

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

SEMINARIO

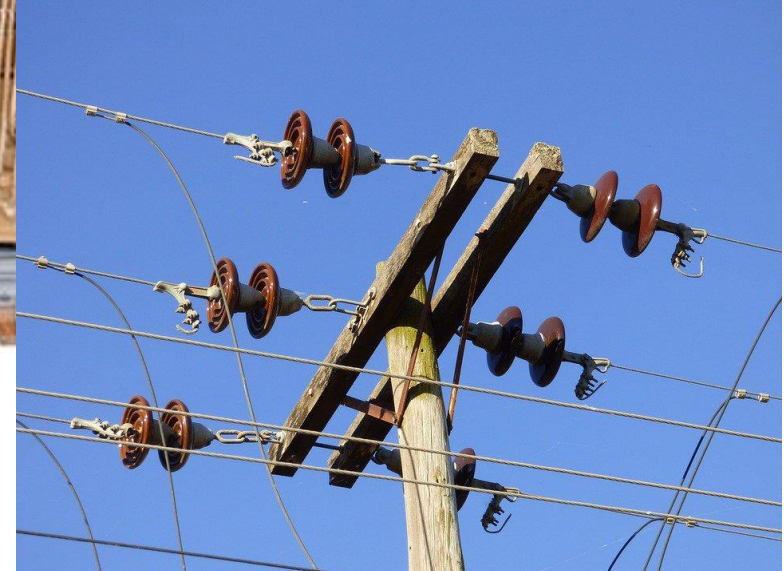
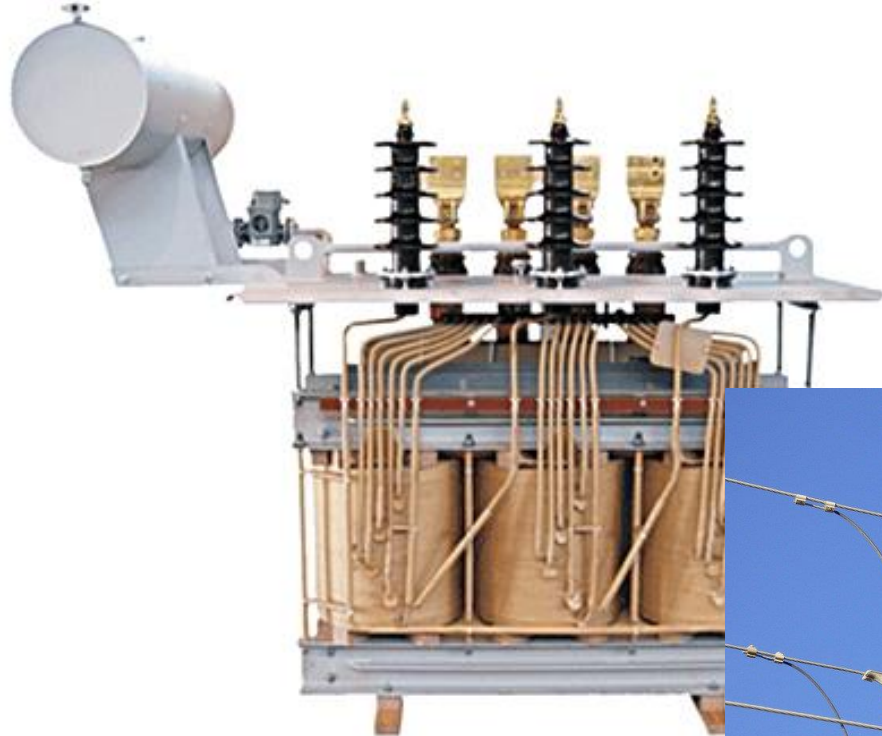
TEORICO - PRACTICO



Ing. Julio Acuña A.

Coordinación de aislamiento

SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP)



<https://www.eoi.es/blogs/merme/asimetria-peninsular-conexiones-internacionales/>

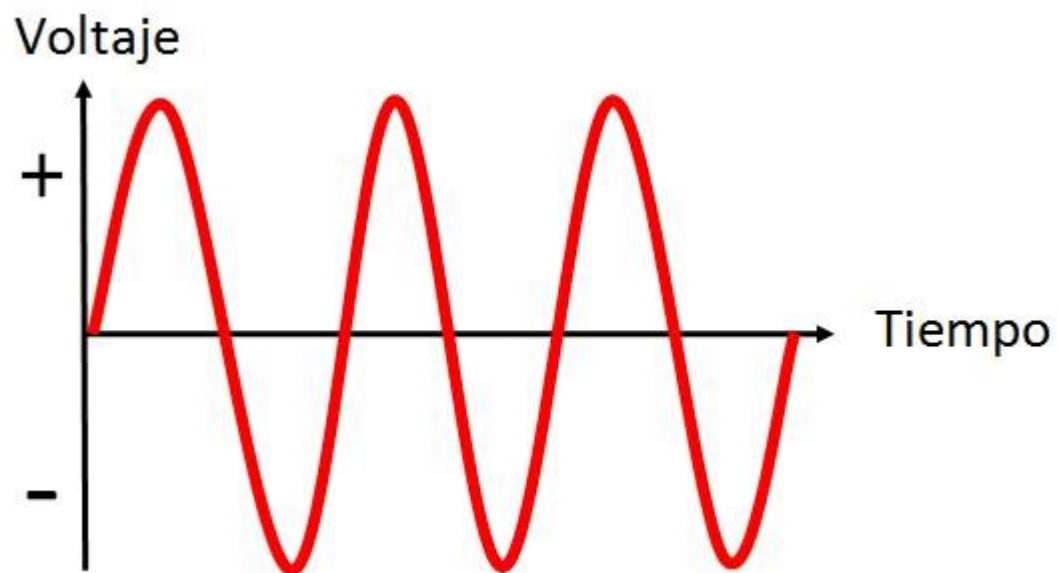
Compensación Reactiva en Sistemas Industriales

