestrales**

Las siguientes pruebas muestrales se encuentran estandarizadas: Prueba de Resistencia a la Perforación, Prueba de Porosidad, Prueba de Galvanizado, Prueba de Golpe Térmico, Prueba de Ciclo de Temperatura, Verificación de Desplazamientos, y Verificación de Sistemas Cerrados.

Adicionalmente las siguientes pruebas tipo son también desempeñadas como pruebas muestrales: Verificación de Dimensiones, Prueba de Carga de Falla Mecánica, y Prueba de Carga de Falla Mecánica.

- **Prueba de Resistencia a la Perforación:** un aislador en servicio puede experimentar sobrevoltaje (ondas) durante relámpagos y operaciones de maniobra. Si el dieléctrico del aislador es débil, puede perforarse durante ondas que podrían llegar a ser 5 veces más altas que el voltaje nominal a la frecuencia de potencia. Esta prueba es desempeñada para determinar la resistencia dieléctrica del aislador. Desde que el aceite tiene una resistencia dieléctrica superior a la del aire, el aislador es probado en un baño de aceite para asegurar que la descarga a lo largo de la superficie sea eliminada. El sobrevoltaje aplicado puede ser a la frecuencia de potencia o un impulso de voltaje (lo que se decida entre el usuario y el fabricante). El dato de catálogo del valor de resistencia a la perforación especificada para el aislador es usualmente mas de 5 veces el voltaje nominal de operación por unidad o campana (por ejemplo >100kV para una campana de un aislador capucha o pin). Esta prueba asegurará que el aislador resistirá las ondas en servicio.

- **Prueba de Porosidad:** esta prueba es desempeñada sólo para aisladores de porcelana. El propósito de esta prueba es asegurar que no existan poros o vitrificaciones en la porcelana dieléctrica. Los poros reducirán la resistencia dieléctrica de la porcelana. Ninguna porosidad en los aisladores de vidrio se manifiesta, de aquí que no exista la necesidad de desempeñar esta prueba en los aisladores de vidrio. Fragmentos del aislador de porcelana son inmersos en un teñido colorido bajo alta presión por varios minutos. Los fragmentos son luego removidos de la solución, lavados, secados y nuevamente quebrados. Se considera que las muestras han pasado la prueba si el examen a simple vista de las superficies recientemente quebradas no revela penetración.
- **Prueba de Galvanizado:** existen métodos magnéticos mencionados en la norma que determinan si la capa galvanizada es lisa y uniforme.
- **Prueba de Golpe Térmico:** los aisladores son inmersos rápidamente en agua a una temperatura que no exceda los 50°C. Antes de la inmersión los aisladores son calentados con aire caliente a una temperatura de al menos 100°C y mucho mayor que la del agua. El periodo de inmersión en el agua es de al menos 2 minutos. Se considera que los aisladores han



pasado la prueba si no existen roturas en el componente aislante.

- **Prueba de Ciclo de Temperatura:** el propósito de esta prueba es asegurar que un cambio amplio de variación de temperatura, que pueda ocurrir en servicio, no cause ninguna rajadura en el aislador. Después de completar el ciclo térmico, esta prueba invoca la aplicación de un voltaje lo suficientemente alto para causar descarga durante 3-5 minutos. Los aisladores defectuosos se perforarán durante esta prueba.
- **Verificación de Desplazamientos Axiales, Radiales y Angulares:** idealmente estos desplazamientos deberían ser cero.
- **Verificación de Sistemas Cerrados:** el propósito de esta prueba es asegurar que dispositivo de cierre no se desconecte debido a movimientos.

### **2.3.3 Pruebas Rutinarias**

Las siguientes son pruebas rutinarias desempeñadas en toda unidad aisladora: Prueba Mecánica, Prueba Eléctrica e Inspección Visual. Estas pruebas son usualmente desempeñadas durante el proceso de producción antes de empaque y embarque. Tales pruebas

rutinarias eliminarían los aisladores defectuosos que podrían de otra forma fallar inmediatamente al ser instalados y energizados.

- **Prueba Mecánica Rutinaria:** la prueba es desempeñada rutinariamente tanto para aisladores de porcelana como para los de vidrio. Para aisladores capucha y pin, las unidades son sometidas por al menos 3 segundos a una carga de tensión igual al 50% (según ANSI) o 60% (según IEC) de la carga mecánica especificada. Los aisladores que se quiebren o cuyas partes metálicas se fracturen o lleguen a desprenderse serán considerados como que han fallado la prueba y serán rechazados.
- **Prueba Eléctrica Rutinaria:** esta prueba es desempeñada en aisladores capucha y pin de porcelana. Para esta prueba los aisladores de porcelana son puestos de cabeza en un tanque con agua a suficiente profundidad para cubrir el canal conductor. Una tensión alterna (AC) a la frecuencia de potencia o a una alta frecuencia (100-500kHz) suficiente para causar una descarga esporádica u ocasional es aplicado por al menos 3 segundos. No deberían presentarse perforaciones. Esta prueba debería realizarse después de la prueba mecánica rutinaria, a fin de eliminar aisladores que puedan haber sido parcialmente dañados en la prueba mecánica.

- **Inspección Visual Rutinaria:** para aisladores de porcelana cada aislador es examinado de acuerdo al color especificado, uniformidad del vidriado y defectos en el vidriado. La evidencia de defectos en el vidriado se presenta en forma de manchas, astillas, inclusiones y agujeros y son las razones para rechazar los aisladores. Las normas proporcionan tolerancias que son permisibles en la inspección visual. Para aisladores de vidrio no deberían existir defectos superficiales tales como pliegues y ampollas (perjudiciales para el desempeño satisfactorio en servicio) ni burbujas en el vidrio que sean de un diámetro mayor a 5mm.

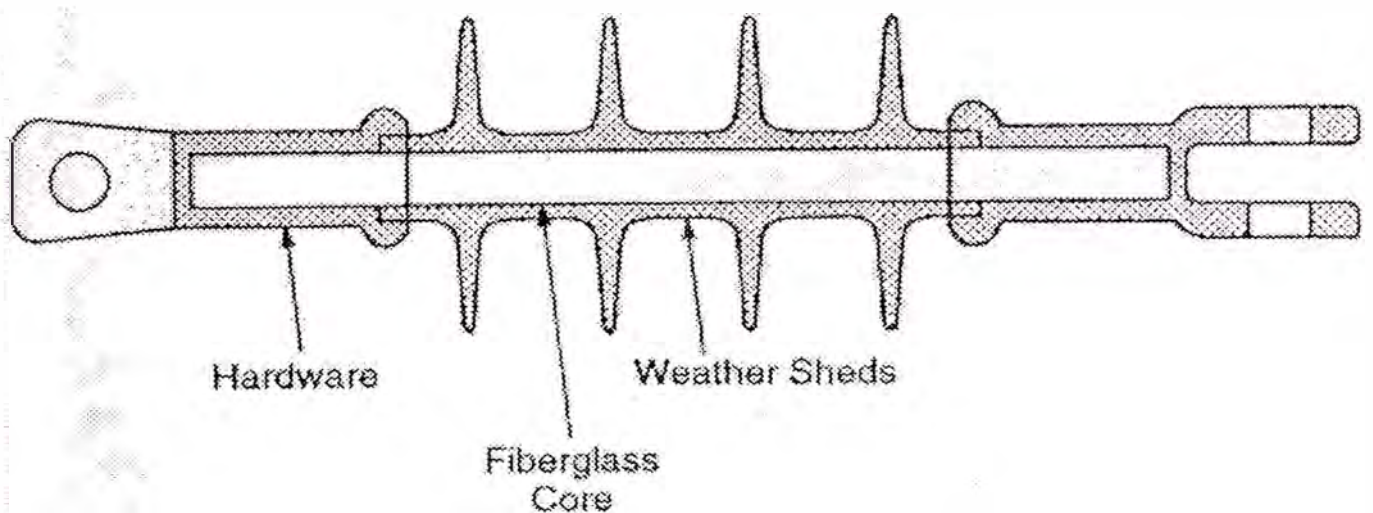
## CAPITULO III

### TECNOLOGIA DE AISLADORES POLIMÉRICOS

#### 3.1 TIPOS DE DISEÑO

##### a) Aislador de Suspensión

La Fig. 3.1 muestra los componentes básicos de un aislador de suspensión polimérico conformados por un núcleo de fibra de vidrio, tejadillas para intemperie cubriendo el núcleo, y ferretería de acoplamiento enganchada al núcleo en ambos extremos.



**Fig. 3.1. Diseño de un aislador de suspensión no-cerámico**

El núcleo de fibra de vidrio de un aislador polimérico tiene la capacidad dual de ser la parte aislante principal del aislador y también

de ser el principal miembro de soporte de carga. El núcleo consiste de un 70 a 75% en masa de las fibras de vidrio tipo "E" axialmente alineado en una resina reforzada. El vidrio "E" toma su nombre del uso inicial de este vidrio en los arrollamiento de los motores eléctricos y otros equipos eléctricos. Los rangos del diámetro de la fibra van desde los 5 hasta los 25 micrones. La resina del sistema es tanto epóxica como de éster-vinílico y la varilla es formada por el proceso de pultrusión. Aunque la epóxica es considerada la mejor de las dos por su bajo costo los núcleos actuales son usualmente hechos de resina de éster-vinílico.

Los herrajes extremos de los aisladores poliméricos son hechos de aluminio fundido, forjado o maquinado, hierro maleable o acero forjado. Con los años, varios métodos de enganche de los herrajes extremos al núcleo han sido desarrollados e incluyen estampado, pegado, o el uso de un metal soldado. Actualmente, el estampado y el pegado son los métodos de enganche principales.

El núcleo desprotegido con los herrajes extremos por si solos no se adaptan al uso exterior a alto voltaje ya que la contaminación, humedad y voltaje los llevaron a desarrollar arrastre superficial ocasionándose fallas eléctricas. Por tanto, tejadillas para intemperie hechas de varios materiales poliméricos preparados para uso eléctrico son formados y espaciados sobre la varilla en varias formas

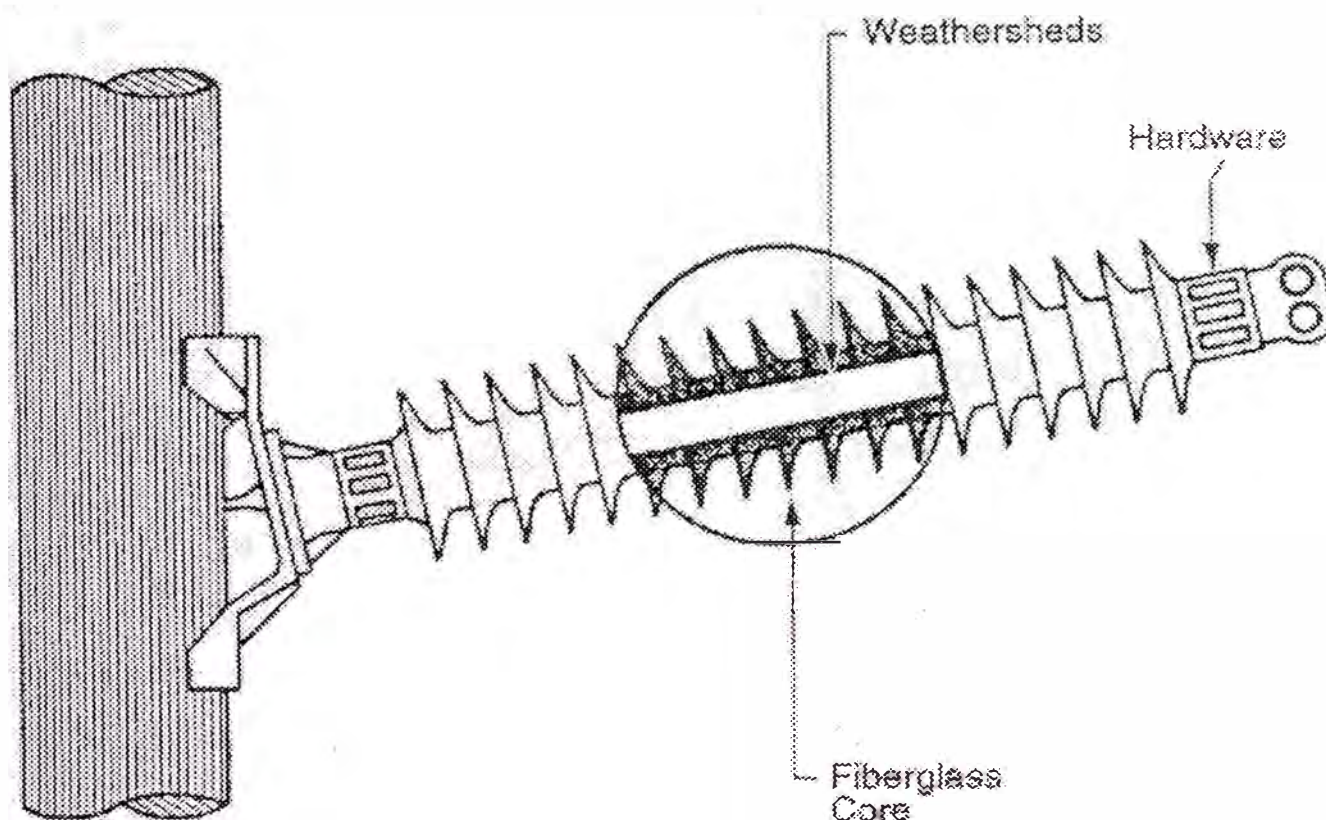
para protegerla y proporcionarle máximo aislamiento eléctrico entre los extremos enganchados.

Queda claro que con tal diversidad de posibles construcciones el desempeño de los aisladores poliméricos depende de la selección de los materiales, diseño y construcción del aislador.

### **b)    *Aislador Columna para Línea***

La Fig. 3.2 muestra el diseño de un aislador columna polimérico para línea aérea. De manera similar al aislador polimérico de suspensión, el diseño consiste de un núcleo de fibra de vidrio, tejadillas para intemperie y ferretería. En muchas aplicaciones, las cargas de la línea someten al aislador a una combinación de fuerzas de compresión y flexión. Debido a esto, el diámetro del núcleo de fibra de vidrio es por lo general completamente largo y en el rango de 2 a 4 pulgadas dependiendo de la clase de voltaje (longitud) del aislador y de la resistencia de diseño.





**Fig. 3.2. Diseño de un aislador columna no-cerámico para línea**

Así como en el diseño del aislador de suspensión, el núcleo puede ser tanto de resina de éster-vinílico como de resina epóxica. Las tejadillas para intemperie son aplicadas en varias formas para obtener la distancia de dispersión necesaria, así mismo son formadas y espaciadas para obtener la resistencia a la humedad requerida.

La ferretería es por lo general de hierro de fundición maleable galvanizada.

### **3.2 COMPUESTO DIELECTRICO**

El compuesto dieléctrico consiste de un núcleo y tejadillas para intemperie. Aunque la calidad de la varilla de fibra de vidrio es de gran

importancia en el desempeño total de los aisladores poliméricos, las fallas que pueden ser atribuidas por la calidad de la impermeabilidad de la varilla han sido muy pequeñas.

Los vacíos entre el núcleo y las tejadillas, y entre las tejadillas moldeadas individualmente incrementarían las fallas. Adicionalmente, el sellado extremo es considerado el elemento de mayor importancia en el diseño de un aislador polimérico. Las fallas en el campo han ocurrido debido a la fractura del material frágil de la varilla de fibra de vidrio debido al quebrantamiento del sellado extremo, lo cual permite a la varilla entrar en contacto con la polución atmosférica y la humedad. El arrastre en las varillas de fibra de vidrio ha sido también un modo de falla en el aislador polimérico.

### **3.3 CONTROL DE LOS ESFUERZO DE VOLTAJE**

Por lo general es conveniente que la ferretería enganchada al aislador quede libre de descargas de corona en el aire o en las superficies del aislador. En el diseño y fabricación de aisladores poliméricos la ferretería debe ser suficientemente larga para evitar descargas de corona, de otra manera un anillo de pantalla o de corona necesitará ser instalado en el aislador. Los anillos de pantalla, que pueden estar hechos libres de corona, tienen un radio de curvatura relativamente grande y cuando son ubicados apropiadamente pueden disminuir el gradiente superficial en el aislador. El gradiente potencial crítico para las descargas de corona depende sólo del

radio de curvatura de la ferretería y no depende mucho de la longitud del aislador.

El valor 21,2kV/cm. es un valor aproximado del gradiente potencial al cual la ionización acumulada resulta en corona, dicho valor puede usarse para propósitos de estimación. Las asperezas, la contaminación y las precipitaciones causan amplias variaciones en el gradiente de corona. Las pruebas en viejas ferreterías para conductores han mostrado que la contaminación natural reduce el factor superficial a 0,7. Esto significa que el comienzo del gradiente potencial de corona es reducido a 14,8kV/cm.

Existen 2 implicancias que surgen de esto. En primer lugar, el gradiente potencial máximo en la ferretería del aislador o el material de la superficie no debería exceder los 14,8kV/cm. En segundo lugar, cuando se prueban los aisladores en el laboratorio bajo condiciones limpias, el gradiente de prueba debería ser cerca de 30% más grande que el gradiente nominal línea a tierra a fin de cuantificar apropiadamente el comienzo del gradiente de corona reducido, que resulta cuando la contaminación es precipitada bajo condiciones de servicio.

### **3.4 PRUEBAS NORMALIZADAS PARA AISLADORES POLIMÉRICOS**

La ANSI C29.11 y la IEC 1109 son las normas internacionales actuales para los aisladores poliméricos. Una Norma Canadiense CSA411.4 ha sido recientemente establecida para aisladores poliméricos.

Los aisladores poliméricos pueden ser aún considerados en etapa de desarrollo. Existen pruebas en las normas para aisladores poliméricos que cubren los componentes (núcleo, envoltura, herrajes) así como a los aisladores completos. Una gran mayoría de estas pruebas desarrolladas para aisladores poliméricos han sido adaptadas de las normas para aisladores de porcelana y vidrio, así como varias pruebas nuevas han sido necesarias debido a las diferencias en los aspectos constructivos de los aisladores poliméricos cuando se comparan con la porcelana y el vidrio.

El grupo de pruebas que son desarrolladas en los aisladores poliméricos puede dividirse:

- **Pruebas Prototipo (ANSI) o Pruebas de Diseño (IEC)**, estas pruebas son desempeñadas para verificar la adaptabilidad del diseño, materiales y métodos de fabricación del prototipo.
- **Pruebas de Diseño (ANSI) o Pruebas Tipo (IEC)**, estas pruebas son desempeñadas para verificar aquellas características del aislador polimérico completo que dependen de su forma y tamaño
- **Pruebas Muestrales (ANSI o IEC)**, estas pruebas son desempeñadas para verificar otras características de los aisladores poliméricos, incluyendo aquellas que dependen de la calidad de la fabricación y de los materiales usados.

### **3.4.1 Pruebas Prototipo (ANSI) o Pruebas de Diseño (IEC)**

Estas pruebas evalúan el material del núcleo, el material de la envoltura, el ensamble del núcleo (núcleo y herrajes), interfases y conexiones de los aisladores.

#### **a) Pruebas para el material del núcleo**

El núcleo de fibra de vidrio es la parte crítica de la estructura del aislador polimérico ya que lleva la carga mecánica. Un material de núcleo malo puede fallar prematuramente mecánica o eléctricamente. El núcleo de fibra de vidrio consta de numerosas fibras de vidrio unidas por una resina orgánica. No deberían existir vacíos en el núcleo. La resina, siendo orgánica, puede degradarse por humedad lo cual debilitaría el núcleo en el torno.

Las siguientes pruebas son desempeñadas en el material del núcleo: Prueba de Penetración por Teñido y Prueba de Difusión de Agua.

**La prueba de penetración por teñido**, involucra pequeñas muestras del núcleo sumergidas verticalmente en un recipiente que contiene un tinte coloreado. El tiempo tomado por el tinte para aumentar la capilaridad a través de la muestra es anotado. Las imperfecciones en el núcleo, tal como vacíos, causarán que el tinte aumente más rápido que en un material amortiguado. Un periodo de tiempo que exceda los 15 minutos para que el tinte aumente es

considerable aceptable para un buen material del núcleo. Este tiempo ha sido establecido de la experiencia.

**La prueba de difusión de agua**, las muestras de núcleo son sometidas a agua cocida (agua desionizada con 0,1% en peso de NaCl) por 100 horas. La razón de agregar sal al agua es para hacer al agua ligeramente conductiva, lo que puede acelerar la difusión del agua dentro de cualquier imperfección en el núcleo. Siguiendo la prueba las muestras son teñidas y ubicadas entre electrodos de campo uniforme aplicándose un voltaje de 12kV. por 1 minuto. La absorción de humedad durante la prueba es reflejada por corriente que excede 1mA., perforación ó descarga. Un material amortiguado del núcleo es aquel en donde la corriente es <1mA., y no existen perforaciones o descargas durante la aplicación del voltaje. El voltaje de prueba y la corriente de entrada se han basado totalmente en la experiencia.

**b) Prueba de tiempo de carga del núcleo**

Esta prueba es desempeñada en el ensamble del núcleo (núcleo + herrajes). La presencia o ausencia de la envoltura exterior no tiene impacto en los resultados de la prueba. Esta prueba fue desarrollada asegurando que la varilla o núcleo del aislador polimérico soportaría satisfactoriamente la carga mecánica de tensión para una expectativa de vida (mayor de 30 años) del aislador. Durante las etapas iniciales

de desarrollo de los aisladores poliméricos se creía que el fenómeno de “deslizamiento” era el mecanismo principal responsable de reducir la resistencia del núcleo. El deslizamiento se refiere al resquebrajamiento gradual de las fibras durante la prolongada exposición a una carga mecánica constante. Cuando algunas fibras se quiebran, la carga remanente podría ser repartida en un número menor de fibras lo cual incrementaría el esfuerzo mecánico en dichas fibras. Este proceso podría teóricamente continuar hasta el punto donde el número de fibras intactas sea insuficiente para soportar la carga mecánica, y por tanto causaría la rotura de la varilla y la caída del conductor.

Los datos de la prueba son ploteados en una escala semilogarítmica con el tiempo en el eje logarítmico horizontal, y la carga mecánica en el eje vertical, como se muestra en la Fig. 3.3. Al principio, el núcleo ensamblado es probado para obtener la carga promedio (de 3 pruebas) que causa la falla en 1 minuto. La falla debería ser por fractura del núcleo o el completo arranque de los herrajes. En otro arreglo de muestras idénticas, una carga de tensión igual al 60% de la carga promedio de falla es aplicada por duración de 96 horas, que en la escala logarítmica representa 3,76 décadas de tiempo. Si no hay falla la inclinación de la línea que conecta la carga de falla a 1 minuto y la carga de soporte a 96 horas sería menor que 8%. Extrapolando dicha línea, podría verse que la carga a la cual el



aislador falla en una vida de 50 años sería superior al 50% de la carga de falla a 1 minuto. Si la carga máxima de tensión a la que el aislador se sometería en servicio es menor que el 50% de la carga a 1 minuto, se demostraría que el aislador soportaría satisfactoriamente la carga ordinaria o diaria por 50 años.

