

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 1 de 37

Nombre del documento: MEMORIA DE CÁLCULO APANTALLAMIENTO DE LAS SUBESTACIONES SAN MARTIN, ACACIAS Y CUMARAL 34.5kV
Consecutivo del documento: LS-F-CON-ASC297-MC-13

MEMORIA DE CÁLCULO APANTALLAMIENTO DE LAS SUBESTACIONES SAN MARTIN, ACACIAS Y CUMARAL 34.5kV



REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	APROBÓ LA SALIDA AL CLIENTE	APROBÓ CLIENTE
A	07-03-11	Revisión inicial	CAO	CAO	MAC
FIRMAS					

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 2 de 37

CONTENIDO

1	OBJETO _____	3
2	TRABAJOS REALIZADOS _____	3
3	DOCUMENTACIÓN APLICABLE _____	3
4	EQUIPOS _____	3
5	RESULTADOS _____	3
6	ANEXOS _____	6
6.1	ANEXO 1 _____	6
6.2	ANEXO 2 _____	19
6.3	ANEXO 3 _____	20
6.4	ANEXO 4 _____	26
6.5	ANEXO 5 _____	27
6.6	ANEXO 6 _____	32
6.7	ANEXO 7 _____	32
7	CONCLUSIONES _____	34

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 3 de 37

1 OBJETO

El objeto de este informe es presentar los resultados de la evaluación del nivel de riesgo y del diseño del sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas para las subestaciones San Martin, Acacias y Cumaral 34.5kV.

2 TRABAJOS REALIZADOS

Se realizó la evaluación del nivel de riesgo por rayos mediante la metodología de la norma IEC 62305-2 y con base a los resultados se realizó el diseño de la protección externa contra rayos mediante la metodología de la norma IEC 62305-3 e IEEE 998, finalmente se realizó el diseño del sistema de puesta a tierra basados en la norma IEEE 80. Todas estas normas están avaladas por el RETIE para estudios de sistemas de apantallamiento.

3 DOCUMENTACIÓN APLICABLE

R.E.T.I.E.

NTC 4552-2, NTC4552-3.

IEC 62305-2, IEC62305-3.

IEEE 998.

4 EQUIPOS

- Telurómetro para medición de la resistencia de puesta a tierra y resistividad del terreno.
- Electrodo de medida.

5 RESULTADOS

- Evaluación del nivel de riesgo

Se realizó la evaluación del nivel de riesgo siguiendo la metodología expuesta en la norma IEC 62305-2 "Risk Management".

Para obtener resultados más precisos en la evaluación del nivel de riesgo, se dividió el área de la S/E en 2 zonas, donde cada zona esta compuesta por las siguientes dependencias:

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 4 de 37

Zona 1

- Patio de conexiones.

Zona 2

- Caseta de control.

Para cada zona se evaluó el riesgo por pérdida de la vida humana y/o lesiones personales, y el riesgo por pérdidas económicas representadas por quema de equipos eléctricos y electrónicos debidos a las sobretensiones transitorias que pueden ingresar por el sistema eléctrico o de telecomunicaciones.

Después de tener los riesgos de cada zona se sumaron para obtener el riesgo total de pérdidas de la vida humana y pérdida económica.

Para reducir el riesgo por pérdida de la vida humana y lesiones personales se planteó la utilización de un sistema de captación de rayos nivel I.

Igualmente en el análisis del nivel de riesgo, se evidenció la necesidad de implementar un sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias para evitar el daño permanente de los equipos electrónicos.

Los detalles de la evaluación del nivel de riesgo por rayos se puede observar en el Anexo N° 1

- Aplicación del modelo electro geométrico

Para reducir el riesgo por pérdidas de la vida humana o lesiones personales debidas a daños físicos, debidos a impactos directos del rayo a la estructura, se plantea la utilización de un nivel I de protección externa en las instalaciones de la S/E.

Para la ubicación de los elementos de captación se utilizó el método de la esfera rodante y el método del ángulo, expuestos en la norma IEC 62305-3.

El radio de impacto , de acuerdo con la norma IEC 62305-1 : $r_{sc}=10(I_{min})^{0,65}$ m.

I_{min} =Magnitud de corriente mínima en KA, que produciría un radio de impacto en metros.

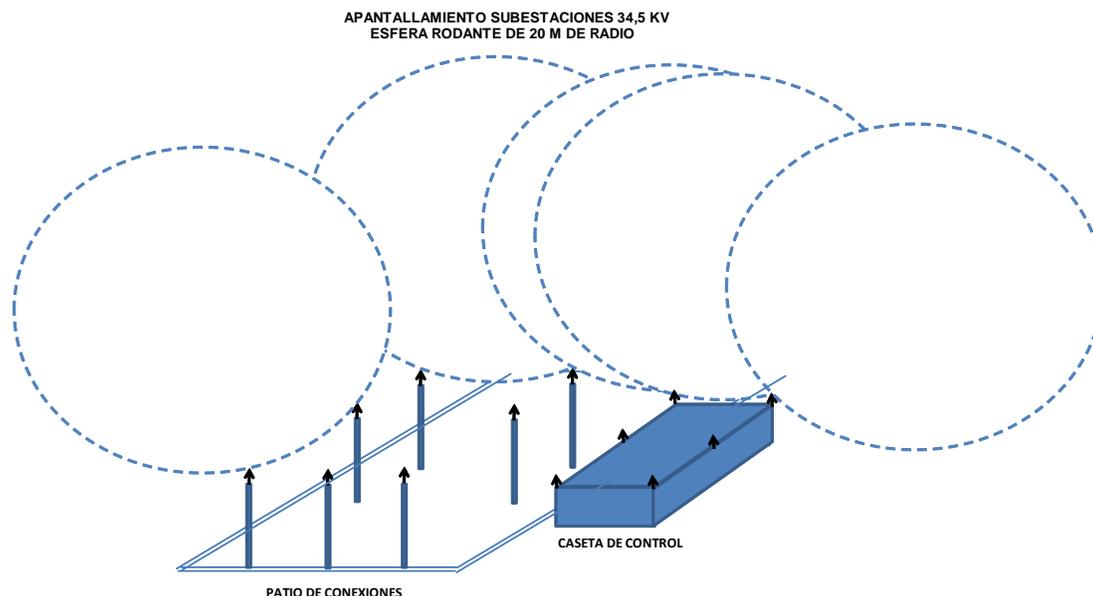
$I_{min} = 3,0$ KA

$R_{sc}=10(3,0)^{0,65}=20,42$ m

Para el nivel de protección I se utilizó un radio de la esfera de 20 m y un ángulo de protección de $\alpha=23^\circ$. Los detalles de aplicación del modelo y los resultados obtenidos se pueden observar en la Fig. No 1.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	30 -Abr-09	
		Rev. 01	Pág. 5 de 37

FIG No 1. MODELO ELECTROGEOMETRICO ESFERA RODANTE 20 m



El conductor de cable de guarda a utilizar en las estructuras de la S/E y los sistemas de bajantes se recomienda que sea en cable de acero 3/8" en el patio de conexiones .

- Malla de puesta a tierra para el sistema de pararrayos

La malla de puesta a tierra a utilizar para cada juego de descargadores a instalar presentará una configuración en anillo con un diámetro de 1m y conductor de cobre de calibre 50 mm² (1/0 AWG), que cerrará en un electrodo de cobre de 2,4m de largo mediante una conexión en soldadura exotérmica. Los detalles se pueden observar en los documentos anexos.

Para esta configuración de la malla y con la resistividad aparente encontrada en el sitio, se calculó un valor de resistencia de puesta a tierra así (ver Tabla No 1):

TABLA No 1

SUBESTACION	RESISTIVIDAD	RESISTENCIA CALCULADA Rg
SAN MARTIN	453, 47 Ω-M	5,02 Ω
ACACIAS	228,03 Ω-M	2,53 Ω
CUMARAL	231,5 Ω-M	3,70 Ω

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	Rev. 01	Pág. 6 de 37

Los valores obtenidos, cumplen con el valor máximo recomendado por el RETIE (10 Ω) para mallas de puesta a tierra del sistema de pararrayos.

- Sistema de equipotencialización.

La malla de puesta a tierra del sistema de pararrayos , para cada subestación , se debe unir con el sistema de puesta a tierra general de las subestaciones .

- Sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación del nivel de riesgo se encontró la necesidad de implementar un sistema de protección interna para los equipos electrónicos contra sobretensiones transitorias.

De acuerdo a la norma IEC 62305-4 se utilizará un nivel de protección nivel II.

Los resultados muestran la necesidad de utilizar DPS's en el punto de conexión del transformador de servicios auxiliares (13,2kV/208V) , además de utilizar DPS's tipo C 208/120V en el tablero principal de baja tensión y DPS's tipo B 208/120V, en los tableros de distribución de baja tensión que alimenten cargas sensibles como lo son equipos electrónicos de control y comunicación.

