

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AISLAMIENTO EXTERNO Y
DISEÑO DE LA LÍNEA DE FUGA DE LOS AISLADORES**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
ALEX VICTOR CORONEL CHAMORRO**

**PROMOCIÓN
2001-II**

**LIMA – PERÚ
2007**

**NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AISLAMIENTO
EXTERNO Y DISEÑO DE LA LÍNEA DE FUGA DE LOS
AISLADORES**

**Dedico este trabajo a:
Mi familia, fuente de constante motivación.**

SUMARIO

El propósito del presente trabajo es mostrar los métodos existentes para:

- Caracterizar el tipo y la severidad de la contaminación en un sitio.
- Determinar la distancia de fuga de “referencia” necesaria.
- Determinar las correcciones a la distancia de fuga de “referencia” para tomar en cuenta las propiedades específicas de los aisladores “candidatos” para el sitio, aplicación y tipo de sistema.
- Determinar las relativas ventajas y desventajas de las soluciones posibles.

Para el caso de los aisladores de cerámica y vidrio:

- Determinar la Distancia de Fuga Específica Unificada (USCD) de la Severidad de Contaminación del Sitio (SPS).
- Recomendaciones de perfiles.
- Aplicación de factores de corrección al USCD por la forma de aislador, tamaño, posición, etc.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
TÉRMINOS USUALES Y ABREVIATURAS	3
1.1 Términos Usuales	3
1.2 Abreviaturas Relacionadas al Tema	5
CAPITULO II	7
AISLADORES PARA AISLAMIENTO EXTERNO	7
2.1 Tipos de Aisladores	7
2.1.1 Aislador Espiga	7
2.1.2 Aislador Poste de Línea (Line Post)	7
2.1.3 Aislador Espiga Caperuza (Disco)	8
2.1.4 Aislador Varilla Larga (Long Rod)	9
2.1.5 Aislador Poste de Estación (Station Post)	9
2.1.6 Aislador Poste Pedestal (Pedestal Post)	10
2.1.7 Aislador Compuesto	10
2.2 Componentes del Aislador	11
2.2.1 Acoples Terminales (Terminales Metálicos, Caperuza)	11
2.2.2 Núcleo del Aislador (de Cerámica o Vidrio)	15
2.2.3 Núcleo del Aislador (Compuesto)	15
2.2.4 Aletas o Faldas Distribuidas	16
2.2.5 Recubrimiento del Aislador (Aisladores Compuestos)	18
2.3 Materiales del Aislador	18
2.3.1 Cerámica y Vidrio	18
2.3.2 Polimérico	18

CAPITULO III	19
MÉTODOS PROPUESTOS, PARÁMETROS DE ENTRADA Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE UN AISLADOR	19
3.1 Métodos Propuestos para la Selección y Dimensionamiento de un Aislador	19
3.2 Parámetros de entrada para la Selección y Dimensionamiento de un Aislador	21
3.3 Requerimientos del Sistema	22
3.3.1 Tipo de Sistema (A.C. o D.C.)	22
3.3.2 Tensión de operación máxima a través del aislamiento	22
3.3.3 Sobretensiones	23
3.3.4 Requerimientos de diseño impuestos	23
3.3.5 Distancia libre, geometría impuesta y dimensiones	23
CAPITULO IV	24
CONDICIONES AMBIENTALES	24
4.1 Identificación de los tipos de contaminación	24
4.1.1 Contaminación Tipo A	24
4.1.2 Contaminación Tipo B	25
4.2 Tipos Generales de Ambientes	25
4.2.1 Desértico	25
4.2.2 Costero	25
4.2.3 Industrial	26
4.2.4 Agrícolas	26
4.2.5 Interior	26
CAPITULO V	27
EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE CONTAMINACIÓN DEL SITIO	27
5.1 Severidad de Contaminación del Sitio	27
5.2 Métodos de Evaluación de la Severidad de Contaminación del Sitio	27
5.3 Clases de Severidad de Contaminación del Sitio (SPS)	29

CAPITULO VI	34
DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO	34
6.1 Descripción General del Proceso	34
6.2 Guía General sobre los Materiales	35
6.3 Guía General sobre los Perfiles	35
CAPITULO VII	40
DETERMINACIÓN DEL USCD DE REFERENCIA	40
CAPITULO VIII	41
ELECCIÓN DEL PERFIL	41
8.1 Recomendaciones Generales para los Perfiles de Vidrio y Porcelana	41
8.2 Aplicabilidad del Perfil	41
CAPITULO IX	44
COMPROBACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PERFIL	44
9.1 Espaciamiento versus saliente de aleta	44
9.2 Distancia de fuga versus espaciamento	45
9.3 Saliente de aleta y espaciamento	45
9.4 Ángulo de aleta	46
9.5 Factor de distancia fuga (CF)	46
CAPITULO X	48
CORRECCIÓN DEL USCD DE REFERENCIA Y DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE FUGA MÍNIMA FINAL	48
10.1 Corrección por altitud Ka	48
10.2 Corrección para diámetro del aislador Kad	48
10.3 Determinación de la distancia de fuga mínima final	49
10.4 Ejemplo de aplicación	49
CAPITULO XI	51
CONFIRMACIÓN POR PRUEBA	51
11.1 Determinación de la tensión de sostenimiento de larga duración	51
11.2 Determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación	51

11.3	Determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida	52
11.4	Selección del tipo de prueba de sostenimiento de contaminación estándar	53
11.5	Parámetro de prueba y procedimiento	53
11.6	Criterio de confirmación	53
	CONCLUSIONES	54
	ANEXO A	55
	DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO	55
	ANEXO B	59
	MECANISMOS DE CONTORNEO POR CONTAMINACIÓN	59
B.1	Descripción del mecanismo de contorneo por contaminación con contaminación tipo A	60
B.2	Descripción del mecanismo de contorneo por contaminación con contaminación tipo B	62
B.2.1	Niebla Conductiva	62
B.2.2	Chorreaduras de ave	64
B.3	El mecanismo de contorneo por contaminación en superficies hidrofóbicas	64
	ANEXO C	65
	MEDICIÓN DEL ESDD Y NSDD	65
C.1	Introducción	66
C.2	Equipo necesario para medición del grado de contaminación	68
C.3	Métodos de recolección de contaminación para medición del ESDD y NSDD	68
C.3.1	Procedimiento usando una técnica de enjuague	68
C.3.2	Procedimiento usando técnicas de lavado (aisladores pin caperuza)	69
C.4	Determinando el ESDD y NSDD	70
C.4.1	Cálculos del ESDD	70
C.4.2	Cálculos del NSDD	72
C.5	Análisis químico de los contaminantes	73

ANEXO D	74
EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE CONTAMINACIÓN TIPO B	74
D.1 Introducción	75
D.2 Evaluación del SES para contaminación tipo B por medición de corriente de fuga	75
D.2.1 Medición de la conductancia superficial	75
D.2.2 Medición de las corrientes de fuga superficiales	75
D.2.3 Calibración con una prueba de niebla salina	76
D.3 Evaluación del SES para contaminación tipo B por medición de la fatiga por contorneo del aislador	76
D.4 Cómo estimar el SPS para contaminación tipo B	77
ANEXO E	78
MEDICIONES CON EL MEDIDOR DE DEPÓSITO DE POLVO DIRECCIONAL	78
E.1 Introducción	79
E.2 Procedimiento de medición	81
E.3 Determinación de la clase de SPS a partir de las mediciones DDDG	82
E.4 Corrección por influencias climáticas	83
ANEXO F	84
USO DE MÉTODOS DE PRUEBA DE LABORATORIO	84
ANEXO G	87
FACTOR DE FORMA	87
ANEXO H	90
CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO Y LOS PALIATIVOS	90
ANEXO I	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TABLAS Y FIGURAS	96
BIBLIOGRAFÍA	99

INTRODUCCIÓN

La población y la producción industrial se han tomado cada vez más dependientes de un suministro de energía eléctrica confiable y de bajo costo. Se ha prestado una mayor atención al desempeño, a la confiabilidad y al costo de cada componente del sistema eléctrico, incluyendo el aislamiento externo de las líneas eléctricas y de las subestaciones. La integridad del aislamiento exterior es crucial para la confiabilidad del suministro y el buen rendimiento de una instalación eléctrica.

Por muchos años los materiales dieléctricos convencionales (vidrio y porcelana) dominaron como los preferidos para ser usados en aislamiento externo, debido a sus propiedades mecánicas, a sus propiedades durables y acabado de superficie, y a su relativo bajo costo. La experiencia en servicio y la intensa investigación de los años 70 y 80, permitieron una buena comprensión de los mecanismos de falla que les son asociados y los ingenieros tuvieron la posibilidad de diseñar aisladores para brindar desempeños satisfactorios en la mayoría de los casos.

Sin embargo, en el contexto natural existe un número significativo de ambientes, donde particularmente la severidad de la contaminación es alta o donde existen fuentes de contaminación que aumentan en periodos de años, donde la confiabilidad del aislamiento permanece inaceptablemente baja. Con el desarrollo de los materiales poliméricos, nuevos aisladores se hicieron disponibles como competitivos con el vidrio y la porcelana. Inicialmente, el diseño y selección de aisladores fabricados con estos materiales siguieron la práctica que se usaba para los aisladores de vidrio y porcelana. Sin embargo, pronto se hizo evidente que los mecanismos de fallas, y los procesos que conducen a ellos, eran muy diferentes y fueron necesarias investigaciones y análisis de experiencias en servicio para proveer a los ingenieros de métodos que les permitieran diseñar y seleccionar aisladores poliméricos con confianza.

El presente trabajo muestra a los ingenieros las herramientas disponibles para seleccionar y dimensionar los aislamientos externos que satisfagan a los diversos

ambientes, tomando en cuenta la variedad de materiales y tipos de aisladores que están actualmente disponibles y el nivel de desempeño deseado.

CAPITULO I

TERMINOS USUALES Y ABREVIATURAS

1.1 Términos usuales

Para el presente trabajo, son aplicables los siguientes términos usuales:

Aislador Espiga Caperuza de Referencia

Es un aislador espiga caperuza tipo U120B o U160B (de acuerdo a la IEC 60305) utilizado para medir la severidad de la contaminación del sitio.

Aislador Varilla Larga de Referencia

Es un aislador en forma de varilla larga tipo L100 (de acuerdo a la IEC 60433) con aletas planas sin salientes, utilizado para medir la severidad de la contaminación del sitio. Son necesarias al menos 14 aletas.

Tronco del Aislador

Es la parte aislante central de un aislador que le provee de sus características mecánicas y desde el cual se proyectan las aletas. (Además es conocido como asta en aisladores pequeños).

Aletas

Las proyecciones desde el tronco de un aislador que permiten incrementar la distancia de fuga.

Distancia de Fuga

La distancia más pequeña, o la suma de las distancias más pequeñas, a lo largo del dieléctrico del aislador, ubicada entre aquellas partes que normalmente se hallan a tensión de operación.

Nota 1.- La superficie de cemento o de cualquier otro material de unión entre el aislante y los herrajes no es considerada como parte que conforma la distancia de fuga.

Nota 2.- Si un recubrimiento de alta resistencia es aplicado entre partes aislantes de un aislador, entonces tales partes son consideradas parte del aislamiento efectivo y la distancia sobre ellas será incluida en la distancia de fuga.

Distancia de Fuga Específica Unificada (USCD [Unified Specific Creepage Distance])

La distancia de fuga de un aislador fase-tierra dividido entre la tensión de máxima operación aplicada sobre el aislador (para sistemas A.C.: $U_m/\sqrt{3}$). Es generalmente expresada en mm/kV.

Nota.- Esta definición difiere de Distancia de Fuga Específica, donde se usa el valor de la mayor tensión fase a fase del equipo. Para aislamiento fase a tierra, esta definición resultará en un valor que es $\sqrt{3}$ veces el valor dado por la definición de Distancia de Fuga Específica en el IEC 60815 (1986).

Parámetros de Perfil

Conjunto de valores geométricos del dieléctrico de un aislador que tienen una influencia sobre el desempeño del sostenimiento bajo contaminación y condiciones ambientales.

Densidad de Depósito de Sal (SDD [Salt Deposit Density])

Es la cantidad de Cloruro de Sodio en un depósito artificial sobre una superficie dada del aislador (las partes metálicas y materiales de ensamble no son incluidas en esta superficie) dividida entre el área en cm^2 de esta superficie; generalmente se expresa en mg/cm^2 .

Densidad de Depósito de Sal Equivalente (ESDD [Equivalent Salt Deposit Density])

Es la cantidad de Cloruro de Sodio que, cuando esta disuelto en agua, da una conductancia similar a la que da el depósito natural de contaminación que es removido de una superficie dada del aislador, dividido entre el área en cm^2 de esta superficie; generalmente se expresa en mg/cm^2 .

Densidad de Depósito No Soluble (NSDD [Non Soluble Deposit Density])

Es la cantidad del residuo no soluble de la contaminación removida de una superficie dada del aislador, dividida entre el área en cm^2 de esta superficie; generalmente se expresa en mg/cm^2 .

Salinidad Equivalente del Sitio (SES [Site Equivalent Salinity])

Es la salinidad de una prueba de niebla salina de acuerdo al IEC 60507 (1991) que daría comparables picos de corriente de fuga sobre el mismo aislador como los producidos por contaminación natural del sitio con la misma tensión aplicada, generalmente se expresa en kg/m^3 .

Índice de Medidor de Depósito de Polvo – Soluble (DDGIS [Dust Deposit Gauge Index - Soluble])

Es la conductividad volumétrica de los contaminantes acumulados en un periodo dado de tiempo, en un medidor de depósito de polvo, cuando es disuelta en 500 ml de agua desmineralizada.

Índice de Medidor de Depósito de Polvo – No Soluble (DDGIN [Dust Deposit Gauge Index – Non-Soluble])

Es la masa de residuos no solubles acumulados en un periodo dado de tiempo en un medidor de depósito de polvo.

Severidad de la Contaminación del Sitio (SPS [Site Pollution Severity])

Es el valor máximo de ESDD/NSDD, o SES o DDGIS/DDGIN, registrado sobre un adecuado periodo de tiempo.

Clase de Severidad de Contaminación del Sitio

Es la clasificación de la severidad de contaminación de un sitio, de muy ligera a muy pesada, como una función del SPS.

1.2 Abreviaturas Relacionadas al Tema

Cf	Factor Climático (para DDDG) [Climatic Factor].
DDDG	Medidor de Depósito de Polvo Direccional [Directional Dust Deposit Gauge].
DDGIS	Índice de Medidor de Depósito de Polvo – Soluble [Dust Deposit Gauge Index - Soluble].
DDGIN	Índice de Medidor de Depósito de Polvo – No Soluble [Dust Deposit Gauge Index – Non-Soluble].
Dm	Meses Secos (para DDDG) [Dry Months].
ESDD	Densidad de Depósito de Sal Equivalente [Equivalent Salt Deposit Density].

Fd	Días de Niebla (para DDDG) [Days Fog].
Ff	Factor de Forma [Form Factor].
NSD	Depósito No Soluble [Non Soluble Deposit].
NSDD	Densidad de Depósito No Soluble [Non Soluble Deposit Density].
PI	Índice de Polución (para DDDG) [Pollution Index].
SDD	Densidad de Depósito de Sal [Salt Deposit Density].
SES	Salinidad Equivalente del Sitio [Site Equivalent Salinity].
SPS	Severidad de Contaminación del Sitio [Site Pollution Severity].
TOV	Sobretensión Temporal [Temporary Overvoltage].
USCD	Distancia de Fuga Específica Unificada [Unified Specific Creepage Distance].

CAPITULO II

AISLADORES PARA AISLAMIENTO EXTERNO

2.1 Tipos de Aisladores

2.1.1 Aislador Espiga

Es un aislador rígido conformado por un componente dieléctrico moldeado para ser montado rígidamente sobre una estructura soporte por medio de una espiga que se atomilla dentro del aislador. El componente aislante puede consistir en una o más piezas de material aislante que están permanentemente unidos. La fijación del componente aislante a la espiga puede ser desmontable o permanente.

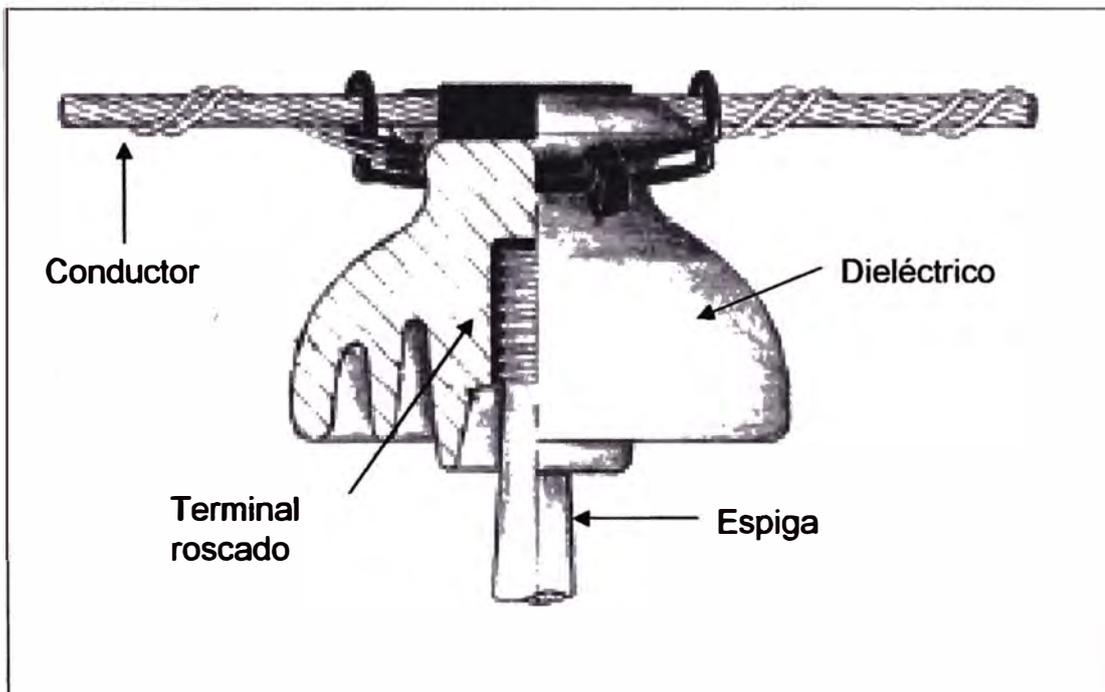


Figura 2.1 – Aislador Espiga

2.1.2 Aislador Poste de Línea (Line Post)

Es un aislador rígido conformado de una o más piezas de material dieléctrico permanentemente ensamblado con o sin una cubierta base de metal para ser montado rígidamente sobre una estructura soporte por medio de una espiga central o uno o más pernos.

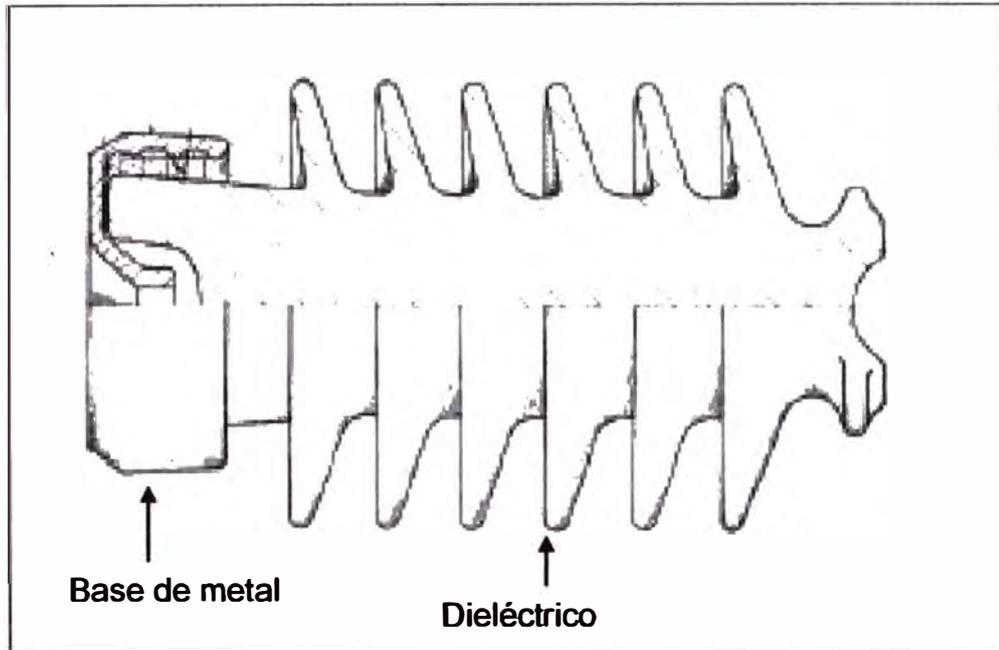


Figura 2.2 – Aislador Poste de Línea

2.1.3 Aislador Espiga Caperuza (Disco)

Es un aislador conformado de una parte dieléctrica que tiene la forma de un disco o campana y que fija dispositivos que consisten de una caperuza exterior y una espiga interior fijado axialmente.

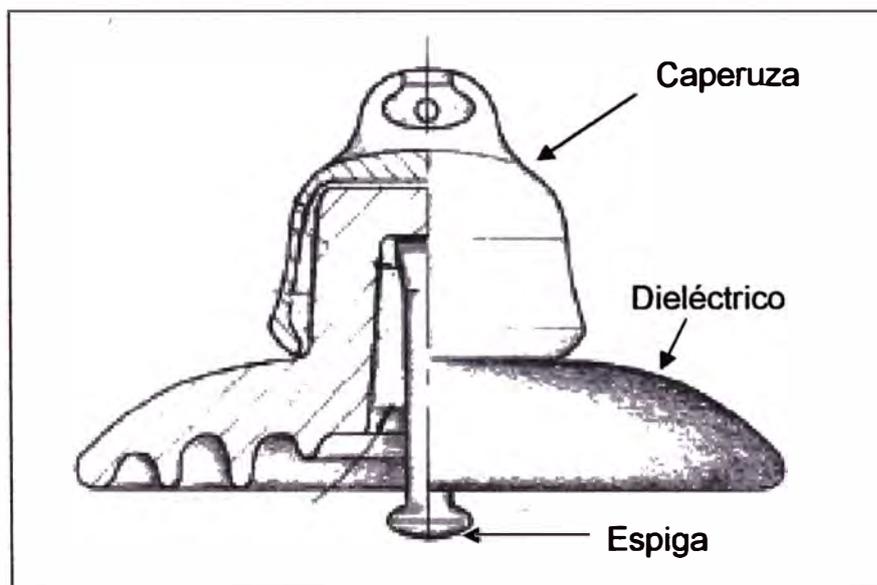


Figura 2.3 – Aislador Espiga Caperuza

2.1.4 Aislador Varilla Larga (Long Rod)

Es un aislador conformado de una parte dieléctrica que tiene un núcleo cilíndrico provisto de aletas, y equipado en los extremos con terminales metálicos externos o internos.

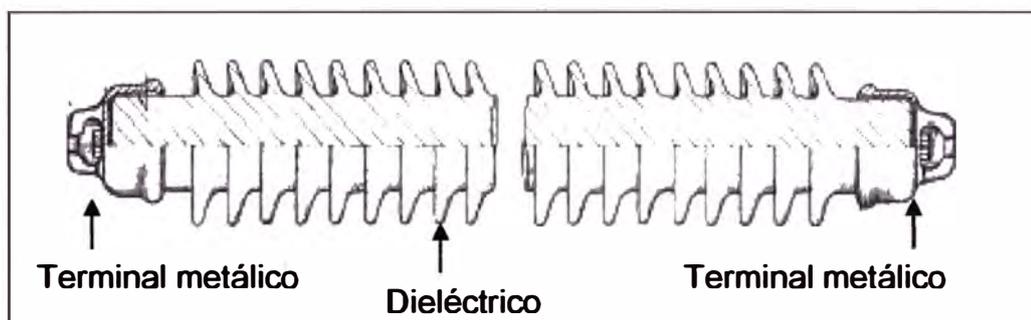


Figura 2.4 – Aislador Varilla Larga

2.1.5 Aislador Poste de Estación (Station Post)

Es un aislador rígido conformado de un o más piezas de material dieléctrico, permanentemente ensamblados y equipados en los extremos con terminales metálicos externos para ser montados rígidamente sobre una estructura soporte por medio de uno o más pernos.