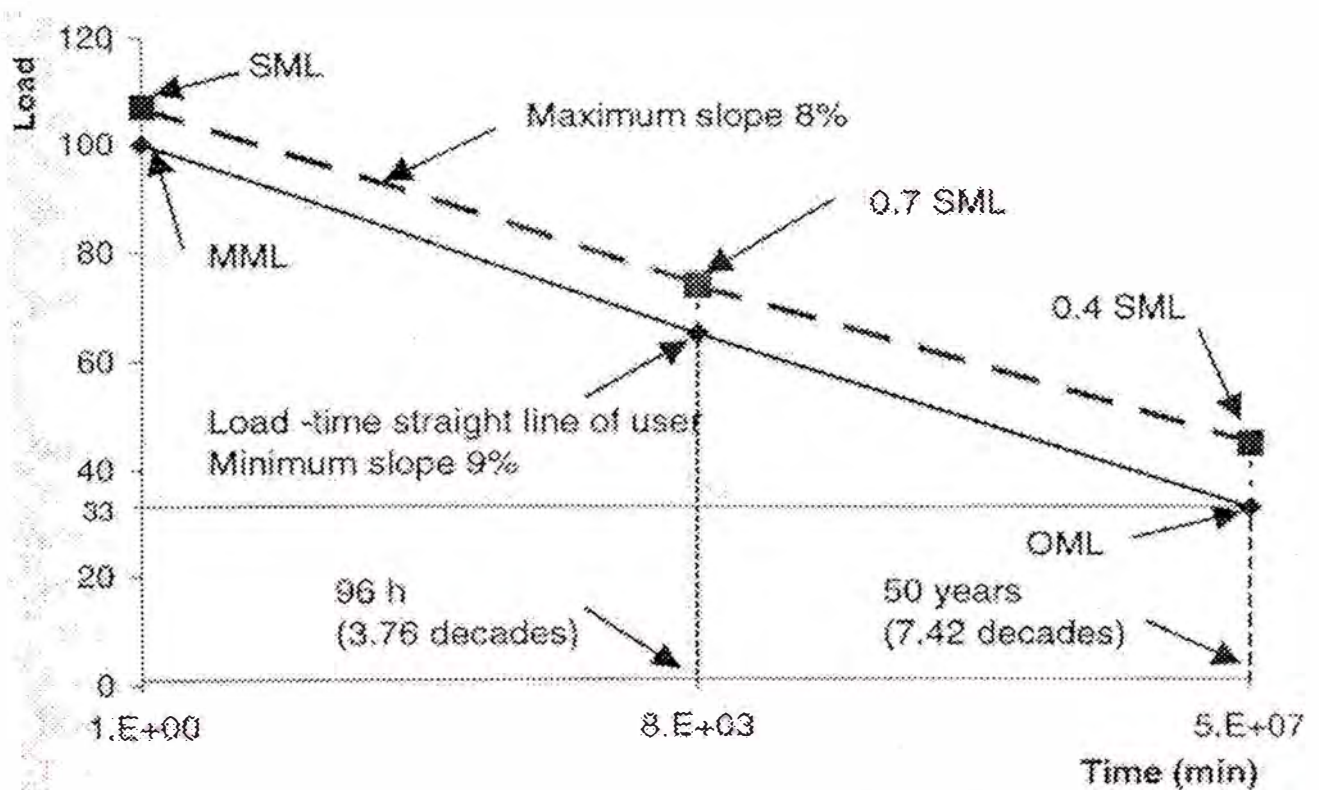


Fig. 3.3. Curva tiempo de carga de una varilla de fibra de vidrio. MML = carga mecánica máxima, SML = carga mecánica especificada, OML = carga mecánica ordinaria (diaria)

### **c) Pruebas para envolturas**

La principal preocupación con respecto a las envolturas para aisladores poliméricos es su desempeño bajo esfuerzos simultáneos del medioambiente encontrados en servicio tales como radiación UV de los rayos solares, calor, humedad, químicos, etc. Se ha encontrado

que las descargas superficiales que son generadas en el aislador energizado en presencia de contaminación húmeda pueden causar degradación de las envolturas en forma de arrastre y erosión. Esta es la mayor preocupación en los aisladores poliméricos localizados en ambientes contaminados. A fin de demostrar que el material de envoltura tiene adecuada resistencia al arrastre y erosión, existen 2 tipos de pruebas que son dictadas en la norma.

**La prueba de 1000 horas en niebla salina**, dictada por las normas ANSI e IEC involucra la evaluación de aisladores pequeños en una cámara con niebla salina por un total de 1000 horas continuas. Sólo pequeños cortes (15 minutos) son permitidos diariamente para habilitar la inspección del aislador. El aislador es sometido a esfuerzo eléctrico con un voltaje que corresponde a la distancia de escurrimiento específica de 20mm/Kv. El contenido de agua salada es ajustado para obtener una conductividad de 16000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (10kg/cm<sup>3</sup>). El aislador no debería presentar arrastre, perforación o erosión suficientemente profunda como para mostrar el núcleo. Adicionalmente, no deberían existir más de tres sobrecorrientes de disparo. Para los aisladores poliméricos que serán localizados en regiones altamente contaminadas, la IEC dicta que la prueba anterior será llevada a cabo por 5000 horas en vez de 1000 horas, pasándose la prueba con el mismo criterio.

**La prueba multiesfuerzo**, la prueba anterior considera sólo el efecto de esfuerzo eléctrico y contaminación salina. Estas pruebas no incluyen periodos de reposo antes del secado del aislador. Tales periodos de reposo son conocidos por mejorar la hidrofobicidad de algunos materiales, principalmente el hule de silicona, usados para envolturas y son también más prácticos que la exposición continua a altos contaminantes conductivos. En un intento por hacer la prueba más práctica para la evaluación de los aisladores poliméricos, existe una prueba de multiesfuerzo dictada en la norma, donde el aislador es sometido a esfuerzos adicionales tales como radiación UV, calor, humedad, lluvia, y sólo incluye varias horas cuando la superficie del aislador está seca. El ciclo de la prueba multiesfuerzo se muestra en la Fig. 3.4. El criterio para que los aisladores pasen la prueba es el mismo que el de la primera prueba descrita líneas arriba.

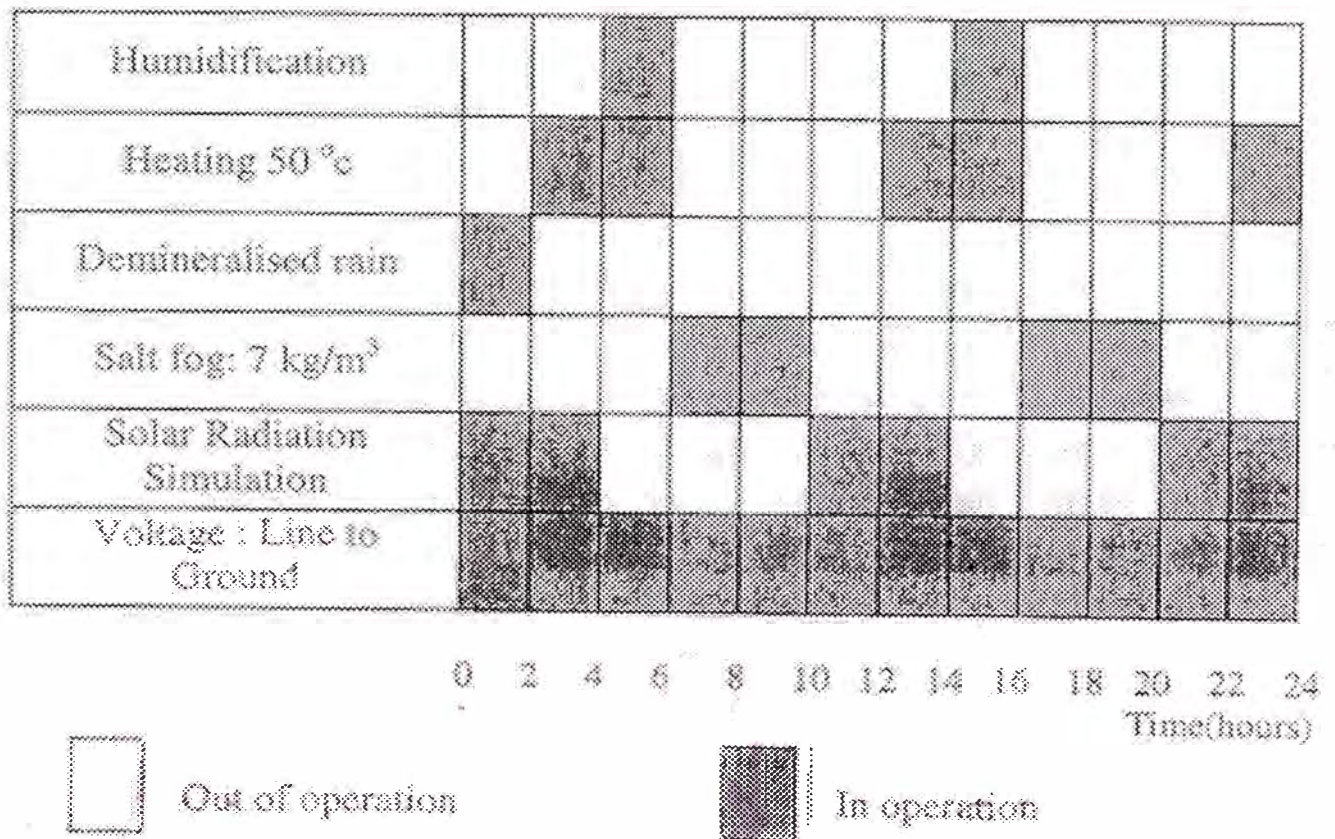


Fig. 3.4: Prueba Multiesfuerzo en IEC 1109

#### **d) Prueba en secciones del aislador**

Los objetos de la prueba son secciones pequeñas (típicamente con distancia de arco de cerca de 800mm) de aisladores con herrajes enganchados en la misma manera como en la marcha de la producción. La longitud del aislador probado es usualmente mucho menor que la del aislador a escala completa. Esto es para facilitar los requerimientos de fuentes de energía necesarias para la prueba. Sería extremadamente costoso si se desempeñaran todas estas pruebas en aisladores a escala completa. Las pruebas que son desempeñadas se enumeran a continuación y deben desarrollarse en el orden indicado:

Descarga seca a la frecuencia de potencia

Disparo súbito de carga mecánica

Prueba termo mecánica

Inmersión en agua

Impulso de frente empinado

Descarga seca a la frecuencia de potencia

Puede verse que existen varias pruebas nuevas para aisladores poliméricos tales como las pruebas de inmersión en agua, disparo súbito de carga mecánica e impulso de frente empinado, que no fueron necesarias para los aisladores de porcelana y vidrio. Las pruebas de disparo súbito de carga mecánica y termo mecánica son pruebas de prefatiga y las pruebas de inmersión en agua, impulso de frente empinado y la segunda descarga seca a la frecuencia de potencia son pruebas de verificación. El propósito de desempeñar la prueba de descarga seca a la frecuencia de potencia al inicio es para proporcionar un valor de referencia que será usado en las pruebas de verificación que siguen a las pruebas de prefatiga.

La prueba termo mecánica es desempeñada de la misma manera y con el mismo propósito que para los aisladores de porcelana y vidrio. También proporciona información acerca del movimiento relativo del metal de los herrajes. Esta prueba no es

relevante para aisladores poliméricos ya que no existen recubrimientos bituminosos dentro de los fijadores extremos de los aisladores poliméricos.

La prueba de disparo súbito de carga mecánica es desempeñada para simular condiciones de servicio, tal como el derramamiento de una carga de hielo en un ambiente bajo cero. Esta prueba es relevante para los usuarios del aislador polimérico en climas fríos. La temperatura del aislador se mantiene entre -20 y -25°C y es sometido a 5 disparos súbitos de carga con una carga de tensión igual a al menos el 30% de la SML.

#### **3.4.2 Pruebas de Diseño (ANSI) o Pruebas Tipo (IEC)**

Un aislador está eléctricamente definido por la distancia de formación de arco, distancia de escurrimiento, inclinación de tejadilla, diámetro de tejadilla y espaciamiento de tejadilla, y mecánicamente definido por el diámetro del núcleo y el método de enganche de los herrajes metálicos. Las pruebas tipo son desempeñadas sólo una vez y se repetirán sólo cuando una o más de las características anteriores sean cambiadas.

Las pruebas en esta categoría son: prueba de impulso de relámpago en seco, prueba de humedad a la frecuencia de potencia,



prueba de impulso de voltaje de maniobra con humedad y pruebas mecánicas tiempo-carga.

Los detalles y fundamentos para desempeñar las pruebas de resistencia a impulsos de relámpago en seco y de humedad a la frecuencia de potencia son idénticos a las desempeñadas para aisladores de porcelana y vidrio. Debería mencionarse que existe una diferencia en los detalles de la prueba entre las normas ANSI e IEC. La norma ANSI requiere esta prueba para determinar el voltaje de descarga, mientras que la IEC requiere esta norma para determinar el voltaje de resistencia. El voltaje de descarga es el voltaje más bajo al cual el aislador de prueba descarga, y el voltaje de resistencia es el más alto voltaje que puede soportar el aislador de prueba. En realidad, esta diferencia no debería ser de mucha importancia debido a que el margen entre el voltaje de descarga y el voltaje de resistencia es pequeño (<5%).

La prueba de impulso de voltaje de maniobra con humedad es una prueba especificada para aisladores poliméricos nominados para voltajes mayores de 300kV. Esta prueba no es requerida por los aisladores de porcelana y vidrio. Una vez más la norma ANSI requiere la determinación del voltaje de resistencia y la norma IEC requiere la determinación del voltaje de descarga.



Prueba de carga mecánica-tiempo: esta prueba es desempeñada a la temperatura ambiente para confirmar que no ocurrirán fallas con una carga de tensión igual al 70% de la SML durante 96 horas. Esto proporciona un medio de aceptación de la carga mecánica específica (SML) suministrada por el fabricante.

### **3.4.3 Pruebas Muestrales (IEC o ANSI)**

Las pruebas muestrales son desempeñadas en cierta cantidad de cada lote de producción, como indica la norma. Las pruebas desempeñadas son: verificación de dimensiones, verificación del sistema de sellado, verificación de la SML y prueba de galvanizado.

- **Verificación del sistema de sellado**, esta prueba se aplica sólo a aisladores equipados con mango de acoplamiento, y es desarrollado de acuerdo a la IEC 383.
- **Verificación de la SML**, todos los aisladores del tamaño de muestra son sometidos bajo temperatura ambiente a una carga de tensión igual a la SML por un periodo de 1 minuto. La prueba es pasada si no ocurren fallas (fractura o arranque completo del núcleo o fractura de los fijadores metálicos).

- **Prueba de galvanizado**, esta prueba es desempeñada de la misma forma que se hizo para los aisladores de porcelana y vidrio, según la IEC 383.

#### **3.4.4 Pruebas Rutinarias**

Las pruebas rutinarias desempeñadas en todo aislador son: identificación de los aisladores poliméricos, examen visual y prueba mecánica rutinaria.

- **Identificación de los aisladores poliméricos**, cada aislador es marcado con el nombre o marca del fabricante y el año de fabricación. Adicionalmente, cada aislador debería marcarse con la SML. Estas marcas deberían ser legibles e indelebles. Con los años, se ha encontrado que la identificación de los aisladores ha sido un problema incrementalmente difícil ya que las marcas tienden a desgastarse con el tiempo. Algunos tipos de marcas son claramente superiores a otras. Por ejemplo las marcas en la envoltura con tinta, aunque son buenas cuando están nuevas, tienden a desgastarse o llegan a cubrirse con la contaminación, haciendo difícil la identificación.
- **Examen visual**, los aisladores deberían examinarse en cuanto al color (el especificado en los catálogos) y a los defectos

superficiales. Los aisladores con defectos grandes deberían ser rechazados.

- **Prueba mecánica rutinaria**, todo aislador debería soportar bajo temperatura ambiente una carga de tensión RTL (carga de prueba rutinaria) correspondiente a por lo menos 50% de la SML durante al menos 10 segundos.

## CAPITULO IV

### PARAMETROS DE SELECCION DE AISLADORES

Los tipos alternativos de aislamientos exteriores actualmente disponibles que pueden ser considerados para cada aplicación tienen ciertas ventajas y desventajas. Un listado de estos atributos es proporcionado en la Tabla 4.1. Es tarea de los ingenieros el seleccionar de estas alternativas el tipo de aislador que mejor se ajuste a los requerimientos de la empresa. Estos requerimientos no son sólo requerimientos de aplicación técnica que deben definirse, sino que también incluirán la estrategia y cultura de negocios de la empresa la cual tiende a enfatizar ciertos atributos sobre otros.

<b>Aislador</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Polimérico</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Peso</li><li>- Resistente a la contaminación</li><li>- Costo bajo de instalación</li><li>- Resistente al impacto</li><li>- Perfil pequeño</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reducida distancia de arco</li><li>- Susceptible a envejecimiento</li><li>- Susceptible a daños por formación de arco</li><li>- Posibles fracturas del material frágil</li></ul>
<b>Porcelana</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Desempeño cuantificado</li><li>- Larga historia de uso</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Corrosión del pin</li><li>- Fallas en columnas cascada</li><li>- Defectos ocultos</li><li>- “Burla” a los disparos</li></ul>
<b>Vidrio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Manchado de unidades dañadas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- “Burla Real” a los disparos</li></ul>

Tabla 4.1. Comparación de los atributos de los materiales alternativos del aislador

De todas las alternativas de selección los aisladores de porcelana han estado en uso por mayor tiempo (aproximadamente 100 años). Cuando los nuevos aisladores poliméricos llegaron a estar disponibles en los años '70, fue natural que se les forzara en una dirección a manera de copia de los aisladores cerámicos existentes. Debido a sus características únicas, ellos no pudieron siempre hacer esto. Con la experiencia en la aplicación y con los avances en los procesos de fabricación, fueron encontrados métodos más cercanos de copia y así remplazar a los aisladores cerámicos. Esto también hizo aparentemente que las ventajas de los aisladores poliméricos pudieran ser usados para crear nuevas soluciones a bajo costo.

El ingeniero debe conocer una cantidad de cosas acerca del medio ambiente de su empresa, estructuras, prácticas de operación de las líneas de potencia, y prácticas de mantenimiento a fin de escribir las especificaciones del aislamiento. Esto se ilustra en la Tabla 4.2.

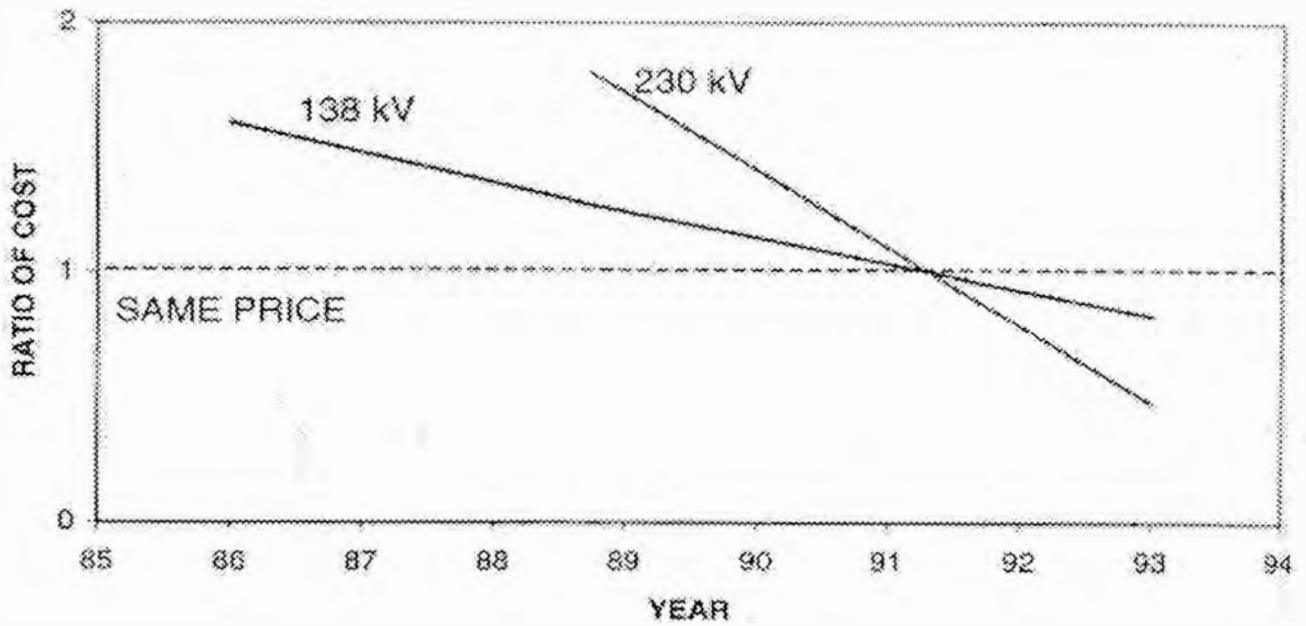
<b>Parámetro</b>	<b>El Ingeniero debe saber</b>	<b>Para especificar</b>
<b>Eléctrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Códigos de seguridad</li> <li>- Nivel de Relámpagos</li> <li>- Nivel de onda por maniobra</li> <li>- Nivel de contaminación</li> <li>- Esfuerzo eléctrico</li> <li>- Desempeño al puente de hielo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento en caliente</li> <li>- Distancia de fuga</li> <li>- Impulso de descarga crítico</li> <li>- Distancia de dispersión húmeda/seca a 60Hz</li> <li>- Clasificación de anillos</li> <li>- Tipo de material</li> </ul>
<b>Mecánico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Códigos de seguridad</li> <li>- Restricciones de longitud</li> <li>- Cargas mecánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longitud de acoplamiento</li> <li>- Tipo(s) de herraje extremo</li> <li>- Carga de prueba rutinaria (RTL)</li> </ul>

**Tabla 4.2. Requerimientos importantes para aisladores**

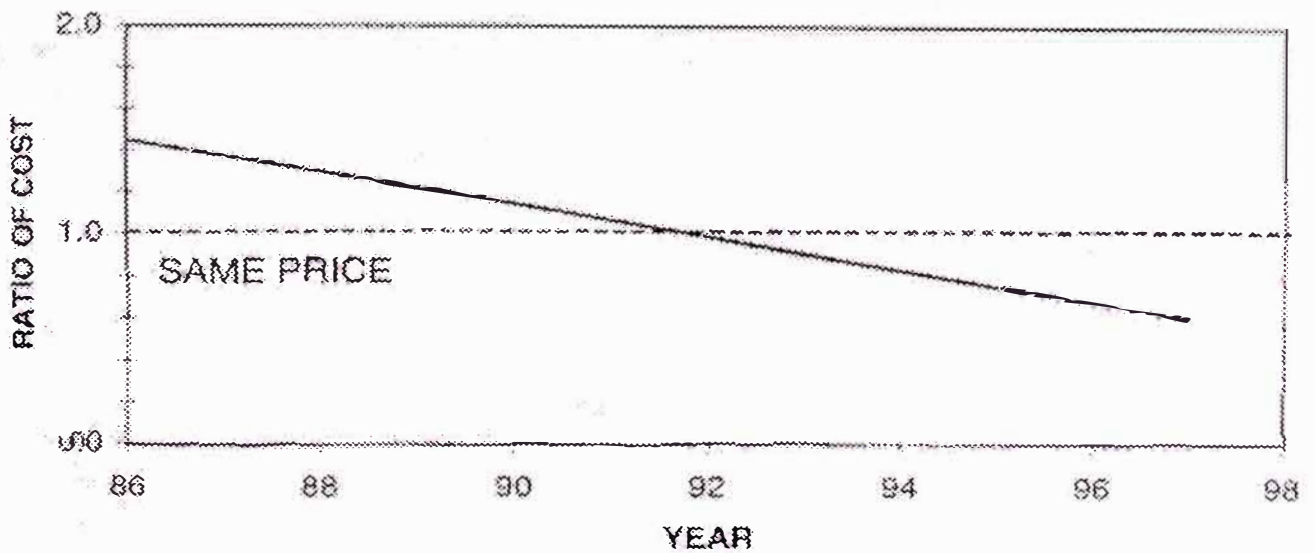
Esto ayudará a identificar los requerimientos para la selección del aislador, para obtener el mejor entendimiento de las diferencias entre las alternativas de aislamiento y para proporcionar métodos de optimización en la aplicación de la selección del aislador en las distintas aplicaciones.

