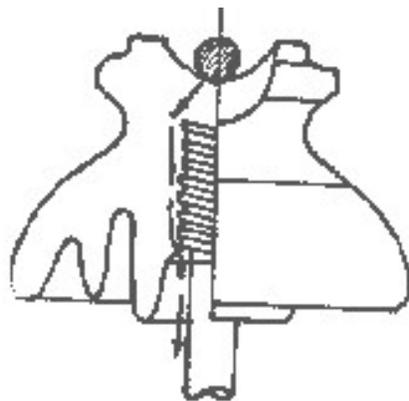


LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

AISLADORES

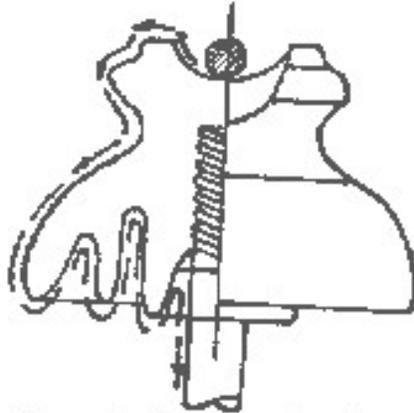
Ing. Carlos Huayllasco Montalva

CONDUCTIVIDAD DE LA MASA



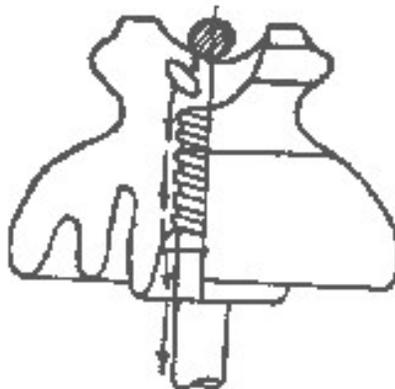
**Corriente por Conduc-
tividad de la masa**

CONDUCTIVIDAD SUPERFICIAL



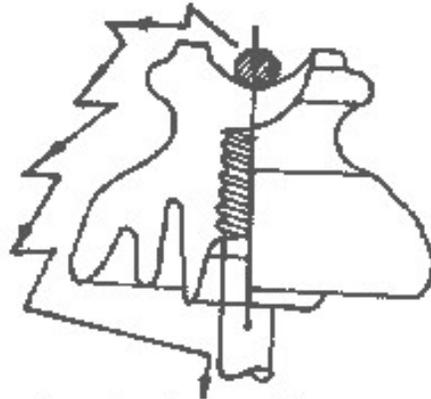
**Corriente por Conduc-
tividad Superficial**

PERFORACIÓN DE LA MASA DEL AISLADOR



**Corriente por Perfora-
ción de la masa**

DESCARGA DISRUPTIVA A TRAVÉS DEL AIRE



**Corriente por Descarga
Disruptiva**

FUNCIONES

- **Mecánica:**
 - Sirven de soporte del conductor a la estructura (mantiene unido el conductor a la estructura)
- **Eléctrica**
 - Aísla eléctricamente al conductor de la estructura

MATERIALES UTILIZADOS

- Porcelana:
 - Constituida de caolín y cuarzo de primera calidad
 - Lleva barniz semiconductor
 - Existen de resistencia graduada, esmalte que aprovecha la corriente superficial para elevar la temperatura

MATERIALES UTILIZADOS

- Vidrio:
 - Mezcla de ácido silícico con óxidos de calcio, sodio, bario, aluminio, etc.
 - Es calcino alcalino, duro, de elevada resistencia mecánica y estabilidad para cambios de temperatura
 - Se rompe cuando aparecen grietas en el

MATERIALES UTILIZADOS

- **Material Sintético:**
 - Fibra de vidrio, resina epóxica, se fabrican en el Perú para Baja Tensión
- **Esteatita:**
 - Soporta grandes esfuerzos mecánicos, aproximadamente el doble que la porcelana
- **Caucho Siliconado:**
 - Bajo requerimiento de mantenimiento
 - Períodos de limpieza cada 4 ó 5 años, comparados con 1 año para otros materiales

