

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**CALCULO DE SOBRETENSIONES Y SELECCION DEL  
AISLAMIENTO PARA EQUIPOS DE ALTA TENSION  
EN SUBESTACIONES UBICADAS A MAS DE 3000  
MSNM**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**ERICK EDGARDO CAMAHUALI ASCENCION**

**PROMOCION 2006 – II**

**LIMA-PERU**

**CALCULO DE SOBRETENSIONES Y SELECCION DEL  
AISLAMIENTO PARA EQUIPOS DE ALTA TENSION  
EN SUBESTACIONES UBICADAS A MAS DE 3000  
MSNM**

## INDICE

<b>PROLOGO</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I : INTRODUCCION</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3. ALCANCES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPITULO II : MARCO TEORICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. DEFINICIONES GENERALES</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.1. Coordinación del Aislamiento</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.2. Aislamiento externo</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.3. Aislamiento interno</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.4. Aislamiento autorregenerable</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.5. Aislamiento no autorregenerable</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.6. Sobretensión</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.7. Clasificación de Tensiones y Sobretensión</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.8. Formas de Tensión Normalizadas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.9. Sobretensiones Representativas (U<sub>rp</sub>)</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.10. Tensión Soportada de Coordinación (U<sub>cw</sub>)</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.11. Tensión Soportada Especificada (U<sub>rw</sub>)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.12. Tensión Soportada Normalizada (U<sub>w</sub>)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.13. Factores Utilizados</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2. PARARRAYOS DE OXIDO DE ZINC</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.1. Tensión máxima de red (U<sub>m</sub>)</b> .....	<b>13</b>

<b>2.2.2. Corriente de descarga nominal (IEC)</b> .....	14
<b>2.2.3. Corriente de clasificación de descarga (ANSI/IEEE)</b> .....	14
<b>2.2.4. Tensión nominal (<math>U_r</math>)</b> .....	14
<b>2.2.5. Tensión de funcionamiento nominal (ANSI)</b> .....	14
<b>2.2.6. Tensión de trabajo continuo</b> .....	14
<b>2.2.7. Tensión de trabajo continua según IEC (<math>U_c</math>)</b> .....	15
<b>2.2.8. Tensión de trabajo continua según ANSI (MCOV)</b> .....	15
<b>2.2.9. Sobretensiones temporales (TOV)</b> .....	15
<b>2.2.10. Tensión residual/tensión de descarga</b> .....	15
<b>2.2.11. Capacidad de energía</b> .....	16
<b>2.2.12. Capacidad de cortocircuito</b> .....	16
<b>2.2.13. Resistencia del aislamiento externo</b> .....	17
<b>2.2.14. Características de contaminación</b> .....	17

<b>CAPITULO III : METODOLOGIA PARA SELECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1. DETERMINACION DE SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS (URP)</b> .....	20
<b>3.2. DETERMINACION DE TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACION (<math>U_{CW}</math>)</b> .....	22
<b>3.2.1. Método Determinista</b> .....	23
<b>3.2.2. Método Estadístico</b> .....	24
<b>3.3. DETERMINACION DE TENSIONES SOPORTADAS ESPECIFICADAS (<math>U_{RW}</math>)</b> .....	25
<b>3.3.1. Contaminación</b> .....	26
<b>3.3.2. Factores de Seguridad (<math>K_s</math>)</b> .....	26
<b>3.3.3. Corrección Atmosférica</b> .....	27
<b>3.3.4. Factor de corrección por altitud (<math>K_a</math>)</b> .....	28
<b>3.4. DETERMINACION DE TENSIONES SOPORTADAS NORMALIZADAS (<math>U_w</math>)</b> .....	29
<b>3.4.1. Elección de los Niveles de Aislamiento Normalizados</b> .....	31
<b>3.4.2. Factores de Conversión de Prueba</b> .....	32
<b>CAPITULO IV : APLICACION DE LA SELECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO PARA EQUIPOS EN 220KV</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1. CARACTERISTICAS DE LA RED</b> .....	34

<b>4.2. SOBRETENSIONES REPRESENTATIVAS (URP)</b> .....	34
<b>4.2.1. Sobretensiones Temporales</b> .....	34
<b>4.2.2. Sobretensiones de frente lento o de maniobra</b> .....	35
<b>4.2.3. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo</b> .....	37
<b>4.3. TENSIONES SOPORTADAS DE COORDINACION (Ucw)</b> .....	37
<b>4.3.1. Sobretensiones Temporales</b> .....	37
<b>4.3.2. Sobretensiones de Frente Lento o de maniobra</b> .....	37
<b>4.3.3. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo</b> <b>(configuración propuesta, 2 ternas de pararrayos)</b> .....	38
<b>4.3.4. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo</b> <b>(configuración convencional, una sola terna de pararrayos)</b> .....	41
<b>4.4. TENSIONES SOPORTADAS ESPECIFICADAS (URW)</b> .....	42
<b>4.4.1. Valores para la configuración propuesta (2 ternas de pararrayos)</b> ..	44
<b>4.4.2. Valores para la configuración convencional (1 terna de</b> <b>pararrayos)</b> .....	44
<b>4.5. TENSIONES SOPORTADAS NORMALIZADAS (Uw)</b> .....	45
<b>4.5.1. A Frecuencia Industrial (configuración propuesta, 2 ternas de</b> <b>pararrayos)</b> .....	46
<b>4.5.2. A Frecuencia Industrial (configuración convencional, 1 terna de</b> <b>pararrayos)</b> .....	46
<b>4.5.3. A Impulso Tipo Rayo (configuración propuesta, 2 ternas de</b> <b>pararrayos)</b> .....	47
<b>4.5.4. A Impulso Tipo Rayo (configuración convencional, 1 terna de</b> <b>pararrayos)</b> .....	47
<b>4.6. RESUMEN DE LAS TENSIONES SOPORTADAS NORMALIZADAS MINIMAS</b> <b>REQUERIDAS</b> .....	48
<b>4.7. ANALISIS DE LOS VALORES OBTENIDOS (CONFIGURACION PROPUESTA)</b> .....	50
<b>4.8. AISLAMIENTO FASE – TIERRA SELECCIONADO (CONFIGURACION PROPUESTA)</b> .....	51
<b>4.8.1. Interno</b> .....	51
<b>4.8.2. Externo</b> .....	52
<b>CAPITULO V: RESULTADOS: SOLUCION TECNICA – ECONOMICA</b> .....	55

<b>5.1. ANALISIS TECNICO .....</b>	<b>55</b>
<b>5.2. ANALISIS ECONOMICO .....</b>	<b>57</b>

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**PLANOS**

**ANEXOS**

## PROLOGO

El presente informe de suficiencia, está relacionado con la aplicación de las recomendaciones de las norma IEC 60071-1 y 60071-2, las mismas que tratan de la coordinación del aislamiento eléctrico para equipos de alta tensión; además, contempla aportaciones teóricas y aplicaciones prácticas en cuanto al procedimiento de cálculo en la selección de aislamiento eléctrico para equipos de alta tensión en nuestro país encontradas en materiales bibliográficos y experiencia obtenida en subestaciones eléctricas de potencia. Se realizó una revisión teórica y analítica de la norma IEC y se presenta una metodología de cálculo, para luego ser aplicada en una subestación eléctrica modelo, con una tensión máxima de 245kV, con una configuración en doble barra, ubicada aproximadamente a 4100 msnm y con un nivel de polución equivalente a 25mm/kV. La estructura general del presente informe consta de 5 capítulos, que a continuación se detallan:

El primer capítulo, "Introducción", presenta los antecedentes de este tipo de cálculo, una breve reseña comparando lo que se hace actualmente y la innovación que se plantea. También hace mención de los objetivos, alcances, justificaciones y limitaciones aplicables.

El segundo capítulo, "Marco Teórico", contiene los conceptos y terminología básica que se usó en el desarrollo del presente informe, los mismos que son definidos en la norma IEC. También presenta información general de los pararrayos

de Óxido de Zinc, el cual es el equipo más importante para una adecuada coordinación del aislamiento eléctrico.

En el tercer capítulo, denominado: “Metodología para la selección del nivel de aislamiento”, se presenta la secuencia a seguir según las recomendaciones de la norma IEC, para obtener los valores que definirán el aislamiento eléctrico de los equipos, así como todos los factores internos o externos a tener en cuenta durante su aplicación.

En el cuarto capítulo, denominado: “Aplicación de la selección del nivel de aislamiento para equipos en 220kV”, se desarrolla la metodología de cálculo aplicada a una subestación eléctrica modelo de 220kV, con configuración en doble barra, con una altura de instalación de 4100msnm, de las que existen en nuestro país. También, se hace referencia a las fórmulas y consideraciones según las recomendaciones de la norma IEC para obtener los valores que definirán el aislamiento eléctrico de los equipos. Se indica también los valores de distancias de seguridad luego de ejecutado el cálculo, que nos sirven como información para un posterior diseño de la subestación.

En el quinto capítulo, que lleva como título: “Resultados: Solución Técnica-Económica”, se mencionan las ventajas técnicas del uso del presente cálculo para optimizar el aislamiento eléctrico y se muestra una rápida evaluación económica enfocada principalmente a la inversión inicial, donde se tiene el mayor impacto de ahorro económico.



Finalmente se presentan las “Conclusiones” y “Recomendaciones” del presente informe en base a los resultados obtenidos.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1. Antecedentes**

Nuestro país tiene un territorio muy variado en cuanto a niveles de altura, climas y polución, por lo cual es importante tomarlos en cuenta adecuadamente para cualquier análisis que se realice.

Sin embargo, en los últimos años e inclusive actualmente en muchas de las especificaciones técnicas de equipos de alta tensión a ser instalados en alturas muy superiores a las del nivel mar (por ejemplo entre 3000 a 5000msnm) se usa el nivel de aislamiento externo inmediato superior o mayor, establecido por las recomendaciones de la norma IEC 60071-1 y basándose solo en la corrección por altura.

Muchas veces no se toma en cuenta las mejoras en el aislamiento externo de los equipos que algunos fabricantes brindan, así como el uso adecuado (ubicación) de los pararrayos de óxido de zinc, para limitar las sobretensiones a las que son sometidos los equipos en una subestación de potencia a una altura mayor de 1000 msnm.

En el Perú no existe una referencia del uso de selección del nivel de aislamiento con un BIL que no sea el inmediato superior, a más de 3000msnm, que

estén actualmente en funcionamiento. Sin embargo, en el 2009 se aceptó este tipo de selección en la Concesión Norte en 220kV, convocada por el Ministerio de Energía y Minas a través de Pro Inversión.

En el extranjero se tiene algunas referencias pero no a más de 3000 msnm, dado que otros países no se cuentan con instalaciones a estas alturas, y si lo tienen se ha usado los equipos inmediatos superiores tanto en aislamiento como en nivel de tensión máxima.

## **1.2. Objetivo**

- Calcular sobretensiones y seleccionar el aislamiento para equipos de patio de llaves de una subestación eléctrica modelo en 220kV, con configuración en doble barra e instalada a 4100msnm, de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEC 60071-1 y 60071-2.

### **1.2.1. Objetivo Secundario**

- Demostrar que con el adecuado uso de los pararrayos (ubicación) en una Subestación de Potencia se puede reducir el nivel de aislamiento externo requerido por los equipos de acuerdo a las recomendaciones de la norma IEC 60071-1 y 60071-2.
- Mostrar los parámetros mínimos para garantizar el aislamiento de los equipos.

### **1.3. Alcances**

El alcance del presente informe se limita al cálculo determinístico de sobretensiones y la selección del aislamiento de equipos de patio de llaves de una subestación eléctrica modelo en 220kV, según las recomendaciones de la norma IEC 60071-1 y 60071-2.

### **1.4. Justificación**

La actual selección de aislamiento de los equipos de alta tensión aplicada en nuestro país tiende a sobredimensionar el nivel de aislamiento al inmediato superior, con lo cual el precio de los equipos se incrementa enormemente, en especial en tensiones superiores a 220kV.

Lo que se busca con el presente informe es demostrar, mediante una metodología de cálculo basado en las recomendaciones de la norma IEC, que con el correcto uso y disposición estratégica de los pararrayos de óxido de zinc en una subestación eléctrica de potencia, se puede optimizar el nivel de aislamiento requerido de los equipos a ser instalados a más de 3000msnm, lo cual impactaría de manera positiva tanto técnica como económicamente, ya que se homogeniza el tipo de equipos para un rango de altura y la inversión en este tipo de subestaciones disminuiría considerablemente.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. DEFINICIONES GENERALES**

##### **2.1.1. Coordinación del Aislamiento**

Es la selección de la rigidez dieléctrica de un equipo en relación con las tensiones que puedan aparecer en el sistema eléctrico en el cual el equipo operará tomando en cuenta las condiciones de servicio y las características de los equipos de protección contra sobretensiones disponibles.

##### **2.1.2. Aislamiento externo**

Son las distancias en el aire atmosférico y en las superficies de los aislamientos sólidos de un material en contacto con la atmósfera, que se someten a los esfuerzos dieléctricos y a la influencia de las condiciones ambientales u otros agentes externos tales como polución, humedad, etc. El aislamiento externo puede ser “protegido” o “expuesto” según que haya sido diseñado para utilizarse en el interior o en el exterior de recintos cerrados.

##### **2.1.3. Aislamiento interno**

Esta formada por elementos internos del aislamiento de un material, en el que las condiciones ambientales u otros agentes externos no tienen influencia. Estos elementos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos.

#### **2.1.4. Aislamiento autorregenerable**

Es el aislamiento que recupera íntegramente sus propiedades aislantes, después de haber estado sometido a una descarga disruptiva provocada por una sobretensión y/o tensión de ensayo. Las descargas disruptivas durante el funcionamiento pueden conducir a un aislamiento autorregenerable o no autorregenerable.

#### **2.1.5. Aislamiento no autorregenerable**

Es el aislamiento que pierde sus propiedades aislantes o no las recupera íntegramente, después de haber estado sometido a una descarga disruptiva de sobretensión y/o tensión de ensayo.

#### **2.1.6. Sobretensión**

Cualquier tensión entre un conductor de fase y tierra o entre conductores de fase cuyo valor pico exceda el correspondiente valor pico de la tensión más alta del sistema.

#### **2.1.7. Clasificación de Tensiones y Sobretensión**

De acuerdo con su forma y duración, las tensiones se dividen en las siguientes clases:

**Tensión continua (a frecuencia industrial):** Se considera que tiene un valor r.m.s. constante, continuamente aplicado a cualquier par de terminales de una configuración de aislamiento.

**Sobretensión Temporal:** Sobretensión a frecuencia industrial de duración relativamente larga.

**Sobretensión Transitoria:** Sobretensión de corta duración (milisegundos o menos), oscilatoria y no oscilatoria; que por lo general es altamente amortiguada. Las sobretensiones transitorias son divididas en:

Sobretensión de frente lento: sobretensión transitoria, usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $20\mu s < T_p \leq 5000 \mu s$  y duración de cola  $T_2 \leq 20 \mu s$ .

Sobretensión de frente rápido: sobretensión transitoria, usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $0,1 \mu s < T_1 \leq 20 \mu s$ , y duración de cola  $T_2 \leq 300 \mu s$ .

Sobretensión de frente muy rápido: sobretensión transitoria, usualmente unidireccional, con tiempo de pico  $T_f \leq 0,1 \mu s$ , duración total  $< 3 \mu s$ , y con oscilaciones súper impuestas a frecuencias entre  $30 \text{ kHz} < f < 100 \text{ Mhz}$ .

Sobretensión Combinada (temporal, frente lento, rápido y muy rápido): consistente de dos componentes de tensión aplicadas simultáneamente entre cada par de terminales de fase de un aislamiento fase-fase y tierra. Esta sobretensión está clasificada por la componente con el valor pico más alto.

Para mayor información ver Anexo 2 (*Tabla 1: Clases y formas de sobretensiones, de la norma IEC 60071-1*)

### **2.1.8. Formas de Tensión Normalizadas**

#### **Tensión normalizada de corta duración a frecuencia industrial:**

tensión senoidal con frecuencia entre 48 Hz y 62 Hz, y duración de 60 s.

**Impulso de maniobra normalizado:** impulso de tensión que tiene un tiempo de pico de 250us y un tiempo de mitad de onda de 2500 us.

**Impulso atmosférico normalizado:** impulso de tensión que tiene un tiempo de frente de 1,2us y un tiempo de mitad de onda de 50 us.

### **2.1.9. Sobretensiones Representativas (Urp)**

Son aquellas que se suponen producen el mismo efecto dieléctrico en el aislamiento que las sobretensiones de una categoría dada que aparecen en funcionamiento y de diversos orígenes. Están constituidas por tensiones que tienen la forma normalizada de la categoría en cuestión y pueden definirse por un valor, un conjunto de valores o una distribución estadística de los valores que caracterizan las condiciones de funcionamiento. Esta definición se aplica igualmente a la tensión permanente a frecuencia industrial que representa el efecto de la tensión de funcionamiento sobre el aislamiento.

### **2.1.10. Tensión Soportada de Coordinación (Ucw)**

Para cada categoría de tensión, es el valor de la tensión soportada de la configuración del aislamiento, en las condiciones reales de funcionamiento, que satisface el criterio de comportamiento.



### **2.1.11. Tensión Soportada Especificada ( $U_{rw}$ )**

Tensión de ensayo que el aislamiento debe mantener en un ensayo de tensión soportada normalizada para asegurarse de que el aislamiento satisficará el criterio de comportamiento cuando se someta a una categoría dada de sobretensiones en las condiciones reales de funcionamiento y durante todo el tiempo de funcionamiento. La tensión soportada especificada tiene la forma de la tensión soportada de coordinación y se especifica en relación a todas las condiciones del ensayo de tensión soportada normalizada elegido para verificarla.

### **2.1.12. Tensión Soportada Normalizada ( $U_w$ )**

Valor normalizado de la tensión de ensayo aplicado en un ensayo de tensión soportada normalizada. Es un valor asignado del aislamiento que permite verificar que el aislamiento satisface una o varias de las tensiones soportadas especificadas.

### **2.1.13. Factores Utilizados**

**Factor de coordinación ( $K_c$ ):** Es el factor con el cual se deberá multiplicar la sobretensión representativa para obtener el valor de la tensión de coordinación soportada.

**Factor de seguridad ( $K_s$ ):** Factor global a aplicar a la tensión soportada de coordinación, después de la aplicación del factor de corrección atmosférico (de ser aplicable), para obtener la tensión soportada especificada, teniendo en cuenta todas las otras diferencias entre las condiciones en funcionamiento o servicio y las del ensayo de tensión soportada normalizada

**Factor de corrección atmosférico (Ka):** Factor a aplicar a la tensión soportada de coordinación para tener en cuenta la diferencia entre las condiciones atmosféricas medias en funcionamiento y las condiciones atmosféricas normalizadas de referencia. Este factor sólo se aplica al aislamiento externo.

**Factor de conversión del ensayo (Kt):** Factor aplicado a la tensión soportada especificada; en el caso en que la tensión soportada normalizada es de forma diferente, para obtener el valor límite inferior de la tensión de ensayo de tensión soportada normalizada que puede ser asumido para probar el aislamiento.

## **2.2. PARARRAYOS DE OXIDO DE ZINC**

Los pararrayos o descargadores de sobretensiones constituyen la protección principal contra sobretensiones atmosféricas y de maniobra. Generalmente se conectan en paralelo con el equipo a proteger.