#### **4.1 COSTO Y PESO**

La estrategia y la cultura de negocios de las empresas Norte Americanas de servicios eléctricos actuales ponen gran énfasis en el costo debido a la pendiente amenaza de liberación de mercado y competencia. Esto hace atractivos a los aisladores poliméricos debido a su bajo costo de adquisición y bajo peso. Las Fig. 4.1 y 4.2 muestran la caída del costo de adquisición de aisladores poliméricos de suspensión y aisladores columna para línea de 138kV y 230kV durante un periodo comprendido entre 1985 y 1993 relativos a sus equivalentes de porcelana.



**Fig. 4.1. Valor del costo de adquisición de aisladores poliméricos de suspensión de 138kV y 230kV de 20000lb con respecto a la porcelana (línea punteada) en USA**



**Fig. 4.2. Valor del costo de adquisición de aisladores columna poliméricos para línea de 138kV con respecto a la porcelana (línea punteada) en USA**



Existen muchas razones de la caída relativa del costo de adquisición de los aisladores poliméricos. Algunos obvios son el incremento del volumen de producción y las mejoras técnicas en el proceso de fabricación debido al incremento en el uso.

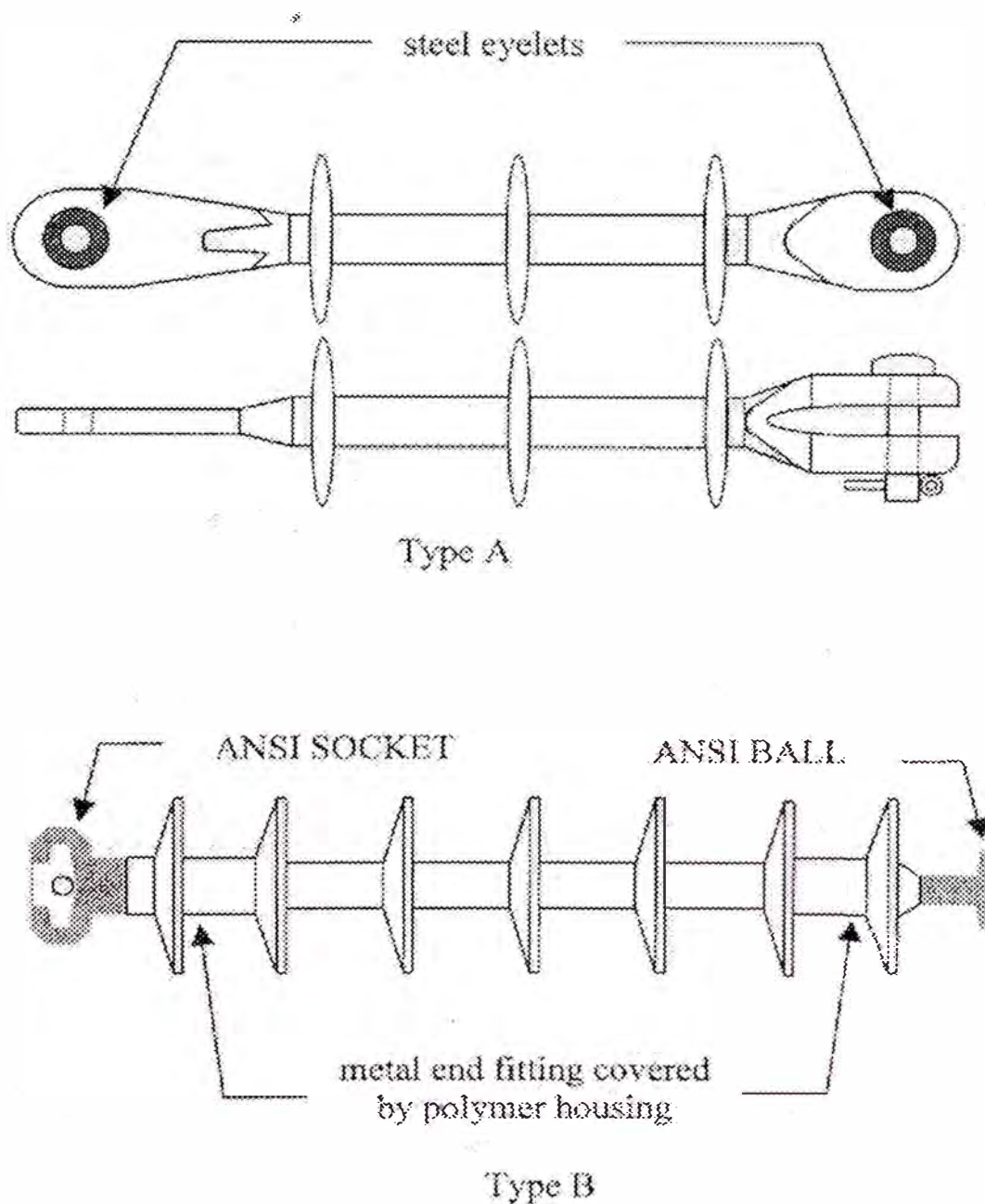
#### **4.2 NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO A IMPULSOS DE RELÁMPAGOS (BIL)**

Existen una cantidad de factores que se refieren al desempeño de los aisladores por efecto de relámpagos de las líneas aéreas, una de las cuales es el Nivel Básico de Aislamiento a Impulsos (BIL). El factor de mayor determinación de los valores BIL de los aisladores es su distancia de arco (también llamada distancia de fuga). Esta es la ruta de esfuerzo mínimo a lo largo de un aislador desde el potencial extremo de tierra hasta el potencial extremo de la línea.

Un ligeramente bajo BIL por longitud de acoplamiento y una ligeramente alta probabilidad de incremento de paralizaciones por relámpagos pueden ser aceptables para las empresas de servicio dependiendo de la magnitud de sus paralizaciones causadas por relámpagos, y el desempeño mejorado bajo contaminación que pueda ofrecer con aisladores poliméricos.

La Fig. 4.3 muestra las recientes innovaciones en 2 diferentes fabricaciones de aisladores poliméricos para eliminar el problema de

diferencia de BIL. En el primer diseño sólo el ojo es metálico, en cambio, en el segundo el fijador extremo metálico está cubierto por el forro polimérico. Estos diseños son actualmente ofrecidos sólo en voltajes de distribución.



**Fig. 4.3. Diseños recientes que mejoran las características de BIL para aisladores poliméricos**

La distancia de fuga del aislador y la ausencia de anillo de graduación en los extremos energizados, puede afectar al aislador durante ondas de relámpagos y de maniobras.

### **4.3 DESEMPEÑO BAJO CONTAMINACIÓN**

En servicio el desempeño bajo contaminación de los aisladores es un problema muy complicado, que aún no es totalmente comprendido y que es sujeto de continuas investigaciones, publicaciones, y reuniones de la IEEE y CIGRE.

Algunos de estos factores involucrados incluyen:

- Tipo y severidad de la contaminación

- Condiciones de humedad

- Tipo de material

- Distancia de dispersión

- Forma, tamaño y espaciamiento de tejadilla

- Configuración del aislador

- Esfuerzos de voltaje

- Distribución de esfuerzos de voltaje

- Envejecimiento de material

- Elevación del aislador sobre el nivel del mar

La complejidad del problema está compuesta por pruebas de laboratorio que no son completamente satisfactorias en los métodos de prueba.

Muy pocas empresas de servicios han estudiado los niveles de contaminación tomando muestras cuantitativas a través de un largo periodo, probando luego en laboratorios su desempeño en descargas bajo contaminación con aislamientos alternativos.

Actualmente, una de las mejores guías para seleccionar distancias de dispersión en aisladores bajo varias condiciones de contaminación es la Publicación 815 de la IEC, "Guía de selección de Aisladores respecto a condiciones de polución" (1986). La Tabla 4.5 fue copilada de las tablas de dicho informe. Cabe resaltar que esta guía es sólo para aisladores cerámicos.

Voltaje (Kv)	Nivel de Contaminación			
	Bajo 0-0.06 ESDD	Mediano 0.10-0.20 ESDD	Alto 0.30-0.60 ESDD	Muy Alto >0.6 ESDD
69	45(1,159)	57(1,499)	71(1,811)	88(2,246)
15	76(1,932)	96(2,415)	119(3,019)	147(3,743)
138	91(2,318)	114(2,898)	143(3,622)	176(4,492)
230	152(3,864)	190(4,830)	237(6,038)	295(7,486)
500	346(8,800)	433(11,000)	541(13,750)	671(17,050)

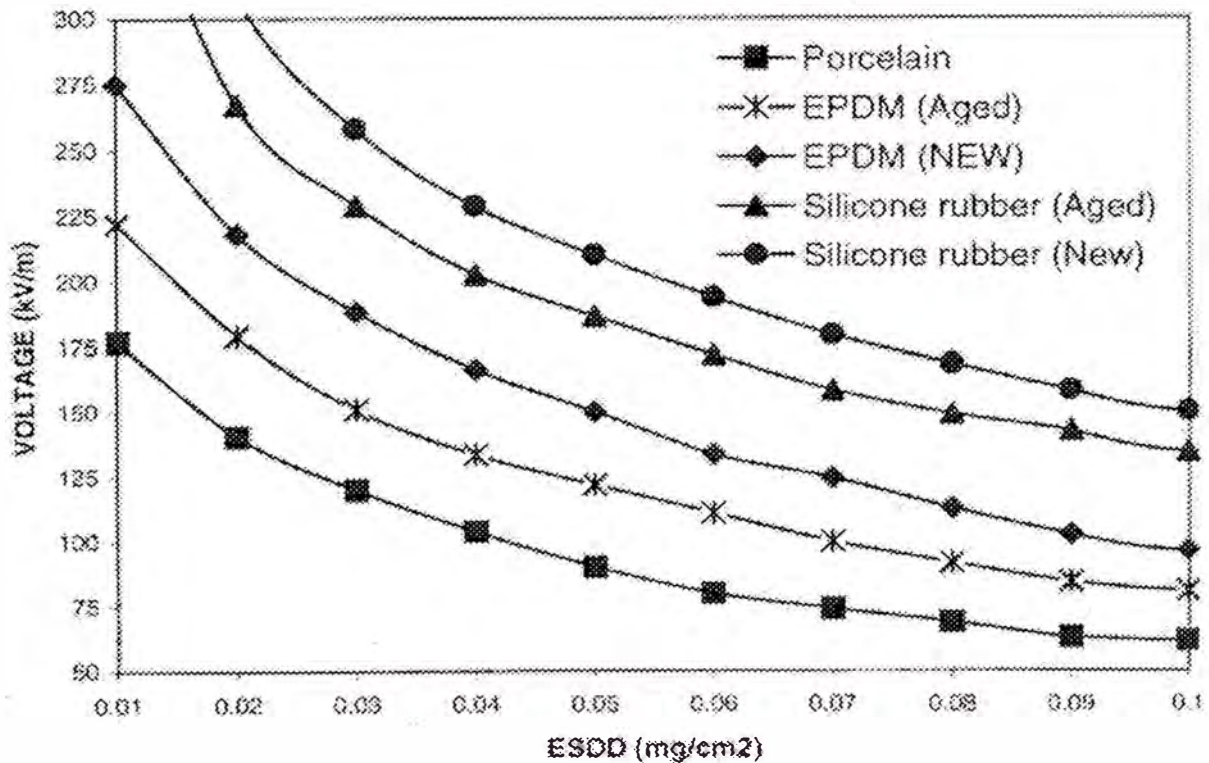
**Tabla 4.5. Distancia de dispersión recomendadas en pulgadas por la IEC 815 para cadenas verticales de aisladores**

La guía IEC 815 no considera contaminantes no solubles, los cuales se encontró recientemente que son una variable de influencia importante en el desempeño en descargas. La efectividad de la distancia de dispersión depende de la distancia y separación de las campanas, de las condiciones diferentes de humedad, el efecto de baja presión atmosférica y altas elevaciones respecto al nivel del mar, y la orientación de las cadenas de aisladores. No existe una guía equivalente para los diferentes tipos de aisladores poliméricos.

Los diferentes materiales tienen diferentes desempeños bajo contaminación. Por lo general los aisladores poliméricos se desempeñan mejor que los cerámicos cuando son nuevos. Sin embargo, debido al envejecimiento de la envoltura polimérica, esta diferencia relativa puede cambiar con el tiempo a valores que dependen del medioambiente. La Fig. 4.4 muestra una comparación relativa de algunos aisladores poliméricos con aisladores cerámicos en descargas críticas versus nivel ESDD de aisladores nuevos.

Este trabajo reconoce que los aisladores poliméricos pueden perder su desempeño en contaminación con el tiempo debido al envejecimiento y sugiere que el uso de silicona con distancias de dispersión iguales a las de los poliméricos, en vez de la porcelana, mejoraría el desempeño bajo contaminación. Los aisladores poliméricos EPDM con una distancia de

dispersión de 1.3 a 1.5 veces la de su contraparte de porcelana debería ser considerada si se desea mejorar el desempeño bajo contaminación.



**Fig. 4.4. Efectos del envejecimiento en descargas críticas versus ESDD**

Se realizaron pruebas de descarga por el Centro de Entrega de Potencia de la EPRI (formalmente el Centro de Investigación de Transmisión a Alto Voltaje) en aisladores columna poliméricos para línea de 138kV de similar diseño pero con diferentes formulaciones de material, usando el método de niebla limpia de la IEC. Las pruebas fueron desempeñadas antes y después del envejecimiento acelerado. La Tabla 4.7 muestra una diferencia en desempeños bajo contaminación y una diferencia en la cantidad de deterioro en desempeños bajo contaminación después del envejecimiento acelerado. Los aisladores de hule de silicona tuvieron el mejor desempeño bajo ambas condiciones.

<b>Tipo de Aislador</b>	<b>ESDD 0.05 mg/cm<sup>2</sup></b>	<b>ESDD 0.10 mg/cm<sup>2</sup></b>
EPDM-2 antes	138kV	133kV
EPDM-2 después	108kV	106kV
EPDM-1 antes	126kV	123kV
EPDM-1 después	119kV	114kV
Hule de silicona-2 antes	151kV	147kV
Hule de silicona-2 después	144kV	138kV

**Tabla 4.7. Voltaje de descarga antes y después del envejecimiento acelerado en bajas y altas severidades de contaminación (expresado por el ESDD)**

El desempeño del aislador cerámico es consistente y bien definido. Los resultados de las curvas de laboratorio de descarga/ESDD bajo similares condiciones de humedad son totalmente reproducidas entre aisladores similares de diferentes fabricantes. Estos resultados no varían mucho la vida en servicio de los aisladores. Muy pocos cambios en el diseño, material o procesos han ocurrido en los últimos 30 años.

Los aisladores poliméricos están aún en estado de desarrollo. La Tabla 4.8 muestra algunos cambios mayores en los aisladores de varios fabricantes. La razón de estos cambios es para mejorar el desempeño y/o reducir el costo. De acuerdo con este diagrama existieron 20 significativos cambios en material y diseño durante 78 años de fabricación. Existieron también cambios “menores” que no se reflejaron mucho en este diagrama. Los fabricantes hicieron cambios mayores en el material o diseño cada 3,9 años en promedio. Los cambios hacen difícil proyectar el paso del desempeño polimérico al desempeño futuro. Estos cambios también hacen deseable las pruebas de envejecimiento acelerado para detectar posibles



diseños, materiales o procesos deficientes antes que los aisladores sean instalados.

Año	A	B	C	D	E
1976	Introducción del hule EP		Introducción del hule EP		
1981		Introducción del hule EP		—	
1982	Adición de antioxidante		Moldeado	Introducción de la silicona	
1983		Adición de pantalla UV			
1984				Cambio del color de la silicona	
1986	Introducción de mezclas poliméricas				
1987			Introducción de la silicona	Reducción del espesor del forro	
1989	Gran modificación de material				
1991	Gran modificación de material				
1992		Introducción de la silicona			—
1993		—		Incremento del espesor del forro	Introducción de la silicona
1994				Cambio del perfil de la tejadilla	
1995				Tejadillas alternativas	
1996				Cambio de los sellos de los fijadores extremos	
1997	Incremento de la distancia de dispersión				

**Tabla 4.8. Cambios en material y diseño cuantificados para los fabricantes de aisladores poliméricos para transmisión de Estados Unidos**

#### **4.4 EXPERIENCIA CON AISLADORES DE SILICONA EN ZONAS DE PLAYA DE FLORIDA**

La experiencia de la mayor empresa de servicios en Florida en una línea de 138kV fue la primera demostración del superior desempeño bajo contaminación de los aisladores de hule de silicona. Esta línea recorrió el norte y el sur a lo largo de la costa este de Florida. Un tramo de 3,5 millas de la línea varía en distancias desde 400 yardas a 100 yardas lejos del litoral del Océano Atlántico. Los reportes de paralizaciones indican que la línea tuvo un desempeño promedio de 78 paralizaciones/100 millas/año, causado principalmente por la contaminación salina, a pesar del periódico lavado a alta presión.

Cuando la línea fue evaluada para reaislarla, columnas de Vidriado Resistente (RG) fueron consideradas debido a que la experiencia había mostrado la efectividad de ellos en este tipo de ambiente salino. Sin embargo sus costos de adquisición eran considerablemente mayores que los aisladores columna de hule de silicona y el costo de pérdidas era también indeseable estimado en aproximadamente 16kW/hora para el tramo de 3,5 millas.

En 1989, esta sección fue reaislada con aisladores columna de hule de silicona con 130" de distancia de dispersión a manera de prueba. En el primer periodo de 36 meses del reaislamiento, la línea tuvo 19 paralizaciones debido a la contaminación salina. En el siguiente periodo de

36 meses del re-aislamiento, la línea tuvo 2 paralizaciones por contaminación. Para los 36 meses posteriores al re-aislamiento la línea tuvo un desempeño total de 22 paralizaciones/100 millas/año. La zona de la línea con aisladores columna de silicona no tuvo descargas durante las paralizaciones salinas de 1991 a 1996.

Aproximadamente 105 millas de líneas de 230kV en el Sur de Miami fueron originalmente construidas con aisladores de suspensión de porcelana y requirieron un programa de lavado a alta presión debido a la contaminación salina. Estas líneas fueron reaisladas después de ser dañadas por el huracán Andrew (en 1994) con aisladores de suspensión de silicona. Estos aisladores no han sido lavados a alta presión desde su instalación y no tuvieron ninguna paralización durante una severa tormenta salina en 1996.

#### **4.5 INSPECCIONES DE MANTENIMIENTO**

Los problemas de mantenimiento son considerados importantes cuando se seleccionan aisladores. Los aisladores de porcelana han estado circulando durante mucho tiempo y las empresas de servicios han desarrollado prácticas y técnicas relacionadas con ellos. Los aisladores de porcelana pueden desarrollar defectos tales como perforaciones, rajaduras o astillas en el casco y herrumbre del pin debajo de las faldas, los cuales pueden ser difíciles o imposibles de ver.

Los aisladores de vidrio endurecido tienen esfuerzos atrapados dentro del casco de vidrio. Cualquier impacto puede elevar el esfuerzo en ellos y causar destrozos. Esto hace que los aisladores de vidrio sean fácilmente inspeccionados y cuantificados si están visualmente intactos están amortiguados eléctrica y mecánicamente.

Una creciente preocupación con los aisladores poliméricos es relativa a la falta de habilidades y métodos de los trabajadores en estado cuantificado durante trabajos e inspecciones en línea viva. Cuando se introducen nuevos tipos de aisladores dentro del sistema, se necesitará prestar mucha atención en el impacto que tendrá en el embarque, manipulación, limpieza, inspecciones y entrenamiento del personal.

## CAPITULO V

### CAUSAS MÁS COMUNES DE FALLA EN AISLADORES

#### 5.1 MANIPULACIÓN

##### *a) Porcelana*

El daño de los aisladores de porcelana durante el transporte o en el campo se produce con poca frecuencia y es el resultado de una “ruda manipulación” en el transporte o en la instalación generalmente por personal inexperto.

Los aisladores más propensos a sufrir daño a causa de una “ruda manipulación” son los aisladores ligeros (aisladores tipo pin ó suspensión ó anclaje utilizados en redes de Media Tensión) que los aisladores pesados (aisladores tipo columna para línea y para subestación, tipo bushing utilizados en redes de Alta Tensión). Algunas empresas eléctricas utilizan un factor de daño de 2% para estimar la cantidad y el costo de los aisladores de porcelana de suspensión o tipo-pin a utilizar.

Los aisladores que están extremadamente dañados son fácilmente detectados y por ende no son instalados; sin embargo, las grietas capilares en la porcelana dieléctrica o rajaduras internas dentro de la cabeza del aislador de suspensión no son fácilmente detectadas. Estos aisladores fallarán bajo varias condiciones eléctricas, por ejemplo durante transitorios de fallas o maniobras.