TIPOS

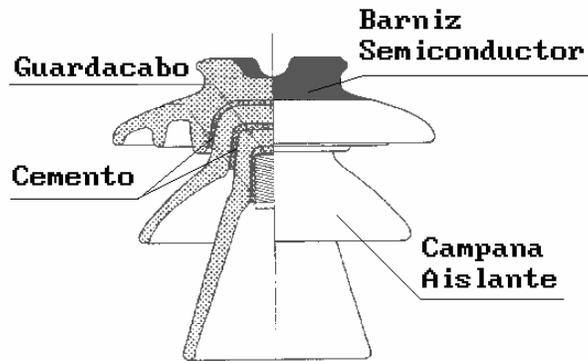
Rígidos

Tipo Pin (10 a 13,8 kV)



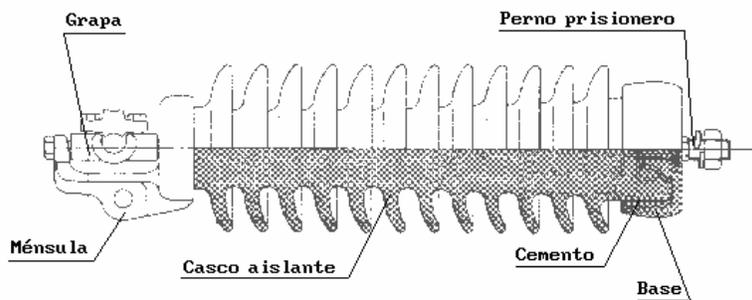
TIPOS

Rígidos
Tipo Pin (34,4 kV)

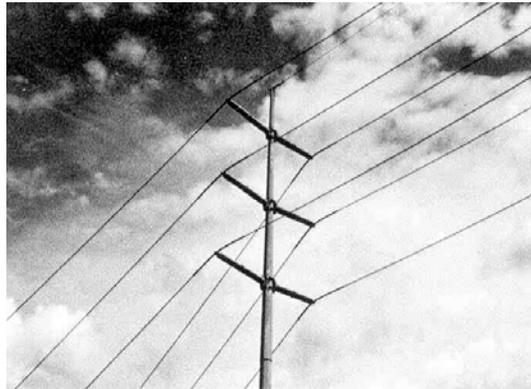
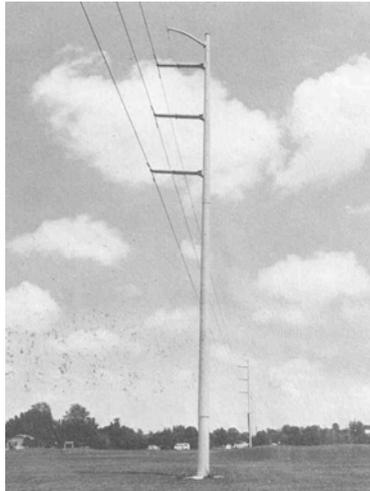


TIPOS

Rígidos
Line Post (cualquier tensión)



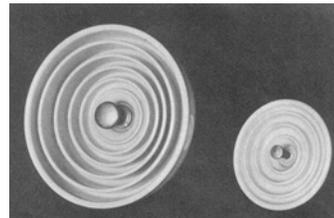
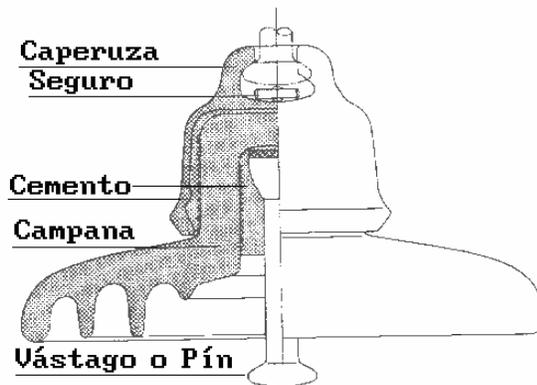
AISLADOR LINE POST



TIPOS

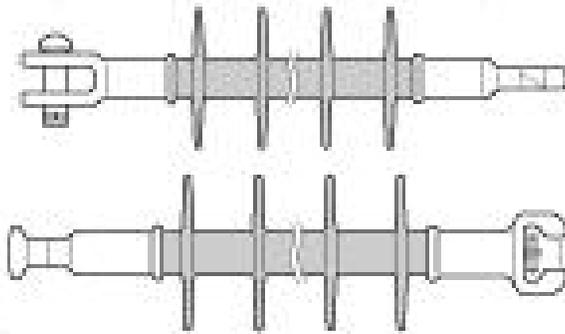
Suspendidos

Tipo Suspensión (Bola y Casquillo)