Los pararrayos son los dispositivos básicos de protección contra las sobretensiones transitorias que pueden causar arcos eléctricos y causar serios daños en los equipos. Estos establecen una línea base de sobretensión transitoria sobre la cual el pararrayos operará para proteger a los equipos. Cuando una sobretensión transitoria aparece cerca de un pararrayos, este conduce internamente y descarga la energía de esta sobretensión a tierra. Una vez que la sobretensión se reduce lo suficiente, el pararrayos se sella y actúa como un aislador dejando de conducir corriente, el flujo de potencia fluye correctamente a través de la línea de transmisión y el circuito regresa a la normalidad. Al ser

dispositivos muy sensibles a la tensión, los pararrayos tienen que ser cuidadosamente seleccionados para que operen correctamente con las tensiones operativas del sistema.

Actualmente se fabrican pararrayos de óxido de zinc, antes se usaban spark gaps o una mezcla de spark gaps con algunos tipos de varistores, hasta llegar a lo que actualmente es conocido como óxido de zinc. El pararrayos al cual hacemos mención en el presente informe es de la tecnología con bloques (varistores) de de óxido de zinc.

Los elementos activos (bloques de ZnO) de los pararrayos son fabricados con un material cerámico de resistencia altamente alineal, compuesto principalmente por óxido de zinc mezclado y sintetizado con otros óxidos metálicos.

Con un control de calidad riguroso y numerosos ensayos en todas las fases de fabricación, desde las materias primas hasta el producto acabado, algunos de los principales fabricantes garantizan que los pararrayos soporten las sobretensiones nominales con facilidad y amplio margen.

En el presente informe hablaremos sobre los pararrayos de alta tensión para aplicaciones de corriente alterna. A continuación presentamos las principales definiciones relacionado a los pararrayos, según las normas IEC 60099-4 y ANSI/IEEE C62.11:

### **2.2.1. Tensión máxima de red ( $U_m$ )**

La tensión máxima entre fases durante el servicio normal.

### **2.2.2. Corriente de descarga nominal (IEC)**

El valor máximo del impulso de corriente de descarga que se utiliza para clasificar el pararrayos.

### **2.2.3. Corriente de clasificación de descarga (ANSI/IEEE)**

La corriente de descarga nominal que se utiliza para efectuar las pruebas de clasificación.

### **2.2.4. Tensión nominal ( $U_r$ )**

Un pararrayos que cumple con la norma IEC debe resistir su tensión nominal ( $U_r$ ) durante 10 segundos después de ser precalentado a 60° C y sometido a una inyección de energía según se define en la norma. Así,  $U_r$  debe ser como mínimo igual a la capacidad de sobretensión temporal de 10 segundos de un pararrayos. Además, la tensión nominal se utiliza como parámetro de referencia.

### **2.2.5. Tensión de funcionamiento nominal (ANSI)**

Es la tensión nominal máxima admisible entre terminales para el funcionamiento de un pararrayos.

### **2.2.6. Tensión de trabajo continuo**

Es la tensión de frecuencia industrial eficaz máxima admisible que se puede aplicar de forma continua entre los terminales del descargador. Esta tensión se define de distintas formas (se verifica con diferentes procedimientos de prueba) en IEC y ANSI.

### **2.2.7. Tensión de trabajo continua según IEC (Uc)**

IEC permite al fabricante decidir la tensión  $U_c$ . El valor se verifica en la prueba normalizada. Debe explicarse cualquier distribución de tensión desigual en el pararrayos.

### **2.2.8. Tensión de trabajo continua según ANSI (MCOV)**

ANSI establece la tensión de trabajo continuo máxima (MCOV) para todas las características nominales del pararrayos *utilizadas en una tabla*. El valor es utilizado en todas las pruebas especificadas por ANSI. MCOV es menos estricta en lo que se refiere a la distribución de tensión desigual en un pararrayos.

### **2.2.9. Sobretensiones temporales (TOV)**

Las sobretensiones temporales, a diferencia de las sobretensiones instantáneas, son sobretensiones de frecuencia industrial oscilantes de duración relativamente larga (entre algunos ciclos y varias horas). La forma más habitual de sobretensión temporal se produce en las fases sanas de una red, durante una falla a tierra en una o varias fases. Otras fuentes de sobretensión temporal son el rechazo de carga, la energización de líneas descargadas, etc. La capacidad de sobretensión temporal de los descargadores se indica generalmente como carga energética en KJ/kV.

### **2.2.10. Tensión residual/tensión de descarga**

Es el valor máximo de la tensión, que aparece entre los terminales de un pararrayos cuando pasa por él la corriente de descarga. La tensión residual depende de la magnitud y la forma de onda de la corriente de descarga.

### **2.2.11. Capacidad de energía**

Las normas no definen de forma explícita la capacidad de energía de un pararrayos, la única medida especificada es la clase de descarga de línea en IEC. Por regla general, esta información no es suficiente para comparar diferentes fabricantes. Por lo que la evaluación de la capacidad energética se hace de tres formas distintas:

**Dos impulsos, según la cláusula IEC 8.5.5.:** es la energía a que es sometido el pararrayos en la prueba normalizada de la sobretensión de trabajo (cláusula 8.5.5.), manteniéndose posteriormente la estabilidad térmica con la sobretensión temporal y la  $U_c$  especificadas.

**Energía de prueba rutinaria:** es la energía total a que es sometido cada uno de los bloques en pruebas de producción realizadas por el fabricante.

**Energía de impulso único:** es la energía máxima admisible a la que puede ser sometido un pararrayos en un sólo impulso con una duración de 4 ms o más, manteniéndose posteriormente la estabilidad térmica con la sobretensión temporal y la  $U_c$  especificadas.

### **2.2.12. Capacidad de cortocircuito**

Es la capacidad de un descargador, en caso de producirse una sobrecarga por cualquier motivo, de conducir la corriente de cortocircuito de servicio resultante sin sufrir una ruptura violenta que podría causar daños en los equipos circundantes o daños personales. Después de una operación de este tipo se debe cambiar el descargador. La corriente de cortocircuito de servicio puede ser alta o baja, dependiendo de la impedancia y las condiciones de

puesta a tierra de la red. Por tanto, la capacidad de cortocircuito se verifica con diferentes niveles de corriente.

### 2.2.13. Resistencia del aislamiento externo

Es el valor máximo de la tensión aplicada (para una forma de onda especificada) que no genera un arco en el descargador. A diferencia de otros equipos, los pararrayos están diseñados para descargar internamente y la tensión en el revestimiento no puede sobrepasar nunca los niveles de protección. Así, el aislamiento externo está autoprotegido si su resistencia es superior a los niveles de protección corregidos para la altitud de instalación.

### 2.2.14. Características de contaminación

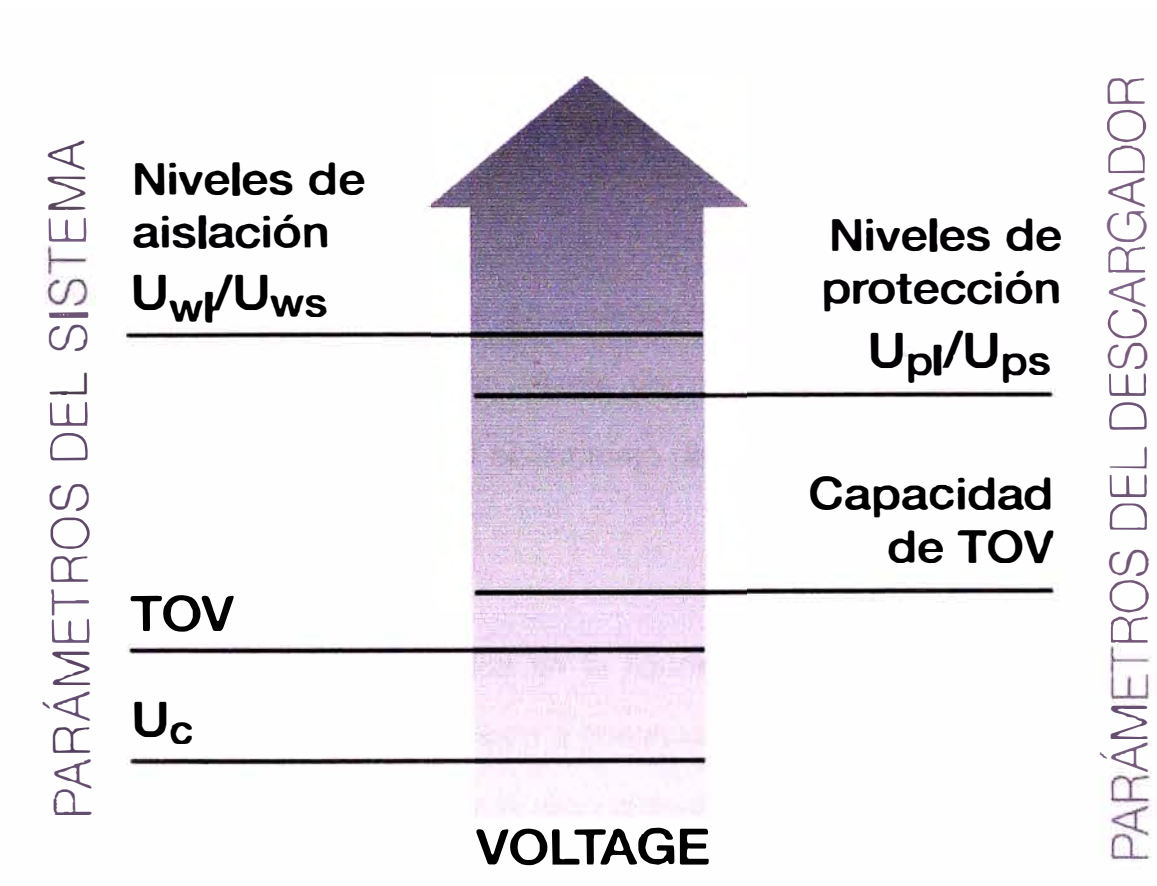
IEC 60815 define cuatro niveles de contaminación (entre moderada y muy fuerte) y estipula la fuga requerida para revestimientos de porcelana indicada en la tabla adjunta.

**Tabla 1 – Características de contaminación**

<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Línea de fuga específica en mm/kV (Um)</b>
Moderado (L)	16
Medio (M)	20
Alto (H)	25
Muy alto (V)	31

Si no existen normas similares para revestimientos de goma silicona, la tabla también rige actualmente para esos revestimientos. La distancia de fuga es la longitud medida a lo largo del perfil externo del revestimiento y sirve de medida del comportamiento del pararrayos en entornos contaminados en lo que respecta al riesgo de arcos externos.

A continuación, se presenta una comparación entre los parámetros del sistema y del pararrayos (Ver Figura 1)



## Glosario

$U_m$	Tensión máxima de red
$U_c$	Tensión de trabajo continuo
$U_r$	Tensión nominal
TOV	Sobretensión temporal
T	Factor de resistencia de sobretensión temporal

k	Factor de pérdida a tierra
$U_{ps}$	Nivel de protección de impulso de funcionamiento
$U_{pl}$	Nivel de protección de impulso de descarga
$U_{ws}$	Nivel de resistencia de impulso de funcionamiento
$U_{wl}$	Nivel de resistencia de impulso de descarga

**Figura 1:** Parámetros del sistema y del pararrayos



## CAPITULO III

### METODOLOGIA PARA SELECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO

La norma IEC establece el procedimiento para realizar la coordinación de aislamiento, el cual consiste en elegir un conjunto de tensiones soportadas normalizadas que caracterizan el aislamiento del material aislante que se aplica en equipamientos eléctricos.

Este procedimiento se indica en la figura 1 de la norma IEC 60071-1 (*Ver Anexo 1*), y sus etapas se describen a continuación del 3.1 al 3.4. La optimización del procedimiento puede precisar la reconsideración de algunos datos de entrada y la repetición de una parte de este procedimiento.

Las tensiones soportadas normalizadas deben elegirse según los valores indicados en las tablas 2 o 3 de la norma IEC 610071-1 (*Ver Anexo 2*). El conjunto de tensiones normalizadas elegidas constituye un nivel de aislamiento asignado. Si las tensiones soportadas normalizadas están igualmente asociadas al mismo valor de  $U_m$ , este conjunto constituye un nivel de aislamiento normalizado

### 3.1. Determinación de Sobretensiones Representativas (Urp)

Las tensiones y sobretensiones que esfuercen el aislamiento deben determinarse en amplitud, forma y duración, mediante un análisis de red que incluye la elección y la localización de los dispositivos de limitación de las sobretensiones.

Para cada categoría de sobretensión, el análisis debe permitir determinar una sobretensión representativa que tenga en cuenta las características del aislamiento.

La sobretensión representativa puede determinarse por:

*Un valor máximo estimado, o*

*Un conjunto de valores de cresta, o*

*Una distribución estadística completa de valores de cresta, en cuyo caso podría ser necesario tomar en consideración las características complementarias a las formas de sobretensión.*

En el caso de haber elegido caracterizar a la sobretensión representativa mediante un **valor máximo estimado**, la sobretensión representativa de las diferentes categorías debe ser:

Para la **tensión permanente a frecuencia industrial**: una tensión a frecuencia industrial de valor eficaz igual a la tensión máxima de la red y de duración que corresponda a la vida del material.

Para la **sobretensión temporal**: una tensión normalizada de corta duración a frecuencia industrial de valor eficaz igual al valor máximo estimado de las sobretensiones temporales, dividido por  $\sqrt{2}$ .

Para la **sobretensión de frente lento**: una tensión normalizada de impulso de maniobra de valor de cresta igual al valor de cresta máximo estimado de sobretensiones de frente lento.

Para la **sobretensión de frente rápido**: una tensión normalizada de impulso tipo rayo de valor de cresta igual al valor de cresta máximo estimado de las sobretensiones de frente rápido.

Para la **sobretensión de frente muy rápido**: para esta categoría de sobretensión, las características de sobretensión son especificadas por los comités encargados de cada material.

Para la **sobretensión entre fases de frente lento**: una tensión normalizada de impulso tipo maniobra combinada de valor de cresta igual al valor de cresta máximo previsto de las sobretensiones entre fases de frente lento. En este caso es útil tener en consideración la relación real  $\alpha$ , en funcionamiento, del valor de cresta de la componente negativa  $U^{(-)}$ ; al valor de cresta  $U^{(+)} + U^{(-)}$  de la sobretensión máxima prevista entre fases:  $\alpha = U^{(-)} / (U^{(+)} + U^{(-)})$ .

Para la **sobretensión longitudinal de frente lento (o de frente rápido)**: Una tensión combinada compuesta de una tensión normalizada

de impulso tipo maniobra (o de impulso tipo rayo) y de una tensión de frecuencia industrial, cada una de valor de cresta igual a los dos valores de cresta máximos previstos correspondientes y en el que el instante que corresponde a la cresta de la tensión de impulso coincide con el de la cresta de la tensión de frecuencia industrial de polaridad opuesta.

### **3.2. Determinación de Tensiones Soportadas de Coordinación ( $U_{cw}$ )**

Este paso consiste en determinar los valores mínimos de las tensiones soportadas del aislamiento que satisfacen el criterio de comportamiento cuando el aislamiento se somete a las sobretensiones representativas en las condiciones de funcionamiento.

Las tensiones soportadas de coordinación del aislamiento tienen la forma de sobretensiones representativas de la categoría considerada y sus valores se obtienen multiplicando los valores de las sobretensiones representativas por un factor de coordinación. El valor del factor de coordinación depende del grado de precisión de la evaluación de las sobretensiones representativas y de una estimación empírica o estadística de la distribución de las sobretensiones y de las características del aislamiento.

Las tensiones soportadas de coordinación pueden determinarse como **tensiones soportadas previstas convencionales (método determinista)** o como **tensiones soportadas estadísticas (método estadístico)**. El método influye sobre el valor del factor de coordinación.

Se puede determinar directamente las tensiones soportadas de coordinación estadísticas, sin tener que pasar por las etapas intermedias de determinación de las sobretensiones representativas, mediante la simulación de los fenómenos de sobretensión combinado con la evaluación simultánea del riesgo de defecto, utilizando las características adecuadas del aislamiento.

### **3.2.1. Método Determinista**

Se aplica normalmente cuando no se dispone de información que provengan de pruebas, de las posibles tasas de fallo que pueden esperarse del equipo en servicio.

Cuando el aislamiento se caracteriza por su tensión soportada convencional prevista ( $P_w=100\%$ ), lo cual significa que no se tolera ni una sola descarga disruptiva, el valor de tensión soportada se selecciona igual a la tensión soportada de coordinación, obtenida multiplicando la sobretensión representativa (máximo previsto) por un factor de coordinación  $K_c$ , que tiene en cuenta los efectos de las incertidumbres en la hipótesis para estos dos valores (la tensión soportada prevista y la sobretensión representativa);

Cuando el aislamiento se caracteriza por la tensión soportada estadística ( $P_w=90\%$ ), tal como se hace para el aislamiento externo,  $K_c$  debe tener en cuenta también la diferencia entre esta tensión y la tensión soportada prevista. En este caso, es aceptable la ocurrencia de una cantidad de descargas disruptivas, correspondiente a una probabilidad de resistencia especificada (explicada en la norma IEC 60060-1: Ensayos de Alta Tensión).

Con este método no se hace referencia a las tasas de fallo posibles del equipo en servicio. Ejemplos típicos de aplicación son:

Coordinación de aislamientos internos contra sobretensiones de frente lento, cuando el aislamiento está protegido por pararrayos.

Protección con pararrayos contra sobretensiones causadas por rayo, en equipos conectados a líneas aéreas, para los que se dispone de experiencia en equipos similares.

### **3.2.2. Método Estadístico**

Se basa en la frecuencia de ocurrencia de sobretensiones debidas a un origen específico, en la distribución de probabilidad de sobretensión relativa a este origen y la probabilidad de descarga del aislamiento. El riesgo de fallo también puede ser determinado combinando sobretensión y cálculos de probabilidad de descarga simultáneamente, descarga por descarga, tomando en consideración la naturaleza estadística de las sobretensiones y descargas por procedimientos adecuados.

Por repetición de los cálculos para distintos tipos de aislamientos y para diferentes estados de la red, puede obtenerse la proporción de fallos totales (tasa de indisponibilidad) del sistema debido a los fallos del aislamiento.

Por tanto, la aplicación de la coordinación estadística del aislamiento aporta la posibilidad de estimar directamente la frecuencia de fallo como función de los factores seleccionados en el diseño del sistema. Incluso, la optimización del aislamiento sería posible, si los costes de los cortes pudieran relacionarse con los

distintos tipos de fallos, lo cual es muy difícil en la práctica debido a la dificultad de evaluar los daños a las instalaciones en los distintos estados operativos de la red y de evaluar las pérdidas económicas por energía dejada de suministrar. El diseño del aislamiento del sistema está basado en la comparación de riesgos, correspondiente a las diferentes alternativas de diseño.

### **3.3. Determinación de Tensiones Soportadas Especificadas ( $U_{rw}$ )**

Este paso consiste en convertir las tensiones soportadas de coordinación ( $U_{cw}$ ) vistas en el paso anterior, en condiciones de ensayo normalizadas adecuadas. Esto se hace multiplicando las tensiones  $U_{cw}$  por factores que compensen las diferencias entre las condiciones reales de servicio del aislamiento y las de los ensayos de tensiones soportadas normalizadas.

Los factores que se aplican deben compensar:

Las diferencias en el montaje del material;

La dispersión en la calidad de fabricación;

La calidad de la instalación;

El envejecimiento del aislamiento durante la vida esperada;

Otras influencias desconocidas.

Debido a que estos factores no se pueden evaluar en forma independiente unas de otras, se adopta un factor sobre la base de la experiencia.