Los detalles de la evaluación del nivel de riesgo se pueden apreciar en el anexo N° 1 de este informe.

6 ANEXOS

Anexo 1 Evaluación del nivel de riesgo.

Anexo 2 Aplicación del modelo electro geométrico.

Anexo 3 Estudio Geo eléctrico del terreno.

Anexo 4 Malla de puesta a tierra para el sistema de apantallamiento.

Anexo 5 Tensiones Peligrosas Calculadas y Tolerables

Anexo 6 Recomendaciones para la protección de equipos contra sobretensiones

Anexo 7 Guía de seguridad para las personas durante tormentas eléctricas.

Anexo 8. Mapa nivel isoceraunico Villavicencio-Colombia

6.1 ANEXO 1

- Evaluación del nivel de riesgo.

La evaluación del nivel de riesgo para las subestaciones a automatizar, se realizó de acuerdo a la metodología consignada en la norma IEC 62305-2 "Risk management". Los resultados se resumen a continuación.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 7 de 37

Para las instalaciones de la cada una de las subestaciones, se calculó el riesgo por pérdidas de la vida humana o lesiones personales “R1” y el riesgo por pérdidas económicas “R4” (Daño del sistema interno). Estos riesgos se comparan con los riesgos tolerables.

La evaluación del nivel de riesgo se hace considerando que las subestaciones no poseen ningún sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, los resultados indican que medidas son necesarias a implementar para reducir los riesgos a niveles tolerables. Después de plantear las alternativas de protección se vuelve a evaluar el riesgo para mostrar que se reduce a un valor tolerable; los detalles de la evaluación del nivel de riesgo se muestran a continuación:

Información de la estructura a proteger:

En la Tabla 1 se puede observar las características generales de las instalaciones de cada S/E

Parámetro	Comentario	Símbolo	Valor
Dimensiones (m)	Subestación San Martin Subestación Acacias Subestación Cumaral	L*W*H	50,0*50*15 40,0*40*15 40,0*38*15
Factor de localización	Estructura rodeada de otros objetos de la misma altura o más pequeños	Cd	0,5
Protección contra rayos	Sin protección	PB	1
Blindaje de la estructura	No hay	KS1	1
Blindaje interno de la estructura	No hay	KS2	1
Numero de Descargas a tierra.	Municipio de San Martin Municipio de Acacias Municipio de Cumaral	Nc	40 40 40
Densidad de descargas a tierra DDT=0,0017*Nc ^{1,56} Colombia	Nc= 40 / (km ² *año) Siendo conservativos DDT=2	DDT	2
Personas presentes en la	Al interior de la	Nt	1

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 8 de 37

estructura	estructura		
------------	------------	--	--

Tabla 1 Características de la estructura a proteger.

En la Tabla 2 se puede observar las características de las instalaciones eléctricas internas conectadas al sistema de potencia externo.

Parámetro	Comentario	Símbolo	Valor
Longitud (m)		LC	30
Altura(m)	Aérea	HC	12
HV/LV transformador	Sí	Ct	0,2
Factor de localización de la línea	Rodeado por estructuras de la misma altura o menores	Cd	0,5
Factor de medio ambiente de la línea	Urbana	Ce	0,1
Apantallamiento de la línea	Apantallado sin equipotencializar	PLD	1
		PLI	0,5
Precaución del cableado interno	Con apantallamiento	KS3	0,2
Tensión de resistencia de los equipos UW	UW= 1,5kV.	KS4	1
Coordinación de DPS	Sin protección	PSPD	1
Final "a" dimensiones de la línea		La*Wa*Ha	12x8x4,5

Tabla 2 Características de las instalaciones eléctricas internas conectadas al sistema de potencia externo.

En la Tabla 3, se puede observar las características del sistema interno de comunicaciones que está conectado con las líneas externas de comunicaciones.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 9 de 37

Parámetro	Comentario	Símbolo	Valor
Resistividad del suelo S/E San Martin	Ω -m	ρ_a	453
Resistividad del suelo S/E Acacias			228
Resistividad del suelo S/E Cumaral			221
Longitud(m)	-	LC	10
Altura (m)	Conductores Subterráneos	-	-
Factor de localización de la línea	Rodeado por estructuras de la misma altura o menores	Cd	0,5
Factor de medio ambiente de la línea	Urbana	Ce	0,1
Apantallamiento de la línea	con apantallar	PLD	1
		PLI	0,5
Precaución del cableado interno	con apantallar	KS3	1
Tensión de resistencia de los equipos UW	1,5kV.	KS4	1
Coordinación de DPS	No hay	PSPD	1
Final "a" dimensiones de la línea		La*Wa*Ha	12x8x4,5

Tabla 3 Características del sistema interno de telecomunicaciones conectado a las líneas externas

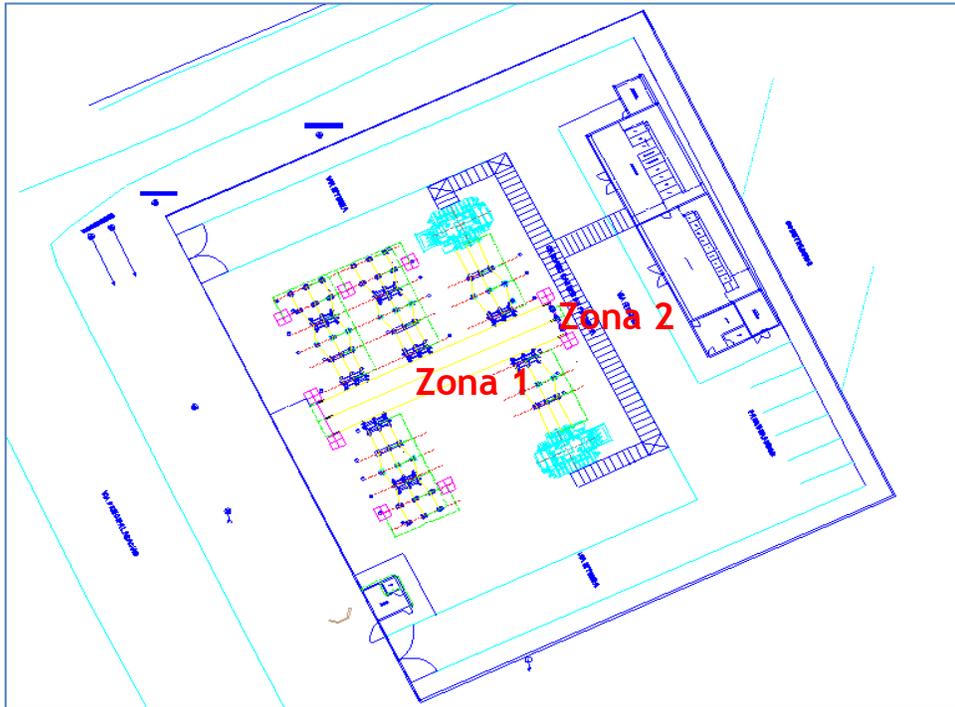
Definición de las zonas y sus características, en las instalaciones de cada S/E.

Se definieron dos zonas en las instalaciones de cada S/E para evaluar de una forma más precisa el nivel de riesgo por descargas eléctricas atmosféricas. En la Figura N° 2 se puede observar la definición de las zonas.

Se evaluará el nivel riesgo en cada zona, y dependiendo de los resultados se tomarán medidas para disminuir el riesgo hasta un nivel tolerable.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	Rev. 01	Pág. 10 de 37	

Fig. No 2.LOCALIZACION DE ZONAS EN CADA SUBESTACION



Las zonas definidas son las siguientes:

Zona 1(Equipo de patio 34,5 Kv):

- Zona de patios, equipos y pórticos S/E

En la Tabla 4 se muestran las características a tener en cuenta en el análisis del riesgo para la zona 1.

Parámetro	Comentario	Símbolo	Valor
Dimensiones de la zona1	Subestación San Martin :Zona 1	L*W*H	20*20*12
	Subestación Acacias :Zona 1		20*20*12
	Subestación Cumaral :Zona 1		20*20*12
Factor de localización	Estructura rodeada por otros objetos de la misma altura o más pequeños	Cd	0,5

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 11 de 37

Protección contra rayos	Sin protección	PB	1
Blindaje interno de las estructuras de la zona 1.	Sin protección	KS1	1
Tipo de superficie del piso	Cerámica	ra	1x10 ⁻³
Riesgo de fuego	Bajo	rf	1x10 ⁻³
Peligros especiales	Estructura con medio nivel de pánico	hZ	5
Protección contra fuego	No hay	rP	1
Blindaje especial	No hay	KS2	1
Sistema de potencia interna	Conectado a las líneas externas	-	-
Sistema de comunicaciones internas	Conectado a las líneas externas		
Riesgo de pérdidas de la vida humana por tensiones de paso y/o de toque	Si	Lt-R1	1x10 ⁻⁴
Riesgo de pérdida de la vida por daños físicos	Si	Lf-R1	5x10 ⁻²
Riesgo de pérdidas de la vida humana por falla del sistema interno	No	L0-R1	-
Riesgo de pérdidas en la continuidad del servicio por daños físicos	Si	Lf-R2	1x10 ⁻²
Riesgo de pérdidas en la continuidad del servicio por falla en el sistema interno.	Si	L0-R2	1x10 ⁻³
Riesgo de pérdida de animales por tensiones de paso y/o de toque.	No	-	-

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 12 de 37

Riesgo de pérdidas económicas por daños físicos.	Sí	Lf-R4	0,2
Riesgo de pérdidas económicas por falla del sistema interno.	Sí	L0-R4	1x10-3
Personas promedio presentes en la zona	-	-	10

Tabla 4 Características de la zona 1

Zona 2(Caseta de control para cada subestación):

- Zona de caseta de control y parte de patio.

