

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**AUDITORÍA DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO EN LA
SUBESTACIÓN CERRO CORONA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

JAVIER ENRIQUE PAUCAR RIVERA

**PROMOCIÓN
2003 - II**

**LIMA – PERU
2008**

**AUDITORÍA DE LA COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO
EN LA SUBESTACIÓN CERRO CORONA**

Dedicado a Dios por tener la familia que tengo, mis Abuelos, mis Padres, mis Hermanos y Tíos.

A mis Padres y Hermanos por su amor y apoyo incondicional, por su lucha día a día, privándose de muchas cosas por darme lo mejor, por hacer de mí lo que soy.

Y a mis Abuelos y Tíos por brindarme un espacio en sus vidas, por sus consejos, por ser para ellos un hijo más.

Gracias Dios por todo.

SUMARIO

El presente trabajo aborda un tema de poca difusión en nuestro medio, tal como lo es la coordinación del aislamiento para Subestaciones de Potencia e incluso para Líneas de Transmisión, porque además de otros factores, de ello depende la seguridad de los equipos y los materiales aislantes que utilizan, en cuanto sus tamaños, robustez y ubicación que determinan la protección, lo cual a su vez se traduce en costos de implementación, de conservación, mantenimiento y costos de reposición; de ese modo el desarrollo del tema se centra en cuatro capítulos, los dos primeros que conciernen a la ubicación y los alcances, el tercer capítulo se consagra al desarrollo metodológico y el cuarto capítulo al modelamiento digital aplicado al análisis estadístico simplificado

Para tal efecto se ha tomado como tema la verificación de la coordinación del aislamiento de acuerdo con el Estándar IEC 71-2 (1996) de las instalaciones del Patio de Llaves en 220 kV de la Subestación Cerro Corona la misma que fue realizada en la etapa de Diseño según los lineamientos de la versión anterior del citado Estándar; por tanto el propósito es también validar o señalar para actualización, los efectos que pueden originar las aplicaciones que prevalecen del diseño original que desde luego y por tratarse de Alta Tensión, se basó en el Método Determinístico, que es en todo caso el recomendado y por tanto el de mayor uso para la coordinación del aislamiento para instalaciones de hasta 300 kV de Tensión máxima de diseño.

A partir del análisis realizado se desprenden las respuestas a las interrogantes en relación a que la coordinación del aislamiento original del proyecto puede eventualmente haber sido demasiado conservadora o bien insuficiente; por tal motivo se ha considerado conveniente hacer la introducción al desarrollo de la coordinación del aislamiento que corresponde para sobretensiones de origen atmosférico, mediante el Método Estadístico Simplificado, el cual tiene poca o ninguna variación de actualización en las respectivas versiones de los estándares, habiendo utilizado el Programa de Análisis de Transitorios Electromagnéticos - ATP (Alternative Transients Program), dentro de las limitaciones en la capacidad del procesador, que en este caso permitió el modelamiento de 2000 disturbios tipo rayo.

Lima, Agosto del año 2008

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I	
ALCANCES	2
CAPÍTULO II	
COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO	4
2.1. Normas y/o Estándares	4
2.2. Definiciones.....	4
2.3. Parámetros del Sistema	6
2.4. Coordinación de Aislamiento	6
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	8
3.1. Protección Contra Sobretensiones	8
3.2. Selección del Equipo de Protección	9
3.3. Metodología para la Coordinación de Aislamiento.....	12
3.3.1. Determinación de las Sobretensiones Representativas (U _{rp}).....	13
3.3.2. Determinación de las Tensiones de Coordinación (U _{cw}).....	17
3.3.3. Determinación de Tensiones de Sostenimiento Requeridas (U _{rw})	19
3.3.4. Niveles de Aislamiento Normalizados.....	22
3.4. Análisis de Resultados	23
CAPÍTULO IV	
EMPLEO DEL SOFTWARE ATP	25
4.1. Análisis Estadístico	25
4.1.1. Índice de Falla del Equipo (TC)	27

4.1.2. Representación de los Elementos y Simulación de Casos	29
4.1.3 Resultados del Análisis Estadístico	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
ANEXOS.....	48
ANEXO A. Catálogo de Pararrayos EXLIM P	49
ANEXO B. Niveles Isocerámicos.....	50
ANEXO C. Selección del Pararrayos	51
ANEXO D. Coordinación de Aislamiento (Método Determinístico)	52
ANEXO E. Topografía de la Línea, Estructuras Empleadas y Disposición de Equipos de la Subestación Cerro Corona.....	56
ANEXO F. Parámetros del Pararrayos	60
ANEXO G. Parámetros de los Soportes de Equipos	61
ANEXO H. Representación del Sistema Cerro Corona Mediante el Programa ATP	62
ANEXO I. Parámetros Generados del Rayo y Tensiones en la Subestación.....	63
ANEXO J. Curva de Tendencia de la Distribución de Sobretensiones y Riesgo de Falla	70
BIBLIOGRAFÍA	71

INTRODUCCION

Como parte del presente informe, se plantea, corroborar o verificar los criterios tomados y los respectivos resultados en la elaboración de la coordinación del aislamiento en la Subestación Cerro Corona (Patio 220 kV), el mismo que forma parte del proyecto Implementación de la Subestación Cerro Corona, con la finalidad de revisar los parámetros de especificación para el equipamiento, que bien podrían estar correctamente dimensionados o en su defecto estar sub o sobre dimensionados.

Esta sección, presenta los resultados del estudio de coordinación de aislamiento y de selección del equipo de protección (parámetros relacionados a los pararrayos de Oxido Metálico - OZn) para confirmar el nivel de aislamiento elegido para los equipos instalados en esta subestación de potencia, de acuerdo a las recomendaciones de los estándares IEC 60071-1 e IEC 60071-2. El método planteado para corroborar lo anterior es el método determinístico conjuntamente con el método estadístico simplificado, que se recomienda en el estándar IEC 60071-2.

La naturaleza (aleatoria) de distintos factores y parámetros, que interactúan en el comportamiento del aislamiento, ya sea afectando o no a las instalaciones, hacen que se deba hacer un análisis relativamente más profundo, por lo que se plantea evaluar de modo estadístico la coordinación de aislamiento, como una manera de corroborar lo desarrollado por el método determinístico.

CAPÍTULO I

ALCANCES

La subestación Cerro Corona se conecta al Sistema Eléctrico Nacional en la SE Cajamarca, mediante una Línea en 220kV cuyas características son (Ver Anexo E):

- Longitud : aproximadamente 33,70 km
- N° de temas : una sola tema
- Cota máxima : 4085 msnm (En la zona de Cerro Corona)
- Cota mínima : 3271 msnm (En la zona de Cajamarca).

Tal como se nota, dado que los niveles de altitud sobre el nivel del mar son de los mayores, las instalaciones se encuentran en zonas de una alta densidad de descargas atmosféricas, que pueden perjudicar las instalaciones tanto de la misma Línea de transmisión como de la Subestación.

Esta Subestación es del tipo terminal, que cuenta con una bahía de llegada de Línea con conexión directa mediante un seccionador de Línea y un Interruptor hacia una barra, al cual se conectan dos Transformadores de Potencia, cada uno solo mediante un seccionador de barras (Anexo E). Pero no por estar configurada como terminal deja de ser importante, dado al alto costo de los Transformadores y de los distintos equipos, de la Subestación que exigen estar bien protegidas.

No se cuenta con datos estadísticos de la magnitud de las descargas atmosféricas y más aún de los niveles de sobretensión de rayos en sistemas similares, la única información es la tendencia de las amplitudes de rayo y el número de días al año en los que hay tormentas; por tal motivo se emplearán las recomendaciones del estándar IEC 60071-2 para estos casos (Análisis Paramétrico). O en su defecto ayudarnos de una herramienta computacional, como es el caso del ATP, que recién en los últimos años empezó la difusión en nuestro medio a pesar de ser un Software libre, el mismo que sirve para el análisis de transitorios electromagnéticos, que entre una de sus funciones tiene la opción de generar parámetros de forma aleatoria, y obtener respuestas (sobretensiones) en el sistema en estudio de forma aleatoria (Análisis Estadístico – Método de Monte Carlo).

La zona de la SE Cerro Corona es de alta contaminación (Zona Minera), por la cual se establece determinadas condiciones según los lineamientos del estándar IEC – 815 (Tabla N° 1.1)

TABLA N° 1.1 Líneas de Fuga Específica Según Niveles de Contaminación

DISTANCIA DE FUGA ESPECÍFICA (mm/kV)	GRADO DE CONTAMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LAS ÁREAS
16	I	Ligero	1.-Sin Industrias y baja densidad de vivienda. 2.-Baja densidad de viviendas o industrias pero con vientos y/o lluvias frecuentes. 3.-Zonas Montañosas y/o agrícolas. NOTA: Todas estas deben estar ubicadas por lo menos a 10-20km del mar. También influye la Topografía y la acción del viento
20	II	Medio	1.-Industrias que no producen humo contaminante. 2.-Alta densidad de viviendas y/o industrias sujetos vientos y/o lluvias frecuentes 3.-Áreas expuestas al viento del mar, no muy cerca de la costa.
25	III	Alto	1.-Alta densidad de industrias y urbanizaciones de grandes ciudades 2.-Áreas cerca del océano o expuestas a la fuerte acción de los vientos del mar.
31	IV	Muy Alto	1.-Áreas sujetas al polvo conductivo o al humo industrial. 2.-Áreas muy cerca de la costa y expuestas al rocío o al viento.

Esta consideración (que adoptaría el grado de contaminación IV) también implica a la línea de fuga del aislamiento de los equipos, pero no es parte del desarrollo del presente informe.

CAPÍTULO II

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

2.1. Normas y/o Estándares

Las consideraciones y/o recomendaciones para la coordinación de aislamiento serán de acuerdo a los Estándares siguientes:

IEC N° 71	Insulation Coordination
IEC N° 71-1	Recommendations for Insulation Coordination
IEC N° 71-2	Application Guide
IEC N° 99-4	Metal-Oxide Surge Arresters Without Gaps for A.C. Systems

2.2. Definiciones

Los siguientes, son términos y definiciones a ser utilizados en el presente documento, por lo que es necesario hacer un breve resumen de sus definiciones de acuerdo a lo indicado en los Estándares IEC.

Tensión nominal del sistema (U_n): Es la tensión eficaz fase - fase para el cual el sistema es diseñado.

Tensión máxima del sistema: Es la máxima tensión eficaz fase – fase que se puede presentar durante operación normal en cualquier momento y en cualquier punto del sistema.

Tensión máxima de diseño (U_m): Es la tensión eficaz más alta para la cual el equipo ha sido diseñado con respecto a su aislamiento, también conocida como tensión máxima de equipo.

Sobretensión: Cualquier tensión dependiente del tiempo, entre fase y tierra o entre fases cuyo valor pico o valores excedan el correspondiente valor pico ($U_m \cdot \sqrt{2} / \sqrt{3}$ ó $U_m \cdot \sqrt{2}$) derivado de la tensión máxima de diseño del equipo.

Sobretensión temporal: Una sobretensión oscilatoria entre fases o fase tierra en un lugar dado del sistema que resulte generalmente de una falla, con tiempos de duración relativamente grandes, y tienen poca o ninguna amortiguación, pero de otra forma, se logra controlar dicho tiempo de duración mediante relés de protección.

Sobretensión de maniobra: Una sobretensión entre fases o fase tierra en un lugar dado del sistema, que resulte de una maniobra; son altamente amortiguadas y cuya duración es desde algunas decenas de microsegundos hasta miles de microsegundos.

Sobretensión por descargas atmosféricas: Una sobretensión entre fases o fase tierra en un lugar dado del sistema que resulte de una descarga atmosférica.

Tensión soportada a frecuencia industrial: Es el valor de tensión eficaz a frecuencia industrial (60 Hz) que el equipo debe soportar durante pruebas efectuadas bajo condiciones específicas y por un determinado tiempo que usualmente no sobrepasa 1 min.

Tensión soportada al impulso de maniobra: Es el valor pico de tensión soportada al impulso de tipo maniobra, el cual caracteriza al aislamiento del equipo en lo que se refiere a las pruebas del respectivo nivel básico estandarizado.

Tensión soportada al impulso atmosférico: Es el valor pico de tensión soportada al impulso atmosférico, el cual caracteriza el aislamiento del equipo en lo que se refiere a pruebas del respectivo nivel básico estandarizado.

Rayo: Descarga atmosférica, caracterizada por una onda de corriente cuyos parámetros de representación (amplitud, tiempos de frente, de cola, origen, polaridad y lugar de impacto) son de naturaleza aleatoria.

Flameo Inverso (Back Flashover): Descarga inversa que se da desde una masa (cable de guarda, estructura, ménsula) puenteando el aislador hacia alguna de las fases como consecuencia generalmente de una descarga atmosférica.

Disrupción del Aire: Vencimiento o ruptura de la rigidez dieléctrica del aire que ocurre en el perfil de un aislador y deriva en la aparición y salto de un arco, como consecuencia de una sobretensión entre sus terminales.

Nivel de protección: Corresponde al equipo de protección (pararrayos), el cual debería limitar una sobretensión entre sus terminales recortándola hasta un nivel que depende del ciclo de la corriente de conducción. Se le define como un nivel de tensión de encendido que se asocia a una corriente de descarga (nominal).

Factor de coordinación: Factor que toma en cuenta el efecto de las incertidumbres en la determinación de las tensiones máximas a las que estarán sometidos los equipos.

Factor de corrección por altura: Factor que tiene en consideración la reducción de la rigidez dieléctrica del aire en relación a la altitud sobre el nivel del mar.

Factor de seguridad: Es la relación entre las tensiones soportadas al impulso y las tensiones máximas encontradas.

Tasa de falla: Se interpreta como la tasa probabilística de salida del servicio o el índice de falla de una instalación ante determinado tipo de evento.

Para el caso de equipos de la subestación ante las sobretensiones, se tiene:

- Tipo maniobra (frente lento) 0.001-0.01 (1/operación)
- Tipo atmosférico (frente rápido): 0.001-0.004 (1/año)

2.3. Parámetros del Sistema

A continuación en la Tabla N° 2.1 se presentan los parámetros para la Subestación Cerro Corona determinados en su etapa de diseño, algunos de los cuales se pretenden corroborar, lo cual es materia del presente informe.

TABLA N° 2.1 Parámetros Característicos del Sistema Cerro Corona

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Voltaje nominal del sistema	kV	220
Frecuencia nominal	Hz	60
Tensión máxima del sistema	kV	245
Tensión máxima de diseño	kV	245
Tensión soportada al impulso atmosférico	kV	1 300
Tensión soportada a frecuencia industrial	kV	570
Nivel de contaminación ambiental	-	Muy alto
Distancia de fuga específica mínima	mm/kV	31

2.4. Coordinación de Aislamiento

La coordinación del aislamiento es el proceso de correlacionar los sostenimientos de los aislamientos (soportabilidad del aislamiento) de los equipos eléctricos, con las sobretensiones previstas, y las características de protección de los pararrayos. Dado que las subestaciones de potencia siempre incluyen equipos importantes y de un alto costo de reposición, la protección contra sobretensiones es esencial para evitar o minimizar disturbios mayores en el sistema así como fallas del equipo principal.

En una subestación, el aislamiento de transformadores, interruptores, soportes de barra, etc. debe tener un sostenimiento mayor o que exceda los niveles de la tensión de protección, provistos por dispositivos tales como pararrayos, descargadores etc.

Y así mismo tampoco debe haber un margen demasiado grande entre estos niveles de encendido del equipo de protección y dichos sostenimientos del aislamiento, dado que innecesariamente el equipo de protección pueda operar ante eventos menores (principalmente descargas atmosféricas) provocando el deterioro del mismo, cuando los equipos a proteger bien lo podrían soportar reservando el funcionamiento del equipo protector ante eventos mas severos. Pero, se debe tener presente que este mayor margen, que generalmente es mayor aislamiento, se traduce en mayores costos.

Una adecuada relación económica entre lo que significa el costo de la capacidad del aislamiento de un equipo a exigencias tipo impulso y el nivel de la tensión de protección, provistos por el dispositivo de protección (pararrayos), es un criterio que debe ser tomado en cuenta en la coordinación de aislamiento.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Como premisa de qué tipo de instalación se requiere proteger y qué parámetros o consideraciones son los que se requieren corroborar, en la Tabla N° 3.1 se presenta los datos del equipamiento de la Subestación Cerro Corona.

TABLA N° 3.1 Principales Datos Técnicos de Equipamiento SE Cerro Corona

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Tensión Nominal	kV	220
Tensión Máxima de Servicio	kV	245
Clase de Aislamiento	kV	1300
Aislamiento Interno		
Tensión de Prueba al Impulso	kV	950
Tensión a Frecuencia Industrial	kV	395
Aislamiento Externo		
Tensión de Prueba al Impulso	kV	1300
Tensión a Frecuencia Industrial	kV	570
Tensión Nominal del Pararrayos	kV	198

3.1. Protección Contra Sobretensiones

Para la protección contra sobretensiones, se debe tener en cuenta dos principios:

- 1) Prevenir la aparición de las sobretensiones
- 2) Limitar las sobretensiones

Los equipos, alternativas o medios a emplear en forma general, para de alguna forma ayudar a proteger las instalaciones de distintos tipos de sobretensiones son:

El apantallamiento de las líneas y su adecuado aislamiento (Las sobretensiones que se presentan en ellas influirán en la Subestación a la cual se conecta)

Instalación de Pararrayos a la entrada de Línea en la Subestación.

Apantallamiento de la Subestación, contra descargas directas.

Instalación de Pararrayos cercanos a equipos importantes, como es el caso del transformador.

Cierre controlado de interruptores (maniobra).

3.2. Selección del Equipo de Protección

En la S.E. Cerro corona, se considera la instalación de un juego de pararrayos como equipo de protección a la llegada de la línea, en consideración a la altura sobre el nivel del mar (3873 m.s.n.m.) por ende el nivel isoceraúnico de la zona es alto y otro juego de pararrayos antes del transformador de potencia.

Los pararrayos protegerán a los equipos de las sobretensiones de origen atmosférico generadas por el impacto de un rayo en la línea de transmisión conectada a la subestación, ya sea por falla del apantallamiento provocada por rayos cuya magnitud de corriente es relativamente bajo, o por descargas en el cable de guarda (siempre en cuando se produzca cebado inverso); así como proteger contra sobretensiones de maniobra, principalmente al transformador y de algún modo al resto de equipos.

Por tanto requiere de la selección de los parámetros característicos del pararrayos.

a. Tensión de Operación Continua y Tensión Nominal del Pararrayos

La tensión nominal del pararrayos debe ser siempre superior a la máxima sobretensión temporal (60Hz) que puede aparecer en el sistema entre fases y tierra.

Los pararrayos son seleccionados con base en las sobretensiones ocurridas por fallas monofásicas a tierra, aunque las sobretensiones producidas por pérdidas de carga también deben ser consideradas algunas veces, especialmente en sistemas con líneas largas.

La magnitud de las sobretensiones de origen interno debido a las fallas de fase a tierra dependen de la relación de impedancias de secuencia cero y secuencia positiva.

Así para sistemas efectivamente puestos a tierra en donde $X_0/X_1 < 3$ y $R_0/R_1 < 1$, los estándares IEC consideran que la máxima sobretensión eficaz, no sobrepase en un factor (K_e) veces la tensión máxima eficaz fase – tierra. En general para todo sistema se evalúa del siguiente modo:

$$TOV = K_e \cdot COV \quad (3.1)$$

$$COV \geq U_m / \sqrt{3} \quad (3.2)$$

$K_e = 1,4$: Sistema con neutro aterrado.

$K_e = 1,73$: Sistema con neutro aislado o sistema en Δ

Donde:

TOV : Máxima sobretensión temporal.

COV : Tensión de Operación Continua (mínima requerida), con un 5% adicional para sistema aterrado, que tiene en cuenta posibles armónicas que pudiesen aumentar la tensión de cresta.

Ke Factor de falla a tierra, que representa el factor incremental que conduce a la máxima tensión fase – neutro que alcanzan las fases sanas.

Luego, con *COV* y *TOV* se determinan:

$$R_o = K_o \cdot COV \quad (3.3)$$

$$R_e = TOV / K_t \quad (3.4)$$

R_o : Tensión de diseño del pararrayos.

R_e : Tensión del pararrayos de acuerdo a duración de la sobretensión.

K_o : Factor de diseño según fabricante (valor empírico), típico 1,25

K_t : Capacidad del pararrayos, depende del tiempo de duración de la sobretensión, del modo que se muestra en la Fig. N° 3.1 típico de fabricantes.

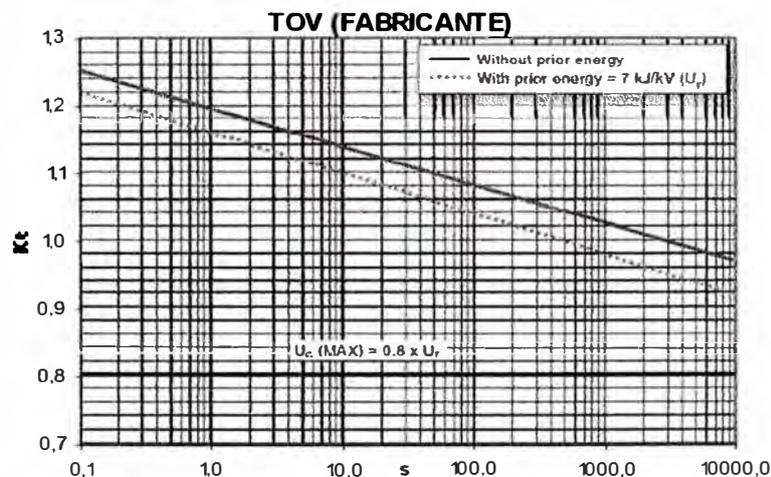


Fig. N° 3.1 Característica de Sobretensión Temporal
(Ref. ABB EXLIM-P)

Luego la tensión nominal del pararrayos (*Ur*):

$$U_r \geq \max\{R_o; R_e\} \quad (3.5)$$

Con este valor, se selecciona el valor inmediato de los valores nominales estandarizados según IEC.

Si $R_e > R_o$, entonces se redefine *COV* como:

$$COV = U_r / 1,25 \quad (3.6)$$

b. Niveles de Protección del Pararrayos

Con un valor de U_r seleccionado, nos remitimos a catálogos de fabricantes (Anexo A), donde se selecciona los demás parámetros característicos del pararrayos que son los Niveles de Protección NPM y NPR (Tensiones residuales máximas, que aparecen en los terminales del pararrayos al paso de la corriente de descarga), los cuales están basados en estándares internacionales, y a manera de muestra tenemos lo señalado en [3] (Tabla N° 3.2), que son generalmente empleados en sistemas de alta tensión.

TABLA N° 3.2 Tensiones Residuales Máximas Típicas del Pararrayos

Tensión Nominal U_r (kV)	20 kA (kVpico / U_r)			10 kA (kVpico / U_r)		
	Impulso Escarpado	Impulso Atmosférico	Impulso de Maniobra	Frente de onda	Impulso Atmosférico	Impulso de Maniobra
30 – 132	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,7	2,3 – 3,3	2,0 – 2,6
144 – 336	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,7	2,3 – 3,3	2,0 – 2,6
>360	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3	2,6 – 3,1	2,3 – 2,8	2,0 – 2,3

NPM : Nivel de protección al impulso de maniobra (1kA)

NPR : Nivel de protección al impulso atmosférico (10kA ó 20 kA)

c. Energía Absorbida por el Pararrayos

La energía absorbida por el pararrayos, viene expresada principalmente por la Clase de Descarga de Línea, que está basada en que una línea de transmisión larga, cargada con una cierta sobretensión durante una maniobra, requerirá descargar un determinado nivel de energía, la misma que un pararrayos debe ser capaz de soportarlo, que a su vez depende de la Tensión residual con impulso de maniobra (NPM).

Según [3], se tiene estandarizado la clase de descarga, la cual va de la mano con la corriente nominal de descarga que es designado principalmente por la presencia de descargas atmosféricas, remitiéndonos a la Tabla N° 3.2, la diferencia principal es la clase de descarga de línea que se les puede asignar: Para un pararrayos de 10 kA, clases uno a tres, y para uno de 20 kA, clases cuatro y cinco.

La clasificación principal se centra en la Clase de Descarga, dependiendo de los niveles de energía a disipar y soportar por el pararrayos, según:

$$W = \left(\frac{U_{ov} - U_{ps}}{1000 \cdot Z} \right) U_{ps} \cdot (2 \cdot T \cdot n), \text{ kJ} \quad (3.7)$$

Donde:

U_{ov} : Sobretensión esperada sin pararrayos (kV)

U_{ps} : Nivel de protección del pararrayos - NPM (kV)

T : Tiempo de propagación de la onda (μ s)

n : Número de descargas consecutivas sin enfriamiento del pararrayos

Z : Impedancia característica de la Línea (Ω)

Luego, de acuerdo a [3], el comportamiento de cada clase de descarga como se muestra en la Fig. N° 3.2, se relaciona con la Energía específica (W') obtenida a partir de (W) para verificar la selección de la clase de descarga.

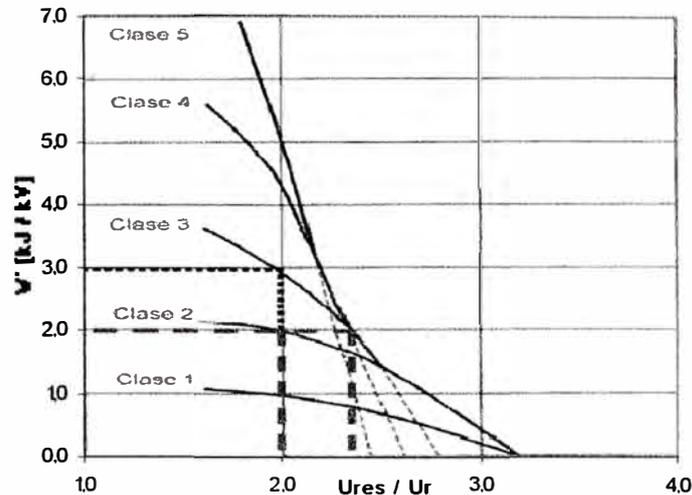


Fig. N° 3.2 Curvas de Clase de Descarga de Línea

3.3. Metodología para la Coordinación de Aislamiento

El procedimiento de coordinación de aislamiento es la determinación del sostenimiento para soportar las sobretensiones que se pueden presentar por fenómenos atmosféricos, por maniobra o sobretensiones de tipo temporal ocasionadas por fallas monofásicas a tierra o por rechazo de carga. De donde, para la determinación u optimización del nivel de aislamiento se ha considerado la metodología establecida en las recomendaciones de [1], [2].

Para la selección del aislamiento interno usaremos el método determinístico, y para el externo el método estadístico simplificado, con los cuales se procede del siguiente modo:

- Determinar las tensiones representativas
- Determinar las tensiones de coordinación
- Determinar las tensiones soportables requeridas
- Determinar las tensiones soportables normalizadas

Sin embargo, la aplicación de dicha metodología requiere de una serie de parámetros a considerar, tales como son: Conocimiento del sistema en cuanto a las sobretensiones que pudiera generar, ubicación de la instalación referente a la altitud, actividad atmosférica en la zona, índices de comportamiento permitido, es decir, índice de falla del equipo e índice de salida de la línea que estará conectada a la subestación.

De otro lado, más adelante a manera de corroborar los resultados se presentará el análisis mediante el “**Método Estadístico**” para la coordinación del aislamiento en la Subestación por sobretensiones de origen atmosférico, en razón de complementar el análisis paramétrico.

3.3.1. Determinación de las Sobretensiones Representativas (Urp)

Tensiones del Sistema

Tensión fase-tierra del sistema:

$$Usf = \frac{Um}{\sqrt{3}} \quad (3.8)$$

$$Upico = \sqrt{2}.Usf \quad (3.9)$$

Donde:

Um : Tensión máxima de equipo

$Upico$: Amplitud de la función de tensión teniendo como valor eficaz (rms) a Usf , representa el valor base para las tensiones representadas en valores por unidad.