En el caso del aislamiento externo debe aplicarse un factor adicional para tener en cuenta las diferencias entre las condiciones ambientales normalizadas de referencia y las esperadas en funcionamiento.

### 3.3.1. Contaminación

Cuando existe contaminación en las zonas donde se ubican los equipos, la respuesta del aislamiento externo a las tensiones a frecuencia industrial, cobra especial importancia y puede convertirse en la razón principal para diseñar el aislamiento externo. El contorneo del aislamiento ocurre generalmente cuando la superficie está contaminada y se humedece debido a llovizna, nieve, rocío o niebla que no tienen un efecto de lavado significativo.

La norma IEC ha especificado cuatro niveles cualitativos de contaminación, la cual se aplica solo a aislamientos de vidrio o porcelana y no cubre algunas condiciones ambientales tales como nieve y hielo bajo fuerte contaminación, lluvia intensa, zonas áridas. Las líneas de fuga aquí especificadas se refieren más al diseño del aislamiento que a su coordinación de aislamiento.

Nivel I :	Ligero (16 mm/kV)
Nivel II:	Medio (20 mm/kV)
Nivel III:	Fuerte (25 mm/kV)
Nivel IV:	Muy fuerte (31 mm/kV)

### 3.3.2. Factores de Seguridad ( $K_s$ )

Existen varios factores y modos de funcionamiento que influyen sobre los aislamientos eléctricos, los cuales corresponden a las siguientes solicitudes de servicio:

- Solicitaciones térmicas
- Solicitaciones eléctricas



- Solicitaciones ambientales
- Solicitaciones mecánicas

Los pesos de los mencionados factores de influencia pueden variar para cada tipo de equipo y compensan:

- Las diferencias en el montaje de los equipos;
- La dispersión de la calidad del producto;
- La calidad de la instalación;
- El envejecimiento del aislamiento durante la vida útil prevista;
- Otros factores desconocidos.

La norma IEC recomienda aplicar los siguientes factores de seguridad:

Para el aislamiento interno  $K_s = 1.15$ .

Para el aislamiento externo  $K_s = 1.05$ .

### **3.3.3. Corrección Atmosférica**

La norma IEC considera que las condiciones atmosféricas del aire no influyen en las propiedades del aislamiento interno.

Las reglas para la corrección atmosférica para las tensiones soportadas del aislamiento externo se encuentran especificadas en la norma IEC 60060-1. Estas reglas se basan en medidas a altitudes de hasta 2000m y su aplicación a altitudes mayores se debe hacer con precaución. Adicionalmente se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Para distancias en el aire y aislamientos limpios, debe aplicarse la corrección a las tensiones soportadas a impulso tipo rayo y tipo maniobra. Para aisladores que requieren un ensayo de contaminación, también es necesario una corrección de la tensión soportada de larga duración a frecuencia industrial.
  
- Para la determinación del factor de corrección atmosférico aplicable, puede considerarse que los factores de corrección por temperatura y por la humedad ambiente, tienden a anularse mutuamente; por lo tanto, a los efectos de coordinación del aislamiento, solo es necesario tener en cuenta la presión atmosférica correspondiente a la altitud del lugar para los aislamientos en seco y bajo lluvia.

Estas consideraciones no son aplicables en aisladores cuya distancia entre campanas sea muy pequeña y que las campanas puedan ser unidas por la lluvia.

#### **3.3.4. Factor de corrección por altitud ( $K_a$ )**

Se basa en la variación de la presión atmosférica en función a la altitud (norma IEC 60071-2, 4.2.2.) y se puede calcular como:

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

H = Altitud sobre el nivel del mar (metros)

m = 1, para las tensiones soportadas de coordinación a impulso tipo rayo;

$m = \zeta?$ , valor obtenido de la figura 9, de la norma IEC 60071-1 (ver Figura 2), para las tensiones soportadas de coordinación a impulsos tipo maniobra;

$m = 1$ , para tensiones soportadas a frecuencia industrial de corta duración de las distancias en el aire y de aisladores limpios.

El valor de  $m$  depende de varios parámetros. Los valores dados en la figura 9 de la norma IEC 60071-2 son conservadores.

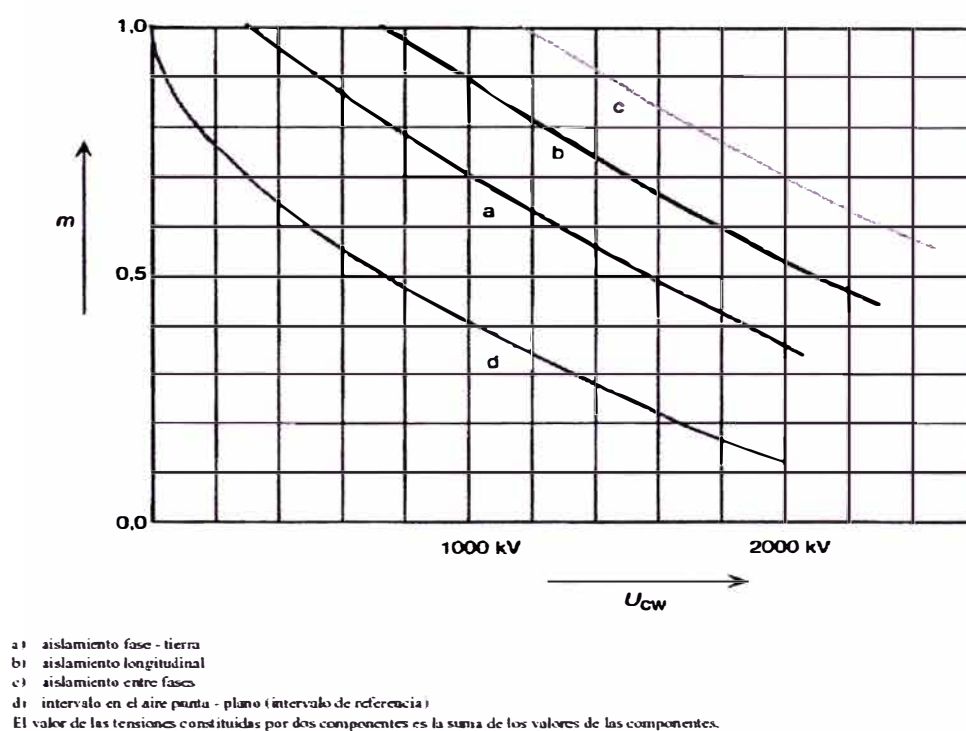


Fig. 9 – Relación entre el exponente  $m$  y la tensión soportada de coordinación a impulsos tipo maniobra

Figura 2: Figura 9, de la norma IEC 60071-1

### 3.4. Determinación de Tensiones Soportadas Normalizadas ( $U_w$ )

Esta elección consiste en seleccionar el conjunto de tensiones soportadas normalizadas ( $U_w$ ) del aislamiento más económico, suficientes para demostrar que se satisfacen todas las tensiones soportadas especificadas.

La tensión soportada permanente del aislamiento a frecuencia industrial, del material, que es la tensión mas elevada del material; se elige como la tensión más próxima al valor normalizado de  $U_m$  igual o superior a la tensión soportada **permanente a frecuencia industrial** especificada.

La normalización de los ensayos, así como la elección de las tensiones de ensayo adecuadas, para demostrar la conformidad a  $U_m$  de cada tipo de material, son efectuadas por los comités encargados de dichos materiales (por ejemplo, ensayos de polución o ensayos de la tensión de aparición de descargas parciales).

Las tensiones soportadas para demostrar que se satisfacen las tensiones soportadas especificadas **temporales, de frente lento y de frente rápido**, para el aislamiento **fase-tierra**, el aislamiento **entre fases** y el aislamiento **longitudinal**, pueden elegirse de **la misma forma** que la tensión soportada especificada, o de **forma diferente** teniendo en cuenta, para esta última elección, las características intrínsecas del aislamiento.

El valor de la tensión soportada se elige de entre las tensiones soportadas normalizadas de las dos listas siguientes, como el valor más próximo igual o superior a:

La tensión soportada especificada, en el caso que se elija la **misma forma**;

La tensión soportada especificada multiplicada por el factor de conversión de ensayo adecuado, en los casos en que se elige una **forma diferente**.

Esto puede permitir la adopción de una sola tensión soportada normalizada para demostrar la conformidad a más de una tensión soportada especificada, dando así la posibilidad de reducir el número de tensiones soportadas normalizadas que conducen a definir un nivel de aislamiento asignado. La elección de la tensión soportada normalizada para demostrar la conformidad con la tensión soportada especificada de frente muy rápido debe ser estudiada por los comités encargados de cada tipo de material.

#### **3.4.1. Elección de los Niveles de Aislamiento Normalizados**

Las tensiones soportadas normalizadas se asocian a la tensión más elevada para el material, de acuerdo con la tabla 2 o 3 para la gama I o II respectivamente de la norma IEC 60071-1 (*Ver Anexo 3*). Las asociaciones obtenidas relacionando las tensiones soportadas normalizadas de todas las columnas sin cruzar las líneas horizontales marcadas se definen estando normalizados los niveles de aislamiento.

Adicionalmente IEC ha normalizado el aislamiento entre fases, de la gama I, las tensiones soportadas normalizadas de corta duración a frecuencia industrial y a los impulsos tipo rayo entre fases son iguales a las tensiones soportadas fase-tierra correspondientes (*Ver Anexo 3*). No obstante, los valores entre paréntesis pueden ser insuficientes para demostrar que las tensiones soportadas especificadas son satisfactorias y pueden ser necesarios ensayos complementarios de tensión soportada entre fases.

Para la mayor parte de las tensiones mas elevadas para el material, está prevista más de una asociación preferente a fin de permitir aplicar diferentes criterios de comportamiento o diferentes valores de sobretensiones. Para las asociaciones preferentes, solamente son suficientes dos tensiones soportadas normalizadas para definir el nivel de aislamiento normalizado del material.

### 3.4.2. Factores de Conversión de Prueba

Si los factores de conversión no están disponibles, se pueden aplicar los factores de conversión indicados en la tabla N° 2 de la norma IEC 60071-2 (Ver Figura 3) a las tensiones soportadas al impulso de maniobra requerido. Estos factores se aplican a las tensiones soportadas especificadas fase-tierra así como a la suma de las componentes de la tensión fase-fase.

**Table 2 – Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages**

Insulation	Short-duration power-frequency withstand voltage <sup>1)</sup>	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.		
<sup>1)</sup> The test conversion factors include a factor of $1/\sqrt{2}$ to convert from peak to r.m.s value.		

**Figura 3:** Tabla 2, IEC 60071-2

## **CAPITULO IV**

### **APLICACION DE LA SELECCION DEL NIVEL DE AISLAMIENTO PARA EQUIPOS EN 220KV**

A continuación desarrollaremos las ecuaciones recomendadas para la norma IEC 60071-1 y 60071-2, siguiendo lo indicado en el capítulo 3, para seleccionar el aislamiento para equipos en 220kV de una subestación eléctrica modelo de potencia en 220kV, con una configuración en doble barra instalada a 4100msnm.

Se considera esta subestación como una de derivación, dado que las líneas que ingresan se conectan a una barra y luego salen otras líneas en diferentes direcciones y todas en la misma tensión. Para el presente caso se considera 2 líneas que ingresan a la subestación y una bahía de salida que es nuestro objeto de estudio.

Previo a desarrollar el presente cálculo, es importante contar con una ingeniería básica de la subestación que vamos a evaluar, la cual se realiza en base a la experiencia en diseño de subestaciones. También tener definido el pararrayos que vamos usar para el presente cálculo.

Para mayor información ver Planos (*Plano 1: Diagrama unifilar; Plano 2: Vista de planta y Plano 3: Vista de sección*) e información del pararrayos (*Ver Anexo 6*)

#### 4.1. Características de la red

Los equipos de la bahía o patio de llaves tienen una tensión máxima de 245kV y una tensión nominal de 220kV.

<b>Tensión Nominal</b>	<b>(Ur)</b>	220.00 kV
<b>Tensión Máxima</b>	<b>(Us)</b>	245.00 kV

Ur: Tensión Nominal del Sistema

Us: Tensión Máxima del Sistema

#### 4.2. Sobretensiones Representativas (Urp)

##### 4.2.1. Sobretensiones Temporales

Se consideran los valores para las sobretensiones sugeridas en la recomendación IEC 60071-2.

<b>Falla fase - tierra (Urp)</b>	$1,5*Us/\sqrt{3}$	= 212.00 kV
<b>Rechazo de carga (Urp)</b>		
Sobre tensión fase-fase	$1,4*Us$	= 343.00 kV
Sobre tensión fase-tierra	$1,4*Us/\sqrt{3}$	= 198.00 kV

Del cuadro anterior tenemos que nuestras sobretensiones temporales son las siguientes, siguiendo las recomendaciones de la norma IEC 60071-2, mencionadas en los numerales 2.3.2.1 y 2.3.2.2.

<b>Fase-Fase</b>	<b>Urp</b>	<b>343.00 kV</b>
<b>Fase-Tierra</b>	<b>Urp</b>	<b>212.00 kV</b>



#### 4.2.2. Sobretensiones de frente lento o de maniobra

Se comienza el cálculo desarrollando las siguientes ecuaciones:

<b>Fase - tierra (U<sub>et</sub>)</b>	$1,25 \cdot U_{e2} - 0,25$	pu
<b>Fase - fase (U<sub>pt</sub>)</b>	$1,25 \cdot U_{p2} - 0,43$	pu

Para los cual tenemos los valores de U<sub>e2</sub> y U<sub>p2</sub>, que son sugeridos en el Anexo H de IEC 60071-2.

<b>Todos los equipos</b>	<b>U<sub>e2</sub></b>	1.9	pu
	<b>U<sub>p2</sub></b>	2.9	pu
<b>Equipos en la entrada</b>	<b>U<sub>e2</sub></b>	3.0	pu
	<b>U<sub>p2</sub></b>	4.5	pu

Con lo que obtenemos los siguientes resultados:

**Para una sobretensión en extremo de línea por conexión y desconexión que afectan a todos los equipos de la subestación**

Todos los equipos

Fase - tierra (U <sub>et</sub> )	425.1 kV	<i>Sobretensión de truncamiento Fase-Tierra (método fase-cresta)</i>
Fase - fase (U <sub>pt</sub> )	639.1 kV	<i>Sobretensión de truncamiento Fase-Fase (método fase-cresta)</i>

**Para una sobretensión por reenganche en el otro extremo, sin pararrayos**

En la entrada

Fase - tierra (U <sub>et</sub> )	700.1 kV	<i>Sobretensión de truncamiento Fase-Tierra (método fase-cresta)</i>
Fase - fase (U <sub>pt</sub> )	1039.2 kV	<i>Sobretensión de truncamiento Fase-Fase (método fase-cresta)</i>

### Cuando se tiene pararrayos al inicio de la línea

Se utilizan los valores de protección para el pararrayos cuya tensión nominal ( $U_r$ ) es 198kV, y el modelo del equipo es el EXLIM P198-GV245. Se adjunta mayor información del pararrayos (*Ver Anexo 6*)

<b>Nivel de protección al impulso de maniobra-NPM (Ups)</b>	387.00 kV
<b>Nivel de protección al impulso atmosférico-NPR (Upt)</b>	451.00 kV

Que en el catálogo del equipo se encuentran identificados como: Tensión residual máxima con onda de corriente, 30/60 $\mu$ s (impulso de maniobra), 1kA y Tensión residual máxima con onda de corriente, 8/20 $\mu$ s (impulso atmosférico), 10kA, respectivamente.

Con lo que finalmente obtenemos nuestras sobretensiones de frente lento o de maniobra, siguiendo las recomendaciones de la norma IEC, mencionadas en el Anexo H y en el numeral 2.3.3.7 (Método Fase – Cresta).

Fase-tierra	( $U_{rp}=NPM$ )	387.0 kV	<i>Para cualquier equipo</i>
Fase-fase	( $U_{rp}=2 \times NPM$ )	774.0 kV	<i>Para el equipo en entrada de línea</i>
Fase-fase	(Upt)	639.1 kV	<i>Para cualquier equipo, salvo en entrada de línea</i>

#### 4.2.3. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo

En el presente caso, sólo deben considerarse las sobretensiones de frente rápido debidas al rayo. Se utiliza una aproximación estadística simplificada, la cual conducirá directamente a la tensión de coordinación, que elimina la necesidad de una sobretensión representativa.

#### 4.3. Tensiones Soportadas de Coordinación (Ucw)

Ahora calcularemos las tensiones de coordinación, tanto para Sobretensiones Temporales, Sobretensiones de Frente Lento y Sobretensiones de Frente Rápido.

##### 4.3.1. Sobretensiones Temporales

$$U_{cw} = K_c \times U_{rp}$$

( $K_c=1$ ), factor de coordinación sugerido en la cláusula 3.3.1 de la IEC 60071-2

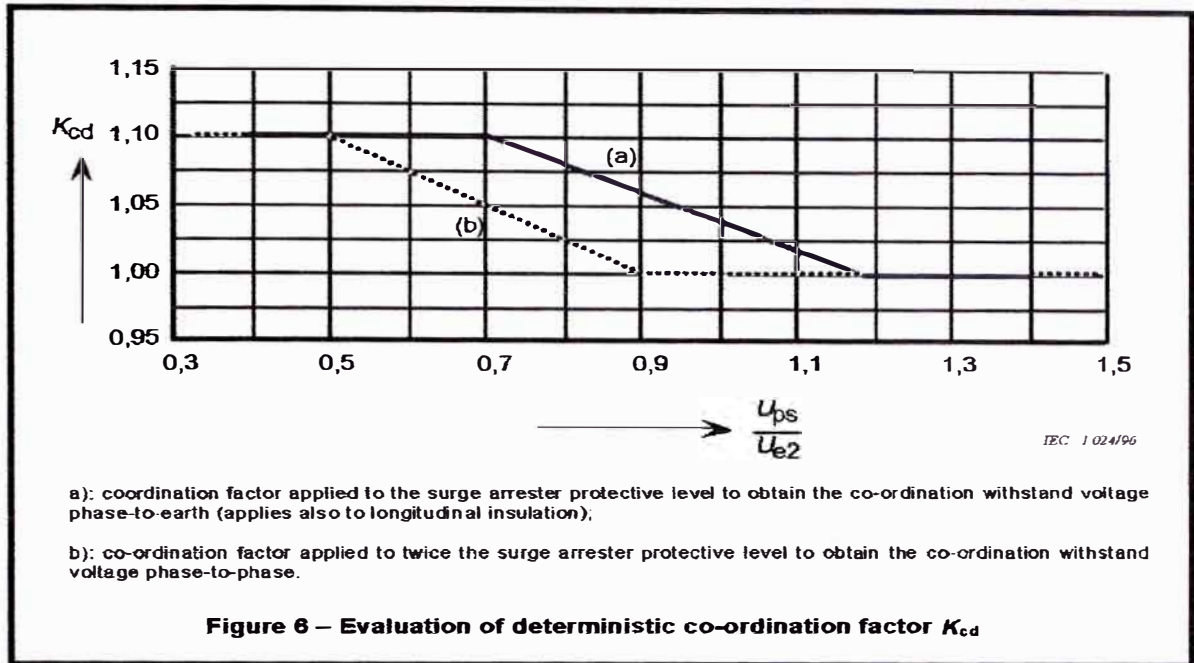
Con lo que obtenemos las sobretensiones temporales:

Fase-tierra	212 kV
Fase-fase	343 kV

##### 4.3.2. Sobretensiones de Frente Lento o de maniobra

La norma nos recomienda las siguientes ecuaciones para hallar el factor  $K_{cd}$ , de la figura N° 6 de la IEC 60071-2 que se adjunta a continuación.