En la Tabla 5, se muestra las características de la zona 2

Parámetro	Comentario	Símbolo	Valor
Dimensiones de la zona 2	Subestación San Martin, exterior Subestación Acacias, exterior Subestación Cumaral, exterior	L*W*H	12*12*4,5 12*8*4,5 12*8*4,5
Factor de localización	Objeto rodeado de objetos más altos	Cd	0,25
Tipo de superficie del suelo	Pavimento- concreto	ra	1x10-2
Protección contra choques eléctricos	No existen medidas de protección.	PA	1
Pérdidas de la vida humana por tensiones de paso o de toque	Personas al exterior de la estructura	Lt-R1	1x10-2

Tabla 5 Características de la zona 2.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 13 de 37

RESULTADOS OBTENIDOS

1. Número anual de eventos peligrosos esperados

En la Tabla 6 se puede observar el número de eventos peligrosos que se pueden presentar en la estructura, cerca de ella, o en las líneas de potencia que ingresan o salen de la S/E, durante un año.

Símbolo	Zona 1 (Valor anual)	Zona 2 (Valor anual)
ND(Eventos Sobre la Estructura)	1,54	0,16
NM(Eventos cerca a la estructura)	0,55	0,0

Tabla 6 Número anual esperado de eventos peligrosos para cada zona definida en cada S/E.

Como se puede observar el mayor número de eventos peligrosos al año se pueden presentar por eventos sobre la estructura de la zona en cada S/E principalmente.

2. Riesgo de pérdida de la vida humana (R1)

En la Tabla 7 se muestran los componentes del riesgo para cada zona y el riesgo R1 total de la

Tabla 7 Componentes del riesgo R1 para cada zona

COMPONENTES Y VALORES DE RIESGO	SERVICIOS PUB	PATIO CONEXIONES	CASA DE CONTROL
Ra(Zona 1)=	Nd1*Pa*La	0,05148	0,00564
Rb(Zona 1)=	Nd1*Pb*Lb	0,56628000	0,06203
Rc(Zona 1)=	Nd1*Pc*Lc	0,00057	0,00006
Rm(Zona 1)=	Nd1*Pm*Lm	0,00006	0,00001
Ru(Zona 1)=	Nd1*Pu*Lu	0,00056628	0,00564
Rv(Zona 1)=	Nd1*Pv*Lv	0,051480000	0,00564
R	0,618326280	0,721342908	0,079014792
Rt	1,418683980		
Rtotal		1,41868	x 10 ⁻⁵

Como se puede observar en la Tabla 7 el riesgo R1 por lesiones y pérdidas de la vida humana presenta un valor de $R_1 = 1,41 \times 10^{-5}$ que es mayor al riesgo tolerable, siendo este de

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 14 de 37

$R_T = 1 \times 10^5$, por esta razón en las instalaciones de cada S/E, se debe instalar un sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas, los detalles se muestran más adelante.

Medidas de protección a adoptar para reducir R1

La composición de los elementos del riesgo por la fuente del daño (RD y RI) y por el tipo de daño (RS, RF y R0) se muestra en la Tabla 8

Tabla 8 Contribuciones al riesgo R1.

Componentes	Zona 1	Zona 2	LINEA MT
RD %	85,7	85,7	91,6
RI %	14,3	14,3	8,4
RS %	14,3	14,3	0,1
Rf %	85,6	85,6	99,9
Ro %	0,1	0,1	0

Con:

$$R_T = R_A + R_B + R_C$$

$$R_T = R_M + R_U + R_V$$

$$R_S = R_A + R_U$$

$$R_f = R_B + R_V$$

$$R_0 = R_M + R_C$$

Donde:

RD Es el riesgo de impactos directos a la estructura.

RI Es el riesgo por impactos indirectos a la estructura (cerca de ella)

RS Es el riesgo por lesiones y pérdida de la vida humana.

RF Es el riesgo por daños físicos.

R0 Es el riesgo por falla de los sistemas internos.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 15 de 37

En la Tabla 8, se puede observar las contribuciones al riesgo por lesiones y pérdidas de la vida humana, agrupándolos, según la fuente del daño y el tipo de daño.

Se puede concluir que el mayor aporte del riesgo por pérdida de la vida humana o lesiones personales se deben a impactos directos del rayo lo que aumenta la probabilidad de daño físico en ambas zonas definidas.

Por esta razón para reducir el riesgo por pérdida de la vida humana y lesiones personales, se deben implementar los siguientes sistemas de protección en la zona1 y zona 2 de cada S/E:

- 1) Un sistema de captación de rayos nivel I, de acuerdo a la IEC 62305-3.
- 2) Un sistema contra incendio manual o automático e implementar planes de evacuación y rutas de escape.
- 3) Garantizar una efectiva equipotencialización del sistema de puesta a tierra de la S/E, con el sistema de puesta a tierra del sistema de pararrayos y estructuras metálicas no portadoras de corriente.
- 4) Implementar un sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias para las líneas eléctricas y de comunicaciones que ingresan a la caseta de control.
- 5) Difundir las recomendaciones al personal que permanezca en cada S/E, de cómo actuar cuando se presentan tormentas eléctricas, tal y como se indica en el anexo N° 7.

Los resultados obtenidos en la evaluación del nivel de riesgo por pérdida de la vida humana (R1) luego de implementar las medidas de protección propuestas en el párrafo anterior, se muestran en la Tabla 9 .

COMPONENTES Y VALORES DE RIESGO		SERVICIOS PUB	ZONA 1	ZONA 2
Ra(Zona1)=	Nd1*Pa*La		0,00000064	0,00000007
Rb(Zona1)=	Nd1*Pb*Lb	0,00000002	0,00000002	0,00000000
Rc(Zona 1)=	Nd1*Pc*Lc	0,00000463	0,00000002	0,00000000
Rm(Zona 1)=	Nd1*Pm*Lm		0,00000000	0,00000000
Ru(Zona 1)=	Nd1*Pu*Lu		0,00000000	0,00000000
Rv(Zona 1)=	Nd1*Pv*Lv	0,000000001	0,00000000	0,00000000
Rt		0,000004653	0,00000069	0,00000008
Rtotal			0,00000541	

Tabla 9 Resultados de la evaluación del nivel de riesgo, después de aplicar las medidas de protección.

Como se puede observar, al utilizar un buen sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Nivel I) en la zona 1 y en la zona 2 , con las medidas de protección

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 16 de 37	

mencionadas anteriormente, se logra disminuir el riesgo por pérdida de la vida humana o lesiones personales a un valor de, $RI = 0,541 \times 10^{-5}$, este valor es menor al riesgo tolerable, $RIT=1 \times 10^{-5}$, y con ello se está reduciendo notablemente la probabilidad de que una descarga eléctrica atmosférica pueda afectar la integridad de las personas.

Los detalles para implementar el sistema de protección externa nivel I contra descargas eléctricas atmosféricas se puede observar en anexo N° 2 , N° 3 y en el plano de detalles.

3. Riesgos por pérdidas económicas (R4).

Las pérdidas económicas que se pueden presentar en la S/E a causa de descargas eléctricas atmosféricas, son principalmente por la quema de equipos electrónicos y /o de comunicaciones.

Por esta razón se realizó la evaluación del nivel de riesgo por pérdidas económicas, para las dos zonas definidas en cada S/E, tal y como se muestra a continuación.

En la Tabla 10 se puede observar los resultados del riesgo (R4) para cada zona y la instalación en general, mientras que en la Tabla 11, se pueden observar los componentes del riesgo por pérdidas económicas, según el tipo de daño y las fuentes que causan el daño, expresada en porcentaje.