Sobretensiones temporales

Las sobretensiones temporales, son de gran importancia porque ellas determinan las características nominales de los pararrayos y por lo tanto los niveles de protección factibles.

La ocurrencia de una falla a tierra en un determinado punto del sistema lleva a un aumento de la tensión fase - tierra en las fases sanas cuyo valor depende del grado y tipo de conexión a tierra del sistema.

El sistema esta sólidamente puesto a tierra, para estos casos, en [2] se indica que las sobretensiones temporales es menor a 1,4 veces la tensión máxima eficaz fase a tierra del sistema.

$$Urp1 = Ke.Usf \quad (3.10)$$

Ke : Factor de falla a tierra (Ver sección 3.2 Selección del Pararrayos)

Del mismo modo, se considera las sobretensiones ocasionadas por rechazo de carga, los cuales también según [2] dependiendo del tipo de sistema, tendrán determinado nivel de sobretensión como máximo. En la tabla N° 3.3 se muestran los factores a considerar para el rechazo de carga.

TABLA N° 3.3 Factores de Rechazo de carga

Tipo de Sistema	Kr
Moderadamente grande	1,2
Grande	1,5
De generación	2,5

$$U_{rp} = K_r U \quad (3.11)$$

Siendo U : U_m ó U_{sf} (tensión fase-fase o fase-tierra) según corresponda a obtener una sobretensión fase-fase o fase-tierra.

Luego, las sobretensiones representativas fase-fase y fase-tierra serán los máximos entre las consideradas por falla a tierra y rechazo de carga.

Sobretensiones de maniobra

Da una referencia de las magnitudes de los transitorios de maniobra que se pueden aceptar en sistemas con niveles de aislamiento normales.

Las sobretensiones de maniobra ocurren con la desconexión de transformadores no cargados debido a las corrientes de corte. Sin embargo pueden ocurrir sobretensiones más altas si los transformadores se desconectan inmediatamente después de la energización, cuando aún la corriente de excitación esta presente. Por lo tanto los transformadores deben ser protegidos con pararrayos.

Las sobretensiones de maniobra también se pueden asociar con la pérdida de carga, desconexión del transformador, pero estas sobretensiones rara vez exceden a 2 veces la tensión máxima eficaz.

Dado que las sobretensiones tienen un comportamiento aleatorio, se pueden representar como sobretensiones que tienen determinada probabilidad de ser excedidos, la misma de acuerdo a datos de laboratorio tiene un comportamiento con una frecuencia de probabilidad acumulada cuya forma puede ser del tipo de distribución Normal o tipo Weibull, siendo el recomendado por [2] esta última.

$$P[U \geq U_e] = 1 - 0,5 \left(1 - \frac{U_e - U_{e50}}{3 \cdot S_e} \right)^3 \quad (3.12)$$

Donde:

U_e : Sobretensión

U_{e50} : Promedio de sobretensiones, el mismo que representa al valor de sobretensión con 50% de probabilidad de ser excedido.

S_e : Desviación estándar de las sobretensiones de frente lento U_e .

De donde se desprende el valor representativo $Ue2$ (más conocido), el cual viene a ser el valor de sobretensión con 2% de probabilidad de ser excedido; así como Uet , que viene a ser el valor de truncamiento (0% de probabilidad de ser excedido, se adopta el criterio de que no hay forma de producirse mayores sobretensiones).

$$Ue2 = Ue50 + 2.Se \quad (3.13)$$

$$Uet = Ue50 + 3.Se \quad (3.14)$$

Del mismo modo de acuerdo a [2], se puede evaluar por el método del valor pico por fase, del siguiente modo:

$$\sigma = 0,25.(ue2 - 1) \quad (3.14.a)$$

$$uet = 1,25.ue2 - 0,25 \quad (3.14.b)$$

$ue2 = 3,0 p.u.$ y $ue2 = 1,9 p.u.$ para sobretensiones en equipos a la entrada y para todo los equipos respectivamente de modo estándar, por lo mismo que se trata de un sistema cuyo nivel de tensión es menor a 245 kV, donde las sobretensiones de frente lento generalmente se ven cubiertos por los equivalentes a los niveles de protección por sobretensiones de frente rápido.

Con los valores de $Ue2$ (sobretensiones fase-tierra), se pueden determinar las tensiones fase-fase $Up2$, según la Fig. N° 3.3 representada en [2]

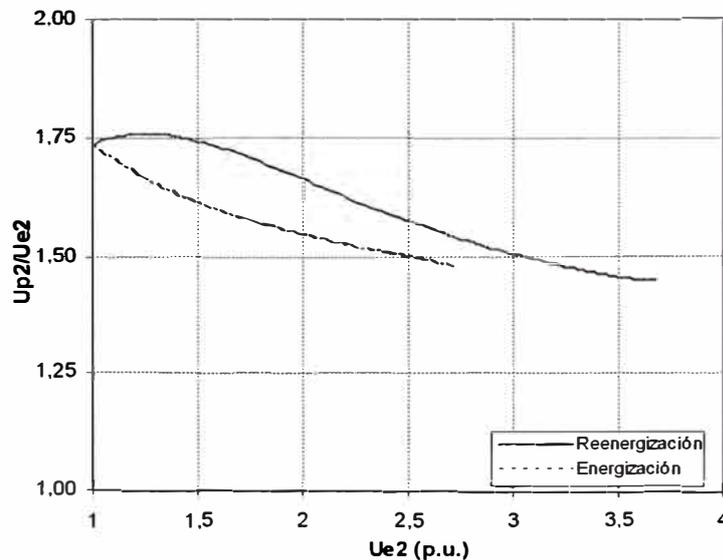


Fig. N° 3.3 Relación entre los valores 2% $Ue2$ y $Up2$

$$Upt = 1,25.Up2 - 0,25.Upico.\sqrt{3} \quad (3.15)$$

Siendo Upt , el valor de truncamiento para las sobretensiones fase-fase, con representación acumulada de sobretensiones similar a la ecuación (3.12).

Para el análisis, seleccionaremos las tensiones representativas según las sobretensiones que afectan solo a los equipos en la entrada y sobretensiones que afectan a todos los equipos, de forma separada, al que se deberá acoplar el nivel de protección al impulso de maniobra del pararrayos (NPM), el pararrayos se emplea con el fin de controlar las sobretensiones por energización de línea desde el extremo remoto.

Sobretensión fase-tierra para cualquier equipo:

$$U_{rp} = U_{ps} \quad (3.16)$$

Sobretensión fase-fase para equipos a la entrada:

$$U_{rp} = 2.U_{ps} \quad (3.17)$$

Sobretensión fase-fase para cualquier equipo excepto a la entrada:

$$U_{rp} = U_{pt} \quad (3.18)$$

Las sobretensiones representativas de maniobra se pueden representar directamente por U_{ps} (NPM o SIPL) fase-tierra, ó $2.U_{ps}$ fase-fase, siempre en cuando los valores de protección sean menores que los correspondientes valores máximos de sobretensiones de maniobra (U_{et} ó U_{pt}).

A todo lo anterior, según [2], se debe tener presente que las sobretensiones a controlar por un pararrayos son las externas a la Subestación en análisis, es decir, las originadas por maniobras en la propia Subestación son difíciles de controlarlo, porque estas ya están presentes dentro de la misma (en los equipos).

Sobretensiones atmosféricas

Las sobretensiones atmosféricas de amplitudes grandes pueden entrar a una subestación como resultados de descargas atmosféricas directas a una línea de transmisión o con flameos inversos en una estructura. La subestación siempre debe estar protegida contra descargas directas mediante un apantallamiento eficiente.

Para el caso de la Subestación Cerro Corona además de un sistema de apantallamiento adecuado requiere de la instalación de los pararrayos, y de otro lado la línea de transmisión que llega a esta subestación en lo posible debió no ser afectada o no cruzar zonas con alta tasa de presencia de rayos.

Las amplitudes de las ondas de entrada están limitadas por flameos en líneas y está normalmente en el rango de 5 a 7 veces la tensión máxima eficaz para sistemas de 72,5 kV y menores, y hasta 4 a 6 veces la tensión máxima eficaz para líneas hasta 800 kV.

La zona de influencia es una zona de alta tasa de presencia de descargas atmosféricas (la línea se ubica sobre los 4000 m.s.n.m.), y tal como se muestra en el Anexo B (según [10]), se obtiene un nivel cerámico para la zona igual a 40 días-tormenta/año.

Frente a la caída de rayos, deberá realizarse generalmente un compromiso entre el nivel de protección del pararrayos y el riesgo de falla admisible.

Según [2], se puede obtener sobretensiones representativas de origen atmosférico adoptando un índice de falla del equipo, el cual es cambiado por un índice de falla permitido para obtener las tensiones mínimas de coordinación, razón por la cual no se presentan cálculos en esta parte. Dicho de otro modo las expresiones son idénticas (Ecuación (3.21)), por no mencionar que son iguales.

3.3.2. Determinación de las Tensiones de Coordinación (U_{cw})

Dado que la idea principal es determinar un valor de soportabilidad del aislamiento (mínimo) con tal de obtener un buen desempeño del mismo cuando esté sujeto a la sobretensión representativa en condiciones reales de servicio, la tensión de coordinación será obtenida multiplicando por un factor de coordinación a la sobretensión representativa (que es la máxima asumida). Dicho factor toma en cuenta las incertidumbres de supuestos para estos dos parámetros.

Sobretensiones Temporales

La tensión de coordinación soportada por sobretensión temporal toma en cuenta un factor (K_c) de coordinación igual a la unidad (no existe influencia adicional que el propio sistema de puesta a tierra), es decir es igual a la sobretensión temporal representativa, tanto para sobretensión fase-tierra, como fase-fase.

$$U_{cw} = U_{rp} \quad (3.19)$$

Sobretensiones de Maniobra

En este caso se aplica un factor de coordinación que tiene en cuenta la presencia de pararrayos, además de las posibles variaciones en la rigidez dieléctrica del aislamiento, o en el nivel de protección del pararrayos. Según [2] dicho factor (K_{cd}) depende de la relación del Nivel de protección al impulso de maniobra del pararrayos (U_{ps}) y el valor del 2% de sobretensión prevista fase-tierra (U_{e2}), tal como se muestra en la Fig. N° 3.4 (curva f-t).

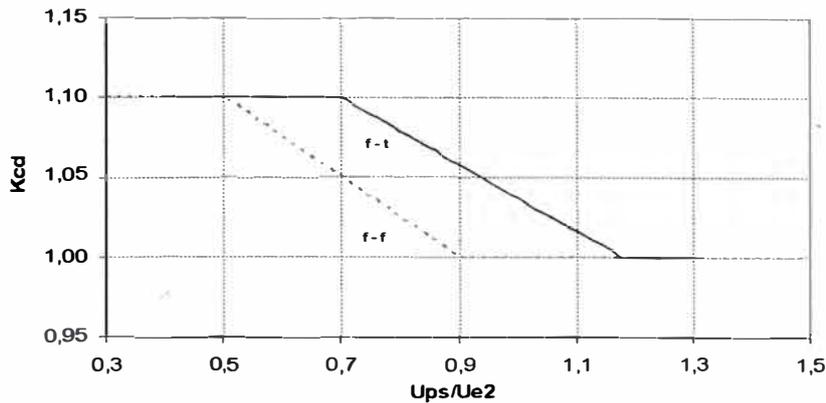


Fig. N° 3.4 Evaluación del Factor de Coordinación Determinístico

Para las sobretensiones fase-fase se realiza en función a la relación: $2(Ups)/Up2$.

Por último se tendrá:

$$Ucw = Kcd.Urp \quad (3.20)$$

Sobretensiones Atmosféricas

Para este tipo de sobretensión, la tensión de soportabilidad de coordinación se estimada por medio del método estadístico simplificado, en razón de no contar con data estadística de distintos parámetros para poder hacer una evaluación estadística.

Según [2], la expresión para determinar esta tensión soportable de coordinación es la siguiente:

$$Ucw = Upl + \frac{A}{n} \left(\frac{L}{Lsp + La} \right) \quad (3.21)$$

$$La = \frac{Ra}{Rkm} \quad (3.22)$$

Donde:

- Upl : Nivel de protección del pararrayos - NPM, (kV)
- A : Parámetro de comportamiento de Líneas, (kV) – Ver Tabla N° 3.4
- n : Número de líneas conectadas
- Lsp : Vano típico de línea, (m)
- L : Máxima distancia de separación entre el pararrayos y equipo a proteger, (m)
- La : Sección de línea con tasa de salida equivalente a un nivel de falla aceptable para el equipo, (m)
- Ra : Tasa de falla del equipo, (fallas/año)
- Rkm : Tasa de falla del primer km de línea frente a la subestación, (1/100km-año)

TABLA N° 3.4 Factor de comportamiento de líneas

Tipo de Línea	A (kV)
Simple conductor por fase	4500
Doble conductor por fase	7000
Cuatro conductores por fase	11000
Seis conductores por fase	17000

Los índices de falla tanto para el equipamiento como para la línea, de acuerdo a [2] se muestran a continuación:

$Ra \rightarrow [0,001 - 0,004]$ (Falla/año)

$Rkm \rightarrow [0,10 - 20,00]$ (Flameos/100km-año)

Por lo tanto, esas (U_{cw}) serían las tensiones correspondientes a los niveles de aislamiento del equipamiento, así como los dispositivos de protección y los niveles de sobretensión que se presentarían en el sistema, pero deberían considerarse otros parámetros que se tratan en el siguiente acápite.

3.3.3. Determinación de Tensiones de Sostenimiento Requeridas (U_{rw})

a. Consideraciones Previas

Para el aislamiento de los equipos de la Subestación, se debe tener en cuenta los parámetros mostrados en la Tabla N° 3.5:

TABLA N° 3.5 Consideraciones adicionales (importantes) de las Instalaciones de la Subestación Cerro Corona

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Altitud de instalación:	m.s.n.m.	3873
Grado de aislamiento:	s/u	Pleno
Margen de Seguridad:		
• Aislamiento Interno	p.u.	1,15
• Aislamiento Externo	p.u.	1,05

b. Tensiones de Sostenimiento Requeridas

Dado que las instalaciones de la subestación se encuentran por encima de 1000 m.s.n.m. es necesario realizar correcciones en los niveles de aislamiento debido a la altura correspondiente sobre el nivel del mar, claro que esto no es del todo cierto, ya que siempre se presenta el efecto de altura y por tanto siempre se debe corregir, incluso, se deben tener en cuenta condiciones de medio ambiente en la zona.

La consideración de corregir por altura recién a partir de 1000 m.s.n.m, es debido a que los equipos según estándar se fabrican como si fueran a instalarse a 1000 m, lo que equivale a decir, que para una altitud menor el nivel de aislamiento del equipo es mayor al que debiera corresponderle.

Por lo tanto, las especificaciones técnicas de los equipos (ya existentes) deberán cumplir con los requerimientos de niveles de aislamiento con las consideraciones de nivel de esta, así como márgenes de seguridad correspondientes, según [2].

Por lo tanto estos niveles de tensión de sostenimiento requerido según sea el tipo de sobretensión, se obtendrán del siguiente modo:

- Aislamiento Interno

$$U_{rw} = K_s.U_{cw} \quad (3.23)$$

- Aislamiento Externo

$$U_{rw} = K_a.(K_s.U_{cw}) \quad (3.24)$$

$$K_a = e^{m\left(\frac{H-1000}{8150}\right)} \quad (3.25)$$

Donde:

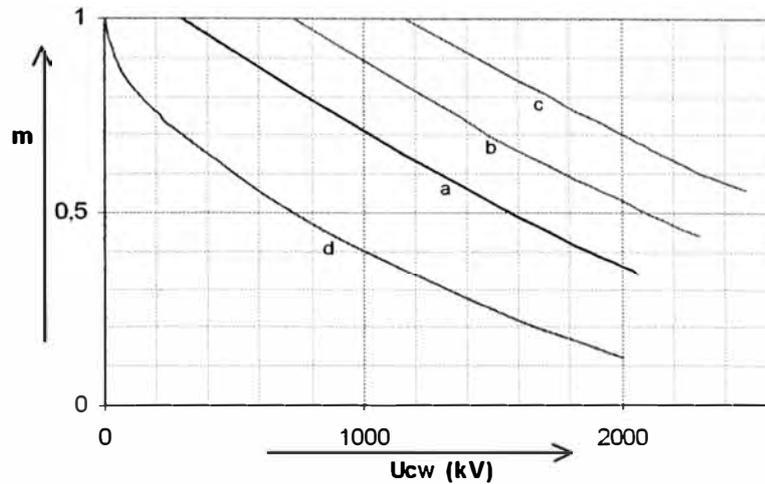
K_s : Factor de seguridad (expresado en la Tabla N° 3.5)

K_a : Factor de corrección por altura

H : Altura sobre el nivel del mar, (m)

m : Factor que depende del tipo de esfuerzo.

- Para sobretensiones temporales $m = 1$, incluso para ambiente con polución.
- Para sobretensiones de frente lento, m se determina según la Fig. N° 3.5
- Por último para sobretensiones del tipo atmosférico $m = 1$



- a) Aislamiento fase - tierra
- b) Aislamiento longitudinal
- c) Aislamiento fase – fase
- d) Espacio varilla plano

Fig. N° 3.5 Dependencia del Exponente m

c. Conversión de Tensiones Soportables de Frente Lento

En el rango de tensiones de hasta 245 kV, el nivel de aislamiento es especificado por dos valores, que son las tensiones soportables de corta duración a frecuencia industrial y al impulso atmosférico, en tal razón de acuerdo a [2] se aplican factores de conversión a las tensiones soportables al impulso de maniobra, para generar sus respectivos equivalentes en tensiones de soportabilidad mencionadas líneas arriba; dichos factores se muestran en la Tabla N° 3.6, los mismos que aplican a las tensiones de soportabilidad requeridas fase-tierra y fase-fase.

TABLA N° 3.6 Factores de Conversión a tensiones de soportabilidad normalizadas

Aislamiento	Tensión de soportabilidad de corta duración a frecuencia industrial	Tensión de soportabilidad al impulso atmosférico
Aislamiento Externo (limpio), seco		
- Fase-tierra	$0,6 + Urw / 8500$	$1,05 + Urw / 6000$
- Fase-fase	$0,6 + Urw / 12700$	$1,05 + Urw / 9000$
Aislamiento Externo (limpio), húmedo	0,6	1,3
Aislamiento Interno		
GIS	0,7	1,25
Aislamiento inmerso en líquido	0,5	1,10
Aislamiento sólido	0,5	1,00

U_{rw} , es la tensión requerida de soportabilidad al impulso de maniobra en kV

3.3.4. Niveles de Aislamiento Normalizados

Para facilitar los diseños, según [1] se ha estandarizado un número de niveles de aislamiento de los cuales se puede elegir tomando en consideración las condiciones específicas que prevalecen en el sistema, dichos valores se muestran en la Tabla N° 3.7.

TABLA N° 3.7 Niveles de Aislamiento Estandarizados ($U_m \leq 245kV$)

Tensión Máxima del Equipo U_m (kV)	Tensión de sostenimiento de corta duración a frecuencia industrial (kV _{RMS})	Tensión de sostenimiento al impulso atmosférico. (kV _{pico})
3,6		20
		40
7,2		40
		60
12	28	60
		75
		95
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
123	185	450
	230	550
145	185	450
	230	550
	275	650
170	230	550
	275	650
	325	750
245	275	650
	325	750
	360	850
	395	950
	460	1050

Del mismo modo se pueden requerir mayores niveles de aislamiento, lo que se refleja en seleccionar en el rango de niveles con mayores tensiones máximas de equipo (U_m), esto último, no quiere decir que el equipo necesariamente deba tener una tensión máxima de equipo mayor al requerido, solo que los estándares se hizo de modo de tener un rango de niveles de aislamiento para determinada tensión máxima, pero no son exclusivas de ella, es decir se puede especificar la tensión máxima de equipo con niveles de aislamiento mayores no presentados en la Tabla N° 3.7 (mayor costo de equipos).

Lo anterior tampoco es limitativo a usar la tensión máxima de equipo requerida, porque bien esta pueda ser la correspondiente al nivel de aislamiento requerido, pero que va a ser instalado en un sistema con Tensión máxima similar a la tensión máxima de equipo inicial. A continuación, en la Tabla N° 3.8 se muestran los valores de aislamiento estandarizados mayores, que en realidad fueron estandarizados para sistemas con tensiones mayores ($U_m > 245kV$).

TABLA N° 3.8 Niveles de Aislamiento Estandarizados ($U_m > 245kV$)

Tensión Máxima del Equipo U_m (kV)	Tensión de soportabilidad al impulso tipo maniobra (kV_{pico})	Tensión de soportabilidad al impulso atmosférico. (kV_{pico})
300	750	850 950
	850	950 1050
362	850	950 1050
	950	1050 1175
420	850	1050 1175
	950	1175 1300
	1050	1300 1425
525	950	1175 1300
	1050	1300 1425
	1175	1425 1550
765	1300	1675 1800
	1425	1800 1950
	1550	1950 2100

3.4. Análisis de Resultados

Parámetros Característicos del Pararrayos

Tal como lo obtenido en el Anexo C (teniendo en cuenta el Anexo A), los parámetros del Pararrayos requerido son:

Tensión nominal normalizada	198,00 kV
Tensión residual con onda de corriente 8/20 us (NPR)	496,1 kV (20kA)
(Ures(10) = 451 kV – Tensión residual a 10kA, 8/20 us)	
Tensión residual con onda de corriente 30/60 us (NPM)	400,00 kV

Dado la alta probabilidad de descargas cercanas a la Subestación (cercanas al pararrayos), y ante una alta tasa de descargas atmosféricas, se obtiene lo siguiente:

- Corriente nominal de descarga : 20 kA
- Clase de descarga de línea : Clase 4

Coordinación de Aislamiento

De acuerdo a los resultados mostrados en el Anexo D, los niveles de aislamiento para los equipos del Patio de Llaves 220 kV de la Subestación Cerro Corona, son los siguientes:

- Nivel de aislamiento interno a frecuencia industrial : 360 kV
- Nivel de aislamiento interno al Impulso atmosférico : 850 kV
- Nivel de aislamiento externo a frecuencia industrial : 570 kV
- Nivel de aislamiento externo al Impulso atmosférico : 1300 kV

Si bien entre los niveles de tensiones de coordinación convertidos para el aislamiento externo, el máximo valor es de aproximadamente 1560 kV mucho mayor a 1300 kV, dicho nivel de tensión no es tomado en cuenta debido a que el único equipo a la entrada es el pararrayos, el cual se protege así mismo.

Del mismo modo a frecuencia industrial, se obtiene un valor máximo de tensión igual a 586 kV, pero, esta corresponde a tensión de fase-fase, y en razón que el equipamiento de la subestación es monofásico, tampoco se toma en cuenta dicho valor.

Por tanto, comparando los parámetros obtenidos con los datos técnicos mostrados en la Tabla 3.1, se deduce que el Aislamiento del equipamiento de la Subestación Cerro Corona, fue correctamente seleccionado.

CAPÍTULO IV

EMPLEO DEL SOFTWARE ATP

Se trata de hacer un diagnóstico de la coordinación del aislamiento en relación a las descargas atmosféricas, mediante el método estadístico simplificado haciendo uso del programa ATP – Alternative Transients Program (Software Libre, derivado del EMTP – Electromagnetic Transients Program). Programa de gran ayuda en el estudio de transitorios electromagnéticos, y de algún modo realizar una introducción a dicha técnica para cuando se tenga que abordar la coordinación del aislamiento de distintas instalaciones eléctricas, siendo este tema tan amplio.

4.1. Análisis Estadístico

El análisis estadístico, requiere contar con información o data estadística de las causas y consecuencias de los transitorios, así como tener en consideración el comportamiento de los distintos parámetros o factores presentes o a presentarse en el sistema a ser analizado.

Para el caso de coordinación de aislamiento a tratar en esta parte, como una forma de diagnóstico de verificación al que se analizó mediante el método determinístico, será enfocado como se menciona, a partir del análisis de sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, por lo mismo que se trata de una Subestación con $U_m \leq 245kV$ (Sistema en 220 kV), dado que el aislamiento a sobretensiones de frente lento se verá cubierto por sus equivalentes a sobretensiones de frente rápido.

La Coordinación de aislamiento será referida al índice de falla del equipamiento, que según recomendaciones [2], está en el rango de 0,001 a 0,004 fallas/año.

El análisis de falla de equipo (falla del aislamiento), será en función a las sobretensiones como consecuencia de una descarga atmosférica externa y cercana a la Subestación, es decir por impacto en la Línea a lo mucho dentro de los tres (3) km aledaños a la Subestación, según [7], [12]; por lo que, cuanto más alejadas de la Subestación impacten, las sobretensiones serán atenuadas en su viaje a lo largo de la Línea con la interrupción en las cadenas de aisladores (que recortan la onda), y llegando a la Subestación una onda de impulso bastante debilitada directamente sobre el pararrayos ubicado a la entrada de la celda, por lo que los equipos no se verán afectados. Esto no

quiere decir que cuanto más cerca de la Subestación se genere la sobretensión no se producirán tales interrupciones de atenuación a la velocidad (igual o próxima a la velocidad de la luz) con la que viaja la sobretensión, y que por tanto aún para los pararrayos la onda incidente pueda ser muy grande, pudiendo pasar de algún modo debilitada, para no dañar el aislamiento de los equipos.

Para evitar el problema de impacto dentro de la Subestación, se considera la protección con cables de guarda (apantallamiento de la Subestación), que se estima protegerán lo suficiente haciendo las veces de una jaula de Faraday, y de otro lado la superficie relativamente reducida del área de la subestación, que permiten inferir un índice nulo de falla de equipo por dicho concepto.

Este análisis frente a sobretensiones ocasionadas por las descargas atmosféricas, tiene en cuenta la naturaleza aleatoria del rayo, tanto en Amplitud (A), Tiempo a la cresta (t_o) y Tiempo de cola (t_c), así como el instante de aparición y lugar o zona de impacto.

Como se mencionó líneas arriba se requiere contar con data estadística de las amplitudes de las corrientes y tiempos de rayo para realizar el análisis estadístico; en razón de que no se cuenta con la misma, mas que solo con la densidad de descargas en la zona, haremos uso de una de las aplicaciones del ATP, que es el de generar parámetros de forma aleatoria con determinada distribución estadística (distribución uniforme, Normal o Logarítmica normal, etc.), y de ese modo generar información que involucra a distintos factores – Método de Monte Carlo.



Considerando una onda de impulso de rayo como doble rampa, donde:

A : Magnitud de la cresta

t_o : Tiempo a la cresta

t_c : Tiempo de cola

t : Tiempo de aparición del rayo, referente al instante de la onda de tensión del sistema (60 Hz)

Impacto: Lugar donde pueda caer la descarga atmosférica, en este caso puede o no impactar en el sistema.

Se podrán simular N casos, con lo que se obtendrá N respuestas entre las que se produjeron o no sobretensiones.

4.1.1. Índice de Falla del Equipo (TC)

El índice de falla, refleja la frecuencia promedio esperada de fallas del aislamiento del equipo (ya sea expresada en número de fallas por año o en una falla por cada n años)

$$TC = R \cdot N_g \cdot A \quad (\text{N}^\circ \text{ salidas/año}) \quad (4.1)$$

Donde:

R : Riesgo de falla

N_g : Densidad de Rayos (descargas/km²-año)

A : Area de estudio km²

a. Riesgo de Falla (R)

El riesgo de falla que viene a ser la probabilidad de falla del aislamiento, se obtendrá de acuerdo a las recomendaciones dadas en [2], es decir, como se muestra en la Fig. N° 4.1, mediante la superposición de una función $f_s(U)$ que represente la distribución de probabilidades de las sobretensiones a producirse, y una función $Pa(U)$ que represente la probabilidad de presentarse contorneo en el aislamiento ante un determinado nivel de sobretensión (siendo tal comportamiento del aislamiento, también de naturaleza aleatoria).