© Inel - Diapositiva 2
inel@inelinc.com



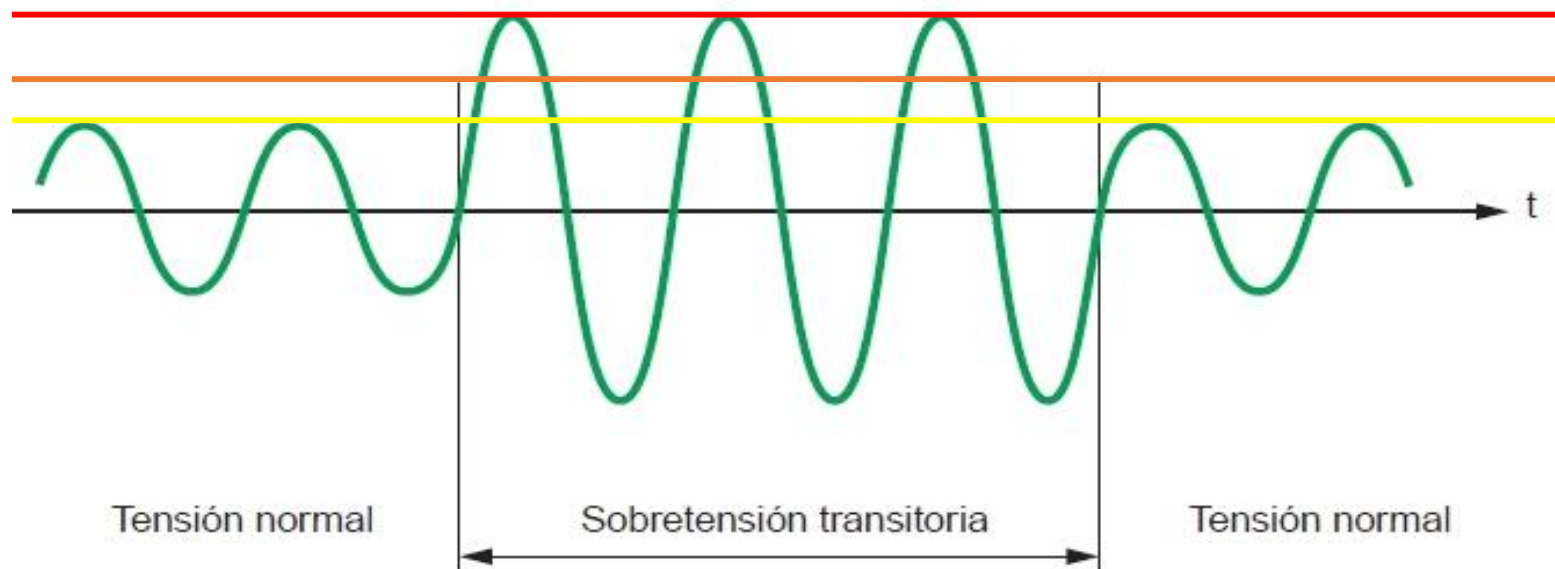
GENERALIDADES

TENSIÓN ELÉCTRICA



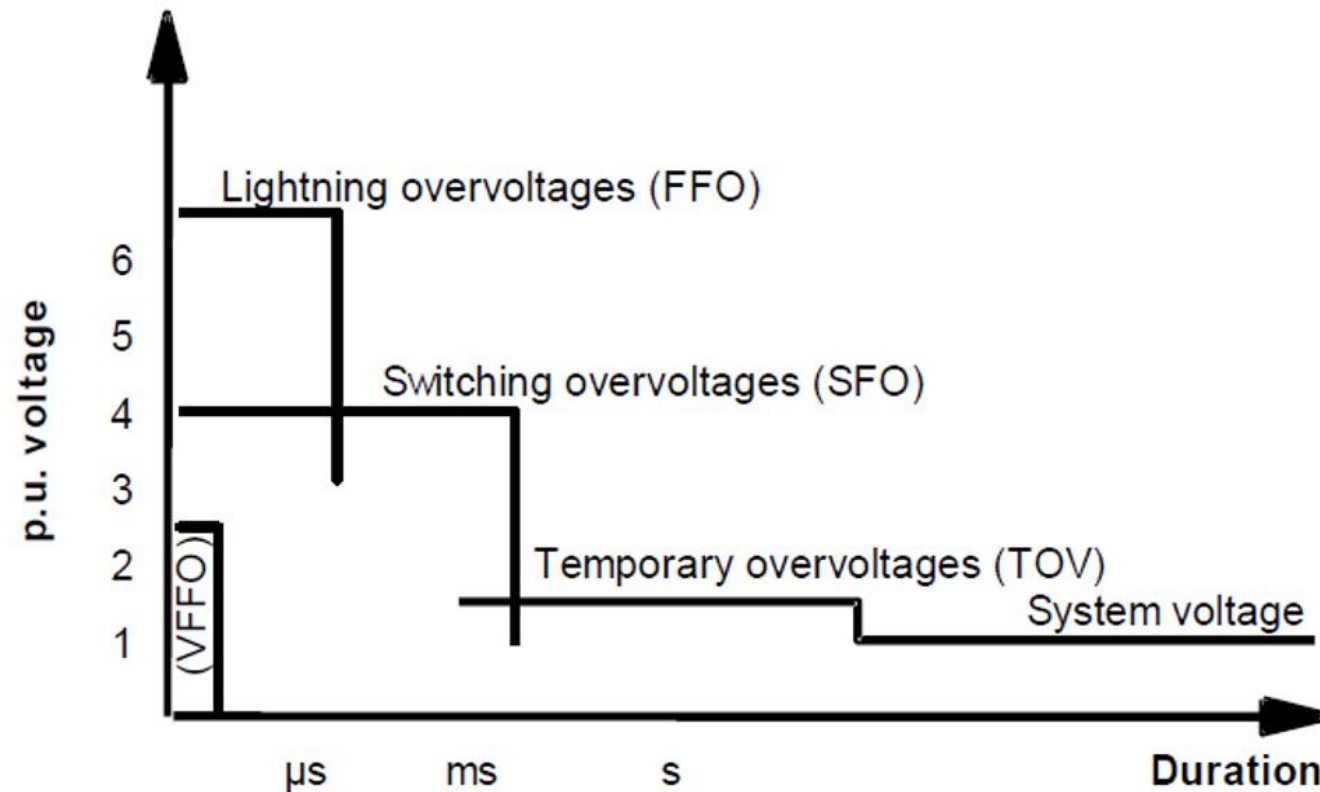
GENERALIDADES

SOBRETENSIÓN



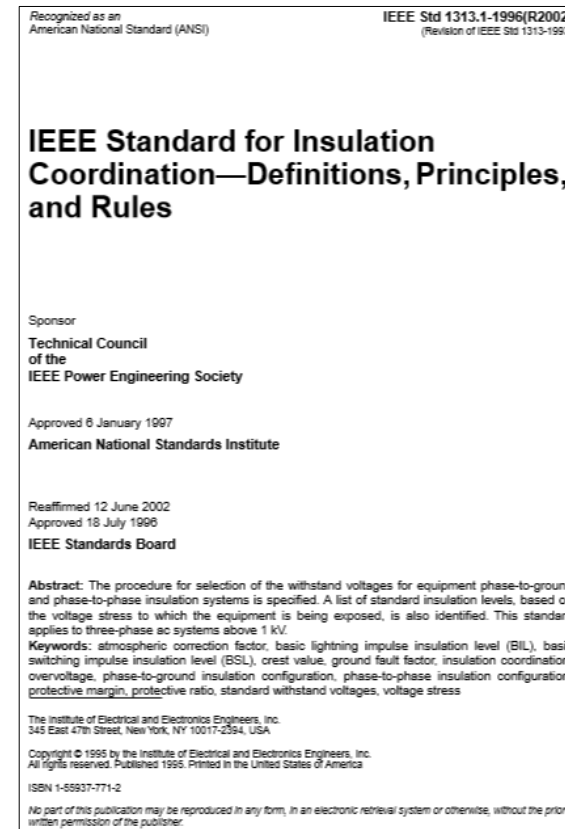
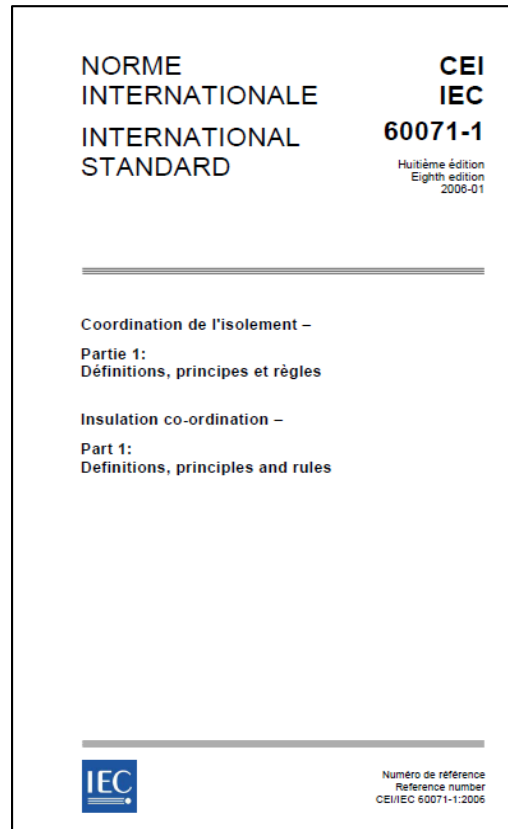
GENERALIDADES

SENSIBILIDAD DE LAS SOBRETENSIONES



NORMAS

IEC - IEEE

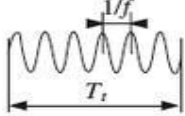
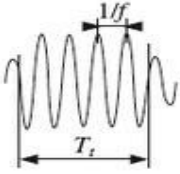
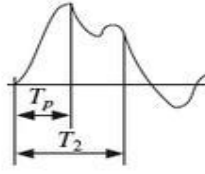
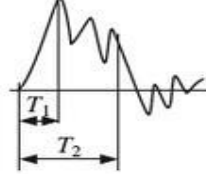
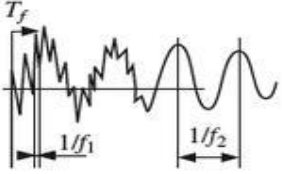
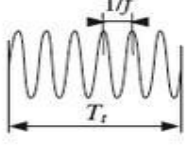
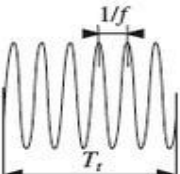
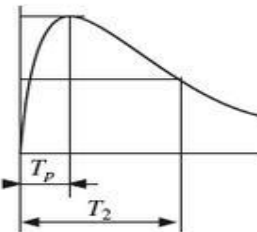
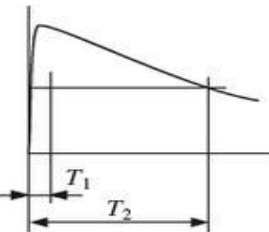


- **IEC 60071**
- **IEEE Std 1313.1-1996**
- **IEEE TP-133-0**
- **IEEE Standard 1410**
- **IEEE Std. C62.11**



GENERALIDADES EN LAS NORMAS

IEC 60071 - 1

TIPO	Baja frecuencia		Transitorio		
	Continua	Temporal	Frente lento	Frente rápido	Frente muy rápido
Formas de onda de tensiones y sobretensiones					
Gamas de formas de onda de tensiones y sobretensiones	$f = 50 \text{ Hz o } 60 \text{ Hz}$ $T_i \geq 3.600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_i \leq 3.600 \text{ s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5.000 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Formas de onda de tensión normalizada					*)
	$f = 50 \text{ Hz o } 60 \text{ Hz}$ T_i *)	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_i = 60 \text{ s}$	$T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2.500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	
Ensayo de tensión soportada normalizada	*)	Ensayo a frecuencia industrial de corta duración	Ensayo impulso tipo maniobra	Ensayo impulso tipo rayo	*)



GENERALIDADES EN LAS NORMAS

IEEE Std 1313 - 1

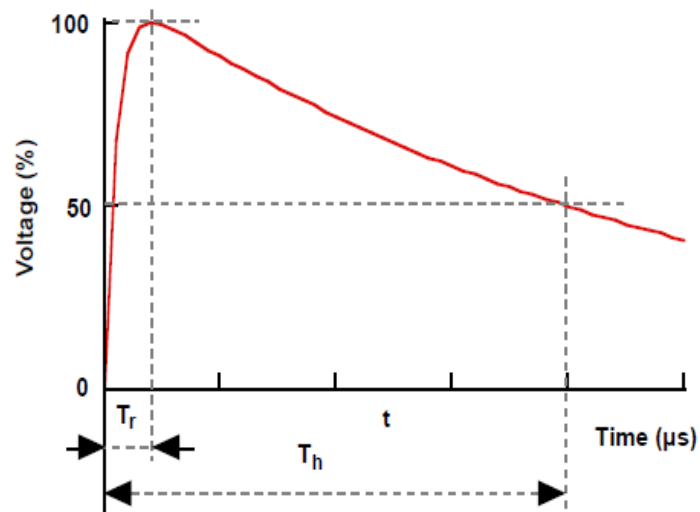


Figure 1—Lightning overvoltages ($T_r = 0.1\text{--}20\text{ }\mu\text{s}$, $T_h < 300\text{ }\mu\text{s}$, where T_r is the time-to-crest value, T_h is the time-to-half value)

