



Anexo-13

Cálculo de Aisladores



Tabla de Contenidos

1. Cálculo de Aisladores.....	5
1.1. Aisladores de suspensión	5
1.1.1. Criterio del grado de aislamiento.....	6
1.1.2. Verificación mecánica	7
1.2. Aisladores de retención.....	9
1.2.1. Verificación eléctrica.....	10
1.2.2. Verificación mecánica	12



Lista de Tablas

Tabla 1. Características Aislador Line Post.....	5
Tabla 2. Niveles normalizados de aislación	6
Tabla 3. Nivel de Contaminación, Línea de Fuga	7
Tabla 4. Características Aislador de Retención.....	10
Tabla 5. Niveles Normalizados de Aislación	11
Tabla 6. Nivel de Contaminación, Línea de Fuga	12



Lista de Figuras

Ilustración 1. disposición de aislador Line Post

8



1. Cálculo de Aisladores

En este capítulo se realice la selección de los aisladores a utilizar. Se elegirán aisladores line post de compuesto elastomérico para estructuras de suspensión y aisladores de retención poliméricos para estructuras de retención.

1.1. Aisladores de suspensión

Los aisladores line post cumplen la función de aislador y ménsula permitiendo construir estructuras cuyo cabezal es muy compacto. Se ahorran los costos de las ménsulas y los debidos a la constitución de la servidumbre de electroducto.

La configuración de las faldas es abierta, permitiendo que el viento y la lluvia limpien el aislador.

Para una tensión eficaz nominal de 33 kV se elige el aislador de silicona line post de la marca AVATOR, de las siguientes características:

Marca	AVATOR
Distancia de arco	273 mm
Distancia de fuga	555 mm
Resistencia mecánica de flexión	10000 N
Voltaje de línea	35 kV
Flameo de baja frecuencia en seco	115 kV
Flameo de baja frecuencia en húmedo	90 kV
Flameo crítico al impulso positivo	190 kV

Tabla 1. Características Aislador Line Post

Duración a frecuencia industrial es el valor eficaz de la tensión sinusoidal de frecuencia industrial que la aislación del equipamiento debe soportar cuando los ensayos se efectúan en condiciones específicas, y durante un tiempo que no excede generalmente 1 minuto.



Niveles normalizados de aislación para $1 \text{ kV} < U_m < 36 \text{ kV}$

Tensión nominal entre fases U_n (Valor eficaz)	Tensión máxima para materiales y equipos U_m (Valor eficaz)	Tensión nominal resistida de impulso atmosférico (cresta)		Tensión nominal resistida a frecuencia industrial de corta duración (Valor eficaz)
		Lista 1	Lista 2	
kV	kV	kV	kV	kV
3.3	3.6	20	40	10
6.6	7.2	40	60	20
13.2	14.5	75	95	38
33	36	145	170	70

Tabla 2. Niveles normalizados de aislación

El aislador elegido resiste una tensión de impulso atmosférico de 190 kV que es mayor al valor nominal indicado en lista 1 y lista 2. La elección entre lista 1 y lista 2 se describe en la norma IRAM 2211.

El aislador elegido resiste la tensión nominal a frecuencia industrial de corta duración de 70 kV.

1.1.1. Criterio del grado de aislamiento

El grado de aislamiento se define:

$$\text{Grado de aislamiento} = \frac{\text{Línea de fuga total del aislador}}{\text{Tensión máxima de servicio}}$$

Tensión máxima de servicio

Este grado de aislamiento debe ser mayor a la longitud mínima de línea de fuga dada por la siguiente tabla.

Relación entre niveles de contaminación y longitud de líneas de fuga



Nivel de contaminación	Longitud mínima nominal de línea de fuga específica (mm/kV ef)
Leve	16
Media	20
Fuerte	25
Muy fuerte	31

Tabla 3. Nivel de Contaminación, Línea de Fuga

Este proyecto abarca zonas con poca densidad de industrias o de casas pero sometidas a vientos limpios o lluvias frecuentes, por lo que corresponde un nivel de contaminación leve. La tabla I de IRAM 2211-II da una descripción del medio ambiente para determinar el nivel de contaminación.

En zonas muy levemente contaminadas se permite una longitud mínima de línea de fuga de 12 mm/kVef. Por lo tanto, el grado de aislamiento resulta ser:

Grado de aislamiento = 555 mm

$$\text{Grado de aislamiento} \quad \frac{555 \text{ mm}}{36 \text{ kV}} = 15.41 \frac{\text{mm}}{\text{kV}} > 12 \frac{\text{mm}}{\text{kV}}$$

1.1.2. Verificación mecánica

Estudiaremos un poste de suspensión en terreno con exposición C con vanos adyacentes de 100 m y conductores de 70 mm².

Se plantean dos hipótesis de cálculo:

Hipótesis normal

Se debe verificar que el cociente entre la carga electromecánica de rotura del aislador y la suma de los esfuerzos de viento, peso del conductor en los semivanos



adyacentes y accesorios (aisladores y grapería), concentrados, sea mayor que 3 para viento máximo.

