

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

1. Valores de entrada del sistema

1. Tensión Nominal kV = $U_N = 33 \text{ kV}$
2. Tensión máxima de servicio = $U_s = 36 \text{ kV}$
3. Tensión Base = Tensión Maxima de servicio $\cdot (\sqrt{2}/\sqrt{3}) = U_s \cdot (\sqrt{2}/\sqrt{3}) = 36 \cdot (\sqrt{2}/\sqrt{3}) = 29,4 \text{ kV}$
4. Altura sobre nivel del mar $H = 2250 \text{ m.s.n.m}$
5. Características Pararrayos.

Nivel de protección a impulso de maniobra $U_{ps} 38,2 \text{ kV}$

Nivel de protección a impulso por descarga atmosférica $U_{pl} 71,4 \text{ kV}$

6. PASO 1: Cálculo de las tensiones y sobretensiones representativas Urp.6.1. Urp sobrevoltajes temporales

6.1.1 Fallas a Tierra. Se hace uso de un factor de falla a tierra $k=1,4$.

CONEXIÓN DEL NEUTRO	K
Neutro sólidamente puesto a tierra	1,4
Neutro no sólidamente puesto a tierra	1,7
Neutro aislado	1,9

Valores representativos del factor de falla a tierra

$$U_{rp} (F-T) : k \times U_s / \sqrt{3} = 1,4 \times 36 / \sqrt{3} \text{ kV} = 29,1 \text{ kV}$$

$$U_{rp} (F-F) : k \times U_s = 1,4 \times 36 \text{ kV} = 50,4 \text{ kV}$$

6.1.2 Rechazo de carga, sobretensiones temporales fase-fase y fase-tierra, factor 1,4.

$$U_{rp} (F-T) : k \times U_s / \sqrt{3} = 1,4 \times 36 / \sqrt{3} \text{ kV} = 29,1 \text{ kV}$$