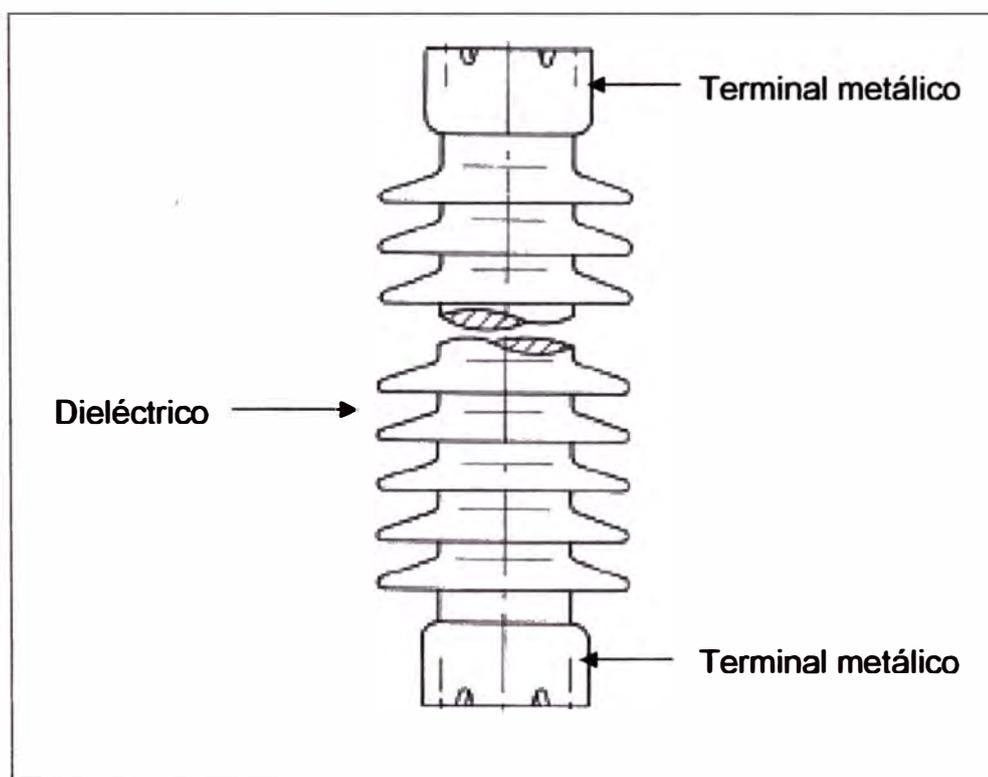


Figura 2.5 – Aislador Poste de Estación

2.1.6 Aislador Poste Pedestal (Pedestal Post)

Es un aislador poste conformado por dos partes metálicas, una caperuza parcialmente fijada a un componente dieléctrico y un "pedestal" fijado con cemento dentro de la parte intermedia del componente aislante. La caperuza normalmente tiene agujeros tapados y el pedestal un ribete con agujeros planos para fijación con pernos y tornillos.

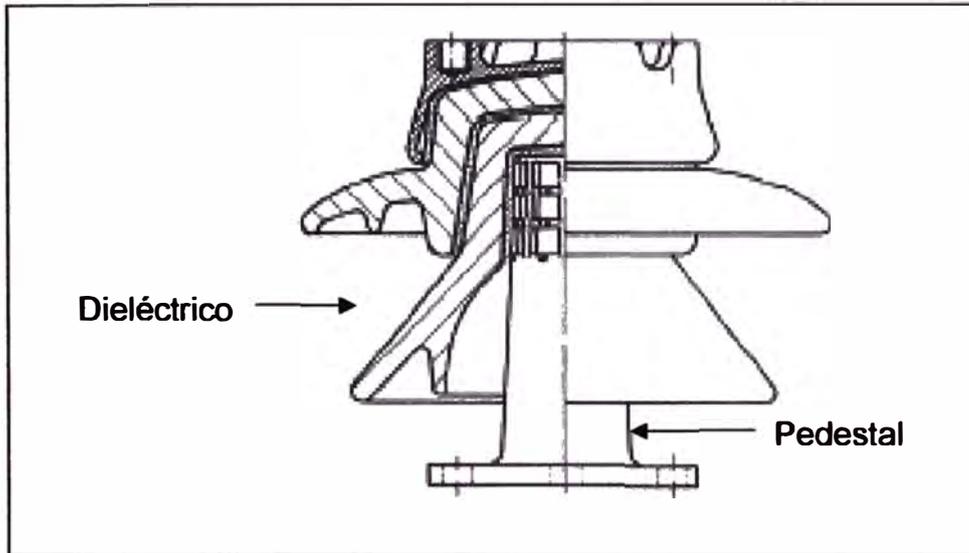


Figura 2.6 – Aislador Poste Pedestal

2.1.7 Aislador Compuesto

Es un aislador conformado de al menos dos partes dieléctricas distintas, a saber, un núcleo y su recubrimiento externo, complementado con terminales metálicos. El dieléctrico externo puede consistir de un material polimérico con aletas individuales espaciadas sobre el núcleo, con o sin una funda intermedia; o alternativamente, de un recubrimiento directamente extruido (moldeado o fundido), en una o varias piezas sobre el núcleo. Los aisladores compuestos pueden ser de tipo Varilla Larga (Long Rod), Poste de Línea (Line Post) o Poste de Estación (Station Post).

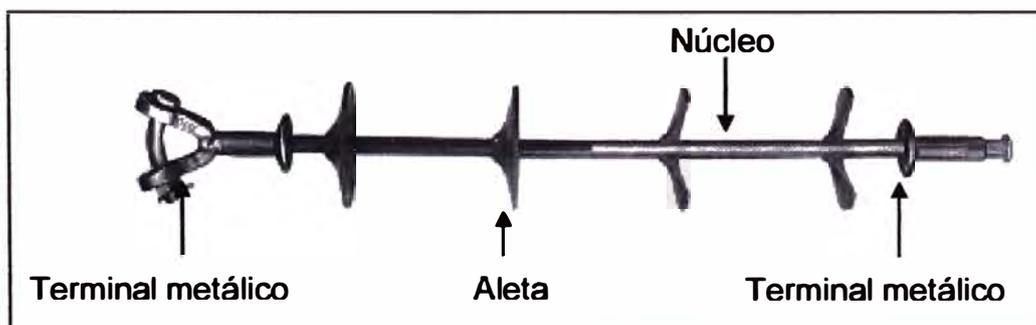


Figura 2.7 – Aislador Compuesto

2.2 Componentes del aislador

2.2.1 Acoples o Terminales

Un acople es un dispositivo que forma parte del aislador, para su ensamble o acople a una estructura soporte, a un conductor, o a alguna parte de un equipo, u otro aislador.

Los acoplamientos de los terminales extremos pueden ser de varios tipos diferentes, como se ilustra:

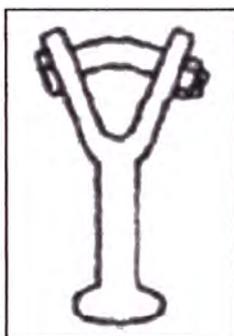


Figura 2.8 – Terminal Horquilla-Y (Y-Clevis)

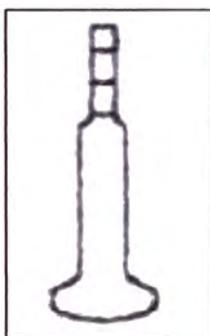


Figura 2.9 – Terminal Ojal (Tongue)

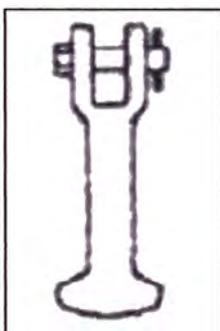


Figura 2.10 – Terminal Horquilla (Clevis)

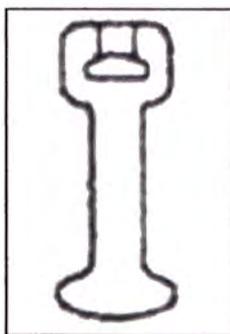


Figura 2.11 – Terminal Rotula (Socket)

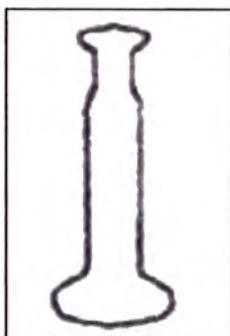


Figura 2.12 – Terminal Bola (Ball)

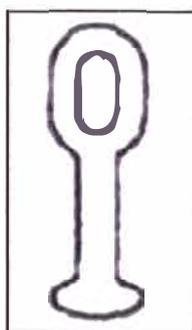


Figura 2.13 – Terminal Ojo (Eye)

Para aisladores Poste de Línea (Line Post), se requieren diferentes configuraciones de terminales. Los más comunes tipos de bases y cubiertas son las mostradas:

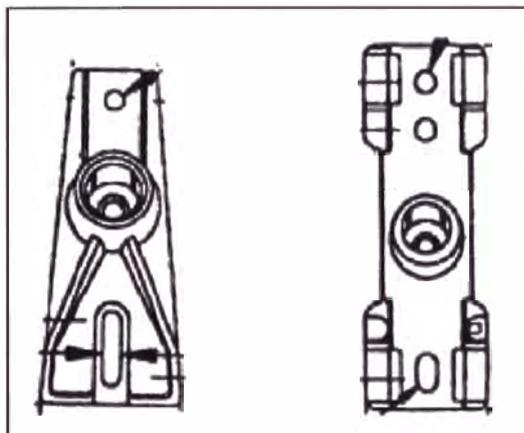


Figura 2.14 – Bases Gain

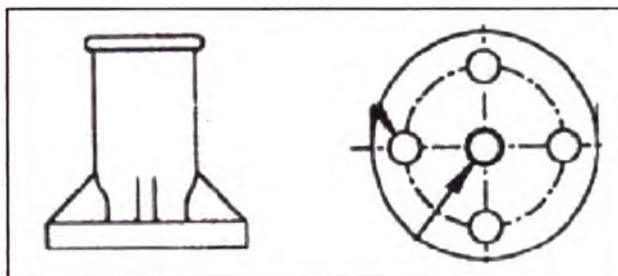


Figura 2.15 – Base Stud

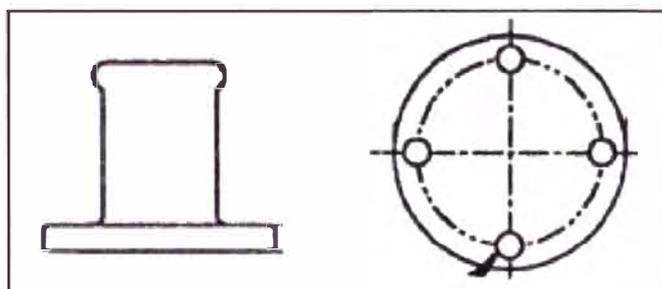


Figura 2.16 – Base Flange

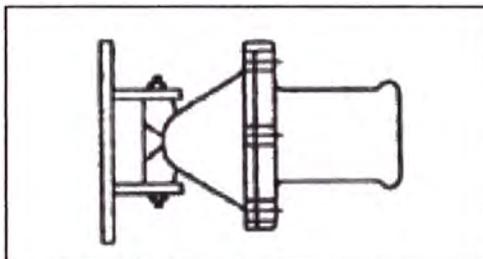


Figura 2.17 – Base Swivel

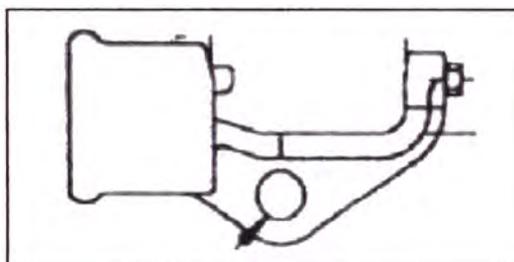


Figura 2.18 – Terminal Trunnion Horizontal

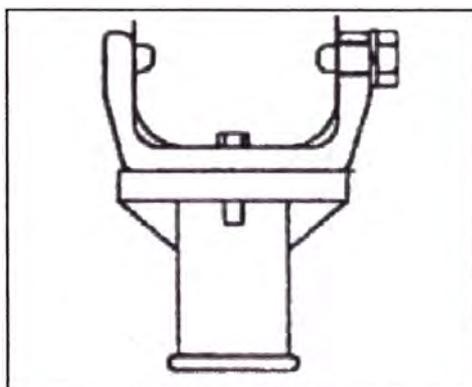


Figura 2.19 – Terminal Trunnion Vertical

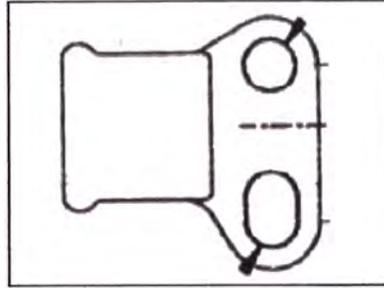


Figura 2.20 – Terminal Drop Tongue

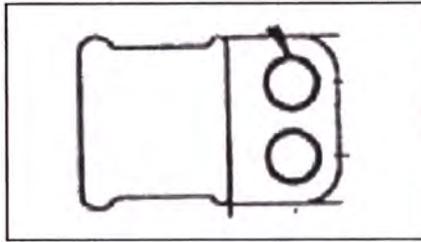


Figura 2.21 – Terminal Tongue

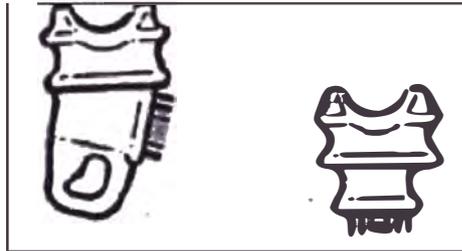


Figura 2.22 – Terminal F-Neck

2.2.2 Núcleo del Aislador (de Cerámica o Vidrio)

El núcleo se refiere al cuerpo principal rígido del aislador y es diseñado para proveer las características mecánicas requeridas.

2.2.3 Núcleo del Aislador (Compuesto)

El núcleo es la parte aislante interna de un aislador compuesto y es diseñado para proveer las características mecánicas requeridas. Usualmente consiste de un haz de fibra de vidrio continua, aglutinada con una matriz de resina, de tal manera que alcance una rigidez y soporte el esfuerzo de tensión máxima, siendo susceptible de deformaciones reversibles longitudinales.

2.2.4 Aletas o Faldas Distribuidas

Las aletas son las proyecciones protuberantes desde la superficie del núcleo de un aislador, destinadas a incrementar la distancia de fuga. Varios tipos típicos de aletas y perfiles de aletas son ilustrados a continuación.

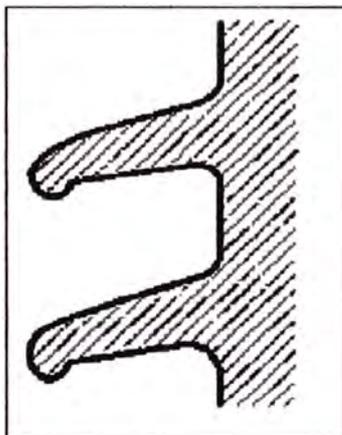


Figura 2.23 – Aleta Normal

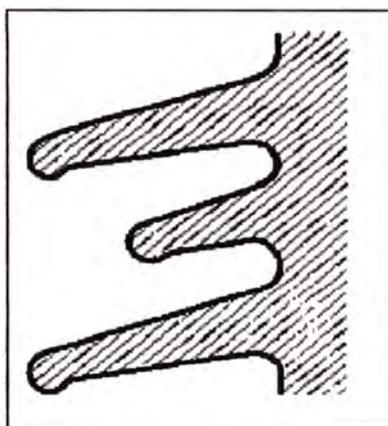


Figura 2.24 – Aleta Alternante

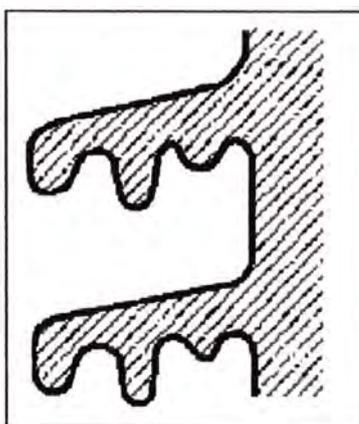


Figura 2.25 – Aleta con salientes inferiores

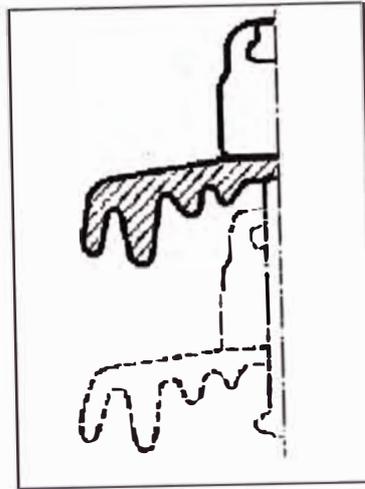


Figura 2.26 – Aleta Disco Estándar

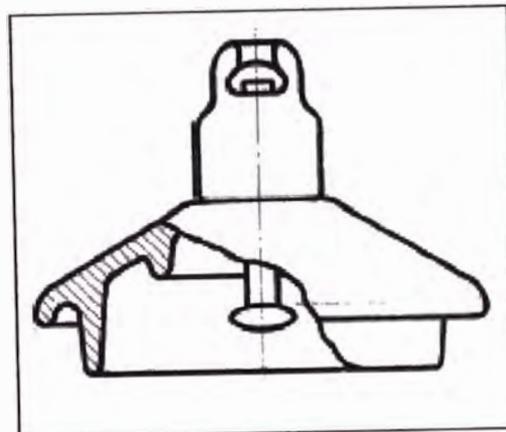


Figura 2.27 – Aleta Disco Anti-Niebla

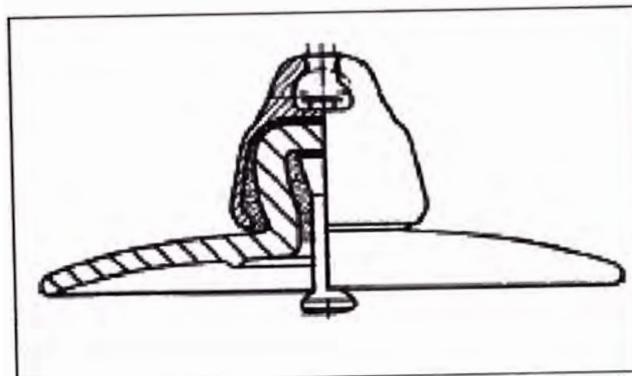


Figura 2.28 – Aleta Aerodinámica

2.2.5 Recubrimiento del Aislador (Aisladores Compuestos)

El recubrimiento es la parte aislante externa de un aislador, el cual provee la distancia de fuga necesaria y protege el núcleo del ambiente. Una funda intermedia hecha de material aislante es considerada como parte del recubrimiento.

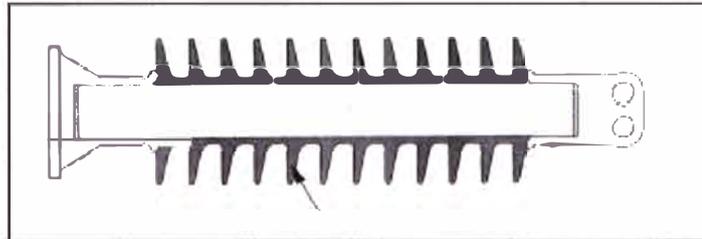


Figura 2.29 – Aislador Compuesto

2.3 Materiales del Aislador

Los materiales más comunes de los aisladores son los siguientes:

2.3.1 Cerámica y Vidrio

Porcelana: Completamente vitrificada, no poroso, cerámica de grado eléctrico cubierto con un barniz.

Vidrio endurecido: Vidrio en el cual fuerzas mecánicas controladas han sido inducidas por tratamiento térmico.

Vidrio templado: Vidrio en el cual fuerzas mecánicas han sido relajadas por tratamiento térmico.

2.3.2 Polimérico

Resina: Usualmente de tipo epoxy cycloaliphatico con rellenos.

Goma de Silicona: Producido de dimethyl polysiloxano con rellenos.

EPDM: Ethyleno propyleno dieno monómero con rellenos.

ESP: Co-polymer, mezcla entre ethylenepropylene y silicona con rellenos.

CAPITULO III

MÉTODOS PROPUESTOS, PARÁMETROS DE ENTRADA Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE UN AISLADOR

3.1 Métodos Propuestos para la Selección y Dimensionamiento de un Aislador

Para seleccionar los aisladores necesarios a partir de los catálogos de los fabricantes y en base a los requerimientos del sistema eléctrico, su infraestructura y las condiciones ambientales, se recomiendan tres métodos (A, B, C, indicados en la Tabla 3.1).

Estos métodos son además mostrados en forma de diagrama de flujo en el anexo A.

La Tabla 3.1 muestra los datos y decisiones que se necesitan en cada método. La aplicabilidad de cada método depende de los datos disponibles, el tiempo y la economía envuelta en el proyecto. El grado de confianza de que se ha seleccionado el tipo y tamaño correcto de aislador varía además de las decisiones tomadas durante el proceso.

En realidad, el desempeño ante la contaminación del aislador es determinado por interacciones complicadas y dinámicas entre el ambiente y el aislador. El anexo B da un breve resumen del mecanismo de contorneo por contaminación. En el Método A tales interacciones son adecuadamente representadas en una línea en operación o en una subestación y pueden además ser representadas en una estación de prueba. En el Método B, estas interacciones no pueden ser completamente representadas por las pruebas de laboratorio, por ejemplo, las pruebas especificadas en el IEC 60507 y IEC 61245. En el método C, tales interacciones pueden solo ser representadas a un grado limitado usando factores de corrección. El Método C es simple y barato para el proceso de dimensionamiento, pero los costos totales, incluyendo los requerimientos de desempeño impuestos, tienen que ser considerados cuando se escoge de entre los tres métodos. Cuando lo permitan las circunstancias, el método A debe ser adoptado.

Las escalas de tiempo envueltas en los tres métodos son:

- Para experiencia en servicio (Método A), un periodo de operación satisfactorio de cinco a diez años puede ser considerado como aceptable. Este periodo puede ser

largo o corto de acuerdo a la frecuencia y severidad del clima y a los eventos de contaminación.

- Para experiencia en estación de prueba (Método A), un periodo de investigación de dos a cinco años puede ser considerado como típico. Este periodo puede ser largo o corto de acuerdo al protocolo de prueba y severidad.
- Para medición de la severidad del sitio (Método B y C), es necesario al menos un periodo un año.
- Para estimación de la severidad del sitio (Método B y C), es necesario llevar a cabo investigaciones del clima, del ambiente e identificar y analizar todas las posibles fuentes de contaminación. Consecuentemente, la estimación no es necesariamente un proceso inmediato y puede requerir varias semanas o meses.
- Para pruebas de laboratorio (Método B), el tiempo necesario es un asunto de semanas o meses dependiendo del tipo y la escala de pruebas.

Tabla 3.1 – Los tres métodos para la selección y dimensionamiento del aislador

Método A (Uso de experiencias pasadas)	Método B (Medición y prueba)	Método C (Medición y diseño)	
<ul style="list-style-type: none"> • Usar experiencias existentes de la estación de prueba y de campo para el mismo sitio, un sitio cercano o un sitio con similares condiciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir o estimar la severidad de contaminación del sitio. • Seleccionar el aislador candidato usado la guía de perfil y distancia de fuga. • Escoger la prueba de laboratorio aplicable y el criterio de prueba. • Verificar/ajustar los candidatos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir o estimar la severidad de contaminación del sitio. • Usar estos datos para escoger el tipo y el tamaño del aislamiento basado en la guía del perfil y distancia de fuga. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos del sistema. • Condiciones ambientales. • Parámetros del aislador. • Historial de desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos del sistema. • Condiciones ambientales. • Parámetros del aislador. • Tiempo y recursos disponibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos del sistema. • Condiciones ambientales. • Parámetros del aislador. • Tiempo y recursos disponibles. 	Ingreso de datos
¿El aislador existente satisface los requerimientos del proyecto?	¿Hay tiempo para medir la severidad de contaminación del sitio?	¿Hay tiempo para medir la severidad de contaminación del sitio?	Decisiones

Método A (Uso de experiencias pasadas)		Método B (Medición y prueba)		Método C (Medición y diseño)		
SI Usar el mismo diseño de aislador.	NO Usar diferente diseño de aislador o diferente tamaño.	SI Medir	NO Estimar	SI Medir	NO Estimar	
¿Es un material, tipo o perfil diferente al que será usado?		<ul style="list-style-type: none"> El tipo de contaminación determina el método de prueba de laboratorio a ser usado. La severidad del sitio determina los valores de prueba. 				Deci- siones
NO Usar el mismo diseño de aislador.	SI Usar diferente diseño de aislador o diferente tamaño.	<ul style="list-style-type: none"> Si es necesario, usar la guía de perfil y distancia de fuga para adaptar los parámetros del aislador existente a la nueva elección usando los métodos B o C. 		<ul style="list-style-type: none"> Seleccionar candidatos. Probar. Si es necesario, ajustar la selección/tamaño de acuerdo a los resultados de prueba. 		Proceso de selección
<ul style="list-style-type: none"> Una selección con una buena precisión. 		<ul style="list-style-type: none"> Una selección con una precisión variable de acuerdo al grado de errores y/o caminos cortos tomados en la evaluación de la severidad del sitio y con la suposición y/o limitaciones de la prueba de laboratorio elegido. 		<ul style="list-style-type: none"> Usar el tipo de contaminación y clima para seleccionar los perfiles apropiados usando la guía. Usar el nivel de contaminación y los factores de corrección para el diseño del perfil y material para dimensionar el aislamiento usando la guía. 		Precisión
		<ul style="list-style-type: none"> Una posiblemente solución sobre o sub dimensionada comparada con A o B. Una selección con una precisión variable de acuerdo al grado de errores y/o caminos cortos tomados en la evaluación de la severidad del sitio y la aplicabilidad de los factores de corrección seleccionados. 				