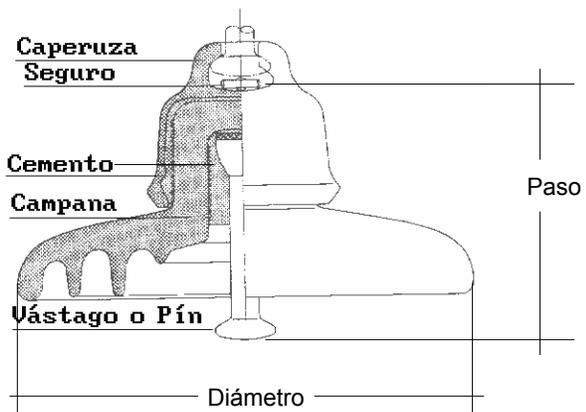
TIPOS

Suspendidos
Poliméricos



TIPOS

Suspendidos

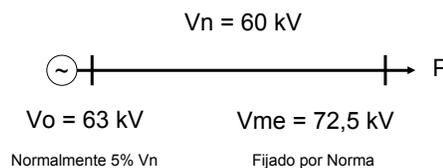


CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- **Tensión Nominal**
Valor nominal asignado a un Sistema Eléctrico y al cual se refiere las características de funcionamiento del sistema
- **Tensión Máxima de Operación (o del Sistema)**
Tensión máxima que se presenta en un instante en un punto cualquiera del Sistema en condiciones de operación normal. No incluye transitorios (arranque de motores), ni variaciones temporales debidas a condiciones anormales (fallas, desconexiones súbitas de grandes cargas)

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- **Tensión Máxima del Equipo (Tensión más elevada)**
Tensión máxima para la cual se especifica el equipo en lo referente al aislamiento y otras características que pueden estar referidas a esta tensión máxima en recomendaciones para cada equipo en particular
Valor máximo de la “Tensión máxima de operación” para la cual el equipo puede ser utilizado.



CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- **Tensión más elevada:**

Es la tensión que puede soportar el equipo bajo condiciones nominales, descartando las ocurrencias de fallas.

Se han fijado tensiones topes para el equipo (transformadores, interruptores, etc.) con base a las tensiones más elevadas del sistema.

Son operación normal la aceleración de generadores, salida de líneas, etc.

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

Tensión más elevada

Tensión Nominal	Tensión más elevada
V _n (kV)	V _{m e} (kV)
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20	24
30-33	36
45	52
60-66	72,5
132-138	145
220	245
380	420

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

Nivel de Aislamiento

Serie I (Práctica en Europa y otros países)

Tensión M. áx. del Equipo kV (efcaz)	Tensión No Disruptiva al Impulso (onda 1,2/50µs) kV (pico)		Tensión No Disruptiva a frecuencia de Servicio kV (efcaz)
	LISTA 1	LISTA 2	
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	95	125	50
36	145	170	70
52		250	95
72,5		325	140
123	{	450 550	}
145		550 650	
170		650 750	
245		900 1050	
420		1550 —	

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

Nivel de Aislamiento

Serie II (Práctica en USA, Canadá y otros países)

Tensión M. áx. del Equipo kV (efcaz)	Tensión No Disruptiva al Impulso (onda 1,2/50µs) kV (pico)		Tensión No Disruptiva a frecuencia de Servicio kV (efcaz)
	500kVA y men.	Más de 500kVA	
4,40	60	75	19
13,20	95	110	34
13,97	95	110	34
14,52	95	110	34
26,40	150		50
36,50	200		70

Fuente: C.N.E. y Norma IEC-71

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- Contaminación:

Debilita el comportamiento eléctrico de la cadena de aisladores, provoca aumento de la corriente superficial.

Se mide por equivalencia con concentración de sal por área de superficie del aislador (mg/cm^2) esto está relacionado con la cantidad de electrolito que provoca las dificultades de comportamiento del aislador.

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- Contaminación:

El grado de contaminación se obtiene exponiendo por mucho tiempo los aisladores (6 meses), luego se mide el grado de contaminación como equivalente salino.

Se limita la contaminación con aisladores antifog (antineblina) o con aisladores de resistencia graduada (incrementa temperatura con la corriente superficial).