**b) Vidrio**

Las fallas en los aisladores de vidrio se originan comúnmente en su superficie y son atribuidas a micro-rajaduras. Normalmente el porcentaje de purga de aisladores de suspensión de vidrio oscila 0.02%.

Algunas empresas eléctricas han reportado valores de purga significativamente altos de entre 0.15% a 0.20%. Analizando el tema se ha llegado a la conclusión de que la fallas se deben a la manera de manipular los aisladores en el campo, siendo muchas veces arrastrados por la tierra y golpeados e impactados con pequeñas astillas (piedras o rocas) las cuales afectan a la capa superficial. Estas astillas actúan como concentradores de esfuerzos y con la humedad y el ciclo térmico el casco del aislador eventualmente se destruiría.

### **c) Poliméricos**

Los aisladores poliméricos son fácilmente dañados a través de una “ruda manipulación”, el daño del polímero durante el transporte se puede producir fácilmente a través del contacto con superficies cortantes o abrasivas. Durante la instalación, el rajado del núcleo ocurre debido a cargas de voladizo o torsión. Una vez que el daño de la envoltura ocurre, el efecto de la humedad y el voltaje puede ocasionar uno o dos posibles modos de falla; el arrastre a lo largo del núcleo y la fractura del material frágil. El arrastre del núcleo expuesto puede tomar un largo tiempo dependiendo de la extensión del núcleo expuesto, la ubicación del daño relativo al extremo de la línea, humedad y cantidad de contaminación.

Las fallas por fractura del material frágil ocurren relativamente rápido si el daño es cercano al extremo de la línea del aislador. Esto puede ser debido a la producción de ácidos durante descargas corona en presencia de humedad. Las fallas por fractura del material frágil en el centro de un aislador o en el extremo de la estructura no han sido aún reportadas.

## **5.2 CONTROL DE CALIDAD**

### **a) Aisladores de Porcelana**

Aunque muchos tipos de fallas hacen frente al pobre o inadecuado control de calidad durante el proceso de fabricación de



los aisladores de porcelana, las mayores causas atribuidas son las siguientes:

- Propagación de defectos en la porcelana que son introducidos durante la fabricación de la porcelana dieléctrica, como por ejemplo: pueden introducirse rajaduras durante el torneado de las columnas, doble zambullida de los aisladores de suspensión, secado inadecuado antes de la cocción, cocción demasiado rápida, o durante la manipulación.
- Deterioro o inadecuado revestimiento bituminoso del metal o superficies de porcelana en contacto con el cemento.
- Mezcla inapropiada de materia prima y/o condiciones de cocción que pueden aumentar una variedad de condiciones tales como porcelana no cocida o no vitrificada o micro rajaduras alrededor de los materiales de relleno tales como cuarzo o alúmina o burbujas de aire dentro del dieléctrico debido a tratamientos con gas.
- Dilatación del cemento, elevando la fractura de la porcelana dieléctrica en aisladores de suspensión tipo pin y suspensión.
- Incremento de esfuerzos eléctricos en los aisladores de suspensión que se dan debido al material de la banda de arena y/o cementado inapropiado.

## **b) Aisladores de Vidrio**

Los defectos encontrados en el vidrio por un mal control de calidad en el proceso de fabricación son de 3 tipos: granos, piedras y cordones.

Los granos son pequeñas burbujas de gas, las cuales no han sido removidas durante la cocción. El afinamiento es el proceso por el cual las inclusiones gaseosas son removidas del vidrio derretido durante la fase de fundición. Las burbujas grandes son eliminadas a través de flotación por elevación de todo el fundente mientras que las pequeñas burbujas son removidas por disolución dentro del vidrio derretido a través del uso de agentes afinantes como  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  y  $\text{As}_2\text{O}_3$ .

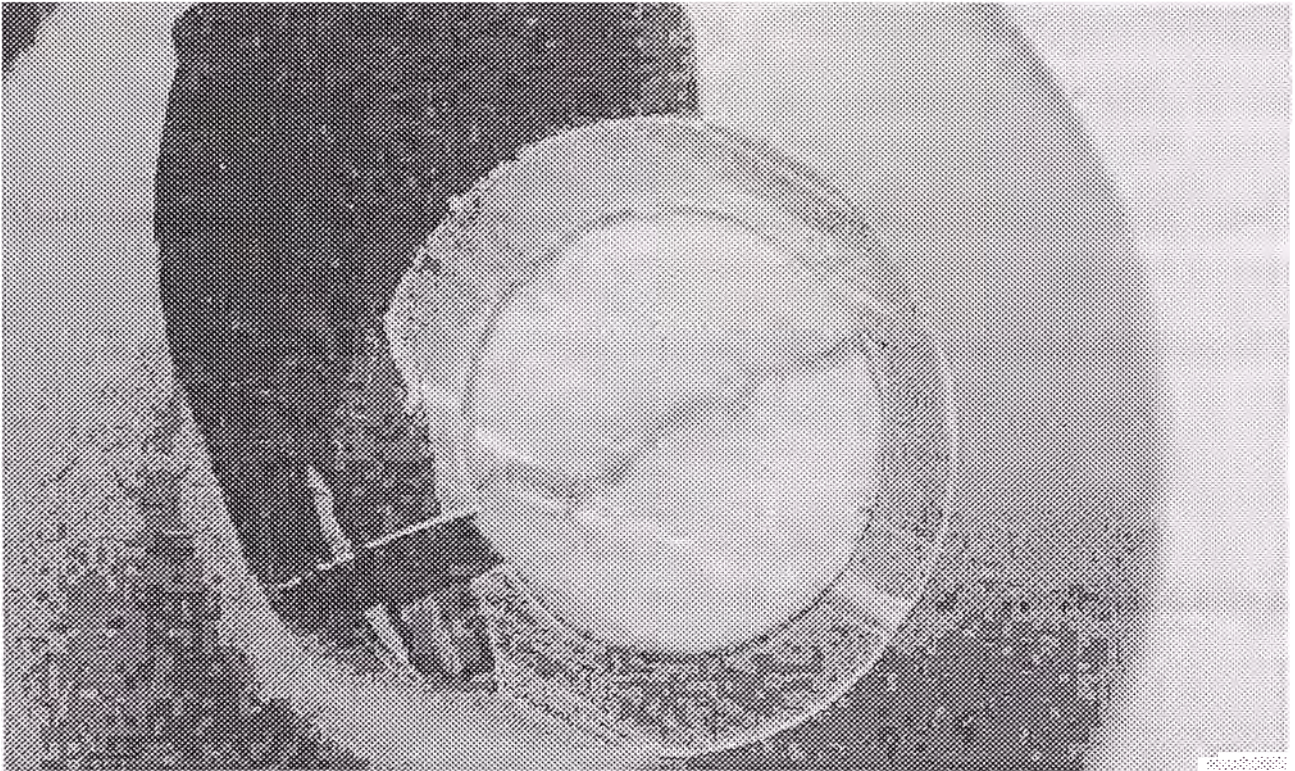
Las piedras son pequeñas imperfecciones cristalinas que son encontradas en el vidrio. Estas usualmente resultan de un periodo de fundición, el cual su tiempo es muy corto para permitir la completa disolución. El revestimiento refractario, usualmente  $\text{ZrO}_2$  de los hornos es una fuente común de tales fragmentos cristalinos.

Los cordones son inclusiones amorfas en el vidrio, las cuales pueden ser detectadas debido al índice de refracción diferente de las partes de vidrio circundante. Los cordones son el resultado de la mezcla inadecuada de los ingredientes del vidrio y la incompleta homogenización del fundente.

La inspección visual de los cascos de vidrio, la cual sigue a la prueba de impacto térmico, normalmente puede descartar cascos que contengan grandes granos y piedras. Los cordones son algo más difíciles de detectar y como resultado escapan al descarte.

**c) *Aisladores Poliméricos***

**Daño del Núcleo y/o Ferretería durante el Estampado**, a través de los años varios métodos de enganche de los fijadores o herrajes extremos al núcleo han sido desarrollados. Actualmente el estampado es el método principal de enganche para diseños de aisladores desarrollados con núcleo sólido. Cuando el estampado es uniforme alrededor de la periferia de los herrajes extremos la compresión de los herrajes extremos desarrolla la más alta resistencia promedio a la rotura por unidad de sección transversal de varilla encima de otros métodos de enganche. Sin embargo, cuando los dados de estampado están gastados o se usan dados de dos caras puede ocurrir daño del núcleo por rajadura como se observa en la Fig. 5.1.



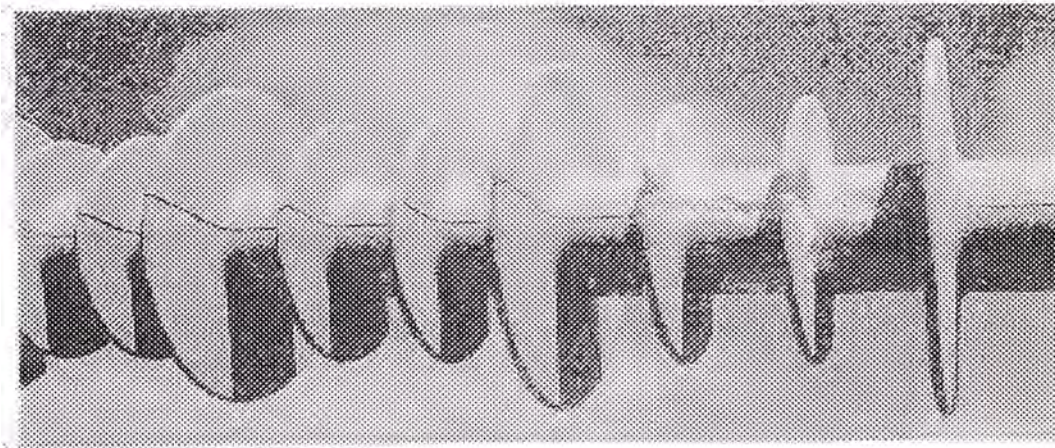
**Fig. 5.1. Daño del núcleo de fibra de vidrio debido al estampado usando dados de dos caras**

Más aún, cuando las tolerancias entre el diámetro exterior del núcleo y el diámetro interior de la ferretería son muy grandes el estampado del metal puede inducir rajaduras en la ferretería. Estas rajaduras tanto en el núcleo como en la ferretería pueden no ser notados y los aisladores pueden pasar la prueba rutinaria contra la tensión sólo para fallar posteriormente en el campo. Actualmente no existen técnicas que sean empeladas para detectar un núcleo rajado.

**Erosión en la Línea Divisoria de Moldeo,** todos los materiales poliméricos erosionarán bajo la acción de una fuga o descarga corona. Normalmente la erosión de los poliméricos que son altamente



rellenos con rellenos inorgánicos es un proceso extremadamente lento y de pequeña preocupación en la pérdida del acanalado. La erosión acanalada tal como es evidente en la Fig. 5.2, resulta de una fuga a lo largo de la línea divisoria de moldeo y puede derivar en falla. Una vez que la erosión expone el núcleo a fugas, la falla por arrastre a lo largo del núcleo es casi segura de ocurrir.



**Fig. 5.2. Erosión en la línea divisoria de moldeo**

Actualmente, no existen otras técnicas que la visual que sean empleadas para el aseguramiento de la calidad. Como resultado la erosión en el campo llega a ser evidente después de mucho tiempo debido a las fugas.

### **5.3 PROBLEMAS DE APLICACIÓN**

#### **a) *Descarga***

Las condiciones de servicio tales como ondas de maniobra, relámpagos o contaminación pueden derivar en descargas seguidas por arcos eléctricos, los cuales podrían resultar en daños en el

aislador y fallas dependiendo de la magnitud de la corriente de falla y el tiempo de acción de la protección.

En los aisladores de vidrio en mayor grado que en la porcelana se produce la desintegración del casco dieléctrico. En ambos la erosión del pin puede ser amplia, sin embargo, para que esto ocurra la corriente de falla debe estar en el rango de 50kA por una duración mayor de 10 ciclos. Debajo de esta magnitud de corriente de falla y tiempo de acción de la protección sólo se puede evidenciar un daño superficial en el vidriado, en la porcelana y en la ferretería de ambos aisladores. En los aisladores poliméricos el daño de los anillos corona puede ser amplio dependiendo de la magnitud y duración del arco eléctrico. En aisladores no ajustados con un anillo corona el daño en el sello y el fijador extremo es muy posible de ocurrir. Generalmente los aisladores poliméricos no son capaces de soportar los mismos niveles de falla de energía como los aisladores de porcelana y vidrio endurecido.

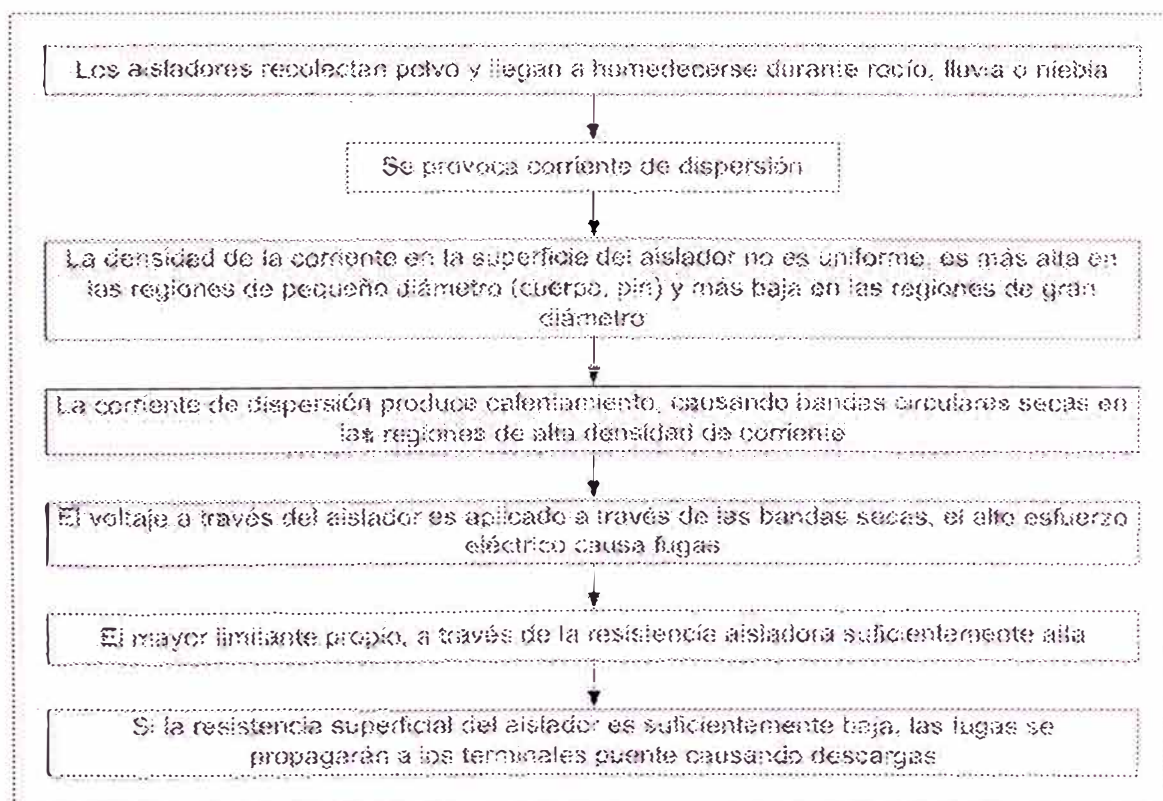
#### **5.4 PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN**

El desempeño del aislador bajo condiciones de contaminación es el factor fundamental que determina el diseño del aislamiento para aplicaciones exteriores. Actualmente existen pruebas normalizadas de contaminación para los aisladores de porcelana y vidrio, pero no para aisladores poliméricos. Aún para los aisladores de porcelana y vidrio existen instancias

donde las discrepancias aumentan entre las predicciones del laboratorio y la experiencia del campo. Por tal razón es importante entender el fenómeno de descarga en contaminación, así como las ventajas y limitaciones de las pruebas de laboratorio a fin de desarrollar pruebas más sensibles para los aisladores cerámicos y poliméricos.

#### **5.4.1 Fenómeno de Descarga en Contaminación**

Los eventos que derivan en descarga bajo contaminación de los aisladores exteriores se muestran en la Fig. 5.3.



**Fig.5.3. Esquema de eventos que derivan en descarga bajo contaminación**

- En la acumulación de contaminación las principales fuerzas que actúan en las partículas de polvo cercanas a un aislador

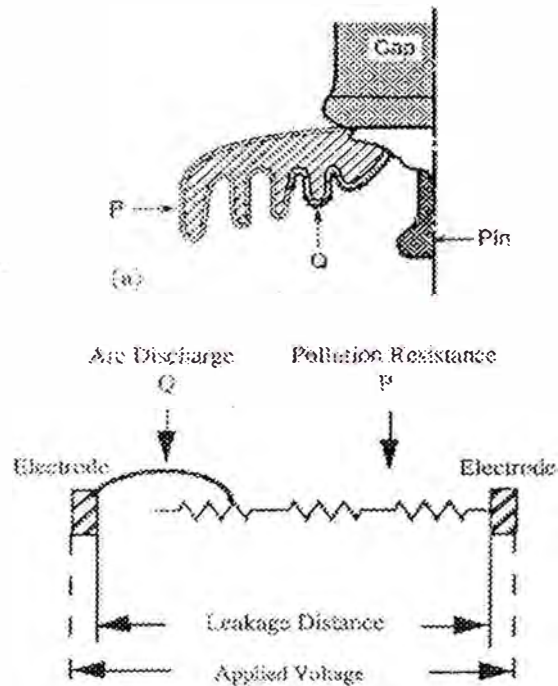


energizado son gravedad, viento y campo eléctrico. La fuerza más dominante responsable de la contaminación del aislador es el viento, seguida por el esfuerzo eléctrico. Existen muchos tipos de contaminantes en el campo. El tipo y la cantidad acumulada en el aislador dependen del área o zona de servicio. La contaminación salina ( $\text{NaCl}$ ) es un problema común para aisladores cercanos a la costa, el yeso ( $\text{CaSO}_4$ ), el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y el cemento son un problema común en zonas industriales. En áreas agrícolas los fosfatos y nitratos de nitrógeno y amonio son comúnmente observados en los aisladores.

- El humedecimiento del aislador durante el servicio puede provocarse por lluvia, rocío o niebla. El humedecimiento por lluvia es simplemente por choque de partículas de agua. El humedecimiento durante rocío o niebla es por un proceso de condensación el cual depende de la diferencia de temperatura entre la superficie del aislador y el ambiente, el vapor de agua se condensará en la superficie del aislador tanto como sea la temperatura superficial debajo de la ambiental. El humedecimiento por condensación está caracterizado por una distribución uniforme de pequeñas gotitas de agua, mientras que el humedecimiento por colisión debido a lluvia está

caracterizado por grandes gotas de agua que también son más separadas.

- Las fugas por corrientes de dispersión causan calentamiento de la capa electrolítica. La disipación de energía la cual es función de la densidad de corriente es alta en las partes angostas del aislador tales como cerca del pin de los aisladores de porcelana y vidrio y en el cuerpo de los aisladores poliméricos. El agua es evaporada en esta región formando pequeñas bandas anulares llamadas bandas secas. La formación de bandas secas causa un significativo cambio en la distribución de voltaje a lo largo del aislador. El volumen de voltaje aparece ahora a través de las bandas angostas. Consecuentemente el esfuerzo eléctrico a través de las bandas secas es más alto que el valor de resistencia de la banda seca, causando el desarrollo de un arco a través de esta banda. El arco de corriente está limitado por la resistencia de la capa superficial en serie con la banda seca, como se ilustra en la Fig. 5.4. Varias fugas pueden desarrollarse en un aislador, sin embargo sólo una de ellas será dominante.



**Fig. 5.4: Esquema de una fuga en un aislador contaminado (con polución)**

Las fugas son usualmente auto-limitadas. La corriente en la fuga es sólo de unos pocos miliamperios, y requiere un voltaje substancial para soportarla. Este factor, combinado con la gran resistencia superficial, causa fugas que serán reprimidas o extinguidas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, tales como baja resistencia superficial causada por altos niveles de contaminación, u ondas de voltaje, presencia de gases ionizados en las cercanías del aislador, viento ayudando el movimiento del arco; la banda seca puede extenderse lo suficiente para formar un puente en la brecha entre los terminales del aislador causando una descarga.

#### **5.4.2. Pruebas de Contaminación Artificial**

Las pruebas de laboratorio pueden proporcionar las bases para el diseño y selección del aislador, asimismo, proporcionan información valiosa para el desarrollo de teorías y modelos para explicar la descarga de aisladores contaminados. Los datos de campo juegan un rol importante en el desarrollo de las pruebas de laboratorio para evaluar el desempeño del aislador en contaminación.

Las pruebas de laboratorio de contaminación artificial han sido sujeto de investigación en las organizaciones que escriben las normas, tal como la IEC e IEEE/ANSI, por más de 50 años, derivando esto en la normalización de 2 métodos de prueba para evaluar aisladores de porcelana y vidrio: la prueba de niebla salina y la prueba de niebla limpia.

La calidad de las pruebas de laboratorio puede ser cuantificada por 3 medidas: Repetibilidad, Reproducibilidad y Representatividad. La Repetibilidad se refiere a la capacidad de la prueba de producir el mismo resultado dentro de límites razonables. La Reproducibilidad se refiere a la capacidad de obtener el mismo resultado (nuevamente con límites razonables). La Representatividad se refiere a la capacidad de la prueba de laboratorio de duplicar condiciones de servicio o de campo.

**a) Prueba de Niebla Salina**

Esta prueba fue desarrollada durante los años '60, gracias principalmente al esfuerzo conjunto del Reino Unido, Francia e Italia. Existen varias líneas de transmisión en estos países cuyos recorridos son muy cercanos a la costa y son sometidas a humedad de agua salada desde el océano. Esto hizo sentir por tanto la necesidad de una prueba que pudiera simular este método de humedad para el diseño del aislamiento exterior.

En la prueba de niebla salada, el aislador bajo prueba es limpiado inicialmente y luego es sometido a un spray de agua-salada desde atomizadores ubicados a una cierta distancia del aislador. El aislador es sometido a un voltaje constante (usualmente del valor del voltaje línea a tierra en el cual el aislador será usado) durante la prueba. La severidad de la prueba está determinada por la cantidad de cloruro de sodio añadida al agua. El resultado de la prueba es una descarga o una resistencia. Si el resultado de la prueba es una resistencia, la prueba es repetida con un nivel más alto de salinidad del agua salada. Cada prueba dura cerca de 1 hora, a menos que el aislador descargue antes de este tiempo. Desde esta prueba, puede obtenerse el más alto valor de salinidad de agua salada, expresada en  $\text{Kg/m}^3$ , que derivarán en la resistencia del valor del voltaje nominal.