Equipo de entrada		Relación	Kcd	
fase-tierra	Ups/Ue2	0.64	1.100	curva a (*)
fase-fase	2Ups/Up2	0.86	1.007	curva b (*)
Para todos los equipos		Relación	Kcd	
fase-tierra	Ups/Ue2	1.02	1.033	curva a (*)
fase-fase	2Ups/Up2	1.33	1.000	curva b (*)



Con lo que obtenemos las sobretensiones de frente lento o de maniobra según la norma IEC 60071-2:

Fase-tierra	$U_{cw}=K_{cd} \times U_{ps}$	426.00 kV	Para equipos de entrada
	$U_{cw}=K_{cd} \times U_{ps}$	400.00 kV	Para todos los equipos
Fase-fase	$U_{cw}=K_{cd} \times 2 \times U_{ps}$	780.00 kV	Para equipos de entrada
	$U_{cw}=K_{cd} \times U_{pt}$	639.00 kV	Para todos los equipos

#### 4.3.3. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo (configuración propuesta, 2 ternas de pararrayos)

Se calcula el aislamiento externo e interno de los equipos a usarse, según la norma IEC 60071-2, mencionada en el numeral 3.3.3.2, Tablas F 2 (Ver Figura 4), y las ecuaciones F 18 y F19; para lo cual tenemos la siguiente información:

NPR (UpI)		451.0 kV
Factor A (Tabla F.2 - IEC 60071-2)		4500.0 kV
Cant. de líneas conectadas a la subestación n=		2.0
Aislamiento Externo (L1), distancia del pararrayos al equipo con aislamiento externo mas alejado		50 m
Aislamiento Interno (L2), distancia del pararrayos al equipo con aislamiento interno mas alejado		50 m
Vano típico de la línea	Lsp=	300 m
Indice de fallas (salidas)	Rkm =	1.0 /100 (km por año)
Tasa de falla aceptable	Ra =	1.0 /400 (años)
Longitud equivalente de tasa de fallas	La=Ra/Rkm	250.0 m
	Factor reducción=	1.0

**Tabla F.2 (Norma IEC 60071-2)**

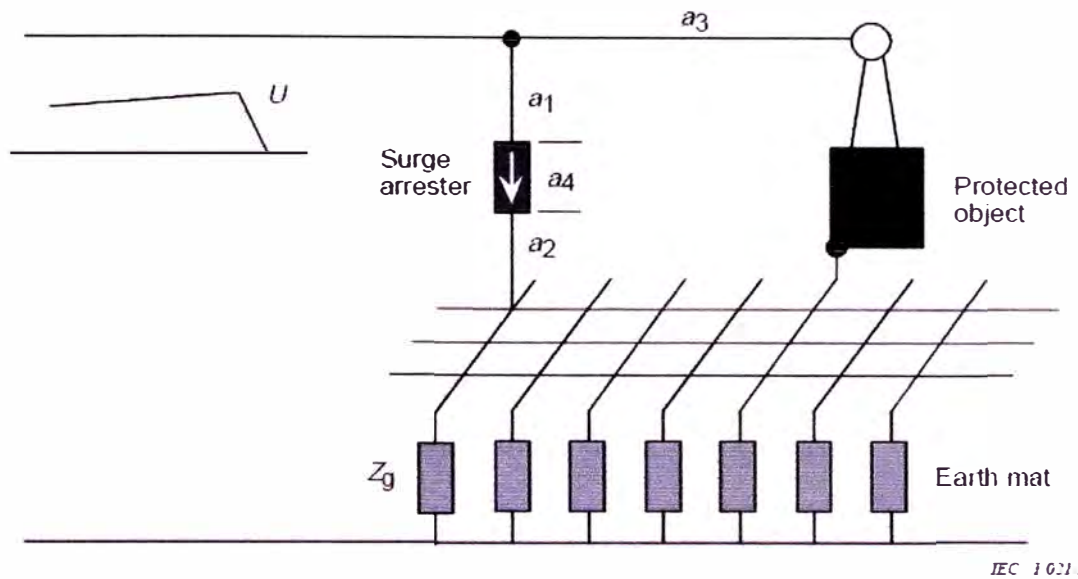
**Factor A para diferentes tipos de líneas aéreas**

<b>Tipo de Líneas</b>	<b>A</b>
	<b>kV</b>
<b>Líneas de Distribución</b>	
- Con las crucetas puestas a tierra (cebado a tierra con una tensión pequeña)	900
- Líneas con apoyos de madera (cebado a tierra con una tensión alta)	2700
<b>Líneas de Transmisión (cebados fase-tierra)</b>	
- Un solo conductor	4500
- Haz doble	7000
- Haz cuádruple	11000
- Haz de seis u ocho conductores	17000

**Figura 4:** Tabla F.2., IEC 60071-2

Así mismo, la distancia del pararrayo a cualquier equipo que protege se da de la siguiente manera, según la Figura 5 (*Figura 3 de la norma IEC 610071-2*).

El valor de estas distancias son obtenidas de los planos e información preliminar del diseño de la subestación.



- $a_1$  : length of the lead connecting the surge arrester to the line  
 $a_2$  : length of the lead connecting the surge arrester to earth  
 $a_3$  : length of the phase conductor between the surge arrester and the protected equipment  
 $a_4$  : length of the active part of the surge arrester  
 $Z_g$  : earthing impedance  
 $U$  : impinging overvoltage surge.

Figure 3 – Diagram for surge arrester connection to the protected object

Figura 5: Figura 3 de la norma IEC 610071-2

### Aislamiento Externo

$$U_{CW} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L_1}{L_{sp} + L_a}$$

<b>Ucw =</b>	<b>656.0 kV</b>
--------------	-----------------

### Aislamiento Interno

En forma similar para el aislamiento externo:

$$U_{CW} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L_2}{L_{sp} + L_a}$$

<b>Ucw =</b>	<b>656.0 kV</b>
--------------	-----------------

#### 4.3.4. Sobretensiones de frente rápido o impulso tipo rayo (configuración convencional, una sola terna de pararrayos)

Para este caso convencional, ya no se toma en cuenta la terna adicional de pararrayos ubicada entre los seccionadores conectados a la barra, entonces la distancia de la única terna de pararrayos hasta el último equipo a proteger sería aproximadamente de 122 metros. Con lo que obtenemos los siguientes valores y resultados.

NPR (Up)		451.0 kV
Factor A (Tabla F.2 - IEC 60071-2)		4500.0 kV
Cant. de líneas conectadas a la subestación n=		2.0
Aislamiento Externo (L1), distancia del pararrayos al equipo con aislamiento externo mas alejado		122 m
Aislamiento Interno (L2), distancia del pararrayos al equipo con aislamiento interno mas alejado		50 m
Vano típico de la línea	Lsp=	300 m
Indice de fallas (salidas)	Rkm =	1.0 /100 (km por año)
Tasa de falla aceptable	Ra =	1.0 /400 (años)
Longitud equivalente de tasa de fallas	La=Ra/Rkm	250.0 m
	Factor reducción=	1.0

##### Aislamiento Externo

$$U_{CW} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L_1}{L_{sp} + L_a}$$

$$U_{cw} = 950.0 \text{ kV}$$

##### Aislamiento Interno

$$U_{CW} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L_2}{L_{sp} + L_a}$$

$$U_{cw} = 656.0 \text{ kV}$$



#### 4.4. Tensiones Soportadas Especificadas (Urw)

Comenzamos definiendo los siguientes factores:

- **Factores de seguridad:** Según recomendaciones de la norma IEC 60071-2.

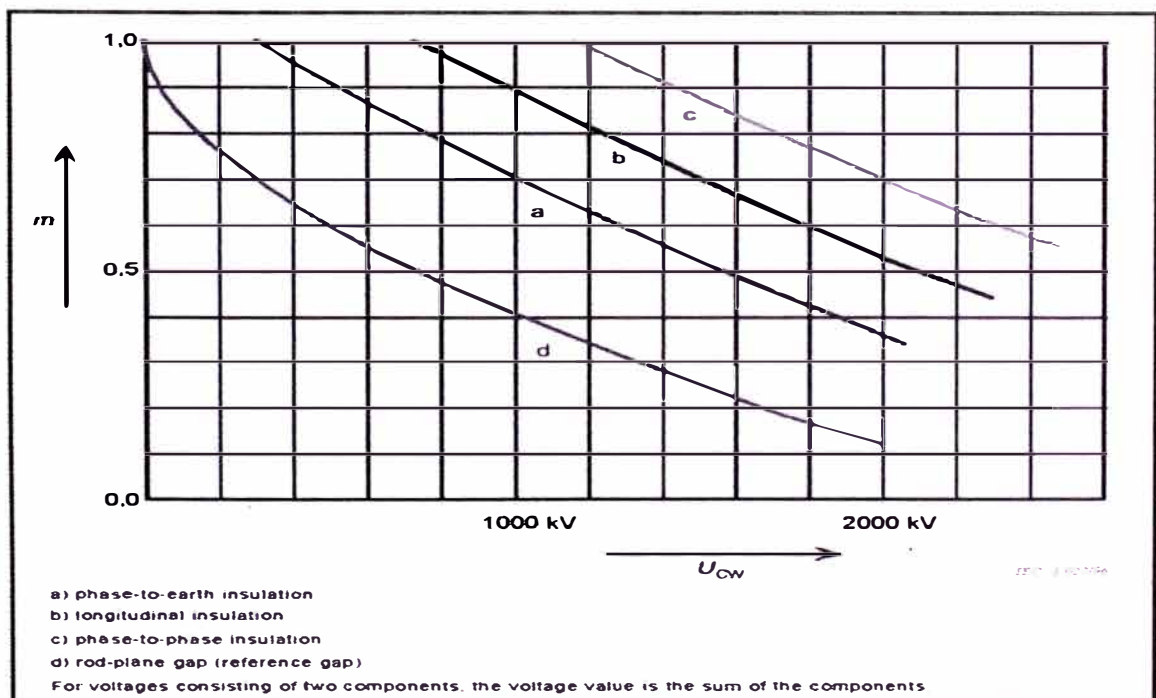
Aislamiento interno	Ks	=	1.15
Aislamiento externo	Ks	=	1.05

- **Factor de corrección por altura:** para una altura H de 41000msnm:

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

Para la tensión soportada a frecuencia industrial: **m= 0.5**

Para la tensión soportada a impulso tipo maniobra, el valor de "m" es una función de la tensión soportada de coordinación de acuerdo a la figura N° 09 de la norma IEC 60071-2.



Fase - tierra	Ucw =	426.0 kV	<b>m= 0.94</b>
Fase - fase	Ucw =	780.0 kV	<b>m= 1.00</b>



Para la tensión soportada a impulso tipo rayo:  $m= 1.0$

Como la subestación se encuentra a una altura H de 4100msnm, los valores de Ka son los siguientes:

Para la tensión soportada a frecuencia industrial	<b>Ka= 1.286</b>
Para la tensión soportada a impulso tipo maniobra	<b>Ka= 1.600 Fase - tierra</b> <b>Ka= 1.650 Fase - fase</b>
Para la tensión soportada a impulso tipo rayo	<b>Ka= 1.650</b>

Una vez obtenido los valores para ambos factores se hallan las Tensiones Soportadas Especificadas ( $U_{rw}$ ), con la siguiente ecuación:

$$U_{rw} = U_{cw} \times K_s \times K_a$$

#### 4.4.1. Valores para la configuración propuesta (2 ternas de pararrayos)

Con lo que aplicando los factores de seguridad y por altura de instalación, se obtienen los siguientes resultados:

		Externo (kV)	Interno (kV)	
TOV (Frecuencia Industrial)	fase-tierra	286.0	244.0	
	fase-fase	463.0	394.0	
BSL (Maniobra)	fase-tierra	716.0	460.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	fase-fase	1351.0 1107.0		
BIL (Impulso Atmosférico)	fase-tierra	1137.0	754.0	
	fase-fase	1137.0	754.0	

#### 4.4.2. Valores para la configuración convencional (1 terna de pararrayos)

Con lo que aplicando los factores de seguridad y por altura de instalación, se obtienen los siguientes resultados:

		Externo (kV)	Interno (kV)	
TOV (Frecuencia Industrial)	fase-tierra	286.0	244.0	
	fase-fase	463.0	394.0	
BSL (Maniobra)	fase-tierra	716.0	460.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	fase-fase	1351.0 1107.0		
BIL (Impulso Atmosférico)	fase-tierra	<b>1646.0</b>	754.0	
	fase-fase	<b>1646.0</b>	754.0	

#### 4.5. Tensiones Soportadas Normalizadas (Uw)

La recomendación IEC permite utilizar un factor de conversión que se aplica a una tensión de soporte requerida para seleccionar una tensión de soporte de diferente forma de tal manera que se obtenga el límite menor de la tensión de soporte con que debe probarse el equipo; en este caso se convierte las tensiones de maniobra a valores equivalentes de Frecuencia Industrial (FI) y BIL de acuerdo con las formulas dadas por la IEC 60071-2 (tabla N° 02).

**Table 2 – Test conversion factors for range I, to convert required switching impulses withstand voltages to short-duration power-frequency and lightning impulse withstand voltages**

Insulation	Short-duration power-frequency withstand voltage <sup>1)</sup>	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.		
<sup>1)</sup> The test conversion factors include a factor of $1/\sqrt{2}$ to convert from peak to r.m.s value.		

#### 4.5.1. A Frecuencia Industrial (configuración propuesta, 2 ternas de pararrayos)

La tabla N° 2 de la norma IEC 60071-2 da los factores de conversión de ensayo a aplicar a las tensiones aplicadas a las tensiones soportadas a impulso tipo maniobra fase-fase y fase-tierra.

<b>Interno</b>	Fase-tierra	230.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	Fase-fase	368.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos
<b>Externo</b>	Fase-tierra	490.0 456.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	Fase-fase	954.0 761.0	Para equipos de entrada Para todos los equipos

#### 4.5.2. A Frecuencia Industrial (configuración convencional, 1 terna de pararrayos)

Idéntico a los valores obtenidos para la configuración propuesta, dado que se tienen los mismos valores de entrada.

<b>Interno</b>	Fase-tierra	kV 230.0 kV	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	Fase-fase	kV 368.0 kV	Para equipos de entrada Para todos los equipos
<b>Externo</b>	Fase-tierra	490.0 kV 456.0 kV	Para equipos de entrada Para todos los equipos
	Fase-fase	954.0 kV 761.0 kV	Para equipos de entrada Para todos los equipos

#### 4.5.3. A Impulso Tipo Rayo (configuración propuesta, 2 ternas de pararrayos)

La tabla N° 2 de la norma IEC 60071-2 da los factores de conversión de ensayo a aplicar a las tensiones aplicadas a las tensiones soportadas a impulso tipo maniobra fase-fase y fase-tierra.

<b>Interno</b>	Fase-tierra	506.0	Para todos los equipos
	Fase-fase	809.0	Para todos los equipos
<b>Externo</b>	Fase-tierra	837.0	Para equipos de entrada
		781.0	Para todos los equipos
	Fase-fase	1621.0	Para equipos de entrada
		1299.0	Para todos los equipos

#### 4.5.4. A Impulso Tipo Rayo (configuración convencional, 1 terna de pararrayos)

Idéntico a los valores obtenidos para la configuración propuesta, dado que se tienen los mismos valores de entrada.

<b>Interno</b>	Fase-tierra	506.0 kV	Para todos los equipos
	Fase-fase	809.0 kV	Para todos los equipos
<b>Externo</b>	Fase-tierra	837.0 kV	Para equipos de entrada
		781.0 kV	Para todos los equipos
	Fase-fase	1621.0 kV	Para equipos de entrada
		1299.0 kV	Para todos los equipos

#### 4.6. Resumen de las Tensiones Soportadas Normalizadas mínimas requeridas.

##### Configuración propuesta, 2 ternas de pararrayos

Los valores de la tensión para Corta Duración a Frecuencia industrial están en valor eficaz (kV)		AISLAMIENTO EXTERNO				AISLAMIENTO INTERNO	
		EQUIPOS EN ENTRADA DE LÍNEA		OTROS EQUIPOS			
Los valores de la tensión para Impulsos Tipo Rayo y Tipo Maniobra están en valor pico (kVp)		$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$	$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$	$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$
		<b>Corta Duración a Frecuencia industrial</b>	fase-tierra	<b>286.0</b>	490.0	<b>286.0</b>	456.0
fase-fase	<b>463.0</b>		954.0	<b>463.0</b>	761.0	<b>394.0</b>	368.0
<b>Sobretensiones de Frente Lento</b>	fase-tierra	716.0	—	672.0	—	460.0	—
	fase-fase	1351.0	—	1107.0	—	735.0	—
<b>Sobretensiones de Frente Rápido</b>	fase-tierra	<b>1137.0</b>	837.0	<b>1137.0</b>	781.0	<b>754.0</b>	506.0
	fase-fase	1137.0	<b>1621.0</b>	1137.0	<b>1299.0</b>	754.0	<b>809.0</b>

##### Configuración convencional, 1 terna de pararrayos

Los valores de la tensión para Corta Duración a Frecuencia industrial están en valor eficaz (kV)		AISLAMIENTO EXTERNO				AISLAMIENTO INTERNO	
		EQUIPOS EN ENTRADA DE LÍNEA		OTROS EQUIPOS			
Los valores de la tensión para Impulsos Tipo Rayo y Tipo Maniobra están en valor pico (kVp)		$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$	$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$	$U_{rw(s)}$	$U_{rw(c)}$
		<b>Corta Duración a Frecuencia industrial</b>	fase-tierra	<b>286.0</b>	490.0	<b>286.0</b>	456.0
fase-fase	<b>463.0</b>		954.0	<b>463.0</b>	761.0	<b>394.0</b>	368.0
<b>Sobretensiones de Frente Lento</b>	fase-tierra	716.0	—	672.0	—	460.0	—
	fase-fase	1351.0	—	1107.0	—	735.0	—
<b>Sobretensiones de Frente Rápido</b>	fase-tierra	<b>1646.0</b>	837.0	<b>1646.0</b>	781.0	<b>754.0</b>	506.0
	fase-fase	1646.0	<b>1621.0</b>	1646.0	<b>1299.0</b>	754.0	<b>809.0</b>

Para nuestra configuración propuesta, las tensiones normalizadas a ser definidas para el propósito de las pruebas de corta duración a frecuencia industrial y impulso tipo rayo tienen que ser seleccionadas teniendo en cuenta los resultados mostrados en negrilla en la tabla anterior (valor máximo de la mínima tensión soportada requerida  $U_{rw(s)}$  o de los valores convertidos  $U_{rw(c)}$ ) y los valores normalizados propuestos en la norma IEC600741-1, numeral 4.6 y 4.7. Normalmente, estos valores son escogidos de tal manera que corresponden a los niveles de aislamiento normalizados definido en el numeral 3.33 de la norma IEC 60071-1 y mostrados en la tabla 2 de la norma IEC 60071-1.