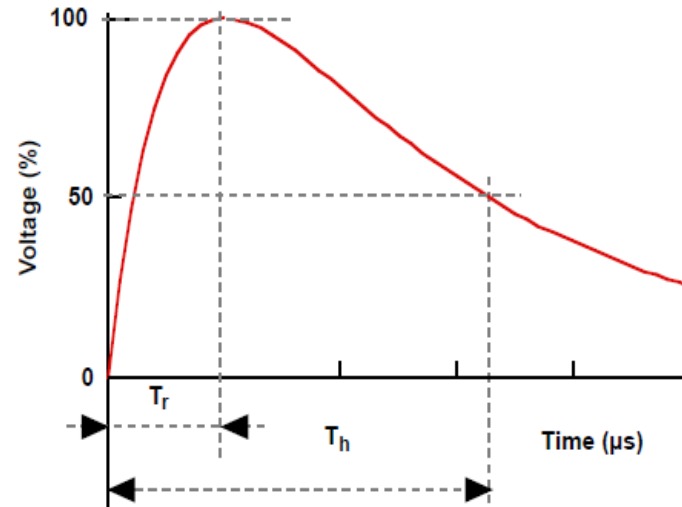


Figure 2—Switching overvoltages ($T_r = 20\text{--}5000\text{ }\mu\text{s}$, $T_h < 20\text{ }000\text{ }\mu\text{s}$, where T_r is the time-to-crest value, T_h is the time-to-half value)

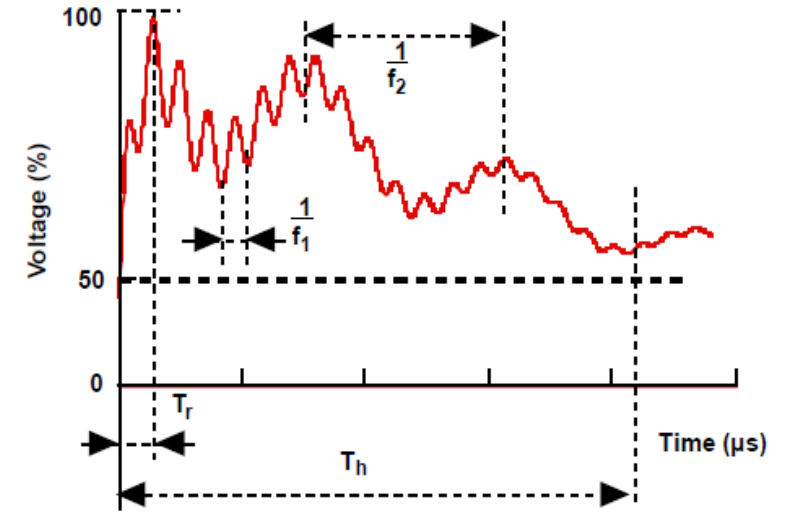


Figure 3—Typical very fast front short-duration overvoltages ($T_r = 3\text{--}100\text{ }\mu\text{s}$, $T_h < 3\text{ ms}$, $f_1 = 0.3\text{--}100\text{ MHz}$, $f_2 = 30\text{--}300\text{ kHz}$ where T_r is the time-to-crest, T_h is the time-to-half value, f_1 and f_2 are the frequencies of the superimposed oscillation; f_1 and f_2 are defined in the figure)



IEC 60071 - 1

Table 2 – Standard insulation levels for range I ($1\text{ kV} < U_m \leq 245\text{ kV}$)

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 60
12	28	60 75 95
17,5 *	38	75 95
24	50	95 125 145
36	70	145 170
52 *	95	250
72,5	140	325
100 *	(150) 185	(380) 450
123	(185) 230	(450) 550
145	(185) 230 275	(450) 550 650
170 *	(230) 275 325	(550) 650 750
245	(275) (325) 360 395 460	(650) (750) 850 950 1050

IEEE 1313.1

Table 1—Standard withstand voltages for Class I
($15\text{ kV} < V_m \leq 242\text{ kV}$)

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Low-frequency, short-duration withstand voltage ^a (phase-to-ground) kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, crest
15	34	95 110
26.2	50	150
36.2	70	200
48.3	95	250
72.5	95 140	250 350
121	140 185 230	350 450 550
145	230 275 325	450 550 650
169	230 275 325	550 650 750
242	275 325 360 395 480	650 750 825 900 975 1050



Table 3 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245$ kV)				
Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 °	750	750	1,50	850
				950
	750	850	1,50	950
				1050
362	850	850	1,50	950
				1050
	850	950	1,50	1050
				1175
420	850	850	1,60	1050
				1175
	950	950	1,50	1175
				1300
	950	1050	1,50	1300
				1425
550	950	950	1,70	1175
				1300
	950	1050	1,60	1300
				1425
	950	1175	1,50	1425
				1550
800	1175	1300	1,70	1675
				1800
	1175	1425	1,70	1800
				1950
	1175 1300	1550	1,60	1950
				2100

Table 2—Standard withstand voltages for Class II ($V_m > 242$ kV)

Maximum system voltage (phase-to-phase) V_m kV, rms	Basic lightning impulse insulation level (phase-to-ground) BIL kV, peak	Basic switching impulse insulation level ^a (phase-to-ground) BSL kV, peak
362	900	650
	975	750
	1050	825
	1175	900
	1300	975
550	1300	1175
	1425	1300
	1550	1425
	1675	1550
	1800	
800	1800	1300
	1925	1425
	2050	1550
		1675
		1800



NATURALEZA Y CLASIFICACIÓN DE LAS SOBRETENSIONES

IEC 60071 - 1

- Sobretensiones permanentes a Frecuencia Industrial.
- Sobretensiones temporales a Frecuencia Industrial.
- Sobretensiones de frente lento o de Maniobra.
- Sobretensiones de frente rápido o de tipo Atmosférico.

IEEE Std 1313 - 1

- Continuous power frequency voltajes
- Temporary overvoltages
- Switching overvoltages
- Lightning overvoltages



GENERALIDADES EN LAS NORMAS

IEEE Std 1313 - 2

- I. Continuous power frequency voltajes**
- II. Temporary overvoltages**
 - ✓ Fault overvoltages
 - ✓ Load rejection overvoltages
 - ✓ Resonance and ferroresonance overvoltages
 - ✓ Transformer energization caused overvoltages
 - ✓ Limitation of temporary overvoltages by surge arresters
- III. Switching overvoltages**
 - ✓ Line energization and reclosing overvoltages
 - ✓ Typical phase-ground switching overvoltages
 - ✓ Typical phase-phase switching overvoltages
 - ✓ Longitudinal switching overvoltages
 - ✓ Fault overvoltages
 - ✓ Load rejection overvoltages
 - ✓ Inductive and capacitive currents switching overvoltages
- IV. Lightning overvoltages**
 - ✓ Lightning type overvoltages caused by switching
 - ✓ Limitation of lightning overvoltages

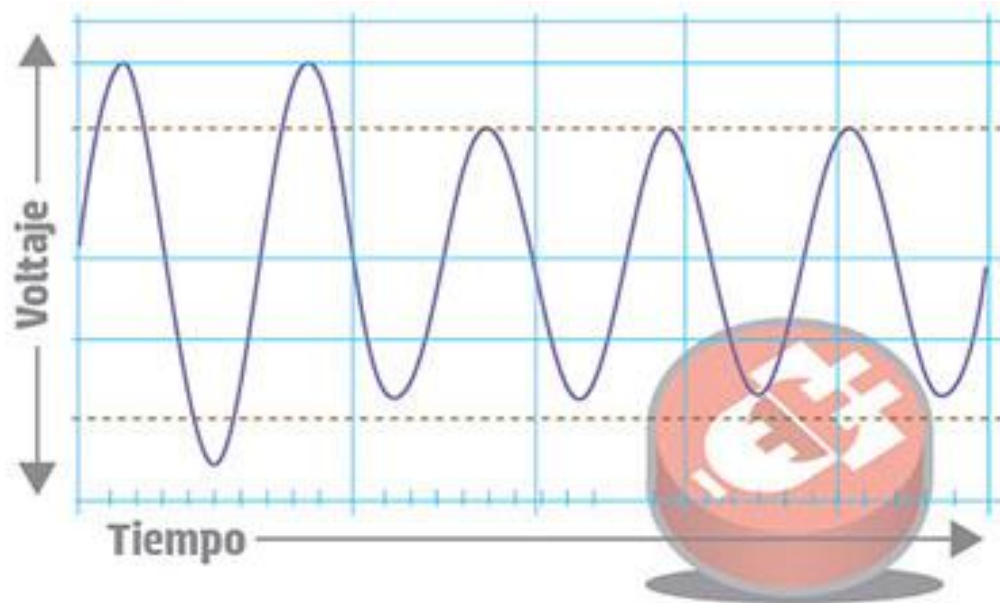


NORMA IEC 60071

ORIGEN Y CLASIFICACIÓN ESPECÍFICA



SOBRETENSIONES IEC 60071



OPERACIÓN NORMAL



**Sobretensiones
Permanentes a Frecuencia
Industrial**



SOBRETENSIONES IEC 60071



FALLAS A TIERRA

RECHAZO DE CARGA

EFFECTO FERRANTI

**EFFECTO RESONANCIA
FERRORESONANCIA**



**Sobretensiones Temporales
a Frecuencia Industrial**



SOBRETENSIONES IEC 60071



ENERGIZACIÓN Y RECIERRE

INICIO Y DESPEJE DE FALLAS

RECHAZO DE CARGA

**CONMUTACIÓN DE
CORRIENTES INDUCTIVAS O
CAPACITIVAS**

**DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS**



**Sobretensiones de Frente
LENTO**



SOBRETENSIONES IEC 60071



**DESCARGAS
ATMOSFÉRICAS**



**Sobretensiones de Frente
RÁPIDO**



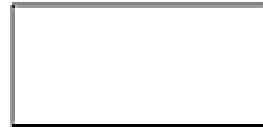
NORMA IEC 60071

DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

Nomenclatura.