**Ventajas:** esta prueba no requiere ningún preacondicionamiento del aislador. No existe la necesidad de esperar un largo tiempo entre pruebas sucesivas ya que el aislador humedecido es simplemente expuesto al spray salino. Esta prueba es un rápido y efectivo camino para comparar diferentes perfiles de aisladores.

**Limitaciones:** el humedecimiento del aislador es por choque el cual proviene típicamente de una lluvia pesada. Este modo de humedecimiento es responsable de una minoría de descargas en servicio. El humedecimiento del aislador es significativamente dependiente del perfil. Los aisladores con grandes áreas protegidas pueden mantenerse secos, y esto impacta en el resultado final de la prueba. Ninguna correlación, entre la resistencia salina y la contaminación actual en el campo es altamente dependiente del perfil del aislador y el área del campo, y por tanto no puede generalizarse para todas las áreas ni perfiles del aislador.

#### ***b) Prueba de Niebla Limpia***

Esta prueba fue desarrollada en Norte América en los años '70, gracias al Grupo de Trabajo en Aisladores Contaminados de la IEEE. El intento fue desarrollado en una prueba que es más representativa en aisladores que están ubicados en el interior de país, los cuales llegan a ensuciarse durante servicio por exposición a corrientes

secas de aire contaminado y llegan a humedecerse por agentes naturales como niebla, rocío y lluvia.

El aislador es precontaminado con una lechada y luego es secado. La lechada es cubierta con cloruro de sodio (sal) y un aglomerante inerte, tal como arcilla en agua. El cloruro de sodio proporciona la conductividad y la arcilla ayuda a que la sal se retenga en la superficie por un largo tiempo. La cantidad de sal en la lechada determina la severidad de contaminación.

El aislador es luego energizado con el voltaje nominal y sometido a humedecimiento por condensación exponiéndolo al vapor. El vapor es usualmente generado por cocción de agua en un tanque dentro de la cámara de prueba. Siendo la temperatura superficial del aislador inicialmente más baja que la ambiental, el aislador gradualmente se humedecerá y la superficie llegará a ser conductiva elevando las fugas. El resultado de la prueba es una descarga o resistencia. La duración de la prueba es cerca de 2 horas a menos que el aislador descargue antes de este tiempo. Más allá del tiempo el humedecimiento por condensación cesará cuando el equilibrio térmico se haya establecido en la cámara de prueba. Para pruebas sucesivas, el aislador es removido, limpiado y se le aplica una nueva capa de contaminación artificial, repitiéndose luego la prueba.



**Ventajas:** esta prueba es más representativa en el desempeño del aislador en servicio que la prueba de niebla salada.

**Limitaciones:** esta prueba requiere que el aislador sea precontaminado. Algunas habilidades son requeridas para obtener una contaminación uniforme en los aisladores de porcelana y vidrio, y el problema es más complicado para aisladores poliméricos. Desde que la prueba depende de la condensación de la humedad, es importante después de cada prueba permitir que la cámara de prueba se enfríe. Esta prueba consume más tiempo que la prueba de niebla salada.

## **CAPITULO VI**

### **EVALUACION TECNICA ECONOMICA DE AISLADORES POLIMERICOS**

Como experiencia de Luz del Sur, la performance de los aisladores de porcelana no ha sido buena en zonas de alta polución originando pérdidas, interrupciones por descargas en el aislador. Para minimizar la cantidad de interrupciones por descargas en los aisladores de porcelana se realiza mantenimiento a éstos con un período no menor a dos veces al año, ocasionando un incremento en sus costos por mantenimiento. Todo lo manifestado anteriormente ha generado una gran preocupación para la empresa.

Tratando de reducir sus pérdidas, así como mejorar la calidad de servicio (disminuirla cantidad de interrupciones) Luz del Sur ha venido experimentando el uso de aisladores poliméricos desde el año 1995.

En la actualidad existe un 20% de aisladores poliméricos (tipo pin, suspensión y anclaje) instalados en las redes de distribución primaria (Media Tensión), siendo la tendencia de ésta de seguir utilizando estos tipos de

aisladores. Para oficializar su uso masivamente en el sistema Luz del Sur se deberá realizar un sustento técnico económico, elaborar una norma interna y una especificación técnica en la cual se detalla las característica técnicas que deben cumplir cualquier aislador polimérico a utilizar en el sistema Luz del Sur.

El presente capítulo contiene el sustento técnico económico para el uso de aisladores poliméricos, siendo éste el primer paso a seguir de acuerdo a lo ya manifestado.

Los principales alcances de la presente evaluación son:

- Verificación de las ventajas y desventajas técnicas en el uso aisladores poliméricos.
- Definición de la rentabilidad de la inversión asociada al cambio de aislador convencional por el polimérico
- Determinación del periodo de recuperación de la inversión marginal al usar aisladores de mayor valor inicial pero que eliminan la pérdida técnica y la necesidad de mantenimiento.

## **6.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS AISLADORES A EVALUAR**

Las características técnicas principales de los aisladores utilizados se detallan a continuación:

- Distancia de fuga total: 450mm
- Distancia de fuga protegida: 250mm.
- Tensión disruptiva a baja frecuencia:
  - En seco 75KV.
  - En lluvia 50KV.
- Tensión disruptiva al impulso positivo 135KV.
- Tensión disruptiva al impulso negativo 175KV.
- Características de radio interferencia
  - Prueba de tensión de radio interferencia RMS a tierra 15KV.
  - Mínimo RIV a 1.000 KHz. 50 $\mu$ V.
- Esfuerzo mínimo en cantiliver (mínimo) 965Kg.

Asimismo se corrobora el cumplimiento de estos aisladores con las siguientes normas internacionales a través de sus protocolos de prueba entregados:

ANSI C29.1: Para métodos de prueba de aisladores

ANSI C29.7: Para aisladores de porcelana

ANSI C29.11: Para aisladores poliméricos

ANSI/IEEE 4-1978: Técnicas para pruebas de alta tensión

## 6.2 EVALUACIÓN TÉCNICA

Para la presente evaluación se instalaron en conjunto los aisladores poliméricos y porcelana, midiendo las corrientes de fuga en ambos tipos de aisladores los días uno (1), treinta y uno (31), sesenta y uno (61) y noventa y uno (91) después de la fecha de la fecha de instalación. Asimismo la cantidad de aisladores a utilizar para la presente evaluación fueron 4 aisladores por cada tipo. Las zonas de instalación fueron escogidas de acuerdo al criterio de criticidad ya definidas por la empresa.

### **6.2.1 Circuitos Seleccionados para la Instalación**

De acuerdo a la criticidad de las zonas por contaminación se definieron dos tipos de circuitos a instalar: uno de zonas de corrosión muy severa (cercana al mar) y la otra zona de alta polución (zona industrial).

A continuación se describe los principales alcances de la instalación de los aisladores a evaluar:

#### **a) Circuito N°1**

Fecha de instalación:	21/04/2003
Lugar:	Cooperativa Uranmarca – Villa el Salvador
Circuito:	de PDS 864 a SAB 4281
Antigüedad del circuito:	06/01/1990
Periodos de mantenimiento:	Seis meses

Características de la zona:	Alta polución
Distancia al mar:	Aproximadamente a 3Km. del mar
Aisladores instalados:	3 aisladores por tipo

### **b) Circuito N°2**

Fecha de instalación:	18/04/2003
Lugar:	Playa Paraíso Azul, Altura Km. 22 Panamericana Sur
Circuito:	de SE 666 a SE 786
Antigüedad del circuito:	01/09/1965
Periodos de mantenimiento:	Cuatro meses
Características de la zona:	zona de corrosión muy severa
Distancia al mar:	300m. aproximadamente
Aisladores instalados:	3 aisladores por tipo

### **6.2.2 Procedimiento para la toma de valores de corriente de fuga**

Para todos los aisladores monitoreados (circuito N°1 y circuito N°2) se ha realizado una conexión con cable coaxial tipo RG-58U desde el soporte metálico del aislador hasta la caja de medición que quedó instalada en el poste a 3m. de altura. Dicha caja de medición permite monitorear un máximo de seis aisladores, recibiendo los cables coaxiales.

Para la obtención de datos se utilizó un sistema de monitoreo de corriente de fuga, el cual consiste en un sensor de corriente que toma la señal en microamperios y la transporta mediante un cable coaxial hasta un sistema electrónico convirtiendo la corriente de fuga medida en una señal de tensión la cual es procesada en una tarjeta integrada para que finalmente pueda comunicarse con la computadora mediante software. El software nos permite obtener registros de valores picos (instantáneos) y promedios (acumulados) de corriente de fuga, así como datos estadísticos y curvas de tiempo vs. Corriente.

### **6.2.3 Valores Obtenidos**

Por cada fecha de medición establecida se realizaron mediciones con periodos de tiempo de 5 min., en un rango de intensidad de 1 a 5 mA., elaborándose así cuadros de valores comparativos por fecha de medición y por tipo de corriente medida (pico ó promedio), las cuales se muestran en las tablas

6.1 (Valores de corriente de fuga pico en mA. en Circuito 1),

6.2 (Valores de corriente de fuga promedio en mA. en Circuito 1),

6.3 (Valores de corriente de fuga pico en mA. En Circuito 2),

6.4 (Valores de corriente de fuga promedio en mA. En Circuito 2)



<b>VALORES DE CORRIENTE DE FUGA PICO EN mA EN CIRCUITO 1</b>					
TIPO DE AISLADOR	NUMERO	FECHA DE MEDICION			
		21/04/03	01/06/03	07/07/03	08/09/03
ASIALDORES DE PORCELANA	0	0,1	0,1	0,1	0,6
	1	0	0,1	0,3	0,6
	2	0,1	0,1	0,3	0,7
AISLADORES HIBRIDOS RAYCHEM	3	0	0	0,1	0,1
	4	0	0,1	0,1	0,1
	5	0	0	0,1	0,1

#### 6.1. Valores de corriente de fuga pico en mA. en Circuito 1

<b>VALORES DE CORRIENTE DE FUGA PPROMEDIO EN mA EN CIRCUITO 1</b>					
TIPO DE AISLADOR	NUMERO	FECHA DE MEDICION			
		21/04/03	01/06/03	07/07/03	08/09/03
ASIALDORES DE PORCELANA	0	0	0	0	0,198
	1	0	0	0,125	0,217
	2	0	0	0,089	0,266
AISLADORES HIBRIDOS RAYCHEM	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0

#### 6.2. Valores de corriente de fuga promedio en mA. en Circuito 1

<b>VALORES DE CORRIENTE DE FUGA PICO EN mA EN CIRCUITO 2</b>					
TIPO DE AISLADOR	NUMERO	FECHA DE MEDICION			
		21/04/03	01/06/03	07/07/03	08/09/03
ASIALDORES DE PORCELANA	0	0,2	0,4	0,9	4,4
	1	0	0,4	0,8	4,0
	2	0,2	0,4	0,9	4,7
AISLADORES HIBRIDOS RAYCHEM	3	0	0	0,1	0,1
	4	0	0,1	0,1	0,1
	5	0	0,1	0,1	0,1

### 6.3. Valores de corriente de fuga pico en mA. en Circuito 2

VALORES DE CORRIENTE DE FUGA PPROMEDIO EN mA EN CIRCUITO 2					
TIPO DE AISLADOR	NUMERO	FECHA DE MEDICION			
		21/04/03	01/06/03	07/07/03	08/09/03
ASIALDORES DE PORCELANA	0	0	0,137	0,408	1,381
	1	0	0,11	0,44	1,407
	2	0	0,152	0,421	1,501
AISLADORES HIBRIDOS RAYCHEM	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	5	0	0	0	0

### 6.4. Valores de corriente de fuga promedio en mA. en Circuito 2

## 6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 6.3.1 Definición de rentabilidad de la inversión

Teniendo un parque actual de aisladores de porcelana instalados en la red se va a proceder a evaluar dos proyectos de inversión: el primero escenario asumiendo el reemplazo de todos los aisladores de porcelana por poliméricos instalados en la red y el uso en delante de sólo aisladores poliméricos, y el segundo escenario asumiendo el uso en delante de solo aisladores poliméricos. Por tanto se calculará su VAN y TIR por cada proyecto ya mencionado. El periodo considerado por cada proyecto es de 15 años, el cual es fijado por la empresa para estos tipos de proyectos de inversión.

A continuación se detalla los principales aspectos considerados para cada escenario:

a) **Escenario 1:** Reemplazo total de aisladores porcelanas existentes por aisladores poliméricos y uso en delante de aisladores poliméricos.

Los principales aspectos considerados para la evaluación económica se muestran en la tabla 6.5. Estos se dividen en consideraciones indirectas (valores no intervienen en cálculo de VAN y TIR) y directas (valores intervienen en cálculo de VAN y TIR).

Descripción de Consideraciones	Valor	Tipo
Impuesto a la Renta	30%	Directa
Porcentaje incremento anual expansión de redes	2,50%	Indirecta
Costo promedio de KWH en M.T. (Cent. US\$.)	7,00	Directa
Precio promedio venta energía KWH (Cent. US\$.)	15,00	Directa
Cantidad de aisladores instalados aprox. a la fecha	60.000	Indirecta
Cantidad de aisladores porcelana instalados aprox.	45.000	Directa
Cantidad de aisladores poliméricos instalados aprox.	15.000	Indirecta
Inversión Inicial materiales (15 años) (US\$.)	1.350.000,00	Directa
Costo total mano de obra reemplazo de aislador porcelana por polimérico (US\$.)	220.500,00	Directa
Costo promedio aislador polimérico (US\$.)	30,00	Directa
Costo promedio Instalación aislador polimérico (US\$)	7,00	Directa
Costo promedio reemplazo aislador porcelana por polimérico (US\$.)	4,90	Indirecta
Costo promedio limpieza por aislador porcelana (US\$)	3,45	Directa
Costo promedio limpieza por aislador polimérico (US\$)	4,45	Directa
Cantidad promedio mantenimiento/año de aisladores porcelana	2	Indirecta
Cantidad promedio mantenimiento/año de aisladores poliméricos	1	Indirecta
Tiempo promedio fuera de servicio por mantenimiento de aisladores poliméricos y porcelana (horas)	4	Indirecta
Corriente de fuga ahorrada por aislador polimérico (mA.)	1,407	Indirecta
Energía ahorrada por aislador polimérico (KWH)	103,33	Directa

Sección de Conductor de cobre de red modelo (mm <sup>2</sup> )	35	Indirecta
Capacidad de corriente de conductor de cobre modelo (A.)	140	Indirecta
Potencia de red modelo (KW)	833	Directa
Factor de carga de red modelo (residencial, comercial, industrial)	0,70	Indirecta
Factor de potencia de red modelo	0,85	Indirecta
Cantidad de Interrupciones diarias	5,00	Indirecta
Cantidad promedio KWH diarias dejadas de vender	3.000,00	Indirecta
Porcentaje interrupciones atribuido a descargas temporales	80%	Directa
Porcentaje interrupciones atribuido a descarga en aisladores porcelana	25%	Directa
Porcentaje interrupciones atribuido a descarga en aisladores poliméricos	5%	Directa

**Tabla 6.5. Consideraciones para evaluación económica Escenario N°1**

No se ha estimado el ahorro por disminución en la compensación por calidad de servicio que desembolsa la empresa anualmente y es calculada semestralmente. Esto generaría mayor rentabilidad para cada proyecto

Las tablas 6.6 y 6.7 muestran los valores de ingresos y egresos, y el flujo de caja económico para este escenario,

b) **Escenario 2:** Uso en delante solo de aisladores poliméricos.

Los principales aspectos considerados para la evaluación económica se muestran en la tabla 6.8. Estos se dividen en consideraciones indirectas (valores no intervienen en cálculo de VAN y TIR) y directas (valores intervienen en cálculo de VAN y TIR).

<b>Descripción de Consideraciones</b>	<b>Valor</b>	<b>Tipo</b>
Impuesto a la Renta	30%	Directa
Porcentaje incremento anual expansión de redes	2,50%	Indirecta
Costo promedio de KWH en M.T. (Cent.US\$.)	7,00	Directa
Precio promedio venta energía (Cent. US\$.)	15,00	Directa
Cantidad de aisladores instalados aprox. a la fecha	60.000,00	Indirecta
Cantidad de aisladores porcelana instalados aprox.	45.000,00	Directa
Cantidad de aisladores poliméricos instalados aprox.	15.000,00	Indirecta
Costo reemplazo de aislador porcelana por polimérico	220.500,00	Directa
Inversión Inicial materiales (15 años) (US\$.)	1.350.000,00	Directa
Costo total mano de obra reemplazo de aislador porcelana por polimérico (US\$.)	30,00	Directa
Costo promedio Instalación aislador polimérico (US\$)	7,00	Directa
Costo promedio reemplazo aislador porcelana por polimérico (US\$.)	4,90	Indirecta
Costo promedio limpieza por aislador porcelana (US\$)	3,45	Directa
Costo promedio limpieza por aislador polimérico (US\$)	4,45	Directa
Cantidad promedio mantenimiento/año de aisladores porcelana	2	Indirecta
Cantidad promedio mantenimiento/año de aisladores poliméricos	1	Indirecta
Tiempo promedio fuera de servicio por mantenimiento de aisladores poliméricos y porcelana (horas)	4,00	Indirecta
Corriente de fuga ahorrada por aislador polimérico (mA.)	1,407	Indirecta
Energía ahorrada por aislador polimérico (KWH)	103,33	Directa
Sección de Conductor de cobre de red modelo (mm <sup>2</sup> )	35	Indirecta
Capacidad de corriente de conductor de cobre modelo (A.)	140	Indirecta
Potencia de red modelo (KW)	833	Directa
Factor de carga de red modelo (residencial, comercial, industrial)	0,70	Indirecta
Factor de potencia de red modelo	0,85	Indirecta
Cantidad de Interrupciones diarias	5,00	Indirecta
Cantidad promedio KWH diarias dejadas de vender	3.000,00	Indirecta
Porcentaje interrupciones atribuido a descargas temporales	80%	Directa
Porcentaje interrupciones atribuido a descarga en aisladores porcelana	25%	Directa
Porcentaje interrupciones atribuido a descarga en aisladores poliméricos	5%	Directa

**Tabla 6.8. Consideraciones para evaluación económica Escenario N°2**

No se ha considerado para el cálculo del VAN y TIR el ahorro por disminución en la compensación por calidad de servicio que desembolsa la empresa anualmente, la cual es calculada semestralmente. Esto generaría mayor rentabilidad para cada proyecto

Las tablas 6.9 y 6.10 muestran los valores de ingresos y egresos, y el flujo de caja económico para este escenario,

### **6.3.2 Determinación del Periodo de Recuperación de la Inversión**

En esta parte de la evaluación se determina el periodo de recuperación de la inversión para cada escenario

Para esto se iguala el VAN a cero en la fórmula del cálculo del VAN:

$$\text{VAN} = A \times \frac{[(1+i)^{n-1}]}{i \times (1+i)^n} - C \quad \dots\dots\dots (1)$$

De donde:

A: Serie de ingresos equivalentes

C: Inversión inicial

i: tasa anual en %

VAN: valor actual neto

n: periodo del proyecto (para VAN = 0, n es el periodo de recuperación de la inversión)

De la ecuación (1) igualamos el VAN a cero:

$$\begin{array}{l} \text{VAN} = 0 \text{ entonces} \\ (2) \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{[(1+i)^n - 1]}{i} = \frac{C}{A} \end{array} \quad \dots\dots\dots$$

**Para el escenario 1:**

Se tienen los siguientes datos de la tabla 6.7:

$$A = 1.749.876,44 \quad C = -1.570.500,00 \quad i = 0.12$$

Al reemplazar en la expresión (2) se obtiene, n = 2 años.

***Por tanto el periodo de recuperación de la inversión para el primer escenario será de 2 años.***

**Para el escenario 2:**

Se tienen los siguientes datos de la tabla 6.10:

$$A = 74.017,27 \quad C = 0 \quad i = 0.12$$

Al reemplazar en la expresión (2) se obtiene, n = 1 año.

***Por tanto el periodo de recuperación de la inversión para el primer escenario será de 2 años.***



## CONCLUSIONES

- Actualmente no existe un gran nivel de normalización a nivel internacional (normas IEEE/ANSI, IEC) para aisladores poliméricos, por tanto el diseño de estos puede variar entre fabricantes. Para aisladores de porcelana y vidrio las reglas para el diseño y selección son idénticas y ya están establecidas en normas internacionales.
- Existen pruebas para el control de calidad comprendidas en normas internacionales para aisladores poliméricos que cubren los componentes (núcleo, envoltura, herrajes) así como a los aisladores completos. Una gran mayoría de estas pruebas desarrolladas para aisladores poliméricos han sido adaptadas de las normas para aisladores de porcelana y vidrio, así como varias pruebas nuevas han sido necesarias debido a las diferencias en los aspectos constructivos de los aisladores poliméricos cuando se comparan con la porcelana y el vidrio.
- Las condiciones ambientales de servicio como la temperatura, humedad, contaminación, altitud varían en un amplio rango. Por tanto los fabricantes de aisladores deberán considerar para el diseño todos estos

esfuerzos en cantidad y criticidad, garantizando la buena performance del aislador por muchos años.

- Para la selección del tipo de aislador a utilizar, la persona responsable de la selección debe tener conocimiento de una gran cantidad de variables acerca del medio ambiente, tipos de estructuras, operación y mantenimiento de las redes de distribución, a fin de establecer las especificaciones técnicas del aislador a utilizar.
- Actualmente una de las mejores guías para seleccionar distancias de dispersión en aisladores bajo varias condiciones de contaminación es la Publicación 815 de la IEC, “Guía de selección de Aisladores respecto a condiciones de polución”. Cabe resaltar que esta guía es sólo para aisladores de porcelana y vidrio.
- Un procedimiento adecuado para establecer los requerimientos mínimos que debe cumplir un aislador para su buen desempeño en condiciones de contaminación es primeramente medir los niveles de contaminación tomando muestras cuantitativas a través de un largo periodo; seguidamente someter a los aisladores a pruebas en laboratorios observando su desempeño en descargas bajo contaminación con aislamientos alternativo, estableciendo así los requerimientos mínimos para el desempeño del aislador bajo condiciones de contaminación; finalmente se deberá probar en campo siendo la experiencia en el uso la

que determine si el aislamiento seleccionado fue adecuado para el desempeño del aislador bajo condiciones de contaminación.