$$U_{rp} (F-F) : k \times U_s = 1,4 \times 36 \text{ kV} = 50,4 \text{ kV}$$

6.2. **Urp para sobrevoltajes de frente lento (MANIOBRA)**

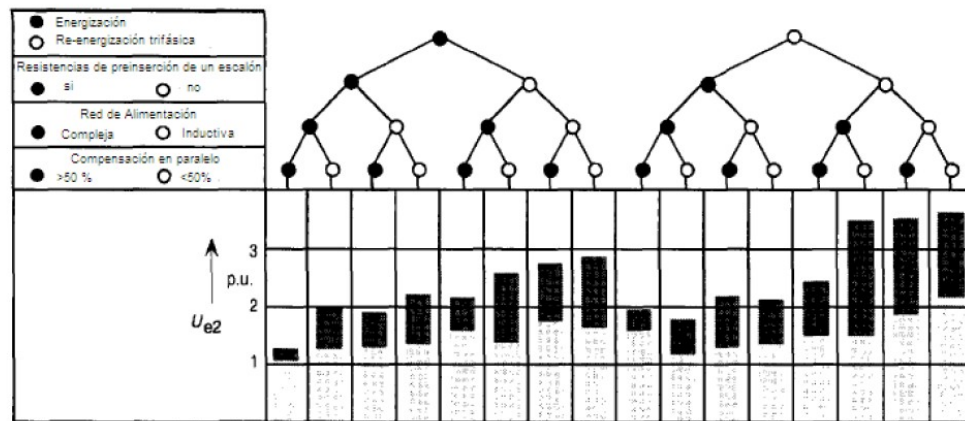


Figura 1 IEC 60071-2

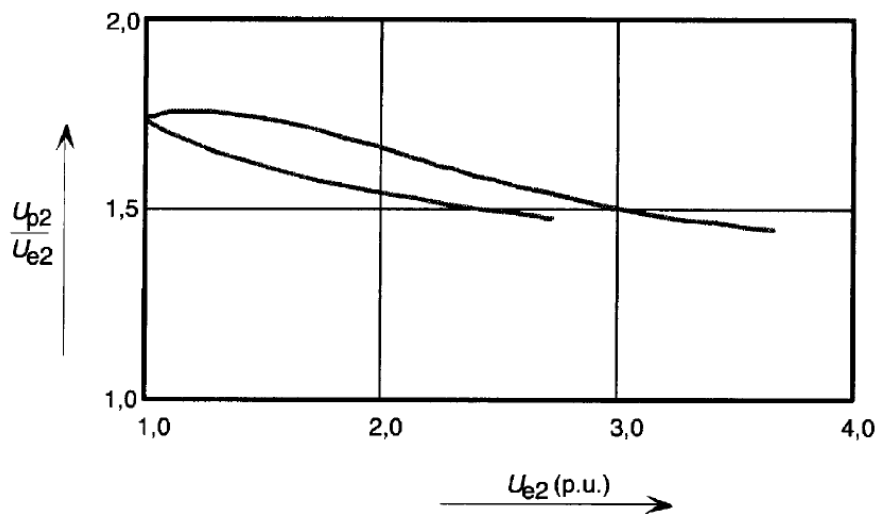


Figura 2 IEC 60071-2

Relación entre los sobrevoltajes fase-fase y los valores de 2 por 100 de sobrevoltajes de frente lento. (a) Re-energización trifásica. (b) Energización [5].

6.2.1. Equipos en la línea de entrada Para los Equipos en la Entrada de la Línea, con energización desde el extremo remoto, se han encontrado unas tensiones de:

Ue2: 3 p.u y Up2: 4,5 p.u. A partir de estos valores y según las ecuaciones siguientes, encontramos los valores de Uet y Upt

$$U_{et} = 1.25 \cdot U_{e2} - 0.25$$

$$U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43$$

$$U_{et}: 1,25 \times (3 \times 29,4) - 0,25: 110 \text{ kV}$$

$$U_{pt}: 1,25 \times (4,5 \times 29,4) - 0,43: 164,9 \text{ kV}$$

6.2.2. Resto de equipos. Para el caso de energización o reenergización desde el extremo local, se han encontrado las siguientes sobretensiones, sobre el resto de Equipos:

U_{e2}: 1,9 p.u y U_{p2}: 2,9 p.u. A partir de estos valores y según las ecuaciones siguientes, encontramos los valores de U_{et} y U_{pt}

$$U_{et} = 1.25 \cdot U_{e2} - 0.25$$
$$U_{pt} = 1.25 \cdot U_{p2} - 0.43$$

U_{et}: 1,25 x (1,9 x 29,4) - 0,25: 69,57 kV U_{pt}: 1,25 x (2,9 x 29,4) - 0,43: 106,14 kV

7. **PASO 2: Cálculo de tensiones soportadas de coordinación (U_{cw}) (MANIOBRA)**

7.1. Sobrevoltajes temporales

- Sobretensión temporal fase-tierra (U_{cw}):
- Sobretensión temporal fase-fase (U_{cw}):

U _{rp} (F-T) = 29,1 kV

U _{rp} (F-F) = 50,4 kV

En este caso, las tensiones soportadas de coordinación son las mismas que para las sobretensiones representativas.

$$K_c = 1$$

De aquí entonces:

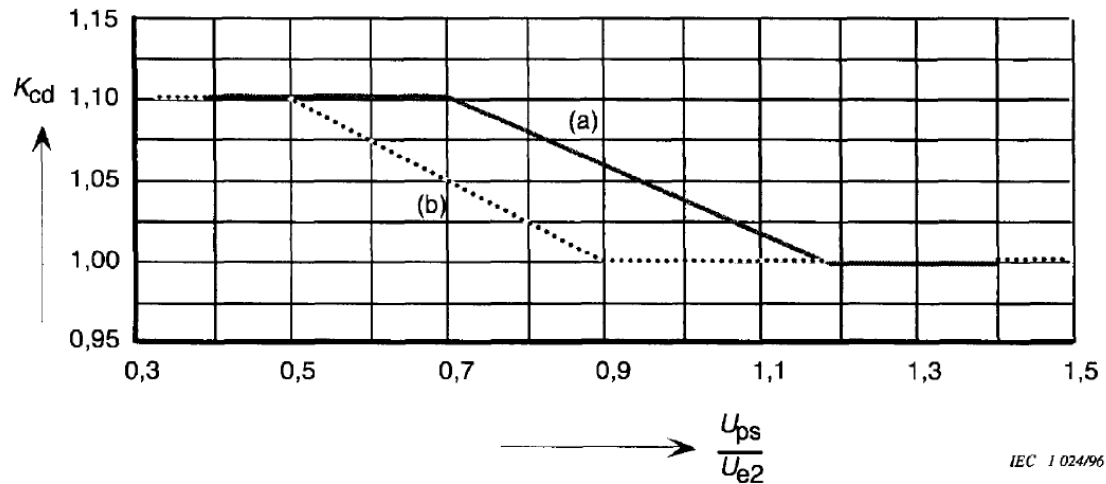
U _{cw} (F-T) : k _c x U _{rp} = 1,0 x 29,1 kV = 29,1 kV
--