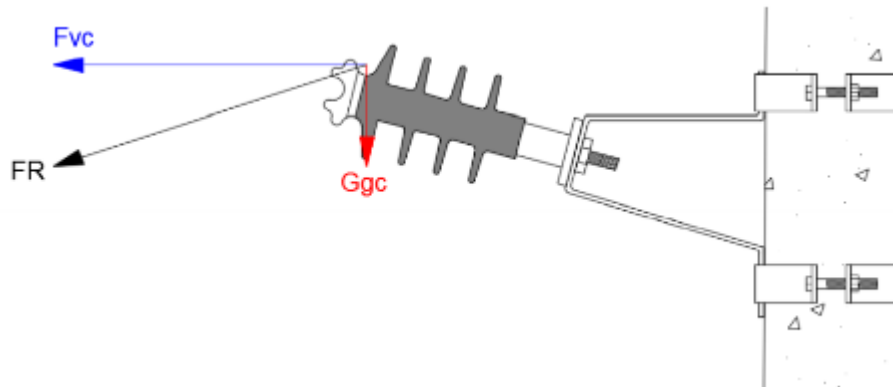


Ilustración 1. disposición de aislador Line Post

La fuerza del viento en dirección normal a la línea ($\psi = 0$) en exposición C sobre el conductor de 70 mm² en los semivanos adyacentes es:

$$F_{vc} := 100 \text{ daN}$$

El peso del conductor de 70 mm² en los semivanos adyacentes es:

$$G_{gc} := 2 \cdot g \cdot \frac{a}{2} \cdot S_c = G_{gc} := 2 \cdot 0.00269 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \cdot 50 \text{ m} \cdot 70 \text{ mm}^2 = 18.83 \text{ daN}$$

La fuerza resultante aplicada al aislador será:

$$F_R := \sqrt{F_{vc}^2 + G_{gc}^2} = \sqrt{(100 \text{ daN})^2 + (18.83 \text{ daN})^2} = 101.757 \text{ daN}$$

Verificación mecánica

$$\frac{1000 \text{ daN}}{101.76 \text{ daN}} = 9.827 > 3$$



Hipótesis extraordinaria

Se debe verificar que la relación entre la carga electromecánica de rotura y la suma de los esfuerzos considerando el 50% del tiro máximo del conductor, sin influencia del viento sea mayor que 2.

El 50% del tiro máximo de un conductor de 70 mm² sin influencia del viento es:

$$T_{II} := 0.5 \cdot \sigma_{II} \cdot S_c = 0.5 \cdot 8.67 \frac{daN}{mm^2} \cdot 70 mm^2 = 303.45 daN$$

Verificación mecánica

$$\frac{1000 daN}{303.45 daN} = 3.295 > 2$$

1.2. Aisladores de retención

Los aisladores poliméricos sustituyen, con un solo elemento, las cadenas de muchos elementos de aisladores. Se construyen con una barra central de fibra de vidrio embebida en resina epoxídica. Alrededor una cubierta de polímero elástica le da resistencia a los agentes externos como el vandalismo y los rayos UV.

Para una tensión eficaz nominal de 33 kV se elige el aislador de retención de la marca Balestro modelo IPB 34/GO/CMN/NP/8, de las siguientes características:



Marca	Balestro	
Modelo	IPB 34/GO/CMN/NP/8	
N° de aletas	8	
Longitud (mm)	480	
Distancia de fuga (mm)	810	
Distancia de arco seco (mm)	355	
Carga Mecánica Nominal (kN)	50, 70, 80	
Peso Neto (kg)	1,5	
Tensión soportable de impulso atmosférico (kV pico)	190	
Tensión soportable con frecuencia industrial (kV RMS)	Seco	115
	Lluvia	110
Contorneo crítico de impulso (kV RMS)	Positivo	235
	Negativo	295
Tensión disruptiva con frecuencia industrial lluvia (kV RMS)	130	
RIV (Prueba de tensión de Radio Interferencia) (µV)	<10	

Tabla 4. Características Aislador de Retención

El paso siguiente es realizar la verificación de aislación eléctrica y la verificación mecánica.

1.2.1. Verificación eléctrica

El cálculo eléctrico de la aislación se realiza teniendo en cuenta la norma IRAM 2211 de “Coordinación de la aislación”, a partir de un criterio de ensayo de tensión y un criterio de grado de aislamiento.

1.2.1.1. Criterio del ensayo de tensión

Para los equipos cuya tensión máxima para el equipamiento es menor que 300 kV, el nivel de aislación nominal lo define: las tensiones resistidas nominales a los impulsos de origen atmosférico y la tensión resistida nominal de corta duración de frecuencia industrial. Ambas tensiones deben ser menores a la determinada por el fabricante.

La tensión resistida nominal a los impulsos de origen atmosférico es el valor de cresta de la tensión resistida a los impulsos de origen atmosférico. La tensión de impulso



atmosférico normalizado es de una duración de frente de onda de $1.2 \mu s$ y una duración de la semiamplitud (cola de onda) de $50 \mu s$. La tensión resistida de corta duración a frecuencia industrial es el valor eficaz de la tensión sinusoidal de frecuencia industrial que la aislación del equipamiento debe soportar cuando los ensayos se efectúan en condiciones específicas, y durante un tiempo que no excede generalmente 1 minuto.