COMPONENTES Y VALORES D		SERVICIOS	CONEXIONES	CASA DE CONTROL
Ra(Zona 1)=	Nd1*Pa*La		0,00000	0,00000
Rb(Zona 1)=	Nd1*Pb*Lb	0,00015444	0,00015	0,00002
Rc(Zona 1)=	Nd1*Pc*Lc		0,00057	0,00006
Rm(Zona 1)=	Nd1*Pm*Lm		0,00000	0,00000
Ru(Zona 1)=	Nd1*Pu*Lu	0,00000000	0,00000	0,00000
Rv(Zona 1)=	Nd1*Pv*Lv	0,000154440	0,00015	0,00002
R		0,000308880	0,000875175	0,000095865
Rt		0,001279921		
Rtotal			0,00128	x 10-5

Tabla 10 Componentes del riesgo por pérdidas económicas

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 17 de 37	

Component	Zona 1	Zona 2	LINEA MT
RD %	82,35	82,4	50,0
RI %	17,6	17,6	50,0
Rs %	0,0	0,0	0,0
Rf %	35,3	35,3	0,0
Ro %	64,7	64,7	0

Tabla 11 Componentes del riesgo por pérdidas económicas según el tipo y fuentes de daño

Los resultados encontrados muestran que el riesgo por pérdidas económicas debido a las descargas eléctricas atmosféricas presenta un valor de, $R4 = 1,28 \times 10^{-3}$, que es mayor al riesgo tolerable por pérdidas económicas, propuesto por la norma IEC 62305-2, siendo este de, $R4T = 1 \times 10^{-3}$.

Los aportes al riesgo por pérdidas económicas se presentan principalmente por impactos directos e indirectos del rayo en la zona 1 y zona 2, lo cual puede producir daños físicos y daño de los equipos electrónicos y elementos sensibles del sistema interno.

Por este motivo es necesario implementar las medidas de protección necesarias para disminuir el riesgo por pérdidas económicas a un nivel tolerable.

La quema de equipos debido a descargas eléctricas atmosféricas se puede presentar a causa de que la instalación no presente un sistema de equipotencialidad adecuado ni dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (DPS's).

Medidas de protección para reducir el riesgo por pérdidas económicas R4

Para reducir el riesgo por pérdidas económicas se deben implementar los siguientes sistemas de protección:

- 1) Realizar una correcta coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones, desde la red de alta/media tensión hasta el sistema de baja tensión, identificando principalmente los equipos electrónicos sensibles a proteger.
- 2) Garantizar una efectiva equipotencialización entre los diferentes sistemas de puesta a tierra y las estructuras metálicas de la instalación.

A continuación se muestra los cálculos de los riesgos antes y después de realizar las inversiones necesarias para disminuir los riesgos por sobretensiones en cada una de las subestaciones a automatizar.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	30 -Abr-09	
		Rev. 01	Pág. 18 de 37

Tabla 12 Componentes del riesgo por pérdidas económicas sin medidas de protección.

CI=(Ra+Ru)*Ca+(Rb+Rv)*(Ca+Cb+Cs+Cc)+(Rc+Rm+Rz)*Cs				
COMPONENTES Y VALORES DE RIESGO		SERVICIOS PUB.	PATIO CONEXIONES	CASA DE CONTROL
Ra(Zona 1)=	Nd1*Pa*La		0,00000	0,00000
Rb(Zona 1)=	Nd1*Pb*Lb	617760,00000000	617760,00000	67668,48000
Rc(Zona 1)=	Nd1*Pc*Lc		679536,00000	74435,32800
Rm(Zona 1)=	Nd1*Pm*Lm		18,53280	2,03005
Ru(Zona 1)=	Nd1*Pu*Lu	0,00000000	0,00000	0,00000
Rv(Zona 1)=	Nd1*Pv*Lv	617760,00000000	617760,00000	67668,48000
R		1235520,00000000	1915074,53280000	209774,318054400
Rt		3360368,850854400		
Rtotal			3360368,85085	

TABLA 13 Componente del riesgo por pérdidas económicas con medidas de protección.

CrI= (Ra'+Ru')* Ca+(Rb'+Rv')*(Ca+Cb+Cs+Cc)+(Rc'+Rm'+Rz')*Cs				
COMPONENTES Y VALORES DE RIESGO		SERVICIOS PUB.	PATIO CONEXIONES	CASA DE CONTROL
Ra(Zona 1)=	Nd1*Pa*La		0,00000	0,00000
Rb(Zona 1)=	Nd1*Pb*Lb	30888,00000000	30888,00000	3383,42400
Rc(Zona 1)=	Nd1*Pc*Lc		928493,28000	103735,77984
Rm(Zona 1)=	Nd1*Pm*Lm		18,53280	2,03005
Ru(Zona 1)=	Nd1*Pu*Lu	0,00000000	0,00000	0,00000
Rv(Zona 1)=	Nd1*Pv*Lv	30888,00000000	30888,00000	3383,42400
R		61776,00000000	990287,81280000	110504,657894400
Rt		1162568,470694400		
Rtotal			1162568,47	
S=CI-(Cpm+CrL)=		\$ 1.597.800,38		
LA PROTECCION ES CONVENIENTE SI S>0				

En la Tabla 12 se pueden observar los componentes del riesgo por pérdidas económicas para cada zona definida en la S/E, antes de utilizar dispositivos de protección, y en la tabla No 13 se pueden observar las componentes del riesgo utilizando dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) en las redes de alta/media y baja tensión y una efectiva equipotencialización del sistema de puesta a tierra.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 19 de 37

Se puede observar que utilizando una correcta coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones, desde la red de alta/media tensión llegando a los tableros principales y secundarios de baja tensión y garantizando una efectiva equipotencialidad entre los sistemas de puesta a tierra y partes metálicas de la instalación, se logra que las inversiones para disminuir los riesgos y proteger los sistemas , es conveniente en cada S/E.

6.2 ANEXO 1

- **Aplicación del modelo electro geométrico**

De acuerdo a la evaluación del nivel de riesgo mostrado en el anexo 1, se encontró la necesidad de utilizar protección contra descargas atmosféricas nivel I en la zona 1 y zona 2 de cada S/E. A continuación se muestra como se realizó la protección externa de las instalaciones siguiendo la metodología consignada en la norma IEC 62305-3.

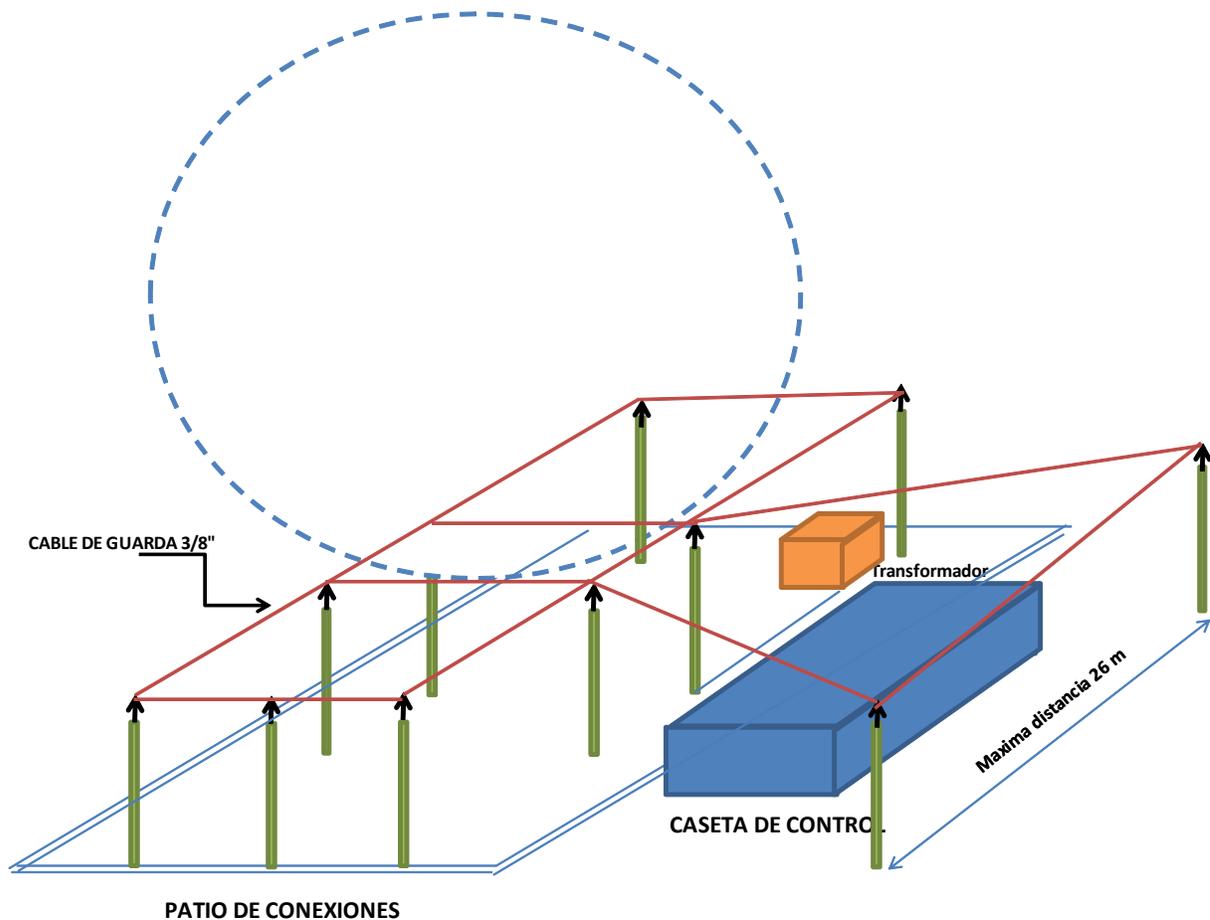
Para el modelo electro geométrico se utilizó una esfera de radio de 20 m, el cual corresponde a un nivel I de protección y representa el ultimo paso del rayo cuando se vence la rigidez dieléctrica del aire. El nivel I de protección en relación al radio de 20 m, se muestra en la Tabla2 de la IEC 62305-3.