U _{cw} (F-F) : k _c x U _{rp} = 1,0 x 50,4 kV = 50,4 kV
--

7.2. Sobretensiones de frente lento

U_{ps} = Nivel de protección del DPS a impulso de maniobra (datos de placa pararrayos)

U_{pl} = Nivel de protección a impulso por descarga atmosférica (datos de placa del pararrayos)



a): coordination factor applied to the surge arrester protective level to obtain the co-ordination withstand voltage phase-to-earth (applies also to longitudinal insulation);

b): co-ordination factor applied to twice the surge arrester protective level to obtain the co-ordination withstand voltage phase-to-phase

Para equipos en la línea de entrada:

Fase – Tierra

U_{ps}/U_{e2} , $38,2/3 \times 29,4$: 0,433 y K_{cd} :1,1

- Fase-Fase:

$2 U_{ps}/U_{p2}$, $2 \times 38,2/4,5 \times 29,4$: 0,577 y K_{cd} : 1,0875

Para otros equipos:

- Fase-Tierra:

U_{ps}/U_{e2} , $38,2/1,9 \times 29,4$: 0,684 y K_{cd} :1,1

- Fase-Fase:

$2 U_{ps}/U_{p2}$, $2 \times 38,2/2,9 \times 29,4$: 0,896 y K_{cd} :1,0

Los resultados de multiplicar K_{cd} x U_{rp} :

Para equipos en la línea de entrada:

- Sobretensión de frente lento fase-tierra (U_{cw}): $1,1 \times 38,2$: 42,02 kV
- Sobretensión de frente lento fase-fase (U_{cw}): $1,0875 \times 2 \times 38,2$: 83,085 kV

Para otros equipos:

- Sobretensión de frente lento fase-tierra (U_{cw}): $1,1 \times 38,2$: 42,02 kV
- Sobretensión de frente lento fase-fase (U_{cw}): $1,0 \times 76,2$ = 76,2 kV

Asignando un factor de coordinación Kcd que depende de los valores Ups y Ue2, antes calculados y relacionados en la figura 6 de la norma IEC 60071-2.

7.3. Sobretensiones de frente rápido (DESCARGA)

Aplicando la formulación de la norma IEC 60071-2, Anexo F:

$$V_{CW} = V_{PL} + \frac{A}{n} * \frac{L}{L_{SP} + L_A}$$

Donde:

U_{PL} = Nivel de protección del DPS al impulso :71,4 kV.

L = Distancia de separación [m]

A = Factor que describe el comportamiento de la línea de transmisión en la subestación ante un rayo: 4500 kV

$n = 2$.

L_{SP} = Vano típico de la línea aérea : 100 mts.