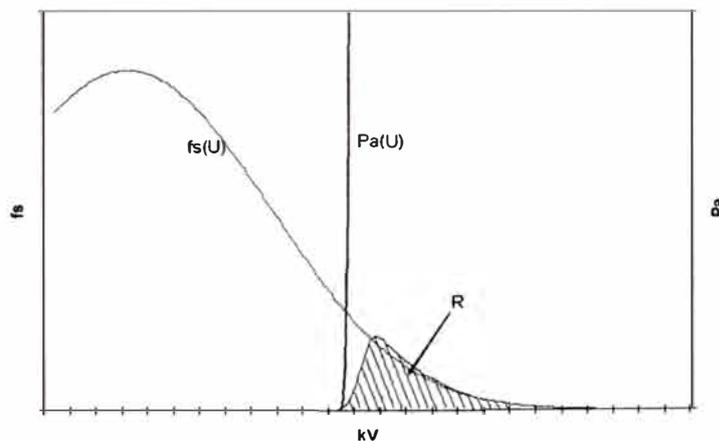


Fig. N° 4.1 Evaluación del riesgo de falla

$$R = \int_0^{\infty} f_s(U) \cdot P_a(U) \cdot dU \quad (4.2)$$

Según [2], cuando se tiene R por fase (Ra, Rb y Rc), se emplea el método pico por fase:

$$R = 1 - (1 - R_a) \cdot (1 - R_b) \cdot (1 - R_c) \quad (4.2.a)$$

La probabilidad de presentarse contorneo $Pa(U)$, será representada por una función de probabilidad acumulada tipo Weibull, siendo esta función de la forma:

$$Pa(U) = 1 - 0.5 \left(1 + \frac{U - U_{50}}{ZN} \right)^\gamma \quad (4.3)$$

Donde:

U_{50} : Valor de sobretensión con 50% de probabilidad de presentar contorneo (Tensión crítica disruptiva o Tensión crítica de contorneo - CFO).

Z : Desviación estándar, σ en p.u. $\sigma = 3\%$ ($Z = \sigma U_{50}$, $\sigma = 2\% - 3\%$ para análisis por sobretensiones de origen atmosférico)

N : Es tal que para $U = U_0 = U_{50} - NZ$ la probabilidad de contorneo es 0%.

γ : Parámetro exponencial de la función Weibull, tal que para $U = U_{50} - Z$ se presente contorneo con una probabilidad aproximada del 16%.

Con las condiciones dadas, se tendrá $N = 4$ y $\gamma = 5$

Ahora, con la distribución de Weibull, se representa un ámbito ("rango") de sobretensiones debajo del cual el nivel de falla sería absolutamente del 0%, y por encima con una tendencia en el nivel de falla del 100%. Dicho ámbito para los equipos viene representado por el Nivel Básico de Aislamiento (BIL), que representa al aislamiento con un 90% de probabilidad de soportar una sobretensión de esta magnitud, o lo que es lo mismo decir que uno de cada diez sobretensiones superiores a dicho nivel básico de aislamiento produciría contorneo.

De acuerdo a la función distribución Weibull, se puede obtener una relación entre $CFO = U_{50}$ y $BIL = U_{10}$

$$CFO = BIL / (1 - 1,2557 \cdot \sigma) \text{ kV} \quad (4.4)$$

Adicionalmente, se deberá tener en cuenta el efecto de altitud (m.s.n.m) de instalación de los equipos, en razón de que a mayor cota la densidad del aire es menor, haciendo que disminuya su rigidez dieléctrica, reflejándose en una reducción del nivel de aislamiento, y que se representa del siguiente modo:

$$BIL = \frac{BIL_N}{Ka} ; \text{ kV} \quad (4.5)$$

$$Ka = e^{\left(\frac{H-1000}{8150} \right)} \quad (4.6)$$

Donde:

BIL_N : Nivel de aislamiento normalizado del equipo (característica de catálogo - kV)

Ka : Factor de corrección por altura (Derivado de la Ecuación (3.25), $m = 1$)

H : Altura sobre nivel del mar de la subestación (m)

b. Densidad de Rayos (N_g)

Este parámetro es la densidad anual de caídas de rayo al suelo, expresada en descargas por unidad de área en un año, puede variar en años consecutivos. Del que se tiene mayores referencias es del número de días al año (Días/año) que una tormenta ha afectado una determinada zona y es conocido como nivel cerámico (Td) o número de horas tormenta al año (Th).

Y es en función al nivel cerámico que se representa a la densidad de rayos:

$$N_g = K.T_d^a \text{ (Descargas/km}^2\text{-año)} \quad (4.7)$$

Donde, para K y a hay muchos valores

Según [12], tomaremos los valores que mayormente son usados y recomendados por el CIGRE e IEEE:

$$K = 0,04 \quad \text{y} \quad a = 1,25$$

4.1.2. Representación de los Elementos y Simulación de Casos

Dado que se verán las sobretensiones de origen atmosférico, por impacto del rayo en la Línea de transmisión, simularemos el comportamiento de la línea (distribución de fases y cable de guarda, cadena de aisladores y estructuras, resistencia de pie de torre) y el comportamiento de los equipos y sus respectivos soportes en la subestación (principalmente el pararrayos).

a. Descarga Atmosférica

Las descargas atmosféricas se representarán como una fuente de corriente que se conecta a la Línea (en las fases o en el cable de guarda) de manera aleatoria (simulación del impacto); los parámetros de esta fuente de corriente (rayo) dado que son de naturaleza aleatoria, serán generados por el programa para cada caso con una distribución aleatoria del tipo Logarítmico Normal $N(M \ln x; \sigma \ln x)$, cuya forma se esquematiza en la Fig. N° 4.2:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_{\ln x} \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - M_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}} \right)^2 \right\} \quad (4.8)$$

$$M_{\ln x} = \text{Ln} \left(\frac{M}{\sqrt{(\sigma/M)^2 + 1}} \right) \quad (4.8.a)$$

$$\sigma_{\ln x} = \sqrt{\text{Ln} \left(\left(\frac{\sigma}{M} \right)^2 + 1 \right)} \quad (4.8.b)$$

Donde:

M , $M_{\ln x}$: Promedio o valor medio de "x" y "Ln(x)" respectivamente

σ , $\sigma_{\ln x}$: Desviación estándar de "x" y "Ln(x)" respectivamente

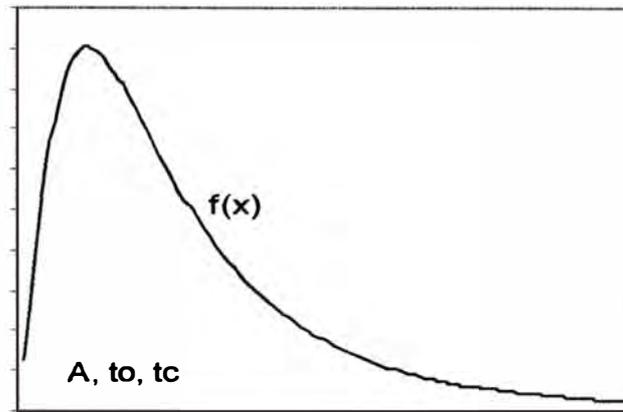


Fig. N° 4.2 Curva de distribución logaritmo normal

De acuerdo a [12], [13], en la Tabla N° 4.1 se muestran los parámetros de las descargas atmosféricas.

TABLA N° 4.1 Parámetros para la Onda de Corriente de Rayo

	A	to	tc
M	34 kA	2,5 us	77,5 us
$\sigma_{\ln x}$	0,74	0,404	0,577
σ	29,03 kA	1,05 us	48,71 us

Ahora, el tiempo de aparición será relativo al tiempo de la onda de tensión del sistema (60 Hz). Es decir que en un periodo con intervalo equivalente a 2π (16,667 ms), el rayo puede aparecer en cualquier instante con igual probabilidad (tendrá una distribución del tipo Uniforme), es decir que la sobretensión de rayo se adicionará a la Tensión instantánea de cada fase, ya sea por impacto directo o por inducción

En cuanto a la zona de impacto, precisamente para el impacto en la línea, se define un ancho de franja, en la cual la Línea ocupará determinada porción, que dependerá de la magnitud de la corriente del rayo, siempre y cuando la línea se encuentre en el radio de acción del rayo. Lo que se debe tener en cuenta es que todo punto en la zona tiene la misma probabilidad de que impacte un rayo, y si la Línea se encuentra en la trayectoria de la descarga o coincide en algún punto con el radio de acción de dicha descarga, entonces el rayo impactará en la Línea. Para esto se toma en cuenta el Método Electrogeométrico, tal como lo muestra la Fig. N° 4.3:

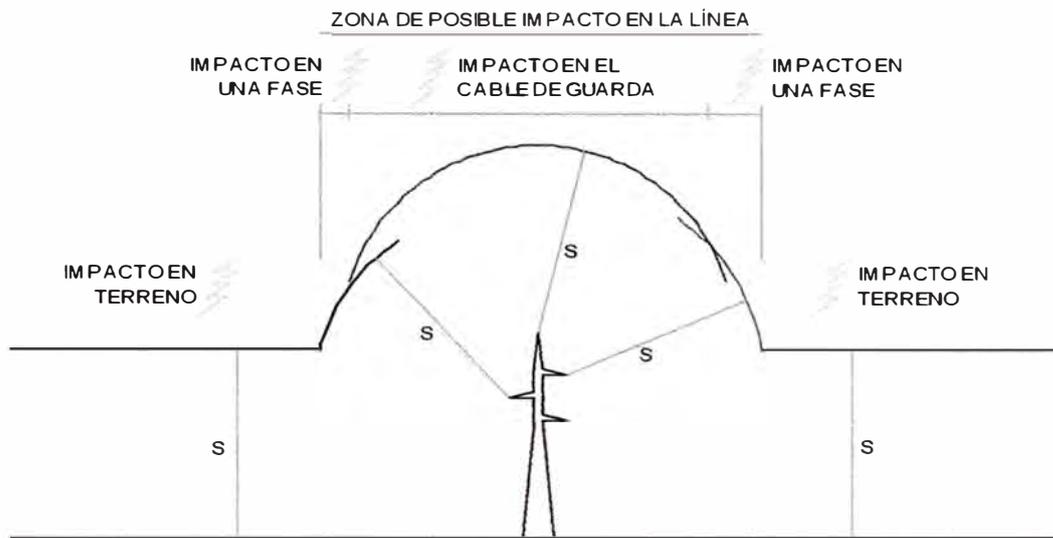


Fig. N° 4.3 Representación del Lugar Geométrico en la Línea

Vemos que cada componente genera su propio lugar geométrico, y asumiendo una trayectoria vertical del rayo, solo dependerá de su posición horizontal, para que impacte en el cable de guarda, en las fases de la línea o en el suelo.

Dicho lugar geométrico, viene representado por un arco de radio S que depende de la magnitud de la amplitud de la corriente del rayo.

$$S = 10.I^{0,65} \text{ (m)} \quad (4.9)$$

Amplitud de la corriente de rayo (kA)

Lo anterior se interpreta, que cuanto mayor sea la amplitud de la corriente, el lugar geométrico del cable de guarda conjuntamente con el del suelo llegará a cubrir a los de las fases a partir de un valor mínimo de corriente (que se conoce como corriente crítica de rayo - I_c). Esto quiere decir que una corriente de rayo menor a I_c , tiene alguna probabilidad de impactar en una fase, provocando o no contorneo directo en las cadenas de aisladores por descarga directa; en cambio una corriente de rayo mayor a I_c solo tiene la opción de impactar en el cable de guarda, y que también puede provocar o no contorneo, pero por cebado inverso.

Dicha corriente crítica normalmente es calculada en función de la Impedancia característica del conductor o de la estructura, mientras que el valor del rayo medio es del orden de 25 kA. En el Anexo I se muestra un resumen del resultado de las simulaciones, donde se distingue que los rayos que logran impactar en las fases pueden alcanzar dichas amplitudes medias de corriente, en ese orden o menores.

b. Línea de Transmisión

En cuanto a la Línea de Transmisión se simula como tal, es decir conductores de fase, cable de guarda, aisladores y torres.

El conductor de fase tiene las siguientes características:

- Tipo de conductor : ACSR
- Sección : 590 mm²
- Diámetro interno : 21,06 mm
- Diámetro exterior : 31,59 mm
- Resistencia Eléctrica (DC): 0,0551 ohm/km

Para el cable de guarda:

- Tipo de cable : Acero Galvanizado (EHS)
- Sección : 50 mm²
- Diámetro : 9,53 mm
- Resistencia Eléctrica (DC): 4,52 ohm/km

Donde se considera también la configuración o disposición de conductores y el cable de guarda, tomando como referencia las dimensiones de una estructura del tipo anclaje (Ver Anexo E).

Cadena de aisladores:

En este caso se simularán dos tipos de comportamiento, en el primero el aislamiento será representado por el efecto capacitivo y en el segundo se representa la disrupción que ocurre ante una elevada sobretensión.

El efecto capacitivo será representado por un condensador de 2,5 pF, según [14], [15] pero siendo un tanto conservadores (para aislamiento convencional estaría en el orden de 1,2 – 1,5 pF).

Para la simulación del contorneo se tomará en cuenta el modelo presentado por [16]), cuyo comportamiento en el tiempo de presentarse una sobretensión, sería como lo muestra la característica Tensión - tiempo corregida Fig. N° 4.4.

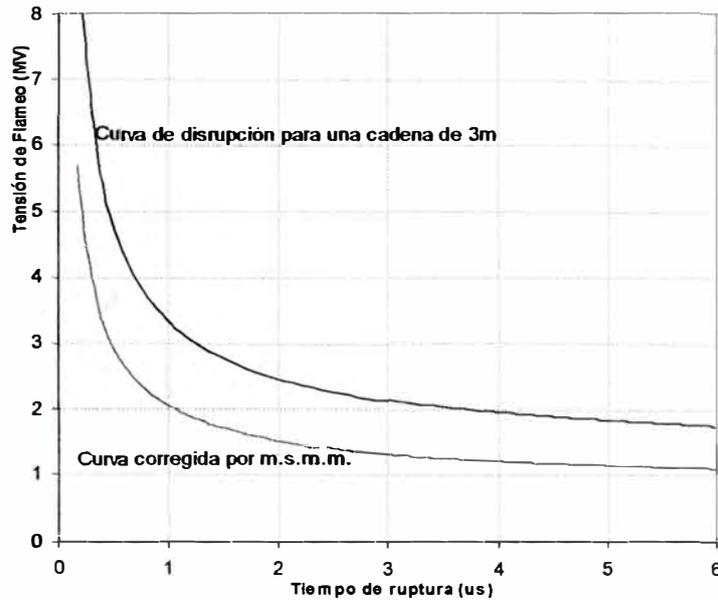


Fig. N° 4.4 Curva CIGRE de Tensión vs. Tiempo para Flameo de Aislamiento

La curva tiene la forma:

$$V = \left(0,4 + \frac{0,71}{t^{0,75}} \right) \cdot L \quad (4.10)$$

Donde:

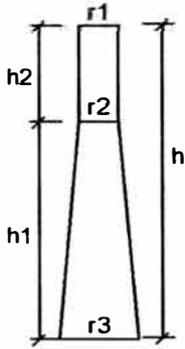
L : Longitud de la cadena de aisladores ($L = 3.0$ m)

t : Tiempo de ruptura (μs)

Además se debe considerar la altura de instalación de la Línea, es decir que el nivel de tensión a la cual se producirá la disrupción (dependiendo del tiempo de exposición), deberá corregirse por altura considerando la ecuación (4.6), dicha corrección se plasma en la Fig. N° 4.4

Estructuras

Las estructuras (torres) se simularán como impedancias de línea, cuyos parámetros se obtendrán de acuerdo a la referencia [4], [17], con una velocidad de propagación semejante a la velocidad de la luz, tomando las dimensiones de una estructura de anclaje como se muestra en el Anexo E.



$$Z = 60.Ln \left[Ctg \left(0,5.ArcTg \left(\frac{D}{h} \right) \right) \right] \quad (4.11)$$

$$D = \frac{r_1.h_2 + r_2.h + r_3.h_1}{h} \quad (4.11.a)$$

Donde:

Z : Impedancia de la torre (Ω)

D : Diámetro equivalente de la estructura (m)

Una vez obtenido "Z", se representan los tramos de la estructura que se encontrarían entre las ménsulas y ménsula-piso, como resistencias (Ω) en paralelo con una inductancia (H).

$$R_i = \frac{h_i}{h} (2.Z) Ln \left(\frac{1}{\alpha} \right) \quad (4.12)$$

$$L_i = 2.R_i.\tau \quad (4.13)$$

$$\tau = h/v \quad (4.13.a)$$

Donde:

α : Factor de atenuación (0,89)

τ : Tiempo de propagación en la estructura

v : Velocidad cercana o igual a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

Adicionalmente se considera una resistencia de pie de torre similar a 40Ω

c. Equipamiento de la Subestación

En cuanto a las consideraciones para los equipos se tiene:

- Se simularán solo como aisladores (efecto capacitivo, mas no falla de aislamiento - disrupción).
- No se simulan las funciones de los equipos (salvo el de los pararrayos a la llegada de línea a la subestación).
- Como cada equipo convencional tiene una configuración distinta en cuanto a su aislamiento, la representación del efecto capacitivo como un condensador tendrá distintos valores entre un equipo y otro, según [18] para un transformador está en el orden de 0 a 4,0 nF (tomaremos 2,5 nF), y el resto de equipos de acuerdo a [14] y [19] estos valores oscilan en un determinado orden (Tabla N° 4.2).

TABLA N° 4.2 Efecto capacitivo en el aislamiento de equipos

Efecto Capacitivo (pF) en Equipos				
	115 kV	400 kV	765 kV	525 kV
Seccionador	100	200	160	100
PT	8000	5000	4000	5000
CT	250	680	800	500
Interruptor	5	7,5	30	-
Aislador Sop.	80	120	150	-

De acuerdo a esta información usaremos los valores presentados para 400 kV

Del mismo modo los equipos se representan con sus respectivas estructuras soporte, las cuales de modo similar a las estructuras de la línea son considerados como una impedancia de línea con una velocidad de propagación, tomando como referencia [4], [20], así tendríamos (Fig. N° 4.5):

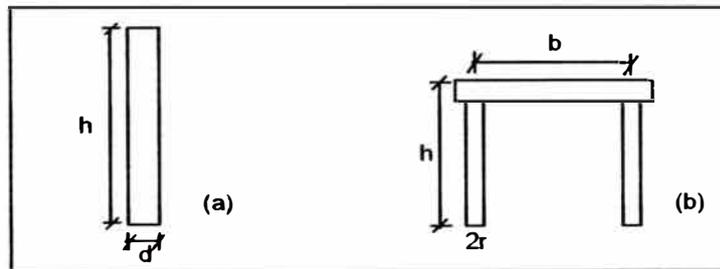


Fig. N° 4.5 Representación de Estructuras Soporte de Equipos

- (a) Para las estructuras soporte de: Aislador soporte, Interruptor (IN), Transformador de Corriente (CT) y Transformador de Tensión (PT), hacemos uso de la ecuación (4.11).
- (b) Para la estructura de conjunto Seccionador de Barra (SB) y de Línea (SL):

$$Z = \left(\frac{Z_s + Z_m}{2} \right) \quad (4.14)$$

$$Z_s = 60 \cdot \text{Ln} \left(\frac{h}{r} \right) + 90 \cdot \frac{r}{h} - 60 \quad (4.14.a)$$

$$Z_m = 60 \cdot \text{Ln} \left(\frac{h}{b} \right) + 90 \cdot \left(\frac{b}{h} \right) - 60 \quad (4.14.b)$$

Luego haciendo uso de las ecuaciones (4.12) y (4.13), se obtienen los parámetros de Resistencia e Inductancia (en paralelo), dichos valores se muestran en el Anexo G

Para la representación del Pararrayos como tal, es decir con su característica de protección como limitador de las sobretensiones, tomaremos como modelo lo presentado en el Anexo F, teniendo como datos principales los mismos que se seleccionaron en la Sección 3.4 Anexo C, siendo estos, los siguientes:

- Tensión nominal : 198 kV
- Corriente de descarga : 20 kA
- Tensión residual a 10 kA : 451 KV (8/20 us)

d. Simulación de Casos

La simulación de casos se desarrolla del modo como se presenta en el Anexo H, con la disposición de equipos en la Subestación.

El objetivo es obtener las sobretensiones en los terminales de los equipos.

La simulación de N casos lo hacemos mediante la herramienta del programa "Switch Statistic" que simula la apertura y cierre de un interruptor en un rango de tiempo de manera aleatoria, generándose así varios casos, este elemento no estará conectado a nuestro sistema, su sola presencia hará que corra tantos casos como se le indique, pero su rango de tiempo será ajustado de modo que opere mucho antes del tiempo de ingreso del rayo, debido a que el programa realiza todo lo que debe realizar desde el instante de operación del "Switch Statistic" hacia delante, lo que pueda pasar antes lo toma como si fuese el primer caso, porque solo para este primero hace un análisis desde $t = 0$.

4.1.3 Resultados del Análisis Estadístico

a. Respuesta del Sistema Ante la Caída de Rayo en la Línea

En la Fig. N° 4.6, se aprecia la forma de onda de la corriente de Rayo generada para un caso, el cual incide en la Línea de Transmisión (en el Cable de Guarda), provocando la sobretensión en la Línea de Transmisión (Fig. N° 4.7) y por ende el Flameo Inverso en las cadenas de aisladores (Fig. N° 4.8).

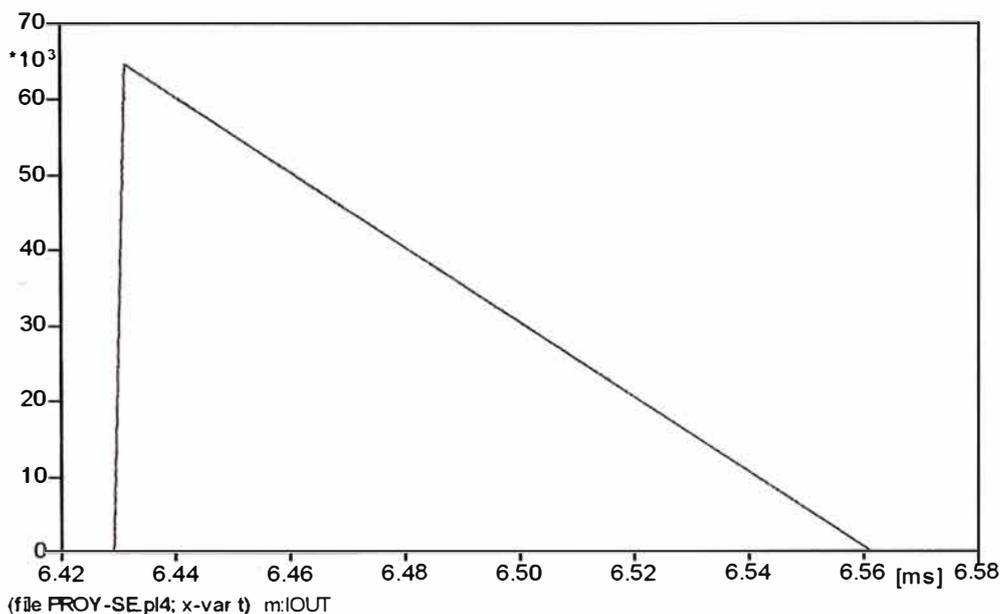


Fig. N° 4.6 Onda de Corriente de Rayo (Tipo doble Rampa)

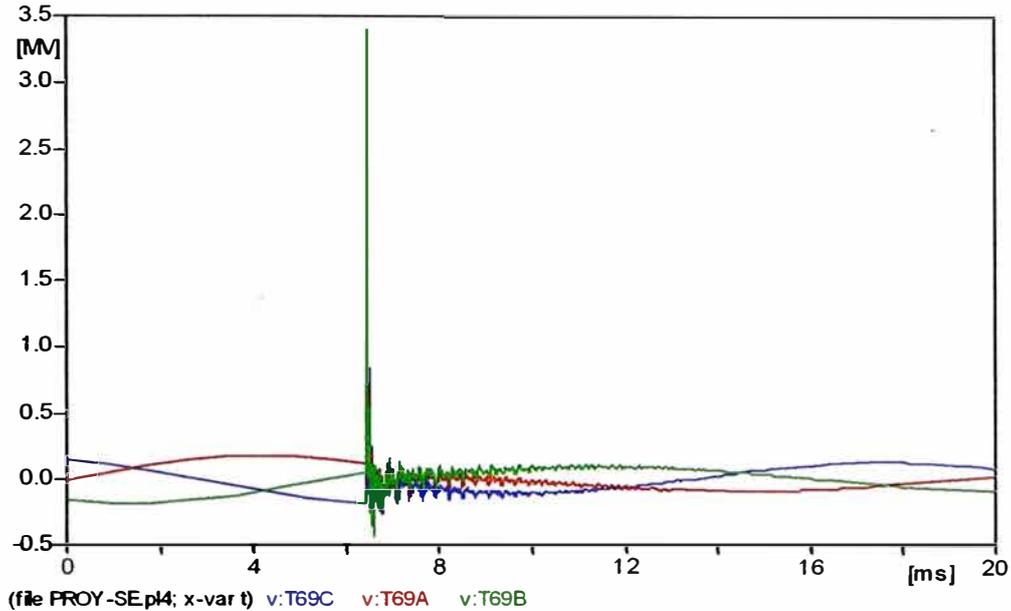


Fig. N° 4.7 Sobretensión en la Zona de Impacto de la Línea

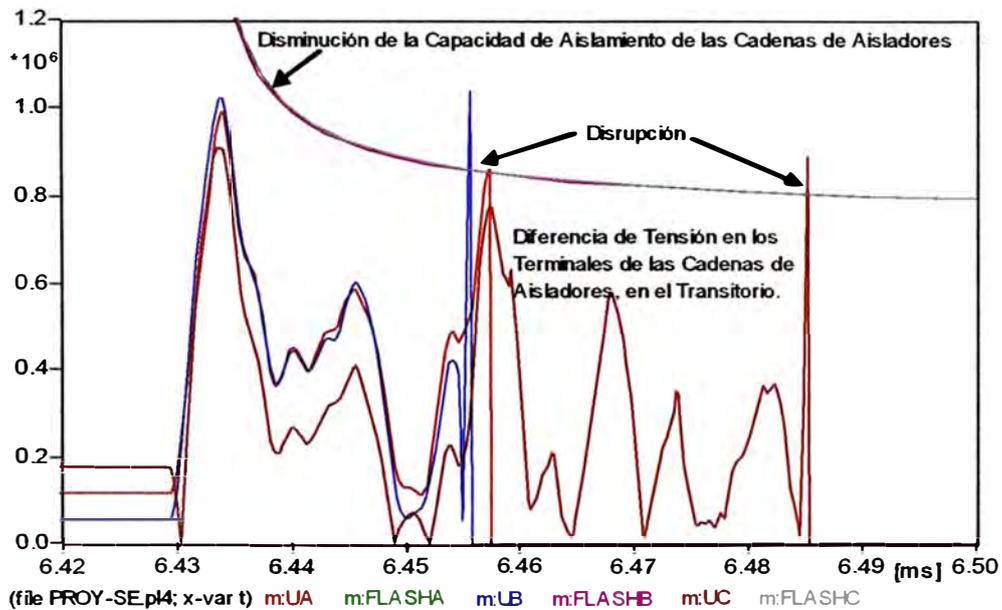


Fig. N° 4.8 Tensión en los Terminales de los Aisladores

Notar que en todas las fases se produce el flameo inverso, pero no siempre ocurre esto, es decir, no necesariamente las tres fases tienen que haber sido afectadas, pero, la sobretensión permanece y llega a la Subestación, topándose en primera instancia con el Pararrayos el cual logra recortar de algún modo la cresta, llegando a los equipos una onda recortada (Fig. N° 4.9 y Fig. N° 4.10)