3.2 Parámetros de entrada para la Selección y Dimensionamiento de un Aislador

La selección y dimensionamiento de aisladores de uso exterior es un proceso complejo; se deben considerar un gran número de parámetros para obtener un resultado exitoso. Para un lugar dado o proyecto, las entradas de datos requeridas están conformadas por tres categorías: requerimientos del sistema, condiciones ambientales del lugar, y parámetros del aislador obtenidos de los catálogos del fabricante.

Tabla 3.2 – Parámetros de entrada para la selección y dimensionamiento de aisladores

Requerimientos del sistema	Condiciones ambientales	Parámetros del aislador
Tipo de sistema	Tipos y niveles de contaminación	Longitud total
Máxima tensión de operación a través del aislador	Lluvia, niebla, rocío,	Tipo
Parámetros de coordinación de aislamiento	Viento	Material
	Temperatura, humedad	Perfil
Requerimientos de desempeño impuestos	Altitud	Distancia de fuga
Espacio libre, geometría impuesta, dimensiones	Rayos, terremotos	Diámetros
	Vandalismo, animales	Distancia de arco
Trabajo en línea viva y práctica de mantenimiento	Crecimiento biológico	Diseño eléctrico y mecánico

3.3 Requerimientos del Sistema

Los requerimientos del sistema tienen que ser tomados en cuenta para la selección y dimensionamiento de los aisladores para uso exterior. Los siguientes puntos pueden influenciar fuertemente en el dimensionamiento del aislador y por lo tanto necesitan ser considerados.

3.3.1 Tipo de sistema (A.C. o D.C.)

Es bien sabido por los resultados en servicio y por pruebas en laboratorio que, para iguales condiciones de contaminación, el aislamiento en D.C. requiere un valor mucho mayor de distancia de fuga específica unificada comparado con el aislamiento A.C..

3.3.2 Tensión de operación máxima a través del aislamiento

Usualmente un sistema A.C. es caracterizado por la mayor tensión del equipo U_m .

El aislamiento fase a tierra es tensionado con la tensión fase a tierra $U_{ph-e} = U_m / \sqrt{3}$.

El aislamiento fase a fase es tensionado con la tensión fase a fase $U_{ph-ph} = U_m$.

En el caso de sistemas D.C., usualmente la máxima tensión del sistema es igual a la máxima tensión línea a tierra. En el caso de formas de onda de tensión mixtas, se podría usar el valor r.m.s. de la tensión.

3.3.3 Sobretensiones

Los efectos de las sobretensiones transitorias no necesitan ser considerados debido a su corta duración.

Sobretensiones temporales (TOV) podrían ocurrir debido a repentinos rechazos de carga de generadores y líneas o fallas línea a tierra.

Nota.- La duración de las sobretensiones temporales depende de la configuración del sistema y puede durar hasta una media hora, o aún más en el caso de un sistema con neutro aislado. Dependiendo de la duración de la sobretensión temporal y su probabilidad de ocurrencia, se podría considerar el efecto combinado de la sobretensión temporal y la contaminación del aislador.

3.3.4 Requerimientos de diseño impuestos

Aisladores longitudinales usados para sincronización pueden ser tensionados hasta un valor de 2 veces la tensión fase a tierra.

Algunos clientes pueden requerir desempeños garantizados para el aislamiento exterior con respecto a la disponibilidad, mantenimiento y confiabilidad. Esto puede ser especificado, por ejemplo, como el máximo número de contorneos por contaminación por subestación, o por 100 km de longitud de línea, para un tiempo dado. Tales requerimientos podrían además incluir un máximo tiempo de fuera de servicio después de un contorneo.

En adición al dimensionamiento del aislador de acuerdo a las condiciones del sitio, estas demandas podrían convertirse en los factores de control para los parámetros del aislador.

3.3.5 Distancia libre, geometría impuesta y dimensiones

Podrían ser varios casos, o una combinación de ellos, donde se requieren soluciones especiales para tipos de aislamiento y dimensiones.

Por ejemplo:

Líneas compactas;

Posiciones inusuales de un aislador;

Diseños inusuales de torres y subestaciones;

Conductores aislados;

Líneas o subestaciones con un bajo impacto visual.

CAPITULO IV

CONDICIONES AMBIENTALES

4.1 Identificación de los tipos de contaminación

Existen dos tipos básicos principales de contaminación del aislador que pueden conducir al contorneo, estos son:

Tipo A: donde la contaminación sólida con un componente no soluble se deposita sobre la superficie del aislador. Este depósito se convierte en conductivo cuando es humedecido. Este tipo de contaminación puede ser mejor caracterizado por las mediciones ESDD/NSDD y DDGIS/DDGIN.

Tipo B: donde electrolitos líquidos son depositados sobre el aislador con muy pocos o sin componentes no solubles. Este tipo de contaminación puede ser mejor caracterizada por la conductancia o medición de la corriente de fuga.

Pueden presentarse combinaciones de los dos tipos de contaminación.

4.1.1 Contaminación Tipo A

La contaminación tipo A está más frecuentemente asociada con las áreas con contaminación interior, desérticas o industriales. El tipo de contaminación A puede además presentarse en áreas costeras en casos donde se acumula una capa de sal seca y entonces rápidamente se torna húmeda por rocío, niebla o llovizna.

La contaminación tipo A tiene dos tipos de componentes principales, a saber: contaminación soluble que forma una capa conductiva cuando es humedecida, y contaminación no soluble que forma una capa de enlace para la contaminación soluble.

Estas son descritas como sigue:

Contaminación soluble:

La contaminación soluble es subdividida en sales de solubilidad alta (sales que se disuelven fácilmente en agua), y sales de baja solubilidad (sales que se disuelven difícilmente). La contaminación soluble es medida en términos de Densidad de Depósito de Sal Equivalente (ESDD) en mg/cm^2 .

Contaminación no soluble:

Ejemplos de contaminación no soluble son el polvo, arena, arcilla, aceites, etc. La contaminación no soluble es medida en términos de Densidad de Depósito No Soluble (NSDD) en mg/cm^2 .

4.1.2 Contaminación Tipo B

El tipo de contaminación B está más frecuentemente asociado con áreas costeras donde el agua salada o la niebla conductiva es depositada sobre la superficie del aislador. Otras fuentes de contaminación tipo B son, por ejemplo, la pulverización sobre cultivos, niebla química y lluvia ácida.

4.2 Tipos Generales de Ambientes

Son definidos cinco tipos generales de ambientes, estos son:

4.2.1 Desértico

Estas son áreas que están caracterizadas por tener suelos arenosos con largos periodos en condiciones secas. Estas áreas pueden ser extensas. La capa de contaminación en estas áreas normalmente está conformada de sales que se disuelven lentamente en combinación con un alto nivel de NSDD. Los aisladores son contaminados principalmente por contaminación suspendida en el viento. El lavado natural puede ocurrir bajo los infrecuentes periodos de lluvia o por "estallido de arena" durante condiciones de viento fuerte. La infrecuencia de lluvia junto con el tipo de contaminación (sales disolviéndose lentamente), causan que la limpieza natural no sea muy efectiva. El humedecimiento crítico, que provoca un riesgo de contorneo del aislador, puede ocurrir con relativa frecuencia en la forma de rocío sobre los aisladores.

4.2.2 Costero

Estas áreas están típicamente en directa vecindad de la costa, pero en algunos casos pueden estar tan lejanos como 10-20 km tierra adentro. La capa de contaminación sobre los aisladores está conformada de sales de disolución rápida con un bajo componente

inerte. El aumento de contaminación es generalmente rápido, especialmente durante condiciones de niebla conductiva. Una acumulación de contaminación sobre un periodo largo puede también ocurrir a través de un depósito de partículas de sal suspendidas en el viento. La limpieza natural de los aisladores es típicamente efectiva cuando la contaminación consiste principalmente de sales de disolución rápida que no son muy adhesivas. La contaminación es depositada sobre los aisladores principalmente por el viento y las precipitaciones.

4.2.3 Industrial

Estas son áreas localizadas cercanas a una fuente de contaminación industrial, y puede afectar solamente a pocas instalaciones. La capa de contaminación puede estar conformada por contaminación de partículas conductivas (como son: carbón, depósitos metálicos) o gases disueltos (como son: NO_x, SO_x) o contaminación que se disuelve lentamente (como son: cemento, yeso). La capa contaminada puede tener un componente inerte medio o alto (medio a alto NSDD). La efectividad del lavado natural en áreas industriales puede variar grandemente dependiendo del tipo de contaminación presente. La contaminación es frecuentemente conformada por partículas pesadas que se establecen sobre superficies horizontales.

4.2.4 Agrícolas

Estas son áreas que están situadas en la vecindad de lugares con actividades agrícolas. Típicamente, estas serían áreas sujetas a labranza o fumigación. La capa contaminada sobre el aislador consiste mayormente de sales de disolución rápida y lenta como son químicos de fumigación, excremento de aves, o sales presentes en el suelo. La capa de contaminación normalmente tendrá un componente inerte medio o alto (medio a alto NSDD). La limpieza natural de los aisladores puede ser muy efectiva dependiendo del tipo de sal depositada. La contaminación está conformada frecuentemente por partículas pesadas que se establecen sobre las superficies horizontales, pero también puede ser contaminación suspendida en el viento.

4.2.5 Interior

Estas son áreas con un nivel bajo de contaminación sin ninguna fuente identificable de contaminación.

CAPITULO V

EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE CONTAMINACIÓN DEL SITIO

5.1 Severidad de Contaminación del Sitio

La Severidad de Contaminación del Sitio (SPS) es el valor o valores máximos del ESDD y NSDD (en el caso de aisladores espiga caperuza, el promedio ESDD/NSDD para superficies inferiores y superiores), o SES, o DDGIS y DDGIN, medidos de acuerdo a los métodos indicados aquí y registrados sobre un apreciable periodo de tiempo –por ejemplo, uno o más años- y con un cierto intervalo de medición. El intervalo de medición (continuo, cada mes, tres meses, seis meses, cada año, etc.) puede ser elegido de acuerdo al conocimiento del clima local y las condiciones ambientales.

Si la lluvia ocurre durante este periodo de medición, las mediciones deben ser repetidas en intervalos apropiados para determinar el efecto del lavado natural; el SPS es entonces el mayor valor registrado durante esta serie de mediciones.

5.2 Métodos de Evaluación de la Severidad de Contaminación del Sitio

La evaluación de la severidad de contaminación puede ser hecha con un decreciente grado de confianza, como sigue:

- 1) de mediciones in situ;
- 2) de información sobre el comportamiento de los aisladores de líneas y subestaciones que se encuentran en servicio en el sitio (o cercanas).
- 3) de simulaciones que calculan el nivel de contaminación a partir del clima y otros parámetros ambientales.
- 4) si no es posible de otra manera, cualitativamente de indicadores dados en la Tabla 5.3.

Para mediciones in situ, diferentes métodos son generalmente usados. Estos son:

- ESDD y NSDD en la superficie del aislador de los aisladores de referencia para sitios de contaminación tipo A;
- o

SES obtenido a partir de la conductancia en el sitio de corriente/superficial de los aisladores de referencia o de un monitor para sitios de contaminación tipo B;

o

DDGIS, DDGIN de la contaminación acumulada por medio de un DDDG para sitios con contaminación tipo A o B.

- Número total de contorneos en aisladores de longitudes diversas.
- Corriente de fuga de aisladores similares.

Los primeros tres métodos no requieren equipamiento costoso y pueden ser fácilmente realizados. Los métodos ESDD/NSDD y SES caracterizan la severidad de contaminación del sitio con respecto a un aislador de referencia. El método DDDG da la medición de la contaminación del ambiente. En todos los casos, la información de la lluvia y la humedad deben ser separadamente obtenidas usando apropiados equipos meteorológicos.

La precisión de todos estos métodos depende sobre todo de la frecuencia de medición y la duración del estudio. La precisión puede ser mejorada por medio de usar dos o más métodos en combinación.

El método basado en contorneos totales necesita instalaciones de prueba costosas. Se puede obtener información confiable por medio de aisladores de prueba que tengan una longitud cercana a la longitud proyectada y contorneando en una tensión cercana a la tensión de operación real.

Los últimos dos métodos, los cuales necesitan una fuente de potencia y equipos especiales de registro, tienen la ventaja de que los efectos de la contaminación son continuamente monitoreados. Estos han sido desarrollados para evaluar el índice de contaminación acumulada. En relación a los datos de prueba, estos pueden ser usados para indicar que la contaminación está aún en un nivel seguro o para indicar que se requiere el lavado u otro paliativo. Estos dos métodos permiten una directa determinación del mínimo USCD necesario para los aisladores probados en el sitio.

Cuando las mediciones son llevadas a cabo en aisladores de referencia, puede ser muy útil incluir aisladores con otros perfiles u orientaciones con el propósito de estudiar el

depósito y los mecanismos de auto limpiado para el sitio. Esta información puede entonces ser usada para refinar la elección de un perfil apropiado.

Los eventos de contaminación son frecuentemente estacionales y asociados al clima; consecuentemente un periodo de medición de al menos un año es necesario para tomar en cuenta cualquiera de los efectos estacionales. Pueden ser necesarios mayores periodos para tomar en cuenta eventos de contaminación excepcional o para identificar tendencias. Igualmente puede ser necesario medir sobre al menos tres años para áreas áridas.

5.3 Clases de Severidad de Contaminación del Sitio (SPS)

Para los propósitos de estandarización, son definidas cualitativamente cinco clases de contaminación que caracterizan la severidad del sitio, desde contaminación muy ligera a contaminación muy pesada como sigue:

- a-Muy ligera
- b-Ligera
- c-Media
- d-Pesada
- e-Muy Pesada

Para contaminación tipo A, las figuras 5.1 y 5.2 muestran los rangos de valores ESDD/NSDD correspondientes a cada clase de SPS para los aisladores de referencia espiga caperuza y varilla larga respectivamente. Estos valores son deducidos de mediciones de campo, experiencia y pruebas de contaminación. Los valores son los valores máximos que pueden ser encontrados de mediciones regulares tomados sobre un periodo mínimo de un año. Estas figuras son sólo aplicables a los aisladores de referencia y toman en cuenta sus propiedades de acumulación de contaminación específicas.

Para la contaminación tipo B, la figura 5.3 muestra la correspondencia entre las mediciones SES y clase SPS para ambos tipo de aisladores de referencia.

La correspondencia entre las mediciones DDDG y la clase relevante SPS para la contaminación tipo A y tipo B se muestra en la tabla 5.1 y 5.2.

Los valores en las figuras 5.1 a 5.3 están basados en contaminación natural depositada en aisladores de referencia. Estos valores no deben ser usados directamente para especificar la severidad de una prueba de contaminación artificial sin correcciones para la diferencia entre condiciones naturales y de prueba, así como para la diferencia entre tipos de aisladores. La transición desde una clase de SPS a otra no es abrupta, consecuentemente el límite entre cada clase en las figuras 5.1 a 5.3 está sombreado.

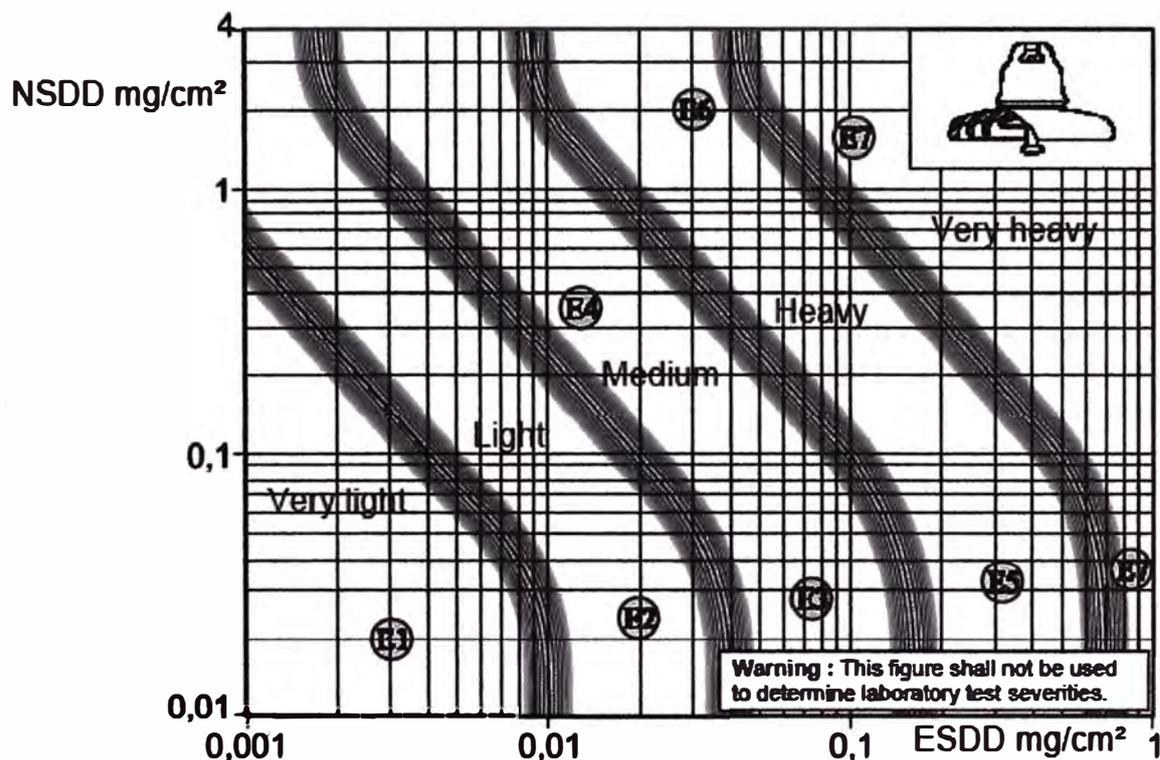


Figura 5.1 – Severidad de contaminación del sitio tipo A
Relación entre ESDD/NSDD y SPS para el aislador espiga caperuza de referencia

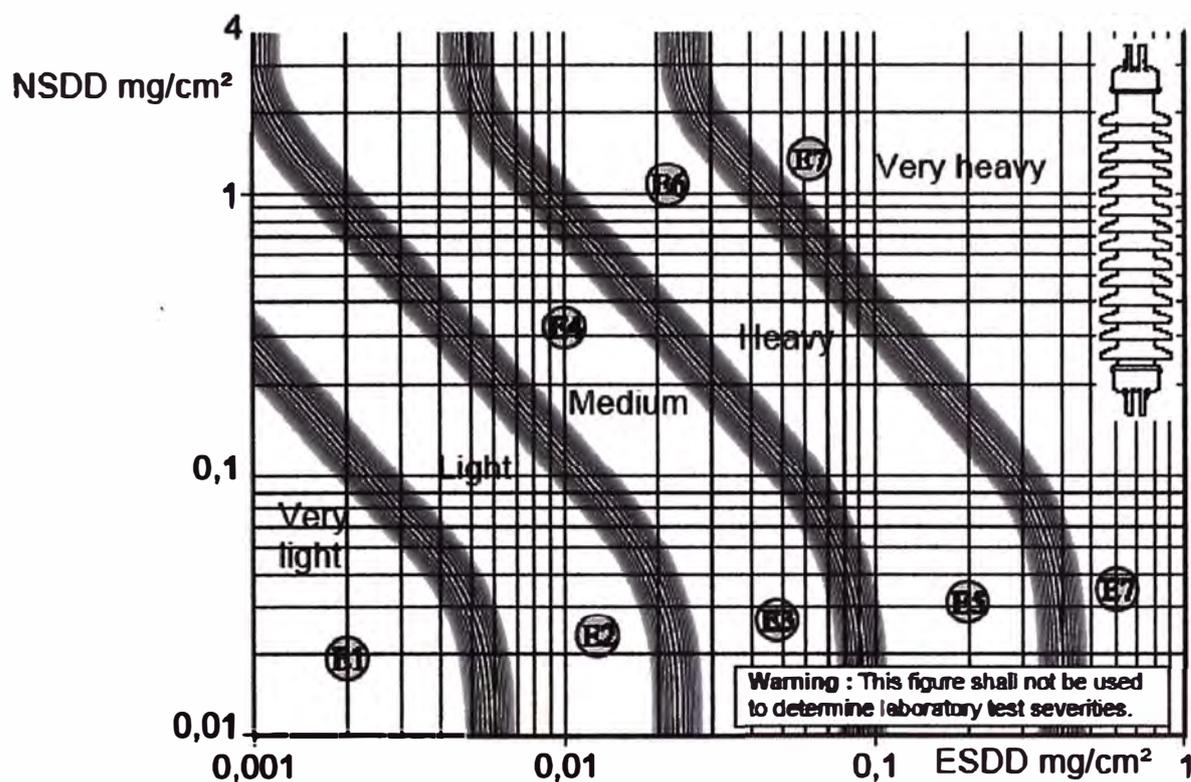


Figura 5.2 – Severidad de contaminación tipo A
Relación entre ESDD/NSDD y SPS para el aislador varilla larga de referencia

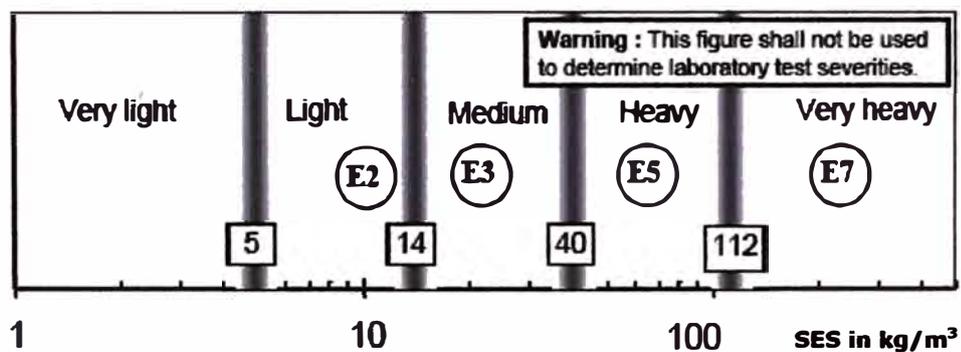


Figura 5.3 – Severidad de contaminación tipo B
Relación entre el SES y SPS para aisladores de referencia o un monitor

Nota:

Very light: Muy ligera

Light: Ligera

Medium: Media

Heavy: Pesada

Very heavy: Muy pesada

Tabla 5.1 – Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional con relación a la clase SPS

Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional, PI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (tomar cualquiera que sea el mayor) ^{a)}		Clase de severidad de contaminación del sitio	
Valor mensual promedio sobre un año	Máximo mensual sobre un año		
<25	<50	a	Muy ligera
25 a 75	50 a 175	b	Ligera
76 a 200	176 a 500	c	Media
201 a 350	501 a 850	d	Pesada
> 350	> 850	e	Muy Pesada

a) Si los datos del clima para el sitio en cuestión son disponibles entonces el índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional puede ser ajustado para tomar en cuenta las influencias climáticas.

Tabla 5.2 – Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio como una función de los niveles de NSD del DDDG

NSD (gramos) del medidor de depósito de polvo direccional (tomar cualquiera que sea el mayor)		Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio
Valor promedio mensual sobre un año	Máximo mensual sobre un año	
< 0,5	< 1,5	Nada
0,5 a 1,0	1,5 a 2,5	Incremento en una clase
> 1,0	> 2,5	Incremento en una o dos clases y considerar mitigación

La tabla 5.3 muestra, para cada nivel de contaminación, un ejemplo y una descripción aproximada de algunos ambientes típicos correspondientes. La lista de ambientes no es completa y las descripciones preferiblemente no deben ser usadas solas para determinar el nivel de contaminación del sitio. Los ejemplos E1 a E7 en la tabla 5.3 son reproducidos en las figuras 5.1, 5.2 y 5.3 para mostrar los niveles de SPS típicos. Algunas características del aislador, por ejemplo el perfil, tienen una influencia importante sobre la cantidad de contaminación depositada sobre los mismos aisladores; consecuentemente estos valores típicos son solo disponibles para los aisladores de referencia espiga caperuza y varilla larga.