Datos a considerar.



Acciones a efectuar.



Resultados Obtenidos.

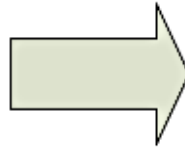
31/76-2



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

1

- Origen y clasificación de las tensiones aplicadas.
- Nivel de protección de los dispositivos limitadores de tensión.
- Características del aislamiento.



Análisis del Sistema.



Tensiones y Sobretensiones
Representativas.

U_{rp}

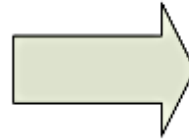


PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

2

- Características del aislamiento
- Criterios de seguridad, confiabilidad y optimización (económica y operacional)
- Factor de coordinación K_c ⁽¹⁾

⁽¹⁾ K_c considera las imprecisiones en la distribución estadística de probabilidad y en los datos de entrada.



Selección del aislamiento que satisface el criterio de funcionamiento



Tensiones Soportadas de Coordinación.

U_{cw}



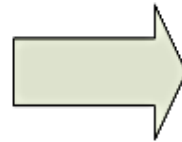
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

3

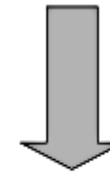
- Factor de corrección atmosférico K_a .
- Factor de seguridad $K_s^{(2)}$

⁽²⁾ K_s considera:

- Pruebas y montaje del equipo
- Dispersión en la producción
- Calidad de la instalación
- Envejecimiento en servicio
- Otros factores desconocidos



Aplicación de los factores que toman en cuenta las diferencias entre las condiciones para las pruebas y las condiciones reales de servicio



Tensiones Soportadas Requeridas.

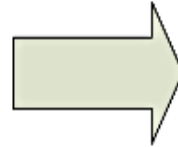
U_{rw}



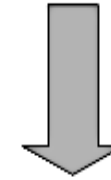
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

4

- Tensiones soportadas normalizadas
- Rango de la tensión máxima V_m



Elección de las tensiones soportadas normalizadas.



Nivel de Aislamiento Normalizado o Asignado: Conjunto de las Tensiones Soportadas Requeridas Estándar.

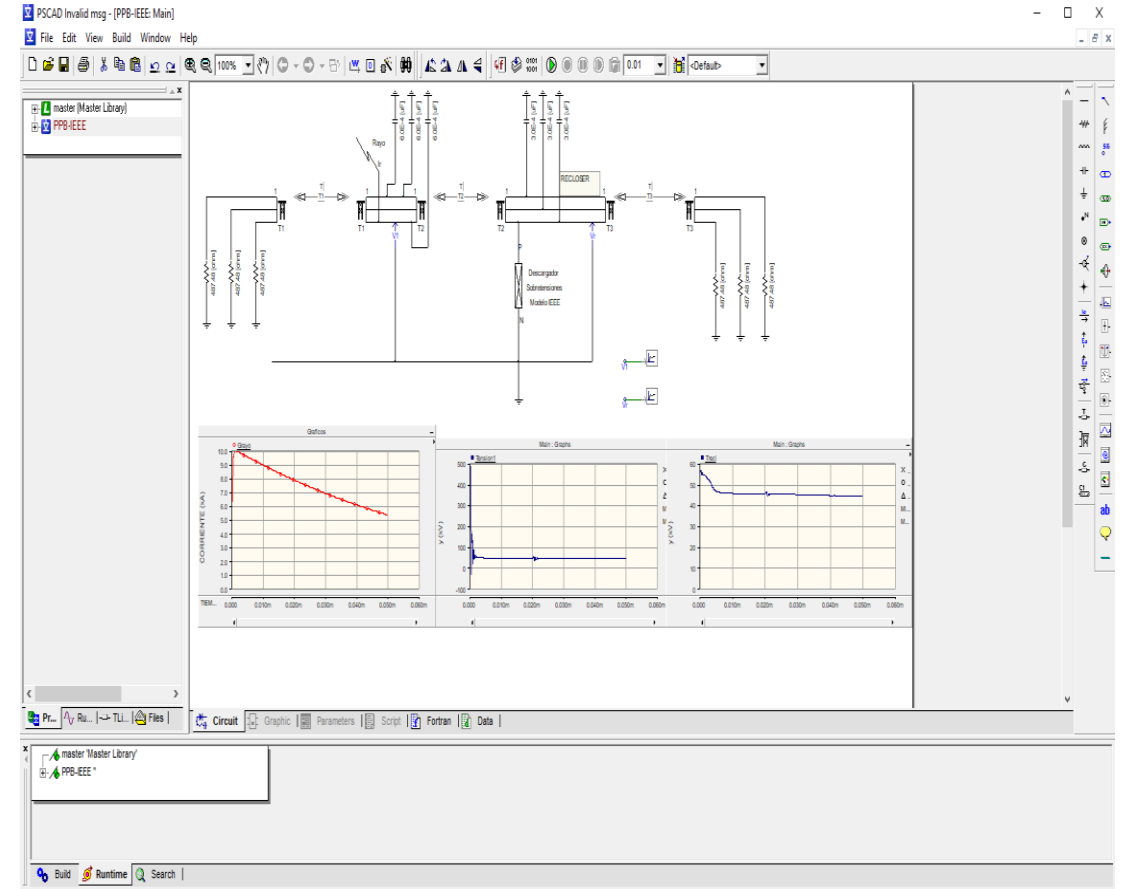
U_w



DATOS DE ENTRADA IEC 60071

DATOS:

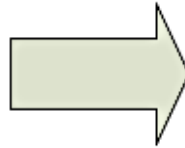
1. TENSIÓN NOMINAL (kV)
2. FRECUENCIA NOMINAL (Hz)
3. TENSIÓN MÁXIMA DEL SISTEMA (kV)
4. ALTURA PROMEDIO DE INSTALACIÓN (m.s.n.m.)



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

1

- Origen y clasificación de las tensiones aplicadas.
- Nivel de protección de los dispositivos limitadores de tensión.
- Características del aislamiento.



Análisis del Sistema.



Tensiones y Sobretensiones
Representativas.

U_{rp}



1

TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES PERMANENTES A FRECUENCIA INDUSTRIAL (Urp)



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES PERMANENTES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

1. Tensiones Permanentes:

$$\text{Max} = U_n + U_n \cdot 0.05 \text{ kV}$$

$$\text{Min} = U_n - U_n \cdot 0.05 \text{ kV}$$

2. Tensiones a Frecuencia Industrial

$$U_s = U_m = (\text{Tension A. Equipo}) \text{ kV}$$

$$U_{\text{base}} = TAE \times (\sqrt{2}/\sqrt{3})$$

45/76-1

	
Type 3AH5204-2	Design code 1A
No. S 3AH52/00000433	Year of manuf. 2004
Ur 17,5 kV 50/60 Hz	Ir 1250 A
Isc 25,0 kA	tk 3 s
Up 95 kV	m 70 kg
Rated operating sequence : O-0,3s-CO-3min-CO	
MADE IN GERMANY	



1

TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL (Urp)