### **Para el aislamiento interno**

Se selecciona los valores máximos obtenidos ya sea fase a tierra o fase a fase, considerando tanto los valores normales como los convertidos; teniendo como resultado:

Sobretensión de corta duración a frecuencia Industrial : 394kV

Sobretensión de frente rápido o impulso tipo rayo : 809kV

Con estos valores es suficiente para definir el nivel de aislamiento interno de los equipos

### **Para el aislamiento externo**

Para la sobretensión de corta duración a frecuencia industrial, se selecciona el valor máximo obtenido ya sea fase a tierra o fase a fase, pero de un mismo tipo, es decir, del valor normal o del valor convertido; teniendo como resultado:

Sobretensión de corta duración a frecuencia Industrial : 463kV

Para la sobretensión de frente rápido o al impulso tipo rayo, se selecciona el valor máximo de **fase-tierra**, es este valor que define el nivel de aislamiento externo del equipo, teniendo como resultado

Sobretensión de frente rápido o impulso tipo rayo : 972kV

Los equipos a la entrada de la línea son los transformadores de tensión y pararrayos. Los otros equipos se refieren a los otros componentes de la celda: interruptores, seccionadores y transformadores de corriente.

Así mismo, para garantizar el aislamiento fase a fase depende de la distancia entre fases en aire de los equipos considerados en la presente configuración, cuyos valores se detallaran mas adelante.

#### **4.7. Análisis de los valores obtenidos (Configuración Propuesta)**

De lo anterior tenemos que los valores finales de aislamiento externo y aislamiento interno son los siguientes:

<b>VALORES FINALES</b>	
<b>Aislamiento Interno</b>	
Frecuencia Industrial	394.0 kV
BIL	809.0 kV
<b>Aislamiento Externo</b>	
Frecuencia Industrial	463.0 kV
BIL	972.0 kV

En el cálculo se menciona la distancia entre el pararrayos y los equipos que protegerá, se realiza una validación (re-cálculos, **ver 4.3.3**) del aislamiento externo al impulso para el equipamiento que compone la bahía de la subestación, dependiendo de la distancia instalación (distancia de los pararrayos a los equipos que protege, ver planos adjuntos), y cuyo resumen se presenta a continuación:



Equipo que protege	Equipo a proteger	Longitud (m)	Aislamiento Externo para sobretensiones frente rápido Fase – Tierra kVp	Aislamiento sugerido al equipo (LIWL) kVp	Estado
Pararrayos 01	Transformador de Tensión	16	894	1350	Cumple
	Seccionador de Línea	42	1079	1175	Cumple
	Transformador de Corriente	46	1107	1350	Cumple
	Interruptor de Potencia	50	1137	1200	Cumple
Pararrayos 02	Seccionador de barra	15	887	1175	Cumple
	Aislador soporte	21	930	1300	Cumple

En el cuadro anterior se establece el aislamiento sugerido para el equipamiento de la subestación en base a información suministrada por el proveedor.

#### 4.8. Aislamiento Fase – Tierra Seleccionado (Configuración Propuesta)

##### 4.8.1. Interno

El mayor valor encontrado para las sobretensiones a frecuencia industrial corresponde a 394kV fase–fase; considerando que las recomendaciones IEC sugieren que los valores para el aislamiento entre fases sean iguales a la soportabilidad al impulso tipo rayo y a la soportabilidad a la onda de corta duración a frecuencia industrial fase-tierra, se selecciona el valor superior correspondiente de **395kV** asociado a una soportabilidad al impulso atmosférico de **950kV**, valor que es superior a la tensión de soportabilidad requerido de 809 kV. *La selección de la separación entre fases*

*garantizará el soporte de la tensión a frecuencia industrial resultante de la conversión de las sobretensiones de maniobra.*

#### **4.8.2. Externo**

Considerando los valores obtenidos para las sobretensiones de impulso atmosférico, de maniobra y de frecuencia industrial, se requerirían equipos con una soportabilidad al impulso atmosférico a partir de **1175kV** y una soportabilidad al impulso de maniobra de **950kV**. Esto significa que deben considerarse equipos del Rango II de la recomendación IEC 60071-1.

En lo que respecta a las subestaciones, considerando equipos de un BIL de 1175 kV, según la Tabla A-3 de la recomendación IEC 60071-1, para una soportabilidad al impulso de maniobra (fase - tierra) de 950 kV se requeriría una **separación mínima de entre fases de 3100 mm conductor – conductor y 2900 mm punta – conductor.**

Para la determinación del aislamiento longitudinal se considera la superposición de una onda a frecuencia industrial con una onda de frente rápido que tiene una magnitud igual a la soportabilidad al impulso atmosférico. La componente a frecuencia industrial se determinó teniendo en cuenta la máxima tensión de operación ( $U_s$ ), el factor de corrección atmosférica ( $K_a$ ) y el factor de seguridad para aislamiento externo ( $K_s$ ):  $245 \text{ kV} \times 1,209 \times 1,05 = 311\text{kV}$ .



A partir de la distancia fase-fase obtenida se determina la separación necesaria para el aislamiento longitudinal, que determinará la distancia fase-fase a emplear en los diseños, y estará dada por lo siguiente:

$$\text{Distancia Fase-Fase} = 2705/2 + 3600 = 4952.5 \text{ mm}$$

Para los diseños se debe considerar una distancia **Fase-Fase** de **5000 mm**.

Los valores finalmente adoptados para el diseño de las subestaciones se presentan a continuación:

Tensión Asignada Ur Valor eficaz (kV)	SIWL Valor pico (kV)	LIWL Valor pico (kV)	Distancia mínima Fase – Tierra (según IEC) mm	Distancia mínima Fase – Fase (según IEC) mm	Distancias adoptadas para el diseño Fase- Tierra/Fase- Fase mm
220	950	1175	2900	3600	2900/5000

## CAPITULO V

### RESULTADOS: SOLUCION TECNICA – ECONOMICA

#### 5.1. Análisis Técnico

En cuanto a las ventajas técnicas de la aplicación del presente cálculo para la adecuada selección del aislamiento para equipos de patio de llaves en alta tensión, podemos mencionar las siguientes:

- a) **Mayor intercambiabilidad:** Al ubicar y definir la cantidad adecuada de pararrayos en base al presente cálculo, es posible usar un mismo equipo para diferentes subestaciones esto debido a que un mismo equipo puede ser usado en un rango mas amplio de altura. En nuestro caso el interruptor usado puede ser instalada entre 0 a 4100msnm.
  
- b) **Mayor disponibilidad:** De lo anterior, al tener equipos ya idénticos para un rango de altura, es muy fácil disponer de repuestos u otros equipos que no se estén usando, con la finalidad de reducir al mínimo el tiempo de las paradas de la subestación para mantenimiento o reparación, por consiguiente se dispondría de mayor disponibilidad en el suministro de energía eléctrico.

- c) **Mejora de la confiabilidad y protección de los equipos:** Si bien es cierto la confiabilidad depende mas del arreglo o configuración de la subestación que de los propios equipos, el tener mas pararrayos en la subestación o tenerles adecuadamente ubicados, mejora la protección de sobretensiones de todos los equipos, ya sea existentes o nuevos.
- d) **Mejor performance sísmica:** Al ser equipos no sobredimensionados, tienen menos altura y requieren menos refuerzos en sus estructuras y/o cimentaciones para resistir cualquier actividad sísmica. Por ejemplo, un interruptor de 420kV (Um), viene con dos cámaras de interrupción en la parte superior formando una T, a diferencia del interruptor propuesto que solo tiene una cámara; en la primera tiene un centro de gravedad mas elevado y mayor peso, por lo cual una actividad sísmica lo afectaría en mayor medida.

## 5.2. Análisis Económico

Para el presente informe solo se evaluará la diferencia en la inversión inicial en la compra de los equipos con un nivel de aislamiento optimizado debido al uso de una terna adicional de pararrayos.

Pero cabe mencionar que existe ahorro en diferentes aspectos como consecuencia del uso de equipos con nivel de aislamiento optimizado:

- a) Al tener un mismo equipos que pueda ser usado en un rango mayor de alturas, se optimiza el costo de los repuesto por que son los mismos y se pueden tener un solo stock que puede atender varias subestaciones. o reparación, por la disponibilidad de los equipos y repuestos que se tiene.
- b) Ahorro en el costo del transporte y montaje de los equipos, se tiene un gran ahorro, dado que el peso y volumen es considerablemente menor si lo comparamos con equipos de un nivel o dos niveles inmediato superior.
- c) Ahorro en el costo de las estructuras soportes, dado que deberán soportar menor peso de los equipos con nivel de aislamiento optimizado.
- d) Costos de mantenimiento y operación también se reducen al poder contar con los mismos equipos en las diferentes subestaciones ubicados en distintas alturas.
- e) Ahorro en costo del terreno, dado que requiere de menor espacio para instalar los equipos con nivel de aislamiento optimizado.

Entre otros costos que se derivan de las ventajas que nos da usar equipos con aislamiento optimizado y correctamente protegidos con pararrayos.

A continuación se presenta una breve lista de precios para comparar ambas opciones, en el caso anteriormente estudiado y desarrollado en el Capítulo IV, dado que es ahí donde se aprecia el mayor impacto en cuanto a un ahorro económico.

<b>Subestacion Doble Barra 01 Bahía</b>						
<b>Equipos 420kV BIL 1300kVp</b>				<b>Equipos 220kV con BIL optimizado 1175kVp</b>		
<b>Equipo de Patio de Llaves</b>	<b>Cant</b>	<b>Precio Unitario (unidad monetaria)</b>	<b>Precio Total (unidad monetaria)</b>	<b>Cant</b>	<b>Precio Unitario (unidad monetaria)</b>	<b>Precio Total (unidad monetaria)</b>
Interruptor de Potencia Tripolar	1	105,000.00	105,000.00	1	65,000.00	65,000.00
Seccionador de Barra	2	18,800.00	37,600.00	2	10,000.00	20,000.00
Seccionador de Línea	1	24,500.00	24,500.00	1	12,000.00	12,000.00
Transformador de Corriente	3	14,500.00	43,500.00	3	9,000.00	27,000.00
Transformador de Tension	3	8,600.00	25,800.00	3	8,000.00	24,000.00
Pararrayos	3	4,200.00	12,600.00	6	4,200.00	25,200.00
<b>Inversion Inicial Total por bahía</b>			<b>249,000.00</b>			<b>173,200.00</b>

Se tiene un ahorro en la inversión por la compra de solamente los equipos de alta tensión de aproximadamente un **30.44%**

Nota 1: No se indica la moneda por confidencialidad de la información del proveedor.

Nota 2: La mayor cantidad de pararrayos a usar puede ser mayor o menos dependiendo de la información que se tenga de la subestación.



## CONCLUSIONES

- Se utilizan los pararrayos adicionales para reducir el nivel de aislamiento externo fase a tierra de los equipos de patio de llaves, caso contrario se deberán usar equipos de 220kV o más, con un aislamiento externo para sobretensión de Frente Rápido o Tipo Atmosférico (LIWL) de 1646kVp referido a una altura de instalación menor o igual a 1000msnm.
- La correcta ubicación (distancia a los equipos) de los pararrayos son determinantes, para reducir sobre todo el aislamiento externo de los equipos frente a Sobretensiones de Frente Rápido o Tipo Atmosférico (LIWL)
- La inversión inicial en la compra de los equipos se reduce aproximadamente en un 30% en comparación con los equipos de mayor nivel de aislamiento externo.
- El aislamiento seleccionado de los equipos de alta tensión en 220kV y las distancias de seguridad, instalados a unos 4100msnm son los siguientes:

<b>Tensión Asignada (Ur) - Valor eficaz (kV)</b>	220
<b>Sobretensión de Frente Lento o Tipo Maniobra (SIWL)</b> Valor pico (kV)	950
<b>Sobretensión de Frente Rápido o Tipo Atmosférico (LIWL)</b> Valor pico (kV)	1175
<b>Distancia mínima Fase – Tierra (según IEC) mm</b>	2900
<b>Distancia mínima Fase – Fase (según IEC) mm</b>	3600
<b>Distancias adoptadas para el diseño Fase-Tierra/Fase-Fase mm</b>	2900/5000

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar siempre la última versión de la norma IEC, debido a que puede haber cambios en las fórmulas, ecuaciones, constantes, etc.
- Para un mejor estudio de la coordinación de aislamiento, este cálculo se debe complementar con una evaluación estadística de la misma, el que puede ser realizado mediante software de simulación como: Sigma Spx.
- Para el diseño de la subestación no solo se debe tener en cuenta las distancias de seguridad indicadas, también es importante considerar las distancias que se necesitan para su mantenimiento y/o montaje en sitio.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1. SUBESTACIONES DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION.** Mejia Villegas S.A.  
– Ingenieros Consultores. Editorial: HVM Ingenieros.  
ISBN: 958-33-5295-0. Páginas: 778. Edición: 2da. Año: 2003.
  
- 2. COORDINACION DE AISLAMIENTO EN REDES ELECTRICAS DE ALTA TENSION.** J. A. Martinez Velasco. Editorial: McGraw Hill.  
ISBN: 978-84-481-6697-7. Paginas: 610. Edición: 1ra. Año: 2008.
  
- 3. Norma IEC 60071-1: Coordinación de Aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas.** 8va Edición, Año: Enero 2006.
  
- 4. Norma IEC 60071-2: Coordinación de Aislamiento, Parte 2: Guía de Aplicación.** 3ra Edición, Año: Diciembre 1996.
  
- 5. Norma Española, UNE-EN 60071-1 (Traducción de la IEC 60071-1, 1993): Coordinación de Aislamiento, Parte 1: Definiciones, principios y reglas.**  
Año: Setiembre 1997.
  
- 6. Norma Española, UNE-EN 60071-2 (Traducción de la IEC 60071-2, 1996): Coordinación de Aislamiento, Parte 2: Guía de Aplicación.** Año: Diciembre 1999.

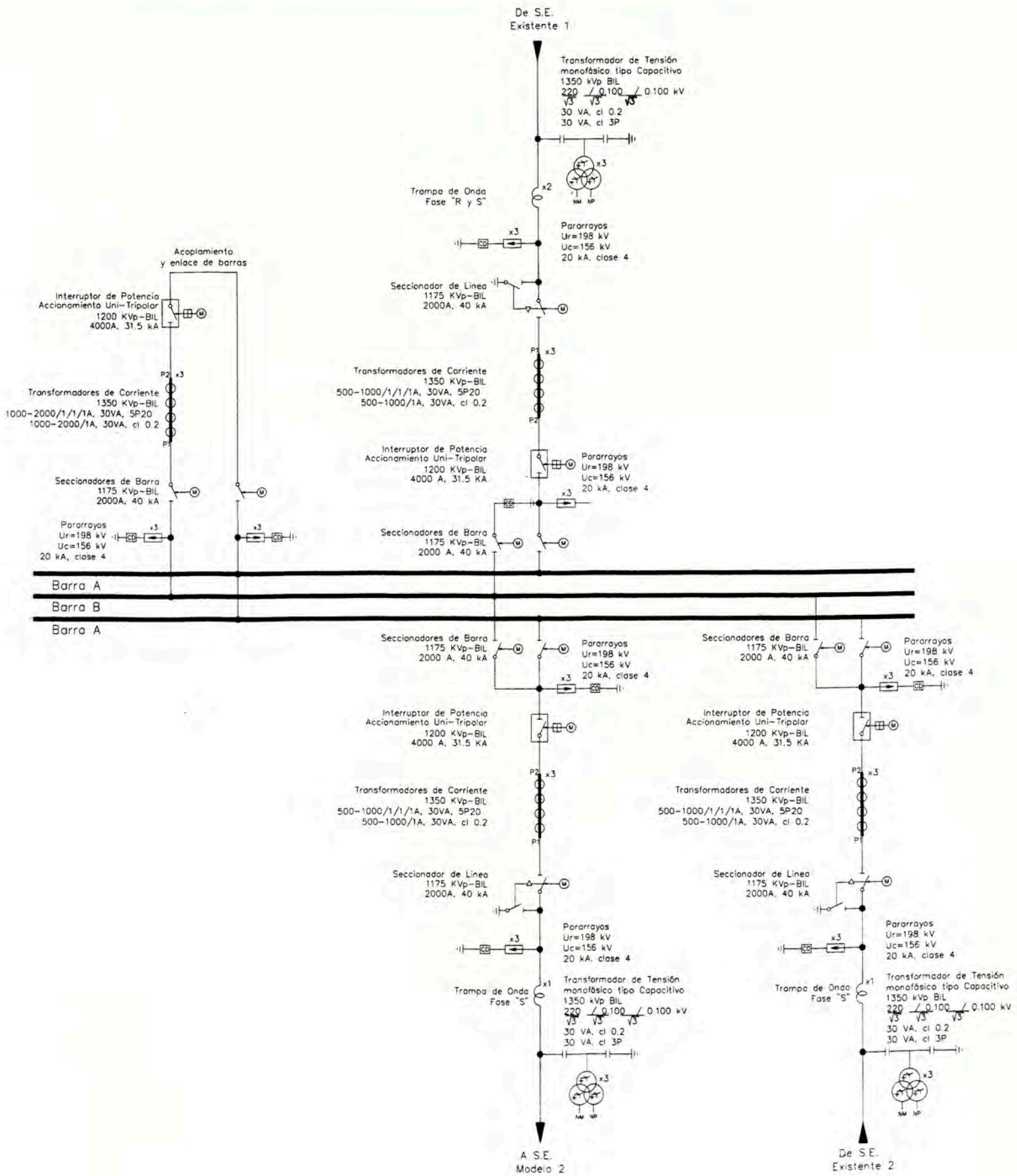
**PLANOS**

**Plano 1:** Diagrama unifilar de la subestación eléctrica modelo 220kV

**Plano 2:** Vista de planta, de la subestación eléctrica modelo 220kV

**Plano 3:** Vista de sección A – A' de la subestación eléctrica modelo 220kV

**PLANO – 1**



Leyenda de Equipos Proyectados 220 kV

Simbolo	Descripción	Marca	Tipo	Cant
	Transformador de Tensión monofásico tipo capacitivo de 1350 kV-BIL; 220V 3/0/10; 3/0,10; 3 kV; 30 VA-3P; 30VA-cl 0,2 y accesorios de anda portadora	ABB	CPA 300	03
	Seccionador de barras de accionamiento tripolar de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA. de apertura central	ABB	SGF300p100	02
	Interruptor de potencia de 4000 A; 31,5 kA 1200 kV-BIL, accionamiento: Uni-Tripolar con mando electrico	ABB	LTB 245E1 BLK 222	01
	Seccionador de linea con cuchilla de puesta a tierra de accionamiento tripolar y apertura central de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA. Con mando electrico (secc.) y mando manual (p.a.t.)	ABB	SGF300p100+ 1E100	01
	Transformador de corriente monofásico con 4 núcleos de 500-1000/1/1/1/1 A; 1350 kV-BIL; 3x(30VA-5P20); 30VA-cl 0,2;	ABB	IMB 245	03
	Pararrayos tipo óxido de zinc, con cubierta porcelana tipo EXLIM Q, Um=245 kV, Ur=198 kV, Uc= 156kV, TOV=229/217 kV para 1s/10s respectivamente, corriente de descarga nominal de 20 kA, clase 4 con un contador de descarga uno por cada pararrayo	ABB	EXLIM P-G P198-CV245	06
	Trampa de onda tipo suspendida			01