El apantallamiento que se utilizó en cada S/E , consiste en utilizar cable de acero de 3/8” en las estructuras del patio de conexiones , cable de cobre 1/0 AWG en los perímetros del techo de la caseta de control y utilizar puntas captadoras de 60cm. Los detalles se pueden observar en el plano de diseño del apantallamiento.

Fig. No 3. APANTALLAMIENTO ZONA 1 Y ZONA 2 -EN CADA SUBESTACION

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	Rev. 01	Pág. 20 de 37	

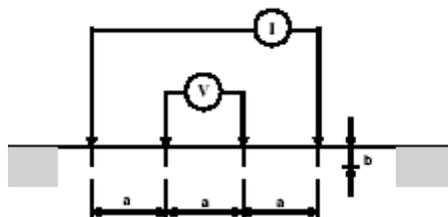
**APANTALLAMIENTO SUBESTACIONES
ESFERA RODANTE DE 20 M DE RADIO**



6.3 ANEXO 2

• **Estudio geoelectrico del terreno**

Para realizar la medición de la resistividad del terreno se utilizó el método de Wenner, el cual está referenciado por el RETIE, se expone la disposición del montaje utilizado para su medición.



	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 21 de 37

Figura 4.- Esquema de medición de resistividad Aparente.

La ecuación exacta para el cálculo es:

$$\rho = \frac{4aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{(a+b)}} + \frac{a}{\sqrt{(a+b)}}}$$

Donde:

ρ : Resistividad aparente en $\Omega \cdot m$

a : Distancia entre electrodos en metros

b : Profundidad del electrodo en metros

R : Valor de resistencia obtenido en la medición con el telurómetro

Si $a > 20b$ la expresión anterior se puede aproximar a:

$$\rho = 2\pi aR \text{ (Con } a \text{ en m)}$$

Resultados de la Prueba Wenner.

En las

S/E ACACIAS			
SEPARACION	Medida Dirección 1 [$\Omega \cdot m$]	Medida Dirección 2 [$\Omega \cdot m$]	PROMEDIO
1	545	307	426,00
2	405	229	317,00
3	399	93,2	246,10
4	369	107,4	238,20
5	330	124,8	227,40
6	348	75,6	211,80
7	380	107,6	243,80
8	374	101	237,50
9	389	97,4	243,20
10	337	14,95	175,98
11	299	62	180,50
PROMEDIO	379,55	120,00	249,77

Tabla No 15-S/E Cumaral.

S/E CUMARAL			
SEPARACION	Medida Dirección 1 [$\Omega \cdot m$]	Medida Dirección 2 [$\Omega \cdot m$]	PROMEDIO
1	167,5	204	185,75

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 22 de 37

2	258	306	282,00
3	404	280	342,00
4	477	245	361,00
5	440	213	326,50
6	343	163	253,00
7	318	115,9	216,95
8	275	125,3	200,15
9	262	149,3	205,65
PROMEDIO	327,17	200,17	263,67

Tabla No 16-S/S San Martin.

S/E SAN MARTIN			
SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO
1	816	563	689,50
2	670	629	649,50
3	473	659	566,00
4	478	674	576,00
5	475	766	620,50
6	557	651	604,00
7	463	520	491,50
8	388	535	461,50
9	362	575	468,50
10	386	486	436,00
11	373	360	366,50
PROMEDIO	494,64	583,45	539,05

En las tablas 17, 18 y 19 , se analizan los datos tomados en terreno , para determinar el tipo de suelo y poder calcular la resistividad aparente (ρ_a), con la cual se calcula la malla de puesta a tierra.

, 15 y 16, se muestra el resumen de los resultados de los datos de resistividad entregados por la empresa **LES-IE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Tabla No 14-S/E Acacias

S/E ACACIAS	
--------------------	--

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 23 de 37

SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO
1	545	307	426,00
2	405	229	317,00
3	399	93,2	246,10
4	369	107,4	238,20
5	330	124,8	227,40
6	348	75,6	211,80
7	380	107,6	243,80
8	374	101	237,50
9	389	97,4	243,20
10	337	14,95	175,98
11	299	62	180,50
PROMEDIO	379,55	120,00	249,77

Tabla No 15-S/E Cumaral.

S/E CUMARAL			
SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO
1	167,5	204	185,75
2	258	306	282,00
3	404	280	342,00
4	477	245	361,00
5	440	213	326,50
6	343	163	253,00
7	318	115,9	216,95
8	275	125,3	200,15
9	262	149,3	205,65
PROMEDIO	327,17	200,17	263,67

Tabla No 16-S/S San Martin.

S/E SAN MARTIN

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 24 de 37

SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO
1	816	563	689,50
2	670	629	649,50
3	473	659	566,00
4	478	674	576,00
5	475	766	620,50
6	557	651	604,00
7	463	520	491,50
8	388	535	461,50
9	362	575	468,50
10	386	486	436,00
11	373	360	366,50
PROMEDIO	494,64	583,45	539,05

En las tablas 17, 18 y 19 , se analizan los datos tomados en terreno , para determinar el tipo de suelo y poder calcular la resistividad aparente (ρ_a), con la cual se calcula la malla de puesta a tierra.

Tabla No 17-Análisis de datos S/E Acacias.

A	B	C	D	E	F	G	H
SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO	DESVIACION 50% MUESTRA 1	DESVIACION 50% MUESTRA 2	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 1	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 2
1	545	307	426,00	118,20	22,91	27,93	-27,93
2	405	229	317,00	62,15	-8,32	-4,93	-46,24
3	399	93,2	246,10	59,75	-62,69	-6,34	-78,12
4	369	107,4	238,20	47,74	-57,00	-13,38	-74,79
5	330	124,8	227,40	32,12	-50,03	-22,54	-70,70
6	348	75,6	211,80	39,33	-69,73	-18,31	-82,25
7	380	107,6	243,80	52,14	-56,92	-10,80	-74,74
8	374	101	237,50	49,74	-59,56	-12,21	-76,29
9	389	97,4	243,20	55,74	-61,00	-8,69	-77,14
10	337	14,95	175,98	34,92	-94,01	-20,89	-96,49
11	299	62	180,50	19,71	-75,18	-29,81	-85,45
PROMEDIO	379,55	120,00	249,77				

NOTA: De las desviaciones columnas E y F , hay valores con una desviacion mayor al 50% los cuales se deben descartar para cualquier analisis estadistico. Igualmente hay valores mayores al 30% en las columnas G y H, **por tal razon el suelo no es homoganeo.**
Es necesario un analisis de suelo de dos capas.

Tabla 18 -Análisis de datos S/E Cumaral.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 25 de 37

SEPARACION	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO	DESVIACION 50% MUESTRA 1	DESVIACION 50% MUESTRA 2	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 1	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 2
1	167,5	204	185,75	-36,47	-22,63	-9,83	9,83
2	258	306	282,00	-2,15	16,06	38,90	64,74
3	404	280	342,00	53,22	6,19	117,50	50,74
4	477	245	361,00	80,91	-7,08	156,80	31,90
5	440	213	326,50	66,88	-19,22	136,88	14,67
6	343	163	253,00	30,09	-38,18	84,66	-12,25
7	318	115,9	216,95	20,61	-56,04	71,20	-37,60
8	275	125,3	200,15	4,30	-52,48	48,05	-32,54
9	262	149,3	205,65	-0,63	-43,38	41,05	-19,62
10							
11							
PROMEDIO	327,17	200,17	263,67				

NOTA: De las desviaciones columnas E y F, hay valores con una desviación mayor al 50% los cuales se deben descartar para cualquier análisis estadístico. Igualmente hay valores mayores al 30% en las columnas G y H, **por tal razón el suelo no es homogéneo.**
Es necesario un análisis de suelo de dos capas.