- Los aisladores poliméricos son más propensos a sufrir daño alguno por mala manipulación del personal ya sea durante el embalaje, transporte, instalación
- En la evaluación económica, para el escenario N°1, el que se asume un reemplazo total de aisladores de porcelana por poliméricos y el uso exclusivo de aisladores poliméricos para nuevos proyectos, se tiene una rentabilidad en la tasa interna de retorno (TIR) de 99,12% y un valor actual neto (VAN) de US\$. 7.025.841,38 para un periodo de evaluación de 15 años; siendo el periodo de recupero de la inversión de 2 años
- En la evaluación económica, para el escenario N°2, en el que se asume mantener el parque actual de aisladores de porcelana y utilizar aisladores poliméricos para nuevos proyectos, se tiene una rentabilidad en la tasa interna de retorno (TIR) demasiado elevada debido a que no se requiere de inversión alguna y un valor actual neto (VAN) de US\$. 622.092,92 para un periodo de evaluación de 15 años, siendo el periodo de recupero de la inversión de 1 año
- Del monitoreo realizado en campo a los aisladores poliméricos y porcelana se puede apreciar que utilizando aisladores poliméricos se

tiene un beneficio económico que se logra al evitar las interrupciones imprevistas por descargas en los aisladores. Por otro lado se proporcionará mejor confiabilidad a las redes y por lo tanto una mejor imagen de la empresa a sus clientes.

- Los beneficios por el uso de aisladores poliméricos en reemplazo del porcelana son la disminución del periodo de mantenimiento, disminución de interrupciones imprevistas por descargas en aisladores, la disminución de la compensación por calidad de servicio
- Una de las desventajas en el uso de aisladores poliméricos es el mayor costo de estos en comparación con el de porcelana y su probable disminución en la vida útil
- De los valores periódicos tomados en campo se puede apreciar que en los aisladores de porcelana llega un momento donde se incrementa la corriente de fuga considerablemente, mientras que eso no ocurre con el polimérico

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre los tipos, grados, valores de contaminación que sufre la zona de concesión de Luz del Sur
- Complementar el estudio mencionado líneas arriba con la evaluación del material aislante del aislador polimérico sometiéndolo a pruebas de laboratorio simulando los niveles de contaminación previamente ya conocidos y a pruebas en campo, esto con el fin de establecer una guía para poder contar con varios fabricantes que puedan suministrar aisladores poliméricos que tengan buen performance trabajando en los niveles de contaminación de la zona de concesión de Luz del Sur
- Elaborar un documento técnico en el cual se detalle los requerimientos mínimos que deben cumplir todos los aisladores a ser utilizados por Luz del Sur
- De manera inmediata utilizar exclusivamente aisladores poliméricos en zonas de alta corrosión y polución

- Solicitar a los fabricantes capacitación permanente para el personal supervisor y operario de campo en cuanto al uso y operación de los aisladores poliméricos
  
- Continuar con el monitoreo en campo en distintas zonas bajo otro tipo de condiciones, estableciendo así un registro y catastro del comportamiento de los aisladores bajo distinto tipo de contaminación

## BIBLIOGRAFÍA

1. R. S. Gorur, et al, "Coatings for improving Contamination Performance of Outdoor High Voltage Ceramic Insulators", IEEE Committee paper 94 WM 096-8 PWRD, 1994.
2. S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackman, "Suppression Mechanism of Leakage Current on RTV Porcelain and Silicone Rubber Insulators", IEEE Trans on PWRD, Vol. 6, N°4, pp. 1549-1556, 1991.
3. E. A. Cherney, R. Hackman and S. H. Kim, "Porcelain Insulator Maintenance with RTV Silicone Rubber Coatings", IEEE Trans PWRD, Vol. 6, pp. 1177-1181, 1991.
4. S. H. Kim, "Electrical Performance and Surface Analysis of RTV Silicone Rubber Coatings for H.V. Outdoor Insulators", Ph.D. thesis, University of Windsor, 1992.
5. R. G. Niemi, "Self-Priming Silicone Elastomeric Coatings for High Voltage Insulator Bodies", Proceedings of the 10<sup>th</sup>. Electrical Insulation Conference, N° 71C38EI-25, 1971.
6. R.G. Niemi, "High Surface Resistance Protective Coatings for High Voltage Insulators", Conference Proceedings of IEEE Summer Power Meeting, N° C72 557-7, 1972.
7. J. Hall, and T. Orbeck, "RTV Protective Coating for Porcelain Insulators", IEEE PAS, Vol. PAS-101, N°12, pp. 4689-4696, 1982.

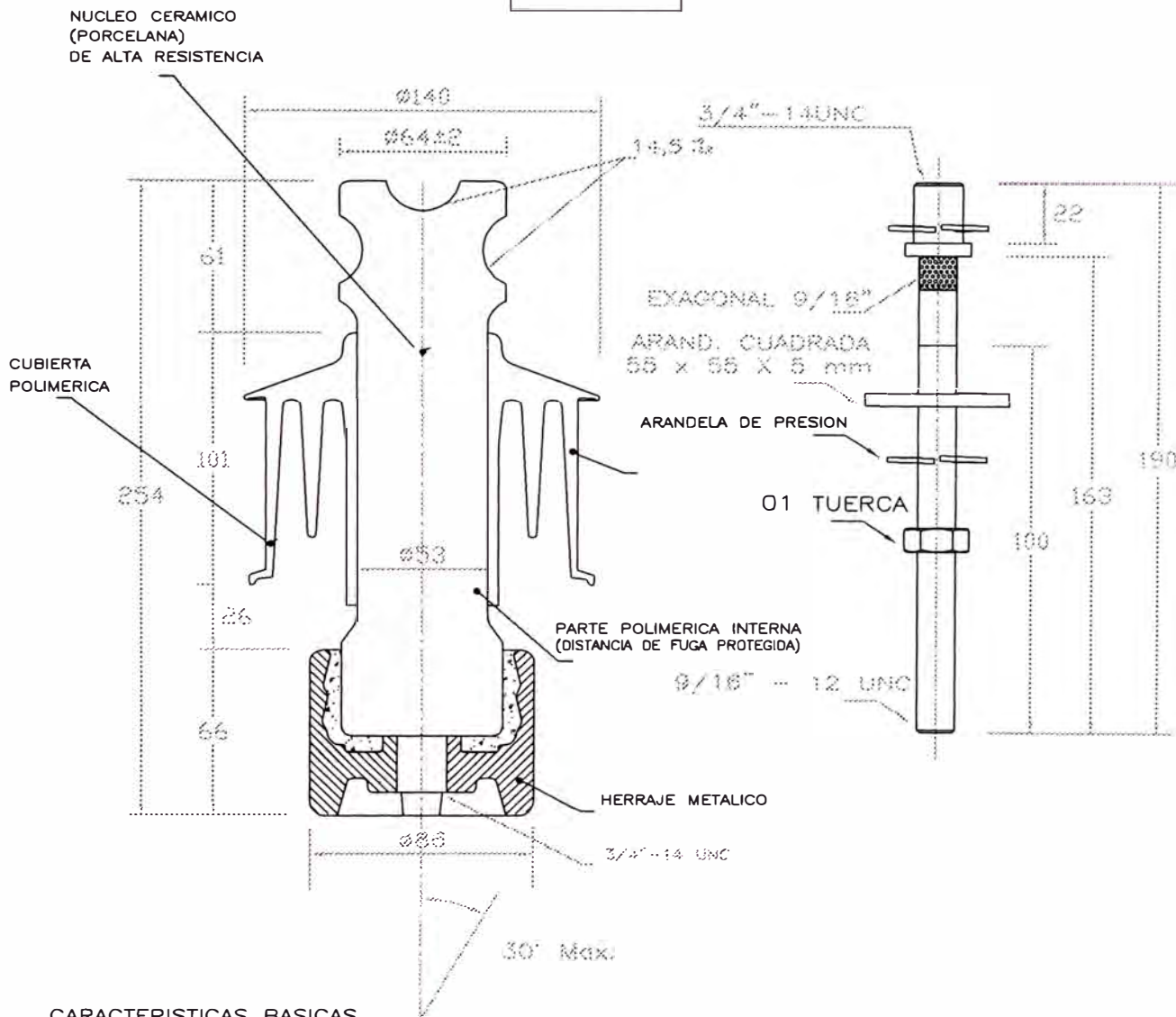


8. R. E. Carberry, and H. M. Schneider, "Evaluation of RTV Coating for Station Insulators Subjected to Coastal Contamination", IEEE PAS paper 88 WM 069-7, 1988.
9. C. L. Lee, and G. R. Homan, "Silicone Elastomer Protective Coatings for High Voltage Insulators", IEEE Electrical Insulation Society Annual Report, 81 CH 1668-3, pp. 435-443, 1981.
10. S. H. Kim, E. A. Cherney, and R. Hackman "The Loss and Recovery of Hydrophobicity of RTV Silicone Rubber Insulator Coatings", IEEE Trans PWRD, Vol. 5 pp. 1491-150, 1990.
11. S. H. Kim, E. A. Cherney, and R. Hackman "Artificial Testing and Evaluation of RTV Coatings in a Salt-Fog Chamber", IEEE Trans on DEI, Vol. 26, N°4, Aug, 1991, pp. 797-805.
12. P. J. Lambeth, and H. M. Schneider, "Service Performance of HDVC Wall Bushings", Power System Planning and Operation Section of the Canadian Electrical Association, March 1992.
13. A. Vlastos, and E. Sherif, "Experience from Insulators with RTV Silicone RTV Rubber Sheds and Shed Coatings", IEEE paper 89 WM 120-7 PWRD, 1989.
14. IEEE Std 957-1995, "IEEE Guide for Cleaning Insulators"
15. Ishikawa et al, "Investigation of single unit flashover in HDVC Insulator Strings", IEEE paper 96 WM 100-8 PWRD, 1996.

# PLANOS

MATRICULA

5214491



**CARACTERISTICAS BASICAS**

- MATERIAL AISLANTE : CERAMICA Y ELASTÓMERO DE SILICONA
- LONGITUD : 254 mm.
- MATERIAL DEL SOPORTE : ACERO SAE 1020 GALVANIZADO EN CALIENTE.
- CARGA (Min.) A VOLADIZO : 1275 Kg. (12,5 kN)
- DISTANCIA DE ARCO SECO : 190 mm Aprox.
- LINEA DE FUGA MINIMA : 545 mm Aprox.
- ANGULO MAXIMO DE DESVIACION RESPECTO AL EJE VERTICAL. : 30' Max.
- TENSION DE DESCARGA A ONDA DE IMPULSO 1.2/50 us : POSITIVA 125 kv. NEGATIVA 145 kv.
- TENSION DE DESCARGA A ONDA A FRECUENCIA INDUSTRIAL (60 Hz) : HUMEDO 50 kv. SECO 75 kv.
- PESO APROXIMADO : 3,1 Kg

**APLICACION**

- SOPORTA Y AISLA LINEAS AEREAS DE 10 kv EN ESTRUCTURAS DE ALINEAMIENTO.
- TENSION MAXIMA DEL SISTEMA : 12 kv.

**REFERENCIA:** ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-060

**AISLADOR HIBRIDO TIPO PIN PARA 10 kv**

Modif:  
Fecha:  
V. B. Rev.



LUZ DEL SUR S.A.

NORMA DE DISTRIBUCION

LE-7-335

6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

JUNIO-2004

MARZO-2001

NOVIEMBRE-1998

6

5

4

3

2

1

0

Modif:

Fecha:

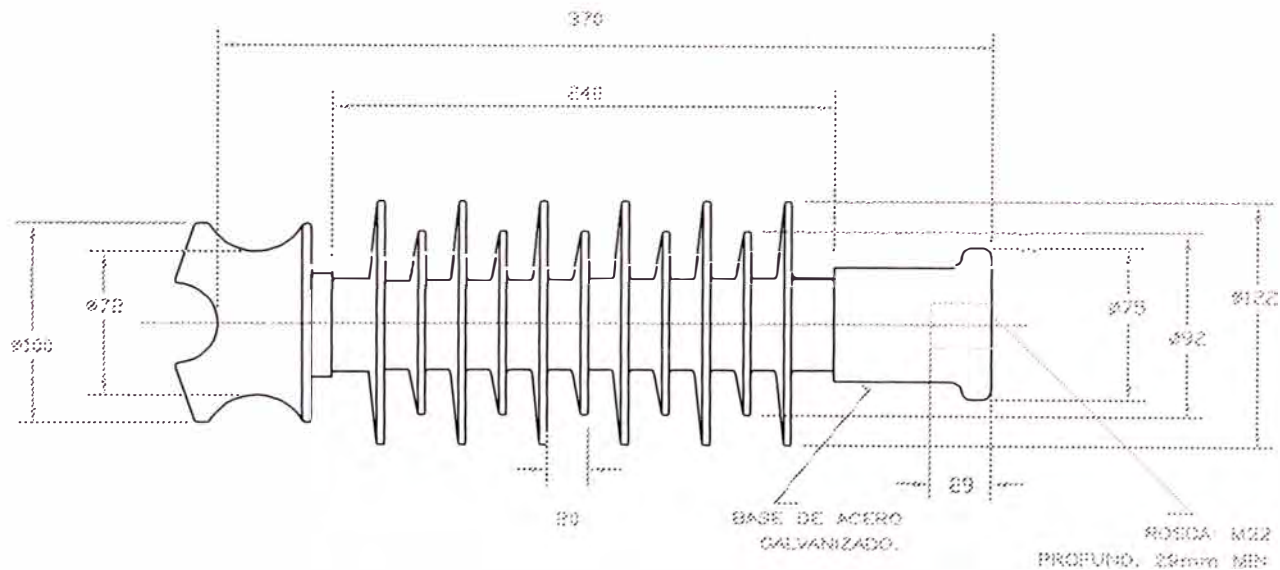
V. B. Rev.

SEPTIEMBRE-1999

NOVIEMBRE-1998

MATRICULA

5214496



### CARACTERISTICAS BASICAS

- |  |   |
|--|---|
| - MATERIAL AISLANTE  | : POLIMERICO RESISTENTE A LA EROSION Y RAYOS U.V. |
| - LONGITUD   | : 370 mm.   |
| - MATERIAL DEL PIN   | : ACERO GALVANIZADO.                              |
| - CARGA (Min.) A VOLADIZO                                    | : 816 Kg. (8 kN)                                  |
| - DISTANCIA DE ARCO SECO (Min.)                              | : 280 mm Aprox.                                   |
| - LINEA DE FUGA MINIMA                                       | : 850 mm Aprox.                                   |
| - TENSION DE DESCARGA A ONDA DE IMPULSO 1.2/50 us            | : POSITIVA - 195 kV.<br>NEGATIVA - 230 kV.        |
| - TENSION DE DESCARGA A ONDA A FRECUENCIA INDUSTRIAL (60 Hz) | : HUMEDO - 80 kV.<br>SECO - 110 kV.               |
| - PESO APROXIMADO  | : 4.5 Kg  |

### APLICACION

- SOPORTA Y AISLA LINEAS AEREAS DE 22.9 kV EN ESTRUCTURAS DE ALINEAMIENTO.
- TENSION MAXIMA DEL SISTEMA : 24 kV.

REFERENCIA: ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-060

AISLADOR POLIMERICO TIPO PIN PARA 22,9 kV

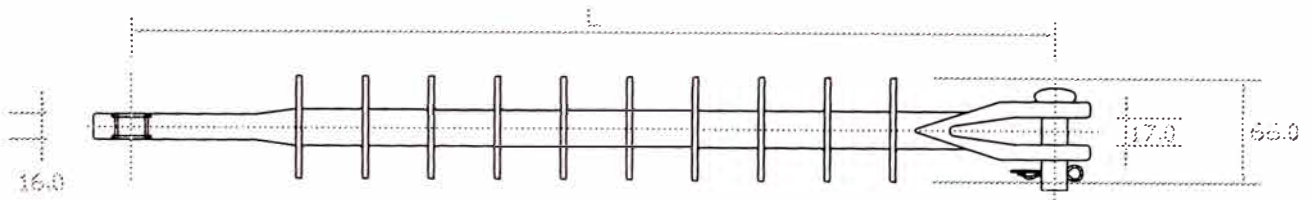


LUZ DEL SUR S.A.

NORMA DE DISTRIBUCION

LE-9-352

MATRICULA	5212010
AISLADOR	10 kV



#### CARACTERISTICAS BASICAS

- MATERIAL AISLANTE : GOMA SILICONA
- LONGITUD (L) : 400 mm Aprox. (CORROSION SEVERA)
- MATERIAL DEL PASADOR (CLEVIS PIN) : ACERO GALVANIZADO
- CARGA MECANICA ESPECIFICADA (SML) : 45 KN
- CARGA DE PRUEBA DE RUTINA (RTL) : 23 KN
- LINEA DE FUGA MINIMA : 600 mm
- TENSION DE DESCARGA A ONDA DE IMPULSO 1.2/50 us : 140 kV.
- TENSION DE DESCARGA A ONDA A FRECUENCIA INDUSTRIAL (60 Hz) : HUMEDO - 65 kV.  
SECO - 90 kV.
- PESO APROXIMADO : 2.0 Kg

#### APLICACION

- SOPORTA Y AISLA LINEAS AEREAS DE 10 kV EN ESTRUCTURAS DE SUSPENSION Y Y ANCLAJE.
- TENSION MAXIMA DEL SISTEMA : 12 kV.

REFERENCIA: ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-060

Modifi: 0  
Fecha: NOVIEMBRE-1998  
V. B. Rev. 123456789

AISLADOR POLIMERICO DE SUSPENSION Y ANCLAJE EN 10 kV

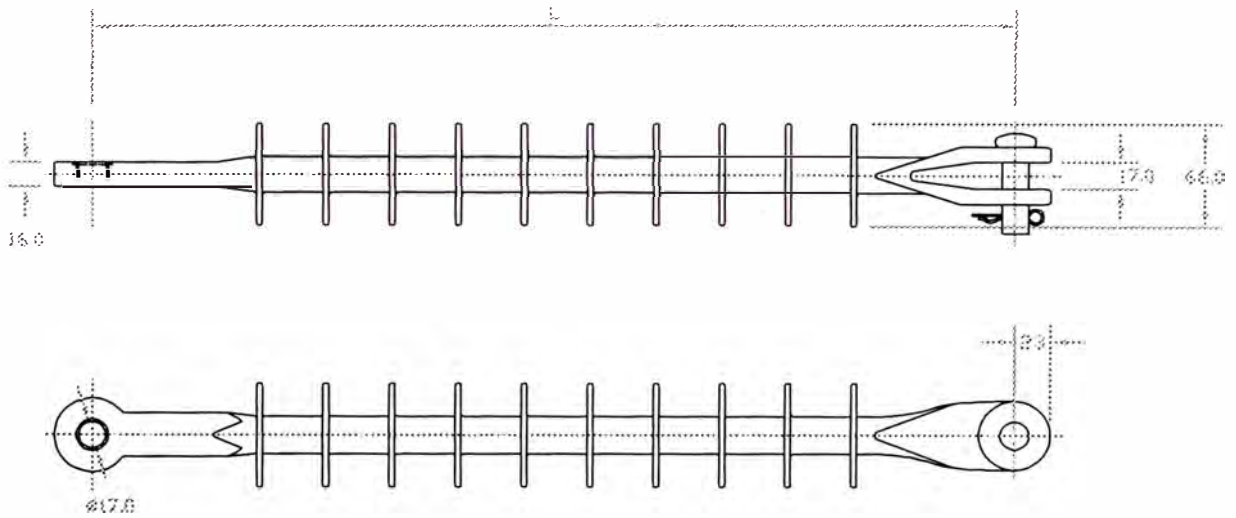


LUZ DEL SUR S.A.

NORMA DE DISTRIBUCION

LE-7-338

MATRICULA	5211422
AISLADOR	22.9 kV



#### CARACTERISTICAS BASICAS

- MATERIAL AISLANTE : GOMA SILICONA
- LONGITUD (L) : 550 mm Aprox.
- MATERIAL DEL PASADOR (CLEVIS PIN) : ACERO GALVANIZADO
- CARGA MECANICA ESPECIFICADA (SML) : 45 KN
- CARGA DE PRUEBA DE RUTINA (RTL) : 23 KN
- LINEA DE FUGA MINIMA : 850 mm
- TENSION DE DESCARGA A ONDA DE IMPULSO 1.2/50 us : 215 kV.
- TENSION DE DESCARGA A ONDA A FRECUENCIA INDUSTRIAL (60 Hz) : HUMEDO - 110 kV.  
SECO - 130 kV.
- PESO APROXIMADO : 2.5 Kg

#### APLICACION

- SOPORTA Y AISLA LINEAS AEREAS DE 22.9 kV EN ESTRUCTURAS DE SUSPENSION Y Y ANCLAJE.
- TENSION MAXIMA DEL SISTEMA : 24 kV.

REFERENCIA: ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-060

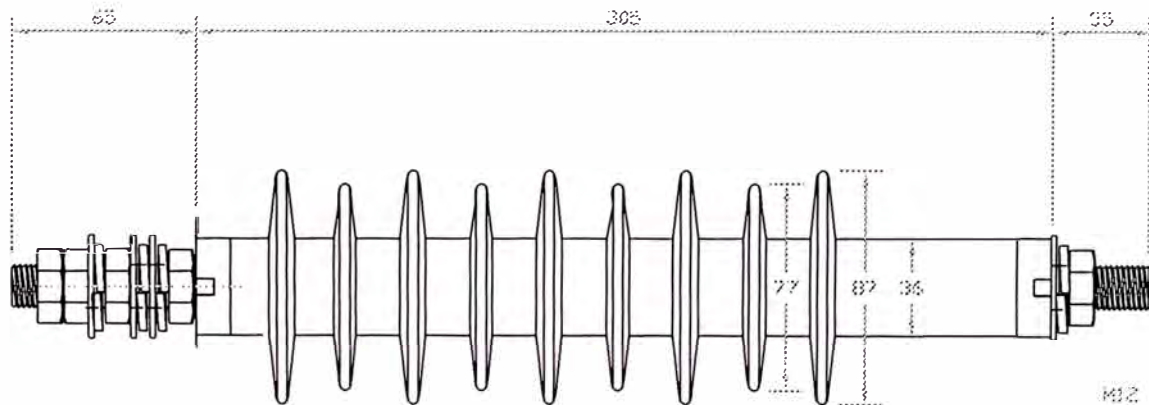
AISLADOR POLIMERICO DE SUSPENSION Y ANCLAJE EN 22.9 kV

Modifi. 0  
Fecha: NOVIEMBRE-1998  
V. B. Rev. IGARTZOGNA



MATRICULA

5242115



CARACTERISTICAS TECNICAS:

TENSION NOMINAL	: 10 kV
MAXIMO CANTILIVER (CARGA EN VOLADIZO)	: 250 Nm
LONG. DE LINEA DE FUGA MINIMA	: 600 mm
TENSION DE ARCO SECO (50 Hz)	: 100 kV
TENSION DE ARCO HUMEDO (50 Hz)	: 80 kV
MATERIAL AISLANTE	: POLIMERICO RESISTENTE AL TRACKING, EROSION Y RADIACION U.V.
PARTE METALICA	: PERNOS Y TUERCAS DE ACERO INOXIDABLE.
PESO APROXIMADO	: 785 Kg.