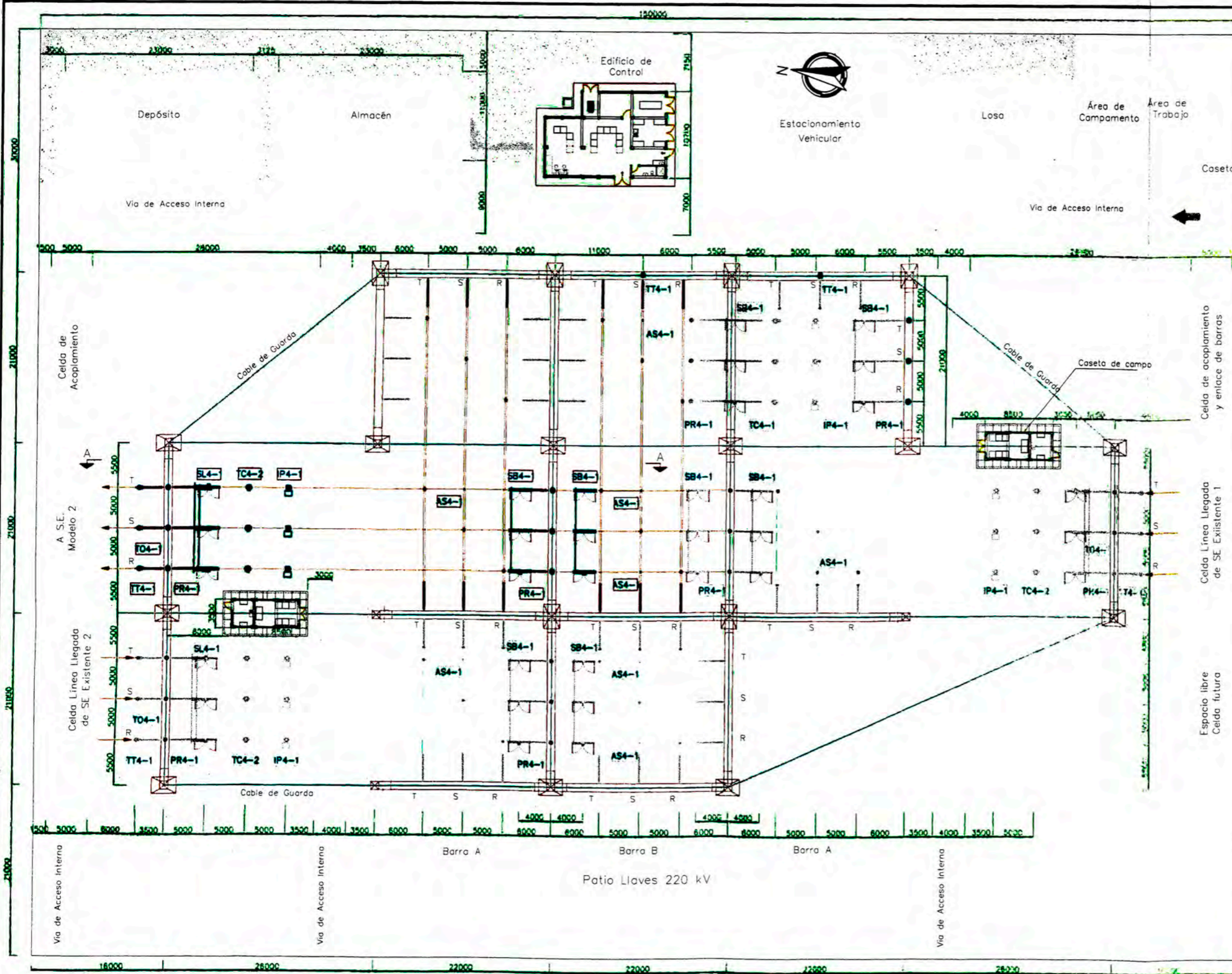
Notas :

- Um : Tensión Máxima de Red  
Uc : Tensión de Operación Continua  
Ur : Tensión Nominal  
TOV : Sobretensiones Temporales
- Esta es una subestación de derivación (no tiene transformador de potencia)
- Bahía estudiada

EJECUTOR:	EC Ingenieros Consultores S.A.	PLANO NO:	<b>Plano 1</b>	REV:	0	HOJA:	1
						CONTRATO:	NO
Any Mining Company Co.		SE Modelo 220kV (4100msnm)					
TITULO:							
<b>Diagrama Unifilar</b>							
ESCALA:	Dim. reales	DIMENSIONES:	mm	ASPECTO TECNICO:			
FECHA:	05-07-2010	DIBUJO:	E. Carrasquell	FABR:			
DISEÑO:	E. Carrasquell	APROBÓ:	E. Carrasquell	CODIGO:			
REV:	FECHA:	MODIFICACIÓN:	APROBÓ:	CONTRATO:			
				REV:	HOJA:	1	
				0	DE	3	

**PLANO – 2**





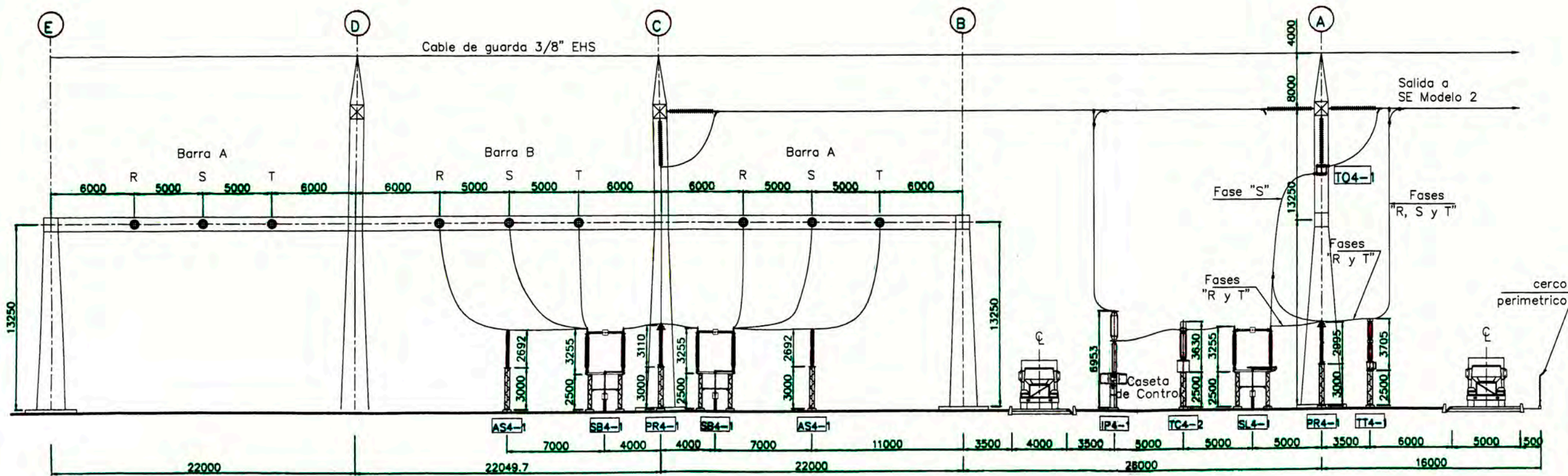
Leyenda de Equipos Proyectados 220 kV				
Simbolo	Descripción	Marca	Tipo	Cont
	Transformador de Tensión monofásico tipo capacitivo de 1350 kV-BIL; 220V 3/0/10; 370.10; 3 kV; 30 VA-3P; 30VA-cl 0.2 y accesorios de onda portadora	ABB	CPA 300	03
	Seccionador de barras de accionamiento tripolar de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA. de apertura central	ABB	SGF300p100	02
	Interruptor de potencia de 4000 A; 31,5 kA 1200 kV-BIL, accionamiento: Uni-Tripolar con mando electrico	ABB	LTB 245E1 BLK 222	01
	Seccionador de línea con cuchilla de puesta a tierra de accionamiento tripolar y apertura central de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA. Con mando electrico (secc.) y mando manual (p.a.t.)	ABB	SGF300p100+ 1E100	01
	Transformador de corriente monofásico con 4 núcleos de 500-1000/1/1/1/1 A; 1350 kV-BIL; 3x(30VA-5P20); 30VA-C10.2;	ABB	IMB 245	03
	Pararrayos tipo oxido de zinc, con cubierta parcelana tipo EXLIM O, Um=245 kV, Ur=198 kV, Uc= 156kV, TOV=229/217 kV para 1s/10s respectivamente, corriente de descarga nominal de 20 kA, clase 4 con un contador de descarga uno por cada pararrayos	ABB	EXLIM P-G P198-GV245	08
	Trampa de onda tipo suspendida			01

Planta  
Esc. 1:500

EJECUTOR: EC Ingenieros Consultores S.A.		PLANO: <b>Plano 2</b>	REV: 0	HOLA: CONTINUA
Any Mining Company Co.		SE Modelo 220kV (4100msnm)		
TITULO: <b>Vista de Planta</b>				
ESCALA: 1/500	DIMENSIONES: mm	ASPECTO TECNICO:		
FECHA: 08-07-2010	DIBUJO: E. Camarasa	FASE:		
DISEÑO: E. Camarasa	APROBADO: E. Camarasa	CODIGO:	REV: 0	HOLA: DE:
CONTRATO:				

**PLANO – 3**





Planta  
Esc. 1:316

Leyenda de Equipos Proyectados 220 kV

Simbolo	Descripción	Marca	Tipo	Cant.
	Transformador de Tensión monofásico tipo capacitivo de 1350 kV-BIL; 220V 3/0/10; 3/70,10; 3 kV; 30 VA-3P; 30VA-ci 0,2 y accesorios de onda portadora	ABB	CPA 300	03
	Seccionador de barras de accionamiento tripolar de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA de apertura central	ABB	SGF300p100	02
	Interruptor de potencia de 4000 A; 31,5 kA 1200 kV-BIL; accionamiento: Uni-Tripolar con mando eléctrico	ABB	LTB 245E1 BLK 222	01
	Seccionador de línea con cuchilla de puesta a tierra de accionamiento tripolar y apertura central de 2000 A; 1175 kV-BIL; 40 kA. Con mando eléctrico (secc.) y mando manual (p.a.t.)	ABB	SGF300p100+1E100	01
	Transformador de corriente monofásico con 4 núcleos de 500-1000/*/*/*/* A; 1350 kV-BIL; 3x(30VA-5P20); 30VA-CIG.2;	ABB	IMB 245	03
	Pararrayos tipo oxido de zinc, con cubierta porcelana tipo EXLIM Q; U <sub>m</sub> =245 kV; U <sub>m</sub> =98 kV; U <sub>ca</sub> =156kV; T <sub>OV</sub> =229/217 kV para 1s/10s respectivamente; corriente de descarga nominal de 20 kA, clase 4 con un contador de descarga uno por cada pararrayos	ABB	EXLIM P-G P198-OV245	06
	Tiradas de onda tipo susbendida			01

EJECUTOR: EC Ingenieros Consultores S.A.		PLANO No: <b>Plano 3</b>	REV: 0	HOUA: CONTRA NC
Any Mining Company Co.		SE Modelo 220kV (4100msnm)		
TITULO: <b>Vista de Sección A - A'</b>				
ESCALA: 1/316	DIMENSIONES: mm	ASPECTO TÉCNICO: Se muestra solo la bahía analizada		
FECHA: 05-07-2010	DIBUJO: E. Camarasa	FASE:		
DISEÑO: E. Camarasa	APROBADO: E. Camarasa	CODIGO:		
REV: 0	FECHA:	MODIFICACIÓN:	APROBADO:	REV: 0

# **ANEXOS**

**Anexo 1 – Figura 1:** Diagrama de flujo para la determinación del nivel nivel de aislamiento asignado y normalizado, IEC 60071-1.

**Anexo 2 – Tabla 1:** Clases y formas de sobretensiones, formas de tensiones normalizadas y pruebas de tensiones soportadas normalizadas, IEC 60071-1.

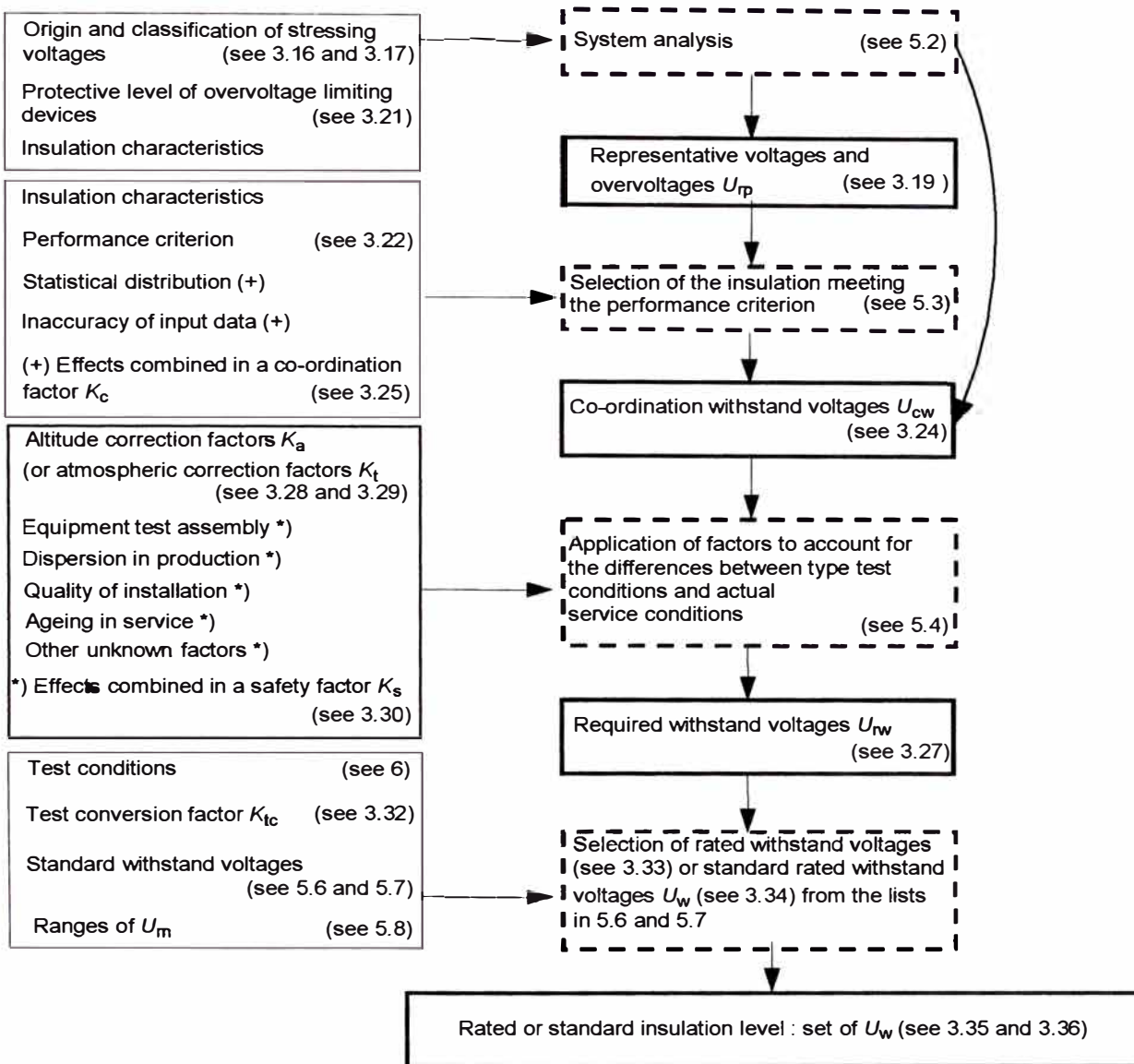
**Anexo 3:** Tabla 2, Tabla 3 y Tabla A.3, Norma IEC 60071-1.

**Anexo 4:** Tabla A.1: Correlación entre la tensión normalizada al impulso tipo rayo y mínimas distancias en aire, A.2: Correlación entre la tensión normalizada al impulso tipo maniobra y mínimas distancias en aire fase a tierra y A.3: Correlación entre la tensión normalizada al impulso tipo maniobra y mínimas distancias en aire fase a fase, Norma IEC 60071-2

**Anexo 5:** Guía del comprador del pararrayos EXLIM

**Anexo 6:** Características Técnicas y plano de dimensiones referenciales del pararrayo EXLIM P198-GV245

## **ANEXO – 1**



IEC 2781/05

NOTE In brackets the subclauses reporting the definition of the term or the description of the action.

- Sided boxes refer to required input
- Sided boxes refer to performed actions
- Sided boxes refer to obtained results

**Figure 1 – Flow chart for the determination of rated or standard insulation level**

## **ANEXO – 2**

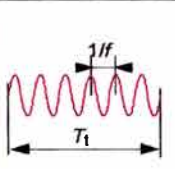
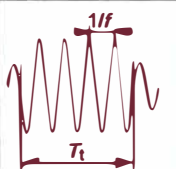
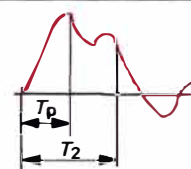
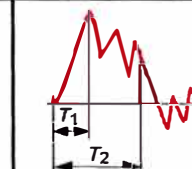
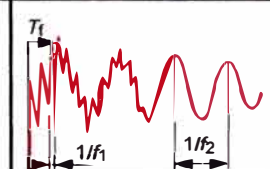
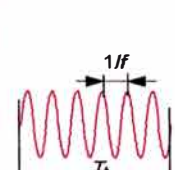
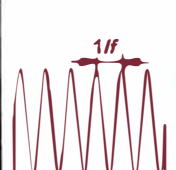
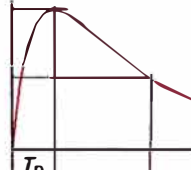
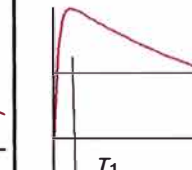


## 5.2 Determination of the representative voltages and overvoltages ( $U_{rp}$ )

The voltages and the overvoltages that stress the insulation shall be determined in amplitude, shape and duration by means of a system analysis which includes the selection and location of the overvoltage preventing and limiting devices.

For each class of voltages and overvoltages, this analysis shall then determine a representative voltage and overvoltage, taking into account the characteristics of the insulation with respect to the different behaviour at the voltage or overvoltage shapes in the system and at the standard voltage shapes applied in a standard withstand voltage test as outlined in Table 1.

**Table 1 – Classes and shapes of overvoltages, Standard voltage shapes and Standard withstand voltage tests**

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3 \text{ 600 s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_t \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_f \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$
Standard voltage shapes	 $f = 50 \text{ Hz or } 60 \text{ Hz}$ $T_t^a$	 $48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	 $T_p = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2 \text{ 500 } \mu\text{s}$	 $T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	a
Standard withstand voltage test	a	Short-duration power frequency test	Switching impulse test	Lightning impulse test	a

<sup>a</sup> To be specified by the relevant apparatus committees.

The representative voltages and overvoltages may be characterized either by:

- an assumed maximum, or
- a set of peak values, or
- a complete statistical distribution of peak values.

NOTE In the last case additional characteristics of the overvoltage shapes may have to be considered.

## **ANEXO – 3**

**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		20
		40
7,2		40
		60
12		60
		75
		95
17,5 <sup>a</sup>		75
		95
24		95
		125
		145
36		145
		170
52 <sup>a</sup>	95	250
72,5	140	325
100 <sup>b</sup>	(150)	(380)
	185	450
123	(185)	(450)
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170 <sup>a</sup>	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1050

NOTE If values in brackets are considered insufficient to prove that the required phase-to-phase withstand voltages are met, additional phase-to-phase withstand voltage tests are needed.

<sup>a</sup> These  $U_m$  are non preferred values in IEC 60038 and thus no most frequently combinations standardized in apparatus standards are given.

<sup>b</sup> This  $U_m$  value is not mentioned in IEC 60038 but it has been introduced in range I in some apparatus standards.