Tabla 5.3 – Ejemplos de ambientes típicos

Ejemplo	Descripción de ambientes típicos
E1	<p>> 50 km^I desde algún mar, desierto o tierra seca abierta > 10 km de fuentes^{II} de contaminación hecha por el hombre Dentro una menor distancia de las fuentes de contaminación mencionadas arriba, pero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • con vientos predominantes que no provienen directamente de estas fuentes de contaminación • y/o con lavado de lluvia mensual regular
E2	<p>10-50 km^I del mar, un desierto, o tierra seca abierta 5-10 km de fuentes^{II} de contaminación hecha por el hombre. Dentro una menor distancia de las fuentes de contaminación E1, pero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • con vientos predominantes que no provienen directamente de estas fuentes de contaminación • y/o con lavado de lluvia mensual regular
E3	<p>3-10 km^{III} del mar, un desierto, o tierra seca abierta 1-5 km de fuentes^{II} de contaminación hecha por el hombre. Dentro una menor distancia de las fuentes de contaminación mencionadas arriba, pero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • con vientos predominantes que no provienen directamente de estas fuentes de contaminación • y/o con lavado de lluvia mensual regular
E4	<p>Más alejada de las fuentes de contaminación que se mencionan en E3, pero</p> <ul style="list-style-type: none"> • con niebla densa (o llovizna) frecuente que ocurre después de una larga (varias semanas o meses) temporada de acumulación de contaminación seca. • y/o ocurre lluvia dura, de conductividad alta. • y/o existe un nivel NSDD alto, entre 5 y 10 veces el ESDD
E5	<p>Dentro de 3 km^{III} del mar, un desierto o tierra seca abierta. Dentro de 1 km de fuentes^{II} de contaminación hecha por el hombre.</p>
E6	<p>Con una mayor distancia de las fuentes de contaminación que las mencionadas en E5, pero:</p> <ul style="list-style-type: none"> • con niebla densa (o llovizna) frecuente que ocurre después de una larga (varias semanas o meses) temporada de acumulación de contaminación seca. • y/o existe un nivel NSDD alto, entre 5 y 10 veces el ESDD
E7	<p>Con la misma distancia de fuentes de contaminación como las especificadas para áreas “duras” y:</p> <ul style="list-style-type: none"> • directamente sujetas a aspersion del mar o niebla salina densa. • o directamente sujetas a contaminantes con conductividad alta, o cemento tipo polvo con densidad alta, y con humedad frecuente por niebla o llovizna. • Áreas desérticas con rápida acumulación de arena y sal, y condensación regular.
<p>I. Durante una tormenta, el nivel ESDD en tal distancia del mar puede alcanzar un nivel mucho mayor. II. La presencia de una ciudad grande tendrá una influencia sobre una mayor distancia, ejemplo: la distancia especificada para el mar, desierto y tierra seca. III. Dependiendo de la topografía del área costera y la intensidad del viento.</p>	

CAPITULO VI

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL AISLAMIENTO

6.1 Descripción General del Proceso

El proceso total de selección y dimensionamiento puede ser resumido como sigue:

- Determinar el método (A, B o C) apropiado en función de la información, el tiempo y los recursos disponibles;
- Recolectar información de entrada necesaria, principalmente: tipo de energización (A.C. o D.C.), tensión del sistema, tipo de aplicación del aislamiento (línea, poste, bushing, etc.);
- Recolectar los datos ambientales necesarios, principalmente la severidad y la clase de contaminación del sitio;

Luego de efectuar los pasos antes indicados, se puede hacer una elección preliminar de los aisladores candidatos disponibles para las aplicaciones y para el ambiente.

Luego (aplicando la información presentada de este capítulo en adelante) se debe realizar los siguientes pasos (para los aisladores de cerámica o vidrio):

- Refinar la elección de los posibles aisladores candidatos de cerámica o vidrio adecuados para el ambiente;
- Determinación de la Distancia de Fuga Específica Unificada referencial para los tipos de aisladores y materiales, usando las indicaciones expuestas o las experiencias de servicio o de una estación de prueba en el caso del método A (Capítulo VII).
- Elegir los perfiles adecuados para el tipo de ambiente (Capítulo VIII).

- Verificar que el perfil satisface ciertos parámetros, realizando correcciones o acciones de acuerdo al grado de desviación (Capítulo IX).
- Modificar, donde sea necesario (para los métodos B y C), el USCD de referencia por factores dependientes del tamaño, perfil, orientación, etc. del aislador candidato (Capítulo X).
- Verificar que el aislador candidato resultante satisface los otros requerimientos del sistema y de línea, como aquellos dados en la Tabla 3.2 (ejemplo: geometría impuesta, dimensiones, factores económicos).
- Verificar el dimensionamiento, si es requerido en el caso del método B, por pruebas de laboratorio (Capítulo XI).

Nota: Sin suficiente tiempo y recursos (ejemplo: usando el método C), la determinación del USCD necesario tendrá menos precisión.

6.2 Guía General sobre los Materiales

La elección del material puede ser establecida completamente por restricciones ambientales o del sistema. Por otra parte, la selección del material del aislador podría ser establecida exclusivamente por política y economías del usuario. Los materiales clásicos usados para aisladores de uso externo son la porcelana barnizada y el vidrio. El uso de polímeros -para un aislador completo o como un recubrimiento exterior en combinación con un núcleo de fibra de vidrio- es una alternativa al vidrio y la porcelana. Los diversos perfiles y tecnologías de materiales asociado a los aisladores poliméricos indican que el comportamiento ante la contaminación no necesariamente sigue los mismo parámetros como los del aislamiento tradicional.

6.3 Guía General sobre los Perfiles

Diferentes tipos de aislador y, más aún, diferentes orientaciones del mismo tipo de aislador pueden acumular contaminación en diferentes rangos en el mismo ambiente. Adicionalmente, variaciones en la naturaleza de la contaminación pueden hacer que algunas formas de aislador sean más efectivas que otras.

Una guía resumida sobre la selección de perfiles es provista a continuación:

Los **perfiles estándar** son efectivos para uso en áreas de contaminación “muy ligera” a “media” donde no se requiere una distancia de fuga larga o perfil aerodinámico efectivo.

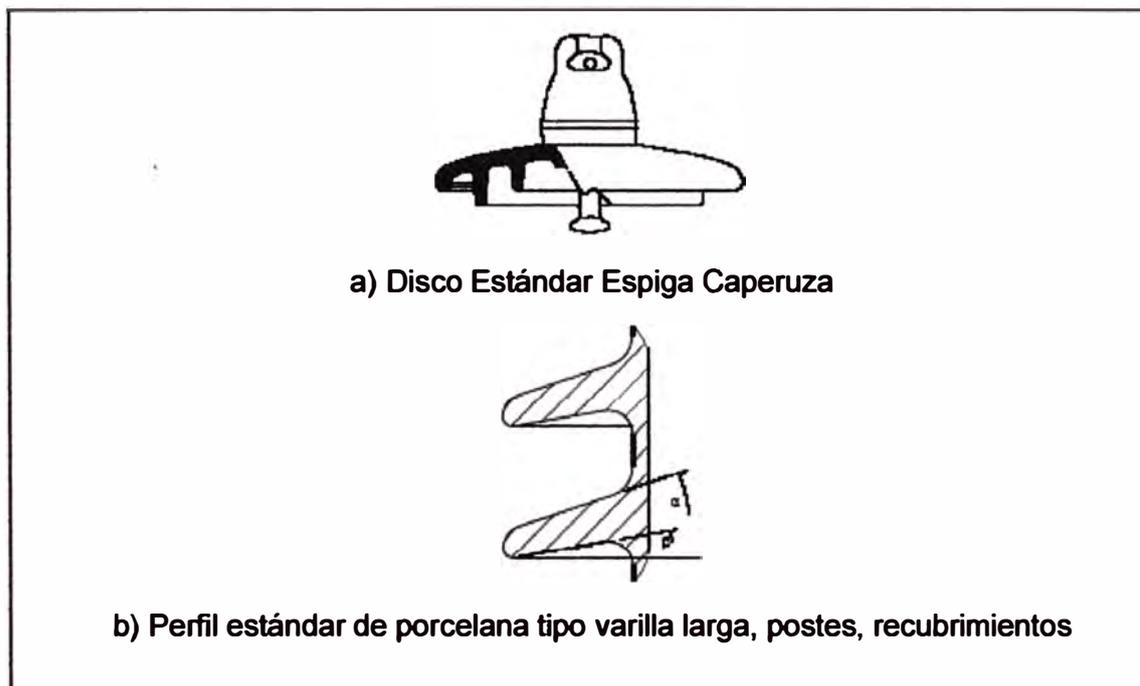
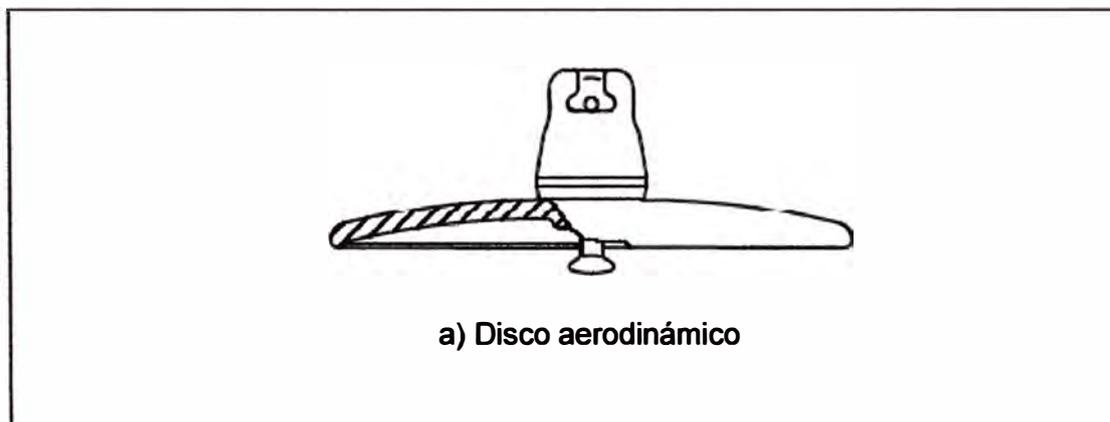


Figura 6.1 - Perfiles “estándar” típicos

Perfiles abiertos o aerodinámicos demuestran ser beneficiosos en áreas donde la contaminación es depositada sobre el aislador por el viento, en desiertos, áreas industriales fuertemente contaminadas o áreas costeras que no están directamente expuestas a la aspersión de sal. Este tipo de perfil es especialmente efectivo en áreas que están caracterizadas por extensos periodos secos. Los perfiles abiertos tienen buenas propiedades de auto lavado y son además más fáciles de limpiar en mantenimiento.



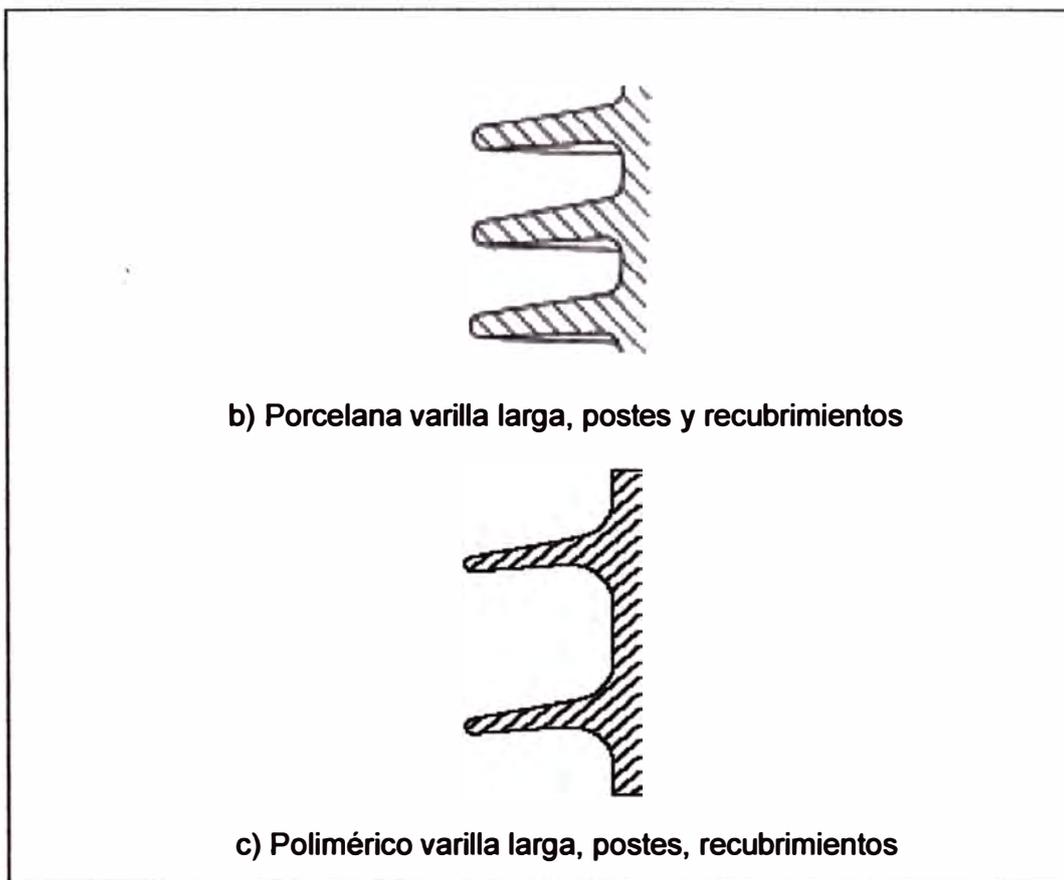
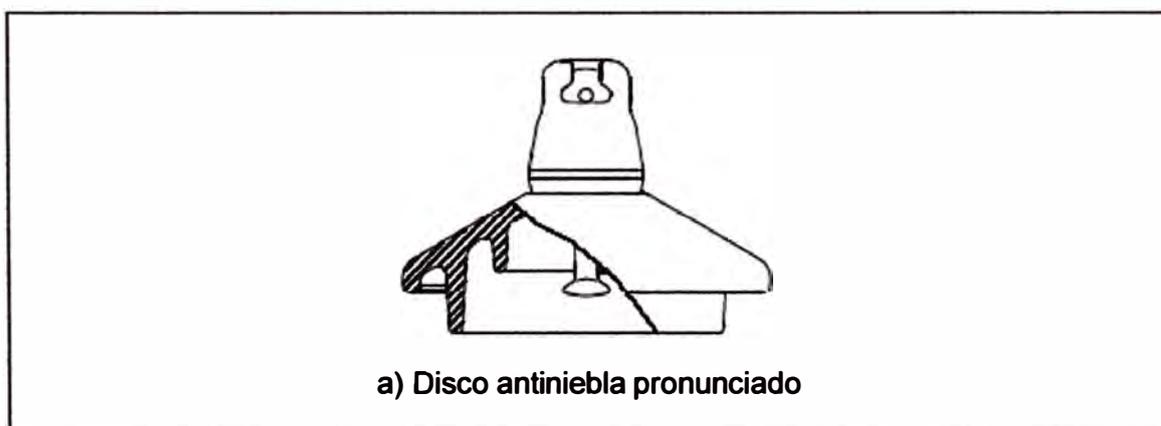


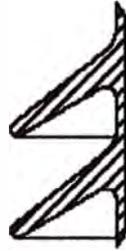
Figura 6.2 - Típicos perfiles "abiertos"

El uso de **perfiles antiniebla** con aletas pronunciadas o salientes inferiores profundas, son beneficiosos en áreas expuestas a aspersion o niebla de agua salada, o a otros contaminantes en estado disuelto. Estos perfiles pueden ser efectivos en áreas con una precipitación de contaminación particular que contienen sales de disolución lenta.

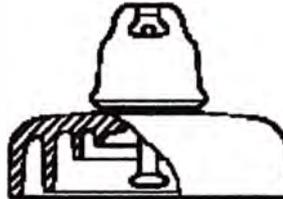




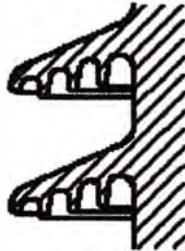
b) Postes y recubrimientos de porcelana pronunciada



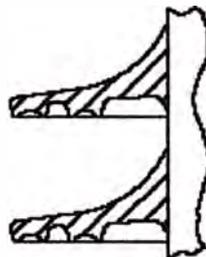
c) Postes y recubrimientos poliméricos pronunciados



d) Disco de salientes inferior profundo



e) Salientes inferiores profundas en porcelana varilla larga, postes y recubrimientos



f) Salientes inferiores en poliméricos varilla larga, recubrimientos y postes

Figura 6.3 - Típicos perfiles "anti-niebla"

La **alternancia** de aletas cortas y largas son beneficiosas en áreas donde la humedad es fuerte o donde podría ocurrir el puenteo (cruzamiento) por el hielo/nieve. Similares beneficios que los perfiles abiertos son además provistos por perfiles de alternancia simple.

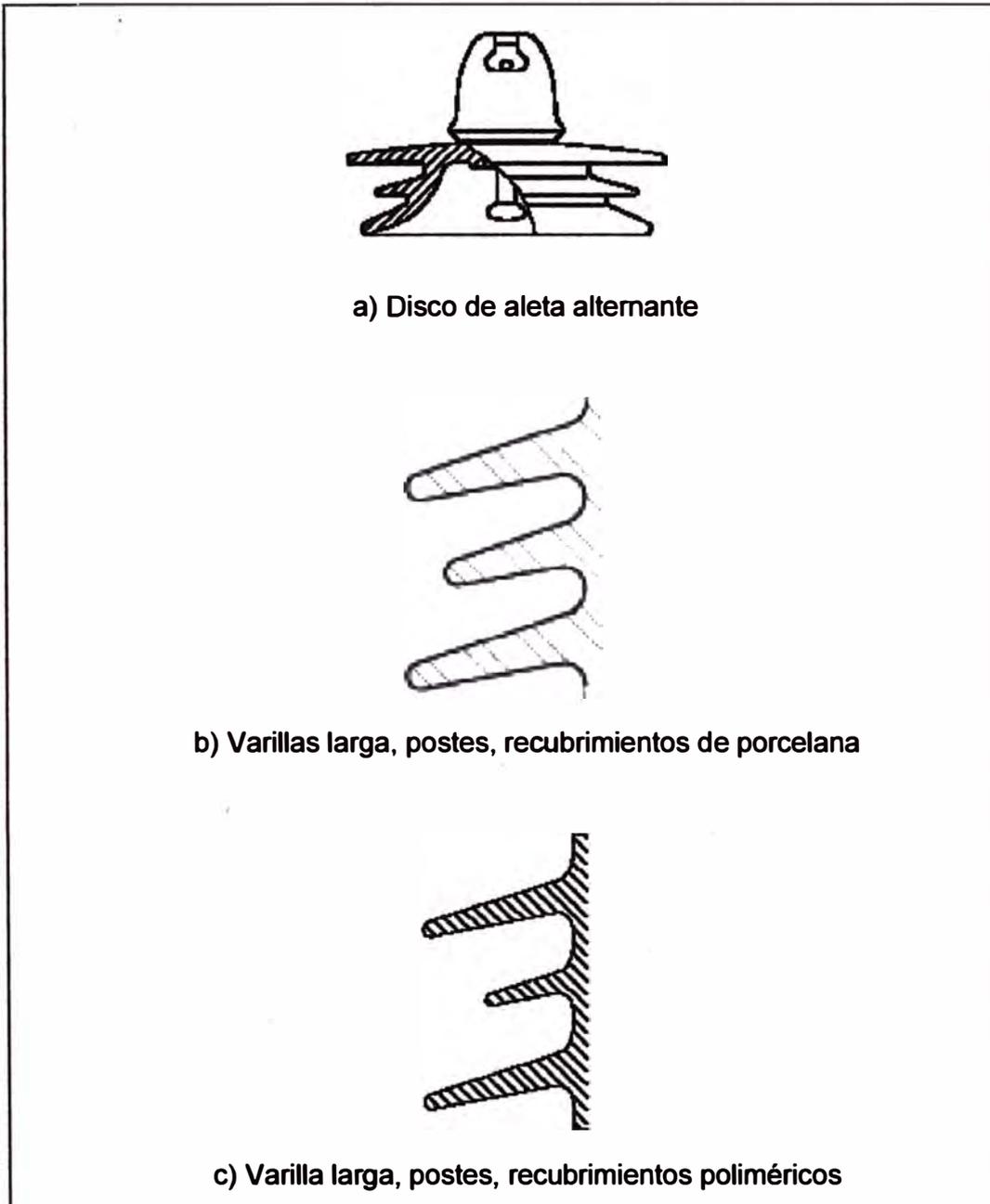


Figura 6.4 - Típicos perfiles "alternantes"

CAPITULO VII DETERMINACIÓN DEL USCD DE REFERENCIA

La figura 7.1 muestra la relación entre la clase SPS y el USCD de referencia para aisladores de vidrio y cerámica. Las barras son representantes de valores preferidos de un mínimo requerimiento para cada clase y están dados para ser usados con el método C. Si la estimación de la clase SPS tiende hacia la clase mayor vecina, entonces se puede seguir la curva.

Si se dispone de mediciones exactas del SPS (método A o B), es recomendable tomar un USCD de referencia que corresponde a la posición de las mediciones SPS dentro de la clase siguiendo la curva de la figura 7.1.

En casos de SPS excepcionalmente alto, podría no ser adecuado la clase y el USCD de referencia mínimo. Dependiendo de la experiencia en servicio y/o los resultados de pruebas de laboratorio, se puede usar un mayor USCD; en algunos casos la atenuación puede ser útil.

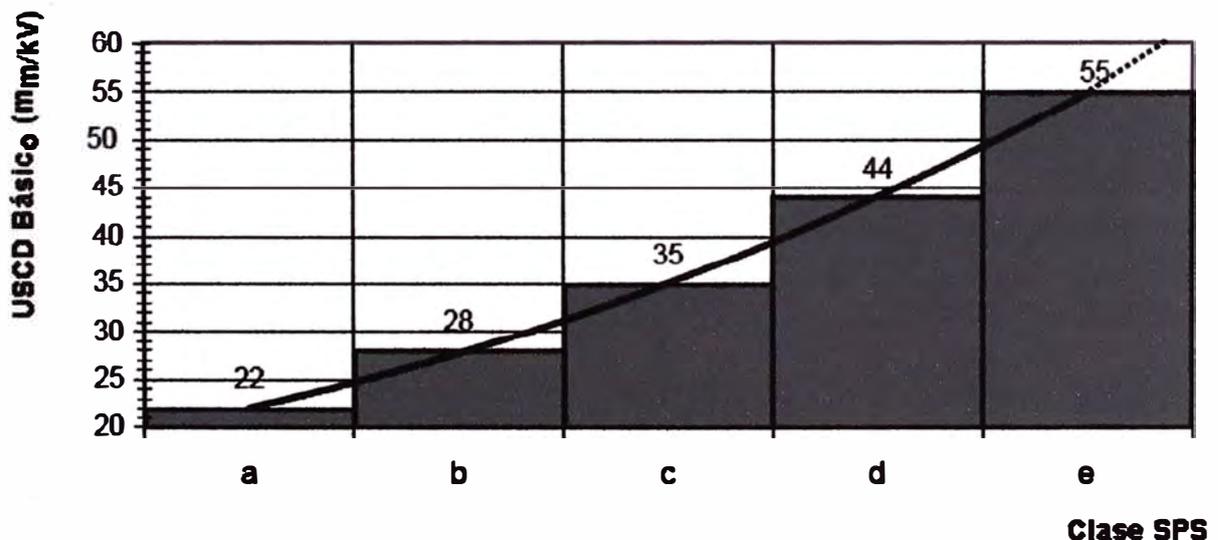


Figura 7.1 – USCD de referencia como una función de la clase SPS

CAPITULO VIII ELECCIÓN DEL PERFIL

8.1 Recomendaciones Generales para los Perfiles de Vidrio y Porcelana

Tabla 8.1 - Principales ventajas (+) y desventajas (-) de los principales tipos de perfil

		Perfil estándar	Perfil abierto	Perfil Anti-niebla	Distribución de aletas alternantes
Vertical	+	Buena experiencia de uso en clase SPS suave y media donde no es requerida una distancia de fuga larga o perfil aerodinámico efectivo.	Acumula menos contaminación, debido al perfil aerodinámico y a la buena limpieza natural.	Previene el total humedecimiento del lado inferior durante lluvias, niebla, etc. Distancia de fuga por unidad grande.	Representan las ventajas y desventajas relevantes de los tipos de perfil individuales: estándar, abierto o anti-niebla con el beneficio de: - Incremento de la distancia de fuga por unidad. - Buena capacidad de sostenimiento bajo humedad dura.
	-	No evita la acumulación de depósitos suspendidos por el viento.	La superficie entera coleta más contaminación en condiciones de acumulación rápida, tales como tormentas, tifones, etc., requiriendo cadenas más largas.	Más depósitos sostenidos por el viento se acumulan en el lado inferior debido a la reducida limpieza natural.	
Horizontal	+	Colecta menos contaminación debido a la limpieza natural por humedecimiento.	Acumula menos contaminación, debido a que el perfil aerodinámico brinda una mejor auto limpieza por humedecimiento y por el viento.	Larga distancia de fuga por unidad.	- Buena capacidad de sostenimiento bajo formación de hielo.
	-	La superficie total se torna contaminada pero es accesible para su limpieza natural.	La superficie total coleta más contaminación bajo condiciones de acumulación rápida, tales como tormentas, tifones, etc.	Acumulación de depósitos suspendidos por el viento sobre la superficie con saliente inferior profunda debido al reducido lavado natural.	

8.2 Aplicabilidad del Perfil

La tabla 8.2 da valores de mérito simple para los perfiles de aisladores. En cada caso, el valor de mérito de cada perfil para uso en áreas específicas es dado como sigue:

- Inadecuado, evitar esta elección si es posible

- Inadecuado, pero puede ser usado
- 0 No ofrece particular ventaja o desventaja
- + Adecuado
- ++ Adecuado, la mejor elección

La elección de los perfiles no es frecuentemente determinada solamente por la contaminación. El material del aislador, el diseño, el proceso de fabricación o la aplicación podrían imposibilitar perfiles seguros. Por lo tanto, el perfil óptimo puede no ser disponible para la combinación de tipo aislador/contaminación. Consecuentemente, no se excluye la elección o uso de un perfil poco adecuado.

Si se elige un inadecuado perfil, entonces se recomienda que el USCD de referencia sea elegido de la figura 7.1 con el mayor valor de la clase SPS o aún para la clase mayor siguiente, a menos que tal cambio podría causar, o agravar, una desviación de los parámetros del perfil en el capítulo IX. Si es elegido un inadecuado perfil, que además tiene una menor desviación en los parámetros de perfil, entonces es recomendable tratar a este perfil como si tuviera una mayor desviación en los parámetros de perfil (ver capítulo IX).

Tabla 8.2 – Aplicabilidad de perfil para aisladores de porcelana y vidrio ¹⁾

Área de contaminación	Aplicabilidad del perfil	Perfil estándar Disco & Poste/Barril	Perfil abierto ²⁾		Perfil Anti-niebla Disco & Poste/Barril
			Disco	Poste/Barril	
Desierto	-				• (horizontal)
	-				• (vertical)
	0	•□		□•	□
	+		□		
	++		•		
Costero	-				
	-		□		
	0	□•	• ³⁾	□•	•□ (horizontal)
	+				• (vertical)
	++				□ (vertical)
Industrial	-				
	-				•
	0	□•	□	□•	□
	+		•		
	++				
Agrícola	-				
	-				•
	0	•		•	
	+		•		
	++				

Area de contaminación	Aplicabilidad del perfil	Perfil estándar Disco & Poste/Barril	Perfil abierto ²⁾		Perfil Anti-niebla Disco & Poste/Barril
			Disco	Poste/Barril	
Interior (baja contaminación)	—				
	-				
	0	•	•	•	•
	+				
	++				
Claves: • Contaminación tipo A □ Contaminación tipo B	Notas: 1 La tabla muestra la aplicabilidad, asumiendo igual distancia de fuga por unidad. 2 La disposición de aletas alternantes son principalmente categorizadas en perfiles abiertos. 3 Para las áreas donde se anticipa la rápida contaminación debido a los tifones o semejantes, un perfil abierto acumularía más contaminantes en un corto periodo que el perfil estándar o anti-niebla, consecuentemente su aplicabilidad se tomaría menor.				

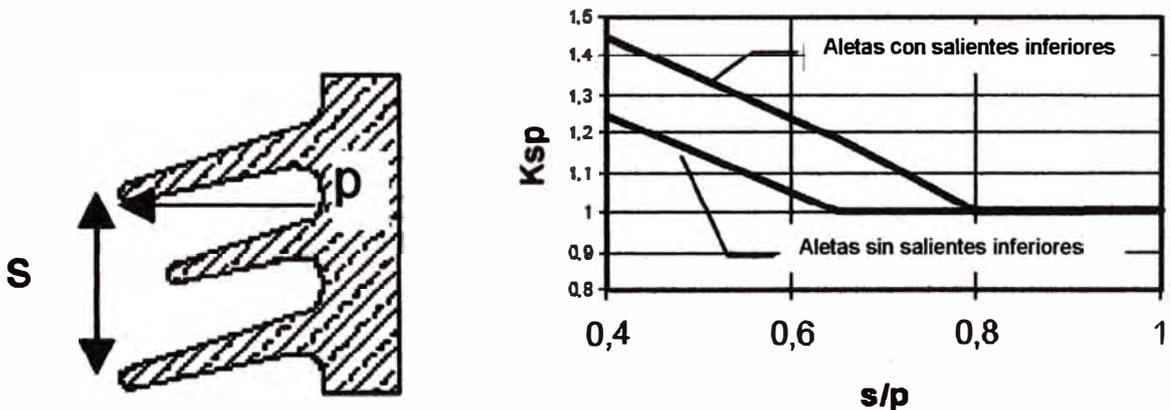
CAPITULO IX COMPROBACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PERFIL

Los siguientes parámetros del perfil tienen un rango normal (blanco), un rango gris donde pueden reducir su desempeño (menor desviación) y un rango negro donde pueden tener un serio efecto en el desempeño bajo contaminación (mayor desviación). Cada parámetro debe ser calculado y comprobado de acuerdo a lo indicado a continuación. Es permitido para un parámetro desviarse dentro del área gris, es decir, tener una desviación menor. En el caso de una desviación menor, es recomendable que la USCD de referencia sea elegida de la figura 7.1 hacia el valor terminal superior de la clase SPS o aún para la clase mayor siguiente, a menos que tal cambio pudiera agravar la desviación. Si más de un parámetro está en un área gris, o algún parámetro está en un área negra, entonces esto es considerado como una desviación mayor y es recomendable hacer una de las siguientes acciones:

- Consultar datos de la experiencia en servicio o de la estación de prueba para confirmar el desempeño del perfil;
- Encontrar un perfil alternativo o tecnología de aislador;
- Verificar el desempeño del perfil por experimentación.

9.1 Espaciamiento versus saliente de aleta

No es aplicable para aislador espiga caperuza o aisladores espiga multi-aleta.



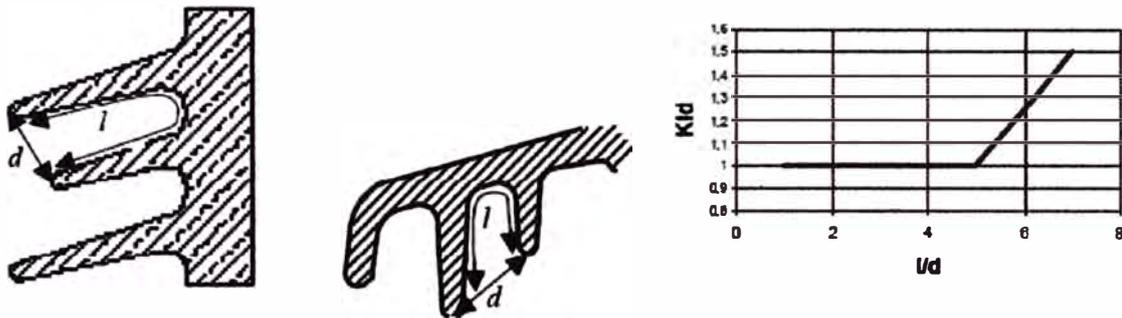
	Desviación para s/p							
Aletas con salientes inferiores	Mayor	Mayor		Menor	Menor	Ninguno	Ninguno	
Aletas sin salientes inferiores	Mayor	Menor	Menor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	
s/p	0.4	0.5	0.6		0.7	0.8	0.9	1

9.2 Distancia de fuga versus espaciamento

d es la distancia de aire recta entre dos puntos de la parte aislante o entre un punto sobre la parte aislante y otro sobre una parte metálica.

l es la parte de la distancia de fuga medida entre los dos puntos arriba indicados.

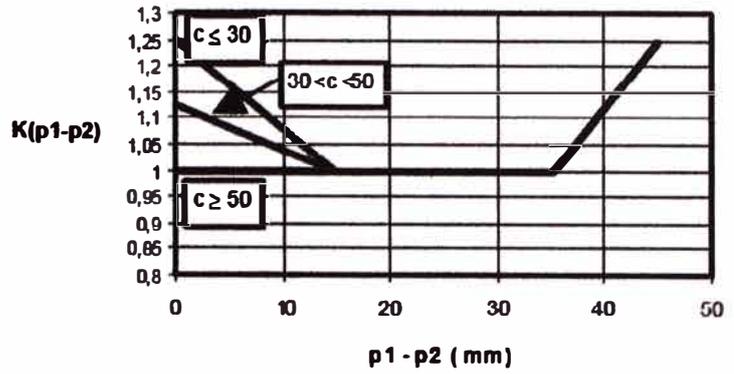
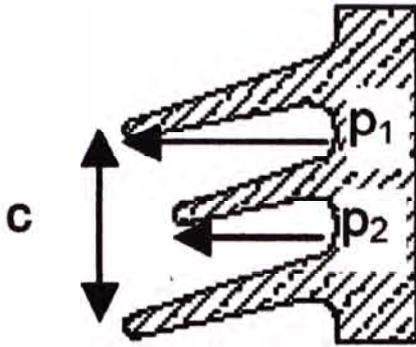
l/d es la radio mayor encontrado en alguna sección, por ejemplo sobre el lado inferior de un aislador espiga caperuza.



	Desviaciones para l/d						
Todos los perfiles	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Menor	Mayor	
l/d	0	2	3	4	5	6	7

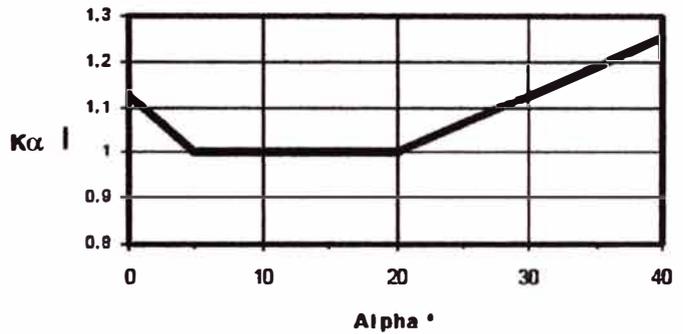
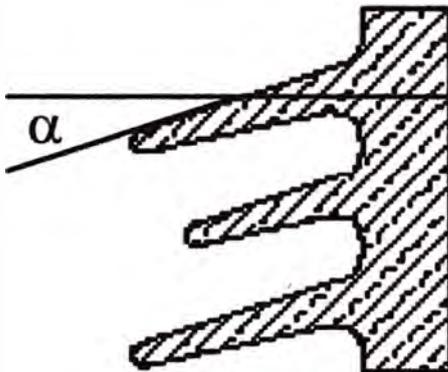
9.3 Saliente de aleta y espaciamento

No es aplicable a aisladores espiga caperuza.



		Desviaciones para p1-p2 y C										
C ≤ 20 mm		Mayor			Mayor		Mayor		Mayor		Mayor	Mayor
20 < C ≤ 30		Mayor			Menor		Ninguno	Ninguno	Menor		Mayor	Mayor
30 < C < 50		Mayor	Menor	Menor	Ninguno		Ninguno	Ninguno	Menor		Mayor	Mayor
C ≥ 50 mm		Menor	Ninguno		Ninguno		Ninguno	Ninguno	Menor		Mayor	Mayor
p1-p2 (mm)		0		10		20		30		40	50	60

9.4 Ángulo de aleta



		Desviación para ángulo de aletas α										
Todos los perfiles		Menor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Menor	Menor	Mayor	Mayor	Mayor		
α °		0		10		20		30		40	50	60

9.5 Factor de distancia fuga (CF)

CF es igual a l/s donde:

l es la distancia de fuga total del aislador

S es la distancia de arco del aislador

Para aisladores espiga caperuza CF es determinada por una cadena de 5 aisladores o más.

	Desviaciones para CF													
SPS clase a	N	N	N	Menor	Menor	Menor	Menor	M	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor
SPS clase b	N	N	N	Ninguno	Menor	Menor	Menor	M	Menor	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor	Mayor
SPS clase c	N	N	N	Ninguno	Ninguno	Menor	Menor		Menor		M	Mayor	Mayor	Mayor
SPS clase d	N	N	N	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Menor		Menor		Menor	Mayor	Mayor	Mayor
SPS clase e	N	N	N	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno		Menor		Menor	Menor	Mayor	Mayor
CF	2	2.5	3	3.5				4			4.5			5

Nota:

N: Ninguno

M: Menor

CAPITULO X

CORRECCIÓN DEL USCD DE REFERENCIA Y DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE FUGA MÍNIMA FINAL

Si el aislador satisface lo indicado en el capítulo IX, entonces las correcciones siguientes deben ser aplicadas al USCD de referencia donde sea aplicable. Todos los factores son multiplicadores.

10.1 Corrección por altitud K_a

La influencia de la altitud sobre la tensión de sostenimiento al impulso es generalmente mucho mayor que el desempeño del sostenimiento de la contaminación. En general, el incremento en la longitud de aislamiento necesario para las tensiones de impulso en mayores altitudes resulta en más que suficiente que el incremento de la distancia de fuga.

10.2 Corrección para diámetro del aislador K_{ad}

Los aisladores de núcleo varilla larga, poste o hueco son corregidos de acuerdo a su diámetro promedio D_a por:

$$K_{ad} = 0,001D_a + 0,7 \quad (10.1)$$

Donde $D_a = (2D_t + D_{s1} + D_{s2})/4$ ($D_{s1}=D_{s2}$ para aletas regulares)

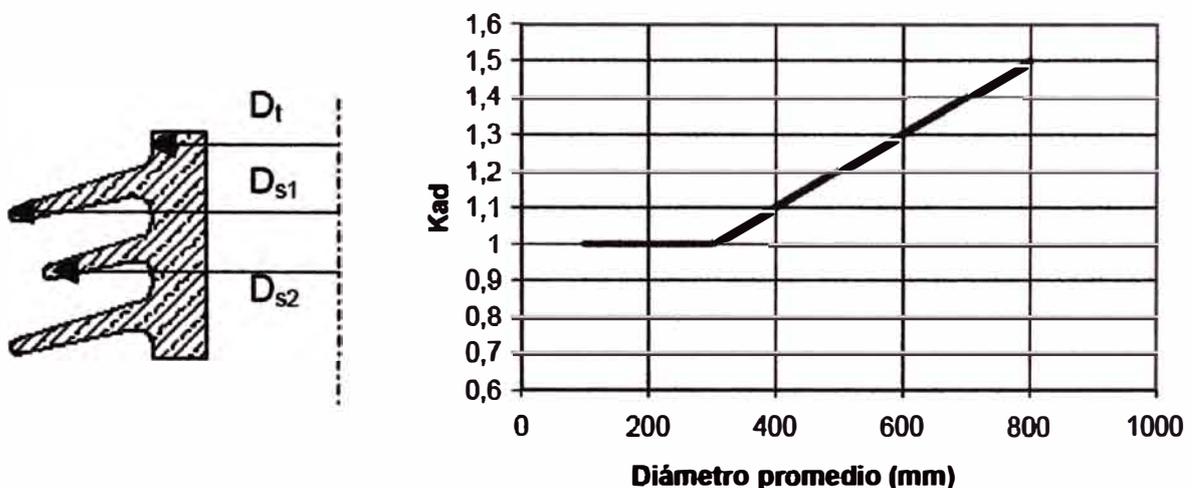


Figura 10.1

10.3 Determinación de la distancia de fuga mínima final

Una vez que el USCD de referencia ha sido corregido de acuerdo a lo indicado en 10.1 y 10.2, la distancia de fuga mínima final es determinada para el aislador candidato por redondeo a la distancia de fuga más cercana disponible para que el tipo de aislador dentro de las restricciones (sistema, dimensional, etc.).

Por ejemplo si un USCD final de 36,5 mm/kV es encontrado para cierto aislador espiga caperuza candidato. La tensión fase a tierra máxima del sistema es 228 kV. La distancia de fuga mínima requerida es consecuentemente $228 \times 36,5 = 8322$ mm. La distancia de fuga de cada unidad de aislador espiga caperuza es 380 mm, requiriendo 21,9 unidades. Consecuentemente la distancia de fuga mínima final será $22 \times 380 = 8360$ mm.

10.4 Ejemplo de aplicación

Se tienen los siguientes datos del sistema y condiciones ambientales:

Tipo de Sistema: A.C.

Frecuencia: 60 Hz.

Tensión Nominal: 22.9 kV.

Configuración: Estrella Aterrado.

Tensión Máxima del Sistema: 24.05 kV.

Condiciones Ambientales: Ambiente costero, cercano al mar, con presencia de niebla salina densa.

Humedad relativa: Desde 70% hasta 100%

Temperatura ambiente: 15°C a 35°C

Considerando que no se dispone de tiempo para medir la severidad de contaminación del sitio y teniendo en cuenta los datos disponibles, se considera que el Método C es el más adecuado para este caso. Si no se dispone de mayores datos, la severidad de contaminación del sitio se halla cualitativamente de indicadores dados en la Tabla 5.3.

Por las condiciones ambientales, se determina que la Severidad de Contaminación del Sitio corresponde al nivel Muy Pesado (E7). Para este nivel de contaminación, la Figura 7.1 recomienda una Distancia de Fuga Unificada (USCD) de 55 mm/kV.

La Tabla 8.2 recomienda usar, para el ambiente considerado, aisladores con perfil anti-niebla. Se ha elegido el aislador espiga caperuza anti-niebla que se muestra a continuación:

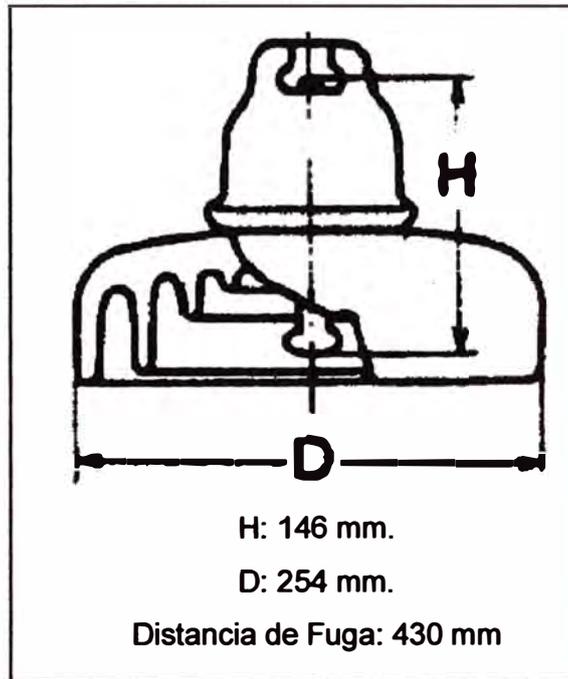


Figura 10.2 – Aislador Anti-Niebla

Se verifica que el perfil satisface los parámetros indicados en el Capítulo IX.

La tensión fase a tierra máxima del sistema es 13.89 kV ($24.05/\sqrt{3}$). La distancia de fuga mínima requerida es consecuentemente $13.89 \times 55 = 763.95 \text{ mm}$. La distancia de fuga de cada unidad de aislador espiga caperuza anti-niebla es 430 mm , requiriendo 1.78 unidades. Consecuentemente la distancia de fuga mínima final será $2 \times 430 = 860 \text{ mm}$.

Se verifica que el aislador satisface los otros requerimientos dados en la Tabla 3.2.

CAPITULO XI

CONFIRMACIÓN POR PRUEBA

La prueba de laboratorio es especificada en términos de la tensión de sostenimiento de larga duración, y del nivel de sostenimiento requerido para la severidad de contaminación.

11.1 Determinación de la tensión de sostenimiento de larga duración

La tensión de sostenimiento de larga duración, con la cual se efectúa la prueba de laboratorio, es igual a la tensión de operación A.C. máxima que podría aparecer a través del aislador en servicio.

Las pruebas son ejecutadas en secciones pequeñas del aislador bajo las siguientes condiciones:

- La tensión de sostenimiento de larga duración debe ser ajustada para producir al menos la misma fatiga de tensión por unidad longitud de aislamiento del aislador.
- Los ensambles del aislador multi-unidad deben ser probados como un ensamble, comprendido por más de una unidad de aislador.
- Las cadenas de aislador espiga caperuza deben estar comprendidas de al menos de 3 unidades de aislador.

11.2 Determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación

La determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación consiste en determinar el menor valor de severidad de sostenimiento del aislador que cumplirá el criterio de desempeño cuando sea sujeto a la mayor tensión para el equipo.

El nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación se obtiene multiplicando de la severidad de contaminación del sitio por un factor de coordinación. El valor del factor de coordinación depende de la precisión en la evaluación de la severidad de contaminación del sitio, como también de una apreciación empírica o estadística de la distribución de la severidad de la contaminación, de las características del aislador y del criterio de desempeño requerido. Los siguientes aspectos adicionales son incorporados:

- Diferencias en la contaminación captada por el aislador usado para la medición de la severidad de contaminación y el aislador a ser probado.
- Diferencia en la energización del aislador usado para la medición de la severidad de contaminación y el aislador a ser probado;

A menos que se ejecute un análisis estadístico detallado, se podría aplicar un factor de coordinación de 2,2.

11.3 Determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida

La determinación del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida consiste en convertir el nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación a las condiciones apropiadas para la prueba de sostenimiento de contaminación estándar. Esto es logrado multiplicando el nivel de sostenimiento de severidad de contaminación de coordinación por factores que compensan las diferencias entre las condiciones en servicio actuales del aislamiento y aquellas que se tienen en las pruebas de sostenimiento estándar.

Para las pruebas de sostenimiento de laboratorio según IEC 60507 aplicables a aisladores de vidrio o porcelana para A.C., se debe aplicar un factor de compensación debido a la incertidumbre estadística de ejecutar un número limitado de pruebas para verificar el nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida. Este factor es dependiente del número de pruebas individuales, ejecutadas como parte de las pruebas de sostenimiento.

- Una prueba de sostenimiento IEC 60507: el factor de compensación debe ser igual a 2.

- Determinación de la máxima salinidad de sostenimiento para un voltaje de prueba dado de acuerdo a la IEC 60507: el factor de compensación debe ser igual a 1.
- Determinación de la máxima tensión de sostenimiento de acuerdo a la IEC 60507: el factor de compensación debe ser igual a 1.

11.4 Selección del tipo de prueba de sostenimiento de contaminación estándar

El método de prueba relevante a ser usado se selecciona de acuerdo al tipo de contaminación del sitio, al tipo de aislador y al tipo de energización. Las pruebas dadas en la IEC 60507 son directamente aplicables a aisladores de cerámica y vidrio para sistemas A.C..

Como regla general, la prueba de capa sólida es recomendada para contaminación tipo A y la prueba de niebla salina para contaminación tipo B.

La aplicabilidad del nivel de sostenimiento de severidad de contaminación requerida para un sitio específico es:

- Dependiente de que el método de prueba usado puede ser considerado representativo del ambiente deseado y;
- Restringido por la aproximación y limitaciones inherentes al método de prueba de laboratorio elegido.

El uso de métodos de prueba de contaminación de laboratorio no estándar, o hecho a la medida, pueden ser considerados si el sitio de interés no es adecuadamente representado por un método de prueba de laboratorio estándar.

11.5 Parámetro de prueba y procedimiento

Los parámetros de prueba están de acuerdo al estándar relevante para pruebas de contaminación de laboratorio o de común acuerdo entre suministrador y cliente.

11.6 Criterio de confirmación

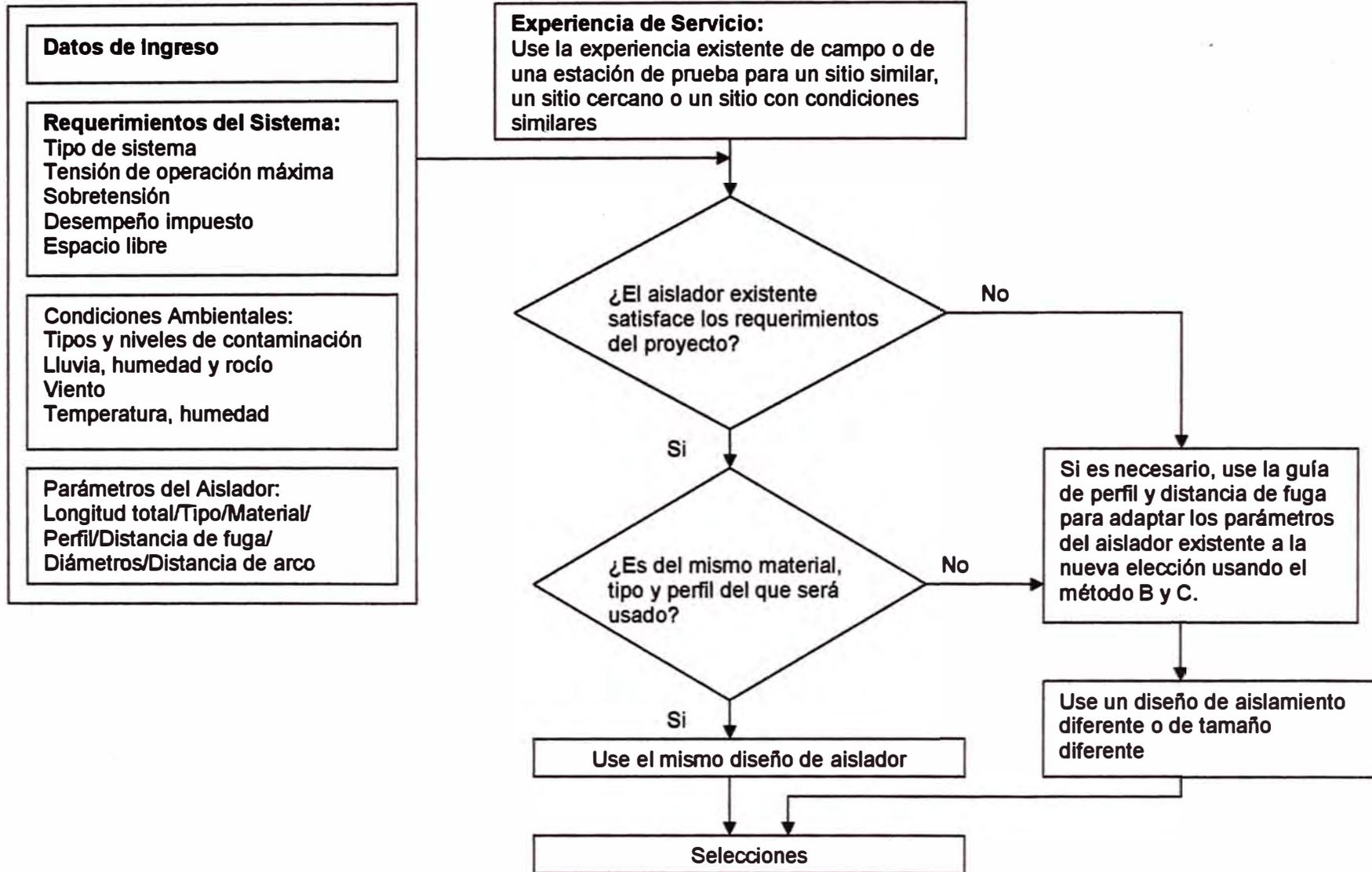
Aisladores que pasan la prueba de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida, o son más altos, se estiman que están correctamente dimensionados para las condiciones y la contaminación concebidas.