APLICACION:

SE UTILIZARA PARA SUJETAR Y AISLAR EL CONECTOR SOPORTE A LA ESTRUCTURA DE SOPORTE VERTICAL EN EL ARMADO TIPO "T" PARA CABLES AUTOPORTANTES DE M.T.-10 kV.

REFERENCIA: ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-041

Modif: 0  
Fecha: NOVIEMBRE-98  
V. B. Rev. H.S.A.S

AISLADOR POLIMERICO SOPORTE  
PARA RED AEREA CON CABLE AUTOPORTANTE DE M.T.-10kV



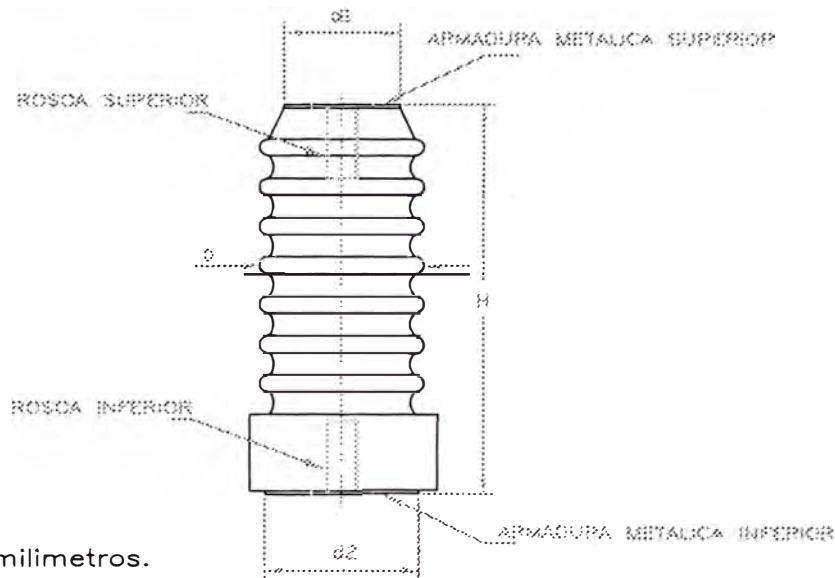
LUZ DEL SUR S.A.

NORMA DE DISTRIBUCION

LE-7-341



MATRICULA	5265220	5267220	5265420	5267320
DESIGNACION	J8-75	J16-75	J4-125	J8-125



Dimensiones en milímetros.

**CARACTERISTICAS BASICAS:**

TENSION NOMINAL	10 KV		22,9 KV	
DESIGNACION	J8-75	J16-75	J4-125	J8-125
TENSION DE IMPULSO (BIL) (PICO)	75 KV	75 KV	125 KV	125 KV
TENSION MAXIMA A 60Hz (EFICAZ)	28 KV	28 KV	50 KV	50 KV
MATERIAL	Porcelana color castaño	Porcelana color castaño	Porcelana color castaño	Porcelana color castaño
LINEA DE FUGA MÍNIMA	200 mm	200 mm	400 mm	400 mm
CARGA DE ROTURA A LA FLEXION APILADO EN LA PARTE SUPERIOR	8000 N	16000 N	4000 N	8000 N
TIPO DE INSTALACION	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR
MAXIMO DIAMETRO NOMINAL DE LA PARTE AISLANTE "D" (mm)	100	125	85	125
TIPO DE ROSCA SUPERIOR	M16	M16	M12	M16
TIPO DE ROSCA INFERIOR	M16	M20	M16	M20
DIAM. MAX. ARMAD. METALICA SUP(mm)(d1)	70	95	60	70
DIAM. MAX. ARMAD. METALICA INF(mm)(d2)	95	115	80	115
ALTURA DEL AISLADOR (H)	130 ±1%	130±1%	210±1%	210±1%

Rotulado: Indicar marca del fabricante, modelo y año de fabricación.

**APLICACION:**

El tipo J16-75 se utilizará como aislador de equipos como fusible secc. y seccionador unipolar en 10 KV de las subestaciones en interior.

El tipo J4-125 se utilizará como soporte en las S.E. convencionales de 22.9 KV.

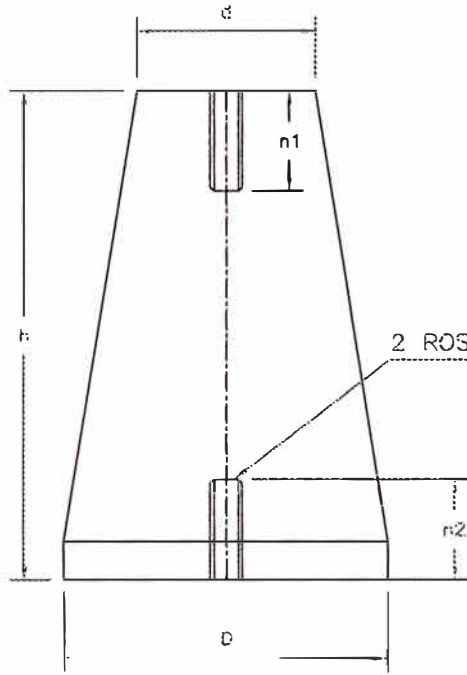
El tipo J8-125 se utilizará como aislador de equipos como fusible seccionador y seccionador unipolar en 22,9 kV. de las subestaciones en interior.

El tipo J8-75 se utilizará para soportar y separar barras de cobre rectangulares (pletinas)

AISLADORES SOPORTE DE 10 Y 22.9 KV PARA INTERIOR

Modifi. JUNIO-06  
 JUNIO-04  
 JUNIO-2002  
 JUNIO-98  
 V. B. Rev.

	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	ITEM 5
MATRICULA	5265103	5265104	5265105	5265106	5265108



CARACTERISTICAS BASICAS :

MATERIAL : ORGANICO (RESINA EPOXICA TIPO BISFENOL)

USO : INTERIOR

2 ROSCAS DE BRONCE NC

CARACTERISTICAS DIMENSIONALES Y ELECTRICAS	ITEM 1	ITEM 2	ITEM 3	ITEM 4	ITEM 5
ALTURA h (mm)	30	40	50	60	80
DIAMETRO BASE SUPERIOR	24	34	44	50	50
DIAMETRO BASE INFERIOR	30	40	50	64	65
n1 (mm)	13	15	16	20	22
n2 (mm)	13	15	16	20	22
DIAMETRO DE LA ROSCA $\phi$ (PULGADAS)	1/4	3/8	1/2	1/2	5/8
VOLTAJE DE TRABAJO (kV) (MAXIMO)	1	1	1	1	1
LINEA DE FUGA (mm)	31	41	51	61	82
TENSION APLICADA 1 MINUTO SECO ( kV )	19	30	39	42	45
TENSION APLICADA 1 MINUTO HUMEDO ( kV )	11	12	28	32	35

APLICACION :

SE USARA EN LOS TABLEROS DE DISTRIBUCION Y ALUMBRADO PUBLICO PARA SOPORTAR LAS PLETINAS DE COBRE.

AISLADORES PORTABARRA EN B.T.

Modif:  
Fecha:  
V. B. Rev.



LUZ DEL SUR

NORMA DE DISTRIBUCION

TE-1-150

6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

FEBRERO 2006

ABRIL 2003

DICIEMBRE-97

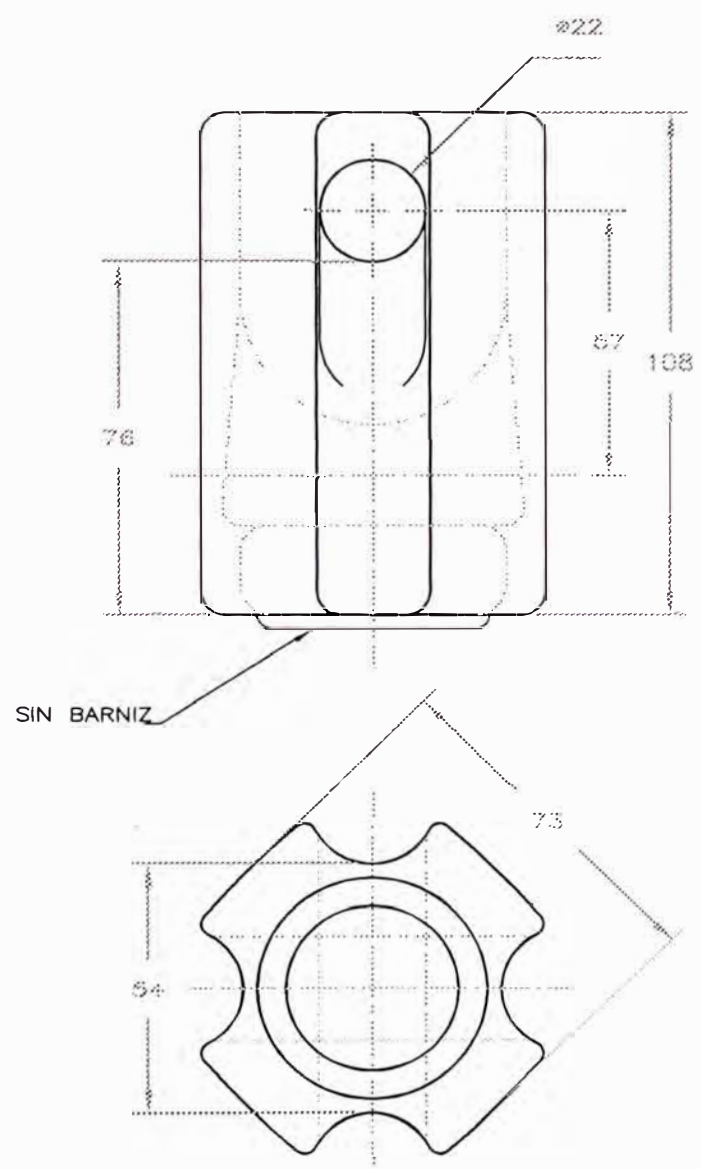
13-MARZ.-95

8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

Modifi: V. B. Rev.  
Fecha: OCT-94  
DICIEMBRE-97

LUZ DEL SUR S.A.

MATRICULA  
5217631



CARACTERISTICAS BASICAS

- REFERENCIA : ESPECIFICACION TECNICA DNC-ET-032
- NORMA DE FABRICACION : ANSI C-29, 4-1977 CLASE 54-2
- MATERIAL : PORCELANA, ACABADO ESMALTE CAFE
- MIN. ESFUERZO DE ROTURA : 5443 kg
- LINEA DE FUGA : 48 mm
- DESCARGA SUPERFICIAL DE BAJA FRECUENCIA:
  - EN SECO : 30 kV
  - EN HUMEDO : 15 kV
- PESO APROXIMADO : 0,75 kg

APLICACION

- UTILIZADO PARA AISLAR EL CABLE PARA RETENIDA DE ESTRUCTURAS DE REDES AEREAS DE DISTRIBUCION.

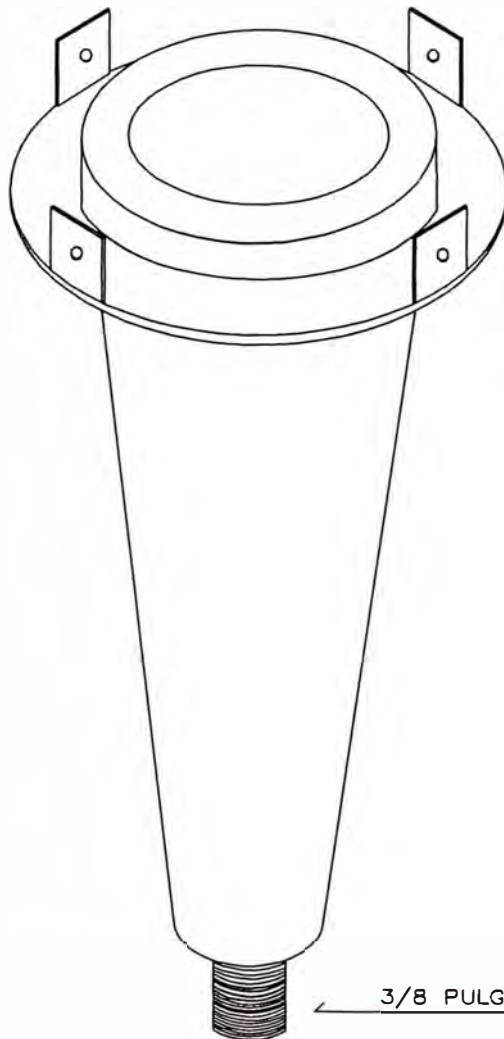
AISLADOR DE TENSION PARA RETENIDA

NORMA DE DISTRIBUCION

LE-7-515

MATRÍCULA

5119405



3/8 PULG.- 16 UNC - 2A

### APLICACION

PARA MANTENERSE EN LA TAPA DE LOS TRANSFORMADORES COMPACTOS SUBTERRANEOS Y ATORNILLAR EL BUSHING PASANTE TIPO ENCHUFE

### CARACTERÍSTICAS BASICAS

- TENSION NOMINAL : 10 KV
- CORRIENTE NOMINAL : 200 A
- MATERIAL : RESINA EPÓXICA
- REFERENCIA : DNC-ET-044

AISLADOR PASANTE TIPO POZO, LARGO

Modifi:  
Fecha:  
V. B. Rev.

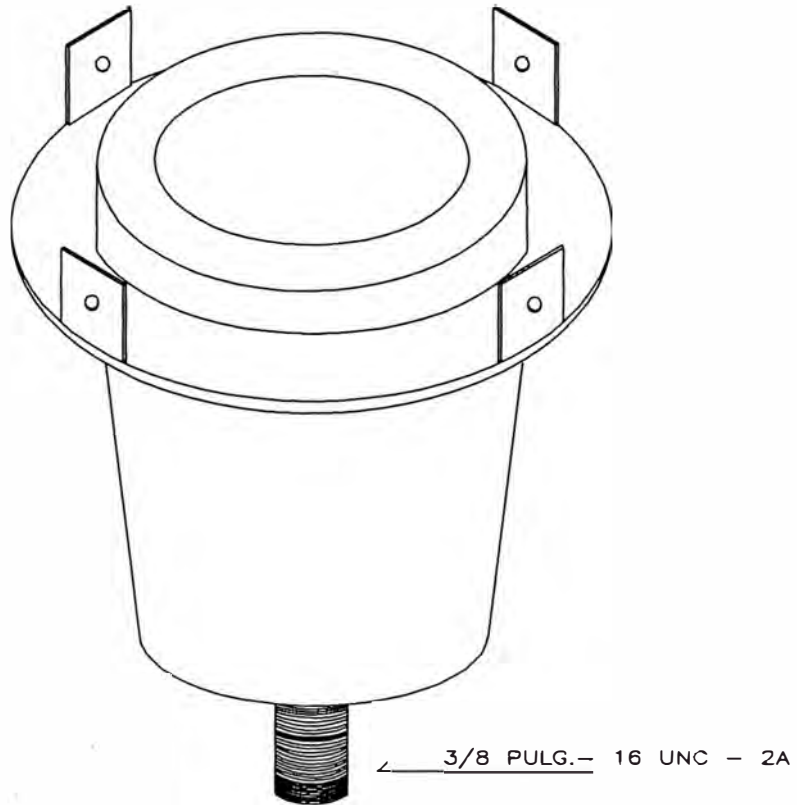


LUZ DEL SUR

NORMA DE DISTRIBUCION

PE-7-514

MATRÍCULA  
5119406



### APLICACION

PARA MANTENERSE EN EL LADO DE LA CABINA DE MEDIA TENSÓN DE LOS TRANSFORMADORES COMPACTOS PEDESTAL Y ATORNILLAR EL BUSHING PASANTE TIPO ENCHUFE

### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

- TENSION NOMINAL : 10 KV
- CORRIENTE NOMINAL : 200 A
- MATERIAL : RESINA EPÓXICA
- REFERENCIA : DNC-ET-044

0 JUNIO-2006

1 OCTUBRE-1993

0 MARZO-1977

Modifi  
Fecha  
V. B. Rev.

AISLADOR PASANTE TIPO POZO, CORTO



LUZ DEL SUR

NORMA DE DISTRIBUCION

PE-7-515

# **ANEXOS**

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**AISLADORES POLIMERICOS TIPO PIN Y SUSPENSION  
PARA RED AEREA DE MEDIA TENSION 10 Y 22,9 KV.**



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. NORMAS DE FABRICACIÓN Y ENSAYOS
3. CONDICIONES DE SERVICIO
4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
5. ENSAYOS
6. CARACTERÍSTICAS DE MONTAJE
7. CANTIDAD DE MUESTRAS PARA PRUEBAS DE HOMOLOGACION

### **ANEXO I :      CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO**

- a) Estructuración del suministro
- b) Embalaje
- c) Garantía técnica
- d) Referencias
- e) Información técnica requerida y muestras
- f) Ensayos en la recepción
- g) Datos de características técnicas

## 1. INTRODUCCIÓN

Este documento establece las características técnicas y los ensayos que deben cumplir los aisladores poliméricos, tipo pin y suspensión, que serán utilizados en la red aérea de los sistemas de distribución de media tensión en 10 kV y 22.9 kV, del área de concesión de Luz del Sur S.A.A.

Asimismo, en el caso de adquisición de estos materiales, por parte de Luz del Sur S.A.A., los proveedores deberán tener presente lo indicado en el ANEXO I: CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO.

## 2. NORMAS DE FABRICACIÓN Y ENSAYOS

Los aisladores no solo deben cumplir con los requerimientos especificados en el presente documento, sino también con las siguientes normas de referencia:

- **IEC 61109** "Aisladores compuestos para líneas aéreas de corriente alterna de voltajes nominales mayores que 1000 V"
- **ANSI C29.1** "Métodos de ensayos para aisladores de potencia eléctrica"
- **ANSI C29.11** "Métodos de ensayos para aisladores compuestos"
- **IEC 60815** "Guía para la selección de aisladores en base a las condiciones de contaminación"
- **ASTM A153** "Galvanización en caliente de herrajes de hierro y acero"

Se aceptaran también, para su análisis, aisladores fabricados y ensayados según normas que aseguren una calidad igual o superior a las especificadas en el presente documento, en este caso, el oferente deberá indicar la norma y enviar una copia de la misma.

## 3. CONDICIONES DE SERVICIO

### 3.1. CONDICIONES AMBIENTALES

Los aisladores serán instalados en el área de concesión de Luz del Sur, caracterizada por las siguientes condiciones ambientales:

a) Zona Costera de "Corrosión fuerte y alta contaminación"

Altura sobre el nivel del mar	: hasta 300 m
Humedad relativa	: desde 70% hasta 100%
Temperatura ambiente	: 5°C a 35°C

Ambiente muy corrosivo y contaminado con presencia de neblina con suspensiones de sal, humos industriales, tierra y polvo, y carencia de lluvias que facilita la adherencia de la contaminación a los aisladores, conductores y ferretería eléctrica.

b) Zona Interior de "Corrosión moderada"

Altura sobre el nivel del mar	: de 300 m hasta 3,000 m
Humedad relativa	: hasta 70%
Temperatura ambiente	: 5°C a 35°C

### 3.2. CONDICIONES DE OPERACION

Los aisladores serán utilizados en sistemas de distribución de media tensión con las siguientes características de operación:

Tensión nominal del sistema	10 kV	22.9 kV
Tensión max. de operación del sistema	12 kV	24 kV
Frecuencia del sistema	60 Hz.	60 Hz.
Sistema	Trifásico de tres conductores con neutro aislado.	Trifásico de tres conductores con el neutro directamente aterrado.

## 4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Todos los aisladores poliméricos tipo pin y suspensión, en proceso de evaluación, deberán cumplir con las características técnicas especificadas en el presente capítulo.

### 4.1. AISLADORES TIPO PIN

#### 4.1.1 Características eléctricas

Tensión nominal del sistema	10 Kv	22.9 kV
Tensión clase	15 kV	25 kV
Tensión disruptiva a frecuencia industrial 60 Hz		
En Seco	70 kV	125 kV
Bajo lluvia	50 kV	80 kV
Tensión disruptiva a onda de impulso 1.2/50 $\mu$ s		
Positiva	125 kV	200 kV
Negativa	145 kV	265 kV

#### 4.1.2 Características de radio interferencia

Ensayos de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	15 kV	30 kV
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 KHz	100 $\mu$ V	200 $\mu$ V

#### 4.1.3 Características mecánicas y dimensionales

Esfuerzo en cantilever (mínimo)	10 KN	10 KN
Línea de fuga (mínima)	550 mm	750 mm
Distancia de arco	190 mm	280 mm
Longitud del aislador (aproximada)	260 mm	380 mm
Peso neto por unidad (aproximado)	2.5 Kg.	3.2 Kg.

Es deseable que los aisladores permitan la instalación de elementos preformados, adaptables a la técnica de mantenimiento en caliente.

#### 4.1.4 Características de diseño y construcción

Los aisladores poliméricos tipo pin deberán estar compuestos generalmente de núcleo aislante, cubierta polimérica y elementos de metal.

##### a) **Aislador tipo Pin 10 kV**

###### **Núcleo Aislante**

El núcleo podrá ser de porcelana o fibra de vidrio reforzada con resina epóxica, de alta calidad, para lograr máxima resistencia mecánica a la flexión y torsión. Deberá ser mecánica y eléctricamente confiable, libre de burbujas de aire, substancias extrañas, o defectos de manufactura.

###### **Cubierta Polimérica**

La cubierta polimérica deberá ser con línea de fuga protegida y fabricado de una sola pieza, sin juntas ni costuras. El material polimérico deberá ser de características similares o superiores a la goma silicona de alta calidad, con características hidrofóbicas y excelente resistencia a los rayos UV y a la erosión, la cual será demostrada por los ensayos indicados en la presente especificación. Dicho material deberá ser el óptimo para aplicación en red aérea en cualquier medio ambiente (ambientes de alta y baja corrosión y contaminación ambiental).

La cubierta polimérica deberá estar químicamente unida al núcleo con un adhesivo especial en toda la superficie de contacto. El adhesivo empleado debe ser antitracking y deberá cumplir con los ensayos indicados en la presente especificación. El sello deberá garantizar el ingreso contra la humedad.

La zona de línea de fuga protegida, deberá ser tal que inhiba el ingreso de contaminación en la misma.

###### **Discos aislantes**

Los discos aislantes deberán estar firmemente unidos a la cubierta del núcleo, bien sea por vulcanización a alta temperatura, o moldeados como parte de la cubierta. Estos deberán ser suaves y libres de imperfecciones. La resistencia de la interfase entre los discos aislantes y el recubrimiento polimérico del núcleo deberá ser mayor que la resistencia al desgarramiento de la goma silicona.

###### **Cabeza Portacable**

La cabeza portacable deberá ser de material compatible con los tipos de conductores normalizados en Luz del Sur. Cuando la cabeza portacable no este comprendida en un mismo cuerpo con el núcleo, la interfase entre estos deberá garantizar un excelente sellado contra el ingreso de la humedad.