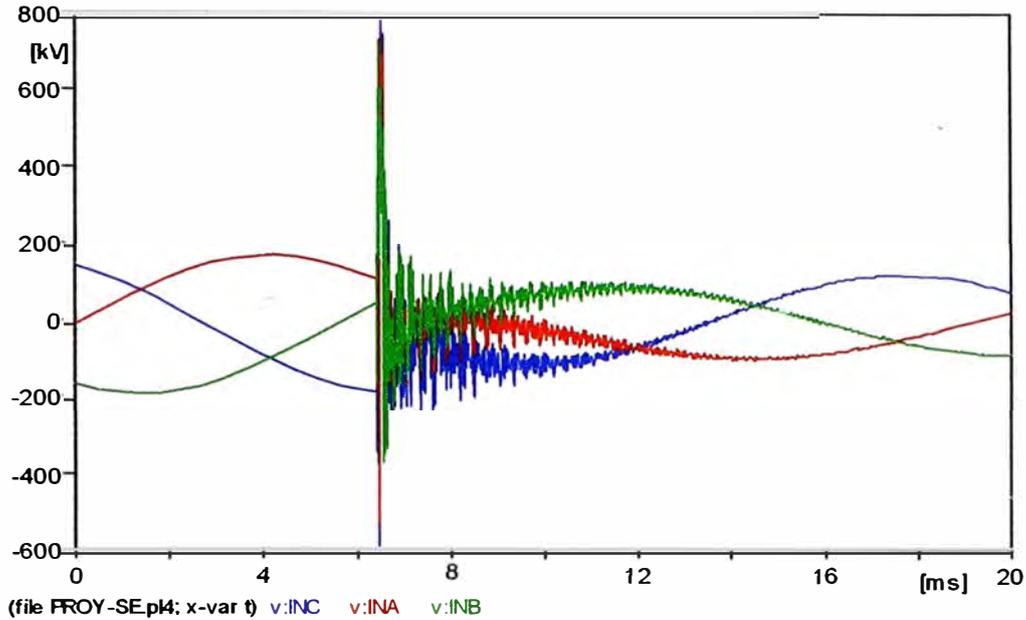


Fig. N° 4.9 Sobretensión en los Terminales del Interruptor

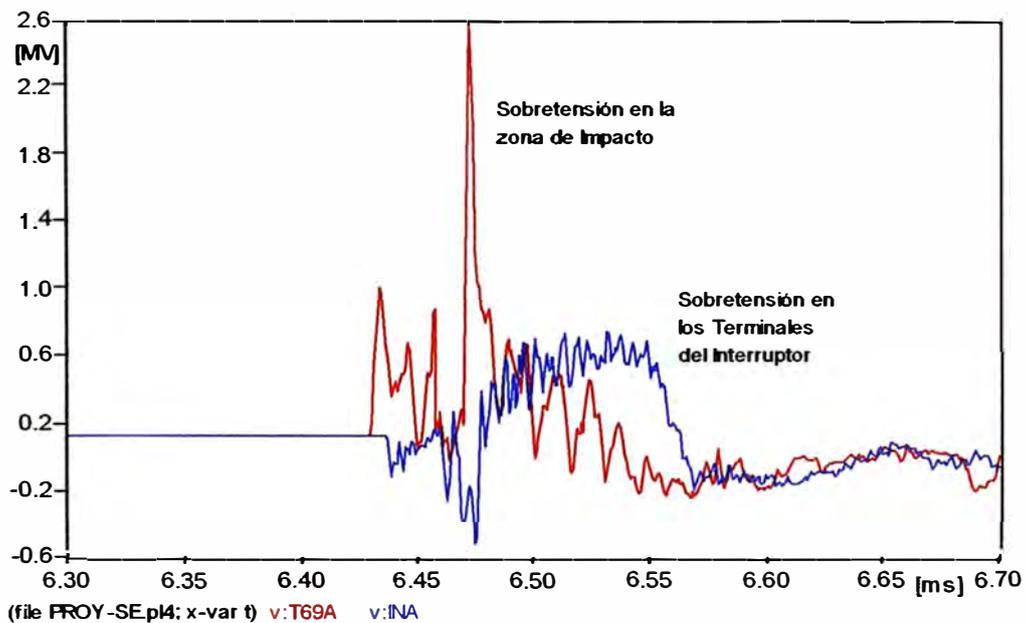
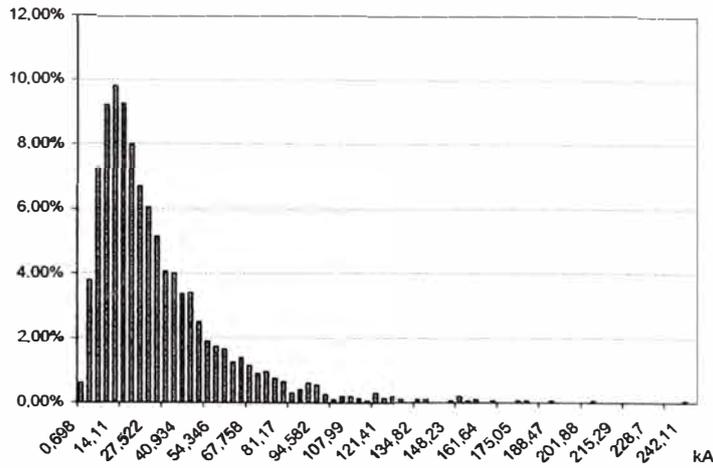


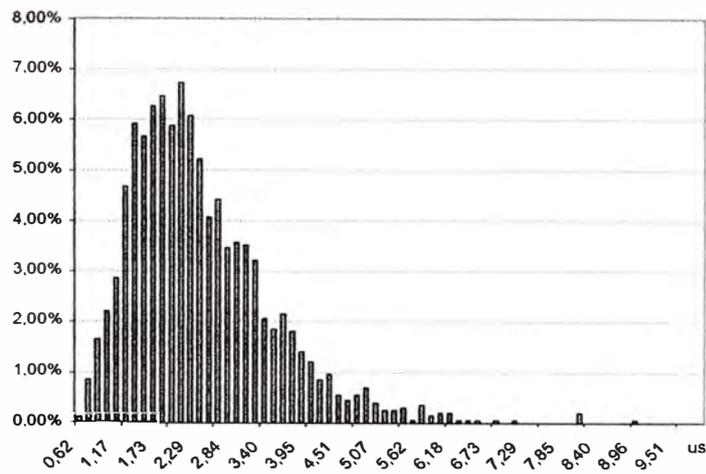
Fig. N° 4.10 Comparación de los Niveles de Sobretensión

b. Análisis Estadístico

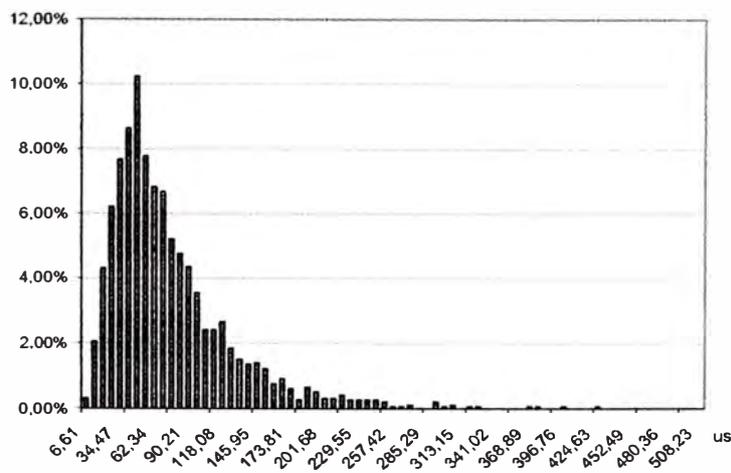
Se procede a simular 2000 casos (cuyo tiempo de procesamiento es de aproximadamente 24 horas), donde se generan los respectivos parámetros de la onda de corriente de rayo: De amplitud, tiempo de frente y tiempo de cola respectivamente (Fig. N° 4.11), además de los respectivos tiempos de aparición de dichas corrientes de rayo, en un rango de 16,67ms similar al periodo de la onda de tensión del sistema (Fig. N° 4.12), las cantidades por niveles de corriente o de tiempo están expresadas en Porcentajes (%).



(a) Distribución de las Amplitudes de Corrientes



(b) Distribución de los Tiempos de Frente



(c) Distribución de los Tiempos de Cola

Fig. N° 4.11 Distribución de los Parámetros de Rayo Generados

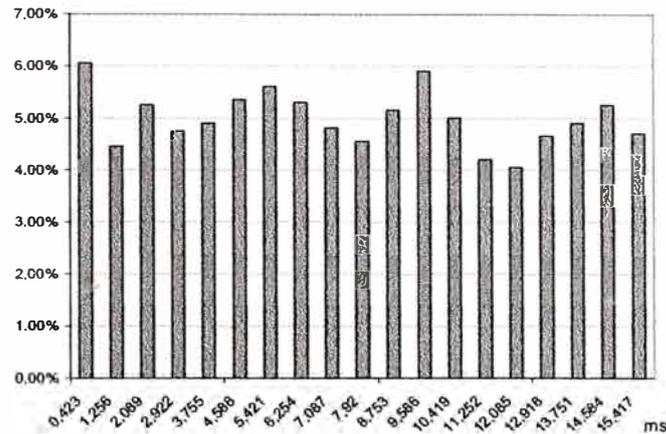
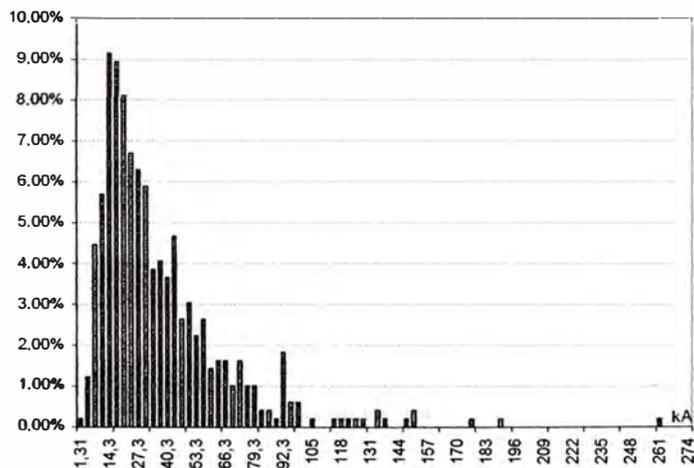


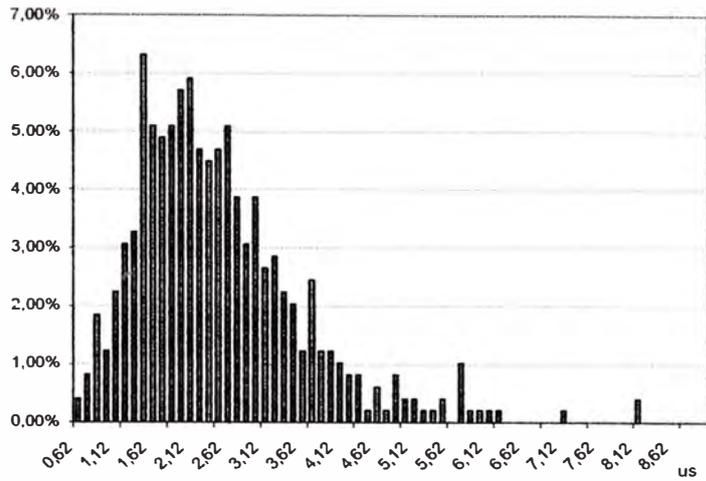
Fig. N° 4.12 Distribución del Instante de Aparición del Rayo

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, que las sobretensiones por descargas atmosféricas prácticamente dejan de tener efecto sobre la subestación cuando estas impactan más allá de 1500 m, es que se toma esta longitud como longitud del área de influencia, y cuyo ancho de franja se asume en 600 m precisamente por el número de casos simulados (relativamente pocos para un ámbito relativamente grande).

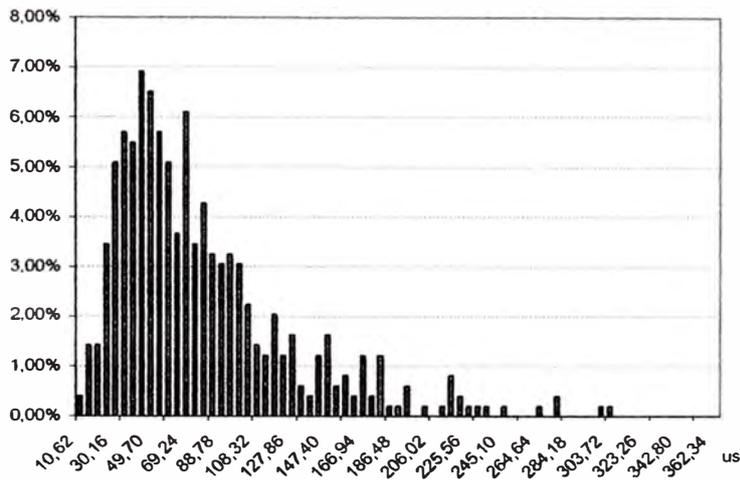
De los 2000 casos generados, solo 492 inciden en la Línea (Ver Anexo I), de los cuales se muestran las distribuciones (en porcentajes de entre los 492) de sus respectivos parámetros en la Fig. N° 4.13, así como la distribución de los respectivos tiempos de aparición (Fig. N° 4.14) de dicho número de descargas que impactan en la Línea.



(a) Distribución de Amplitudes de Corrientes



(b) Distribución de los Tiempos de Frente



(c) Distribución de los Tiempos de Cola

Fig. Nº 4.13 Distribución de los Parámetros de Rayos que Caen en la Línea

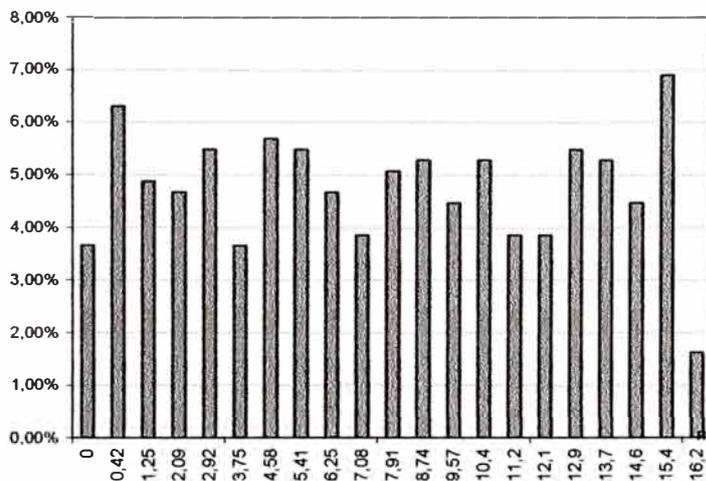
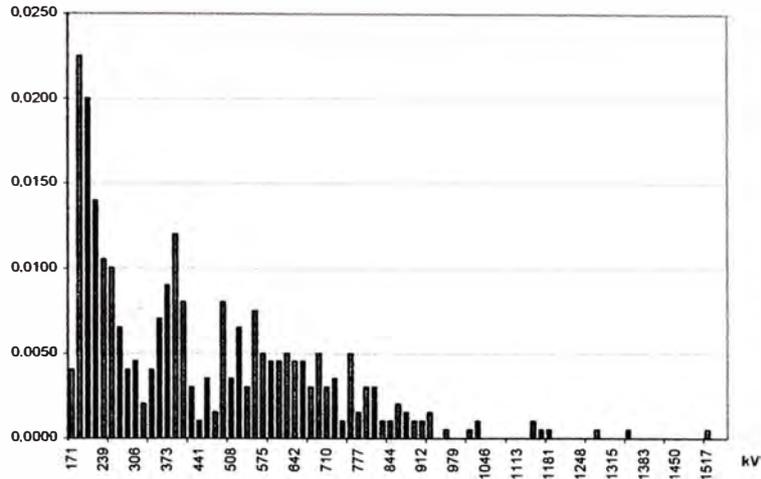


Fig. Nº 4.14 Distribución del Instante de Impacto en la Línea (492 casos)

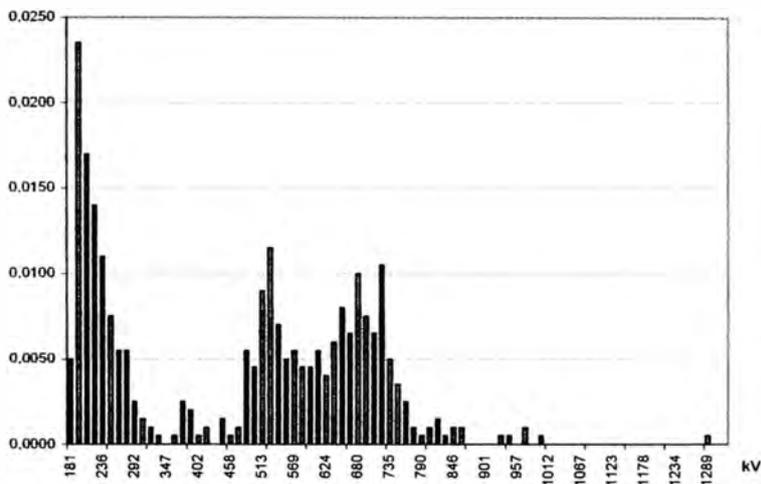
Por tanto, el análisis estará basado en lo que suceda en estos 492 casos. Ahora bien, de los respectivos casos (Anexo I), quince (15) impactan en las fases, dos (2) de ellos en la Fase A y trece (13) en la fase B, la fase C es cubierta por la fase B (Ver Fig. N° 4.3 y Anexo E) de acuerdo a la disposición de fases, y el resto impacta en el cable de guarda provocando el Flameo Inverso en las cadenas de aisladores de la Línea, pero las ondas de sobretensión siguen viajando y llegan a la Subestación pasando por el pararrayos siendo cortadas, las cuales llegan a los terminales de los equipos, pero al fin y al cabo sobretensiones. Son estas sobretensiones las que provocarán o no falla de aislamiento del respectivo equipamiento de la Subestación.

En la Fig. N° 4.15 se muestran las cantidades por niveles de sobretensión producidos por fase (Número de sobretensiones en el intervalo al cual se representa entre el Número total de casos simulados), notar que para que se pueda tomar como una sobretensión, esta tiene que sobrepasar la tensión máxima de fase del sistema, es decir $220\sqrt{2}/3 = 179,63$ kV. Dicha distribución de sobretensiones se contrarrestará con la función de probabilidad de originarse contorneo en el aislamiento ante una sobretensión de determinada magnitud (similar a la Fig. N° 4.1) para determinar el respectivo riesgo de falla del aislamiento y posteriormente la tasa de salida por falla del equipamiento. Pero, dicha distribución debe estar expresado en (1/kV), lo que equivale a decir que el alto de cada barra de la Fig. N° 4.15 se debe dividir por el ancho del intervalo de sobretensiones al cual representa.

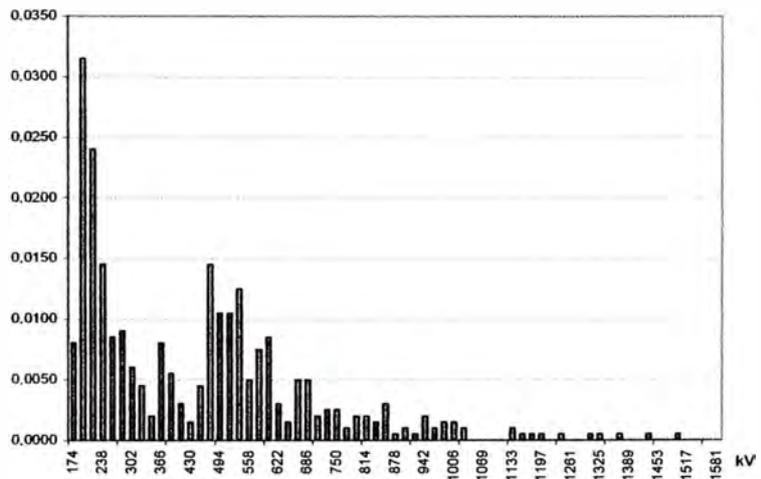
Para la distribución de sobretensiones haciendo uso del programa Excel, se puede generar una curva de tendencia, pero dado los valores pequeños se hace tedioso, por tanto, tratamos de tantear una curva que se asemeje a determinada tendencia, y tomamos como referencia la función de densidad tipo Weibull, es decir la derivada de la Ecuación (4.3), y con ello asemejar la tendencia (variando U_{50} , N , Z y γ) principalmente en la zona en la que $Pa(U)$ no sea nula (cuyos valores de los parámetros se definen más adelante). A modo de ejemplo, en el Anexo J se muestra lo obtenido para la Fase C.



(a) Distribución de Sobretensiones en la Fase A



(b) Distribución de sobretensiones en la Fase B



(c) Distribución de Sobretensiones en la Fase C

Fig. N° 4.15 Distribución de Sobretensiones en Terminales del Equipamiento

Haciendo uso de las ecuaciones (4.4), (4.5) y (4.6), se obtienen los respectivos parámetros de la respectiva función de probabilidad acumulada ($Pa(U)$) de originarse contorneo en el aislamiento, el mismo que está en función a lo obtenido en la Sección 3.4 (Anexo D), que es lo que se desea corroborar, por tanto:

$$BIL_N = 1300 \text{ kV}$$

$$Ka = 1,42$$

$$CFO = 949,68 \text{ kV}$$

Para luego, Con las tendencias de las curvas de distribución de las sobretensiones generadas ($fs(U)$ - curvas de densidad de probabilidad - 1/kV), hacer uso de las ecuaciones (4.2), (4.2.a) y (4.3), y de modo similar de acuerdo a lo plasmado en la Fig. N° 4.16, para cada una de las tres fases, conjuntamente con la información obtenida de la Simulación, mostrada en el Anexo I, se obtiene el área por el método de sumatorias. En el Anexo J, a modo de ejemplo se muestra lo obtenido para la Fase C.

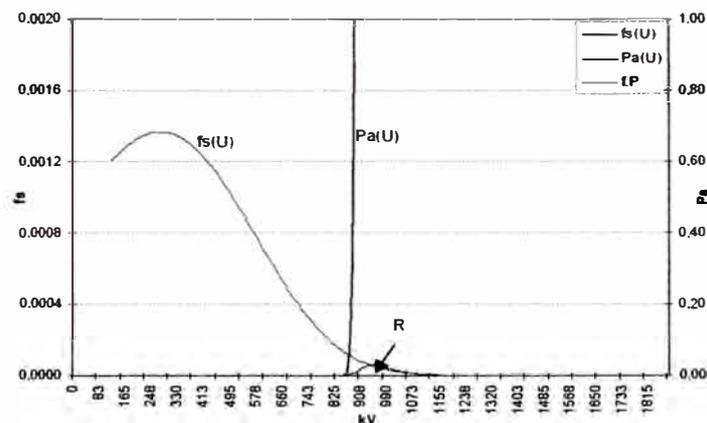


Fig. N° 4.16 Obtención del Riesgo de Falla por Fase

De donde se obtienen:

$$Ra = 0,000373$$

$$Rb = 0,000643$$

$$Rc = 0,000038$$

$$R = 0,001054$$

Luego de acuerdo al Nivel isocerámico establecido en la Sección 3.3.1 (40 días-tormenta/año), y como se mencionó anteriormente, un área de estudio cuya franja es de 0,6 km y una longitud de tramo de Línea igual a 1,5 km, hacemos uso de las ecuaciones (4.1) y (4.7), de donde se obtienen:

$$Ng = 4,024 \text{ descargas/km}^2\text{-año}$$

$$TC = 0,00382 \text{ salidas/año}$$

Este valor, se encuentra muy próximo al valor máximo permitido de tasa de salida del equipamiento, y conlleva a resumir que el nivel de aislamiento (BIL) está correctamente dimensionado.

Claro está, que para llegar a este valor (un poco grande), en cuanto a la simulación se tuvo que realizar algunas suposiciones, del mismo modo a tomar una franja de estudio angosta (la cual pudo provocar que las descargas tengan mayor probabilidad de impactar en la Línea, conllevando a mayor número de sobretensiones), debido principalmente a la capacidad del procesador, ya que un mayor número (mas grande) de simulaciones requiere mayor tiempo (más de 48 horas) y memoria del procesador. Según [12], esta simulación también se puede realizar con varios procesadores trabajando conjuntamente en red, y aún así, requiere de un tiempo bastante prolongado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- 1 La selección del Nivel de Aislamiento para el equipamiento de la Subestación Cerro Corona, según lo obtenido en el análisis mediante el método determinístico de la Coordinación del Aislamiento, fue elegido correctamente; y lo mismo se corrobora en la prueba del método estadístico para los datos obtenidos con el método mencionado inicialmente
- 2 El equipo de protección (Pararrayos) fue correctamente seleccionado, el cual, según lo obtenido en el análisis estadístico, de tener un menor nivel de protección, traería consigo menores sobretensiones (menor riesgo en los equipos), y de tener un mayor nivel de protección, traería consigo mayores sobretensiones (mayor riesgo para el equipamiento).
- 3 Del análisis se deduce que el método determinístico se caracteriza por un proceso, en el que se define, qué tasa de falla se debe adoptar y con ello se debe determinar el nivel de aislamiento que se acomode a los requerimientos según sobretensiones que también se adoptan (dependiendo del conocimiento de sistemas similares o del apoyo de herramientas computacionales),
- 4 El método estadístico en cambio, se caracteriza por un proceso en el cual necesariamente se debe contar con información estadística de los niveles y tipos de sobretensión, y con ello, evaluar entre los niveles de aislamiento estándares, obteniéndose tasas de falla respectivas para finalmente compararlas, y se elegirá el aislamiento que menor tasa de falla presente o esté en el rango de lo aceptable. Pero también, aparte de lo Técnico será aquí donde entre a tallar lo Económico, porque lógicamente quien menor tasa de falla presente será el más costoso.
- 5 Se requieren de herramientas de cómputo para hacer un análisis mas profundo, por ejemplo en el análisis estadístico, para obtener niveles y tipos de sobretensión se requieren simular las causas, y del mismo modo tener información real de estas causas y hacer un mejor análisis.

RECOMENDACIONES

- 1 Dado que el objeto del presente informe es de verificar la selección del nivel del aislamiento de los equipos de la Subestación Cerro Corona, no se realiza la comparación entre distintos niveles de aislamiento (los mismos que están en función a una tasa de falla aceptable).
- 2 El método estadístico aplicado en este informe ante descargas atmosféricas se considera solo aproximado, dado que no se cuenta con la información real de los niveles de rayos en la zona, y lo elaborado aquí está en función a referencias para otras realidades; no obstante se dan algunas pautas (una introducción al análisis estadístico), recomendando en profundizar más en este tema e investigar los datos de nuestra realidad.
- 3 La correcta selección del pararrayos, debe de tener en cuenta que deberá operar realmente cuando el equipamiento lo requiera, lo que quiere decir, que con un nivel de protección por debajo de lo requerido, este operará en un número mayor de veces provocando su deterioro, y con un nivel de protección mayor al requerido, este talvez no recorte determinada sobretensión que para el equipamiento pueda ser perjudicial.
- 4 Tener en cuenta que los principios de la coordinación del aislamiento son el de: prevenir las sobretensiones y en segundo caso limitarlas.
- 5 Finalmente, el programa de Análisis de Transitorios Electromagnéticos – ATP, es una de las herramientas computacionales de gran ayuda, en la que se pueden profundizar el análisis de temas como el abordado en este informe. Este programa, da la opción al usuario de programar sus propias rutinas, y es en este punto donde también se debe tratar de hallar la forma de que el procesamiento sea más rápido, aún para cuando se emplee un solo procesador, y poder así realizar un análisis de problemas mucho más complejos.