**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 <sup>b</sup>  kV (peak value)
	Longitudinal insulation <sup>a</sup>  kV (peak value)	Phase-to-earth  kV (peak value)	Phase-to-phase  (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 <sup>c</sup>	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

NOTE The introduction of  $U_m$  above 800 kV is under consideration, and 1050 kV, 1100 kV and 1200 kV are listed as  $U_m$  in IEC 60038 Amendment 2, 1997.

- a Value of the impulse component of the relevant combined test while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is  $U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ .
- b These values apply as for phase-to-earth and phase-to-phase insulation as well; for longitudinal insulation they apply as the standard rated lightning impulse component of the combined standard rated withstand voltage, while the peak value of the power-frequency component of opposite polarity is  $0,7 \times U_m \times \sqrt{2} / \sqrt{3}$ .
- c This  $U_m$  is a non preferred value in IEC 60038.

## **ANEXO – 4**

**Table A.1 – Correlation between standard lightning impulse withstand voltages and minimum air clearances**

Standard lightning impulse withstand voltage  kV	Minimum clearance mm	
	Rod-structure	Conductor-structure
20	60	
40	60	
60	90	
75	120	
95	160	
125	220	
145	270	
170	320	
250	480	
325	630	
450	900	
550	1100	
650	1300	
750	1500	
850	1700	1600
950	1900	1700
1050	2100	1900
1175	2350	2200
1300	2600	2400
1425	2850	2600
1550	3100	2900
1675	3350	3100
1800	3600	3300
1950	3900	3600
2100	4200	3900

NOTE – The standard lightning impulse is applicable phase-to-phase and phase-to-earth.  
For phase-to-earth, the minimum clearance for conductor-structure and rod-structure is applicable.  
For phase-to-phase, the minimum clearance for rod-structure is applicable

**Table A.2 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-earth air clearances**

Standard switching impulse withstand voltage kV	Minimum phase-to-earth mm	
	Conductor-structure	Rod-structure
750	1600	1900
850	1800	2400
950	2200	2900
1050	2600	3400
1175	3100	4100
1300	3600	4800
1425	4200	5600
1550	4900	6400

**Table A.3 – Correlation between standard switching impulse withstand voltages and minimum phase-to-phase air clearances**

Standard switching impulse withstand voltage			Minimum phase-to-phase clearance mm	
Phase-to- earth kV	Phase-to-phase value	Phase-to- phase kV	Conductor-conductor parallel	Rod- conductor
	Phase-to-earth value			
750	1,5	1125	2300	2600
850	1,5	1275	2600	3100
850	1,6	1360	2900	3400
950	1,5	1425	3100	3600
950	1,7	1615	3700	4300
1050	1,5	1575	3600	4200
1050	1,6	1680	3900	4600
1175	1,5	1763	4200	5000
1300	1,7	2210	6100	7400
1425	1,7	2423	7200	9000
1550	1,6	2480	7600	9400

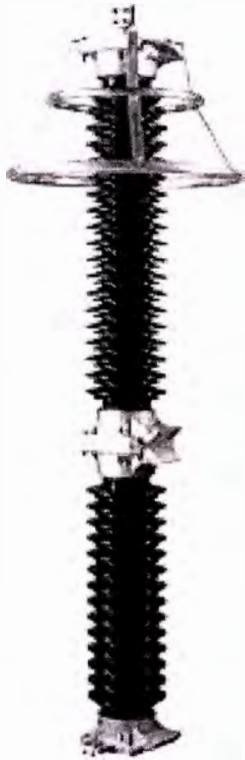
## **ANEXO – 5**



# Descargador de óxido de cinc EXLIM P

Para la protección contra sobretensiones atmosféricas y de funcionamiento de subestaciones de alta tensión, transformadores y otros equipos en redes de alta tensión.

- en zonas con intensidad de descarga muy alta
- en lugares donde las condiciones de puesta a tierra o apantallamiento son deficientes o incompletas
- para instalaciones importantes
- donde los requisitos energéticos son muy altos (por ejemplo, líneas muy largas, protección de condensadores, etc.).



## Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red ( $U_m$ ) <sub>m</sub>	52 -550 kV
Tensiones nominales ( $U_n$ )	42 -444 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	20 kA <sub>pico</sub>
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10/15 kA <sub>pico</sub>
<b>Resistencia de corriente de descarga</b>	
Corriente alta 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>pico</sub>
Corriente baja 2 000 $\mu$ s	1.350 A <sub>pico</sub>
<b>Capacidad de energía:</b>	
Clase de descarga de línea (IEC)	Clase 4
[2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	10,8 kJ/kV ( $U_n$ )
Cumple con / sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 550 kV.	
Capacidad de cortocircuito/ alivio de presión	65 kA <sub>sim</sub>
Aislamiento externo	Cumple con / sobrepasa las normas
<b>Resistencia mecánica:</b>	
Carga de servicio estática admisible (PSSL)	7.200 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	18.000 Nm
<b>Condiciones de funcionamiento:</b>	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño (Mayores altitudes bajo pedido)	máx. 1.000 m
Frecuencia	15 - 62 Hz

# Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red $U_m$ kV <sub>rms</sub>	Tensión nominal $U_r$ kV <sub>rms</sub>	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		$U_c$ kV <sub>rms</sub>	MCOV kV <sub>rms</sub>	1 s kV <sub>rms</sub>	10 s kV <sub>rms</sub>	1 kA kV <sub>pico</sub>	2 kA kV <sub>pico</sub>	3 kA kV <sub>pico</sub>	5 kA kV <sub>pico</sub>	10 kA kV <sub>pico</sub>	20 kA kV <sub>pico</sub>	40 kA kV <sub>pico</sub>
36 <sup>3)</sup>	30	24.0	24.4	34.8	33.0	58.5	60.7	62.2	64.9	68.3	74.8	81.9
	33	26.4	26.7	38.2	36.3	64.4	66.7	68.4	71.4	75.1	82.3	90.1
	36	28.8	29.0	41.7	39.6	70.2	72.8	74.6	77.9	81.9	89.7	98.3
	39	31.2	31.5	45.2	42.9	76.1	78.8	80.8	84.3	88.8	97.2	107
52	42	34	34.0	48.7	46.2	81.9	84.9	87.0	90.8	95.6	105	115
	48	38	39.0	55.6	52.8	93.6	97.0	99.4	104	110	120	132
	54	43	43.0	62.6	59.4	106	110	112	117	123	135	148
	60	48	48.0	69.6	66.0	117	122	125	130	137	150	164
72	54	43	43.0	62.6	59.4	106	110	112	117	123	135	148
	60	48	48.0	69.6	66.0	117	122	125	130	137	150	164
	66	53	53.4	76.5	72.6	129	134	137	143	151	165	181
	72	58	58.0	83.5	79.2	141	146	150	156	164	180	197
	75	60	60.7	87.0	82.5	147	152	156	163	171	187	205
	78	62	63.1	90.4	85.8	153	158	162	169	178	195	213
	84	67	68.0	97.4	92.4	164	170	174	182	192	210	230
	100	72	72.0	104	99.0	176	182	187	195	205	225	246
100	84	67	68.0	97.4	92.4	164	170	174	182	192	210	230
	96	77	77.0	111	105	188	194	199	208	219	240	263
123	90	72	72.0	104	99.0	176	182	187	195	205	225	246
	96	77	77.0	111	105	188	194	199	208	219	240	263
	108	78	84.0	125	118	211	219	224	234	246	270	295
	120	78	98.0	139	132	234	243	249	260	273	299	328
	132	78	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361
	138	78	111	160	151	270	279	286	299	314	344	377
	145	86	86.0	125	118	211	219	224	234	246	270	295
	120	92	98.0	139	132	234	243	249	260	273	299	328
145	132	92	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361
	138	92	111	160	151	270	279	286	299	314	344	377
	144	92	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394
	170	106	106	153	145	258	267	274	286	301	329	361
	144	108	115	167	158	281	291	299	312	328	359	394
	150	108	121	174	165	293	304	311	325	342	374	410
170	162	108	131	187	178	316	328	336	351	369	404	443
	168	108	131	194	184	328	340	348	364	383	419	459
	245	144	144	208	198	351	364	373	390	410	449	492
	192	154	154	222	211	375	388	398	415	437	479	525
	198	156	160	229	217	387	400	410	428	451	494	541
	210	156	170	243	231	410	425	435	454	478	524	574
245	216	156	174	250	237	422	437	448	467	492	539	590
	219	156	177	254	240	427	443	454	474	499	546	598
	228	156	180	264	250	445	461	473	493	519	568	623

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación 1HSM 9543 13-01en.

1) Las tensiones de operación continua  $U_c$  (según IEC) y MCOV (según ANSI) sólo se diferencian debido a las desviaciones en los procedimientos de prueba.

$U_c$  sólo debe considerarse cuando la tensión de red real es superior a la indicada.

Se puede seleccionar cualquier descargador con  $U_c$  superior o igual que la tensión de red real dividida por  $\sqrt{3}$ .

2) Con rendimiento primario igual a la carga energética máxima de impulso simple (7,0 kJ/kV ( $U_r$ )).

3) A petición del cliente se pueden suministrar descargadores para tensiones de red de 36 kV o inferiores, cuando el pedido también contiene descargadores para sistemas de alta tensión.

A petición del cliente puede ser posible ofrecer descargadores con voltajes inferiores o superiores para aplicaciones especiales.

# Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente						
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 µs			8/20 µs			
						U <sub>c</sub>	MCOV	1 kA	2 kA	3 kA	5 kA	10 kA
U <sub>m</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>r</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>c</sub> kV <sub>rms</sub>	MCOV kV <sub>rms</sub>	1 s kV <sub>rms</sub>	10 s kV <sub>rms</sub>	1 kA kV <sub>pico</sub>	2 kA kV <sub>pico</sub>	3 kA kV <sub>pico</sub>	5 kA kV <sub>pico</sub>	10 kA kV <sub>pico</sub>	20 kA kV <sub>pico</sub>	40 kA kV <sub>pico</sub>
<b>300</b>	216	173	174	250	237	422	437	448	467	492	539	590
	228	182	182	264	250	445	461	473	493	519	568	623
	240	191	191	278	264	468	485	497	519	546	598	656
	258	191	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705
	264	191	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721
<b>362</b>	258	206	209	299	283	504	522	535	558	587	643	705
	264	211	212	306	290	515	534	547	571	601	658	721
	276	221	221	320	303	539	558	572	597	628	688	754
	288	230	230	334	316	562	582	597	623	656	718	787
<b>420</b>	330	264	267	382	363	644	667	684	714	751	823	901
	336	267	272	389	369	656	679	696	727	765	838	918
	360	267	291	417	396	702	728	746	779	819	897	983
	372	267	301	431	409	726	752	771	804	847	927	1021
	378	267	306	438	415	737	764	783	817	860	942	1037
	381	267	308	441	419	743	770	789	824	867	950	1045
	390	267	315	452	429	761	788	808	843	888	972	1070
	396	267	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1086
	420	267	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152
<b>550</b>	396	317	318	459	435	773	800	820	856	901	987	1086
	420	336	336	487	462	819	849	870	908	956	1051	1152
	444	349	353	515	488	866	897	920	960	1015	1111	1217

Para información más detallada sobre la capacidad de sobretensiones temporales (TOV) y las características de protección, ver la publicación 1HSM 9543 13-01en.

1) Las tensiones de operación continua U<sub>c</sub> (según IEC) y MCOV (según ANSI) sólo se diferencian debido a las desviaciones en los procedimientos de prueba.

U<sub>c</sub> sólo debe considerarse cuando la tensión de red real es superior a la indicada.

Se puede seleccionar cualquier descargador con U<sub>c</sub> superior o igual que la tensión de red real dividida por  $\sqrt{3}$ .

2) Con rendimiento primario igual a la carga energética máxima de impulso simple (7,0 kJ/kV (U<sub>r</sub>)).

A petición del cliente puede ser posible ofrecer descargadores con voltajes inferiores o superiores para aplicaciones especiales.

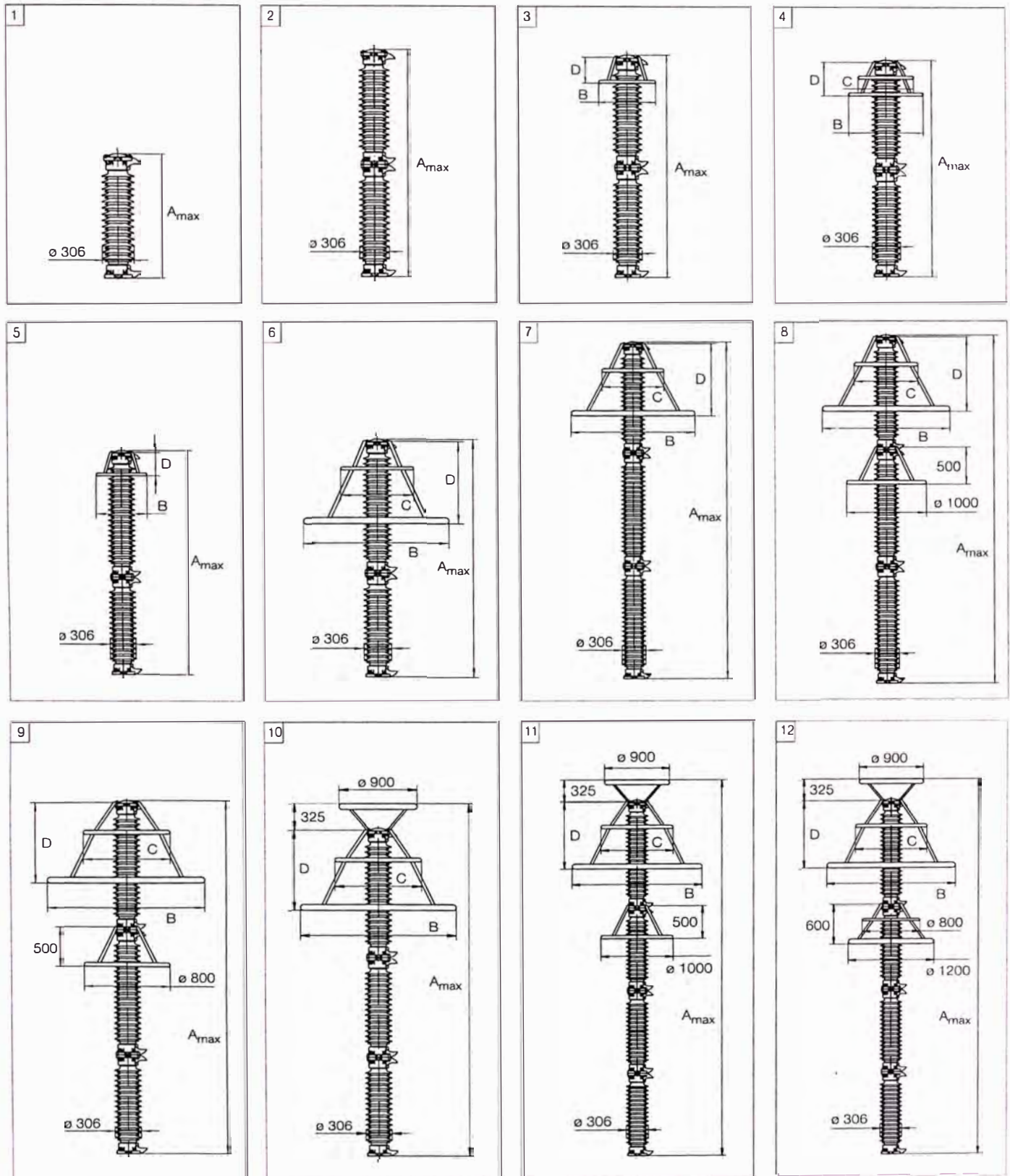
# Datos técnicos de los revestimientos

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Revestimiento	Distancia de fuga	Aislamiento externo *)				Dimensiones					
				1,2/50 $\mu$ s seco	50 Hz húmedo (60s)	60 Hz húmedo (10s)	250/2.500 $\mu$ s húmedo	Tierra kg	A <sub>pico</sub>	B	C	D	Fig.
U <sub>m</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>r</sub> kV <sub>rms</sub>		mm	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>pico</sub>						
36	30-39	GV036	1444	318	151	135	228	85	785	-	-	-	1
52	42-60	GH052	1444	318	151	135	228	90	785	-	-	-	1
	42-60	GV052	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
72	54-84	GV072	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
100	84-96	GV100	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
123	90-138	GH123	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	90-138	GV123	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
145	108-138	GM145	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	108-120	GH145	4432	774	378	359	616	150	1645	-	-	-	1
	132-144	GH145	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
	108-144	GV145	4729	904	429	408	690	200	2060	-	-	-	2
170	132-168	GH170	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1
	132	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	800	600	400	4
	144-150	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	600	-	300	3
	162-168	GV170	6570	1172	556	546	924	230	2585	-	-	-	2
245	180	GH245	6570	1172	556	546	924	240	1905	900	600	500	6
	192-198	GH245	6570	1172	556	546	924	240	2585	800	600	400	6
	210-228	GH245	6570	1172	556	546	924	240	2585	600	-	300	5
	180	GV245	7717	1360	656	632	1078	275	2915	1200	800	600	6
	192-198	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	900	600	500	6
	210	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	800	600	400	6
	216-228	GV245	7717	1360	656	632	1078	270	2915	600	-	300	5
300	228	GM300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	500	6
	240-264	GM300	6570	1172	556	546	924	245	2585	900	600	400	6
	216	GH300	7717	1360	656	632	1078	280	2915	1400	800	700	6
	228-264	GH300	7717	1360	656	632	1078	275	2915	900	600	500	6
	216	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1600	800	1000	7
	228	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1400	800	700	7
	240	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
	258-264	GV300	9855	1758	834	819	1386	355	3860	1200	800	600	7
	362	258	GM362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1400	800	700
264-288		GM362	7717	1360	656	632	1078	285	2915	1200	800	600	6
258-264		GH362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1600	800	1000	7
276-288		GH362	9855	1758	834	819	1386	360	3860	1400	800	700	7
258-288		GV362	12149	2134	1034	991	1694	425	4850	1600	800	1200	9
420	330-360	GM420	8864	1548	756	718	1232	325	3245	1200	800	600	6
	330-336	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1600	1000	1000	7
	360-372	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1400	800	700	7
	378-420	GH420	11002	1946	934	905	1540	405	4190	1200	800	600	7
	330	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	8
	336-396	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1600	800	1000	7
	420	GV420	13296	2322	1134	1077	1848	465	4850	1400	800	700	7
550	396-444	GM550	11002	1946	934	905	1540	420	4500	1800	1000	800	10
	396	GH550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	12
	420-444	GH550	14287	2352	1212	1178	2002	530	5763	1800	1000	1000	11
<b>Descargadores con neutro a tierra</b>													
123	72-84	EN123	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	90-120	EN123	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
145	84	GN145	3285	586	278	273	462	115	1315	-	-	-	1
	90-120	GN145	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
170	96-120	GN170	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
245	108-120	GN245	3285	586	278	273	462	120	1315	-	-	-	1
	132	GN245	3285	586	278	273	462	125	1315	-	-	-	1
	144	GN245	4432	774	378	359	616	155	1645	-	-	-	1

\*) Suma de las tensiones de resistencia para unidades vacías de descargador.