Tabla 19 -Análisis de datos S/E San Martín

SEPARACION N	Medida Dirección 1 [Ω.m]	Medida Dirección 2 [Ω.m]	PROMEDIO	DESVIACION 50% MUESTRA 1	DESVIACION 50% MUESTRA 2	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 1	DESVIACION DEL 30% DEL VALOR MAS ALTO 2
1	816	563	689,50	51,38	4,44	18,35	-18,35
2	670	629	649,50	24,29	16,69	-2,83	-8,77
3	473	659	566,00	-12,25	22,25	-31,40	-4,42
4	478	674	576,00	-11,32	25,04	-30,67	-2,25
5	475	766	620,50	-11,88	42,10	-31,11	11,09
6	557	651	604,00	3,33	20,77	-19,22	-5,58
7	463	520	491,50	-14,11	-3,53	-32,85	-24,58
8	388	535	461,50	-28,02	-0,75	-43,73	-22,41
9	362	575	468,50	-32,84	6,67	-47,50	-16,61
10	386	486	436,00	-28,39	-9,84	-44,02	-29,51
11	373	360	366,50	-30,80	-33,22	-45,90	-47,79
PROMEDIO	494,64	583,45	539,05				

NOTA: De las desviaciones columnas E y F, hay valores con una desviación mayor al 50% los cuales se deben descartar para cualquier análisis estadístico. Igualmente hay valores mayores al 30% en las columnas G y H, **por tal razón el suelo no es homogéneo.**
Es necesario un análisis de suelo de dos capas.

Modelo de las dos capas.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 26 de 37

Con la información de las ρ_1 y ρ_2 se utilizó el modelo de las dos capas para determinar el valor de resistividad a utilizar en el cálculo de la resistencia de la malla de puesta a tierra.

En la Figura N°8 se ilustra el modelo de las dos capas.

Para encontrar el valor de la resistividad aparente y la profundidad de la primera capa, se utiliza el método gráfico que aparece en la norma IEEE 80 del 2000, el cual se muestra a continuación.

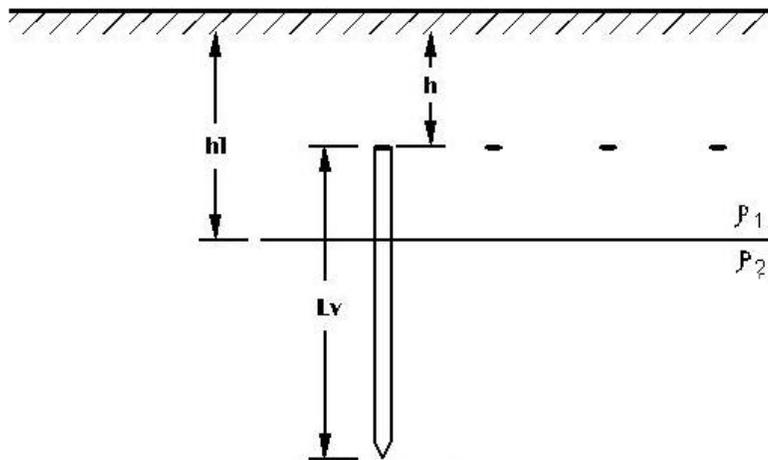


Figura N°5: Ilustración del método de las dos capas

El método gráfico de la IEEE 80 propone tomar dos datos de resistividad del tabulados y con base a ellos construir la curva característica para de ella determinar el valor de resistividad aparente y la profundidad de la capa. Los valores se tomaron de las ρ_1 y ρ_2 y son los siguientes:

Tabla 20-Valor de ρ_1 y ρ_2 S/E Acacias

De acuerdo con la norma IEEE 80-2000 , para suelos de dos capas se deben seleccionar las resistividades ρ_1 y ρ_2 , como el valor promedio mayor y el valor promedio menor respectivamente . Para nuestro caso se selecciona :					
$\rho_1=$	426,00	$\rho_2=$	175,98		
Se determina el valor de ρ_2/ρ_1 y se selecciona de la curva de la fig No 21 de la norma , el valor de ρ_a/ρ_1 .					
Entonces $\rho_2/\rho_1=$	0,4131				
DE la fig No 21 de la norma , para un valor de ρ_2/ρ_1		$\rho_a/\rho_1=$	0,535298		
De donde se deduce que $\rho_a=\rho_1 \cdot \rho_a/\rho_1=$		$\rho_a=$	228,0369 $\Omega\cdot m$		

Tabla 21-Valor de ρ_1 y ρ_2 S/E Cumaral.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 27 de 37

De acuerdo con la norma IEEE 80-2000 , para suelos de dos capas se deben seleccionar las resistividades ρ_1 y ρ_2 , como la maxima y la minima respectivamente . Para nuestro caso se selecciona :

$$\rho_1 = 361,00 \quad \rho_2 = 185,75$$

Se determina el valor de ρ_2/ρ_1 y se selecciona de la curva de la fig No 21 de la norma , el valor de ρ_a/ρ_1 .

$$\text{Entonces: } \rho_2/\rho_1 = 0,5145$$

DE la fig No 21 de la norma , para un valor de ρ_2/ρ_1 $R_a/R_1 = 0,641292$

$$\text{De donde se deduce que } \rho_a = \rho_1 \cdot R_a/R_1 = 231,5064$$

Tabla 22-Valor de ρ_1 y ρ_2 S/E San Martin.

De acuerdo con la norma IEEE 80-2000 , para suelos de dos capas se deben seleccionar las resistividades ρ_1 y ρ_2 , como el mayor valor del promedio y el menor valor del promedio ,respectivamente . Para nuestro caso se selecciona:

$$\rho_1 = 689,50 \quad \rho_2 = 366,50$$

Se determina el valor de R_2/R_1 y se selecciona de la curva de la fig No 21 de la norma , el valor de R_a/R_1 .

$$\text{Entonces } \rho_2/\rho_1 = 0,5315$$

DE la fig No 21 de la norma , para un $\rho_2/\rho_1 = 0,5315$ obtiene: $\rho_a/\rho_1 = 0,658$

$$\text{De donde se deduce que } \rho_a = \rho_1 \cdot \text{Factor} = \text{Entonces: } \rho_a = 453,47 \text{ Ohmios -metro}$$

FIG. N 6. CURVAS PATRON PARA EL CÁLCULO DE σ_1 y σ_2

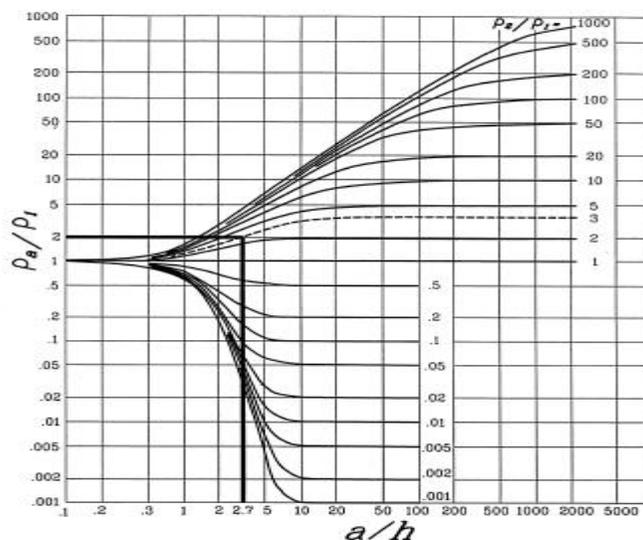


Figure 23—Example of Sunde's graphical method

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 28 de 37

Tabla 23- Valores de resistividad aparente para cada subestación.

SUBESTACION	RESISTIVIDAD
SAN MARTIN	453, 47 Ω -M
ACACIAS	228,03 Ω -M
CUMARAL	231,5 Ω -M

Esta es la resistividad aparente del terreno que se utilizará para determinar el valor de la resistencia de puesta a tierra de la malla del sistema de apantallamiento, en cada subestación.

6.4 ANEXO 3

- Configuración de la malla de puesta a tierra de los pararrayos

Para la malla de puesta a tierra de los pararrayos se utilizará una configuración en anillo, con un radio de 1m, y en conductor de cu 1/0 AWG, que cierra mediante soldadura exotérmica en un electrodo de cobre de 5/8" x 2.4m, así como se muestra en la Figura N °10

Con esta configuración y utilizando la resistividad aparente calculada anteriormente se obtiene una valor de resistencia de puesta a tierra de (ver Tabla No 24):

Tabla No 24-Valor de diseño Resistencia de puesta a tierra para cada S/E.

SUBESTACION	RESISTIVIDAD	RESISTENCIA Rg	CALCULADA
SAN MARTIN	453, 47 Ω -M	3,32 Ω	
ACACIAS	228,03 Ω -M	2,04 Ω	
CUMARAL	231,5 Ω -M	2,44 Ω	

Los valores aquí consignados cumplen con el valor recomendado por el RETIE para la malla de puesta a tierra de sistemas de pararrayos (10 Ω). Cuando se interconecte la puesta a tierra del sistema de pararrayos con la puesta a tierra general de la S/E se espera que el valor disminuya significativamente.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	Rev. 01	Pág. 29 de 37	

La expresión para calcular la resistencia de puesta a tierra fue tomada de la norma IEEE 80-2000.