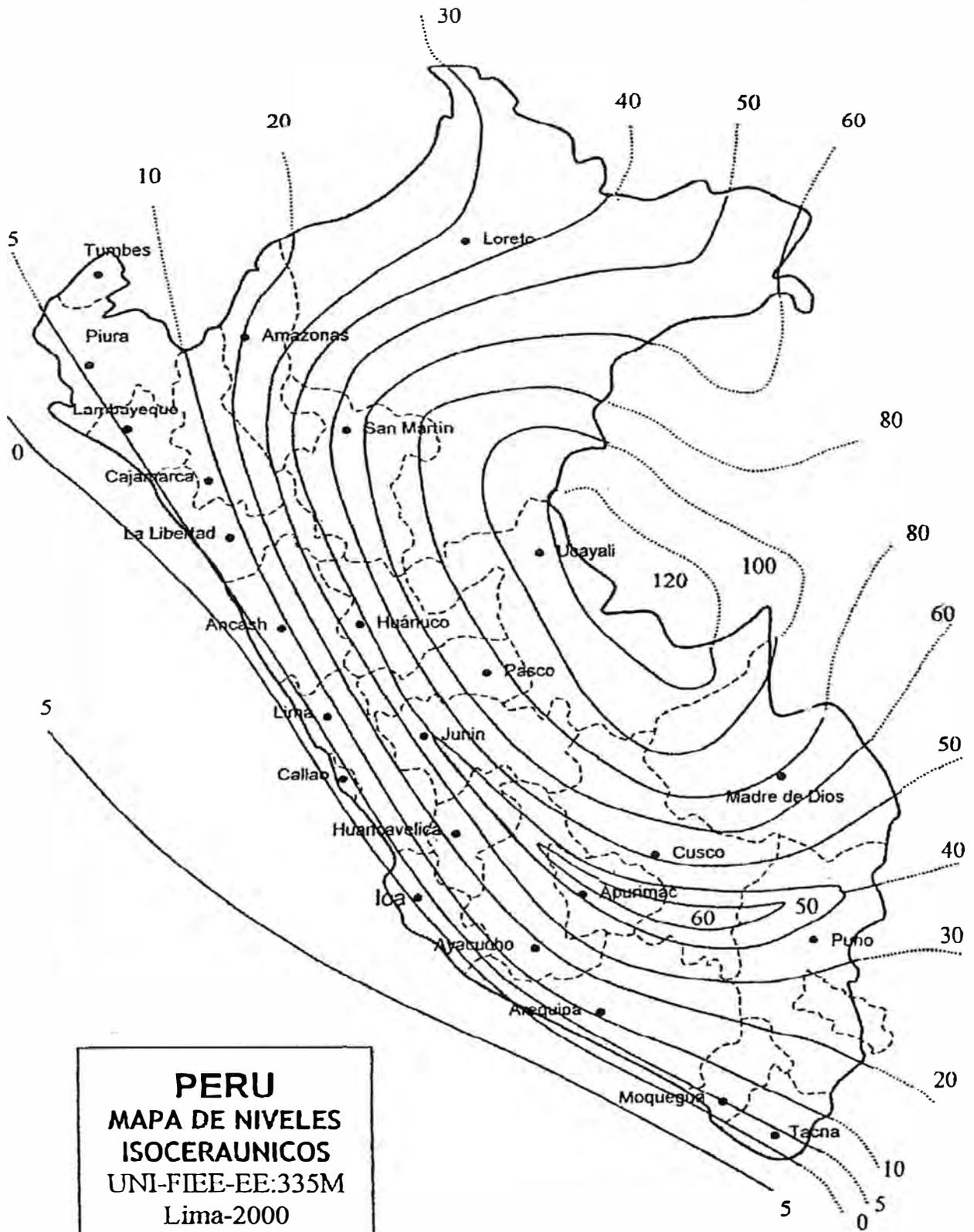
ANEXOS

ANEXO A. Catálogo de Pararrayos EXLIM P

(Sacado de [8])

Um kV rms	Tensión Nominal Ur kV rms	Tensión de Trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de Sobretensiones Temporales 2)		Tensión Residual Máxima con Onda de Corriente						
		Según IEC		Según ANSI/IEEE		30/60 us			8/20 us			
		Uc kV rms	MCOV kV rms	1s kV rms	10s kV rms	0,5 kA kV pico	1 kA kV pico	2 kA kV pico	5kA kV pico	10 kA kV pico	20 kA kV pico	40 kA kV pico
36	30	24	24,4	34,8	33	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	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	48,7	46,2	81,9	84,9	87	90,8	95,6	105	115
	48	38	39	55,6	52,8	93,6	97	99,4	104	110	120	132
	54	43	43	62,6	59,4	106	110	112	117	123	135	148
	60	48	48	69,6	66	117	122	125	130	137	150	164
70	54	43	43	62,6	59,4	106	110	112	117	123	135	148
	60	48	48	69,6	66	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	83,5	79,2	141	146	150	156	164	180	197
	75	60	60,7	87	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	97,4	92,4	164	170	174	182	192	210	230
100	84	67	68	97,4	92,4	164	170	174	182	192	210	230
	90	72	72	104	99	176	182	187	195	205	225	246
	96	77	77	111	105	188	194	199	208	219	240	263
123	90	72	72	104	99	176	182	187	195	205	225	246
	96	77	77	111	105	188	194	199	208	219	240	263
	108	78	84	125	118	211	219	224	234	246	270	295
	120	78	98	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	108	86	86	125	118	211	219	224	234	246	270	295
	120	92	98	139	132	234	243	249	260	273	299	328
	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	132	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
	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	180	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
	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
300	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
362	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
420	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
550	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

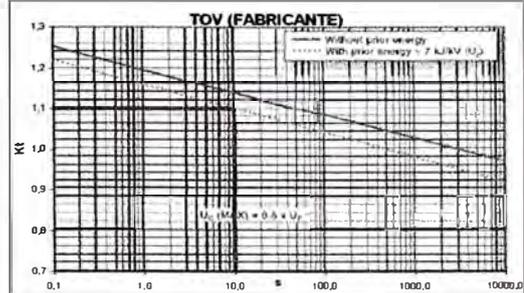
ANEXO B. Niveles Isoceráunicos
(Sacado de [10])



ANEXO C. Selección del Pararrayos

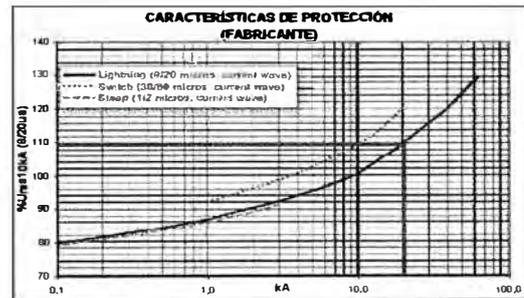
Requerimientos Mínimos para la Elección del Pararrayos

Un	220	(kV) Sistema:	Aterrado
Um	245	(kV)	
Ke	1,4		
COV	141,45	(kV)	Tensión de operación continua
TOV	198,03	(kV)	Sobretensión Temporal
Ko	0,8	(Factor de Diseño Pararr. Según Fabricante)	Típico 0,8
Ro	176,81	(kV)	Tensión de diseño
t	10s	(T de duración de la sobretensión temporal)	
Kt	1,10		
Re	180,04	(kV)	Tensión según duración de sobret.
R	180,04	(kV)	
Vn	192	(kV rms)	Minimo



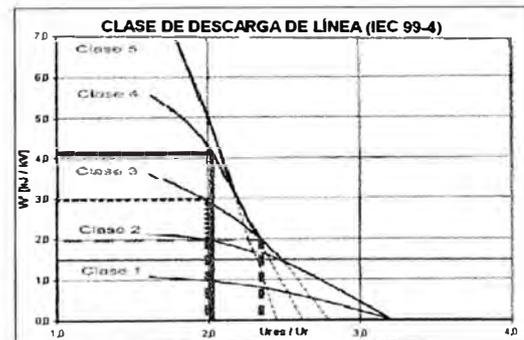
Características Referenciales del Pararrayo

Ur	198	(kV)	Nominal, Pararrayo Apropriado
Uc	156	(kV)	Máx V. de Op. Cont. (IEC)
MCOV	160	(kV)	Máx V. de Op. Cont. (ANSI/IEEE)
TOV _{1s}	229	(kV)	Sobretensión Temporal 1s
TOV _{10s}	217	(kV)	Sobretensión Temporal 10s
Desc. cercanas al pararrayo	SI		
1.1*Ures (10)	496,1	(kV pico) (*)	Máx Tensión residual 20kA onda 8/20
Ures (1)	400	(kV pico)	Máx Tensión residual 1kA onda 30/60



Energía Absorbida por el Pararrayo

Ur	198	(kV)	Nominal Pararrayo Apropriado
Uov	637	(kV pico)	Sobret. esperada sin pararrayo
Ups	400	(kV pico)	Nivel de protección del pararrayo
L	37,5	(km)	Longitud de la Línea
T	125,00	(us)	Tiempo de prop. de la onda
n	5		# descargas consecutivas
Z	400	(ohm)	Impedancia Característica de la Línea
W	296,25	(kJ)	Energía de disipación del Pararrayos
W'	1,50	(kJ/kV)	Energía Especifica
Ures/U _r	2,02	(pu)	



Clase del Descargador

CLASE 4

∴ La energía absorbida por el pararr. <

4,12 kJ/kV

(*) Ures (10) 451 (kV pico) Tensión residual 10 kA onda 8/20

ANEXO D. Coordinación de Aislamiento (Método Determinístico)

D.1

TENSIONES REPRESENTATIVAS

(IEC 71-2 2)

SISTEMA

Vn	220	kV	
Us	245	kV	Tensión Máxima de Operación
Um	245	kV	Tensión Máxima de Equipo
Usf	141,45	kV	Fase -Tierra
Pico	200	kVp	

Sobretensión Temporal

Sistema	Normal		
Ke	1,4		Factor de falla a tierra
Urp1	198	kV	Fase-tierra (Falla fase tierra)
Urp1	343	kV	Fase-fase (Rechazo de carga)
Urp2	198	kV	Fase-tierra (Rechazo de carga)
Urp	198	kV	Fase-tierra
Urp	343	kV	Fase-fase

Sobretensión de Frente Lento

Impulso que afecta a equipos en la entrada (maniobra lejana)

Ue2	3,00	pu	Sobretensión con Prob. de 2% de ser excedido
Ue2	600	kV	Fase - tierra
Uet	700	kV	
Up2	903,7	kV	Fase - fase Figura 2 (IEC 71-2)
Upt	1043,0	kV	

Impulso que afecta a todo los equipos (maniobra local)

Ue2	1,90	pu	Sobretensión con Prob. de 2% de ser excedido
Ue2.	380	kV	Fase - tierra
Uet.	425	kV	
Up2.	592,2	kV	Fase - fase Figura 2 (IEC 71-2)
Upt.	653,6	kV	

Pararrayos en la entrada

ANEXO C

Ups	400	kVp	Nivel de Protección al Impulso de Maniobra
Upl	496,1	kVp	Nivel de Protección al Impulso Atmosférico
Urp	400	kV	Fase tierra (Ups) Para cualquier equipo
Urp	800	kV	Fase fase (2Ups) Para equipo a la entrada
Urp	654	kV	Fase fase (Upt) Cualquier eq. Excepto la entrada

D.2

TENSIONES DE COORDINACIÓN (Ucw) (IEC 71-2 3)**Sobretensiones Temporales Ucw = Kc.Urp** (IEC 71-2 3.3.1)

Kc	<input type="text" value="1"/>	pu	Factor de coordinación
Ucw	198	kV	Fase tierra
Ucwp	343	kV	Fase fase

Sobretensiones de Frente Lento Ucw = Kcd.Urp (IEC 71-2 3.3.2)

Para equipos a la entrada

Ups/Ue2	0,667	}	Kcd	1,10	Factores de coordinación determinístico
2Ups/Up2	0,885		Kcd	1,01	
Ucw	440			kV	Fase - tierra
Ucwp	804			kV	Fase - fase

Para el resto de equipos

Ups/Ue2	1,053	}	Kcd	1,03	Factores de coordinación determinístico
2Ups/Up2	1,351		Kcd	1,00	
Ucw	410,8			kV	Fase - tierra
Ucwp	653,6			kV	Fase - fase

Sobretensiones de Frente Rápido (IEC 71-2 3.3.3)

Upl	496,1	kV	Nivel de Protección del Pararrayos (NPR)
n	<input type="text" value="1"/>		# de Líneas conectadas
A	<input type="text" value="4500"/>	kV	Parámetro de comportamiento de Líneas (Tabla F.2)
Lsp	<input type="text" value="300"/>	m	Vano típico de Línea
L1	<input type="text" value="30"/>	m	Máx. separación de aislamiento interno
L2	<input type="text" value="60"/>	m	Máx. separación de aislamiento externo
Ra	<input type="text" value="0,0025"/>	fallas/año	Tasa de falla para equipo
Rkm	<input type="text" value="0,5"/>	1/100km-año	Tasa de falla por año del primer km de línea frente a la Subestación
La	500	m	Sección de Línea con tasa de salida equivalente a un nivel de falla aceptable para equipamiento
Ucw	664,85	kV	Aislamiento Interno
Ucw	833,60	kV	Aislamiento Externo

D.3

TENSIONES SOPORTABLES REQUERIDAS (U_{rw}) (IEC 71-2 4)**Consideraciones previas**

H	3875	m.s.n.m.	Altitud de Instalación
Ks	1,15		Factor de seguridad aislamiento interno
Ks	1,05		Factor de seguridad aislamiento externo

(IEC 71-2 4.3.4)

Sobretensiones Temporales

m	1		Parámetro de corrección por altura
Ka	1,423		Factor de corrección por altura
			(IEC 71-2 4.2.2)
U _{rw}	227,74	kV	Aislamiento fase-tierra, Interno
U _{rw}	295,89	kV	Aislamiento fase-tierra, Externo
U _{rw} p	394,45	kV	Aislamiento fase-fase, Interno
U _{rw} p	512,49	kV	Aislamiento fase-fase, Externo

Sobretensiones de Frente Lento

m	0,92	(U _{cw} =440 kV)	Parámetro de corrección por altura f-t
m	1,00	(U _{cw} =804 kV)	Parámetro de corrección por altura f-f
Ka	1,385		Factor de corrección por h fase - tierra
Ka	1,423		Factor de corrección por h fase - fase
			(IEC 71-2 4.2.2)

Sobretensiones para Equipos a la entrada de Línea

U _{rw}	506,00	kV	Aislamiento fase-tierra, Interno
U _{rw}	639,84	kV	Aislamiento fase-tierra, Externo
U _{rw} p	924,60	kV	Aislamiento fase-fase, Interno
U _{rw} p	1201,29	kV	Aislamiento fase-fase, Externo

Sobretensiones para el resto de Equipos

U _{rw}	472,46	kV	Aislamiento fase-tierra, Interno
U _{rw}	597,42	kV	Aislamiento fase-tierra, Externo
U _{rw} p	751,67	kV	Aislamiento fase-fase, Interno
U _{rw} p	976,61	kV	Aislamiento fase-fase, Externo

Sobretensiones de Frente Rápido

Ka	1,423		Factor de corrección por altura
			(IEC 71-2 4.2.2)
U _{rw}	764,58	kV	Aislamiento fase-tierra, Interno
U _{rw}	1245,52	kV	Aislamiento fase-tierra, Externo
U _{rw} p	764,58	kV	Aislamiento fase-fase, Interno
U _{rw} p	1245,52	kV	Aislamiento fase-fase, Externo

D.4

OBTENCIÓN DE TENSIONES DE AISLAMIENTO NORMALIZADAS

RESUMEN DE TENSIONES SOPORTABLES

Ks = 1,15 (F.S. Interno)

Ka = 1,42 (Sobret. Temporal)

Ks = 1,05 (F.S. Externo)

Ka = 1,38 (Sobret. Frente Lento f-l)

Ka = 1,42 (Sobret. Frente Lento f-f)

Ka = 1,42 (Sobret. Frente Rápido)

Aislamiento	Equipo	Ucw (kV)		Urw (kV)		
		Ext.	Int	Ext.	Int	
Sobretensiones Temporales	Fase-tierra	198	198	296	228	
	Fase-fase	343	343	512	394	
Sobretensiones de frente lento	Entrada	440	440	640	506	
		Otros	411	411	597	472
	Fase-fase	Entrada	804	804	1201	925
		Otros	654	654	977	752
Sobretensiones de frente rápido	Fase-tierra	834	665	1246	765	
	Fase-fase	834	665	1246	765	

CONVERSIÓN DE LAS TENSIONES SOPORTABLES DE CORTA DURACIÓN

(IEC 71-2 5.2)

Aislamiento Externo

Húmedo

Aislamiento interno de Equipo de Entrada

Aislamiento Sólido

Aislamiento interno de Otros Equipos

Aislamiento Inmerso en Líquido

Aislamiento	Tensión	Equipo	Soportabilidad de corta duración a f ind. SDW (kV)	Soportabilidad al Impulso tipo rayo LIW (kV)
Interno	Fase-tierra	Entrada	253	506
		Otros	236	520
	Fase-fase	Entrada	462	925
		Otros	376	827
Externo	Fase-tierra	Entrada	384	832
		Otros	358	777
	Fase-fase	Entrada	721	1562
		Otros	586	1270

SELECCIÓN DE LAS TENSIONES DE SOPORTABILIDAD NORMALIZADAS

(IEC 71-2 H.1.1.5)

SOBRETENSIÓN		AISLAMIENTO EXTERNO				AISLAMIENTO INTERNO	
		Eq. a Entrada de Línea		Otros Equipos		Urw (S)	Urw (C)
		Urw (S)	Urw (C)	Urw (S)	Urw (C)		
Corta duración a Frecuencia Industrial	Fase-tierra	296	383,9	296	358,5	228	236,2
	Fase-fase	512	720,8	512	586,0	394	375,8
Impulso de Maniobra	Fase-tierra	640	-	597	-	472	-
	Fase-fase	1201	-	977	-	752	-
Impulso Atmosférico	Fase-tierra	1246	831,8	1246	776,7	765	519,7
	Fase-fase	1246	1561,7	1246	1269,6	765	826,8

TENSIONES NORMALIZADAS SELECCIONADAS (MÍNIMAS REQUERIDAS)

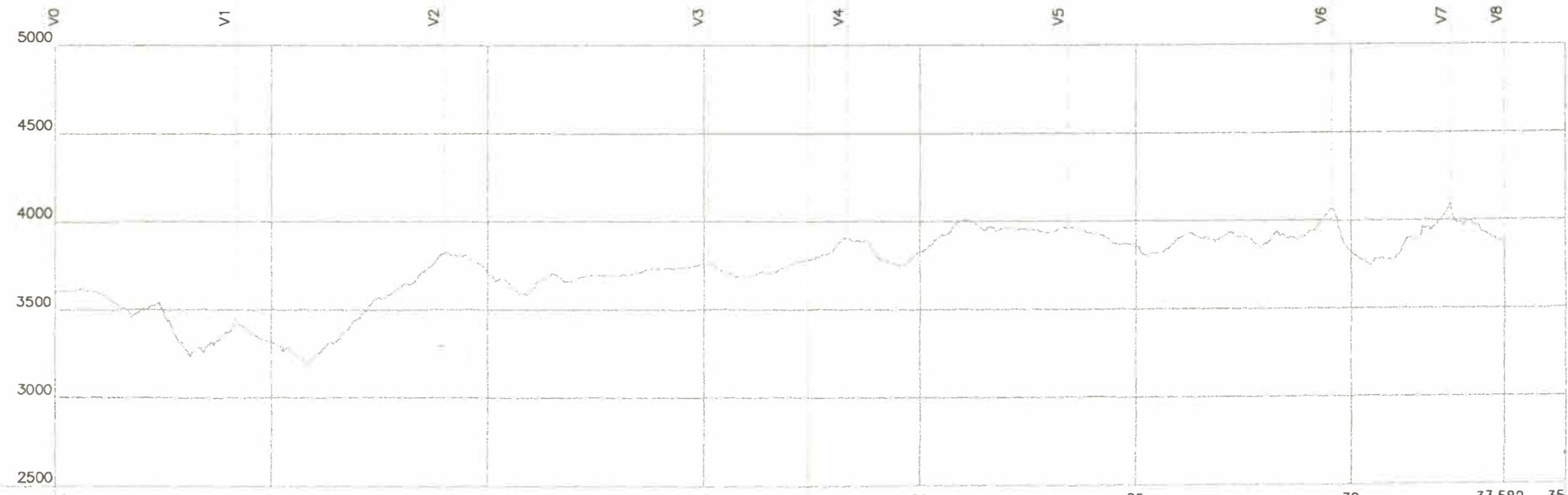
Tensión Máxima de Equipo: 245 kV (Según sistema)

Tensión Máxima de Equipo: 420 kV (Requerido)

Niveles de Aislamiento por Tipo de Sobretensión	Aislamiento Interno (kV)	Aislamiento Externo (kV)
Frecuencia Industrial	360	570
Impulso de Maniobra	750	950
Impulso Atmosférico	850	1300

ANEXO E. Topografía de la Línea, Estructuras Empleadas y Disposición de Equipos de la Subestación Cerro Corona

E.1



LONGITUD (Km)		0	5	10	15	20	25	30	33,582	35
ZONA		UNA								
CONDUCTOR ACTIVO		AAAC 500 mm ²								
CABLES DE GUARDA		EHS 50 mm ²								
AISLADORES		U 100 BL Y U 120 B								
HIPOTESIS DE CARGA CRITICA	CONDUCTOR ACTIVO	$\theta = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$								
	CABLE DE GUARDA	$P_v = 380 \text{ N/m}^2$								
ESFUERZO EN EDS (daN/mm ²)	CONDUCTOR ACTIVO	5,79								
	CABLE DE GUARDA	19,99								
ESTRUCTURAS		Suspensión, Anclaje y Terminal								
CADENA DE AISLADORES	SUSPENSION	(U 100 BL) 21								
	ANCLAJE	(U 120 B) 22								
FUNDACIONES		CONCRETO ARMADO Y PARRILLA METALICA								

LONGITUD :

L.T. 220kV CAJAMARCA NORTE - CERRO CORONA, 33,58 Km

NOTA :

θ = TEMPERATURA (°C)

v = PRESION DE VIENTO (daN/m²)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRONICA

TITULO: PERFIL L.T. 220 KV
CAJAMARCA NORTE - CERRO CORONA

LINEA DE TRANSMISION 220 kV CAJAMARCA NORTE - CERRO CORONA

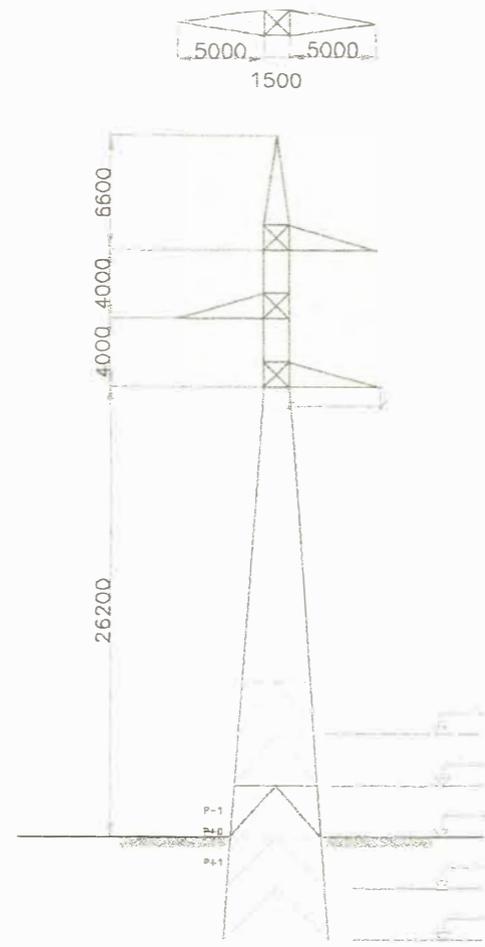
TABLA DE ESTRUCTURAS

E.2

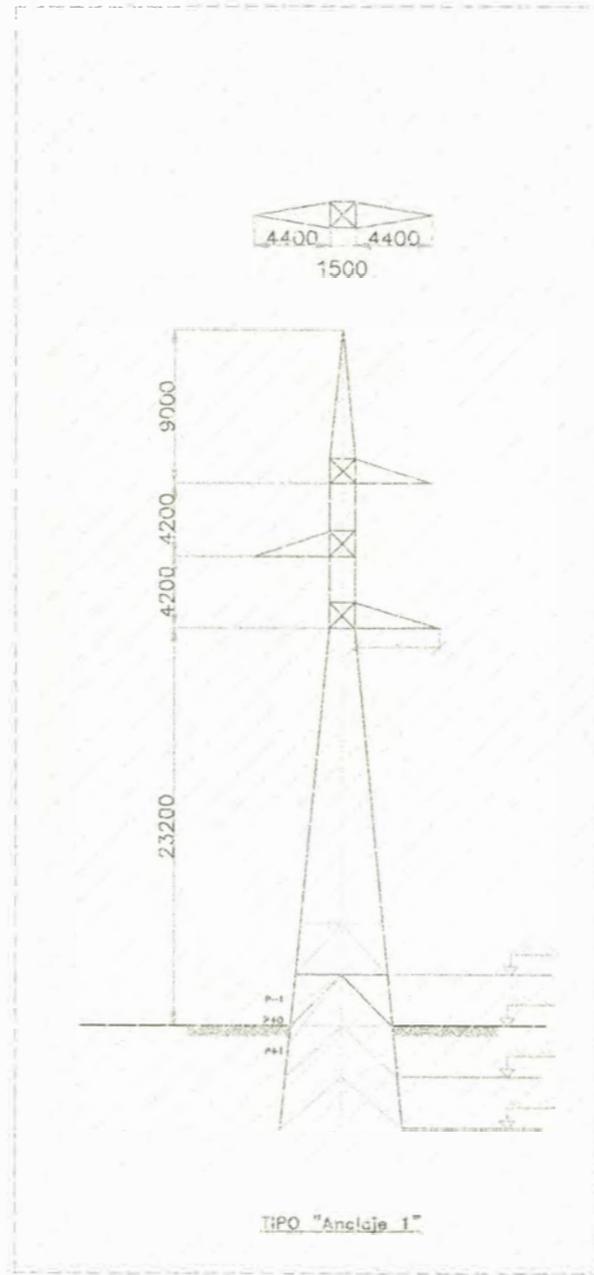
TORRE Nº	UBICACION DE ESTRUCTURAS		COORDENADAS		VANO REAL (m)	VANO MEDIO (m)	VANO PESO FRIJO (m)	VANO PESO CALIENTE (m)	RELACION VANO PESO FRIJO/ VANO MEDIO	RELACION VANO PESO CALIENTE/ VANO MEDIO	ANGULO TOPOGRAFICO	NUMERO DE VERTICE	TIPO DE ESTRUCTURA	TIPO DE TERRENO	ASIGNACION DE PATAS	ALTURA DE LA TORRE A NIVEL DEL CONDUCTOR MAS BAJO (m)	ALTURA TOTAL DE LA TORRE (m)	TIPO DE AISLADORES	AISLADORES		ANGULO DE BALANCEO DE CAD. AISLADORES		ANGULO DE SALIDA DEL CONDUCTOR EN LAS GRAPAS		CONTRAPESOS CONDUCTOR ACTIVO (daN)	AMORTIGUADORES AAAC POR VANO	AMORTIGUADORES EHS POR VANO	Nº DE TRAMO	VANO REGULADOR (m)	PARAMETRO CATENARIA (m)	OBSERVACIONES	
	ESTACION (m)	COTA (m)	ESTE (X) (m)	NORTE (Y) (m)															SUSPENSION	ANCLAJE	Min.	Max.	IZQ.	DER.								
																																6
0	0.00	3,600.98	765035.67	9219562.11	72.74	37	30	34	0.81	0.92			PORTICO			17.5	17.5	Cerámicos	-	6	-	-	-	-				1	67.95	355	Portico S.E. Cajamarca Norte	
1	72.74	3,600.98	764,969.03	9,219,532.95	315.00	194	249	206	1.28	1.06	93°10'06"	V0				18.0	30.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-				2	473.73	1594	V0 de salida de S.E. Cajamarca Norte	
2	387.74	3,606.84	764,844.82	9,219,822.43	315.00	315	312	313	0.99	0.99						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-37.00	38.20	-2.40	-2.90								
3	702.74	3,613.17	764,720.62	9,220,111.91	354.00	335	463	415	1.38	1.24						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-29.80	29.80	-3.00	-3.30								
4	1056.74	3,596.59	764,581.04	9,220,437.23	350.00	354	666	550	1.88	1.55						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-23.60	23.60	-3.40	-3.60								
5	1406.74	3,540.44	764,443.03	9,220,758.87	697.57	526	273	369	0.52	0.70						27.0	40.5	Cerámicos	3	-	-54.00	54.00	-3.10	-6.60								
6	2104.31	3,501.67	764,167.98	9,221,399.93	370.18	535	217	338	0.41	0.63						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-59.10	59.60	-6.50	-2.90								
7	2474.49	3,531.82	764,022.02	9,221,740.12	1193.25	793	1427	1252	1.80	1.58						27.0	39.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			3	1172.5	1652			
8	3667.74	3,312.33	763,551.52	9,222,836.69	260.00	739	-76	216	-0.10	0.29						21.0	33.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			4	294.88	1350			
9	3927.74	3,350.15	763,449.01	9,223,075.63	327.93	298	241	268	0.81	0.90						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-41.20	43.80	-1.80	-2.60								
10	4255.67	3,415.03	763,319.71	9,223,376.99	265.00	300	1028	708	3.43	2.36	17°59'48"	V1				18.0	30.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			5	454.01	1604	V1		
11	4520.67	3,382.91	763,295.57	9,223,640.89	558.55	415	497	466	1.20	1.12						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-33.70	34.60	-1.90	-5.20								
12	5079.22	3,312.40	763,244.70	9,224,197.11	394.43	479	383	419	0.80	0.87						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-43.80	44.50	-5.10	-3.20								
13	5473.65	3,281.33	763,208.78	9,224,589.91	929.98	663	379	483	0.57	0.73						21.0	33.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			6	929.62	1780			
14	6403.63	3,307.39	763,124.08	9,225,516.02	585.77	766	291	466	0.38	0.61						21.0	33.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			7	495.78	1561			
15	6989.40	3,434.37	763,070.73	9,226,099.36	363.21	487	451	466	0.93	0.96						27.0	40.5	Cerámicos	3	-	-40.00	40.40	-5.70	-3.60								
16	7352.61	3,525.89	763,073.65	9,226,461.06	204.01	291	339	324	1.16	1.11						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-33.50	33.50	-3.80	-2.00								
17	7556.62	3,568.64	763,019.07	9,226,664.22	579.98	396	657	566	1.66	1.43						27.0	40.5	Cerámicos	3	-	-26.10	26.10	-2.20	-5.80								
18	8136.60	3,641.85	762,966.25	9,227,241.79	559.99	576	432	484	0.75	0.84						21.0	30.5	Cerámicos	3	-	-45.50	45.50	-5.70	-5.60								
19	8696.59	3,734.55	762,915.25	9,227,799.45	374.47	477	334	385	0.70	0.81						27.0	40.5	Cerámicos	3	-	-46.60	47.20	-5.60	-3.30								
20	9071.06	3,823.30	762,881.15	9,228,172.37	458.01	422	1098	862	2.60	2.04	-12°01'04"	V2				27.0	39.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			8	604.7	1677	V2		
21	9529.07	3,809.02	762,745.44	9,228,609.82	414.46	439	753	650	1.72	1.48						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-25.40	25.90	-4.10	-4.10								
22	9943.53	3,747.98	762,622.64	9,229,005.66	486.04	455	390	412	0.86	0.91						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-41.80	41.80	-3.90	-4.80								
23	10429.57	3,673.48	762,478.63	9,229,469.88	796.81	644	344	445	0.53	0.69						27.0	40.5	Cerámicos	3	-	-54.10	54.10	-4.60	-7.60								
24	11226.38	3,659.06	762,242.55	9,230,230.91	370.71	584	354	432	0.61	0.74						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-50.90	50.90	-7.60	-3.40								
25	11597.09	3,700.03	762,132.71	9,230,584.97	770.09	571	758	698	1.33	1.22						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-31.50	31.50	-3.70	-7.30								
26	12367.18	3,692.09	761,904.54	9,231,320.48	382.15	576	671	641	1.16	1.11						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-34.50	35.00	-7.30	-3.20								
27	12749.33	3,692.18	761,791.31	9,231,685.48	425.05	404	228	290	0.56	0.72						18.0	30.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-								
28	13174.38	3,697.43	761,665.37	9,232,091.44	614.98	521	513	516	0.98	0.99						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-38.50	39.10	-3.60	-5.70								
29	13789.36	3,725.22	761,483.16	9,232,678.81	498.36	557	655	621	1.18	1.11						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-34.30	34.30	-5.80	-4.70								
30	14287.72	3,729.35	761,335.50	9,233,154.79	576.67	538	517	526	0.96	0.98						30.0	43.5	Cerámicos	3	-	-39.20	39.20	-4.60	-5.40								
31	14864.39	3,745.28	761,164.64	9,233,705.57	283.53	430	387	404	0.90	0.94						24.0	37.5	Cerámicos	3	-	-40.40	41.00	-5.40	-2.10								
32	15147.92	3,761.03	761,080.63	9,233,976.37	274.97	280	670	525	2.39	1.88	36°13'35"	V3				18.0	30.9	Cerámicos	1	6	-	-	-	-			10	464.85	1574	V3		
33	15422.89	3,729.31	761,169.99	9,234,236.41	286.85	282	214	240	0.76	0.85						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-43.30	44.20	-2.00	-2.80								
34	15709.74	3,701.07	761,263.22	9,234,507.69	640.01	464	216	311	0.47	0.67						21.0	30.5	Cerámicos	3	-	-55.70	55.70	-2.60	-6.00								
35	16349.75	3,707.64	761,471.21	9,235,112.96	501.93	571	497	527	0.87	0.92						21.0	27.5	Cerámicos	3	-	-41.80	41.80	-6.10	-4.80								
36	16851.68	3,730.96	761,634.33	9,235,587.64	394.88	450	278	343	0.62	0.76						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-49.40	49.40	-4.70	-3.60								
37	17246.56	3,770.98	761,762.66	9,235,961.09	372.08	385	530	476	1.38	1.24						21.0	25.0	Cerámicos	3	-	-30.20	30.20	-3.90	-3.70								
38	17618.64	3,790.34	761,883.58	9,236,312.97	523.91	451	213	302	0.47	0.67						21.0	27.5	Cerámicos	3	-	-55.30	55.30	-3.40	-4.90								
39	18142.55	3,870.22	762,053.85	9,236,808.44	223.34	378	351	363	0.93	0.96						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-39.00	40.40	-5.10	-1.40								
40	18365.89	3,905.56	762,126.43	9,237,019.66	458.83	343	827	645	2.41	1.88	-07°45'40"	V4				18.0	30.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			11	459.01	1603	V4		
41	18824.72	3,891.70	762,215.72	9,237,469.72	1136.85	799	892	881	1.12	1.10						18.0	30.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			12	1134.43	1757			
42	19961.57	3,814.36	762,436.96	9,238,584.83	501.02	824	246	454	0.30	0.55						21.0	33.9	Cerámicos	-	6	-	-	-	-			13	425.31	1526			
43	20462.59	3,903.33	762,534.47	9,239,076.27	440.02	478	419	442	0.88	0.92						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-41.30	41.80	-4.50	-4.10								
44	20902.61	3,990.20	762,620.10	9,239,507.88	274.96	362	722	584	1.99	1.61						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-22.60	22.60	-4.40	-2.60								
45	21177.57	4,005.15	762,673.61	9,239,777.58	493.18	385	720	589	1.87	1.53						18.0	31.5	Cerámicos	3	-	-23.80	23.80	-2.60	-4.90								
46	21670.75	3,966.76	762,769.59	9,240,261.34	364.76	430	279	338	0.65	0.79						18.0	3															

E.3 Tipos de Estructuras Empleadas en la Línea de Transmisión 220 kV, Cajamarca Norte – Cerro Corona

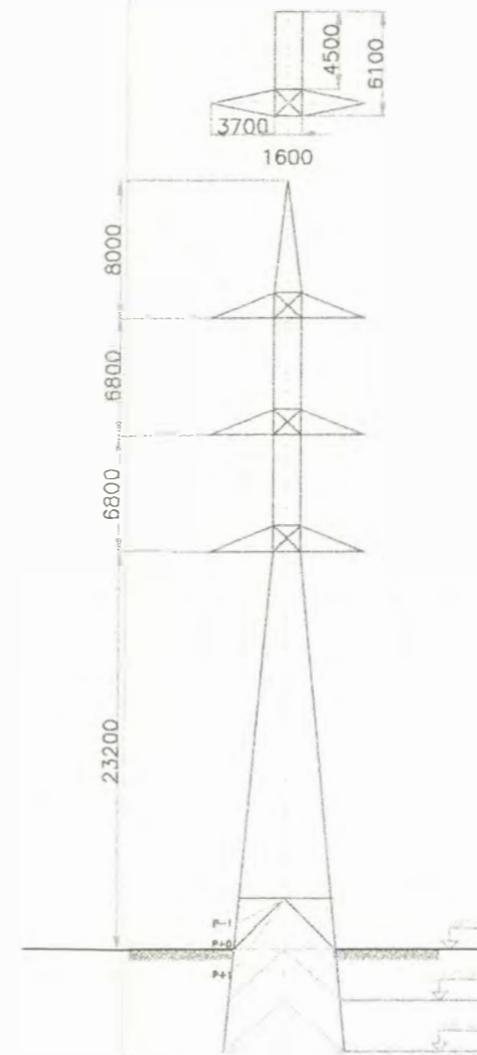
	S1	A1	T1	A2
FUNCIÓN	SUSPENSIÓN	TENSION ANGULAR	TENSION ANGULAR/TERMINAL	TENSION ANGULAR ESPECIAL
ANGULO DE LINEA	2' (0°)	45' 5"	70' (45°)/30'	70'
VANO VIENTO (m)	500 (620)	400 0	500 (1700)/400	200
VANO PESO (m)	900	1400	1000	200
VANO LAT. MAX. (m)	750	11 00	700	100



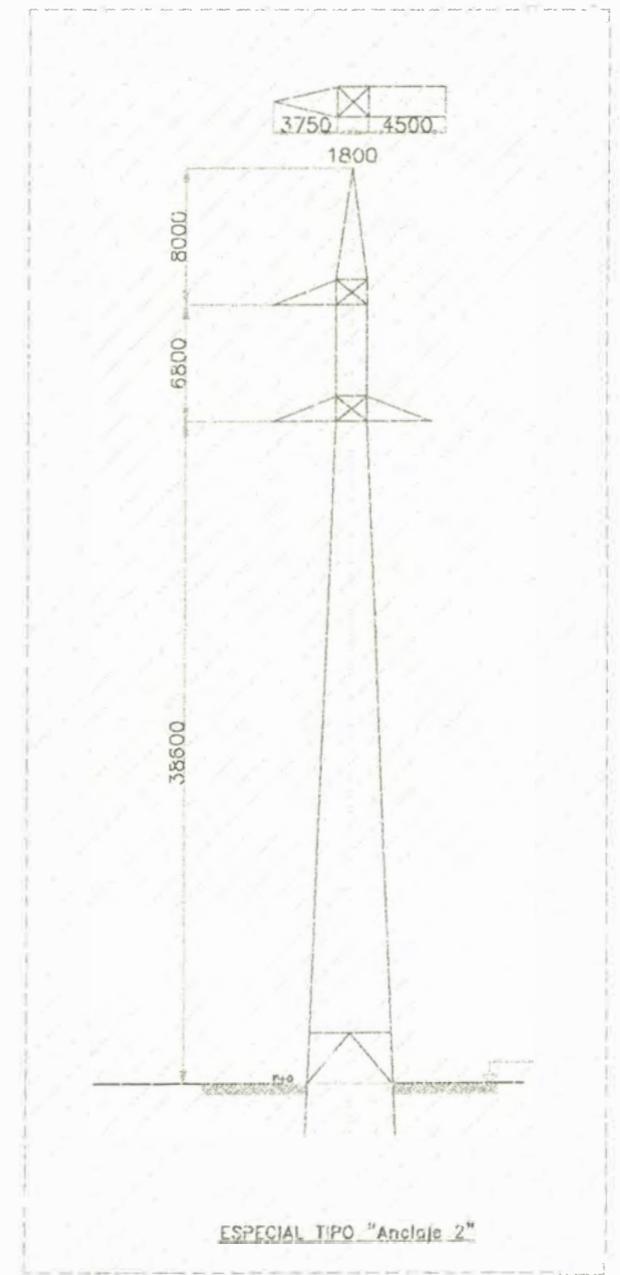
TIPO "Suspensión"



TIPO "Anclaje 1"



TIPO "Terminal"



ESPECIAL TIPO "Anclaje 2"

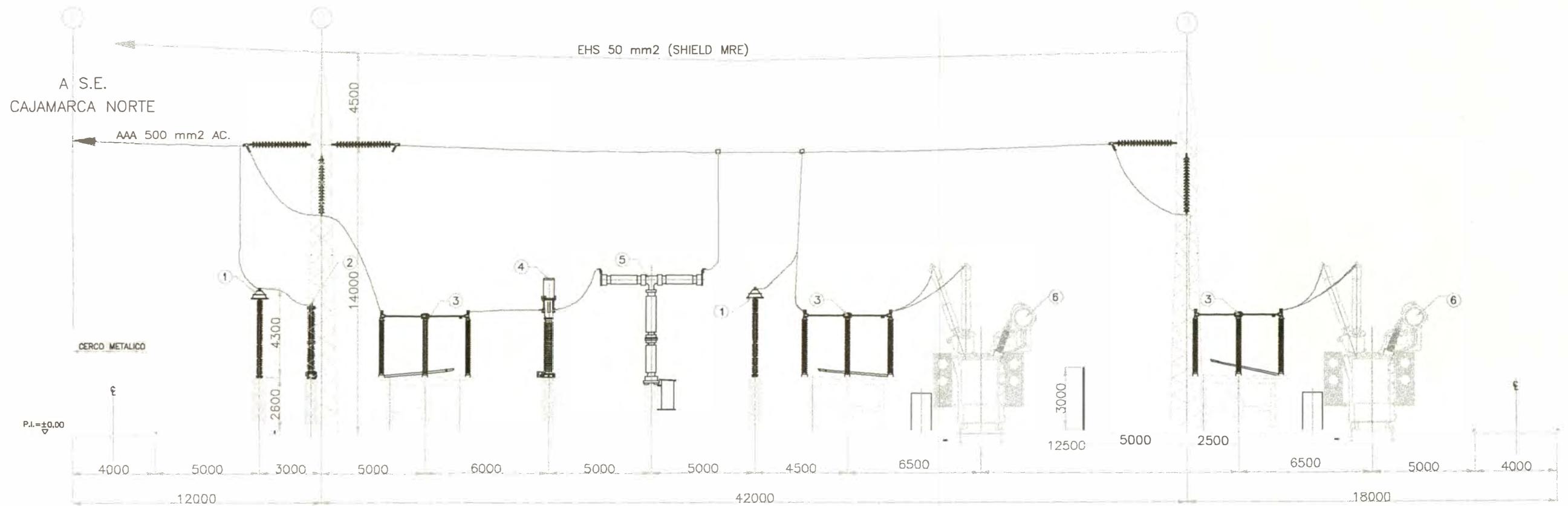


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRONICA

TÍTULO:
ESTRUCTURAS METÁLICAS TÍPICAS

E.4 Disposición del Equipamiento de la Subestación Cerro Corona (Patio 220 kV)



LEYENDA DE EQUIPOS

1	PARARRAYOS
2	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN
3	SECCIONADOR DE LÍNEA
4	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
5	INTERRUPTOR DE POTENCIA
6	TRANSFORMADOR DE POTENCIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA

TÍTULO:
SUBESTACIÓN CERRO CORONA

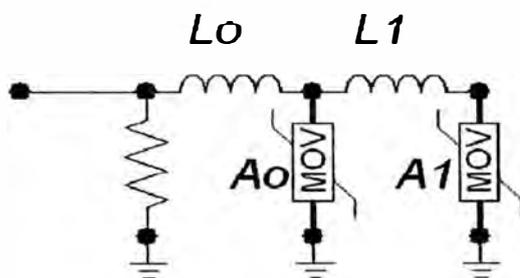
ANEXO F. Parámetros del Pararrayos

(Para representación en el Programa ATP)

PARARRAYOS SELECCIONADO (Datos Técnicos de Ingeniería de Diseño)

U_N	I (kA)	h (m)
198	20000	3,5

kVp						
30x60 us			8x20us			1x(2-20)us
1,0 kA	2,0 kA	3,0 kA	5,0 kA	10 kA	20 kA	10 kA
387	400	410	428	451	494	491



MODELO (Referencia: [19])
PINCETI

V_N	198 kV
V_{R1T2}	491 kV
V_{R8T2}	451 kV
V_{R820}	451 kV

L_1	0,00439024 mH	=	0,00165508 Ohm	U_{res} (10kA)
L_0	0,00146341 mH	=	0,00055169 Ohm	451

(kA)	A_0 V (pu)	A_1 V (pu)
2×10^{-6}	0,81	0,623
0,1	0,974	0,788
1	1,052	0,866
3	1,108	0,922
10	1,195	1,009
20	1,277	1,091



A_0 (kV)	A_1 (kV)
365,310	280,973
439,274	355,388
474,452	390,566
499,708	415,822
538,945	455,059
575,927	492,041

Dado que el equipo se conecta directamente al Sistema de Puesta a Tierra, se representa mediante una impedancia

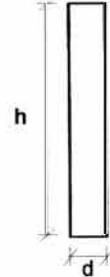
$$4,5 \mu\text{H} = 0,00169646 \text{ Ohm}$$

ANEXO G. Parámetros de los Soportes de Equipos

Obtención de parámetros para las estructuras soporte de Aislador soporte, Interruptor, Transformador de Corriente y Transformador de Tensión

$$\begin{aligned}
 h &= 2,6 \text{ m} \\
 d &= 0,45 \text{ m} \\
 Z &= 147,2743 \text{ Ohm} \\
 \tau &= 8,667E-09 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Factor de Atenuación = 0,91



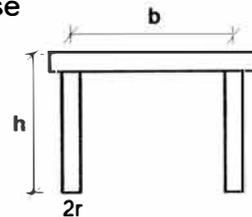
Ri (Ohm)	Li (H)	XL (Ohm)
27,779	4,815E-07	1,815E-04

Obtención de parámetros de las estructuras soporte de los seccionadores

$$\begin{aligned}
 h &= 2,6 \text{ m} \\
 r &= 0,15 \text{ m} \\
 b &= 4 \text{ m} \\
 Z_s &= 116,35 \text{ Ohm} \\
 Z_m &= 52,61 \text{ Ohm} \\
 Z_t &= 84,48 \text{ Ohm} \\
 \tau &= 8,667E-09 \text{ s}
 \end{aligned}$$

} Por cada fase

Factor de Atenuación = 0,91



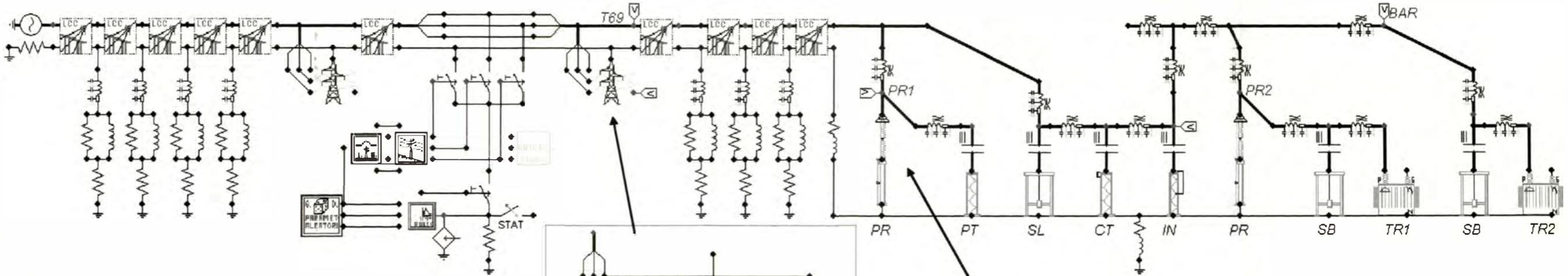
Ri (Ohm)	Li (H)	XL (Ohm)
15,935	2,762E-07	1,041E-04

ANEXO H. Representación del Sistema Cerro Corona Mediante el Programa ATP

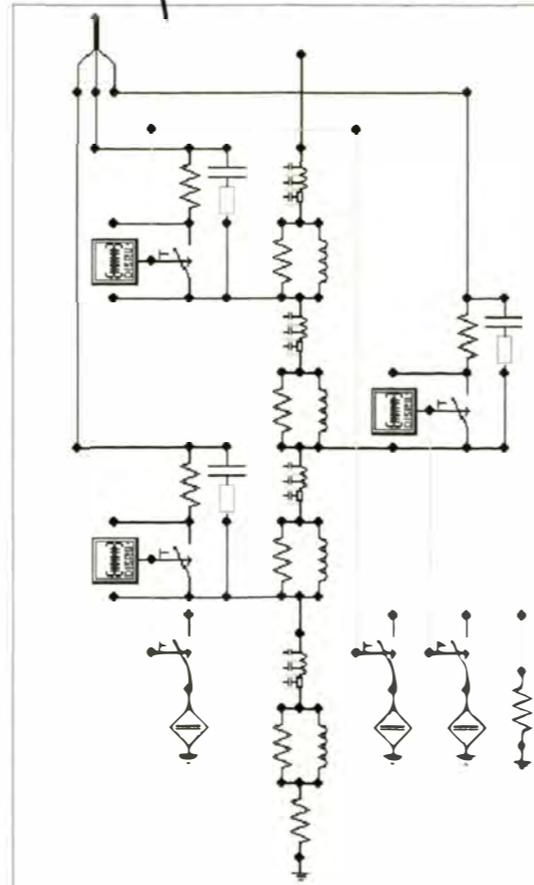
EQ. SE CAJAMARCA 220kV

Descarga a 1300 m de la SE

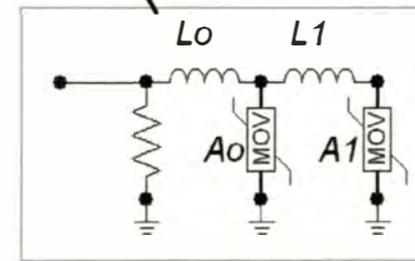
SUBESTACIÓN CERRO CORONA



MODELO DE RAYO OBTENIDO ALEATORIAMENTE



MODELO DE UNA TORRE Y DISRUPCION EN LOS AISLADORES



MODELO DEL PARARRAYOS

ANEXO I. Parámetros Generados del Rayo y Tensiones en la Subestación

(Obtenidos en la Simulación Mediante el Programa - ATP)

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MÁXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP.	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
2,93	2,18	98,70	10,45	GUARDA		-187,05	192,00	184,93
4,96	2,77	63,69	5,39	FASE B		380,43	423,64	-372,36
5,91	2,14	31,54	15,53	FASE A		539,48	-370,03	397,92
6,90	1,21	50,53	12,82	GUARDA		-204,67	-186,77	194,12
7,03	1,93	71,93	9,04	FASE B	Solo B	-271,25	494,87	-310,44
7,35	1,87	73,71	10,26	GUARDA		-197,72	229,09	192,09
7,51	2,68	66,21	1,95	GUARDA		197,54	-202,97	-188,37
7,86	2,24	49,78	13,42	GUARDA		-195,12	-192,33	199,66
7,92	3,99	247,55	12,26	GUARDA		-212,95	-188,05	196,27
8,09	1,61	64,93	7,41	FASE A	Solo A	521,39	344,12	-300,70
8,42	1,72	225,00	0,57	GUARDA		200,02	-217,19	-187,80
8,71	2,88	64,71	10,07	GUARDA		-199,73	226,55	193,24
8,86	2,18	54,36	5,75	GUARDA		200,61	194,01	-209,39
9,17	1,63	151,99	12,43	GUARDA		-213,28	-186,89	199,12
9,29	1,55	33,75	2,78	GUARDA		218,45	-193,91	-193,79
9,37	1,87	56,56	11,46	GUARDA		-215,05	208,82	192,90
9,39	3,58	34,15	4,18	GUARDA		226,73	189,49	-198,44
9,51	4,96	58,59	14,32	FASE B	Solo B	-340,21	461,33	387,50
9,61	5,61	58,81	7,23	GUARDA		-191,55	199,36	-212,33
9,66	4,75	40,36	8,06	GUARDA		-194,73	208,39	-190,11
10,02	2,61	50,20	10,22	GUARDA		-205,27	233,86	196,36
10,02	2,62	30,76	4,88	GUARDA		230,07	192,48	-207,34
10,24	5,16	107,48	15,77	GUARDA		186,14	-199,44	214,21
10,25	2,34	47,78	15,74	GUARDA		185,21	-201,47	235,96
10,44	4,08	42,38	2,02	FASE B	Solo B	398,82	466,47	340,88
10,53	3,76	84,27	1,10	GUARDA		201,33	-221,26	-190,53
10,94	2,00	19,45	1,25	GUARDA		196,66	-225,82	-188,60
11,02	2,86	112,99	5,92	GUARDA		200,58	201,88	-216,54
11,03	2,75	48,97	4,67	GUARDA		237,88	194,74	-208,80
11,07	1,67	47,88	1,03	GUARDA		200,78	-238,11	-192,29
11,15	2,65	97,29	15,45	GUARDA		179,85	-198,34	242,36
11,23	1,90	113,06	0,68	GUARDA		207,45	-226,87	194,52
11,29	1,15	55,66	5,76	GUARDA		223,67	198,96	-217,72
11,48	3,17	34,21	4,71	FASE B	Solo B	390,42	492,34	-366,34
11,68	3,12	68,61	9,44	FASE B	Solo B	-363,77	499,86	-338,61
11,70	1,73	61,90	11,91	GUARDA		-229,67	208,13	198,89
12,04	1,72	77,35	9,56	GUARDA		-201,75	270,18	194,12
12,04	1,87	82,45	9,74	GUARDA		-201,78	267,79	193,58
12,34	2,78	88,72	15,98	GUARDA		184,33	-212,53	240,98
12,46	3,88	55,66	1,49	GUARDA		203,94	-232,28	-194,19
12,47	2,80	50,03	14,98	GUARDA		182,62	-204,46	247,45
12,52	2,29	90,46	7,80	GUARDA		-197,90	225,14	-212,65
12,60	1,96	177,74	10,30	GUARDA		-219,06	265,36	203,12
12,86	2,16	59,28	5,83	GUARDA		221,64	202,45	-225,02
12,86	2,24	57,04	10,99	GUARDA		-224,64	242,68	199,20
12,88	2,82	149,75	6,57	GUARDA		-193,47	204,77	-225,30
13,15	2,17	217,83	7,51	FASE B	Solo B	353,76	522,23	-364,37
13,18	1,42	69,73	0,13	GUARDA		204,98	-233,47	233,84
13,57	1,10	39,26	15,94	GUARDA		186,33	-218,97	260,64
13,57	1,91	82,35	8,23	GUARDA		-204,29	252,09	-207,16
13,79	6,28	53,43	7,19	GUARDA		-196,67	208,27	-228,60
13,80	3,11	95,20	13,31	FASE B	Solo B	-366,47	525,94	380,81
13,85	3,99	52,29	2,95	GUARDA		228,94	-196,92	-201,91
14,03	1,64	61,18	12,06	GUARDA		-240,56	221,84	203,12
14,14	1,83	24,43	6,48	GUARDA		203,74	199,31	-234,73
14,18	1,51	84,72	12,94	GUARDA		-228,90	-196,27	213,22
14,28	2,49	63,78	2,28	GUARDA		222,39	-226,05	-195,60
14,58	2,97	29,08	14,46	GUARDA		180,64	-201,70	246,05
14,62	2,23	67,29	5,22	GUARDA		252,36	200,52	-222,32
14,72	0,99	37,43	3,24	GUARDA		272,05	-213,71	-203,57
14,82	1,85	102,23	11,07	FASE B	Solo B	-382,67	530,40	267,94
15,02	2,62	64,01	9,24	GUARDA		-206,99	263,25	199,66
15,02	3,01	124,21	1,43	GUARDA		210,95	-235,75	-197,69
15,05	3,56	32,64	11,76	GUARDA		-239,37	207,57	201,57
15,06	2,33	41,50	13,48	GUARDA		-224,80	-204,96	230,08
15,10	2,81	74,02	3,15	GUARDA		251,85	192,96	-205,29
15,11	0,69	57,38	6,36	GUARDA		226,09	209,15	-241,45