###### **Base metálica**

La base del aislador deberá ser de un material formulado para otorgar una fuerte resistencia a la corrosión salina y una excelente consistencia mecánica al aislador. En caso de ser acero, este deberá ser galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo a la norma ASTM A153, con un mínimo espesor de galvanizado de 86  $\mu\text{m}$ .

###### **Soporte metálico**

El aislador tipo pin incluirá un soporte de acero, galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo a la norma ASTM A153, y deberá incluir una arandela cuadrada, una arandela a presión y dos tuercas.

## **Rotulado**

Cada aislador terminado deberá tener impreso el símbolo que identifique al fabricante y el año de fabricación. Dichas impresiones deberán ser legibles y durables durante la vida del aislador.

### **b) Aislador tipo Pin 22.9 kV**

#### **Núcleo aislante**

El núcleo podrá ser de porcelana o fibra de vidrio reforzada con resina epóxica, de alta calidad, para lograr máxima resistencia mecánica a la flexión y torsión. Deberá ser mecánica y eléctricamente confiable, libre de burbujas de aire, sustancias extrañas, o defectos de manufactura.

#### **Cubierta Polimérica**

La cubierta polimérica deberá ser con línea de fuga protegida y fabricado de una sola pieza, sin juntas ni costuras. El material polimérico deberá ser de características similares o superiores a la goma silicona de alta calidad, con características hidrofóbicas y excelente resistencia a los rayos UV y a la erosión, la cual será demostrada por los ensayos indicados en la presente especificación. Dicho material deberá ser el óptimo para aplicación en red aérea en cualquier medio ambiente (ambientes de alta y baja corrosión y contaminación ambiental).

La cubierta polimérica deberá estar químicamente unida al núcleo con un adhesivo especial en toda la superficie de contacto. El adhesivo empleado debe ser antitracking y deberá cumplir con los ensayos indicados en la presente especificación. El sello deberá garantizar el ingreso contra la humedad.

#### **Discos aislantes**

Los discos aislantes deberán estar firmemente unidos a la cubierta del núcleo, bien sea por vulcanización a alta temperatura, o moldeados como parte de la cubierta. Estos deberán ser suaves y libres de imperfecciones. La resistencia de la interfase entre los discos aislantes y el recubrimiento polimérico del núcleo deberá ser mayor que la resistencia al desgarramiento de la goma silicona.

#### **Cabeza portacable**

La cabeza portacable deberá ser de material compatible con los tipos de conductores normalizados en Luz del Sur. Cuando la cabeza portacable no este comprendida en un mismo cuerpo con el núcleo, la interfase entre estos deberá garantizar un excelente sellado contra el ingreso de la humedad.

#### **Base metálica**

La base del aislador deberá ser de un material formulado para otorgar una fuerte resistencia a la corrosión salina y una excelente consistencia mecánica al aislador. En caso de ser acero, este deberá ser galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo a la norma ASTM A153, con un mínimo espesor de galvanizado de 86  $\mu\text{m}$ .

#### **Soporte metálico**

El aislador tipo pin incluirá un soporte de acero, galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo a la norma ASTM A153, y deberá incluir una arandela cuadrada, una arandela a presión y dos tuercas.

## **Rotulado**

Cada aislador terminado deberá tener impreso el símbolo que identifique al fabricante y el año de fabricación. Dichas impresiones deberán ser legibles y durables durante la vida del aislador.

## 4.2. AISLADORES TIPO SUSPENSIÓN

### 4.2.1 Características eléctricas

Tensión nominal del sistema	10 kV	22.9 kV
Tensión clase	15 kV	25 kV
Tensión disruptiva a frecuencia industrial		
En Seco	90 kV	130 kV
Bajo lluvia	65 kV	110 kV
Tensión disruptiva a onda de impulso 1.2/50 $\mu$ s	140 kV	215 kV

### 4.2.2 Características de radio interferencia

Ensayo de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	15 kV	20 kV
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 kHz	10 $\mu$ V	10 $\mu$ V

### 4.2.3 Características mecánicas y dimensionales

Carga mecánica especificada SML	45 KN	45 KN
Carga de ensayo de rutina RTL	23 KN	23 KN
Carga de torsión	47 N-m	47 N-m
Línea de fuga (mínima)	600 mm	850 mm
Longitud del aislador (aproximada)	400 mm	550 mm
Peso neto por unidad (aproximado)	2.0 Kg.	2.5 Kg.

### 4.2.4 Características de diseño y construcción

Los aisladores poliméricos tipo suspensión deberán estar compuestos generalmente de núcleo aislante, cubierta polimérica y elementos de metal.

#### **Núcleo Aislante**

El núcleo deberá ser un rodillo de fibra de vidrio reforzada con resina epóxica, de alta calidad, para lograr máxima resistencia mecánica a la tensión. Deberá ser mecánicamente y eléctricamente confiable, libre de burbujas de aire, substancias extrañas, o defectos de manufactura.

#### **Cubierta Polimérica**

La cubierta polimérica que recubre el rodillo, y el de los discos aislantes deberá ser de características similares o superiores a la goma silicona de alta calidad, con características hidrofóbicas y excelente resistencia a los rayos UV y a la erosión, la cual será demostrada por los ensayos indicados en la presente especificación. Dicho material deberá ser el óptimo para aplicación en redes aéreas en cualquier medio ambiente (ambientes de alta y baja corrosión y contaminación ambiental).

#### **Recubrimiento Polimérico**

El recubrimiento polimérico del rodillo de fibra de vidrio deberá ser extruido y vulcanizado, de una sola pieza, sin juntas ni costuras para garantizar la hermeticidad del aislador. Este recubrimiento deberá ser uniforme alrededor de la circunferencia del rodillo, en toda la longitud del aislador.

El recubrimiento deberá estar firmemente unido al rodillo de fibra de vidrio, y deberá ser suave y libre de imperfecciones. La resistencia de la interfase entre el recubrimiento y el rodillo de fibra de vidrio deberá ser mayor que la resistencia al desgarramiento de la goma de silicona.

#### **Discos aislantes**

Los discos aislantes deberán estar firmemente unidos a la cubierta del rodillo, bien sea por vulcanización a alta temperatura, o moldeados como parte de la cubierta. Estos deberán ser suaves y libres de imperfecciones.

La resistencia de la interfase entre los discos aislantes y el recubrimiento polimérico del rodillo deberá ser mayor que la resistencia al desgarramiento de la goma de silicona.

#### **Herrajes de los extremos**

Los herrajes de los extremos de los aisladores de suspensión, deberán ser de acero forjado y estar galvanizado de acuerdo con la norma ASTM A153. Deberán estar conectados al rodillo de fibra de vidrio por medio del método de compresión radial, de tal modo que aseguren una distribución uniforme de la carga mecánica alrededor de la circunferencia del rodillo de fibra de vidrio.

La interfase entre los herrajes y el rodillo deberá garantizar un excelente sellado contra el ingreso de la humedad.

#### **Rotulado**

Cada aislador terminado deberá tener impreso el símbolo que identifique al fabricante y el año de fabricación. Dichas impresiones deberán ser legibles y durables durante la vida del aislador.

### **5. ENSAYOS**

El oferente deberá presentar los reportes de ensayos de acuerdo a los procedimientos indicados en las normas de referencia.

#### **1) Ensayo en cámara de niebla salina**

Ensayo de envejecimiento acelerado en cámara de niebla salina a fin de verificar la resistencia del material polimérico y la corriente de fuga en condiciones de contaminación.

El ensayo debe realizarse bajo la norma IEC-1109 con una duración mínima de 1000 horas, y 5000 horas de acuerdo al anexo C de la misma norma.

#### **2) Ensayo de Tracking y Erosión**

El ensayo de tracking y erosión del material es fundamental para determinar la calidad del polímero ofertado, por tanto el material empleado debe resistir como mínimo un nivel de 4 a 4,75 kV, según el método 2: voltaje escalonado de tracking indicado en la IEC 587, al final del cual deberá cumplirse lo requerido en lo concerniente al trackeo y erosión definido en dicha norma. Asimismo el proveedor deberá indicar cuál es el valor límite en tiempo que puede llegar manteniendo la tensión entre 4 a 4,75kV. Esto será verificado en los ensayos de recepción y se hará al producto terminado y también a una muestra, de acuerdo a lo establecido en la norma IEC.

#### **3) Ensayo contra descargas**

Este ensayo demostrará que el aislador puede trabajar en la eventualidad de que esté expuesto a una descarga o un arco eléctrico.



#### 4) **Ensayo de contaminación artificial con medición de corriente de fuga**

El ensayo de contaminación artificial es para proveer información del comportamiento del aislamiento exterior del aislador bajo condiciones representativas de contaminación en servicio.

Este ensayo debe realizarse bajo la norma IEEE Std. 4-1995; se requerirá además los gráficos de corriente en mA. vs. tiempo y la ESDD (densidad de depósito de sal equivalente).

#### 5) **Ensayo del material polimérico contra U.V.**

Este ensayo demostrará la resistencia de los materiales ante los rayos ultravioletas y se hará de acuerdo a la LWIWG-02 (91).

#### 6) **Examinación Visual**

La examinación visual debe ser hecha a cada aislador, para asegurar que el acabado superficial sea lo mas uniforme posible, sin huellas, protuberancias o agujeros, y en caso se presenten no deben sobrepasar los siguientes limites establecidos en la norma IEC 1109:

Defectos superficiales de área no mayor a 25 mm<sup>2</sup> y profundidad no mayor a 1 mm.

Los ensayos de diseño, de tipo, de muestras, de rutina y los ensayos especiales que deberán cumplir los aisladores son los siguientes:

### 5.1. ENSAYOS DE DISEÑO

Los ensayos de diseño sirven para evaluar y calificar los materiales del aislador, así como sus propiedades eléctricas y mecánicas.

#### 1. **Ensayos de las interfaces y conexiones de herrajes de metal**

Sirven para verificar la consistencia de los parámetros eléctricos y la condición física del aislador.

Deben ser realizados bajo los procedimientos y consideraciones establecidos en la cláusula 5.1. de la IEC 1109. Los ensayos son los siguientes:

- a) Ensayo preliminar y ensayos de muestras
- b) Ensayo de rutina mecánica
- c) Ensayo de tensión a frecuencia industrial en seco
- d) Ensayo de liberación repentina de carga mecánica
- e) Ensayo termomecánico
- f) Ensayo de inmersión en agua
- g) Examen visualmente
- h) Ensayo de tensión de impulso de frente empinada
- i) Ensayo de tensión a frecuencia industrial en seco

#### 2. **Ensayos de tiempo-carga de núcleo ensamblado**

Sirven para verificar el comportamiento del aislador ante la aplicación de una carga de falla en un tiempo determinado.

Deben ser realizados bajo los procedimientos y consideraciones establecidos en la cláusula 5.2. de la IEC 1109. Los ensayos son los siguientes:

- a) Ensayo de muestras
- b) Determinación de la carga media de falla del núcleo
- c) Control de inclinación de la curva fuerza-tiempo en el aislador

### **3. Ensayo de alojamiento: ensayo de tacking y erosión**

Sirve para verificar la calidad del material polimérico ante condiciones ambientales severas.

Debe ser realizado bajo el procedimiento y consideraciones establecidos en la cláusula 5.3. de la IEC 1109.

### **4. Ensayos del material del núcleo**

Deben ser realizados bajo los procedimientos y consideraciones establecidos en la cláusula 5.4. de la IEC 1109. Los ensayos son los siguientes:

- a) Ensayo de penetración de tinte
- b) Ensayo de difusión de agua

## **5.2. ENSAYOS DE TIPO**

Los ensayos de tipo sirven para verificar las características dimensionales y de forma de un aislador.

- 1. Ensayo de tensión sostenida de impulso atmosférico en seco
- 2. Ensayo de tensión sostenida en frecuencia industrial bajo lluvia
- 3. Ensayo de tensión sostenida de impulso de maniobra bajo lluvia
- 4. Ensayos mecánicos carga - tiempo

## **5.3. ENSAYOS DE MUESTRAS**

Los ensayos de muestras sirven para verificar la calidad de la fabricación y de los materiales del aislador.

- 1. Verificación de dimensiones
- 2. Verificación del sistema de cierre
- 3. Verificación de la carga mecánica especificada
- 4. Ensayos de galvanizado

## **5.4. ENSAYOS DE RUTINA**

Los ensayos de rutina sirven para eliminar aisladores con defectos de fabricación.

- 1. Identificación de aisladores
- 2. Examen visual
- 3. Ensayo de rutina mecánica

## **5.5. ENSAYOS ESPECIALES**

- 1. Ensayos de radio interferencia
- 2. Ensayo de polución artificial
- 3. Ensayo de envejecimiento
- 4. Ensayo de arco de potencia

**6. CARACTERÍSTICAS DE MONTAJE**

Los aisladores considerados serán de características tales, que permitan un fácil y seguro montaje. Esto será verificado en forma práctica, en coordinación con los sectores usuarios de Luz del Sur S.A.A., para lo cual se requerirá contar con muestras.

Por lo tanto, para el caso de calificación técnica se presentarán tres (03) muestras por cada número de catálogo, de cada aislador que el proveedor desee calificar. Para el caso de adquisición por parte de Luz del Sur S.A.A., los proveedores deberán tener presente lo indicado en el ANEXO I: CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO.

**7. CANTIDAD DE MUESTRAS PARA PRUEBAS DE HOMOLOGACION**

Se requiere cuatro(04) muestras por cada tipo, tanto para pruebas de laboratorio como para pruebas en nuestras redes, la misma que será evaluada como mínimo por un período de 8 meses.

ELABORADO :

Ing. Gary Onofre

REVISADO :

Ing. José Vergara L.

**A N E X O I**

**CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL SUMINISTRO**

**DE LAS ESPECIFICACIONES DNC - ET - 060**

a) **Estructuración del suministro**

Los aisladores han sido clasificados para su fácil identificación en posiciones, los mismos que se repiten en los cuadros de características técnicas del presente anexo.

El suministro de estos materiales será adjudicado por posiciones, salvo indicación contraria.

<u>POSIC.</u>	<u>CARACTERÍSTICAS</u>
1	Aisladores poliméricos tipo Pin 10 kV
2	Aisladores poliméricos tipo Pin 22.9 kV
3	Aisladores poliméricos tipo Suspensión 10 kV
4	Aisladores poliméricos tipo Suspensión 22.9 kV

b) **Embalaje**

Los aisladores deberán ser cuidadosamente embalados en cajas de madera o de plástico, de dimensiones adecuadas que garanticen su transporte sin sufrir daños. Cada caja deberá indicar claramente la siguiente información:

Tipo de material y cantidad.

Nombre del fabricante.

Peso neto y peso bruto.

El embalaje deberá permitir la inspección exterior visual correspondiente.

Las características de embalaje deberán presentarse en la oferta técnica.

c) **Garantía técnica**

La garantía técnica otorgada por el fabricante será de dos (02) años a partir de la fecha de entrega de los aisladores (fecha de embarque en caso de oferentes del exterior). Esta garantía cubrirá los defectos de diseño y fabricación, además de las condiciones indicadas en el documento correspondiente de las bases de concurso.

La conformidad de este acápite deberá presentarse en la oferta técnica.

d) **Referencias**

El postor deberá incluir en su oferta técnica, una relación con una antigüedad no mayor de cinco (05) años, de clientes a quienes haya suministrado aisladores iguales a los que está ofertando, indicando número de catálogo, cantidades vendidas y año.

Luz del Sur, se reserva el derecho de desestimar ofertas por aisladores iguales o similares que habiéndolos utilizados, hayan tenido un mal desempeño.

El proveedor deberá indicar y adjuntar las certificaciones ISO correspondientes.

e) **Información técnica requerida y muestras**

e.1 Las hojas de características técnicas del acápite g), deberán llenarse completamente, firmarse y sellarse por el fabricante o representante e incluirse en la oferta técnica.

e.2 El oferente también deberá incluir la siguiente información:

- Catálogos del fabricante completo, donde se indique su aplicación, dimensiones, etc. Instructivo de montaje.
- Hoja de características técnicas del fabricante (puede estar en el mismo catálogo), indicándose dimensiones, peso del aislador ofertado y características de operación, tales como tensión de diseño, temperatura de trabajo y material componente.
- Protocolos de ensayos (según normas correspondientes), con los resultados de los ensayos sobre muestras similares a los aisladores que está ofertando.

En caso de que el oferente proponga una norma distinta a las especificadas, deberá incluir una copia de la misma.

e.3 Deberá remitirse una muestra del material, de cada posición ofertada, al Departamento Normalización y Costos de Luz del Sur S.A.A..

e.4 Los proveedores que oferten aisladores (con su correspondiente número de catálogo) que se encuentren técnicamente aceptados por Luz del Sur S.A.A., no requerirán presentar la información técnica solicitada en el acápite e.2.

**f) Ensayos de recepción**

Los ensayos se efectuarán en la fábrica del oferente, de acuerdo a normas, según lo especificado en los acápites 2 y 6 de la presente especificación técnica, siendo los tipos de ensayos definidos entre el comprador y el fabricante. Para el caso de proveedores internacionales, Luz del Sur S.A.A. se reserva el derecho de enviar dos representantes a presenciar los ensayos respectivos. Los gastos de estadía y alojamiento serán por cuenta del fabricante.

La conformidad de este acápite deberá indicarse en la oferta técnica, y el costo correspondiente que será asumido por el fabricante, se incluirá en la oferta económica desglosado del precio base.

Los ensayos de recepción consideran la realización de ensayos de rutina, dándose especial énfasis a las que consideran la verificación del material ofertado y la calidad del mismo. Se inspeccionara y verificara las características dimensionales y constructivas, sobre todo en lo referente al acabado superficial de las áreas dieléctricas, cuidando que las posibles irregularidades no sobrepasen los límites establecidos en la norma IEC 1109.

Asimismo se realizarán los ensayos de tensión aplicada en seco y en húmedo.

**g) Datos de características técnicas**

Como se indicó, las hojas de características técnicas que a continuación se presentan deberán llenarse completamente, firmarse, sellarse e incluirse en la oferta.

**HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**POSICION 1**

**AISLADORES POLIMERICOS TIPO PIN 10 KV**

FABRICANTE: .....

FECHA: .....

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR SOLICITADO	VALOR OFRECIDO
Tipo y/o catalogo			
Norma de fabricación			
Material			
Acabado			
<b>Características eléctricas</b>			
Tensión nominal del sistema	kV	10	
Tensión clase	kV	15	
Tensión disruptiva a frecuencia industrial 60 Hz			
En Seco	kV	70	
Bajo lluvia	kV	50	
Tensión disruptiva a onda de impulso 1.2/50 µs			
Positiva	kV	125	
Negativa	kV	145	
<b>Características de radio interferencia</b>			
Ensayos de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	kV	15	
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 kHz	µV	100	
<b>Características mecánicas y dimensionales</b>			
Esfuerzo en cantilever (mínimo)	kN	10	
Línea de fuga (mínima)	mm	550	
Distancia de arco	mm	190	
Longitud del aislador (aproximada)	mm	260	
Peso neto por unidad (aproximado)	kg.	2.5	
<b>Otros</b>			
Vida útil ofrecida	años	20	
Garantía ofrecida	años	2	

**FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE**



**HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**POSICION 2**

**AISLADORES POLIMERICOS TIPO PIN 22.9 KV**

FABRICANTE : .....

FECHA: .....

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR SOLICITADO	VALOR OFRECIDO
Tipo y/o catalogo			
Norma de fabricación			
Material			
Acabado			
<b>Características eléctricas</b>			
Tensión nominal del sistema	kV	22.9	
Tensión clase	kV	25	
Tensión disruptiva a frecuencia industrial 60 Hz			
En Seco	kV	125	
Bajo lluvia	kV	80	
Tensión disruptiva a onda de impulso 1.2/50 µs			
Positiva	kV	200	
Negativa	kV	265	
<b>Características de radio interferencia</b>			
Ensayos de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	kV	30	
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 kHz	µV	200	
<b>Características mecánicas y dimensionales</b>			
Esfuerzo en cantilever (mínimo)	kN	10	
Línea de fuga (mínima)	mm	750	
Distancia de arco	mm	280	
Longitud del aislador (aproximada)	mm	380	
Peso neto por unidad (aproximado)	kg.	3.2	
<b>Otros</b>			
Vida útil ofrecida	años	20	
Garantía ofrecida	años	2	

**FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE**

**HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**POSICION 3**

**AISLADORES POLIMERICOS TIPO SUSPENSION 10 KV**

FABRICANTE : .....

FECHA: .....

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR SOLICITADO	VALOR OFRECIDO
Tipo y/o catalogo			
Norma de fabricación			
Material			
Acabado			
<b>Características eléctricas</b>			
Tensión nominal del sistema	kV	10	
Tensión clase	kV	15	
Tensión disruptiva a frecuencia industrial			
En Seco	kV	90	
Bajo lluvia	kV	65	
Tensión disruptiva a onda de impulso 1.2/50 $\mu$ s	kV	140	
<b>Características de radio interferencia</b>			
Ensayo de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	kV	15	
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 kHz	$\mu$ V	10	
<b>Características mecánicas y dimensionales</b>			
Carga mecánica especificada SML	kN	45	
Carga de ensayo de rutina RTL	kN	23	
Carga de torsión	N-m	47	
Línea de fuga (mínima)	mm	600	
Longitud del aislador (aproximada)	mm	400	
Peso neto por unidad (aproximado)	kg.	2.0	
<b>Otros</b>			
Vida útil ofrecida	años	20	
Garantía ofrecida	años	2	

**FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE**

**HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

**POSICION 4**

**AISLADORES POLIMERICOS TIPO SUSPENSION 22.9 KV**

FABRICANTE : .....

FECHA: .....

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR SOLICITADO	VALOR OFRECIDO
Tipo y/o catalogo			
Norma de fabricación			
Material			
Acabado			
<b>Características eléctricas</b>			
Tensión nominal del sistema	kV	22.9	
Tensión clase	kV	25	
Tensión disruptiva a frecuencia industrial			
En Seco	kV	130	
Bajo lluvia	kV	110	
Tensión disruptiva a onda de impuso 1.2/50 $\mu$ s	kV	215	
<b>Características de radio interferencia</b>			
Ensayo de tensión (rms) a tierra para radio interferencia	KV.	20	
Voltaje máximo de radio interferencia (RIV) a 1,000 kHz	$\mu$ V	10	
<b>Características mecánicas y dimensionales</b>			
Carga mecánica especificada SML	kN	45	
Carga de ensayo de rutina RTL	kN	23	
Carga de torsión	N-m	47	
Línea de fuga (mínima)	mm	850	
Longitud del aislador (aproximada)	mm	550	
Peso neto por unidad (aproximado)	kg.	2.5	
<b>Otros</b>			
Vida útil ofrecida	años	20	
Garantía ofrecida	años	2	

\_\_\_\_\_  
FIRMA Y SELLO DEL FABRICANTE