L_A = Sección de la línea que produce un número de salidas igual a la tasa de falla aceptable, $L_A = R_a / R_{km}$ [m]: 0,3333 mts

Donde:

R_a = Índice de fallas [fallas/año]= 1/300 año

R_{km} = Tasa de fallas aceptable = 1/100 km-año

Para efectos del cálculo de la sobretensión de frente rápido, aislamiento externo:

$L = L_E = 15$ mts Distancia entre el descargador de sobretensión y el equipo a proteger con aislamiento externo

El impulso por descarga atmosférica para aislamiento externo, será de:
 V_{CW} :407,8 kV

Para efectos del cálculo de la sobretensión de frente rápido, aislamiento interno:

$L = L_i = 5$ mts Distancia entre el descargador de sobretensión y el equipo a proteger con aislamiento interno

El impulso por descarga atmosférica para aislamiento interno, será de:
 V_{CW} :183,5 kV

Tipo de Línea	A (kV)
Linea Distribución: (descargas fase - fase)	
- Con cruceta aterrizada (descargas a tierra en baja tensión)	900
- Lineas con postes en madera (descargas a tierra en alta tensión)	2700
Lineas de Transmisión (Descargas ca tierra fase simple)	
- Conductor simple	4500
- Doble conductor en haz	7000
- Cuatro conductores en haz	11000
- Seis y ocho conductores en haz	17000

8. PASO 3: Cálculo de la tensión soporte requerida (Urw)

La tensión soportada específica se estima aplicando el factor de seguridad Ks.

- Para aislamiento interno: Ks = 1,15
- Para aislamiento externo: Ks = 1,05

Para los equipos con aislamiento externo también se aplica un factor de corrección atmosférico Ka que se calcula con la siguiente ecuación:
Donde:

$$K_a = e^{\left(\frac{m \cdot H}{8150}\right)}$$

where

H is the altitude above sea level (in metres) and the value of m is as follows:

m = 1,0 for co-ordination lightning impulse withstand voltages;

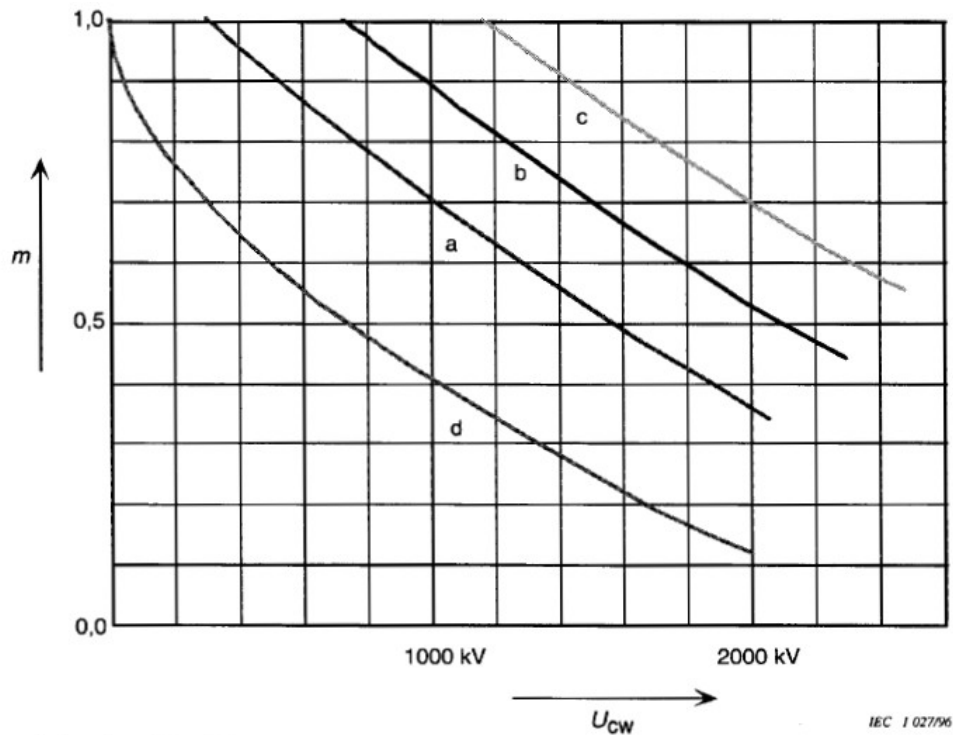
m according to figure 9 for co-ordination switching impulse withstand voltages;

m = 1,0 for short-duration power-frequency withstand voltages of air-clearances and clean insulators.