CONCLUSIONES

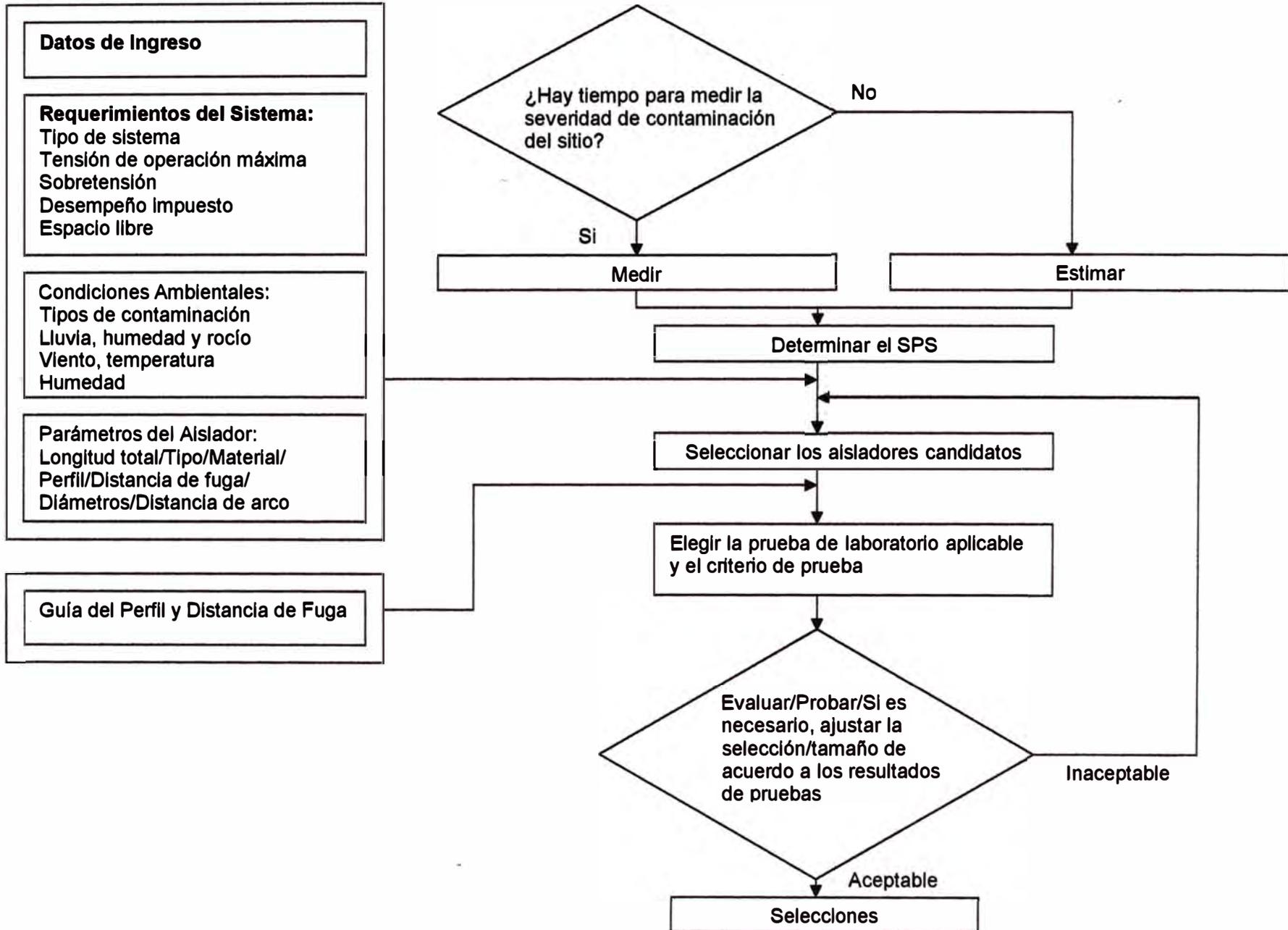
- 1** Para clasificar la severidad de la contaminación de un sitio se hace uso de las mediciones de la contaminación.
- 2** La contaminación “sólida” tiene dos componentes, uno soluble cuantificado por el ESDD, y otro insoluble cuantificado por el NSDD.
- 3** En algunos casos se debe usar la medición de la conductividad superficial para determinar la severidad de contaminación de un sitio.
- 4** Los resultados de las pruebas de contaminación natural y artificial ayudan en el dimensionamiento de los aisladores.
- 5** La longitud de la línea de fuga no es siempre el único parámetro determinante.
- 6** La información recogida sobre la contaminación en el sitio proyectado es usada para determinar la distancia de fuga de referencia, la cual es corregida en función de la idoneidad de los aisladores candidatos para el tipo de contaminación.
- 7** Los factores que toman en cuenta la influencia de los parámetros del perfil (diámetro, espaciamiento entre aletas, etc.), son aplicados para determinar la distancia de fuga o son usados para determinar la idoneidad de los aisladores candidatos.
- 8** El proceso de selección puede ser confirmado –con un grado dado de confianza– mediante el uso de la relativamente simple prueba de sostenimiento de la contaminación artificial.

ANEXO A
DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

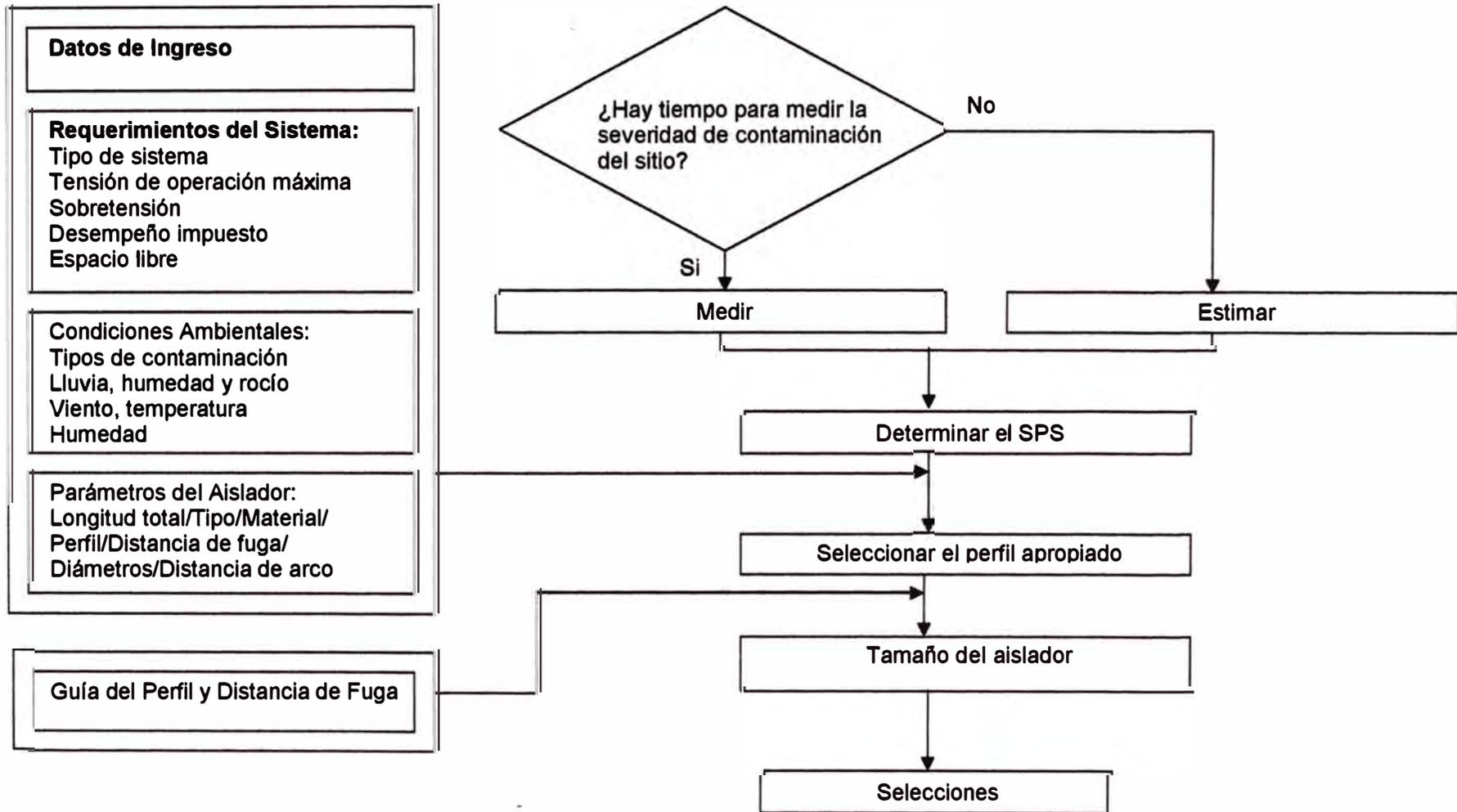
MÉTODO A



MÉTODO B



MÉTODO C



ANEXO B
MECANISMOS DE CONTORNEO POR CONTAMINACIÓN

ANEXO B

MECANISMOS DE CONTORNEO POR CONTAMINACIÓN

B.1 Descripción del mecanismo de contorneo por contaminación con contaminación tipo A

Por facilidad en la comprensión del proceso de contorneo por contaminación pre-depositada (tipo A), esta se dividirá en seis fases descritas separadamente.

El proceso de contorneo por contaminación de los aisladores es grandemente afectado por las propiedades de la superficie de los aisladores. Dos superficies son identificables: hidrofílica e hidrofóbica. Una superficie hidrofílica está generalmente asociada con aisladores de vidrio o de cerámica, mientras que una superficie hidrofóbica es generalmente asociada con aisladores poliméricos, especialmente de goma de silicona. Bajo condiciones húmedas –como lluvia, niebla, etc.– las superficies hidrofílicas se humedecen completamente de tal modo que una película electrolítica cubre al aislador. En contraste, el agua se transforma en muchas gotitas sobre la superficie hidrofóbica bajo similares condiciones de humedad.

El proceso de contorneo por contaminación es además afectado significativamente por la forma de onda de la tensión, A.C. o D.C.. Ha sido ampliamente demostrado por experimentación que, para la misma severidad de contaminación, el pico A.C. de la tensión de sostenimiento excede largamente el correspondiente valor bajo condiciones D.C.. La propagación del arco a través de la superficie del aislador puede tomar varios ciclos y, por consiguiente, el arco está sujeto a un proceso de extinción y re-ignición alrededor de la corriente cero.

Una característica complicada es la interrupción del aire entre puntos vecinos del perfil del aislador (ejemplo: entre salientes o aletas) lo cual reduce el desempeño del contorneo por cortocircuito en la superficie del aislador. Adicionalmente, la caída o chorreo de agua puede facilitar esta reducción en su desempeño.

El proceso que se describe a continuación es como se produce en las superficies hidrofílicas, tales como los materiales de cerámica.

Fase 1: El aislador es cubierto de una capa de contaminación. Si la contaminación cuando está seca no es conductiva (alta resistencia), es necesario que algún proceso de humedecimiento (fase 2) ocurra antes del contorneo.

Fase 2: La superficie del aislador contaminado se torna húmeda. El humedecimiento de un aislador puede ocurrir de los siguientes modos: por absorción de humedad, por condensación o por precipitación. La lluvia pesada (precipitación) puede limpiar de los componentes electrolíticos a parte o a la entera capa contaminada sin iniciar las otras fases del proceso de disrupción, o puede promover el contorneo por cruzamiento (puenteo) entre las hendiduras de las aletas. La absorción de la humedad ocurre durante periodos de humedad relativa alta ($>75\%HR$), cuando las temperaturas del aislador y del aire del ambiente son iguales. La condensación ocurre cuando la humedad en el aire se condensa sobre una superficie cuya temperatura es menor que el punto de rocío. Esta condición usualmente ocurre al amanecer o justo antes.

Fase 3: Una vez que un aislador energizado es cubierto con una capa contaminante conductiva, el flujo de las corrientes de fuga superficiales y el efecto del calentamiento empiezan, dentro de unos pocos ciclos de la frecuencia industrial, a secar partes de la capa contaminada. Esto ocurre en lugares donde la densidad de corriente es la mayor, por ejemplo donde el aislador tiene su parte más estrecha. Esto resulta en la formación de lo que es conocido como bandas secas.

Fase 4: La capa de contaminación nunca se seca uniformemente, y en ciertos lugares el camino conductivo es roto por las bandas secas las cuales interrumpen el flujo de la corriente de fuga.

Fase 5: El voltaje de línea a tierra aparece a través de las bandas secas (las cuales pueden ser solo de unos pocos milímetros de ancho) causan disrupción del aire y las bandas secas son saltadas por los arcos, los cuales están eléctricamente en serie con la resistencia de la porción aún húmeda y conductiva de la capa conductiva. Esto causa un pico de corriente de fuga cada vez que en las bandas secas de un aislador ocurre una súbita descarga.

Fase 6: Si la resistencia de la parte aún húmeda y conductiva de la capa contaminada es lo suficientemente baja, los arcos que saltan las bandas secas son sostenidos y pueden finalmente continuar hasta extenderse a lo largo del aislador, saltando más y más en su superficie. Este proceso en cambio hace decrecer la resistencia en serie con los arcos, incrementando la corriente y permitiéndole saltar aún más en la superficie del aislador. Finalmente, el aislador es completamente saltado y se establece una falla línea a tierra (contorneo).

Uno puede resumir todo el proceso como una interacción entre el aislador, los contaminantes, las condiciones húmedas, y la tensión aplicada (y la impedancia de la fuente en condiciones de laboratorio).

La posibilidad de contorneo aumenta con una corriente de fuga mayor, y es principalmente la resistencia de la capa superficial la que determina la magnitud de la corriente. Consecuentemente, se puede concluir que la resistencia de la capa superficial es el factor fundamental y determinante si un aislador contorneará o no, en términos del modelo descrito arriba. La resistencia de la capa superficial puede ser calculada (asumiendo una uniforme distribución de la contaminación y la humedad) usando el factor de forma.

El contorneo por contaminación puede ser un problema en áreas muy secas como las zonas desérticas. La explicación frecuentemente yace con el "atraso térmico", durante el amanecer, entre la temperatura de la superficie del aislador y la rápida elevación de la temperatura del aire del ambiente. Esta diferencia en temperatura necesita solo ser de unos pocos grados centígrados para que una condensación sustancial ocurra, aún con valores medianamente bajos de humedad relativa. La capacidad térmica y la conductividad térmica del material aislante controlan la tasa con la cual su superficie se calienta.

B.2 Descripción del mecanismo de contorneo por contaminación con contaminación tipo B

B.2.1 Niebla Conductiva

La 'contaminación instantánea' tipo B se refiere a la contaminación de conductividad alta, la cual rápidamente se deposita sobre la superficie del aislador, resultando en una condición en la cual el aislador cambia desde un estado de limpieza aceptable y de

conductividad baja a un contorneo en un corto tiempo (< 1 hora) y luego retoma a un estado de conductividad baja cuando el evento ha pasado.

Para facilitar la comprensión del contorneo por contaminación instantánea, se aplica el mismo proceso como se ha descrito en B.1. Sin embargo, la contaminación instantánea es normalmente depositada como una capa altamente conductiva de electrolito líquido, ejemplo: aspersión salina, niebla salina o niebla ácida industrial, de esta manera el proceso se inicia en la fase 3 antes descrita y puede progresar rápidamente a la fase 6. Naturalmente, estas fases no son distintas pero están asociadas. Estas solamente se refieren a las superficies hidrofílicas. Las áreas que están más en riesgo son aquellas que están situadas cerca de plantas químicas, o áreas cercanas a la costa con un historial conocido de inversiones de temperatura.

B.2.2 Chorreaduras de ave

Una caso particular de contaminación tipo B es la chorreadura de ave. Este tipo de excremento de ave, el cual, liberado, forma un continuo, y altamente conductivo (20-40 k Ω /m) chorro de una longitud tal que la brecha de aire es suficientemente reducida que causa el contorneo. En este caso, la geometría y las características del aislador juega muy poco o ningún rol y la mejor solución podría ser adaptar dispositivos disuasivos o perchas alternas.

B.3 El mecanismo de contorneo por contaminación en superficies hidrofóbicas

Debido a la naturaleza dinámica de una superficie hidrofóbica y a la interacción compleja resultante entre los contaminantes – conductivos y no conductivos – y a los agentes humedecedores, no existen hoy un modelo generalmente adoptado de contorneo por contaminación de superficies en aisladores hidrofóbicos. Sin embargo, está surgiendo un cuadro cualitativo para el mecanismo de contorneo por contaminación el cual envuelve tales elementos como son: la migración de sal dentro de las gotas de agua, la gota de agua inestable, la formación de filamentos líquidos superficiales y el desarrollo de descarga entre filamentos o gotas donde el campo eléctrico es suficientemente alto.

Sin embargo, en servicio, los materiales hidrofóbicos son sometidos a procesos dinámicos de deposición de contaminación, humedad, descargas localizadas o campo eléctrico alto las cuales puede combinarse para causar que partes o la entera superficie pueda tornarse temporalmente más hidrofílica. De esa manera mucho de la física del proceso de contorneo de superficies hidrofílicas también aplican, a pesar de ser

localizadas o para periodos de tiempo limitados, a materiales o superficies "hidrofóbicas" nominales.

ANEXO C
MEDICIÓN DEL ESDD Y NSDD

ANEXO C

MEDICIÓN DEL ESDD Y NSDD

C.1 Introducción

La severidad de contaminación del sitio puede ser determinada por mediciones de la densidad de depósito de sal equivalente (ESDD) y de la densidad de depósito de material no soluble (NSDD) sobre aisladores de referencia los cuales provienen de instalaciones existentes y/o están instalados en estaciones de prueba de campo. En adición, es posible, la medición del ESDD y NSDD en el aislador exacto a ser seleccionado, el cual proveerá directa información para determinar la distancia de fuga requerida del aislador. Además, es a veces útil el análisis químico de los contaminantes.

Para propósitos de medición de la severidad de contaminación, la medición está estandarizada para que sea usada una cadena de 7 aisladores espiga caperuza de referencia (preferiblemente 9 discos para evitar defectos) o un aislador varilla larga de referencia con al menos 14 aletas. La cadena de aisladores desenergizado debe ser colocada tan alta como cercana sea posible de los aisladores de línea o de barra. Cada área del disco o de la aleta de la cadena de aisladores estará siendo monitoreado en intervalos apropiadamente definidos, por ejemplo: cada mes (disco 2 / área 1), cada tres meses (disco 3, 4, 5 / área 2, 3, 4), cada seis meses (disco 5/área 6), cada año (disco 7 / área 6), después de dos años (disco 8 / área 7), etc. anticipadamente y antes de la lluvia, rocío y otros.

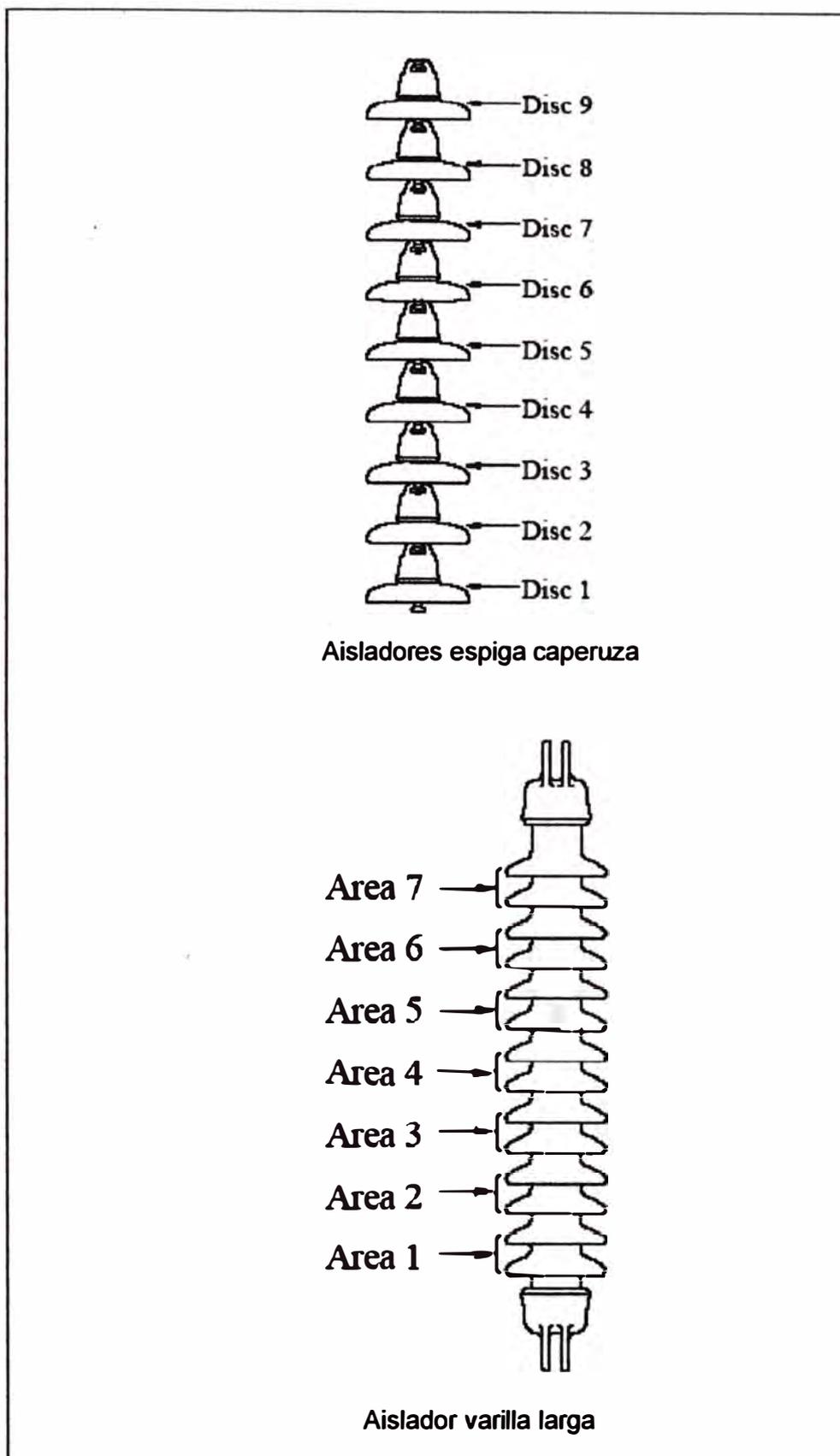


Figura C.1 – Cadenas de aisladores para medición del ESDD y NSDD

C.2 Equipo necesario para medición del grado de contaminación

Los siguientes equipos son necesarios para la medición del ESDD y NSDD.

- Agua desmineralizada / agua destilada
- Cilindro de medición
- Guantes quirúrgicos
- Envoltura de adherencia plástica
- Contenedor etiquetado
- Tazón de lavado
- Esponja/cepillo/algodón absorbente
- Medidor de conductividad
- Probador de temperatura
- Papel filtro
- Embudo
- Evaporador/horno de secamiento
- Balanza de escala

C.3 Métodos de recolección de contaminación para medición del ESDD y NSDD

Las superficies del aislador no deben ser tocadas para evitar cualquier pérdida de contaminación.

Usar guantes quirúrgicos limpios.

Un contenedor, un cilindro de medición, etc. debe ser bien lavado, lo suficiente para remover cualquier partícula previa a la medición.