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- Contaminación:

Se limita la contaminación con una adecuada limpieza, con lavado en caliente o a trapo, se emplea grasa silicona que atenúa los electrolitos que se forman en la superficie.

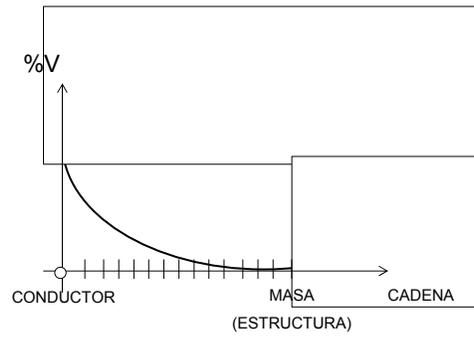
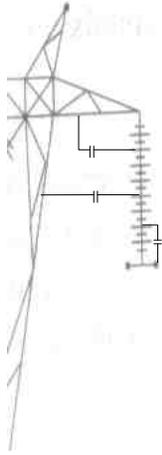
CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- Repartición del Potencial en la Cadena:

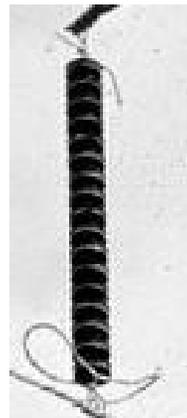
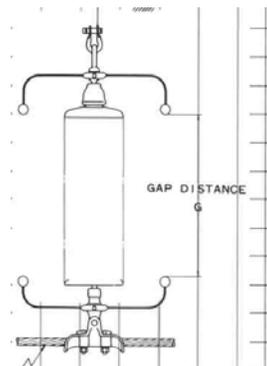
Actúan como divisores de tensión.

Para distribuir mejor el potencial en la cadena se instalan accesorios (cuernos de arco), que además protegen a la cadena contra descargas atmosféricas que no están bajo control del diseñador.

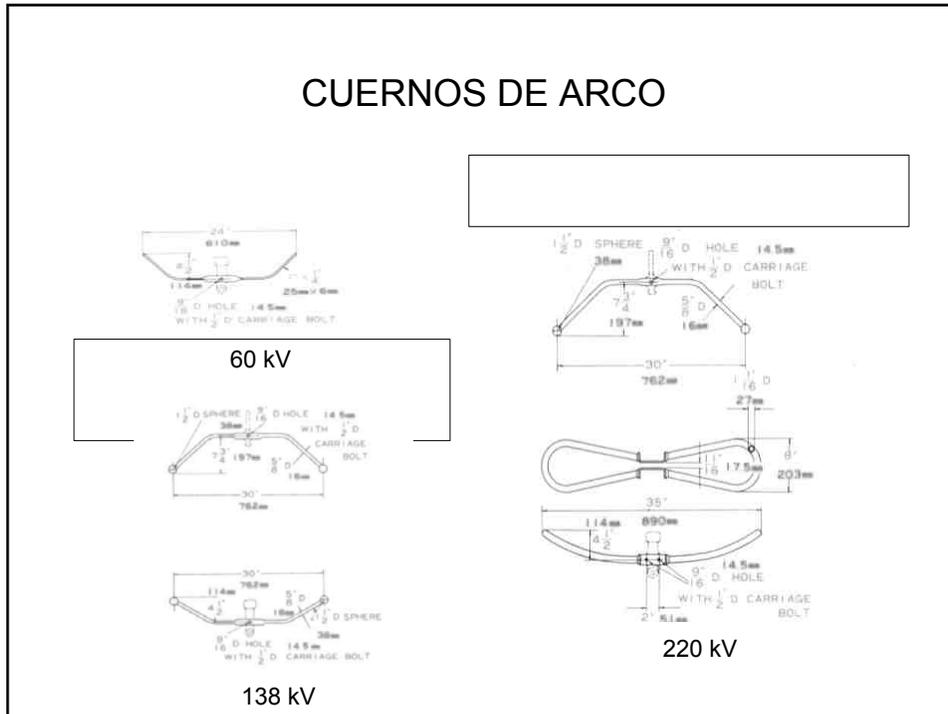
REPARTICIÓN DEL POTENCIAL EN LA CADENA



CUERNOS DE ARCO



CUERNOS DE ARCO



CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

•Longitud de Fuga Específica:

Son los cm/kV que se necesita para trabajar en una determinada condición o ambiente.