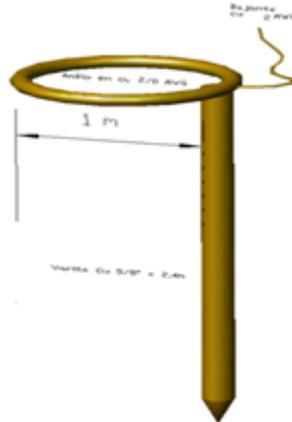


FIG 7. Puesta a tierra de pararrayos

6.5 ANEXO 4

- Tensiones tolerables por el cuerpo humano y energía disipada.

En la Figura No 8 se muestra una situación peligrosa en la cual una persona se encuentra tocando un bajante desnudo en el momento de presentarse una descarga eléctrica atmosférica.

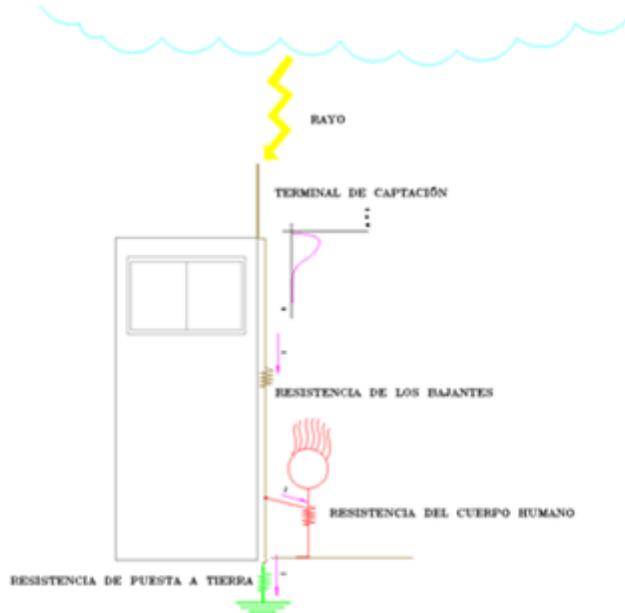


FIG No 8. Tensión de toque por descarga atmosférica.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 30 de 37

Mediante el programa de simulación de transitorios EMTP-ATP, se construye esta situación y se simula una descarga eléctrica atmosférica principal y otra descarga subsecuente.

Con esta simulación se compara la tensión de contacto tolerable para una persona de 50kg con la tensión producida en el peor de los casos simulado en el software, esto con el fin de garantizar la seguridad de las personas que se encuentren en esta situación

Estas comparaciones y comprobaciones se realizarán teniendo en cuenta una descarga principal y otra subsecuente. Se utilizó el tipo de onda $10\mu\text{s}$ y $250\mu\text{s}$ que recomienda la IEC para descargas atmosféricas, y una magnitud de corriente de 31 kA para la descarga principal y 10 kA para la descarga subsecuente.

Resultados de la Simulación mediante el EMTP-ATP

En la Figura N° 9 se muestra el comportamiento de la onda de tensión a la que está sometida la persona que está tocando uno de los cuatro bajante de Cu desnudo de calibre 1/0 AWG, en el momento de presentarse una descarga eléctrica atmosférica.

Como se puede observar en la gráfica la persona estará sometida a 12,6 kV en un tiempo de $0,73\mu\text{s}$.

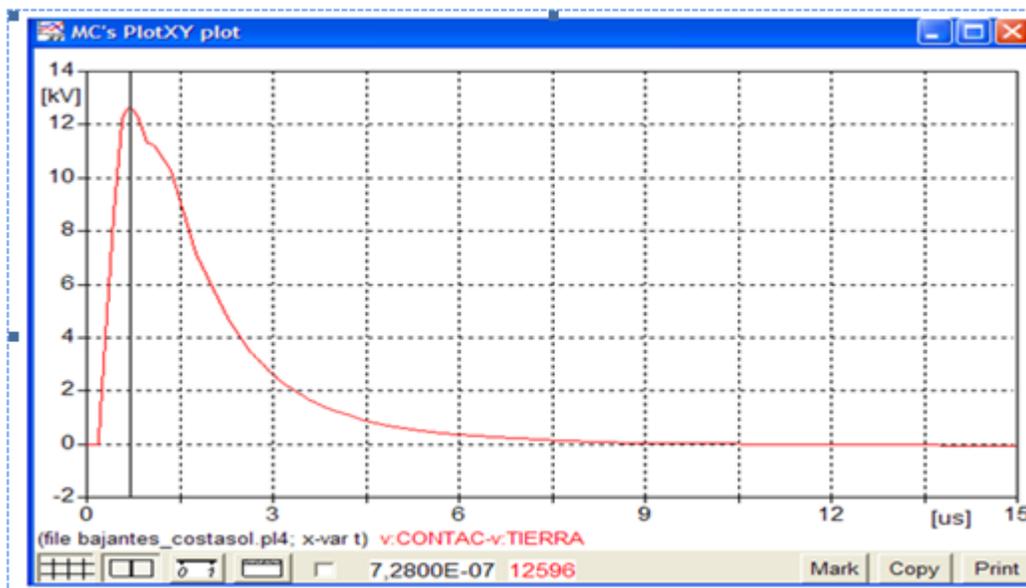


FIG No 9-Comportamiento de onda de tesnion.

Esta tensión puede no ser peligrosa siempre y cuando esté por debajo de la tensión tolerable por el cuerpo humano, la cual se muestra a continuación.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
		30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	Rev. 01	Pág. 31 de 37

- **Cálculo de las tensiones de contacto tolerable**

Según la metodología planteada por la IEEE 80-2000, las tensiones tolerables por el cuerpo humano están en función del tiempo de duración de la falla y de las características del suelo, la expresión para determinar la Tensión de contacto tolerable para una persona de 50 kg se muestra a continuación:

$$U_t = \frac{1000}{\sqrt{t}}$$

Teniendo en cuenta la resistividad encontrada en las instalaciones de la S/E y para un tiempo de duración de la falla de 10µs se encuentra que la tensión de contacto tolerable es de $U_t = 39,29$.

En la Tabla 1425 se muestra la comparación entre la tensión de toque tolerable por el cuerpo humano y la sobretensión de origen atmosférico que viaja por el bajante.

Tiempo en µs	Tensión de contacto tolerable (kV)	Tensión de contacto obtenida en la simulación (kV).
10	39,29	12,6

Tabla 14 Tensiones Tolerables por el cuerpo humano según el tiempo de la descarga

Como se puede observar en la Tabla 1425, las tensiones a la que realmente puede estar sometida una persona en el momento de una descarga es menor a la tensión tolerable por el cuerpo humano para los tiempos mostrados en la tabla, esto garantiza seguridad para la persona en cuanto a tensiones de contacto.

- **Calculo de la energía disipada por una persona**

La energía a la que queda sometida una persona, como se puede observar el valor máximo es de 6,5 J. que es menor al valor máximo recomendado por la normativa (30J), con ello se

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	30 -Abr-09	
		Rev. 01	Pág. 32 de 37

brinda seguridad a las personas que pudieran tocar el bajante en el momento de una descarga.

Por lo tanto se requiere utilizar cuatro bajantes en conductor de cu en calibre minimo 1/0 AWG, para el bajante de cada punta captadora en cada bloque

Cálculo de las tensiones de paso

La expresión para el cálculo de la tensión de paso tolerable por el cuerpo humano según la IEEE 80 se muestra a continuación.

Esta expresión depende de las características del suelo, de la capa superficial y del tiempo de duración de las descarga.

$$V_p = \frac{V_d}{\sqrt{t}}$$

Para una duración de la descarga de 10µs se tiene una tensión de paso tolerable de **47,128 kV**.

En la Figura N °13 se puede observar el comportamiento de la tensión en el terreno cuando ocurre una descarga, la tensión de paso es la diferencia de potencial que aparece desde el punto de inyección y un metro después, que se supone es la distancia del paso, de la grafica se deduce la tensión de paso y presenta un valor de 25,53 kV.