C.3.1 Procedimiento usando una técnica de enjuague

- El agua destilada de 100-300 cm³ (o más si es requerido) debe ser puesta dentro de contenedores y el algodón absorbente debe ser inmerso dentro del agua (pueden ser usadas otras herramientas tales como un cepillo o una esponja). La conductividad del agua con el algodón sumergido debe ser menor a 0.001 S/m.
- Los contaminantes deben ser enjuagados del área de la superficie del aislador, excluyendo cualquier parte metálica o materiales de ensamble, apretando con el algodón. En el caso del aislador tipo espiga caperuza, las superficies superiores e inferiores pueden ser medidas separadamente, si es necesario, en razón de obtener información útil para evaluación, como muestra la figura C.2. En el caso de un

aislador varilla larga o un aislador poste, los contaminantes pueden ser usualmente recolectados desde una parte de la aleta.

- El algodón con contaminantes debe ser repuesto dentro de los contenedores. Los contaminantes son entonces disueltos en el agua sacudiendo y exprimiendo el algodón en el agua.
- La limpieza debe ser repetida hasta que los contaminantes no permanezcan más sobre la superficie del aislador. Si los contaminantes permanecen aún después limpiar varias veces, estos deben ser removidos con una espátula y ser puestos dentro del agua que contiene a los contaminantes.
- Se debe prestar mucha atención para no perder ninguna cantidad de agua. Esto es, la cantidad no debe ser cambiar ni antes ni después de la recolección de los contaminantes.

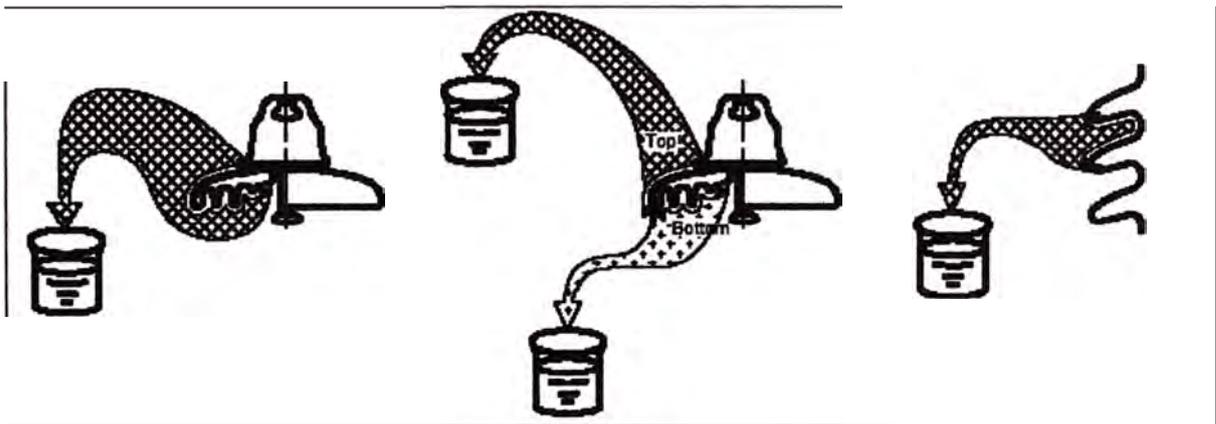


Figura C.2 – Limpieza de contaminantes de la superficie del aislador

C.3.2 Procedimiento usando técnicas de lavado (aisladores espiga caperuza)

- Cubrir la caperuza y la espiga respectivamente con una envoltura de adherencia plástica cubriendo la superficie del aislador.
- Asegurar que el tazón en el que los discos están siendo lavados este limpio.
- Mida 500-1000 cm³ (o más si es requerido) de agua destilada ($\sigma < 0.001$ S/m) y verterlo dentro del tazón.
- Colocar el aislador de prueba sobre su caperuza en el agua y lavar la superficie encarando el agua, deslizando suavemente la mano hasta el borde.
- Colocar el mismo aislador sobre su espiga en el tazón y lavar suavemente la contaminación de debajo de la superficie, deslizando suavemente la mano.
- Verter el agua dentro un contenedor, teniendo cuidado para que no permanezcan depósitos en el tazón.

El procedimiento de arriba puede ser usado para recolectar separadamente los depósitos de la parte inferior y superior.

C.4 Determinando el ESDD y NSDD

C.4.1 Cálculos del ESDD

La conductividad y la temperatura del agua conteniendo los contaminantes deben ser medidos. Las mediciones deben ser hechas después de la agitar suficientemente del agua. Un tiempo de agitación corto, por ejemplo unos pocos minutos, es requerido para contaminantes de solubilidad alta. Los contaminantes de solubilidad baja requiere mayor tiempo de agitación, por ejemplo: 30-40 minutos.

La corrección de conductividad debe ser hecha usando la formula (C.1). Este cálculo está basado en la cláusula 16.2 y cláusula 7 del IEC 60507.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta}[1-b(\theta-20)] \quad (C.1)$$

Donde:

θ es la temperatura de la solución (°C).

σ_{θ} es la conductividad volumétrica a temperatura de θ °C (S/m).

σ_{20} es la conductividad volumétrica a temperatura de 20 °C (S/m).

b es el factor dependiente de la temperatura de θ , obtenida por la fórmula (C.2), y como es mostrada en la figura C.3.

$$b = -3.200 \times 10^{-8} \theta^3 + 1.032 \times 10^{-5} \theta^2 - 8.272 \times 10^{-4} \theta + 3.544 \times 10^{-2} \quad (C.2)$$

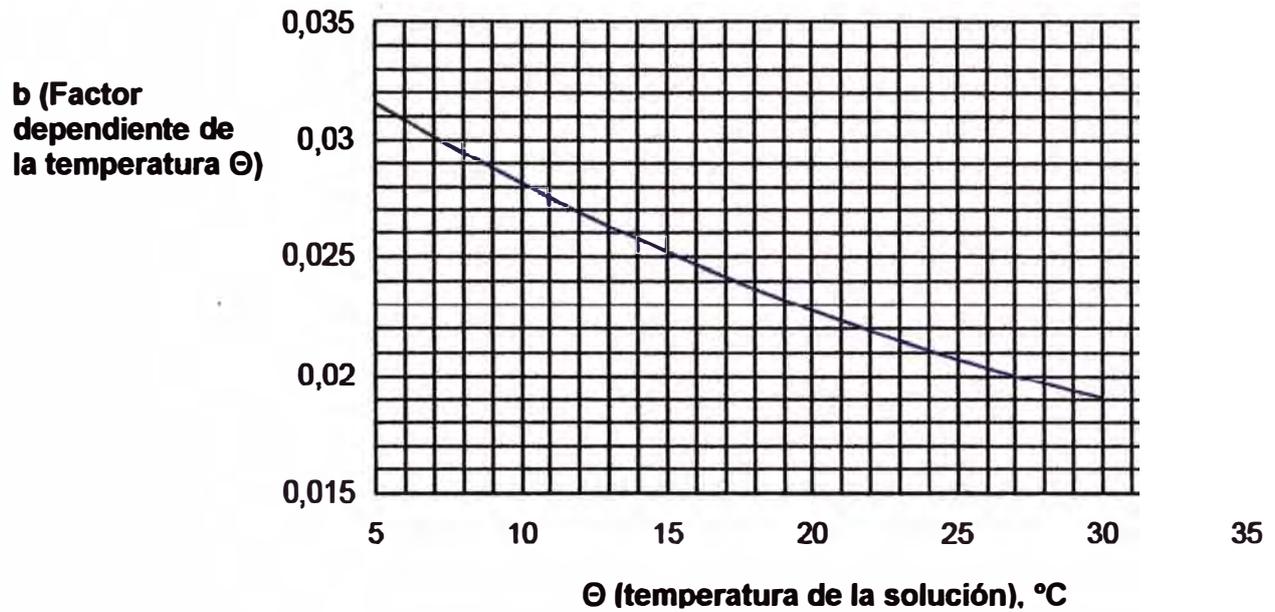


Figura C.3 – Valor de b

El ESDD en la superficie de un aislador debe ser calculada por las fórmulas (C.3) y (C.4). Este cálculo está basado en la cláusula 16.2 de la IEC 60507. La relación entre σ_{20} y S_a (Salinidad, kg/m^3) es mostrada en la figura C.4.

$$S_a = (5.7\sigma_{20})^{1.03} \quad (\text{C.3})$$

$$\text{ESDD} = S_a \cdot V/A \quad (\text{C.4})$$

σ_{20} es la conductividad volumétrica a temperatura de 20°C (S/m).

ESDD es la densidad de depósito de sal equivalente (mg/cm^2).

V es el volumen de agua destilada (cm^3).

A es el área de la superficie del aislador para los contaminantes recolectados (cm^2).

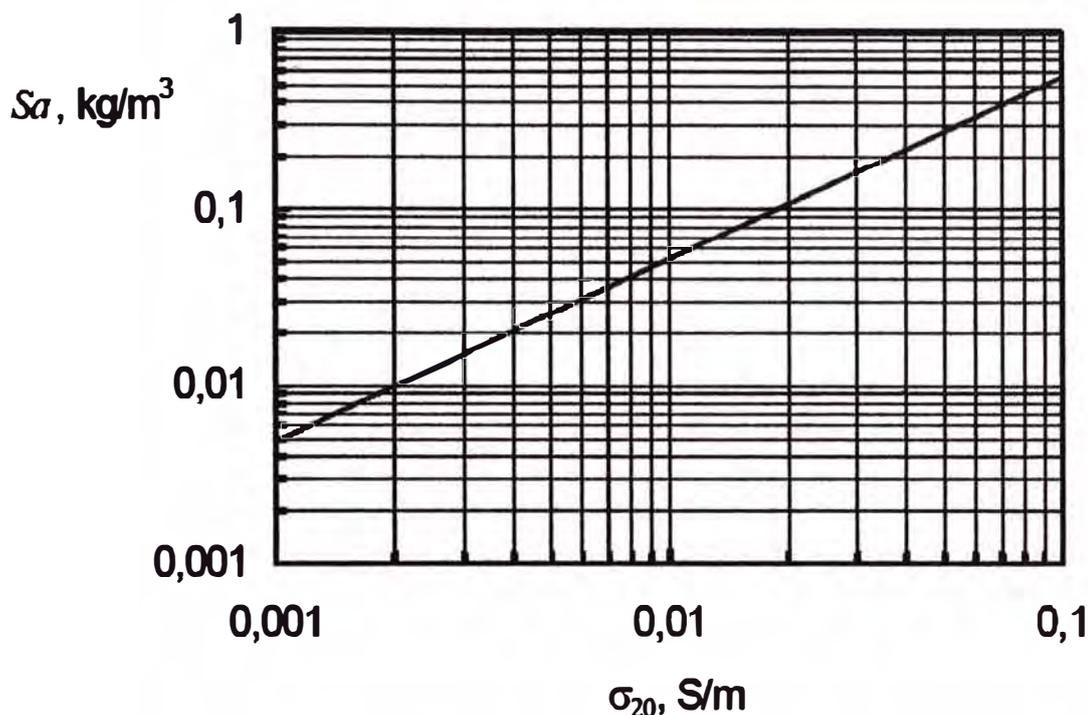


Figura C.4 – Relación entre σ_{20} y S_a

Si la separación de las mediciones ESDD de la parte inferior y superior ha sido hecha, el promedio ESDD puede ser calculado como sigue (puede ser usada para el promedio NSDD):

$$\text{Promedio ESDD} = (\text{ESDD}_t \times A_t + \text{ESDD}_b \times A_b) / A \quad (\text{C.5})$$

Donde:

ESDD_t es el ESDD en el área superior (mg/cm²).

ESDD_b es el ESDD en el área inferior (mg/cm²).

A_t es el área superior de la superficie del aislador (cm²).

A_b es el área inferior de la superficie del aislador (cm²).

A es el área total de la superficie del aislador (cm²).

C.4.2 Cálculos del NSDD

El agua conteniendo contaminantes después de la medición del ESDD debe ser filtrada usando un embudo y papel filtro pre-secado y pesado (grado GF/A 1.6 um o similar).

El papel filtro conteniendo contaminantes (residuos) debe ser secado, y luego pesado como se muestra en la figura C.5.

El NSDD debe ser calculado por la fórmula (C.6).

$$\text{NSDD} = 1000 (W_f - W_i)/A \quad (\text{C.6})$$

Donde:

NSDD es la densidad de depósito de sal no soluble (mg/cm^2)

W_f es el peso del papel filtro conteniendo contaminantes bajo condiciones secas (g).

W_i es el peso inicial del papel filtro bajo condiciones secas (g).

A es el área de la superficie del aislador para los contaminantes colectados (cm^2).

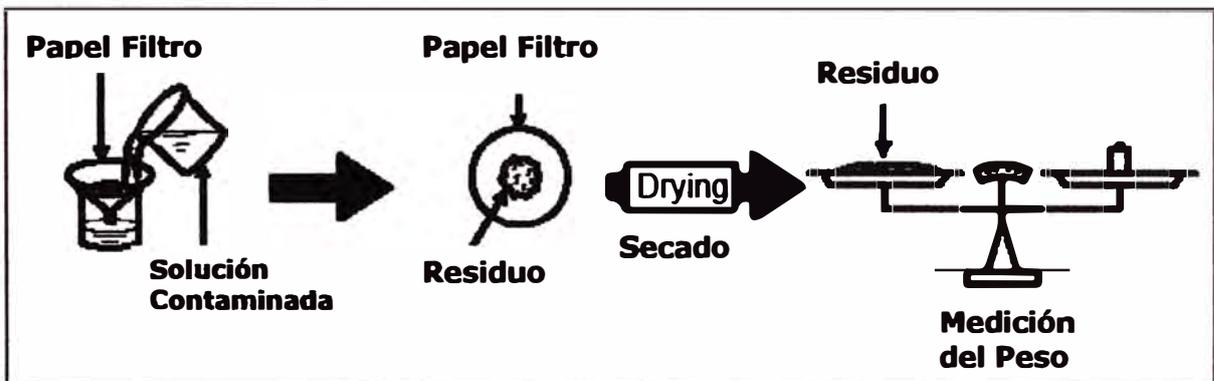


Figura C.5 – Procedimiento de medición NSDD

C.5 Análisis químico de los contaminantes

Se puede hacer un análisis químico cuantitativo de los contaminantes para un análisis cercano de las condiciones de contaminación. El análisis puede ser usado para identificar los componentes químicos de las sales solubles. El análisis químico de las sales solubles son hechos usando la solución luego de la medición del ESDD por medio de cromatografía (IC) de intercambio de iones, espectrometría (ICP) analítica de emisiones de plasma-óptica de acoplamiento inductivo, etc. Los resultados del análisis pueden mostrar cantidades de iones positivos, ejemplo: Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , y iones negativos, ejemplo: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .

ANEXO D
EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE CONTAMINACIÓN TIPO B

ANEXO D

EVALUACIÓN DE LA SEVERIDAD DE CONTAMINACIÓN TIPO B

D.1 Introducción

La contaminación de zona marina pertenece frecuentemente al tipo de contaminación instantánea, que ocurre cerca a la costa. La duración de un evento de contaminación podría durar desde menos de 1 hora a más de 24 horas. Para determinar la severidad de contaminación en este caso, se puede usar una medición periódica (por cada media hora o una hora) o una medición continua de corrientes superficial en un aislador. Alternativamente se puede usar la medición de la fatiga por contorno del aislador (ver D.3). Para todos estos casos, las mediciones obtenidas son comparadas con valores obtenidos en una prueba de niebla salina artificial para determinar la Salinidad Equivalente del Sitio (SES).

En algunos casos, donde se espera la acumulación de sal seca, los métodos para evaluación del SPS para la contaminación tipo A son usados para la contaminación tipo B. La sección D.4 da cierta guía sobre este método.

D.2 Evaluación del SES para contaminación tipo B por medición de corriente de fuga

D.2.1 Medición de la conductancia superficial

Esta medición periódica es efectuada con una tensión baja sobre un aislador con una forma de aleta simple o un aislador varilla larga o espiga caperuza de referencia. La tensión aplicada debe ser lo suficientemente baja (por ejemplo $700 V_{rms}$ por metro de distancia de fuga) para evitar arcos de banda seca. Los valores de corriente deben ser registrados de un modo adecuado.

D.2.2 Medición de las corrientes de fuga superficiales

Esta medición continua es efectuada sobre una cadena de aisladores espiga caperuza de referencia o un aislador varilla larga de referencia. La fatiga eléctrica usada debe mantener al

aislador en una condición de sostenimiento para la clase de severidad de contaminación esperada en el sitio, ejemplo: el contorneo por contaminación no debe ocurrir durante el periodo de prueba. Los valores de corriente deben ser registrados en un modo adecuado.

D.2.3 Calibración con una prueba de niebla salina

En ambos casos mencionados arriba, la calibración para los valores de corriente es hecha por una prueba de niebla salina de acuerdo a la IEC 60507 en el mismo aislador y con la fatiga de tensión similar. Las pruebas son hechas con incremento de salinidad de prueba en prueba, hasta un valor pico de corriente de fuga comparable a aquellos que ocurren en la medición en el sitio. La correspondiente salinidad es la SES.

D.3 Evaluación del SES para contaminación tipo B por medición de la fatiga por contorneo del aislador

Esta medición continua es ejecutada en una cadena de aisladores espiga caperuza de referencia o un aislador varilla larga de referencia en una estación de prueba exterior y provee resultados que son cercanos a la experiencia en servicio. La fatiga de contorneo del aislador es la tensión de contorneo dividido por la longitud del aislador, o por la longitud de fuga del aislador. Los resultados sobre un periodo de tiempo pueden ser presentados como la fatiga de contorneo mínimo o como una relación entre la fatiga de contorneo y frecuencia de contorneo. El procedimiento de prueba usualmente envuelve el puenteo (cruzamiento) de algunos aisladores en una cadena con fusibles explosivos, así que después del contorneo la cadena es automáticamente alargada. La fatiga de contorneo mínimo puede entonces ser directamente calibrado con los resultados de la prueba de niebla salina de acuerdo a la IEC 60507 en los aisladores de referencia similar para obtener el SES para la estación de prueba exterior. En este caso, la Severidad de Contaminación del Sitio (SPS) puede ser correlacionada con el SES por el aislador de referencia, donde el contorneo, más que la corriente de fuga, es el criterio de desempeño. Adicionalmente, otras mediciones de severidad de contaminación (ejemplo: DDDG, conductancia de superficie, corriente de fuga superficial) puede además ser correlacionadas con el SPS para el aislador de referencia en el sitio de prueba.

D.4 Cómo estimar el SPS para contaminación tipo B

El diagrama de flujo en el anexo A representa el método general para la estimación del SPS para un sitio con contaminación tipo B. El análisis de las fuentes de contaminación potencial y la frecuencia de humedecimiento es importante para la evaluación del SPS. Los datos de un número de mediciones de severidad de contaminación ayudará además a determinar el correcto SPS para una localidad. Por ejemplo, el SPS para una localidad de costa, donde el agua salada o niebla conductiva es depositada sobre la superficie del aislador y depósitos no solubles pueden o no pueden ser importantes, puede ser obtenido de la experiencia en servicio, ESDD, DDDG, conductividad de superficie o resultados de la corriente de fuga. La fortaleza o debilidad de cada método necesitan ser considerados en la interpretación de resultados. Consecuentemente, en el ejemplo de costa arriba mencionado donde los depósitos no solubles son insignificantes y ocurre el humedecimiento regular del aislador de referencia, las mediciones ESDD son muy probables que sean bajos debido a limpieza regular de la superficie del aislador. Bajo tales circunstancias, se requiere un método estadístico para analizar los datos colectados, y debe ser usada una estimación de probabilidad máxima de la función de distribución. El valor 2% superior con nivel de seguridad de 95%, por ejemplo, puede entonces ser usado como el parámetro de dimensionamiento del SPS para compensar los valores de medición muy bajos, o muy pocos. Este método podría ser particularmente importante cuando el aislador es diseñado para instalaciones críticas.

ANEXO E
MEDICIONES CON EL MEDIDOR DE DEPÓSITO DE POLVO DIRECCIONAL

ANEXO E

MEDICIONES CON EL MEDIDOR DE DEPÓSITO DE POLVO DIRECCIONAL

E.1 Introducción

El medidor de polvo, como se muestra en la figura E.1, está comprendido de cuatro tubos verticales cada uno con una ranura. Cada ranura está orientada a un punto cardinal (este, oeste, norte y sur). Se fija en la parte inferior de cada tubo, un contenedor removible que acumula los depósitos que son llevados por el viento dentro de las ranuras.

Para facilitar la comparación internacional de resultados, se debe usar el tamaño de las ranuras como el mostrado en la Figura E.1. Las dimensiones nominales son de un ancho de ranura de 40 mm y un radio de 20 mm en cada extremo. La distancia entre los centros de radios es 351 mm (la longitud de la ranura total entonces sería de 391 mm). El tubo es de al menos 500 mm de longitud con 75 mm de diámetro exterior. La distancia desde la parte superior del tubo a la parte superior de la ranura es de 30 mm. Los tubos están montados con la parte inferior de la ranura a aproximadamente 3 metros del suelo; esto mantiene al medidor fuera del alcance del manipuleo casual pero permitiendo el fácil y seguro cambio de los contenedores. Los medidores pueden ser montados más bajos si lo permiten las condiciones del terreno.

Estos contenedores son removidos en intervalos mensuales, y sus contenidos mezclados con 500 ml de agua desmineralizada, limpiados de cualquier resto macroscópico notorio (hojas, insectos, etc.). Luego se miden las conductividades de las soluciones. El índice de contaminación es definido como el promedio de las conductividades en las cuatro direcciones, expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$, y normalizada a un intervalo de 30 días.

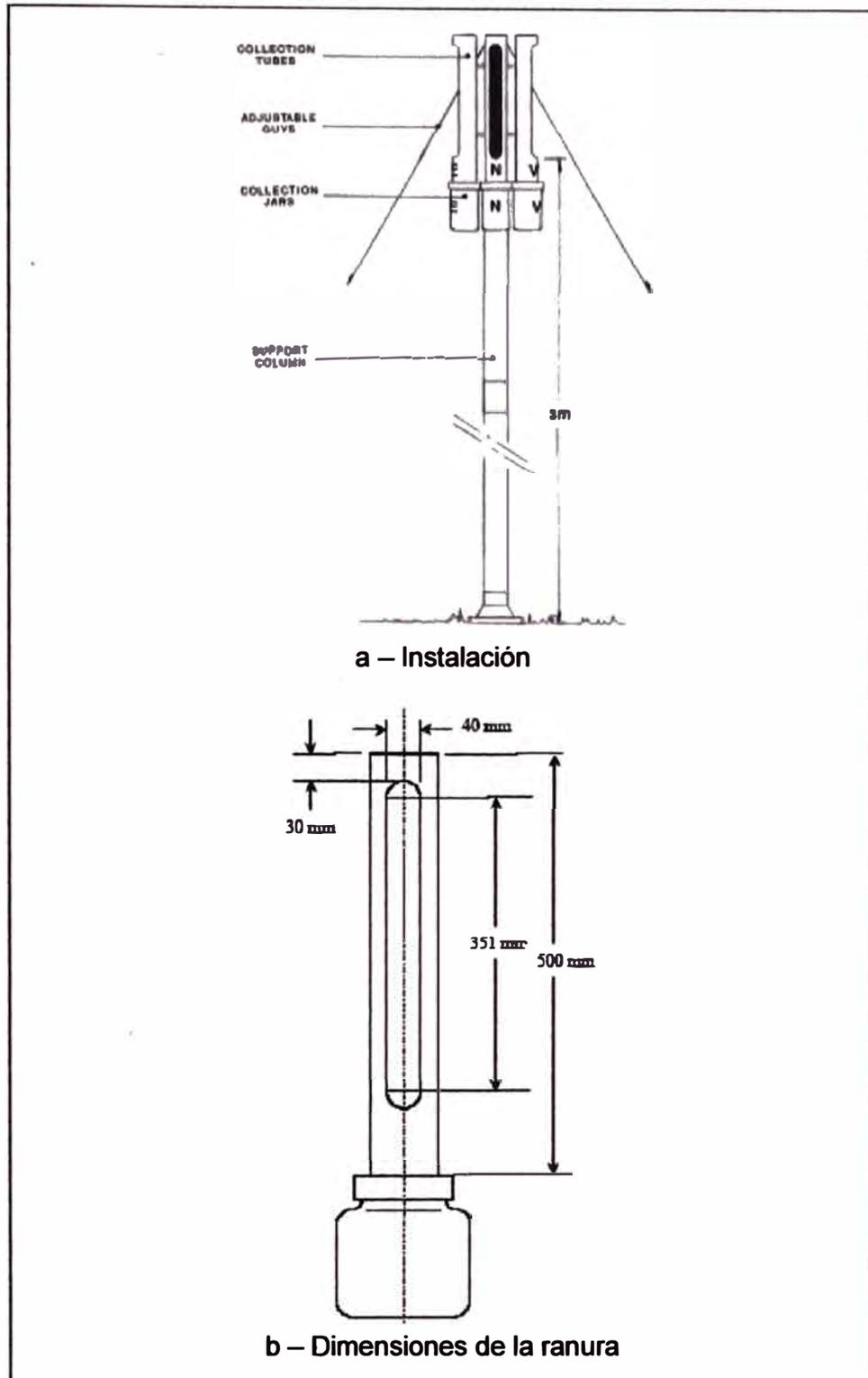


Figura E.1 - Medidores de depósito de polvo direccional como instalados (a), y dimensiones (b).

La ventaja de esta técnica es su simplicidad y el hecho que puede ser usado en un sitio desenergizado sin aisladores u otros materiales adicionales que solamente aquellos que son requeridos para el montaje de los medidores.

La mayor desventaja con el medidor de polvo es que no se usan los aisladores existentes y por tanto no es posible evaluar las propiedades de auto-limpieza de los aisladores y el efecto del perfil de aleta en el proceso de deposición en la superficie del aislador. En áreas con bastante lluvia, se puede tolerar un índice mayor, mientras que en áreas de poca lluvia pero con una alta ocurrencia de niebla, la severidad existente es mayor que aquella indicada por los medidores. El factor climático para el área es usado para ayudar a corregir el efecto por ese fenómeno.

E.2 Procedimiento de medición

El procedimiento de medición mensual es como sigue:

En el sitio....

- 1) Remover los cuatro envases colectores de los extremos del tubo y cerrarlas con las tapas proporcionadas.
- 2) Registrar la fecha de remoción en la etiqueta del envase.
- 3) Fijar cuatro envases limpios a los tubos, habiendo completado el etiquetado en cada envase para indicar el sitio, la dirección y la fecha de instalación.

En el lugar de medición....

- 1) Añada 500 ml de agua desmineralizada en cada envase colector. La conductividad del agua debe ser menor a 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si el envase contiene agua de lluvia, añadir agua desmineralizada para completar el volumen de 500 ml. Si, debido a la lluvia severa, hay más de 500 ml en el envase, no se requiere adicionar agua.
- 2) Remover o agitar el contenido hasta que se disuelvan todas las sales solubles.
- 3) Medir la conductividad de la solución preferiblemente con un medidor de conductividad que automáticamente corrige la lectura a 20 °C. Si el medidor no es compensado a 20°C, entonces se debe medir adicionalmente la temperatura de la solución.
- 4) Si el volumen de la solución no es 500 ml, por ejemplo en el caso de excesiva lluvia acumulada en los envases, se debe medir el volumen actual.
- 5) Calcular la conductividad corregida para cada dirección, esto estando la conductividad en 20 °C expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$, y normalizada a un volumen de 500 ml y un mes de 30 días. El valor DDDG normalizado es calculado usando la ecuación:

$$\text{DDDG} = \sigma_{20} (V_d/500) (30/D)$$

(E.1)

Donde,

DDD_G: conductividad del medidor de depósito de polvo direccional, en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

D: días DDG instalados

Si la conductividad leída no es compensada por temperatura por el instrumento de medición, el valor puede ser corregido a 20°C usando las ecuaciones C.1 y C.2.

6) Calcular el Índice de Contaminación (PI) para el mes, tomando el promedio de las cuatro conductividades direccionales corregidas, expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$, por ejemplo:

$$PI = (DDD_{G_{\text{Norte}}} + DDD_{G_{\text{Sur}}} + DDD_{G_{\text{Este}}} + DDD_{G_{\text{Oeste}}}) / 4 \quad (\text{E.2})$$

Si se requiere una estimación del depósito no soluble, luego de las mediciones de conductividad, las soluciones deben ser filtradas usando un embudo y papel filtro pre-secado y pesado de grado GF/A 1,6 mm o similar. El papel debe entonces ser secado y pesado otra vez. La diferencia de peso en gramos representa el Depósito No-Soluble (NSD).

E.3 Determinación de la clase de SPS a partir de las mediciones DDDG

La relación entre la clase de severidad de contaminación del sitio (SPS) y el índice de contaminación, preferiblemente medido sobre un periodo de al menos un año, es proporcionado en la tabla E.1. La tabla E.2 proporciona información para la corrección de los niveles NSD medidos con el DDDG.

Tabla E.1 - Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional en relación a la clase de severidad de contaminación del sitio

Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional, PI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (tomar cualquiera que sea mayor)		Clase de severidad de contaminación del sitio	
Valor promedio mensual sobre un año	Máximo mensual sobre un año		
< 25	< 50	a	Muy ligera
25 a 75	50 a 175	b	Ligera
76 a 200	176 a 500	c	Medio
201 a 350	501 a 850	d	Pesada
> 350	> 850	e	Muy Pesada

Tabla E.2 - Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio como una función de los niveles DDDG NSD

NSD del medidor de depósito de polvo direccional (gramos) (tomar cualquiera que sea el mayor)		Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio
Valor promedio mensual sobre un año	Máximo mensual sobre un año	
< 0,5	< 1,5	Ninguno
0,5 a 1,0	1,5 a 2,5	Incrementar una clase
> 1,0	> 2,5	Incrementar una o dos clases y considerar mitigación (ejemplo: lavado)

E.4 Corrección por influencias climáticas

Si los datos de clima para el sitio en cuestión están disponibles, entonces el índice de contaminación del depósito de polvo direccional puede ser ajustado para tomar en cuenta las influencias del clima. Esto se consigue multiplicando el valor del índice de contaminación (PI), como se ha indicado anteriormente, por el factor climático (C_f).

El factor climático está dado por:

$$C_f = \sqrt{\left(\left(\frac{F_d}{20}\right) + \left(\frac{D_m}{3}\right)\right)/2} \quad (E.3)$$

Donde:

F_d: número de días (<= 1000m de visibilidad horizontal) por año.

D_m: número de días (<20 mm de precipitación) por año.

ANEXO F
USO DE MÉTODOS DE PRUEBA DE LABORATORIO

ANEXO F

USO DE MÉTODOS DE PRUEBA DE LABORATORIO

En condiciones contaminadas, se requiere que los aisladores sostengan continuamente la mayor tensión del sistema con un aceptable riesgo de contorneo. Con el propósito de especificar una prueba de contaminación de laboratorio, es necesario especificar una tensión de sostenimiento de coordinación de larga duración, como es definida en la IEC 60071-1, y un nivel de sostenimiento de severidad de contaminación.

El nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación caracteriza el desempeño ante la contaminación del aislamiento cuando es energizado a la tensión de sostenimiento de coordinación. El nivel de sostenimiento de severidad de contaminación es determinado en tres pasos:

1) El tipo de contaminación presente y la severidad de contaminación del sitio son determinados por evaluación de la contaminación del sitio, como es descrito en el capítulo V y anexos B y C.

2) El nivel de severidad de contaminación del sitio es ajustado para cualquier diferencia entre el aislador de referencia y el aislador a ser probado. Este valor corregido es denominado el nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación. El ajuste debe compensar:

- Diferencias en la contaminación capturada en el aislador usado para la medición de la severidad de contaminación del sitio y el aislador a ser probado.
- Diferencias en tipos de tensión aplicado en el aislador usado para la medición de la severidad de contaminación del sitio y el aislador a ser probado.
- Diferencias en el diámetro entre el aislador usado para la medición de la severidad de contaminación del sitio y el aislador a ser probado.

- Otras influencias de importancia.

3) El nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación requerida, que es la severidad en la cual la prueba de laboratorio es ejecutada, es derivado del nivel de sostenimiento de la severidad de contaminación de coordinación para compensar las diferencias entre las actuales condiciones de servicio del aislador y aquellas en las pruebas de sostenimiento estándar. Los factores de corrección se deben compensar por la:

- Diferencia en tipo de contaminación del depósito de contaminación en el sitio y en la prueba.
- Diferencia en la uniformidad del depósito de contaminación en el sitio y en la prueba.
- Diferencia en las condiciones de humedad en servicio y aquellas durante la prueba.
- Las diferencias en el ensamble del equipo.
- La dispersión en la calidad del producto.
- El efecto del envejecimiento en la contaminación captada y propiedades de humedecimiento del aislamiento durante el tiempo de vida esperado.
- La incertidumbre estadística de ejecutar un número limitado de pruebas para verificar el nivel de sostenimiento de severidad de contaminación requerida.
- Otras influencias importantes.

Estos son los principios generales de este proceso.

El método de prueba relevante a ser usado es seleccionado de acuerdo al tipo de contaminación en el sitio, el tipo de aislador y el tipo de tensión. Las pruebas mostradas en la IEC 60507 e IEC 61245 son directamente aplicables a aisladores de cerámica y vidrio. Actualmente, no hay pruebas estándar directamente aplicables a aisladores poliméricos. Como una regla general, la prueba de capa sólida es recomendada para contaminación tipo A y la prueba de niebla salina para contaminación tipo B.

Se puede considerar el uso de métodos de prueba de contaminación de laboratorio no estándar o hechas a la medida, si es acordado entre los clientes y los suministradores.

ANEXO G
FACTOR DE FORMA

ANEXO G

FACTOR DE FORMA

El factor de forma (F_f) es un número adimensional que representa la longitud (l) de una superficie dividida por el ancho integrado (p). Para aisladores, la longitud está en la dirección de la distancia de fuga y el ancho es la circunferencia del aislador como se muestra en la siguiente figura.

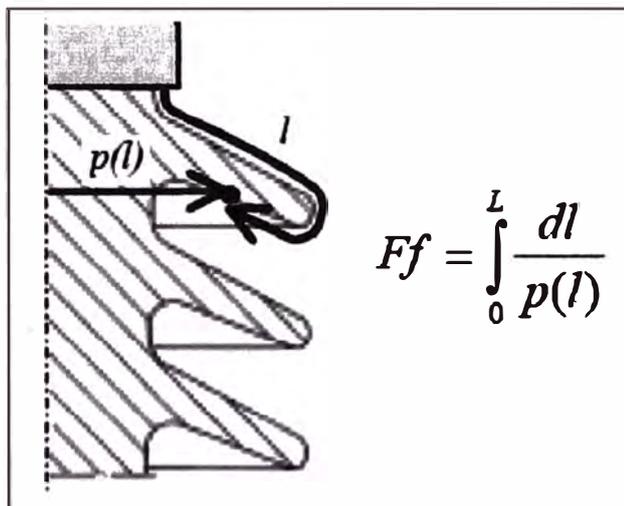


Figura G.1 – Factor de Forma

En este caso, F_f es igual a la integral del valor recíproco de la circunferencia del aislador versus la distancia de fuga parcial contada desde el extremo del aislador hasta el punto calculado. Este es solo dependiente de la forma de la superficie y no del todo dependiente del tamaño.

Una superficie que contiene una capa conductiva, tiene una conductividad dependiente de:

- La conductividad específica de la superficie.
- El F_f .

El F_f suministra una exacta relación entre la resistividad/conductividad de una superficie, por ejemplo la superficie de un aislador, y la resistencia/conductancia total de la misma superficie y por tanto del aislador entero.

ANEXO H
CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO Y LOS PALIATIVOS

ANEXO H

CONSIDERACIONES SOBRE EL MANTENIMIENTO Y LOS PALIATIVOS

Los requerimientos de mantenimiento para un equipo en servicio dependen principalmente de los siguientes factores:

- **Experiencia del sitio:** un sitio, circuito o parte particular de un equipo se considera que tiene buen o pobre desempeño en base al nivel de actividad de la contaminación y la propensión al contorneo. Para un buen desempeño no se requiere de mantenimiento.
- **Severidad de contaminación del sitio:** la severidad de contaminación de un sitio o instalación es determinada de las mediciones de contaminación del sitio.
- **Sitio de valor estratégico o comercial:** el valor estratégico o comercial de un sitio, instalación o parte de un equipo se basa en su localización en el sistema, y los clientes están conectados a él. El valor y la caracterización del sitio pueden cambiar de año en año y es aconsejable que esta evaluación sea ejecutada en cooperación con los operadores del sistema.
- **Atributos funcionales:** el aislamiento del equipo en un sitio particular es usualmente diseñado de acuerdo a una especificación, tanto funcional o prescriptivo. Luego de un tiempo, el criterio usado en la especificación puede llegar a ser inadecuado u obsoleto, debido a los cambios en las propiedades de los sistemas o en el ambiente. Como resultado, el equipo puede convertirse en subdimensionado para las circunstancias modificadas y entonces, es necesitado de un paliativo.

La información obtenida sobre los factores antes mencionados se combina para elaborar un plan de acción que esté basado en el riesgo planteado para cada condición junto con la mejor solución costo efectivo para controlar o mitigar aquel riesgo. Tal plan podría ser individual para un sitio particular, y podría indicar el intervalo y tipo de mantenimiento para los varios grupos de equipamiento identificados. Es necesaria una revisión regular de tal plan para afrontar las circunstancias cambiantes. Esto es especialmente requerido después una contaminación que se relaciona a un incidente que pueda quizá indicar una debilidad en el plan existente.

Cuando se revisa el plan de acción, las siguientes cuestiones deben ser consideradas:

- La ocurrencia de contaminación, o humedad severa, o incidentes que no fueron reportados durante el periodo de revisión previo.
- Cambios del sitio, circuitos, o ambiente de operación que puedan afectar el desempeño del equipo. Por ejemplo; trabajos civiles locales, una planta industrial nueva o un patrón de clima cambiado.
- Una revisión del plan de mantenimiento del lugar con la intención de identificar posibilidades para el ahorro de costos mediante la adopción más paliativos costo-efectivo y extendiendo el intervalo de mantenimiento.
- El riesgo asociado en la adopción de modificaciones al plan de mantenimiento. El equipo de mantenimiento local puede tener experiencia valiosa a este respecto.

Una representación esquemática del mantenimiento, con las opciones paliativas disponibles, es presentada en la figura H.1. Mayor información sobre una selección de estas es como sigue:

- **Lavado:** Esta es una manera relativamente fácil de evitar cortes de servicio relacionados a la contaminación. Puede ser ejecutada sobre equipo energizado o desenergizado. El lavado es usualmente efectuado remotamente usando agua a presión, pero también puede ser realizado a mano con el equipo desenergizado. Hay requerimientos especiales para el lavado energizado, que involucran la calidad del agua y las distancias mínimas del operador al aislador. Cuando el lavado energizado es llevado a cabo en una estación particular, es normalmente ejecutado en un intervalo de tiempo regular para limitar la acumulación de una contaminación de superficie latente que puede ser activada durante el proceso de lavado y así causar un contorneo. Los costos del lavado están relacionados a la mano de obra usada y el costo de capital de un atomizador de agua.
- **Engrasado:** El engrasado es una labor intensiva y requiere cierta cantidad de experiencia para asegurar que el recubrimiento sea de la correcta consistencia y espesor. Son generalmente usadas dos tipos de grasa; estas están basadas en silicona e hidrocarburo. Ambos tipos pueden ser aplicados a mano o con un equipo de aspersión de aire. Cuando es por aspersión, la grasa de hidrocarburo necesita ser calentada antes de su aplicación, mientras la grasa de silicona es dispersada en un solvente. La grasa debe ser probada regularmente para

averiguar su condición y tener la certeza de cuándo debe ser reemplazada o reprobada. Las pruebas para determinar la condición de la grasa pueden incluir: comprobación de su dureza; su factor partícula-carga e hidrofobicidad. La frecuencia del muestreo de la grasa dependerá de la importancia del sitio, circuito o equipo y el nivel de riesgo que el equipo local desea aceptar. Típicamente es empleado un intervalo de muestreo de 2-3 años. Los costos iniciales asociados con el engrasado están relacionados a la mano de obra, equipo de acceso y la grasa en sí misma. Existe además un costo corriente asociado con la inspección regular, el cual se debe a la mano de obra, y el equipo de acceso requerido.

- **Recubrimiento polimérico del aislador:** La aplicación de recubrimiento polimérico al aislador, tales como una versión de goma de silicona RTV (Room Temperature Vulcanised), es una labor intensiva y se requiere una cierta cantidad de experiencia para asegurar que sea de suficiente espesor y de una consistencia correcta. Estos recubrimientos tienen, sin embargo, generalmente un mayor tiempo de vida que una capa de grasa. Los recubrimientos poliméricos pueden ser aplicados con brocha o usando un equipo de aspersión de aire. Se requiere de un programa de inspección para determinar la condición del recubrimiento y su necesidad de reabastecimiento o de reemplazo. Tal programa normalmente comprende una inspección visual y una medición de la hidrofobicidad en un intervalo de inspección de 5-6 años. Los costos iniciales incurridos con el recubrimiento polimérico están relacionados con la mano de obra, equipo de acceso, el recubrimiento mismo y el equipo de aplicación. Existe además un costo corriente asociado a los costos de mano de obra por la inspección y mantenimiento de los recubrimientos.
- **Extensores de distancia de fuga:** La instalación de los extensores de distancia de fuga es una labor menos intensiva que el engrasado o la aplicación de un recubrimiento polimérico al aislador, pero requiere la desconexión del equipo del sistema eléctrico de modo que los extensores puedan ser colocados sobre el aislador. El tipo y número de extensores de distancia de fuga usados dependerán de las dimensiones del equipo para el cual serán adaptados. Los extensores de línea de fuga son hechos de un plástico termo-contráctil con calor y pueden ser adaptados por el personal local siguiendo un entrenamiento básico. Se requiere de un periodo de inspección visual, por ejemplo un intervalo de 5-6 años, para determinar las condiciones de los extensores de distancia de fuga (por ejemplo:

en términos de erosión del material o perforación) y su necesidad de reemplazo o mantenimiento. Los extensores de distancia de fuga pueden ser usados en combinación con un recubrimiento polimérico o un programa de lavado regular. El costo de usar extensores de distancia de fuga está asociado con la mano de obra para su instalación, el extensor mismo y el alquiler del equipo de acceso necesario. El costo corriente de usar extensores de distancia de fuga es relativo a la mano de obra requerida para la inspección.

La elección del paliativo depende de los requerimientos técnicos, prácticos y económicos. El requerimiento técnico puede asociarse a la aplicación particular, mientras que los requerimientos prácticos y económicos son asociados a la facilidad y al costo de la aplicación, así como al esfuerzo y costo asociado con el manejo del paliativo para la duración del servicio que es requerido para el equipo al cual es aplicado.

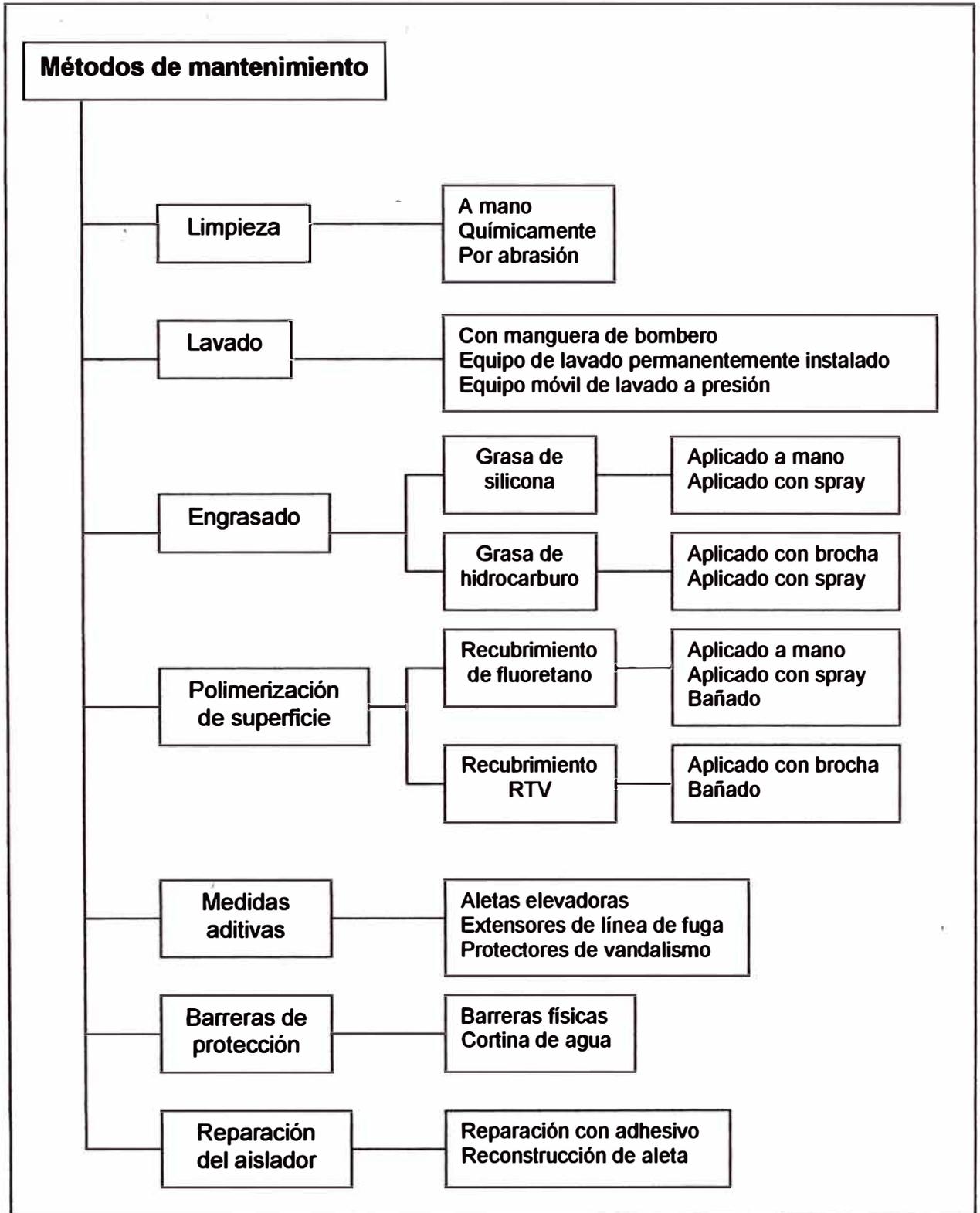


Figura H.1 – Una representación esquemática varios métodos disponibles de mantenimiento y paliativos

ANEXO I
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TABLAS Y FIGURAS

ANEXO I
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TABLAS Y FIGURAS

I.1 Tablas

- Tabla 3.1 "Los tres métodos para la selección y dimensionamiento del aislador", W.Vosloo, 36-WG11/Vosloo/Renard/65.
- Tabla 3.2 "Parámetros de entrada para la selección y dimensionamiento de aisladores", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Tabla 5.1 "Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional con relación a la clase SPS", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Tabla 5.2 "Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio como una función de los niveles de NSD del DDDG", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Tabla 5.3 "Ejemplos de ambientes típicos", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Tabla 8.1 "Principales ventajas (+) y desventajas (-) de los principales tipos de perfil", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/185c.
- Tabla 8.2 "Aplicabilidad de perfil para aisladores de porcelana y vidrio", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/185c.
- Tabla E.1 "Índice de contaminación del medidor de depósito de polvo direccional en relación a la clase de severidad de contaminación del sitio", Mace Technologies brochure, User Notes and Drawing of Directional Dust Deposit Gauge.
- Tabla E.2 "Corrección de la clase de severidad de contaminación del sitio como una función de los niveles DDDG NSD", Mace Technologies brochure, User Notes and Drawing of Directional Dust Deposit Gauge.

I.2 Figuras

- Figura 5.1 "Severidad de contaminación del sitio tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para el aislador espiga caperuza de referencia", IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.

- Figura 5.2 “Severidad de contaminación tipo A. Relación entre ESDD/NSDD y SPS para el aislador varilla larga de referencia”, IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Figura 5.3 “Severidad de contaminación tipo B. Relación entre el SES y SPS para aisladores de referencia o un monitor”, IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184.
- Figura 7.1 “USCD de referencia como una función de la clase SPS”, IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/185c.
- Figura C.2 “Limpieza de contaminantes de la superficie del aislador”, NGK Insulators, LTD., Measuring Procedure of Insulator Contamination Degree.
- Figura C.3 “Valor de b”, NGK Insulators, LTD., Measuring Procedure of Insulator Contamination Degree.
- Figura C.4 “Relación entre σ_{20} y S_a ”, NGK Insulators, LTD., Measuring Procedure of Insulator Contamination Degree.
- Figura C.5 “Procedimiento de medición NSDD”, NGK Insulators, LTD., Measuring Procedure of Insulator Contamination Degree.
- Figura E.1 “Medidores de depósito de polvo direccional como instalados (a), y dimensiones (b)”, Mace Technologies brochure, User Notes and Drawing of Directional Dust Deposit Gauge.
- Figura H.1 “Una representación esquemática varios métodos disponibles de mantenimiento y paliativos”, CIGRÉ, Taskforce 33-11-01, Guidelines for the Selection and Dimensioning of Insulators for Outdoor Applications.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cigré, "Guidelines for the selection and dimensioning of insulators for outdoor applications", CIGRÉ Taskforce 33-13-01, 2002.
- [2] ESKOM, "Description of insulators types", 2001.
- [3] Cigré, "Polluted insulators: A review of current knowledge", CIGRE Taskforce 33.04.01, 2001.
- [4] Mace Technologies, "Directional Dust Deposit Gauge Measurement Procedure", 2001.
- [5] International Electrotechnical Commission, "Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions", Publication 60815 – First edition, 1886.
- [6] IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/184, 2005.
- [7] IEC Technical Committee 36 and Work Group 11 – 60815, 36-WG11/TC36Seoul/185c, 2005.
- [8] W.Vosloo, "Parameters and approaches for the insulator selection and dimensioning", 36-WG11/Vosloo/Renard/65, 2005.
- [9] NGK Insulators, LTD., "Measuring Procedure of Insulator Contamination Degree", Report No. TF-10051, 1998.