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

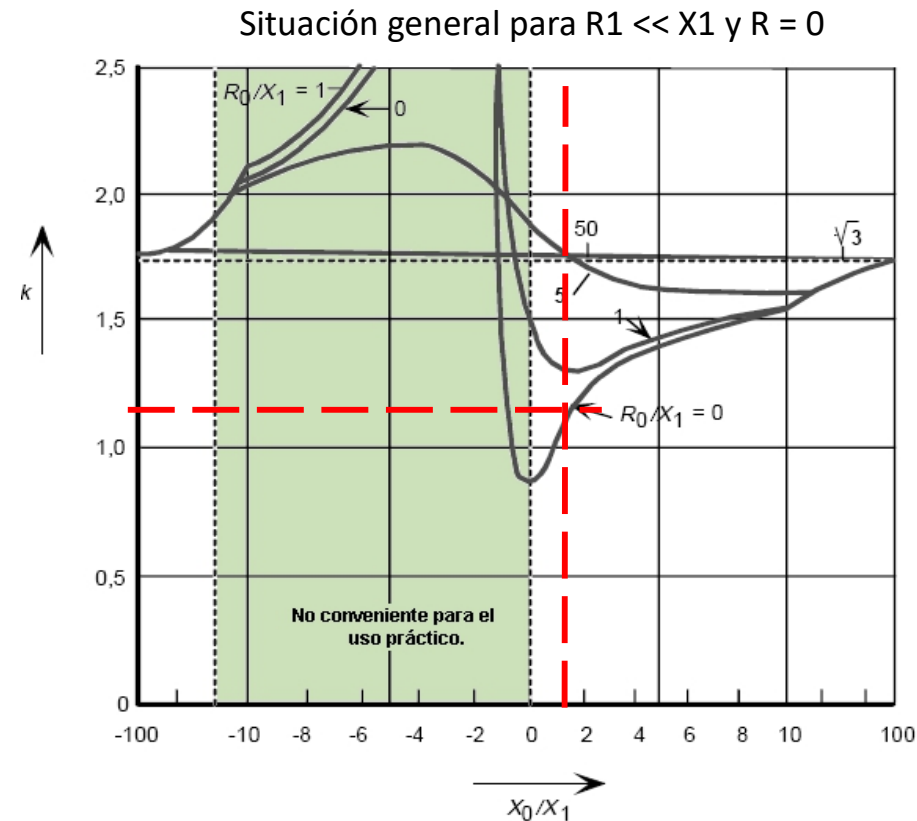
SOBRETENSIONES TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

1. Sobretensiones por Fallas a Tierra:

$$U_{rp} = k * U_s / \sqrt{3}$$

k = Factor de falla a tierra

125 – B.1/76-2



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

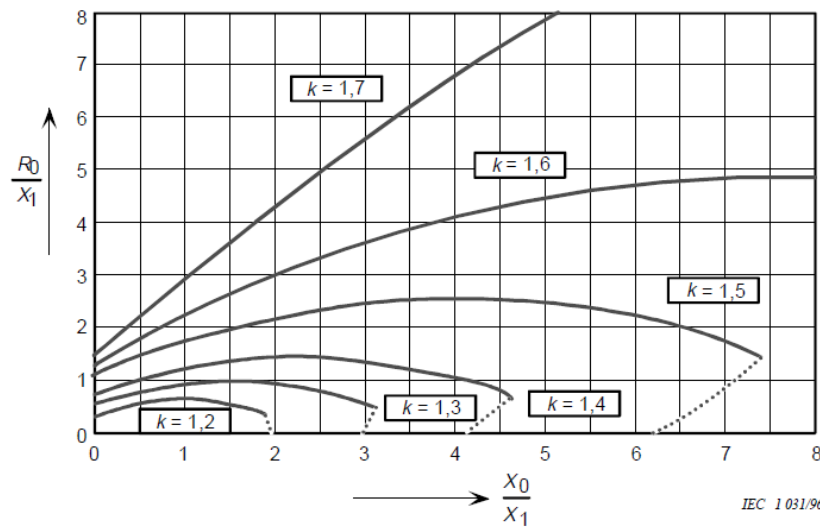


Figure B.2 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 0$

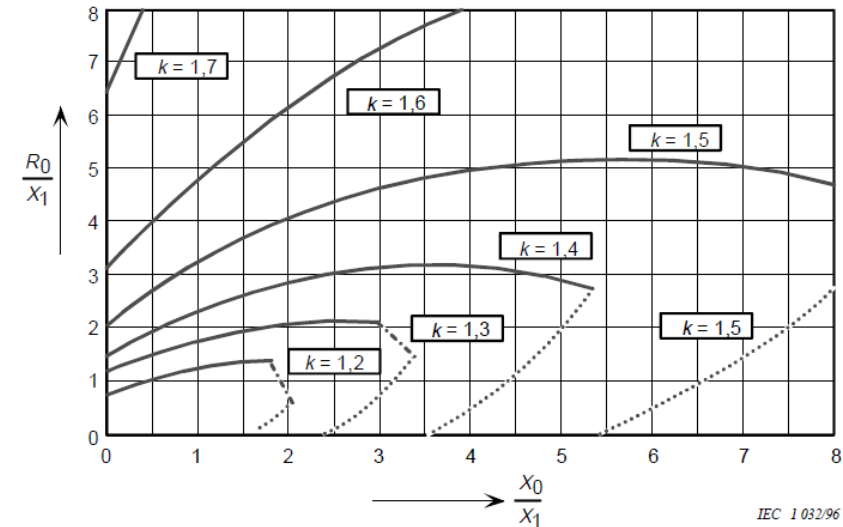


Figure B.3 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 0.5 X_1$



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

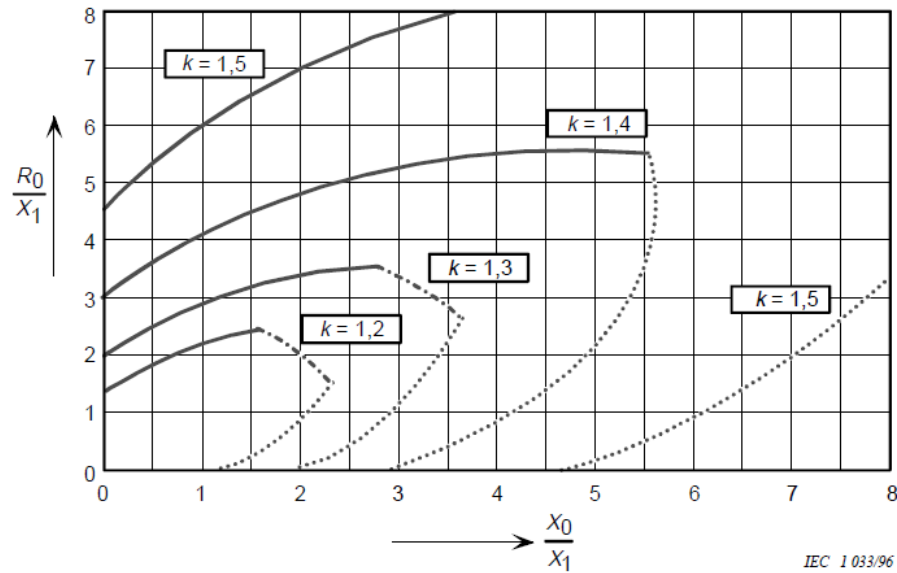


Figure B.4 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = X_1$

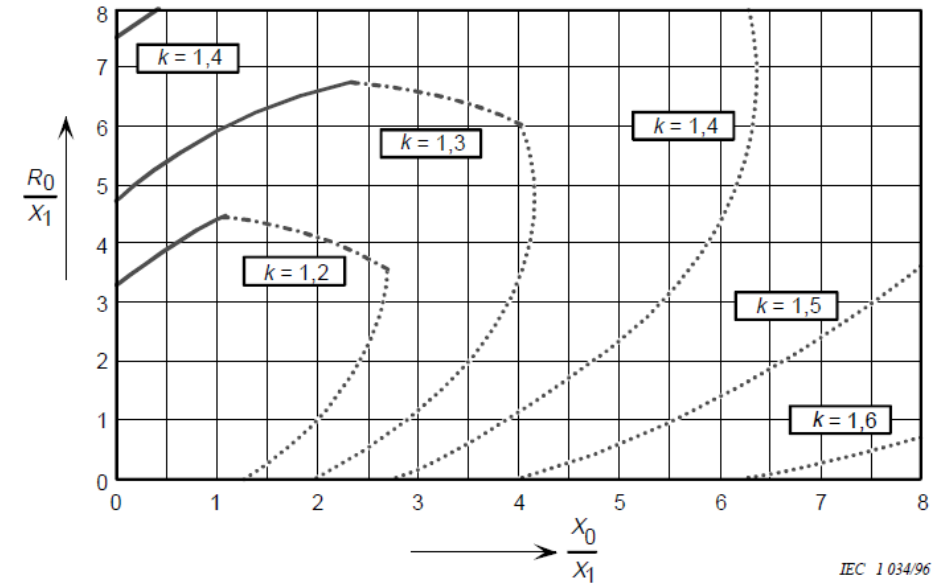


Figure B.5 – Relationship between R_0/X_1 and X_0/X_1 for constant values of earth-fault factor k where $R_1 = 2X_1$



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

2. Sobretensiones por rechazo de carga:

$$U_{rp} = k_d * U_{base} / \sqrt{3} \quad \Rightarrow \text{Fase - Tierra}$$

$$U_{rp} = k_d * U_{base} \quad \Rightarrow \text{Fase - Fase}$$

k_d = Factor de deslastre

29/76-2

En sistemas con líneas cortas y potencias de cortocircuito elevadas, una pérdida total de carga puede producir sobretensiones fase-tierra con una amplitud normalmente inferior a 1,2pu, mientras que la duración dependerá del equipo de control de la tensión y puede llegar a varios minutos.

En redes de muy alta tensión, con líneas largas y potencias de cortocircuito moderadas, las sobretensiones fase-tierra pueden alcanzar 1,5pu, o incluso más si se origina un efecto Ferranti o de resonancia; su duración puede ser del orden de algunos segundos.

Si solo hay cargas estáticas en la parte desconectada, la sobretensión temporal longitudinal es normalmente igual a la sobretensión entre fase y tierra. En sistemas con motores o generadores en la parte desconectada, una separación de redes puede producir una sobretensión longitudinal compuesta de dos sobretensiones fase-tierra en oposición de fase, cuya amplitud máxima es normalmente inferior a 2,5pu (como casos excepcionales, se pueden obtener valores más elevados en sistemas muy grandes de alta tensión).



