

Determinación del largo de una cadena de aisladores

Pablo Medina Cofré

1. Requerimientos para una cadena de aisladores

El número de discos de una cadena de aisladores debe ser tal que la cadena brinde un adecuado nivel de aislación frente a:

- Contaminación.
- Sobretensiones temporarias.
- Sobretensiones de impulso de rayo.
- Sobretensiones de impulso de maniobra.

En particular, a frecuencia industrial la cadena debe brindar aislamiento para un nivel dado de contaminación, el cual es característico del lugar, y será esta solicitud la que defina el largo.

Para sistemas de 220 kV no es necesario verificar las sobretensiones de impulso de maniobra, ya que de acuerdo a las normas de coordinación de aislación, estas son relevantes para sistemas sobre 300 kV.

2. Determinación del número de discos aisladores

2.1 Determinación de aislamiento para un nivel de contaminación dado.

De acuerdo a la experiencia de los diseñadores de líneas, es el nivel de contaminación lo que habitualmente define el largo de una cadena en nuestro país.

La distancia de fuga mínima que se debe considerar para cada disco aislador en un ambiente de contaminación dado, está dada por una recomendación de la norma IEC 60071-2, citada en la norma IEEE Std. 1313.2-1999, la cual se resume en la Tabla 1:

**Tabla 1: Distancias de fuga mínimas recomendadas para diferentes grados de contaminación
(Fuente: IEEE Std 1313.2-1996)**

Pollution level	Examples of typical environments	Minimum specific creepage distance mm/kV
I Light	<ul style="list-style-type: none"> — Areas without industries and with low density of houses equipped with heating plants — Areas with low density of industries or houses but subjected to frequent winds and/or rainfall — Agriculture areas^a — Mountainous areas — All these areas shall be situated at least 10 km to 20 km from the sea and shall not be exposed to winds directly from the sea^b 	27.7
II Medium	<ul style="list-style-type: none"> — Areas with industries not producing particularly polluting smoke and/or with average density of houses equipped with heating plants — Areas with high density of houses and/or industries but subjected to frequent winds and/or rainfall — Areas exposed to wind from the sea but not too close to coasts (at least several kilometers distant)^b 	34.6
III Heavy	<ul style="list-style-type: none"> — Areas with high density of industries, and suburbs of large cities with high density of heating plants producing pollution — Areas close to the sea or in any case exposed to relatively strong winds from the sea^b 	43.3
IV Very heavy	<ul style="list-style-type: none"> — Areas generally of moderate extent, subjected to conductive dusts and to industrial smoke producing particularly thick conductive deposits — Areas generally of moderate extent, very close to the coast and exposed to sea spray or to very strong and polluting winds from the sea — Desert areas, characterized by no rain for long periods, exposed to strong winds carrying sand and salt, and subjected to regular condensation 	53.7

La Tabla 1 considera que las tensiones son fase-neutro, por lo que para trabajar con las tensiones fase-fase del sistema habrá que dividir sus valores por $\sqrt{3}$

Luego, el número de aisladores en una cadena está dado por:

$$N_a = V_{ff} \frac{D_f}{d_f}$$

Donde:

- D_{ff} : Dist. de fuga mínima recomendada según norma [mm/kV_{ff}]
- V_{ff} : Tensión nominal del sistema, [kV_{ff}]
- d_f : Distancia de fuga mínima de cada aislador [mm].

La Tabla 1 y la expresión anterior son válidos para instalaciones a nivel del mar, por lo que si se desea determinar la aislación a otra altura geográfica, será necesario considerar ciertas correcciones.

Como criterio, INGENDESA modifica la distancia de fuga "D_f", para un cierto valor de densidad relativa del aire "d" a través de la siguiente expresión:

$$D_f = \frac{D_{f0}}{\sqrt{d}} \left[\frac{mm}{kV} \right]$$

donde:

D_{f0} = distancia de fuga unitaria mínima según IEC 60071-2 [mm/kV].

d = densidad relativa del aire

$$d = \frac{3,92 \cdot b}{273 + t}$$

con

b = presión barométrica, [cm Hg].

t = temperatura ambiente, [°C].

La presión barométrica se relaciona con la altitud sobre el nivel del mar de acuerdo a la siguiente expresión

$$\log(b) = \log(76) - \frac{h}{18336}$$

Donde:

h = Altitud sobre el nivel del mar [m]

Finalmente, y aplicando un factor de seguridad de un 10% para dar cuenta de una sobretensión temporaria en el sistema, la cantidad de aisladores requeridos por cadena se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$N_a = 1,1 \cdot V_{ff} \frac{D_f}{d_f}$$

En cadenas de anclaje se utiliza un aislador adicional para mantener la distancia de fuga mínima del conjunto ante la ruptura de alguno de ellos.