ZONA	cm /kV
1) Zonas agrícolas forestales limpias de contaminación	1,7 - 2,2
2) Industrial más o menos próxima al litoral	2,2 - 2,5
3) Industrial y próxima al mar	2,5 - 3,2
4) Industrial, próxima al mar con fábricas de productos químicos, centrales térmicas, etc.	más de 3,2

CRITERIOS PARA CÁLCULO DEL AISLAMIENTO

- Corrección del Nivel Básico de Aislamiento:
El NBA está dado a nivel del mar, se corrige para altitud mayor a 1 000 m.s.n.m.

$$f_r = 1 + \frac{h - 1000}{100} \times 0,0125$$

h = altitud sobre el nivel del mar

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por longitud de fuga específica:

$$\frac{l \times N}{V_{me}} = \frac{cm}{kV}$$

l = long. De línea de fuga de cada aislador
N = número aisladores en la cadena
V_{me} = tensión más elevada, según tensión nominal
cm/kV = según tabla anterior

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones de maniobra:

$$N_m = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{m\acute{a}x} x f_m \right) x f_r x \frac{1}{E_m}$$

N_m = número de aisladores por sobretensiones de maniobra
 f_r = factor de corrección por altitud o densidad del aire
 E_m = tensión de cada aislador frente a una determinada contaminación (tensión de sostenimiento)

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones de maniobra:

Contaminación mg/cm ²	Em (kV sostenimiento)	
	Antifog	Normal
0,020	60,0	47,0
0,030	52,0	39,0
0,040	48,0	36,0
0,050	46,0	33,0
0,075	42,5	30,0
0,100	40,0	27,5
0,200	36,5	23,5
0,300	34,0	22,0
0,400	33,0	21,0
0,500	32,0	20,0

kV	60	110-138	175	220	275
F_m	2,7	2,5	2	1,8	1,7

F_m = Factor de Maniobra

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones a la frecuencia de servicio (o industrial):

$$N_n = \left(\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} x f_n \right) x f_r x \frac{1}{E_n}$$

f_n = factor de corrección
 E_n = tensión de sostenimiento de cada aislador
 f_r = factor de corrección por altitud

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones a la frecuencia de servicio (o industrial):

Contaminación mg/cm ²	En (kV por elemento)	
	Antifog	Normal
0,020	18,6	17,9
0,030	18,0	16,8
0,040	15,8	12,2
0,050	15,0	11,6
0,075	13,7	10,7
0,100	12,9	9,9
0,200	11,4	8,8
0,300	10,4	8,0
0,400	9,9	7,6
0,500	9,5	7,2

F_n=Factor de corrección, varía entre 1,05 a 1,15; se suele usar F_n=1,1

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- **Número de aisladores por sobretensiones por impulso:**

Una cadena no se diseña para soportar descargas, lo máximo que soporta es una tensión máxima que corresponde al Nivel Básico de Aislamiento

Las descargas atmosféricas superan el Nivel Básico de Aislamiento, produciéndose un contorno inverso (descarga de la estructura al conductor)

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- **Número de aisladores por sobretensiones por impulso:**

El contorno inverso se controla por el diseño apropiado de la puesta a tierra (resistencia baja a fin de no perforar los aisladores o por lo menos se produzca en una cantidad mínima)

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones por impulso:

$$\text{Tensión por contorneo} = V_{\text{impulso}} \times f_r \times (1 + 1,3\sigma)$$

σ = desviación estándar \approx 6%

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

Vm e kV	Tensión de Sostenimiento para onda tipo impulso
72,5	350
145	650 Sin conexión 550 a tierra 440 Neutro a tierra

CÁLCULO DEL NÚMERO DE AISLADORES EN LA CADENA – Cálculo Eléctrico

- Número de aisladores por sobretensiones por impulso:

Tensión Crítica al Impulso por Número de Aisladores								
CA-50IMC								
Número de aisladores	5	6	7	8	9	10	11	12
Positiva (kV)	525	610	695	780	860	945	1 025	1 100
Negativa (kV)	495	585	670	760	845	930	1 015	1 100
CA-825ME								
Número de aisladores	5	6	7	8	9	10	11	12
Positiva (kV)	570	665	750	835	920	1 005	1 090	1 175
Negativa (kV)	520	605	690	775	860	950	1 040	1 125