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS TEMPORALES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

$$U_{rp} = k * U_s / \sqrt{3}$$

$$U_{rp} = k_d * U_{base} / \sqrt{3}$$

$$U_{rp} = k_d * U_{base}$$

Valor máximo

$U_{rp} (p-e)$



Fase - Tierra

$U_{rp} (p-p)$



Fase - Fase



1

TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO (U_{rp})



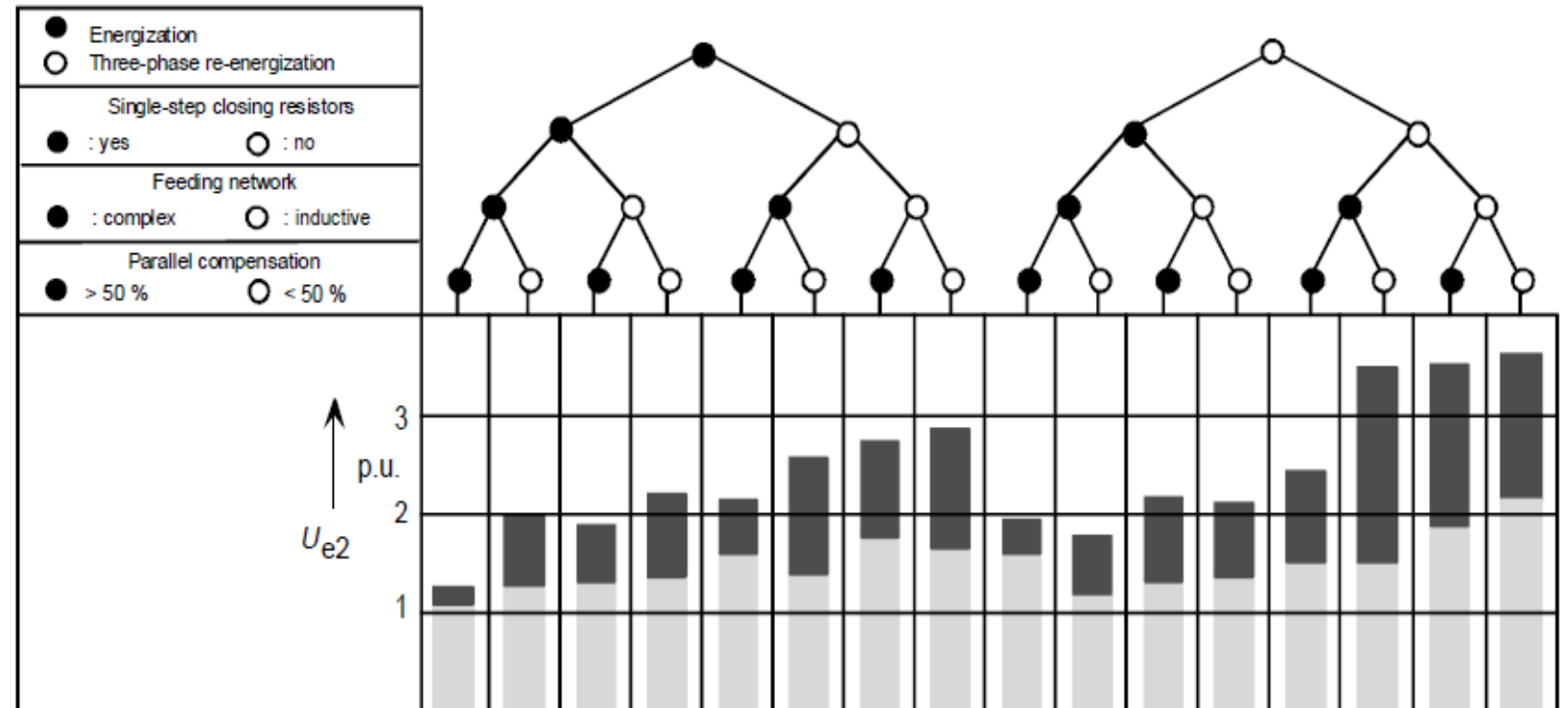
TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Impulsos que afectan a los equipos

FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE SOBRETENSIONES ESTADÍSTICAS (IEC 60071)

Estos valores corresponden a sobretensiones causadas por eventos específicos, en este caso energización y recierre de líneas, con un 2% de probabilidad de que igualen o superen el valor dado para U_{e2} , la siguiente figura muestra parámetros conocidos del sistema, sin presencia de pararrayos.



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Impulsos que afectan a los equipos

SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS DE FRENTE LENTO (U_{e2})		
Fase - Tierra (Extremo Remoto)	U_{e2}	Máximo
Fase - Tierra (Mínimo)	U_{e2}	Mínimo
Fase - Tierra (Extremo local)	U_{e2}	Promedio de Max y Min

$$U_{e2} \text{ (kV)} = U_{e2} \text{ (pu)} * U_{base}$$

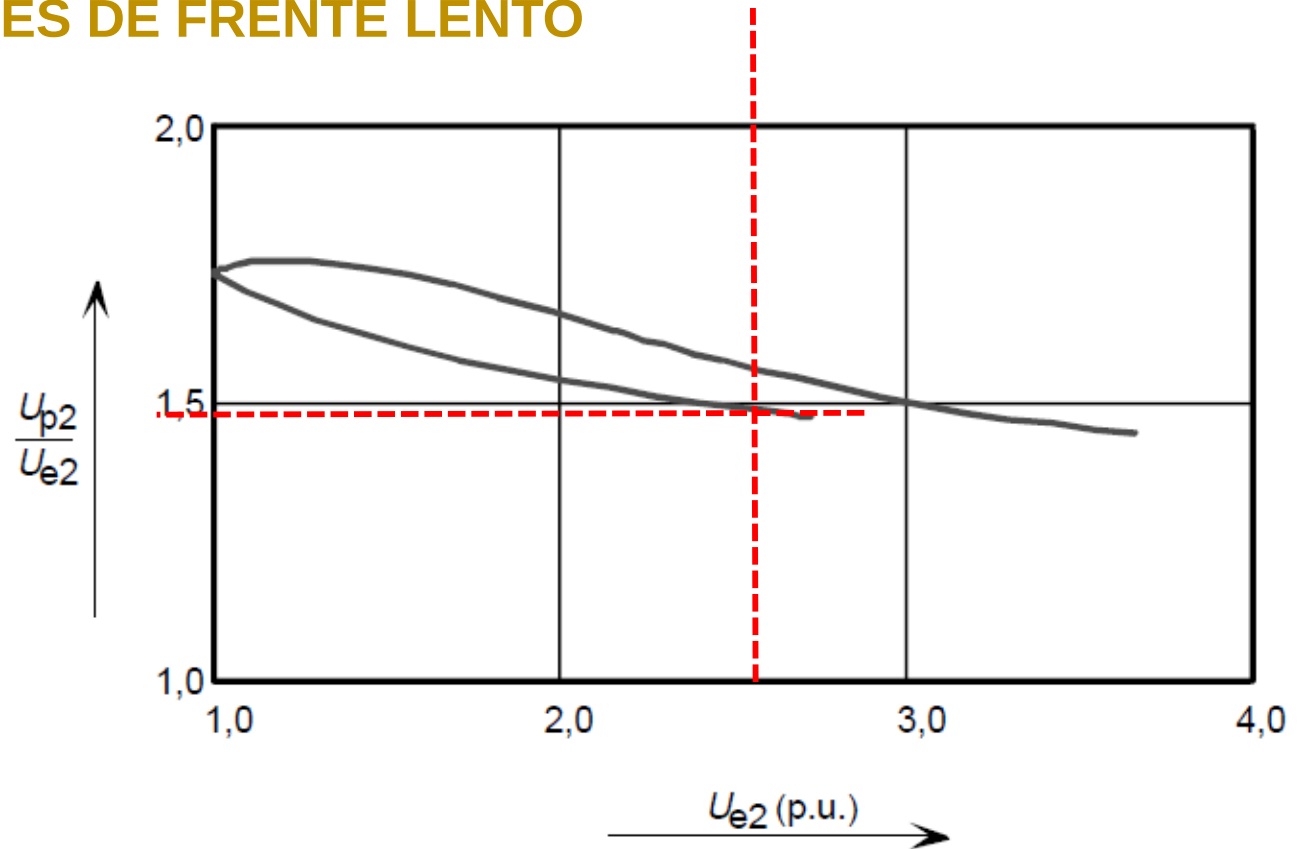


TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS DE FRENTE LENTO (U_{p2})		
Fase - Fase (Extremo Remoto)	U_{p2}	
Fase - Fase (Mínimo)	U_{p2}	
Fase - Fase (Extremo local)	U_{p2}	

$$U_{p2} \text{ (kV)} = U_{p2} \text{ (pu)} * U_{base}$$



41/76-2



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Valor de truncamiento según el método fase-cresta (Extremo remoto – Entrada de la línea):

$$\rightarrow U_{et} = (1.25 \times U_{e2} - 0.25) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_s$$

Fase - Tierra

$$\rightarrow U_{pt} = (1.25 \times U_{p2} - 0.43) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_s$$

Fase - Fase

Valor de truncamiento según el método fase-cresta (Extremo local – Cualquier Equipo):

$$\rightarrow U_{et} = (1.25 \times U_{e2} - 0.25) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_s$$

$$\rightarrow U_{pt} = (1.25 \times U_{p2} - 0.43) \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times U_s$$



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE LENTO

Tomando en cuenta la instalación de descargadores de Sobretensión:

Ups = Nivel de protección al impulso maniobra

0.5 kA onda 30/60 μ s

Upl = Nivel de protección al impulso atmosférico

10 kA onda 8/20 μ s



Coordinación de Aislamiento



TENSIONES Y SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS - IEC 60071

SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS DE FRENTE LENTO

El valor máximo de la sobretensión representativa es igual al menor valor entre la tensión de truncamiento y el nivel de protección bajo impulso tipo maniobra del pararrayos.