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IC (KA)	TC (µs)	TC (µs)	TI (µs)	CAE	DISRUP.	FASE A (KV)	FASE B (KV)	FASE C (KV)
15,16	2,46	23,26	6,73	GUARDA		-193,66	204,61	-238,90
15,17	2,47	87,48	13,87	GUARDA		-205,20	-207,52	245,06
15,20	2,58	76,99	8,09	GUARDA		-205,50	241,66	-212,43
15,21	1,64	36,85	16,20	GUARDA		190,20	-230,69	262,00
15,23	2,72	70,79	14,19	GUARDA		-191,71	-209,26	251,82
15,27	2,24	99,32	1,64	GUARDA		212,94	-240,96	-198,48
15,34	1,53	60,05	11,38	GUARDA		-239,21	268,36	202,54
15,45	2,81	92,21	3,67	GUARDA		262,83	195,35	-212,26
15,52	2,11	30,76	8,41	GUARDA		-206,65	263,87	-206,40
15,54	1,83	27,68	0,43	GUARDA		203,65	-247,00	227,03
15,59	2,15	61,36	0,57	GUARDA		213,33	-251,29	223,47
15,72	1,49	69,27	11,36	GUARDA		-239,14	273,21	202,70
15,87	2,14	47,71	13,72	GUARDA		-221,03	-206,03	246,63
15,97	2,70	30,65	1,73	GUARDA		213,12	-247,14	-200,11
15,99	1,65	52,19	0,47	GUARDA		212,79	-258,67	235,01
16,04	2,85	60,47	16,32	GUARDA		200,69	-231,56	252,29
16,07	2,16	64,51	13,46	GUARDA		-226,33	-204,90	238,19
16,13	1,41	86,76	9,72	GUARDA		-211,75	312,08	200,33
16,31	3,04	26,67	14,10	GUARDA		-196,66	-202,12	242,17
16,38	2,53	32,77	6,93	GUARDA		-197,52	209,07	-240,53
16,42	6,00	98,37	7,54	GUARDA		-201,62	220,00	-227,45
16,72	2,64	299,17	11,67	GUARDA		-256,06	227,87	206,00
16,81	2,46	94,63	4,55	GUARDA		275,14	198,10	-221,13
16,87	3,78	42,50	9,69	GUARDA		-211,84	265,26	201,91
16,89	1,33	54,04	15,82	GUARDA		197,82	-228,00	283,92
16,96	1,43	83,04	0,95	GUARDA		217,19	-259,28	220,58
16,99	2,14	94,76	2,56	GUARDA		252,68	-225,23	-202,59
17,02	2,87	92,59	7,06	GUARDA		-198,69	219,33	-241,02
17,07	3,81	96,41	12,34	GUARDA		-245,06	-193,25	212,01
17,20	2,43	82,59	3,58	GUARDA		276,45	196,93	-214,88
17,20	2,84	148,26	1,88	GUARDA		223,61	-236,26	-202,19
17,33	3,09	36,51	7,96	GUARDA		-206,17	240,92	-223,38
17,43	2,40	45,14	14,76	GUARDA		189,14	-211,93	277,68
17,46	2,72	25,27	6,22	GUARDA		225,60	204,25	-245,73
17,55	3,82	139,96	10,83	GUARDA		-235,58	248,80	210,42
17,56	8,21	88,49	15,96	GUARDA		194,12	-226,84	227,91
17,82	1,68	61,47	10,60	GUARDA		-237,67	304,82	211,25
17,85	2,59	57,26	12,94	GUARDA		-249,38	-202,98	222,28
17,86	1,84	47,30	5,15	FASE B	Solo B	412,22	568,27	-403,17
17,94	1,59	171,46	0,20	GUARDA		221,60	-253,94	261,75
17,96	1,88	267,42	10,21	GUARDA		-237,94	308,19	209,83
18,01	3,27	79,33	13,25	GUARDA		-235,25	-206,00	232,62
18,12	1,34	35,49	12,37	GUARDA		-257,40	252,29	212,14
18,28	3,28	48,79	16,32	GUARDA		203,42	-242,88	257,63
18,29	3,42	56,42	12,89	GUARDA		-251,29	-202,82	220,90
18,57	1,10	68,53	3,82	GUARDA		304,28	-203,34	-217,63
18,65	3,42	117,70	10,46	GUARDA		-236,47	268,55	213,45
18,66	3,16	71,69	16,00	GUARDA		198,20	-234,51	269,87
18,68	1,55	18,15	14,04	GUARDA		-216,85	-199,14	260,11
18,74	3,84	39,71	4,84	GUARDA		262,93	205,34	-233,19
19,01	2,59	109,08	15,54	GUARDA		195,58	-223,58	287,28
19,07	2,78	106,88	14,37	GUARDA		-195,97	-218,14	277,10
19,22	1,46	135,03	9,28	GUARDA		-220,56	329,44	202,10
19,30	2,72	44,63	0,91	GUARDA		217,27	-273,85	219,85
19,35	3,11	79,02	11,17	GUARDA		-249,87	257,51	209,43
19,51	2,18	30,70	4,29	GUARDA		295,92	203,82	-227,39
19,54	4,05	98,14	12,76	GUARDA		-247,66	-201,66	222,27
19,58	2,35	74,49	14,99	GUARDA		190,08	-216,28	294,21
19,61	2,72	105,88	11,49	GUARDA		-259,07	249,65	211,03
19,62	2,23	95,16	3,94	GUARDA		295,00	200,94	-221,23
19,70	1,64	59,63	14,41	GUARDA		-205,29	-217,38	295,98
19,72	3,69	74,10	7,11	GUARDA		-201,81	227,86	-253,03
19,72	0,79	148,49	2,12	GUARDA		268,97	-285,19	-206,99
19,74	2,99	38,11	2,62	GUARDA		259,19	-242,09	-208,87
19,93	2,09	79,41	16,57	GUARDA		189,32	-254,12	277,65
19,96	2,08	51,11	7,93	GUARDA		-212,01	279,52	-237,61
19,98	0,92	75,85	7,71	GUARDA		-207,16	305,84	-251,29
20,14	2,29	52,14	4,63	GUARDA		294,51	206,14	-232,93
20,18	2,65	85,91	16,10	GUARDA		205,82	-241,23	284,04
20,22	1,55	101,36	5,93	GUARDA		271,68	220,00	-250,68
20,23	3,38	98,79	3,83	GUARDA		281,82	200,92	-222,99
20,24	3,77	29,86	4,98	GUARDA		268,90	204,45	-233,90

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
20,26	1,97	156,09	15,39	GUARDA		193,35	-226,23	304,91
20,33	2,76	65,64	14,31	GUARDA		-208,19	-218,68	282,38
20,47	1,57	77,59	15,66	GUARDA		199,01	-235,00	307,71
20,59	1,89	104,83	14,18	GUARDA		-216,16	-221,30	294,35
20,61	3,70	40,98	5,90	GUARDA		241,47	216,61	-253,83
20,63	3,00	132,11	14,90	GUARDA		192,68	-224,44	290,22
20,67	3,19	78,99	9,22	GUARDA		-218,33	288,09	205,76
20,94	2,74	66,14	10,91	GUARDA		-251,87	279,30	214,31
20,97	2,17	114,87	5,72	GUARDA		273,90	221,37	-249,66
20,98	2,57	48,65	5,12	GUARDA		286,46	211,04	-243,52
20,99	2,98	31,41	3,46	GUARDA		288,38	-204,63	-215,20
21,26	2,67	47,77	4,96	GUARDA		290,22	209,25	-240,62
21,42	2,01	40,55	9,80	FASE B	Solo B	-392,77	602,16	-362,06
21,68	2,55	22,27	15,51	GUARDA		192,94	-219,74	283,48
21,69	1,94	42,85	5,75	GUARDA		281,66	218,44	-257,90
21,94	0,71	63,11	16,40	GUARDA	Solo C	-265,74	-373,71	422,73
22,09	1,12	27,80	8,93	GUARDA		-216,38	352,04	-216,40
22,17	2,01	35,04	4,37	GUARDA		310,68	209,33	-238,50
22,17	2,75	63,51	0,93	GUARDA		227,21	-280,04	235,36
22,29	1,96	20,37	12,26	GUARDA		-255,28	263,63	214,09
22,40	3,58	49,97	9,07	GUARDA		-222,47	290,82	210,41
22,53	3,13	127,10	4,72	GUARDA		293,54	208,30	-237,77
22,55	1,75	38,83	15,64	GUARDA	Solo C	-368,92	-371,88	425,69
22,62	3,37	70,86	14,21	GUARDA		-219,65	-223,25	281,87
22,68	4,97	118,05	2,33	GUARDA		258,57	-235,49	-210,32
22,78	2,03	193,47	4,44	GUARDA		311,93	208,03	-243,58
22,80	5,87	83,64	1,51	GUARDA		230,36	-258,40	-204,88
22,89	4,12	63,21	4,24	GUARDA		283,50	206,13	-232,72
22,93	2,99	15,04	13,29	GUARDA		-242,38	-197,09	232,11
22,96	2,27	90,71	10,84	GUARDA		-259,55	312,83	217,73
22,96	2,20	49,41	4,15	GUARDA		312,16	207,84	-234,34
22,96	3,31	219,99	16,07	GUARDA		214,73	-256,49	289,58
23,05	1,98	228,46	14,13	GUARDA		-225,98	-225,44	307,91
23,11	1,52	25,37	7,83	GUARDA		-208,05	324,81	-255,24
23,12	1,68	70,32	12,88	GUARDA		-269,15	240,45	259,88
23,16	2,32	59,45	10,09	GUARDA		-245,72	325,04	219,21
23,18	1,73	71,81	11,54	GUARDA		-271,23	310,55	213,13
23,31	2,05	46,50	12,19	GUARDA		-286,08	266,16	221,47
23,33	1,74	191,80	14,62	GUARDA		-207,52	-230,93	322,75
23,42	3,36	221,09	16,14	GUARDA		217,89	-260,43	289,25
23,72	2,10	69,75	3,76	GUARDA		315,20	204,54	-227,96
23,76	2,39	78,84	5,12	GUARDA		302,25	213,98	-249,90
23,77	3,60	40,41	8,61	GUARDA		-225,68	289,26	-222,68
23,78	3,08	101,34	15,73	GUARDA		207,74	-243,92	303,17
23,79	3,80	81,02	13,62	GUARDA		-244,60	-219,96	261,44
23,79	2,42	65,05	8,63	GUARDA		-226,67	313,26	-224,63
23,83	1,79	36,61	8,99	FASE B	Solo B	-381,33	636,84	-379,01
24,12	2,29	79,49	1,83	GUARDA		260,11	-279,16	-207,92
24,14	2,61	13,06	3,08	GUARDA		274,97	-248,30	-209,46
24,16	1,48	78,34	13,56	GUARDA		-253,54	-220,56	300,64
24,28	5,42	75,13	0,34	GUARDA		232,33	-265,37	226,19
24,38	2,74	83,43	11,60	GUARDA		-275,93	271,78	216,05
24,51	3,39	56,45	6,43	FASE B	Solo B	383,12	517,74	-407,59
24,53	3,34	178,88	0,39	GUARDA		240,55	-282,09	264,31
24,66	2,32	33,59	3,29	GUARDA		311,49	-237,26	-220,10
24,85	3,00	42,50	8,60	GUARDA		-228,10	304,01	-228,01
24,86	1,88	71,66	2,01	GUARDA		279,69	-284,71	-208,24
24,88	2,06	53,14	10,42	GUARDA		-258,78	344,63	223,31
24,90	1,69	167,87	9,14	GUARDA		-232,09	364,72	-212,34
25,11	3,62	203,18	10,55	GUARDA		-272,71	295,66	226,14
25,18	2,20	49,87	5,36	GUARDA		306,30	219,73	-261,28
25,30	1,64	107,98	0,81	GUARDA	Solo B	388,41	555,45	395,18
25,48	2,35	59,76	2,12	GUARDA	Solo B	415,66	546,14	323,00
25,92	2,27	95,45	0,90	GUARDA	Solo B	393,38	562,06	391,36
26,11	2,32	26,85	14,84	GUARDA	Solo C	-405,31	-363,57	481,06
26,43	3,82	93,23	3,89	GUARDA		304,10	207,53	-235,57
26,47	5,06	35,44	16,65	GUARDA	Solo B	311,98	505,00	396,87
26,48	1,32	107,85	2,13	GUARDA	Solo B	421,57	592,39	324,98
26,62	2,66	128,26	6,61	GUARDA		256,56	237,76	-274,96
26,73	1,61	144,22	4,95	GUARDA		327,79	217,02	-252,88
26,83	1,93	18,37	0,38	GUARDA	B y C	354,39	552,73	447,53
27,01	2,32	88,64	4,65	GUARDA		325,27	211,27	-250,35

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
27,01	2,51	65,58	11,54	GUARDA	Solo A	496,83	435,91	348,70
27,11	3,04	52,98	6,76	GUARDA	B y C	244,09	246,12	-287,92
27,15	0,91	86,24	2,96	GUARDA	A y B	448,91	595,20	-335,79
27,16	0,95	120,53	7,71	GUARDA	Solo B	255,65	537,22	-384,48
27,18	3,55	30,19	2,48	GUARDA	Solo B	416,10	522,08	307,92
27,20	1,77	70,49	16,48	GUARDA	B y C	355,16	584,54	446,21
27,27	1,34	80,29	8,94	GUARDA	Solo B	-363,08	525,03	-380,63
27,29	1,38	75,78	11,20	GUARDA	Solo B	-398,09	522,21	264,02
27,64	2,46	180,80	2,58	GUARDA	Solo B	430,67	566,47	304,73
27,64	2,67	217,73	0,24	GUARDA	B y C	381,75	563,37	448,68
27,70	3,49	41,97	8,62	GUARDA	Solo C	-349,38	459,74	475,47
27,75	2,59	99,24	2,25	GUARDA	Solo B	424,44	564,40	332,01
27,88	1,77	47,30	2,80	GUARDA	Solo B	419,99	583,70	-289,55
28,09	2,40	48,38	9,77	GUARDA	Solo B	-400,98	503,68	-379,95
28,21	2,56	34,86	9,18	GUARDA	B y C	-383,95	534,76	499,34
28,38	1,38	45,61	1,90	GUARDA	Solo B	418,06	598,51	344,13
28,46	2,02	190,49	4,85	GUARDA		331,69	220,71	-267,90
28,50	1,36	71,26	10,85	GUARDA	Solo B	-400,11	521,50	-277,83
28,52	0,93	35,92	0,76	GUARDA	B y C	396,87	610,44	463,95
28,58	3,06	140,26	15,53	GUARDA	B y C	-311,26	538,76	463,07
28,84	2,14	97,82	9,28	GUARDA	Solo B	-371,47	514,73	-370,51
28,90	1,46	42,12	3,34	GUARDA	A y B	466,25	545,36	-387,28
29,10	2,74	70,16	0,55	GUARDA	B y C	383,75	565,97	456,69
29,14	2,16	130,98	0,89	GUARDA	B y C	392,11	587,89	459,44
29,30	3,41	37,44	0,22	GUARDA	B y C	371,96	538,25	452,51
29,33	4,42	104,13	10,88	GUARDA	Solo A	494,32	474,83	307,12
29,36	1,32	17,75	0,32	GUARDA	B y C	364,64	583,35	462,67
29,51	0,98	46,00	6,47	GUARDA	B y C	397,31	555,68	465,86
29,53	2,39	69,94	1,33	GUARDA	B y C	398,63	576,48	456,77
29,68	3,49	49,61	6,21	GUARDA	Solo C	410,65	372,97	490,18
29,81	2,54	214,12	3,30	GUARDA	Solo B	436,80	573,93	-285,96
29,82	1,50	66,45	9,19	GUARDA	Solo B	-376,98	518,44	-382,16
29,91	2,33	77,83	7,14	GUARDA	Solo C	374,34	421,55	483,03
29,93	3,77	101,07	6,65	GUARDA	Solo C	401,48	387,40	490,48
29,94	5,57	77,73	11,00	GUARDA	Solo A	493,46	485,64	309,01
29,98	1,87	57,81	2,84	GUARDA	A y B	470,47	557,62	-382,25
30,18	1,32	82,72	2,47	GUARDA	A y B	472,33	578,65	340,53
30,19	1,99	49,09	7,90	GUARDA	B y C	-347,21	555,49	491,64
30,34	1,62	24,49	3,71	GUARDA	A y B	477,79	509,20	-409,43
30,84	3,56	50,73	7,93	GUARDA	Solo C	-353,32	449,06	496,29
30,90	3,27	94,83	8,49	GUARDA	Solo B	-339,66	503,80	-389,75
30,93	2,22	39,21	15,78	GUARDA	B y C	-405,99	581,98	489,47
30,93	4,29	64,15	1,49	GUARDA	Solo B	414,69	529,33	370,83
31,32	2,11	78,87	1,12	GUARDA	B y C	406,98	590,88	477,57
31,39	3,44	146,85	15,97	GUARDA	B y C	321,27	550,04	487,98
31,39	1,90	78,06	16,00	GUARDA	B y C	-332,41	602,38	502,14
31,40	4,57	98,93	9,29	GUARDA	Solo B	-370,65	515,90	-373,21
31,47	1,57	125,00	9,51	GUARDA	Solo B	-379,91	525,51	-370,33
31,60	2,20	49,05	8,04	GUARDA	B y C	-363,08	567,74	491,59
31,66	2,75	99,85	0,02	GUARDA	B y C	378,10	577,65	491,32
31,70	3,97	39,12	8,64	GUARDA	B y C	-381,41	566,28	485,92
31,77	4,07	36,15	8,45	GUARDA	B y C	-371,04	565,34	485,08
31,78	3,08	36,15	6,58	GUARDA	B y C	386,72	564,58	486,16
31,79	1,98	131,78	0,01	GUARDA	B y C	373,18	604,39	499,62
31,84	2,24	48,26	5,07	GUARDA	A y B	490,87	512,79	-404,34
31,93	3,83	215,98	2,94	GUARDA	Solo B	439,98	539,50	304,92
31,98	2,22	162,36	10,16	GUARDA	Solo B	-391,01	522,32	-335,99
32,01	5,79	168,73	9,27	GUARDA	Solo B	-363,48	522,97	-373,43
32,04	1,61	40,48	4,01	GUARDA	A y B	483,76	528,98	-406,24
32,08	3,53	31,32	1,16	GUARDA	B y C	389,90	541,36	483,20
32,16	1,57	20,29	10,41	GUARDA	A y B	466,98	522,71	-326,37
32,23	2,31	26,73	1,49	GUARDA	B y C	410,65	569,65	481,30
32,44	1,81	51,44	15,75	GUARDA	B y C	-412,30	605,88	510,42
32,50	5,79	80,49	0,09	GUARDA	B y C	375,73	525,03	477,83
32,90	4,13	50,62	9,38	GUARDA	B y C	-394,96	554,21	489,21
33,37	1,80	106,64	10,17	GUARDA	Solo B	-397,30	529,17	-346,62
33,73	4,34	62,02	12,64	GUARDA	B y C	-416,35	524,01	509,18
33,78	2,51	53,61	9,71	GUARDA	B y C	-402,07	573,29	485,87
33,86	2,76	87,96	7,89	GUARDA	B y C	368,65	580,04	491,51
34,10	1,42	48,68	5,54	GUARDA	A, B y C	498,98	538,30	483,12
34,11	1,74	151,28	11,03	GUARDA	Solo B	-406,35	530,22	288,62
34,40	3,28	40,15	0,79	GUARDA	B y C	402,91	555,44	498,37

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
34,50	3,18	238,32	12,65	GUARDA	B y C	-403,75	526,97	505,48
34,65	2,18	29,92	4,52	GUARDA	A, B y C	498,80	508,39	479,91
34,87	2,68	40,73	0,87	GUARDA	B y C	410,06	573,82	505,96
35,23	1,57	71,95	14,66	GUARDA	B y C	-418,14	628,40	541,74
35,50	4,36	27,98	14,02	GUARDA	A, B y C	453,63	511,82	454,09
35,60	1,81	58,76	7,17	GUARDA	A y B	513,37	585,84	-413,55
36,02	1,45	121,12	4,47	GUARDA	A y B	509,68	558,38	-419,57
36,03	1,32	48,94	14,65	GUARDA	B y C	-427,84	642,39	546,60
36,05	1,53	54,92	8,30	GUARDA	B y C	-388,84	597,43	506,15
36,17	2,51	51,84	13,41	GUARDA	A, B y C	461,56	571,00	475,50
36,23	2,71	30,92	13,29	GUARDA	A, B y C	505,81	554,33	482,47
36,25	1,22	26,43	8,71	GUARDA	A, B y C	518,80	551,41	480,51
36,45	2,49	70,34	5,85	GUARDA	A, B y C	504,44	562,39	498,68
36,66	1,57	102,18	15,70	GUARDA	B y C	-362,25	640,04	546,39
36,76	2,23	65,62	0,30	GUARDA	B y C	411,49	605,85	534,16
37,34	2,10	49,65	3,34	GUARDA	A y B	504,29	548,98	-418,02
37,40	4,49	63,55	8,78	GUARDA	B y C	-396,46	598,75	493,47
37,68	1,17	54,79	14,49	GUARDA	A, B y C	468,18	662,45	494,16
37,84	2,49	51,34	0,32	GUARDA	B y C	400,31	590,87	536,52
37,88	1,23	76,28	13,64	GUARDA	A, B y C	507,28	617,92	488,89
37,97	2,39	124,62	1,58	GUARDA	A, B y C	497,44	568,42	504,89
38,00	1,56	43,31	15,11	GUARDA	B y C	-428,59	633,05	560,27
38,17	4,85	89,79	2,66	GUARDA	A y B	515,63	562,76	-367,50
38,48	2,50	81,52	0,51	GUARDA	B y C	402,19	596,70	532,12
38,71	1,51	72,25	15,60	GUARDA	B y C	-408,22	643,11	559,98
38,72	3,66	36,17	6,13	GUARDA	A, B y C	537,58	576,82	504,11
38,73	2,00	35,12	15,38	GUARDA	A, B y C	462,93	609,26	501,21
38,85	2,03	122,73	11,67	GUARDA	A, B y C	536,94	608,24	493,18
38,97	1,83	57,08	1,67	GUARDA	A, B y C	505,19	543,56	506,73
39,27	3,19	59,35	13,29	GUARDA	A, B y C	521,74	577,63	491,78
39,50	2,09	51,97	7,36	GUARDA	A, B y C	538,05	568,60	539,53
39,70	2,67	93,00	4,76	GUARDA	A, B y C	535,75	554,74	511,50
39,72	2,48	99,77	3,42	GUARDA	A, B y C	532,27	562,51	511,57
39,77	1,82	71,31	8,94	GUARDA	A, B y C	566,74	592,32	516,26
40,10	2,89	171,55	8,55	GUARDA	A, B y C	530,23	565,69	496,64
40,80	3,16	101,65	16,08	GUARDA	B y C	381,30	585,89	557,28
40,84	4,68	57,42	8,89	GUARDA	A, B y C	523,06	557,36	520,42
40,95	2,68	55,79	1,84	GUARDA	A, B y C	530,76	569,53	523,37
41,07	5,03	70,82	14,30	GUARDA	A, B y C	501,28	600,88	501,60
41,33	3,08	67,21	14,84	GUARDA	A, B y C	503,61	597,13	506,59
41,65	4,40	52,36	2,97	GUARDA	A, B y C	545,19	561,74	515,72
41,75	0,91	58,25	12,43	GUARDA	A, B y C	537,93	639,37	517,01
41,77	3,23	54,34	0,33	GUARDA	A, B y C	503,77	610,35	524,25
41,95	1,33	158,63	10,94	GUARDA	A, B y C	561,76	649,23	519,29
41,96	3,99	79,41	5,99	GUARDA	A, B y C	538,08	574,25	529,47
42,16	2,49	75,79	5,80	GUARDA	A, B y C	589,11	582,29	547,78
42,36	4,20	275,89	8,72	GUARDA	A y B	558,39	562,18	-396,80
42,68	2,78	32,96	16,53	GUARDA	A, B y C	502,95	586,62	517,87
42,68	3,12	160,42	0,63	GUARDA	A, B y C	529,54	590,16	533,60
42,70	2,08	93,63	4,73	GUARDA	A, B y C	565,46	590,15	526,64
42,77	2,92	29,62	4,73	GUARDA	A, B y C	574,15	546,52	527,88
42,81	2,03	110,37	6,84	GUARDA	A, B y C	608,95	593,63	551,02
43,36	2,58	27,13	3,94	GUARDA	A, B y C	567,35	527,78	532,33
43,61	1,81	84,37	10,66	GUARDA	A, B y C	579,04	637,77	527,90
43,93	1,90	93,17	8,20	GUARDA	A, B y C	629,37	596,25	555,60
43,99	2,28	58,16	6,52	GUARDA	A, B y C	594,78	600,03	554,25
44,03	1,54	41,81	12,18	GUARDA	A, B y C	560,64	622,83	540,20
44,12	2,78	131,08	7,50	GUARDA	A, B y C	611,14	575,65	557,39
44,47	2,38	61,10	14,20	GUARDA	A, B y C	556,58	654,01	538,80
44,51	1,87	43,83	7,44	GUARDA	A, B y C	569,79	607,27	553,14
44,57	1,35	49,81	3,40	GUARDA	A, B y C	561,90	564,76	547,12
44,73	1,33	104,25	11,38	GUARDA	A, B y C	577,80	644,49	540,01
44,98	6,24	144,26	5,79	GUARDA	A, B y C	537,61	592,06	527,84
45,08	2,07	149,10	15,35	GUARDA	A, B y C	553,65	602,19	556,90
45,30	5,15	46,31	15,53	GUARDA	A, B y C	504,10	619,11	532,17
45,35	2,92	34,61	13,75	GUARDA	A, B y C	539,48	623,25	542,26
45,43	3,16	89,70	11,27	GUARDA	A, B y C	580,49	630,15	533,18
45,45	1,65	66,73	13,30	GUARDA	A, B y C	571,43	634,52	537,73
45,76	3,56	125,93	10,76	GUARDA	A, B y C	583,60	636,88	538,63
45,95	2,38	31,77	14,00	GUARDA	A, B y C	546,90	627,55	548,35
46,03	1,80	65,38	7,05	GUARDA	A, B y C	625,49	621,86	557,55
46,32	3,78	38,66	14,61	GUARDA	A, B y C	550,02	598,10	547,49