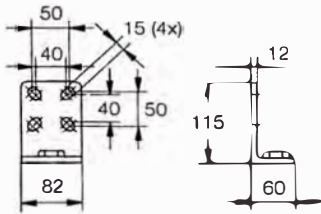


# Datos técnicos de los revestimientos

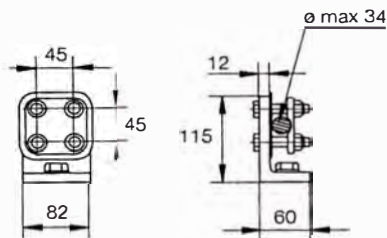


# Accesorios

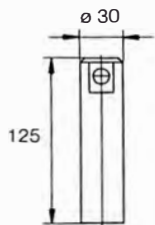
## Terminales de línea



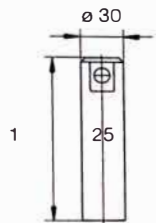
1HSA410 000-A  
Aluminio



1HSA410 000-B  
Marca de aluminio con otros  
elementos de acero inoxidable

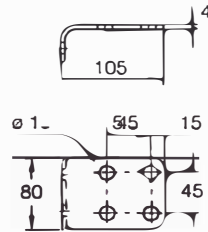


1HSA410 000-C  
Aluminio

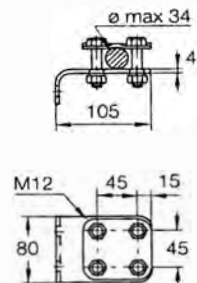


1HSA410 000-D  
Acero inoxidable

## Terminales de tierra



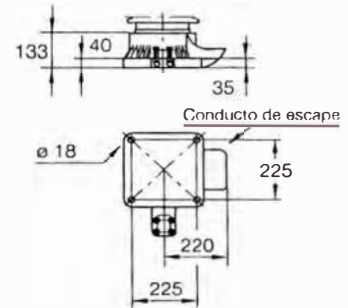
1HSA420 000-C  
Acero inoxidable



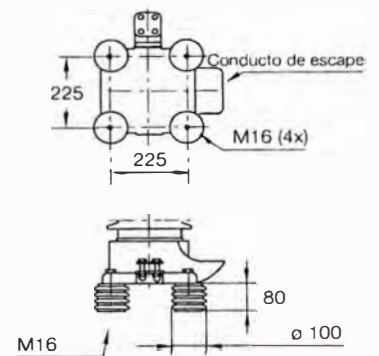
1HSA420 000-D  
Acero inoxidable

## Planos de perforación

### Sin base aislante



### Con base aislante



1HSA430 000-C  
Resina epóxica

ABB no suministra los pernos M16 para la fijación a la estructura. La longitud de sujeción de la rosca necesaria es de 15-20 mm.

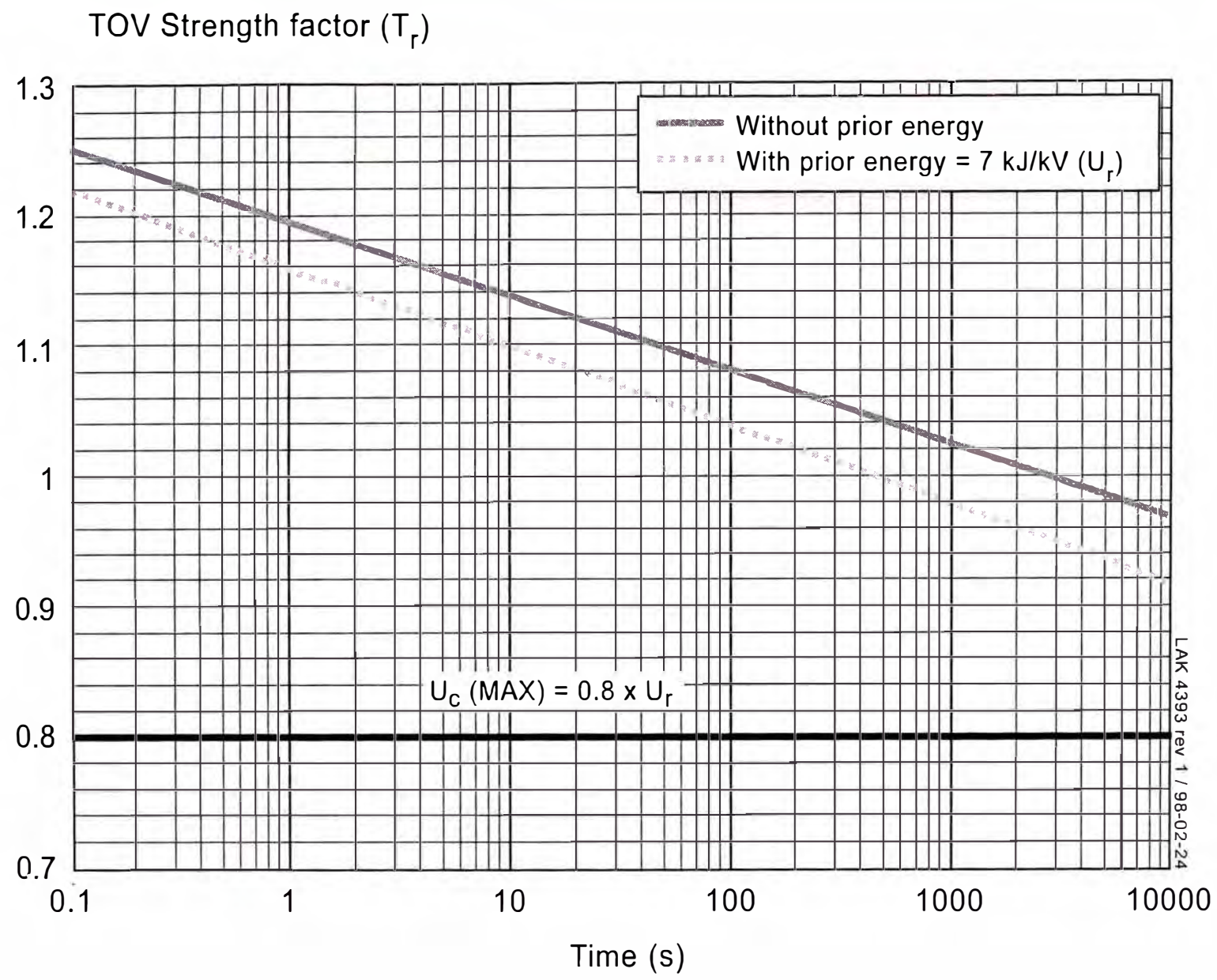
## Datos de envío

Tensión nominal	Revestimiento	Número de descargadores por caja					
		Uno		Dos		Tres	
Ur kV <sub>rms</sub>		Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg	Volumen m <sup>3</sup>	Bruto kg
30-39	GV036	0.4	115	0.9	225	0.90	320
42-60	GH052	0.4	120	0.9	235	0.9	335
42-60	GV052	0.5	150	1.4	285	1.4	410
54-84	GV072	0.5	150	1.4	285	1.4	410
84-96	GV100	0.5	155	1.4	295	1.4	425
90-138	GH123	0.5	155	1.4	295	1.4	425
90-138	GV123	0.5	190	1.7	355	1.7	515
108-138	GM145	0.5	155	1.4	295	1.4	425
108-144	GH145	0.5	190	1.7	355	1.7	515
108-144	GV145	1.4	245	2.3	470	2.3	690
132-168	GH170	0.5	195	1.7	365	1.7	530
132-168	GV170	1.4	275	2.8	545	2.8	780
180-228	GH245	1.4	285	2.8	565	2.8	810
180	GV245	2.2	365	3.8	665	3.9	945
192-228	GV245	1.7	315	3.1	615	3.1	895
228-264	GM300	1.4	290	2.8	575	2.8	825
216	GH300	2.4	385	4.2	690	4.1	975
228-264	GH300	1.7	320	3.1	630	3.1	905
216	GV300	2.5	500	5.2	930	6.1	1315
228	GV300	2.1	460	5.2	890	5.2	1255
240-264	GV300	1.9	445	4.9	875	5.0	1240
258	GM362	2.4	390	4.2	705	4.1	995
264-288	GM362	2.2	375	3.8	690	3.9	985
258-264	GH362	2.5	505	5.2	940	6.1	1330
276-288	GH362	2.1	465	5.2	900	5.2	1270
258-288	GV362	3.2	570	6.3	1055	6.7	1510
330-360	GM420	2.2	410	4.1	770	4.2	1105
330-336	GH420	3.2	545	6.0	1010	6.0	1440
360-372	GH420	2.4	505	5.5	970	5.5	1375
378-420	GH420	2.2	490	3.8	960	5.3	1370
330-396	GV420	3.2	610	6.6	1150	7.0	1600
420	GV420	2.4	570	6.1	1110	6.1	1540
396-444	GM550	3.2	565	4.6	1045	6.0	1495
396	GH550	4.6	700	6.0	1300	7.8	1855
420-444	GH550	4.6	700	6.0	1295	7.8	1850
<b>Descargadores con neutro a tierra</b>							
72-78	EN123	0.4	150	1.4	285	1.4	410
84	GNxxx	0.4	150	1.4	285	1.4	410
90-132	GNxxx	0.4	155	1.4	295	1.4	425
144	GNxxx	0.5	190	1.7	355	1.7	515

Cada caja contiene un número determinado de unidades de descargador y accesorios para el ensamble y la instalación. En el exterior de cada caja hay una lista de empaque.

Cada caja tiene un número. Los números de todas las cajas y sus contenidos se indican en la especificación de embarque. ABB se reserva el derecho a embalar los descargadores con la combinación más eficaz y económica. El uso de cajas alternativas o no estándar puede generar gastos adicionales.

# TOV capability



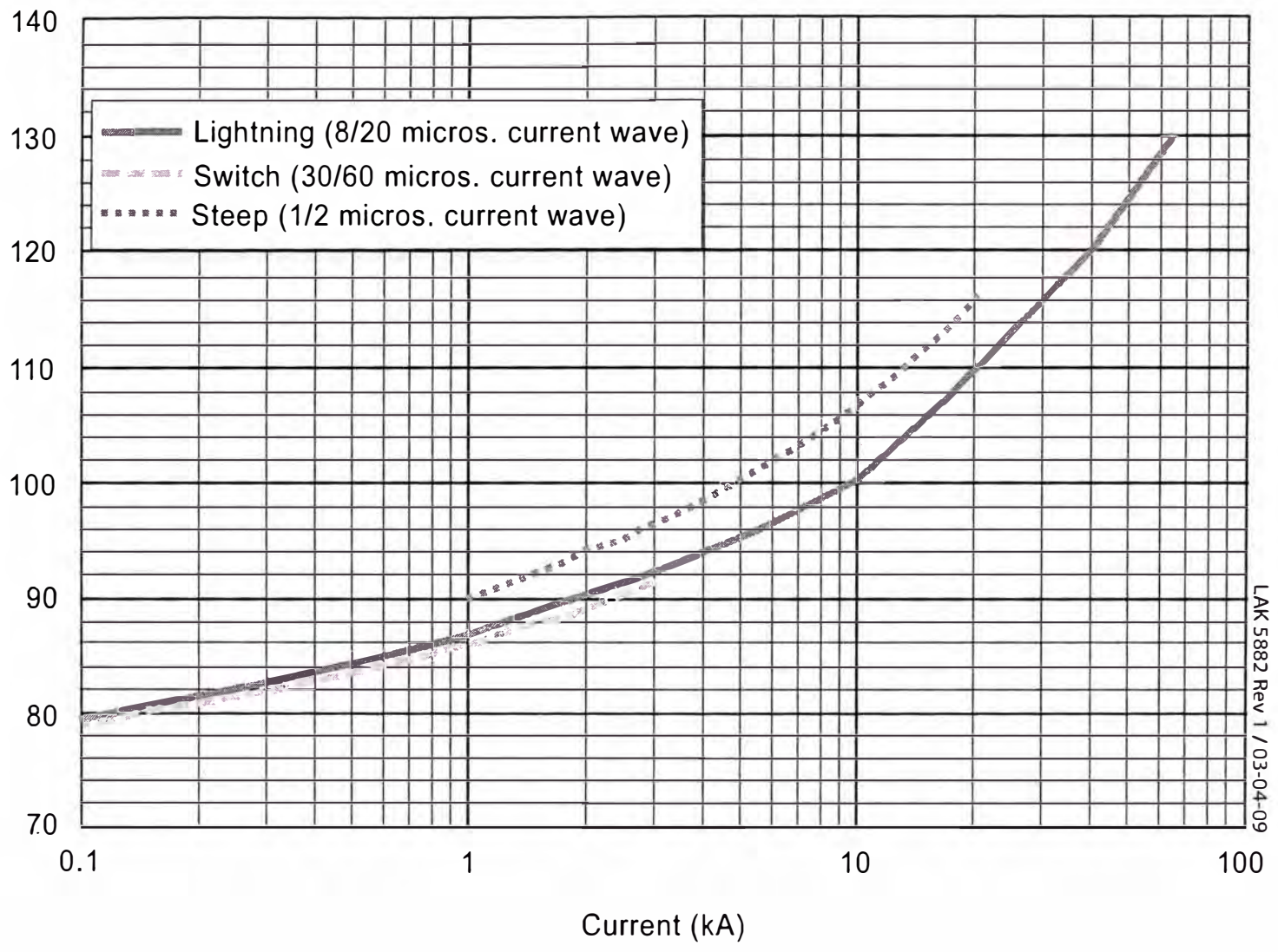
LAK 4393 rev 1 / 98-02-24



# Protective characteristics

EXLIM P

Max residual voltage in percent of residual voltage at 10 kA 8/20 impulse



LAK 5882 Rev 1 / 03-04-09

## **ANEXO – 6**

## Data Schedule

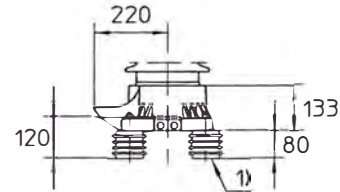
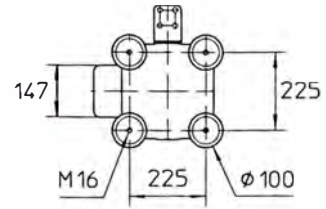
Tender ID: 07Q389049-B Pos: 121

## ABB Power Technologies

### Data schedule: Pararrayos

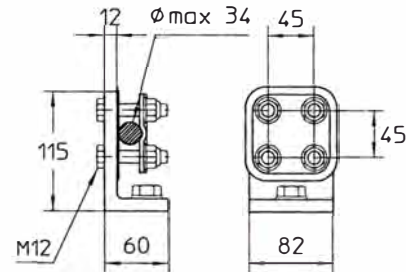
		<b>EXLIM P-G</b>
		<b>P198-GV245</b>
<b>1 Datos generales</b>		
Design		ZnO, Gapless
Fabricante, país		ABB
Normas		IEC
Catálogo		9543 12-00en
Tensión máxima de la red (Um)	kVef	245
Corriente nominal de descarga	kApico	20
Tensión nominal (Ur)	kVef	198
Tensión máxima de operación continua (Uc)	kVef	156
Capacidad de TOV (con energía previa)		
1 s	kVef	229
10 s	kVef	217
<b>2 Capacidad de energía</b>		
Clase de descarga de líneas, CEI 60099-4	Clase	4
Capacidad de energía (según CEI 60099-4, cl. 8.5.5)	kJ/kV (Ur)	10.8
Intensidad de descarga		
Alta corriente, 4/10 µs	kApico	100
Baja corriente, 2000 µs	Apico	1350
<b>3 Datos máximos garantizados de protección</b>		
Tensión residual máxima de descarga		
onda de corriente de 30/60 µs (frente de onda suave/tipo maniobra)		
0.5 kA	kVpico	375
1.0 kA	kVpico	387
2.0 kA	kVpico	400
onda de corriente de 8/20 µs (frente de onda escarpado/tipo rayo)		
5.0 kA	kVpico	428
10 kA	kVpico	451
20 kA	kVpico	494
onda de corriente de 1/(2-20) µs (frente de onda tipo escalón/FOW)		
10 kA	kVpico	480
<b>4 Datos técnicos de la envolvente</b>		
Capacidad de corto circuito		
Alta corriente, 0.2 s	kA	63
Baja corriente	A	800
Nivel de aislamiento externo		
Requerimientos según CEI 60099-4		
LIWL, 1.2/50 µs	kVpico	642
50 Hz, húmedo (60 s)	kVef	290
SIWL, húmedo (250/2500 µs)	kVpico	-
Valores de ensayo en aisladores vacíos		
LIWL, 1.2/50 µs	kVpico	1360
50 Hz, húmedo (60 s)	kVef	656
SIWL, húmedo (250/2500 µs)	kVpico	1078
Línea de fuga a tierra (nominal)	mm	7717
	mm/kV (Um)	31.4
Carga estática declarada admisible en servicio	Nm	N/A
Carga dinámica en servicio máxima admisible (MPDSL)	Nm	18000
Color de aislamiento		Porcelana Marrón

PLANTILLA DE PERFORACION

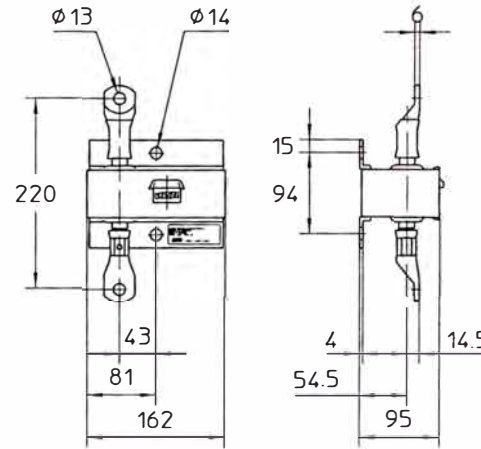


BASE AISLANTE  
1HSA430 000-C  
Resina epoxica

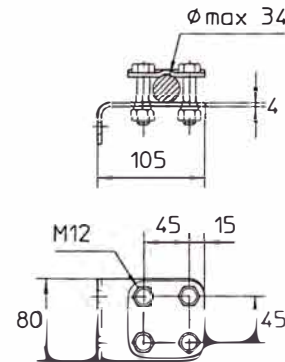
1) El perno M16 para conexión a base no es suministrado por ABB. El largo requerido para la rosca de agarre es de 15-20 mm.



TERMINAL DE LINEA  
1HSA410 000-B  
Aluminio con accesorios de acero inoxidable

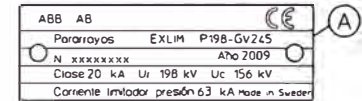
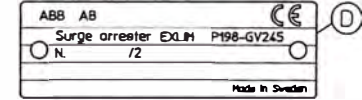
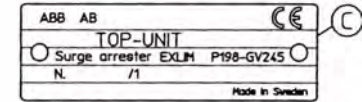


CONTADOR DE DESCARGAS EXCOUNT-A  
LB 910 007-A



TERMINAL DE TIERRA  
1HSA420 000-D  
Acero inoxidable con accesorios de acero inoxidable

Pararrayo  
EXLIM P198-GV245  
Aislador de porcelana  
Distancia de fuga: 7717 mm  
Peso: 277 kg  
Prueba de Rutina según IEC 60099-4



Prepared M Persson 2008-09-23	Responsible department HC/AK	Title PLANO DE DIMENSIONES EXLIM P198-GV245	Language ES
Approved B Linden Ask 2008-09-23	Take over department HC/AO		
Revision 4 Ordernumber added		07Q389049-B-121 A93000009-121	Sheet 1
Document no 1HSA105-4611		Cont -	

This document is issued by means of a computerized system. The data entered in this document has a date entered in the approved file. A manual signature is not required.

The information contained in this document has to be kept strictly confidential. Any unauthorized use, reproduction, distribution or disclosure to third parties is strictly forbidden. ABB reserves all rights regarding intellectual Property Rights. © Copyright ABB. All rights reserved.

Sheet  
Drawn by / Firm No  
Design checked by / Year week Cont