Para determinar la tensión de frecuencia industrial soportada por los aisladores en condiciones de contaminación, se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{N_a d_f}{D_f}$$

2.2 Determinación de aislamiento para un nivel de impulso de rayo.

De acuerdo a norma IEEE Std. 1313.1, el BIL Estadístico de una aislación corresponde a la tensión, en términos de valor cresta, y de frente rápido, que es capaz de soportar sin "romperse" el 90% de las veces que es aplicada.

Por otra parte, se define el "Critical flashover voltage" (CFO) como la tensión, en términos de valor cresta, y de frente rápido, para la cual la aislación se rompe el 50% de las veces que es aplicada.

Asumiendo que la distribución probabilística de ruptura sigue una curva normal, se tendrá que:

$$BIL = CFO - 1,28 \sigma_f = CFO \left(1 - 1,28 \cdot \frac{\sigma_f}{CFO} \right)$$

Donde σ_f es la desviación estándar.

Finalmente, considerando una razón típica de $\frac{\sigma_f}{CFO} = 0,03$ según norma IEEE Std 1313.2-1999, se tendrá que:

$$CFO = \frac{BIL}{0,9616}$$

Las sobretensiones a las cuales están sometidas las cadenas de aisladores en una subestación difícilmente tendrán una forma de onda

como la del impulso de rayo normalizado, por lo que algún resguardo debe tomarse.

Se propone utilizar un margen de seguridad de 15% para dar cuenta de la situación antes expuesta, tal como se hace en el caso de aislaciones no autoregenerativas y en las distancias mínimas en subestaciones como lo indica la norma IEEE Std 1427-2006. Si bien la norma IEEE Std 1313.2-1999 indica que para aislaciones autoregenerativas no es generalmente recomendable tomar márgenes de seguridad, al no tener más información este es el único camino.

Dado lo anterior se tiene que:

$$\frac{CFO}{1,15} = \frac{BIL}{0,9616} \Rightarrow CFO = 1,1959 \cdot BIL$$

Con respecto a la corrección por altura, la norma IEEE Std 1313.2-1999 indica que en el caso de realizar una coordinación de aislación mediante impulso de rayo, la rigidez de las aislaciones disminuye como función lineal de la densidad relativa del aire, por lo que los BIL's deben ser divididos por este valor. Luego:

$$CFO = 1,1959 \cdot \frac{BIL}{\delta}$$

En conclusión, el problema de la elección de la cadena de aisladores se reduce a encontrar una de un largo tal que su CFO sea mayor o igual al valor calculado. Esto se resuelve consultando las tablas entregadas por los fabricantes, y utilizando el valor de CFO de polaridad negativa, que es el más restrictivo.

Finalmente, un comentario acerca de la contaminación: La norma IEEE 1313.2-1999 indica que debido a la corta duración del impulso de rayo, la rigidez dieléctrica de una aislación no se ve afectada por el grado de contaminación de la instalación. Dado lo anterior, no es necesario realizar correcciones para esto.

3. Ejemplo numérico

A continuación se determinará el largo de una cadena de aisladores para una instalación de 220 kV, ubicada a 2.000 m.s.n.m., y considerando un grado de contaminación III.

El disco aislador a considerar es el *UF70PB146* de SEDIVER, cuyas características relevantes son:

Tipo : Neblina
Diámetro : 280 mm.
Paso : 146 mm.
Distancia de fuga : 445 mm.

a) Determinación del largo de la cadena según grado de contaminación.

Presión barométrica : 68,15 [cm Hg]
Densidad relativa del aire : 0,90

Distancia de fuga unitaria min. corregida : 26,40 [mm]
Número de aisladores : 15
Distancia de fuga total de la cadena : 6675 [mm]

b) Determinación del largo de la cadena según BIL.

El máximo BIL normalizado para 220 kV es de 1050 kV_{cresta}. Luego:

$$CFO = 1,1959 \cdot \frac{1050}{0,9} = 1395 [kV_{cresta}]$$

Y de acuerdo al catálogo de SEDIVER, una cadena de 15 discos tiene un CFO de polaridad negativa de 1400 [kV_{cresta}]

En conclusión, para esta instalación será necesaria una cadena de 15 discos.