Niveles normalizados de aislación para $1 \text{ kV} < U_m < 36 \text{ kV}$

Tensión nominal entre fases U_n (Valor eficaz)	Tensión máxima para materiales y equipos U_m (Valor eficaz)	Tensión nominal resistida de impulso atmosférico (cresta)		Tensión nominal resistida a frecuencia industrial de corta duración (Valor eficaz)
		Lista 1	Lista 2	
kV	kV	kV	kV	kV
3.3	3.6	20	40	10
6.6	7.2	40	60	20
13.2	14.5	75	95	38
33	36	145	170	70

Tabla 5. Niveles Normalizados de Aislación

El aislador elegido resiste una tensión de impulso atmosférico de 190 kV que es mayor al valor nominal indicado en lista 1 y lista 2. La elección entre lista 1 y lista 2 se describe en la norma IRAM 2211.

El aislador elegido resiste la tensión nominal a frecuencia industrial de corta duración de 70 kV, puesto que resiste hasta 110 kV en húmedo.

1.2.1.2. Criterio del grado de aislamiento

El grado de aislamiento se define:

$$\text{Grado de aislamiento} = \frac{\text{Línea de fuga total del aislador}}{\text{Tensión máxima de servicio}}$$



Este grado de aislamiento debe ser mayor a la longitud mínima de línea de fuga dada por la siguiente tabla.

Relación entre niveles de contaminación y longitud de líneas de fuga

Nivel de contaminación	Longitud mínima nominal de línea de fuga específica (mm/kV ef)
Leve	16
Media	20
Fuerte	25
Muy fuerte	31

Tabla 6. Nivel de Contaminación, Línea de Fuga

Este proyecto abarca zonas con poca densidad de industrias o de casas pero sometidas a vientos limpios o lluvias frecuentes, por lo que corresponde un nivel de contaminación leve. La tabla I de IRAM 2211-II da una descripción del medio ambiente para determinar el nivel de contaminación.

En zonas muy levemente contaminadas se permite una longitud mínima de línea de fuga de 12 mm/kVef. Por lo tanto, el grado de aislamiento resulta ser:

$$\text{Grado de Aislamiento} = \frac{810 \text{ mm}}{36 \text{ kV}} = 22.5 \frac{\text{mm}}{\text{kV}} > 12 \frac{\text{mm}}{\text{kV}}$$

1.2.2. Verificación mecánica

Estudiaremos un poste de retención con vanos adyacentes de 100 m y conductores de 70 mm².



Se plantean dos hipótesis de cálculo:

Hipótesis normal

Se debe verificar que la relación entre la carga electromecánica directa y los esfuerzos incluyendo el tiro máximo del conductor, el peso de la cadena de aisladores y el peso del conductor en el semivano adyacente sea mayor a 3 (sin viento).

El peso del conductor de 70 en el semivano adyacente es:

$$G_{gc} = g \cdot \frac{a}{2} \cdot S_c = G_{gc} := 0.00269 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \cdot 50 m \cdot 70 mm^2 = 9.415 daN$$

EL peso del aislador es $G_{ga} := 1.5 daN$

El tiro máximo de un conductor de 70 mm^2 sin influencia del viento es:

$$T_{11} = \sigma_{11} \cdot S_c \quad T_{11} := 8.67 \frac{daN}{mm^2} \cdot 70 mm^2 = 606.9 daN$$

La fuerza resultante aplicada al aislador será:

$$F_R = \sqrt{T_{11}^2 + (G_{gc} + G_{ga})^2}$$

$$F_R := \sqrt{(606.9 daN)^2 + (9.415 daN + 1.5 daN)^2} = 606.998 daN$$

Verificación mecánica

$$\frac{5000 daN}{606.998 daN} = 8.237 > 3$$



Hipótesis extraordinaria

Se debe verificar que la relación entre la carga electromecánica directa y los esfuerzos incluyendo el tiro máximo del conductor, el peso de la cadena de aisladores y el peso del conductor en el semivano adyacente sea mayor a 2 (sin viento).

El peso del conductor de 70mm² en el semi vano adyacente es:

$$G_{gc} := g \cdot \frac{a}{2} \cdot S_c = G_{gc} := 0.00269 \frac{daN}{m \cdot mm^2} \cdot 50 m \cdot 70 mm^2 = 9.415 daN$$

EL peso del aislador es $G_{ga} := 1.5 daN$

El tiro máximo de un conductor de 70 mm² sin influencia del viento es:

$$T_{11} = \sigma_{11} \cdot S_c \quad T_{11} := 8.67 \frac{daN}{mm^2} \cdot 70 mm^2 = 606.9 daN$$

La fuerza resultante aplicada al aislador será:

$$F_R = \sqrt{T_{11}^2 + (G_{gc} + G_{ga})^2}$$

$$F_R := \sqrt{(606.9 daN)^2 + (9.415 daN + 1.5 daN)^2} = 606.998 daN$$

Verificación mecánica

$$\frac{5000 daN}{606.998 daN} = 8.237 > 2$$