CÁLCULO DE AISLADORES Cálculo Mecánico

- Efectuado el cálculo eléctrico se realiza el cálculo mecánico, para comprobar el cumplimiento de los Coeficientes de Seguridad
- Según Normas VDE:
“Los aisladores utilizados para la suspensión de conductores, deben resistir una carga electromecánica que corresponda como mínimo al cuádruple del peso propio de los conductores, aisladores y accesorios, y la acción del viento”

CÁLCULO DE AISLADORES Cálculo Mecánico

“Los aisladores utilizados para la retención deben resistir una carga electromecánica que corresponda como mínimo al cuádruple de la tracción máxima del conductor”



Suspensión



Retención

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 1

Calcular los aisladores para una línea a 60 kV ubicada en la zona de Chancay, con un grado de contaminación de 0,5 mg/cm².

1. Averiguamos $V_{m.e.} = 72,5$ kV (para 60 kV nominal)

Se emplea aislador antifog: $l = 43,2$ cm

Zona industrial próxima al mar: 2,7 cm/kV

$$\frac{l \times N}{V_{me}} = \frac{cm}{kV}$$

$$\frac{43,2 \times N}{72,5} = 2,7 \text{ cm/kV}$$

$$N = 4,53 \approx 5$$

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 1

2. Sobretensiones de Maniobra

$$N_m = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{m\acute{a}x} x f_m \right) x f_r x \frac{1}{E_m}$$

$$N_m = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} 72,5 x 2,7 \right) x 1 x \frac{1}{32}$$

$$N = 4,99 \approx 5$$

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 1

3. Sobretensiones a Frecuencia Industrial

$$N_n = \left(\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} x f_n \right) x f_r x \frac{1}{E_n}$$

$$N_n = \left(\frac{72,5}{\sqrt{3}} x 1,1 \right) x 1 x \frac{1}{9,5}$$

$$N = 4,85 \approx 5$$

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 1

4. Sobretensiones por Impulso

$$Tensión..por..contorneo = V_{impulso} x f_r x (1 + 1,3\sigma)$$

$$Tensión..por..contorneo = 350 x 1 x (1 + 1,3 x 0,06) = 377,3 kV$$

de catálogo se observa que corresponde a 4 aisladores

La cadena utilizará cinco (5) aisladores

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 2

Calcular los aisladores para una línea a 60 kV ubicada en Juliaca, en una zona libre de contaminación, 4 000 m.s.n.m., 0,02 mg/cm².

1. Averiguamos $V_{m.e.} = 72,5$ kV (para 60 kV nominal)

Se emplea aislador normal: $l = 28$ cm

Zona limpia de contaminación: $1,7$ cm/kV

$$\frac{l x N}{V_{me}} = \frac{cm}{kV}$$

$$\frac{28 x N}{72,5} = 1,7 cm / kV$$

$$N = 4,4 \approx 5$$

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 2

2. Sobretensiones de Maniobra

$$f_r = 1 + \frac{h-1000}{100} \times 0,0125$$

$$f_r = 1 + \frac{4000-1000}{100} \times 0,0125 = 1,375$$

$$N_m = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{m\acute{a}x} x f_m \right) x f_r x \frac{1}{E_m}$$

$$N_m = \left(\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} 72,5 x 2,7 \right) x 1,375 x \frac{1}{47}$$

$$N = 4,67 \approx 5$$

CÁLCULO DE AISLADORES Ejemplo 2

3. Sobretensiones a Frecuencia Industrial

$$N_n = \left(\frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} x f_n \right) x f_r x \frac{1}{E_n}$$

$$N_n = \left(\frac{72,5}{\sqrt{3}} x 1,1 \right) x 1,375 x \frac{1}{17,9}$$

$$N = 3,54 \approx 4$$

CÁLCULO DE AISLADORES

Ejemplo 2

4. Sobretensiones por Impulso

$$Tensión..por..contorneo = V_{impulso} x f_r x (1 + 1,3\sigma)$$

$$Tensión..por..contorneo = 350 x 1,375 x (1 + 1,3 x 0,06) = 518,8kV$$

de catálogo se observa que corresponde a 6 aisladores

Es necesario utilizar un aislador más para evitar el
contorneo inverso y bajar la puesta a tierra

La cadena utilizará siete (7) aisladores