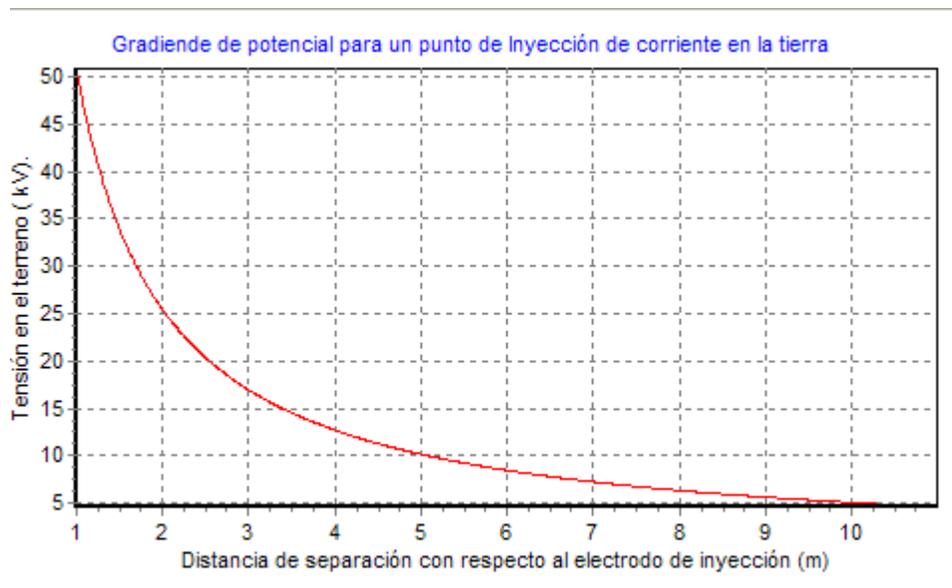


Fig. No 13-TENSION POR DESCARGA ATMOSFERICA

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 33 de 37

Distancia de separación entre los pies (m)	Tensión de paso tolerable para 8 μ s (kV)	Tensión de paso a 1m obtenida en la simulación (kV).
1	47,13	25,53

Tabla 15 Comparación de la tensión de paso calculada con la tolerable

Como se puede observar en la Tabla 1526, la tensión de paso calculada para las condiciones descritas en el terreno de la instalación, es menor a la tensión de paso tolerable por el cuerpo humano, lo cual garantiza seguridad para las personas que se encuentren transitando por allí en el momento de presentarse una descarga eléctrica atmosférica.

- **Interconexión.**

La malla de puesta a tierra de los pararrayos se debe unir con la malla de puesta a tierra de la S/E para evitar sobretensiones peligrosas a las personas y los equipos durante una descarga eléctrica, y de esta forma mantener la instalación al mismo potencial tanto en condiciones de fallo como condiciones normales de operación.

6.6 ANEXO 5

- **Sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación del nivel de riesgo, se encontró que el riesgo de pérdidas económicas por daño de equipos electrónicos debidas a sobretensiones transitorias es alto, por esta razón es necesario implementar un sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias, consistente en un coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) desde la S/E hasta los tableros principales de los laboratorios y salas de computo.

La metodología utilizada para el diseño de la protección de los equipos electrónicos contra las sobretensiones de origen atmosférico es tomada de la norma IEC 62305-4.

Para lograr obtener una adecuada coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias y teniendo en cuenta los resultados de la evaluación del nivel de riesgo por pérdidas económicas en el Anexo N°1, se recomienda instalar un sistema de protección interna contra sobretensiones transitorias NIVEL II, el cual consiste en instalar un grupo de DPS's (uno por fase) en bornes primarios del transformador (DPS en media tensión),; luego en el tablero principal de baja tensión instalar un grupo de DPS's de baja tensión tipo C y finalmente en los tableros de distribución que alimenten cargas sensibles como equipos de computo y comunicación instalar DPS's tipo B y llevarlos de forma adecuada al sistema de puesta a tierra general de la instalación.

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 34 de 37

6.7 ANEXO 6

- **Guía de seguridad personal durante tormentas eléctricas**

Durante una tormenta eléctrica son evidentes los peligros a los que se exponen, no sólo las edificaciones y los sistemas eléctricos y electrónicos, sino las personas. Es por ello que se deben conocer algunas recomendaciones para tener en cuenta durante una tormenta, evitando riesgos para las personas.

El riesgo de ser alcanzado por un rayo es mayor entre las personas que trabajan, juegan, caminan o permanecen al aire libre durante una tormenta eléctrica.

En la zona central colombiana (Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Santander, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y los llanos) la actividad de descargas eléctricas atmosféricas es más intensa durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre; en la zona Caribe colombiana (Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba, Guajira) durante los meses de julio y agosto y en la zona sur (Amazonas, Cauca y Putumayo) durante los meses de diciembre y enero.

La actividad de descargas eléctricas atmosféricas se presenta generalmente en las tres zonas descritas entre las 2 y las 6 de la tarde y en algunas zonas especiales como el Magdalena Medio en horas de la noche y en la madrugada.

Cuando se tenga indicios de tormenta eléctrica es recomendable, como medida de protección, tener en cuenta las siguientes instrucciones:

- Desconecte equipos eléctricos o electrónicos, evitando la utilización de ellos y de aparatos telefónicos.
- Busque refugio en el interior de vehículos, edificaciones y estructuras que ofrezcan protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

A menos que sea absolutamente necesario, no salga al exterior ni permanezca a la intemperie durante una tormenta eléctrica.

- Permanezca en el interior del vehículo, edificación o estructura hasta que haya desaparecido la tormenta.

Protéjase de las descargas eléctricas atmosféricas en:

- Contenedores totalmente metálicos.
- Refugios subterráneos.
- Automóviles y otros vehículos cerrados con carrocería metálica.
- Viviendas y edificaciones con un sistema adecuado de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

Estos sitios ofrecen poca o ninguna protección contra descargas eléctricas atmosféricas:

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA	LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO	30 -Abr-09	
		Rev. 01	Pág. 35 de 37

- Edificaciones no protegidas alejadas de otras viviendas.
- Tiendas de campaña y refugios temporales en zonas despobladas.
- Vehículos descubiertos o no metálicos.

Aléjese de estos sitios en caso de tormenta eléctrica:

- Terrenos deportivos y campo abierto.
- Piscinas, playas y lagos.
- Cercanía a líneas de transmisión eléctrica, cables aéreos, vías de ferrocarril, tendedores de ropa, cercas ganaderas, mallas eslabonadas y vallas metálicas.
- Árboles solitarios.
- Torres metálicas: de comunicaciones, de línea de alta tensión, de perforación, etc.

Si debe permanecer en una zona de tormenta:

- Busque zonas bajas.
- Evite edificaciones sin protección adecuada y refugios elevados.
- Prefiera zonas pobladas de árboles, evitando árboles solitarios.
- Busque edificaciones y refugios en zonas bajas.

Si se encuentra aislado en una zona donde se esté presentando una tormenta:

- No se acueste sobre el suelo.
- Junte los pies.
- No escampe bajo un árbol solitario.
- No coloque las manos sobre el suelo, colóquelas sobre las rodillas.
- Adopte la posición de cuclillas.

7 CONCLUSIONES

- Después de evaluar el nivel de riesgo por pérdida de la vida humana o lesiones personales, se encontró que es mayor al riesgo tolerable, por esta razón es necesario implementar un sistema de protección externo e interno contra descargas eléctricas atmosféricas. Al utilizar un nivel de protección externo nivel I e interno Nivel II, se logra disminuir el riesgo por pérdida de la vida humana por debajo del nivel tolerable.
- Se encontró un riesgo por daños de equipos electrónicos a causa de las sobretensiones transitorias de origen atmosférico, así se recomienda utilizar un sistema de protección interno contra sobretensiones, consistente en una adecuada coordinación de dispositivos de protección contra sobretensiones, tal y como se indica en el anexo N° 6.
- Para el diseño del sistema de apantallamiento se tuvo principal cuidado en proteger a las personas que se encuentren cerca en el momento de una descarga eléctrica atmosférica, calculando la energía y tensiones peligrosas a la que pueden estar sometidas, y comprobando que se encuentran por debajo de los valores tolerables exigidos en la normativa.
- El diseño del sistema de apantallamiento pretende además proteger la estructura contra un impacto directo del rayo, debe quedar claro que un sistema de

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
			30 -Abr-09	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 36 de 37

apantallamiento no presenta un 100% de efectividad, pero con la implementación del diseño se reduce el riesgo notablemente.

- Es importante que todo el personal que permanece normalmente en la instalación conozca la guía de seguridad contra descargas eléctricas atmosféricas, para que sepan cómo actuar durante una tormenta eléctrica. Esta guía se puede observar en el anexo N° 7 y debe ser difundida en carteleras o copias para el personal que permanezca en las instalaciones.
- Para la construcción del sistema de apantallamiento es importante que se coordine con la obra civil, para llevar adecuadamente los bajantes dentro de las columnas y no afectar la parte estética al llevar bajantes por la pared.
- El sistema de puesta a tierra se debe construir antes de la construcción de las plantas y zapatas de la subestación.

Anexo No8-Mapa nivel isoceraunico Villavicencio-Colombia

ELABORÓ: Liliana Osorio (RC)	REVISÓ: Martha Ordoñez(GG)	APROBÓ: LUIS EDUARDO SOLIS (GG)
--	--------------------------------------	---

	LUIS EDUARDO SOLÍS I.E. INGENIERÍA ELÉCTRICA		LS-F-CON-297-10	
	FORMATO MEMORIAS DE CÁLCULO		Rev. 01	Pág. 37 de 37