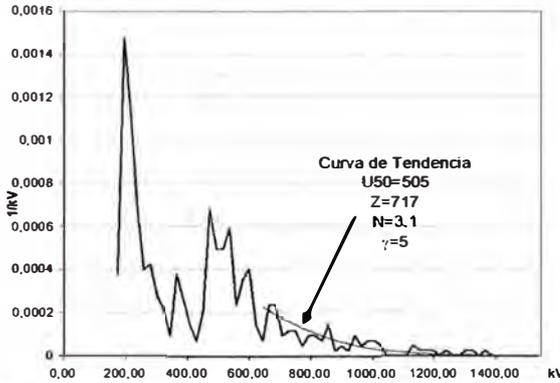
PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP.	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
46,36	2,89	142,90	2,08	GUARDA	A, B y C	561,50	603,55	568,84
46,37	3,46	119,13	12,88	GUARDA	A, B y C	572,52	636,38	531,17
46,40	2,63	39,19	1,24	GUARDA	A, B y C	555,85	580,59	557,11
46,72	2,53	31,49	10,46	GUARDA	A, B y C	574,47	603,75	562,25
47,15	1,21	103,20	5,03	GUARDA	A, B y C	602,08	661,99	583,07
47,53	1,92	49,11	2,38	GUARDA	A, B y C	571,82	588,35	573,70
47,55	2,14	118,79	14,70	GUARDA	A, B y C	691,60	613,90	669,33
48,03	1,74	55,96	3,67	GUARDA	A, B y C	584,06	583,62	577,41
48,05	2,08	179,66	3,11	GUARDA	A, B y C	602,65	623,40	585,92
48,32	2,24	144,03	5,02	GUARDA	A, B y C	611,93	605,98	591,27
48,35	1,64	94,22	13,30	GUARDA	A, B y C	603,37	648,24	575,59
48,55	1,56	276,37	13,88	GUARDA	A, B y C	703,69	657,10	688,31
48,73	3,03	173,00	3,38	GUARDA	A, B y C	584,55	634,18	593,76
48,80	3,34	45,96	4,33	GUARDA	A, B y C	598,32	595,17	580,38
48,84	2,34	230,58	0,01	GUARDA	A, B y C	657,54	607,69	666,82
48,94	3,15	147,89	5,87	GUARDA	A, B y C	585,52	648,48	600,96
49,62	3,20	28,52	11,24	GUARDA	A, B y C	580,75	602,84	583,90
50,20	2,07	41,42	6,92	GUARDA	A, B y C	607,24	640,04	559,54
50,25	5,98	41,84	9,09	GUARDA	A, B y C	573,48	604,11	548,35
50,26	3,05	73,83	5,62	GUARDA	A, B y C	601,78	639,05	591,80
50,30	1,51	36,71	6,24	GUARDA	A, B y C	602,58	656,12	557,48
50,39	2,29	33,10	13,19	GUARDA	A, B y C	579,53	641,72	568,64
50,50	2,00	114,79	3,28	GUARDA	A, B y C	628,84	646,25	606,85
51,00	1,60	179,16	7,90	GUARDA	A, B y C	630,11	643,20	597,36
51,12	2,84	119,42	7,61	GUARDA	A, B y C	611,72	650,43	614,24
51,56	1,93	84,09	14,37	GUARDA	A, B y C	666,24	671,98	624,65
51,63	1,51	26,53	8,52	GUARDA	A, B y C	594,80	639,83	568,43
51,66	1,54	120,50	2,08	GUARDA	A, B y C	625,96	666,86	619,59
52,13	3,68	56,37	10,57	GUARDA	A, B y C	621,09	604,96	580,92
52,55	2,37	114,17	8,08	GUARDA	A, B y C	618,05	615,10	587,45
52,61	1,22	62,04	13,96	GUARDA	A, B y C	671,13	683,52	632,41
52,95	1,13	87,60	3,11	GUARDA	A, B y C	644,22	671,22	605,08
53,34	4,23	23,87	2,53	GUARDA	A, B y C	613,29	586,09	608,28
53,36	2,50	45,33	12,75	GUARDA	A, B y C	632,85	639,59	593,91
53,53	1,41	69,35	3,06	GUARDA	A, B y C	655,45	666,36	607,65
53,79	2,92	54,02	5,14	GUARDA	A, B y C	658,65	620,91	604,00
53,97	2,90	48,57	6,57	GUARDA	A, B y C	632,68	639,76	606,09
54,12	1,36	172,51	15,16	GUARDA	A, B y C	682,27	704,82	587,37
54,13	4,26	73,00	1,03	GUARDA	A, B y C	665,41	618,73	638,14
54,26	2,32	38,35	6,07	GUARDA	A, B y C	632,90	658,40	581,19
54,44	2,54	74,00	2,47	GUARDA	A, B y C	638,69	679,52	616,85
55,74	2,25	35,84	9,39	GUARDA	A, B y C	624,01	632,46	608,18
55,85	4,05	45,97	13,61	GUARDA	A, B y C	653,41	671,47	614,94
56,59	2,60	26,67	5,67	GUARDA	A, B y C	651,76	652,43	600,42
56,69	1,62	151,70	14,48	GUARDA	A, B y C	703,18	730,81	662,46
56,96	1,81	79,35	0,71	GUARDA	A, B y C	681,66	683,37	586,23
57,00	2,84	96,78	1,50	GUARDA	A, B y C	709,57	684,69	693,28
57,72	1,35	43,91	6,61	GUARDA	A, B y C	674,46	690,43	618,28
57,76	3,21	51,16	6,30	GUARDA	A, B y C	626,66	682,32	629,34
58,12	1,89	111,75	13,27	GUARDA	A, B y C	721,03	700,84	662,83
58,32	2,92	53,88	5,37	GUARDA	A, B y C	651,08	637,65	640,07
58,67	3,28	51,92	11,63	GUARDA	A, B y C	651,74	667,16	617,98
59,04	2,04	39,95	13,39	GUARDA	A, B y C	700,80	695,70	670,22
59,04	5,82	120,66	15,42	GUARDA	A, B y C	709,16	606,60	613,60
59,70	3,23	63,47	2,00	GUARDA	A, B y C	632,37	671,84	680,36
59,71	2,42	119,12	5,52	GUARDA	A, B y C	674,79	666,61	617,36
59,91	2,94	40,15	15,57	GUARDA	A, B y C	714,76	620,74	698,35
59,96	1,63	53,54	15,76	GUARDA	A, B y C	707,81	690,40	702,23
60,31	1,95	306,19	15,33	GUARDA	A, B y C	733,30	697,01	671,88
60,37	3,26	171,00	13,46	GUARDA	A, B y C	733,33	733,08	663,96
60,50	0,78	133,53	5,96	GUARDA	A, B y C	660,78	774,95	627,56
61,54	7,23	46,39	10,67	GUARDA	A, B y C	654,13	608,98	614,13
63,00	2,03	128,47	11,75	GUARDA	A, B y C	727,44	699,84	696,18
64,16	4,01	48,94	15,17	GUARDA	A, B y C	744,53	642,45	744,24
64,17	2,39	164,75	0,90	GUARDA	A, B y C	710,26	691,37	704,23
64,46	3,28	123,81	2,34	GUARDA	A, B y C	665,05	646,89	672,27
64,59	0,85	69,59	2,74	GUARDA	A, B y C	663,09	801,91	689,98
65,00	1,98	59,78	15,24	GUARDA	A, B y C	735,42	696,49	715,80
65,09	2,35	83,19	0,60	GUARDA	A, B y C	712,76	683,66	707,66
65,68	5,83	97,62	6,50	GUARDA	A, B y C	685,55	666,22	679,69
65,99	1,95	109,93	2,36	GUARDA	A, B y C	679,88	699,12	682,81
66,33	2,00	79,32	0,85	GUARDA	A, B y C	709,27	696,65	711,81

PARAMETROS DE LA ONDA DE RAYO E IMPACTO EN LA LINEA						NIVELES MAXIMOS DE TENSION		
IOUT (kA)	TO (us)	TC (us)	TIN (ms)	CAE	DISRUP	FASE A (kV)	FASE B (kV)	FASE C (kV)
66,46	1,52	65,12	14,56	GUARDA	A, B y C	735,91	758,13	722,37
66,54	1,79	35,20	4,39	GUARDA	A, B y C	700,30	698,08	684,27
67,29	2,65	93,38	3,01	GUARDA	A, B y C	674,83	662,08	703,70
67,51	1,79	63,85	9,98	GUARDA	A, B y C	725,29	692,57	691,66
67,87	1,55	195,89	2,61	GUARDA	A, B y C	737,23	811,20	689,85
68,54	1,89	57,34	5,34	GUARDA	A, B y C	689,86	722,23	746,20
68,73	0,91	31,06	13,43	GUARDA	A, B y C	745,43	786,76	735,47
70,27	1,19	59,40	16,55	GUARDA	A, B y C	728,65	782,59	742,22
70,78	1,77	157,79	13,59	GUARDA	A, B y C	776,10	750,56	757,03
70,86	1,23	58,19	6,44	GUARDA	A, B y C	718,93	805,05	742,44
71,61	2,64	152,88	12,06	GUARDA	A, B y C	795,10	687,36	763,37
71,87	3,37	43,57	9,05	GUARDA	A, B y C	763,49	652,96	794,72
72,97	3,07	107,94	5,59	GUARDA	A, B y C	705,73	663,50	771,59
73,05	2,42	86,93	13,70	GUARDA	A, B y C	781,32	694,87	781,58
73,47	4,06	71,55	3,54	GUARDA	A, B y C	706,05	617,98	761,73
74,39	3,03	185,55	6,89	GUARDA	A, B y C	766,66	690,63	755,83
74,95	3,86	146,53	10,00	GUARDA	A, B y C	825,20	677,68	679,89
75,27	2,53	47,00	10,02	GUARDA	A, B y C	771,61	689,04	856,86
75,73	2,93	93,63	15,18	GUARDA	A, B y C	797,17	696,28	793,32
75,84	1,77	80,47	0,18	GUARDA	A, B y C	764,59	780,00	808,45
76,87	2,08	112,91	11,75	GUARDA	A, B y C	808,91	750,72	813,85
77,36	1,43	118,69	4,97	GUARDA	A, B y C	765,97	831,78	769,41
77,53	1,65	37,00	0,33	GUARDA	A, B y C	774,54	778,06	814,62
78,17	1,03	169,77	14,65	GUARDA	A, B y C	805,68	907,69	861,18
78,32	3,03	33,37	4,83	GUARDA	A, B y C	764,69	622,49	834,69
79,32	3,10	98,44	0,64	GUARDA	A, B y C	793,60	691,01	820,42
79,79	4,95	93,56	6,21	GUARDA	A, B y C	769,10	667,66	796,78
80,44	0,95	106,54	12,93	GUARDA	A, B y C	801,80	882,11	881,98
80,96	1,74	85,61	10,07	GUARDA	A, B y C	839,90	830,94	860,17
81,76	5,33	179,12	9,44	GUARDA	A, B y C	837,48	665,72	840,30
84,21	3,33	39,97	14,46	GUARDA	A, B y C	821,34	693,52	871,38
84,93	3,69	56,52	2,86	GUARDA	A, B y C	815,10	708,23	860,25
87,74	4,15	131,57	11,91	GUARDA	A, B y C	899,54	722,85	873,73
88,05	2,05	60,66	1,33	GUARDA	A, B y C	799,74	831,61	951,41
90,01	3,41	83,01	12,67	GUARDA	A, B y C	873,90	737,81	956,86
92,59	1,53	136,83	8,31	GUARDA	A, B y C	892,20	923,93	924,77
93,51	3,95	116,69	10,25	GUARDA	A, B y C	922,90	754,48	942,44
93,71	2,58	90,72	1,24	GUARDA	A, B y C	825,58	781,95	975,43
93,90	4,39	53,73	5,47	GUARDA	A, B y C	790,85	713,23	917,05
93,97	1,38	38,14	10,06	GUARDA	A, B y C	873,73	867,34	972,78
94,25	2,00	49,65	15,47	GUARDA	A, B y C	820,04	884,75	987,77
94,69	3,69	61,96	1,15	GUARDA	A, B y C	859,42	788,41	999,09
95,15	1,26	78,15	16,19	GUARDA	A, B y C	870,17	985,33	1016,88
95,20	2,32	25,82	5,49	GUARDA	A, B y C	760,92	774,02	915,62
96,01	1,06	38,76	14,87	GUARDA	A, B y C	825,88	969,24	951,33
96,90	1,35	90,27	10,91	GUARDA	A, B y C	884,10	912,71	1003,86
98,71	1,50	53,55	13,91	GUARDA	A, B y C	861,25	936,51	1022,48
100,35	3,41	97,53	15,67	GUARDA	A, B y C	920,76	728,54	1034,96
101,03	3,54	130,96	12,45	GUARDA	A, B y C	942,14	753,33	1041,20
102,05	4,97	24,59	9,11	GUARDA	A, B y C	844,40	747,13	854,81
106,27	1,95	40,07	9,96	GUARDA	A, B y C	894,50	844,26	1011,52
117,59	1,99	18,64	16,15	GUARDA	A, B y C	905,88	915,99	843,53
119,44	2,57	69,37	1,67	GUARDA	A, B y C	939,83	859,41	1177,71
122,53	1,08	100,53	11,00	GUARDA	A, B y C	1037,70	1139,58	1211,12
125,61	4,74	61,61	11,19	GUARDA	A, B y C	1039,85	849,56	1157,25
129,17	1,43	41,71	2,00	GUARDA	A, B y C	938,19	1121,87	1139,74
136,02	8,21	85,94	12,83	GUARDA	A, B y C	1154,65	758,29	1319,94
136,37	2,62	48,91	7,93	GUARDA	A, B y C	1026,99	893,04	1246,83
140,29	1,57	155,63	0,29	GUARDA	A, B y C	1182,36	1156,57	1330,24
148,58	2,13	160,61	13,74	GUARDA	A, B y C	1290,03	1040,44	1385,37
152,12	1,68	31,84	3,09	GUARDA	A, B y C	973,56	1153,22	1153,16
152,63	1,23	72,29	3,60	GUARDA	A, B y C	1169,52	1323,78	1448,84
177,26	1,71	46,02	8,37	GUARDA	A, B y C	1158,63	1319,04	1509,82
191,68	2,32	68,34	12,94	GUARDA	A, B y C	1361,83	1139,68	1694,28
262,91	0,84	37,51	6,80	GUARDA	A, B y C	1525,52	2300,92	1890,04

ANEXO J. Curva de Tendencia de la Distribución de Sobretensiones y Riesgo de Falla

(Ejemplo: Fase C)

Ancho de intervalo 21,31 kV (Fig. N° 4.15 (c))



Aislamiento
 BIL 1300 kV
 σ 3%
 Altitud 3872 msnm
 Ka 1,42
 CFOc 949,681 kV

Sobretensión
 U50 505
 Z 717

	Aislamiento	Sobretensión
N	4	3,1
γ	5	5

Δ 10

R 3,8078E-05

U	Pa(U)	fs(U)	Pxf	U	Pa(U)	fs(U)	Pxf	U	Pa(U)	fs(U)	Pxf
645,719	0	0,000224301	0	1145,719	1	1,0842E-05	1,0842E-05	1645,719	1	2,9728E-08	2,9728E-08
655,719	0	0,000215629	0	1155,719	1	9,949E-06	9,949E-06	1655,719	1	2,5438E-08	2,5438E-08
665,719	0	0,000207139	0	1165,719	1	9,1188E-06	9,1188E-06	1665,719	1	2,1731E-08	2,1731E-08
675,719	0	0,000198832	0	1175,719	1	8,3481E-06	8,3481E-06	1675,719	1	1,8532E-08	1,8532E-08
685,719	0	0,000190714	0	1185,719	1	7,6338E-06	7,6338E-06	1685,719	1	1,5778E-08	1,5778E-08
695,719	0	0,000182787	0	1195,719	1	6,9723E-06	6,9723E-06	1695,719	1	1,3409E-08	1,3409E-08
705,719	0	0,000175053	0	1205,719	1	6,3807E-06	6,3807E-06	1705,719	1	1,1377E-08	1,1377E-08
715,719	0	0,000167516	0	1215,719	1	5,7957E-06	5,7957E-06	1715,719	1	9,6356E-09	9,6356E-09
725,719	0	0,000160178	0	1225,719	1	5,2746E-06	5,2746E-06	1725,719	1	8,1465E-09	8,1465E-09
735,719	0	0,000153039	0	1235,719	1	4,7946E-06	4,7946E-06	1735,719	1	6,8754E-09	6,8754E-09
745,719	0	0,000146101	0	1245,719	1	4,3529E-06	4,3529E-06	1745,719	1	5,7922E-09	5,7922E-09
755,719	0	0,000139365	0	1255,719	1	3,947E-06	3,947E-06	1755,719	1	4,871E-09	4,871E-09
765,719	0	0,000132831	0	1265,719	1	3,5746E-06	3,5746E-06	1765,719	1	4,0888E-09	4,0888E-09
775,719	0	0,000126499	0	1275,719	1	3,2332E-06	3,2332E-06	1775,719	1	3,426E-09	3,426E-09
785,719	0	0,000120368	0	1285,719	1	2,9208E-06	2,9208E-06	1785,719	1	2,8654E-09	2,8654E-09
795,719	0	0,000114439	0	1295,719	1	2,6352E-06	2,6352E-06	1795,719	1	2,3921E-09	2,3921E-09
805,719	0	0,00010871	0	1305,719	1	2,3744E-06	2,3744E-06	1805,719	1	1,9932E-09	1,9932E-09
815,719	0	0,00010318	0	1315,719	1	2,1367E-06	2,1367E-06	1815,719	1	1,6578E-09	1,6578E-09
825,719	0	9,78472E-05	0	1325,719	1	1,9204E-06	1,9204E-06	1825,719	1	1,3762E-09	1,3762E-09
835,719	0	9,27093E-05	0	1335,719	1	1,7236E-06	1,7236E-06	1835,719	1	1,1403E-09	1,1403E-09
845,719	3,6061E-06	8,77843E-05	3,16483E-10	1345,719	1	1,545E-06	1,545E-06	1845,719	1	9,4298E-10	9,4298E-10
855,719	0,00011539	8,30097E-05	9,57824E-09	1355,719	1	1,383E-06	1,383E-06	1855,719	1	7,7832E-10	7,7832E-10
865,719	0,00087589	7,84429E-05	6,8707E-08	1365,719	1	1,2364E-06	1,2364E-06	1865,719	1	6,4117E-10	6,4117E-10
875,719	0,00368578	7,40606E-05	2,72972E-07	1375,719	1	1,1038E-06	1,1038E-06	1875,719	1	5,2715E-10	5,2715E-10
885,719	0,01120564	6,98599E-05	7,82625E-07	1385,719	1	9,8406E-07	9,8406E-07	1885,719	1	4,3256E-10	4,3256E-10
895,719	0,02765114	6,58372E-05	1,82047E-06	1395,719	1	8,7612E-07	8,7612E-07	1895,719	1	3,5424E-10	3,5424E-10
905,719	0,05880679	6,1989E-05	3,64537E-06	1405,719	1	7,7895E-07	7,7895E-07	1905,719	1	2,8952E-10	2,8952E-10
915,719	0,11144675	5,83115E-05	6,49874E-06	1415,719	1	6,9158E-07	6,9158E-07	1915,719	1	2,3615E-10	2,3615E-10
925,719	0,19179009	5,48007E-05	1,05102E-05	1425,719	1	6,1315E-07	6,1315E-07	1925,719	1	1,9223E-10	1,9223E-10
935,719	0,30274542	5,14528E-05	1,5577E-05	1435,719	1	5,4285E-07	5,4285E-07	1935,719	1	1,5616E-10	1,5616E-10
945,719	0,44052558	4,8263E-05	2,12611E-05	1445,719	1	4,7992E-07	4,7992E-07	1945,719	1	1,266E-10	1,266E-10
955,719	0,59233104	4,52275E-05	2,67897E-05	1455,719	1	4,2367E-07	4,2367E-07	1955,719	1	1,0242E-10	1,0242E-10
965,719	0,7378661	4,23419E-05	3,12427E-05	1465,719	1	3,7348E-07	3,7348E-07	1965,719	1	8,2688E-11	8,2688E-11
975,719	0,85621244	3,96016E-05	3,39074E-05	1475,719	1	3,2875E-07	3,2875E-07	1975,719	1	6,6616E-11	6,6616E-11
985,719	0,83532248	3,70022E-05	3,48089E-05	1485,719	1	2,8895E-07	2,8895E-07	1985,719	1	5,3556E-11	5,3556E-11
995,719	0,97720489	3,45389E-05	3,37516E-05	1495,719	1	2,536E-07	2,536E-07	1995,719	1	4,2965E-11	4,2965E-11
1005,719	0,9940244	3,22073E-05	3,20149E-05	1505,719	1	2,2223E-07	2,2223E-07	2005,719	1	3,4395E-11	3,4395E-11
1015,719	0,99890157	3,00027E-05	2,99698E-05	1515,719	1	1,9446E-07	1,9446E-07	2015,719	1	2,7475E-11	2,7475E-11
1025,719	0,9998675	2,79205E-05	2,79168E-05	1525,719	1	1,6989E-07	1,6989E-07	2025,719	1	2,19E-11	2,19E-11
1035,719	0,9999026	2,59561E-05	2,59559E-05	1535,719	1	1,482E-07	1,482E-07	2035,719	1	1,7418E-11	1,7418E-11
1045,719	0,9999996	2,41049E-05	2,41049E-05	1545,719	1	1,2909E-07	1,2909E-07	2045,719	1	1,3823E-11	1,3823E-11
1055,719	0,9999999	2,23823E-05	2,23823E-05	1555,719	1	1,1226E-07	1,1226E-07	2055,719	1	1,0946E-11	1,0946E-11
1065,719	1	2,07237E-05	2,07237E-05	1565,719	1	9,7475E-08	9,7475E-08	2065,719	1	8,6482E-12	8,6482E-12
1075,719	1	1,91849E-05	1,91849E-05	1575,719	1	8,4503E-08	8,4503E-08	2075,719	1	6,8176E-12	6,8176E-12
1085,719	1	1,77412E-05	1,77412E-05	1585,719	1	7,3142E-08	7,3142E-08	2085,719	1	5,3624E-12	5,3624E-12
1095,719	1	1,63884E-05	1,63884E-05	1595,719	1	6,3207E-08	6,3207E-08	2095,719	1	4,2082E-12	4,2082E-12
1105,719	1	1,51223E-05	1,51223E-05	1605,719	1	5,4534E-08	5,4534E-08	2105,719	1	3,2949E-12	3,2949E-12
1115,719	1	1,39387E-05	1,39387E-05	1615,719	1	4,6974E-08	4,6974E-08	2115,719	1	2,5739E-12	2,5739E-12
1125,719	1	1,28335E-05	1,28335E-05	1625,719	1	4,0396E-08	4,0396E-08	2125,719	1	2,006E-12	2,006E-12
1135,719	1	1,18027E-05	1,18027E-05	1635,719	1	3,4683E-08	3,4683E-08	2135,719	1	1,5598E-12	1,5598E-12

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEC 610071-1 International Electrotechnical Commission, "Insulation Coordination Part 1: Definitions, Principles and Rules" – 1993
- [2] IEC 610071-2 International Electrotechnical Commission, "Insulation Coordination Part 2: Application Guide" – 1996
- [3] IEC 610099-4 International Electrotechnical Commission, "Metal Oxide Surge Arresters Without Gaps for A.C. Systems" - 2001
- [4] Allan Greenwood, "Electrical Transients in Power Systems", Second Edition New York, Jhon Wiley & Sons – 1991
- [5] Andrés Villalobos R, Maurillo Ramírez L. "Estudio de Coordinación de Aislamiento para una Subestación Tipo de 115 kV", CIGRE Grupo 33-03, Comité Nacional de México – Biental 2001
- [6] D. Fulchiron, "Cuaderno Técnico Nº 151: Sobretensiones y Coordinación de Aislamiento", Schneider Electric - <http://schneiderelectric.es>
- [7] Benoid de Metz-Noblat, "Cuaderno Técnico Nº 168: El Rayo y las Instalaciones Eléctricas en AT", Schneider Electric - <http://schneiderelectric.es>
- [8] ABB, "Descargadores de Sobretensión de Alto Voltaje, Guía para el Comprador", Edición 5, 2005
- [9] Volver Hinrichsen, "Descargadores de Sobretensiones de Oxido Metálico Parte 1: Fundamentos", SIEMENS PTDH4 – Germany 2003
- [10] Ing. Justo Yanque M. "Técnicas de Alta Tensión: Descargas Atmosféricas y Protección", Universidad Nacional de Ingeniería – 2002
- [11] Juan A. Martínez V - Ferley Castro A. "Análisis de Sobretensiones de Origen Atmosférico en Líneas Aéreas de Transporte, Parte I: Cálculo de Sobretensiones", Paper Universidad Politécnica de Cataluña
- [12] Juan A. Martínez V. - Ferley Castro A. "Análisis de Sobretensiones de Origen Atmosférico en Líneas Aéreas de Transporte, Parte II: Cálculo Estadístico de Sobretensiones", Paper - Universidad Politécnica de Cataluña
- [13] Juan A. Martínez V. - Ferley Castro A. "Assessment of the Lightning Flashover Rate of a Shielded Transmission Line Protected by Surge Arresters", (Paper) Presented at the International Conference on Power System Transients (IPST'07) in Lyon France – June 2007

- [14] IEEE Modeling and Analysis of System Transients Working Group, "Modeling Guidelines for Fast Front Transients", Report Prepared by the Fast Front Transients Task Force - DRAFT Dec 97
- [15] S. J. Shelemy and D. R. Swatek, "Monte Carlo Simulation of Lightning Strikes to the Nelson River HVDC Transmission Lines", Paper - System Planning Department, Manitoba Hydro - Canada
- [16] IEEE Std. 998, "Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substations", Substations Committee of the IEEE Power Engineering Society – 1996
- [17] M. Kizilcay, C. Neumann, "Backflashover Analysis for 110 kV Lines at Multi-Circuit Overhead Line Towers", (Paper) Presented at the International Conference on Power System Transients (IPST'07) in Lyon France – June 2007
- [18] ABB, "Zinc Oxide Surge Arresters: Application Guidelines for Station Protection", ABB Switchgear, Edition 2 – 1995
- [19] André Meister, "Modelagem de Varistores de Oxido de Zinco para Estudos de Coordenacao de Isolamento", Dissertacao de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasilia – 2005
- [20] M. T. Correia de Barros, J. Festas, H. Milheiras, N. Felizardo, M. Fernández and J. Sousa, "Methodologies for Evaluating the Lightning Performance of Transmission Lines" (Paper) Universidade Técnica de Lisboa
- [21] A. Borghetti, C. Alberto Nucci, M. Paolone and M. Bernardi, "A Statistical Approach for Estimating the Correlation Between Lightning and Faults in Power Distribution Systems", Paper – 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems – Stockholm, Sweden – June 2006
- [22] M. Mucha, Z. Eleschova, A. Belán, F. Janíček and P. Szathmáry, "Simulation of Atmospheric Overvoltages on 400kV Power Lines in Transmission System", Paper – Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modeling and Optimization, Lisbon, Portugal - September 2006
- [23] V. M. Martínez, E. A. Uzcátegui and P. R. Jiménez, "Study of Lightning Overvoltages in Valcor-Guanta II 230kV Overhead Transmission Line", Paper - IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela - 2006
- [24] R. Rennó Nunes, "Coordenação de Isolamento para Transitórios de Manobra Considerando a Forma de Onda das Sobretensões", Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-2006
- [25] M. Sanaye-Pasand, M.R. Dadashzadeh, M. Khodayar, "Limitation of Transmission Line Switching Overvoltages using Switchsync Relays", (Paper) Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal Canada - June 2005
- [26] <http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia>, "Sobretensiones por Rayos", SICA News.