Sobretensiones representativas para el equipamiento en la entrada de línea			
	Nivel de protección al impulso tipo maniobra U_{ps}	Sobretensión de maniobra: Valor de truncamiento	Sobretensión representativa U_{rp}
Fase - tierra	U_{ps}	Max (U_{et})	← MÍNIMO
Fase - fase	$2 * U_{ps}$	Max (U_{pt})	← MÍNIMO

Sobretensiones representativas para cualquier equipo			
	Nivel de protección al impulso tipo maniobra U_{ps}	Sobretensión de maniobra: Valor de truncamiento	Sobretensión representativa U_{rp}
Fase - tierra	U_{ps}	Max (U_{et})	← MÍNIMO
Fase - fase	Max (U_{pt})	Max (U_{pt})	← MÍNIMO

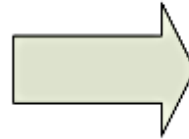


PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

2

- Características del aislamiento
- Criterios de seguridad, confiabilidad y optimización (económica y operacional)
- Factor de coordinación K_c ⁽¹⁾

⁽¹⁾ K_c considera las imprecisiones en la distribución estadística de probabilidad y en los datos de entrada.



Selección del aislamiento que satisface el criterio de funcionamiento



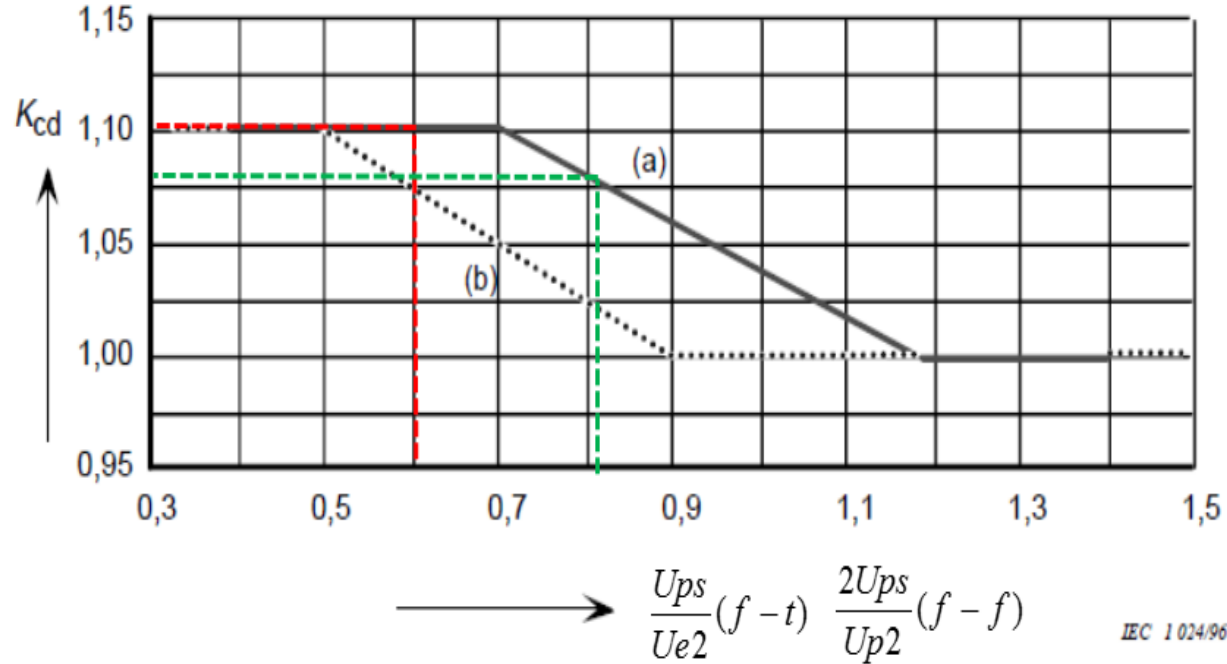
Tensiones Soportadas de Coordinación.

U_{cw}



TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACIÓN - IEC 60071

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE COORDINACIÓN (U_{cw})



Kc para sobretensiones temporales		Ais. Autoregen.	1
Kcd para sobretensiones de frente lento		Relación	Kcd(Figura)
Para equipos a la entrada			
fase - tierra	U_{ps}/U_{e2}		
fase - fase	$2U_{ps}/U_{p2}$		
Para cualquier equipo excepto a la entrada			
fase - tierra	U_{ps}/U_{e2}		
fase - fase	$2U_{ps}/U_{p2}$		



TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACIÓN - IEC 60071

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE COORDINACIÓN

Para Equipo a la Entrada:

Fase - Tierra

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$

Fase - Fase

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$

Para Cualquier Equipo excepto a la Entrada:

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$

$$U_{cw} = K_{cd} * U_{rp}$$



TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACIÓN - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE RÁPIDO (U_{cw})

AISLAMIENTO INTERNO

$$U_{cw} = U_{pl} + A/n * L/(L_{sp} + L_a)$$

183-F.17/76-2

U_{cw} : Tensión soportable de coordinación al impulso atmosférico

U_{pl} : Nivel de protección al impulso tipo rayo del pararrayos.

A : Factor del comportamiento de la línea ante las descargas eléctricas.

n : Número mínimo de líneas conectadas a la subestación.

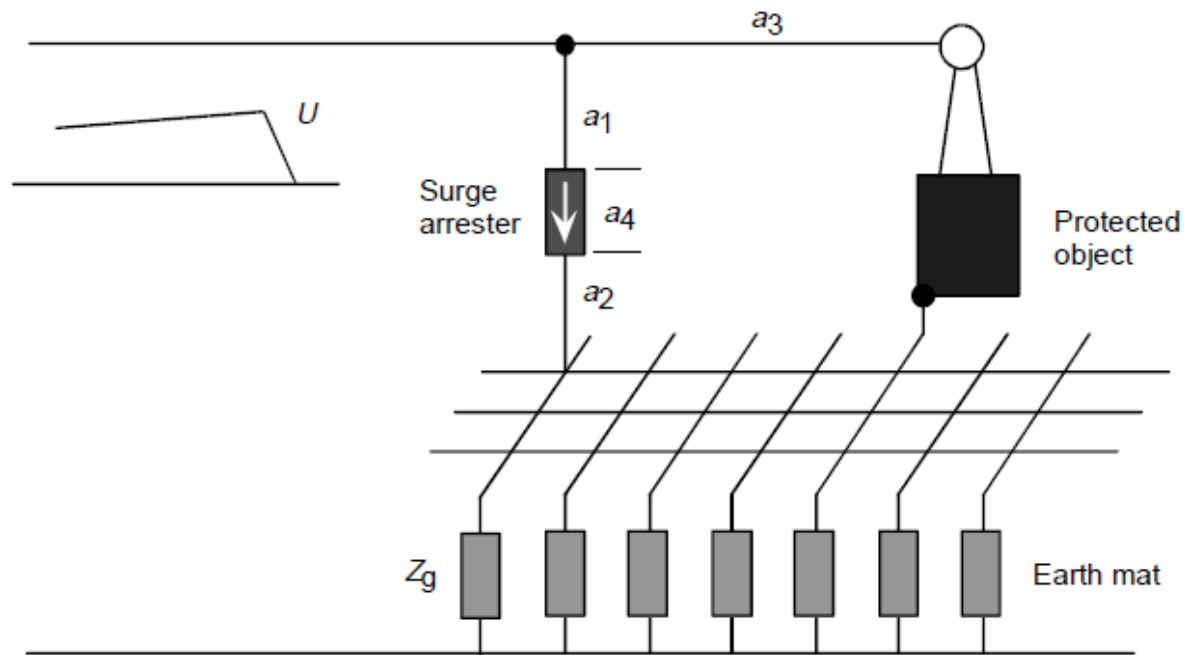
L : Separación equivalente entre el pararrayos más cercano y el equipo en consideración.

	A kV
Líneas de distribución (contorneos entre fases)	
– con crucetas puestas a tierra (contorneo a tierra para tensiones bajas)	900
– líneas con postes de madera (contorneo a tierra para tensiones altas)	2 700
Líneas de transporte (contorneo monofásico a tierra)	
– de conductor único	4 500
– de haz de dos conductores	7 000
– de haz de cuatro conductores	11 000
– de haz de seis u ocho conductores	17 000
NOTA – Para las líneas de distribución, las tensiones A son más bajas que para una línea de transporte del conductor único, ya que en las líneas de distribución se producen contorneos entre fases o contorneos múltiples entre fase y tierra que conducen a una distribución de la corriente e incluso a una limitación de la amplitud de la onda incidente en el caso de crucetas conectadas a tierra.	



TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACIÓN - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE RÁPIDO (U_{cw})



- a_1 : longitud del cable que conecta el pararrayos a la línea
- a_2 : longitud del cable que conecta el pararrayos a tierra
- a_3 : longitud del conductor de fase entre el pararrayos y el equipo protegido
- a_4 : longitud de la parte activa del pararrayos
- Z_g : impedancia de puesta a tierra
- U : sobrecarga de sobrevoltaje.

$$L = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

IEC 1021/96

55-F.3/76-2



TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACIÓN - IEC 60071

SOBRETENSIONES DE FRENTE RÁPIDO (U_{cw})

L_{sp} : longitud del vano de las líneas.

La : Sección de línea aérea calculada a partir de una tasa de salida igual a una tasa de falla aceptable.

Ra : Tasa de falla aceptable por el equipo. (0.0025 fallas/año)

R_{km} : Tasa de fallas por año del primer kilómetro de línea desde la subestación. (0.01)

$$La = Ra / Rm$$

183/76-2

AISLAMIENTO EXTERNO

$$U_{cw} = 2 * U_{pl}$$



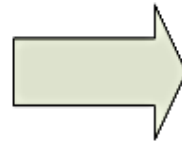
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

3

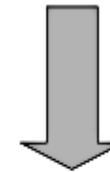
- Factor de corrección atmosférico K_a .
- Factor de seguridad $K_s^{(2)}$

⁽²⁾ K_s considera:

- Pruebas y montaje del equipo
- Dispersión en la producción
- Calidad de la instalación
- Envejecimiento en servicio
- Otros factores desconocidos



Aplicación de los factores que toman en cuenta las diferencias entre las condiciones para las pruebas y las condiciones reales de servicio



Tensiones Soportadas Requeridas.

U_{rw}



TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS - IEC 60071

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE SOPORTABILIDAD REQUERIDO (URW)

Se obtienen de considerar los factores de seguridad (k_s)
y factor de corrección atmosférica en el cálculo (k_a)

PARA AISLAMIENTO INTERNO $k_s = 1.15$

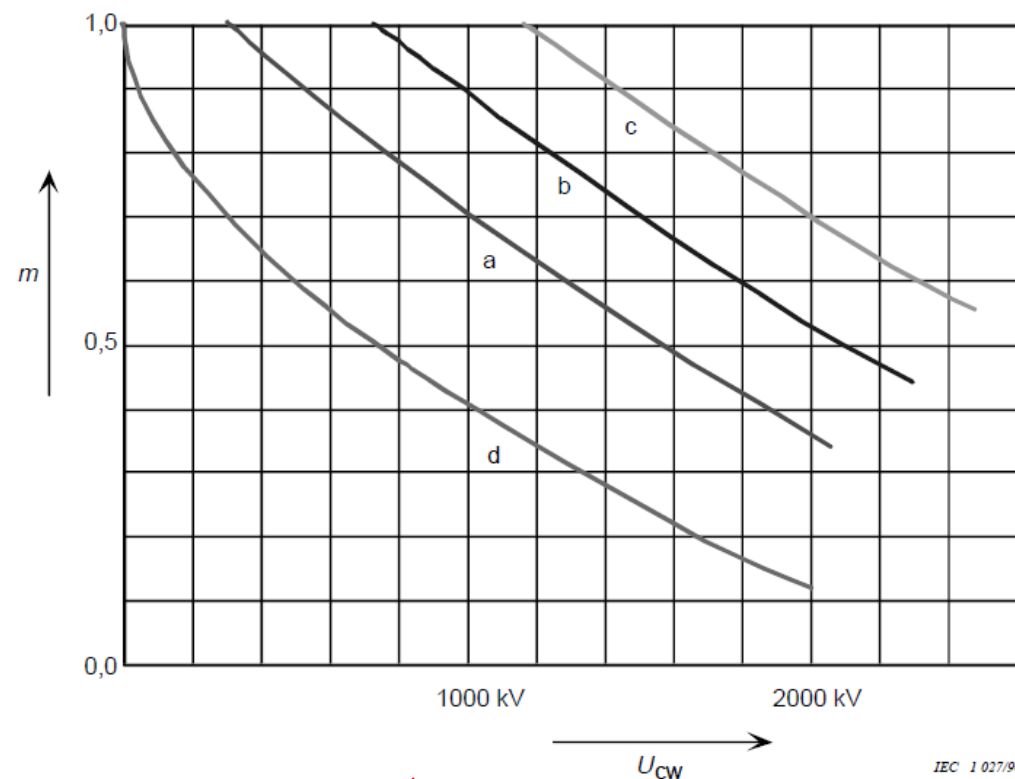
PARA AISLAMIENTO EXTERNO $k_s = 1.05$

89/76-2

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

85/76-2

$m = 1,0$ para los voltajes soportados de impulsos de rayos de coordinación;
 m de acuerdo con la figura 9 para la coordinación de las tensiones
soportadas por impulsos de conmutación;
 $m = 1,0$ para tensiones tolerantes de frecuencia de potencia de corta
duración de espacio libre y limpieza aislantes



87-F.9/76-2

IEC 1 027/96



TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS - IEC 60071

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE SOPORTABILIDAD REQUERIDO (U_{rw})

PARA AISLAMIENTO INTERNO

$$U_{rw} = U_{cw} * k_s$$

PARA AISLAMIENTO EXTERNO

$$U_{rw} = U_{cw} * k_s * k_a$$

209/76-2



TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS - IEC 60071

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE SOPORTABILIDAD REQUERIDO (U_{rw})

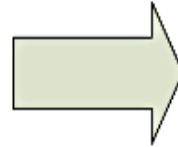
Aislamiento		Equipo	U_{cw} (kV)	U_{rw} (k V)	
				Externo	Interno
Sobretensiones temporales	Fase - Tierra		$U_{rp}(p-e) * k_c$		
	Fase - Fase		$U_{rp}(p-p) * k_c$		
Sobretensiones de frente lento	Fase - Tierra	Entrada	U_{cw}	$U_{rw} = U_{cw} * k_s * k_a$	$U_{rw} = U_{cw} * k_s$
		Otros	U_{cw}		
	Fase - Fase	Entrada	U_{cw}		
		Otros	U_{cw}		
Sobretensiones de frente rápido	Fase - Tierra			$U_{cw} * k_s * k_a$	$U_{cw} * k_s$
	Fase - Fase			$U_{cw} * k_s * k_a$	$U_{cw} * k_s$



PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO IEC 60071

4

- Tensiones soportadas normalizadas
- Rango de la tensión máxima V_m



Elección de las tensiones soportadas normalizadas.



Nivel de Aislamiento Normalizado o Asignado: Conjunto de las Tensiones Soportadas Requeridas Estándar.

U_w



TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS

- IEC 60071

CONVERSIÓN A TENSIONES DE SOPORTABILIDAD NORMALIZADO (Rango $1\text{ kV} \leq U_s \leq 245\text{ kV}$)

Aislamiento	Tensión soportada a frecuencia industrial de corta duración ¹⁾	Tensión soportada a impulso tipo rayo
Aislamiento externo – distancias en el aire y aisladores limpios, en seco: – fase-tierra – fase-fase – aisladores limpios, bajo lluvia	$0,6 + U_{rw}/8\ 500$ $0,6 + U_{rw}/12\ 700$ $0,6$	$1,05 + U_{rw}/6\ 000$ $1,05 + U_{rw}/9\ 000$ $1,3$
Aislamiento interno – GIS – aislamiento sumergido en un líquido – aislamiento sólido	$0,7$ $0,5$ $0,5$	$1,25$ $1,10$ $1,00$
NOTA – U_{rw} es la tensión soportada a impulso tipo maniobra especificada en kV. 1) Los factores de conversión de ensayo incluyen un factor de $1/\sqrt{2}$ para convertir los valores de cresta en valores eficaces.		

Urw: Es la tensión de soportabilidad para el impulso de maniobra.

93/76-2



4

TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS

- IEC 60071

CONVERSIÓN A TENSIONES DE SOPORTABILIDAD NORMALIZADO
(Rango $1\text{kV} \leq U_s \leq 245\text{ kV}$)

Aislamiento		Equipo	Externo (kV)	Interno(kV)
Soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial SDW	Fase - Tierra	Entrada	$(0.6+U_{rw}/8500)*U_{rw}$	N/A
		Otros		$0.5 * U_{rw}$
	Fase - Fase	Entrada	$0.6 * U_{rw}$	N/A
		Otros		
Soportabilidad al impulso tipo rayo LIW	Fase - Tierra	Entrada	$(1.05 + U_{rw}/6000)*U_{rw}$	N/A
		Otros		$1.1 * U_{rw}$
	Fase - Fase	Entrada	$(1.05 + U_{rw}/9000)*U_{rw}$	N/A
		Otros		



TENSIONES SOPORTADAS REQUERIDAS - IEC 60071

RESUMEN DE LOS VALORES DE SOPORTABILIDAD REQUERIDOS

kVrms para Frecuencia Industrial		AISLAMIENTO EXTERNO		AISLAMIENTO INTERNO	
kV pico para Impulsos de Maniobra y Rayo		No convertido Urw(s)	Convertido Urw(c)	No convertido Urw(s)	Convertido Urw(c)
Tensión de Soportabilidad de Corta Duración a Frecuencia Industrial	Fase - Tierra	Valor máximo	Máximo	Valor máximo	Máximo
	Fase - Fase	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Tensión de Soportabilidad al impulso atmosférico	Fase - Tierra	Valor máximo	Máximo	Valor máximo	Máximo
		Máximo	Máximo	Máximo	Máximo



GRACIAS