NOTE - The exponent *m* depends on various parameters including minimum discharge path which is generally unknown at the specification stage. However, for insulation co-ordination purposes, the conservative estimates of *m* shown in figure 9 may be used for the correction of co-ordination switching impulse withstand voltages. The determination of the exponent *m* is based on IEC 60-1 in which the given relations are obtained from measurements at altitudes up to 2000 m. In addition, for all types of insulation response, conservative gap factor values have been used (refer to annex G).

For polluted insulators, the value of the exponent *m* is tentative. For the purposes of the long duration test and, if required, the short-duration power-frequency withstand voltage of polluted insulators, ***m* may be as low as 0,5** for normal insulators and as high as 0,8 for anti-fog design

$$k_a = 1,3179$$



- a) phase-to-earth insulation
- b) longitudinal insulation
- c) phase-to-phase insulation
- d) rod-plane gap (reference gap)

For voltages consisting of two components, the voltage value is the sum of the components.

Figure 9 – Dependence of exponent m on the co-ordination switching impulse withstand voltage

8.1. Sobrevoltajes temporales

Para aislamiento externo:

- Sobretensión temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretensión temporal fase-fase (U_{rw}):

Para aislamiento interno:

- Sobretensión temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretensión temporal fase-fase (U_{rw}):

8.2. Sobretensiones de frente lento

Debido a que m depende del voltaje U_{cw} , calculado anteriormente. A continuación se muestran los valores correspondientes para el caso fase tierra y fase-fase:

Para equipos en la línea de entrada:

Para aislamiento externo:

- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):

Para el resto de equipos:

Para aislamiento externo

- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretencción temporal fase-fase (U_{rw}):

Para aislamiento interno:

- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretencción temporal fase-fase (U_{rw}):

8.3. Sobretencciones de frente rápido

Para aislamiento externo:

- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretencción temporal fase-fase (U_{rw}):

Para aislamiento interno:

- Sobretencción temporal fase-tierra (U_{rw}):
- Sobretencción temporal fase-fase (U_{rw}):

9. PASO EXTRA: Conversión a voltajes de frecuencia industrial (SDW) y (LIW)

Para esta conversión se hace uso de la tabla 2 de la norma IEC 60071-2.

Insulation	Short-duration power-frequency withstand voltage ¹⁾	Lightning impulse withstand voltage
External insulation		
– air clearances and clean insulators, dry:		
– phase-to-earth	$0,6 + U_{rw} / 8500$	$1,05 + U_{rw} / 6000$
– phase-to-phase	$0,6 + U_{rw} / 12700$	$1,05 + U_{rw} / 9000$
– clean insulators, wet	0,6	1,3
Internal insulation		
– GIS	0,7	1,25
– liquid-immersed insulation	0,5	1,10
– solid insulation	0,5	1,00
NOTE – U_{rw} is the required switching impulse withstand voltage in kV.		
¹⁾ The test conversion factors include a factor of $1/\sqrt{2}$ to convert from peak to r.m.s value.		

9.1. Conversión a tensión soportada a frecuencia industrial (SDW)

Para equipos en la línea de entrada:

- Aislamiento externo:

- Fase-Tierra SDW

- Fase-Fase SDW

Para otros equipos:

- Aislamiento externo:

- Fase-Tierra SDW

- Fase-Fase SDW

- Aislamiento interno:

- Fase-Tierra SDW

- Fase-Fase SDW

4.2. Conversión a tensión soportada a impulso atmosférico (LIW)

Para equipos en la línea de entrada:

- Aislamiento externo:

- Fase-Tierra LIW

- Fase-Fase LIW

Para otros equipos:

- Aislamiento externo:

- Fase-Tierra LIW

- Fase-Fase LIW

- Aislamiento interno:

- Fase-Tierra LIW

- Fase-Fase LIW

10. PASO 4: Elección de las tensiones soportadas normalizadas (Uw).

- Para aislamiento externo:

- Nivel de aislamiento a impulso atmosférico:

- Nivel de aislamiento a frecuencia industrial:

- Para aislamiento interno:

- Nivel de aislamiento a impulso atmosférico:

- Nivel de aislamiento a frecuencia industrial:

Manteniendo unas distancias mínimas para un nivel de aislamiento a impulso atmosférico de: