



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE – EXTENSIÓN LATACUNGA

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera: Ingeniería Electromecánica



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Diseño de sistemas de puestas a tierra y
apantallamientos eléctricos para
protección de personas y equipos de la
Universidad de las Fuerzas Armadas-
ESPE Extensión Latacunga- Campus
Gral. Rodríguez Lara**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

Diseñar sistemas de puestas a tierra y apantallamientos eléctricos para protección de personas y equipos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga-Campus Gral. Rodríguez Lara.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamiento de un diagrama unifilar de la ESPE-L
- Diseño de puestas a tierra y apantallamientos eléctricos
- Simulación de flujos en el sistema eléctrico de distribución
- Estudio técnico - económico para la implementación del proyecto a realizar.



IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

La seguridad humana en instalaciones eléctricas es un requisito primordial. Cualquier institución seria debe interesarse por la seguridad de personas ante cualquier eventualidad que signifique un riesgo para la salud, y mucho más si éste es mortal. Un evento que fácilmente podría causar la muerte a pesar de ser inusual, son las descargas atmosféricas.

En cuanto a equipos, como forma de protección es importante cuidar el aislamiento de estos, ya que se podría ver afectado por variaciones de voltaje de diversos orígenes o por fallas eléctricas.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

En la actualidad a nuestro país el sistema de educación superior exige que las universidades cumplan con diversos requisitos, entre ellos se destacan la seguridad y el medio ambiente, Un sistema de puestas a tierra cubre en gran parte lo referente a seguridad eléctrica. Por lo tanto con la culminación de éste proyecto la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga contaría con un esquema eléctrico de protección listo para su futura implementación.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEFINICIÓN DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

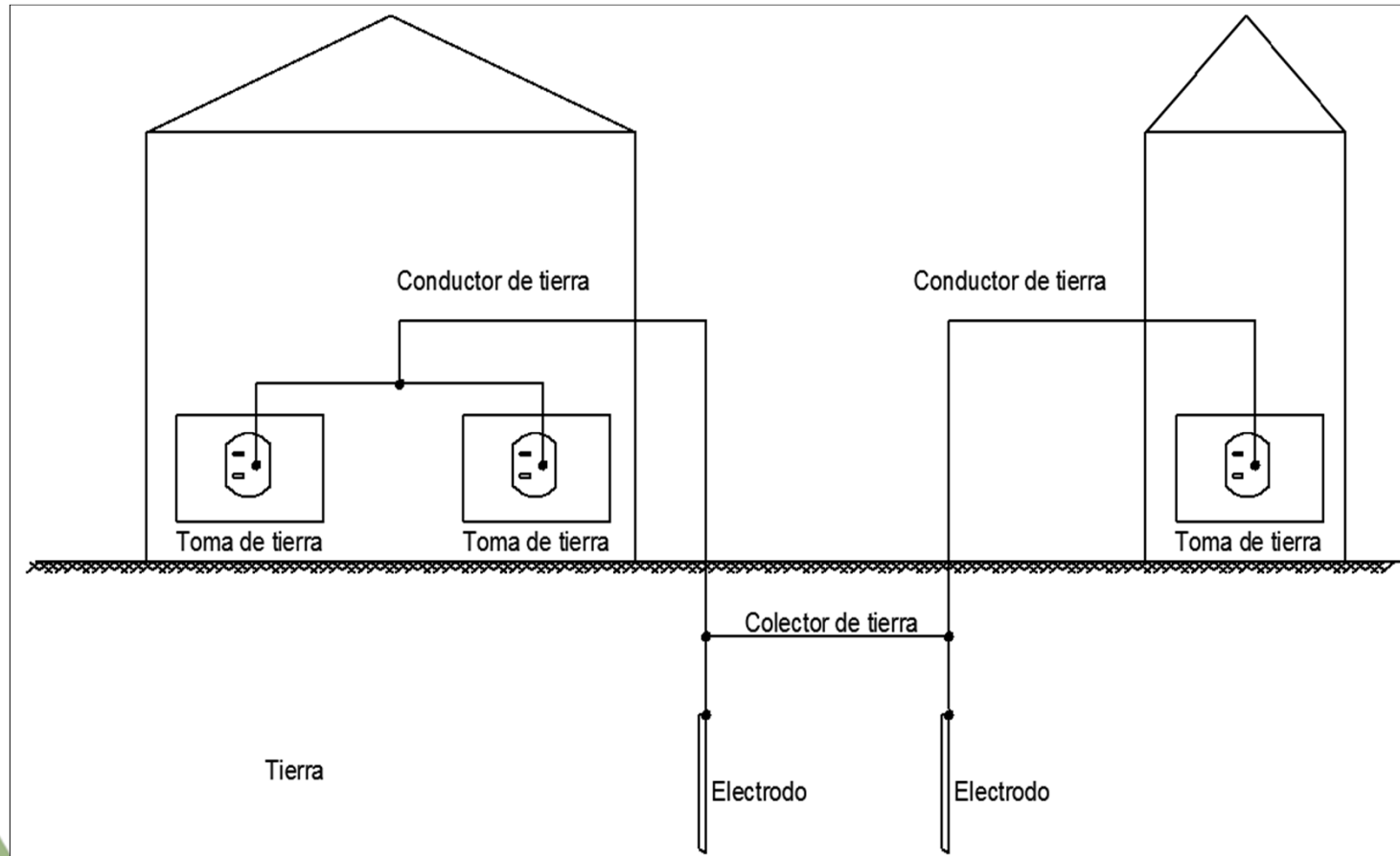
Una puesta a tierra es la conexión conductora, por medio de la cual un circuito eléctrico o conjunto de elementos metálicos que proporcionan un contacto eléctrico conductivo se conectan a tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de tierra. Para considerar un SPT como tal, éste debe cumplir cierta normativa, comúnmente establecida por la empresa de suministro de energía eléctrica.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PARTES BÁSICAS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA





SOBREVOLTAJES

Todo aumento de voltaje capaz de poner en peligro el material o el buen funcionamiento de una instalación eléctrica, además un sobrevoltaje provoca otros sobrevoltajes.

Tipos de sobrevoltajes:

- Por servicio: entrada o salida de carga
- Por maniobra: Conexión o desconexión de relés
- Por descargas atmosféricas



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FALLAS POR CORTOCIRCUITO

Un cortocircuito es la desaparición intempestiva de la aislación relativa de dos conductores de tensión diferente (alimentados de la misma fuente), sin la interposición de una impedancia conveniente. Las instalaciones eléctricas requieren siempre de la protección contra cortocircuitos donde quiera que exista esta falla. La corriente de cortocircuito se debe calcular en cada nivel de la instalación, con el propósito de determinar las características del equipo requerido para soportarla y/o eliminarla.



Consideraciones para la falla en el diseño de una malla (condiciones menos favorables para el sistema eléctrico de distribución)

- Tipo: **Asimétrica**
- **Duración:** tiempo de existencia sin despeje por los órganos de protección, la corriente de cortocircuito puede presentar tres valores característicos, subtransiente (no más de 0,1 seg), transiente (entre 0,1 y 0,3 seg.) y **permanente (luego de transcurrido más de 0,3 seg.)**.
- **Ubicación: A la entrada del transformador**
- Topología: **Trifásica**



INFLUENCIA DE CORRIENTES PELIGROSAS EN LAS PERSONAS

Mediante una diferencia de potencial (Voltaje) se generan corrientes no deseadas, que pueden circular a través de un equipo o de una persona.

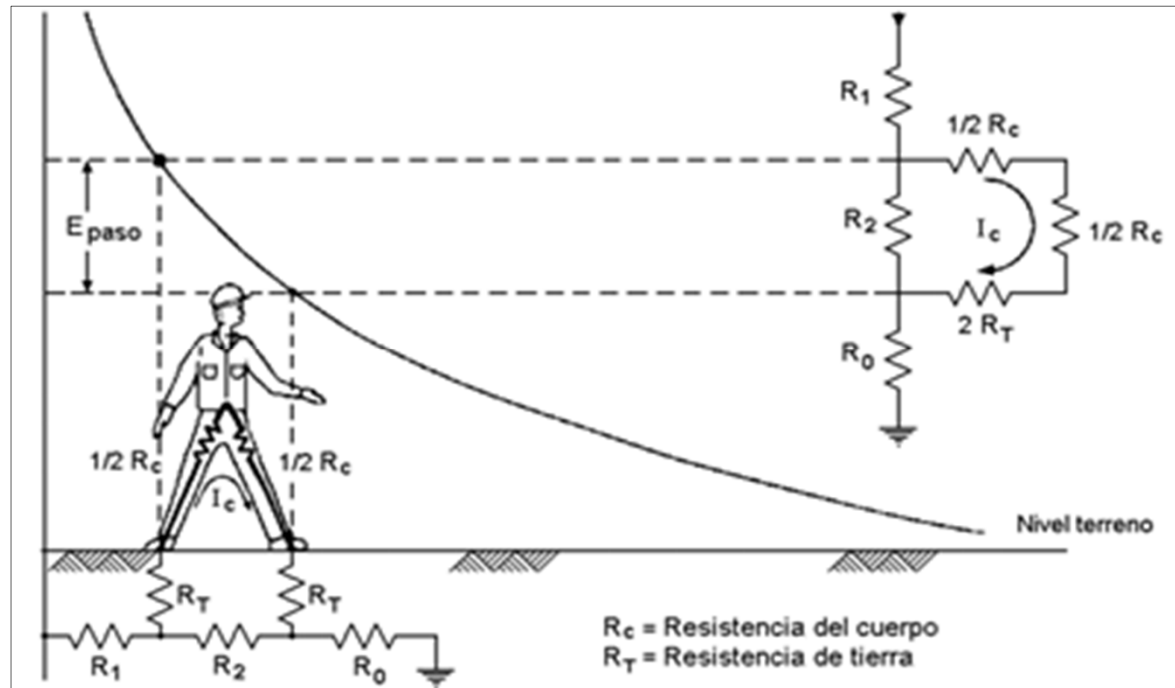
Efectos físicos del choque eléctrico

Intensidad mA, C.A., 50 o 60 HZ		Efecto en el organismo
Hombre	Mujer	
0.4	0.4	Ninguna sensación
0.5	0.5	Umbral de percepción
9	6	Pérdida de control muscular en el 0.5 % de la población
16	10.5	Pérdida de control muscular en el 50 % de la población
20-30		Posibilidad de asfixia
$116/\sqrt{t}$		Fibrilación de corazón (t mayor a 0.083 segundos y menor a 5 segundos)



VOLTAJE DE PASO

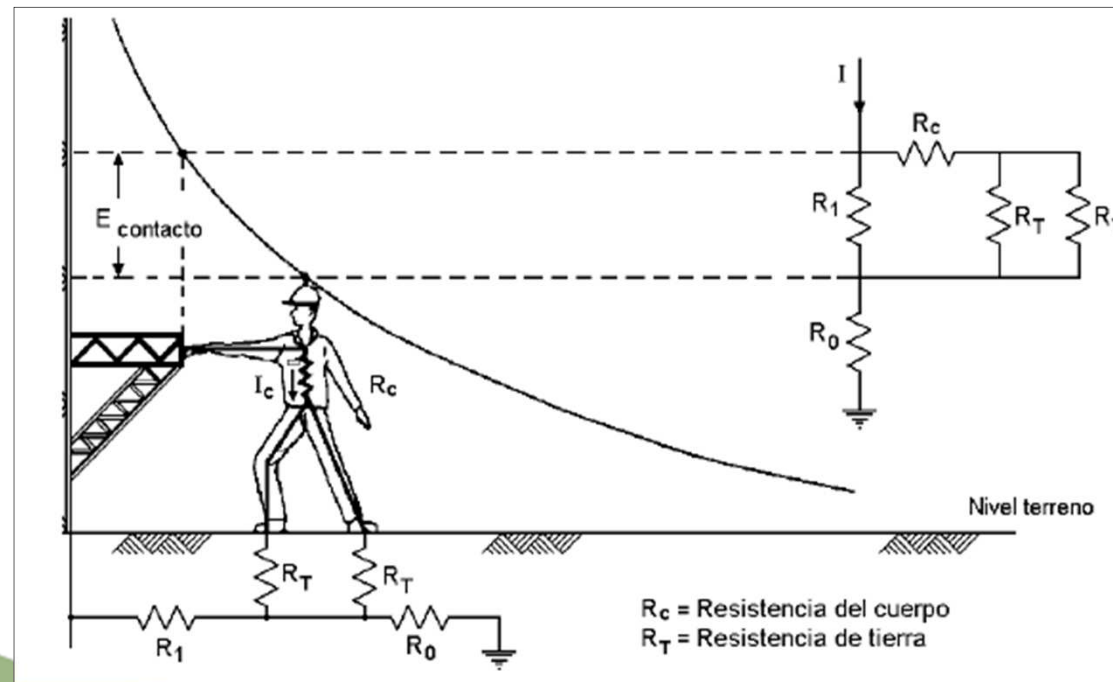
Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro).





VOLTAJE DE TOQUE (VOLTAJE DE CONTACTO)

Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.





SISTEMAS DE PUESTA TIERRA SEGÚN SU FUNCIÓN

Puesta a tierra de protección “*Safety Ground*”, para equipos

La puesta a tierra de protección tiene objetivo de proteger a las personas y animales contra accidentes derivados de contactos con partes conductoras que, estando no sometidos normalmente a tensión, puedan estar sometidas a tensiones peligrosas como consecuencia de un defecto de aislamiento de la instalación (MASAS), o de, no tener un camino directo a tierra en caso de falla. Para esto se debe conectar a tierra dichas masas, así como los equipos del sistema a los que esta puesta a tierra también protege.

Puesta a tierra de servicio “*Signal Ground*”, para sistemas eléctricos

La puesta a tierra de servicio tiene como objetivo asegurar el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico, y permitir un correcto y confiable funcionamiento de la instalación.

Sistema de puesta a tierra de rayos o “*Lightning Ground*”

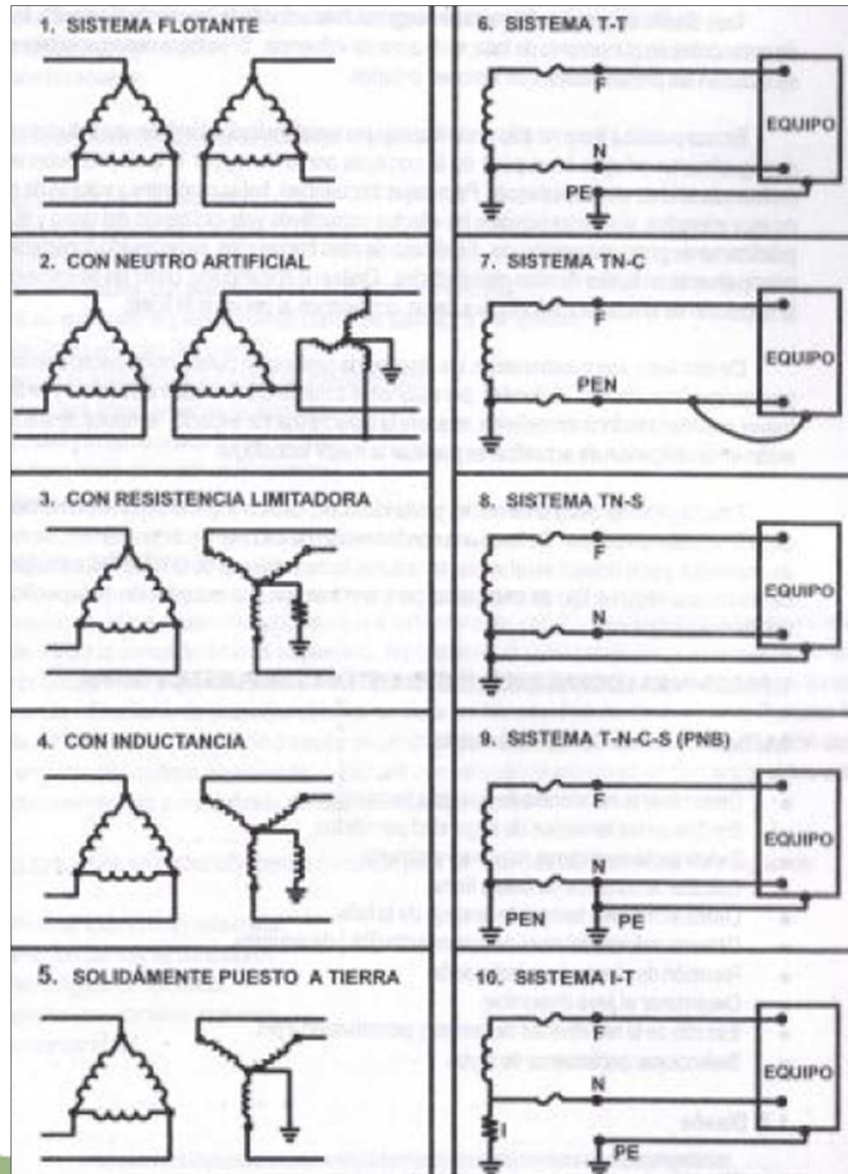
Su concepción es proveer un camino de muy baja impedancia a las descargas eléctricas, en especial a los rayos; de modo que se transfieran al suelo y su entorno en forma rápida, sin causar daños a las personas o instalaciones existentes. Este sistema de puesta a tierra, ha generado los conceptos de “Potencial de toque” y “Potencial de Paso”, en conjunto con el sistema de puesta a tierra de seguridad, ya que un rayo es el peor caso de una corriente a tierra.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REGÍMENES DE CONEXIÓN A TIERRA





Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra

Instalaciones aéreas		10 Ω o menos
Pararrayos		10 Ω o menos
Instalaciones subterráneas		5 Ω o menos
Equipos Sensibles	Normal	5 Ω o menos
	Idóneo (no ideal)	3 Ω o menos

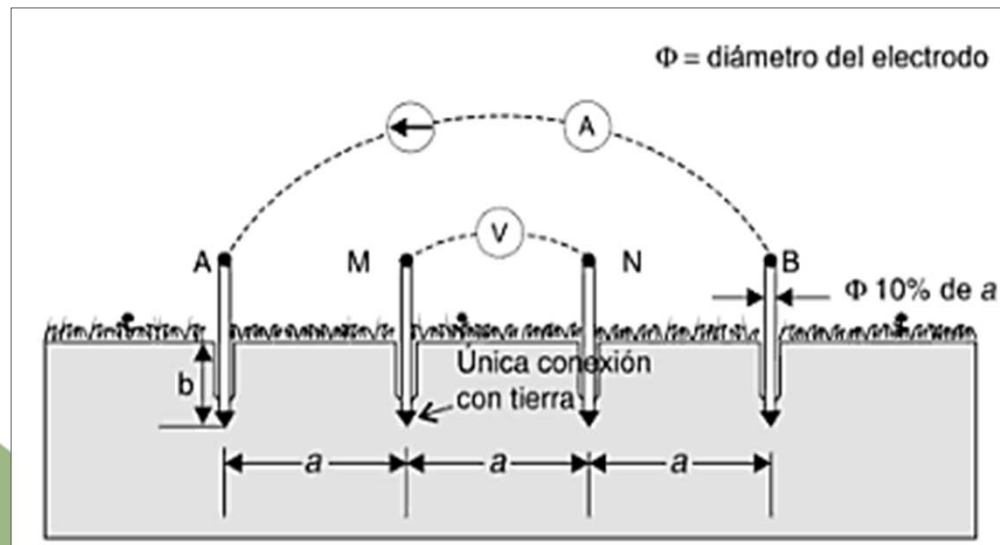


MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

MÉTODO DE WENNER

El método consiste en ubicar todos los electrodos en línea recta e igualmente espaciados. En este sondeo se deben separar progresivamente los electrodos de corriente y de tensión. Con respecto a un punto central fijo denominado punto de máxima exploración. Para el cálculo de la resistividad aparente del suelo, se utiliza la fórmula:

$$\rho_a = 2\pi aR$$



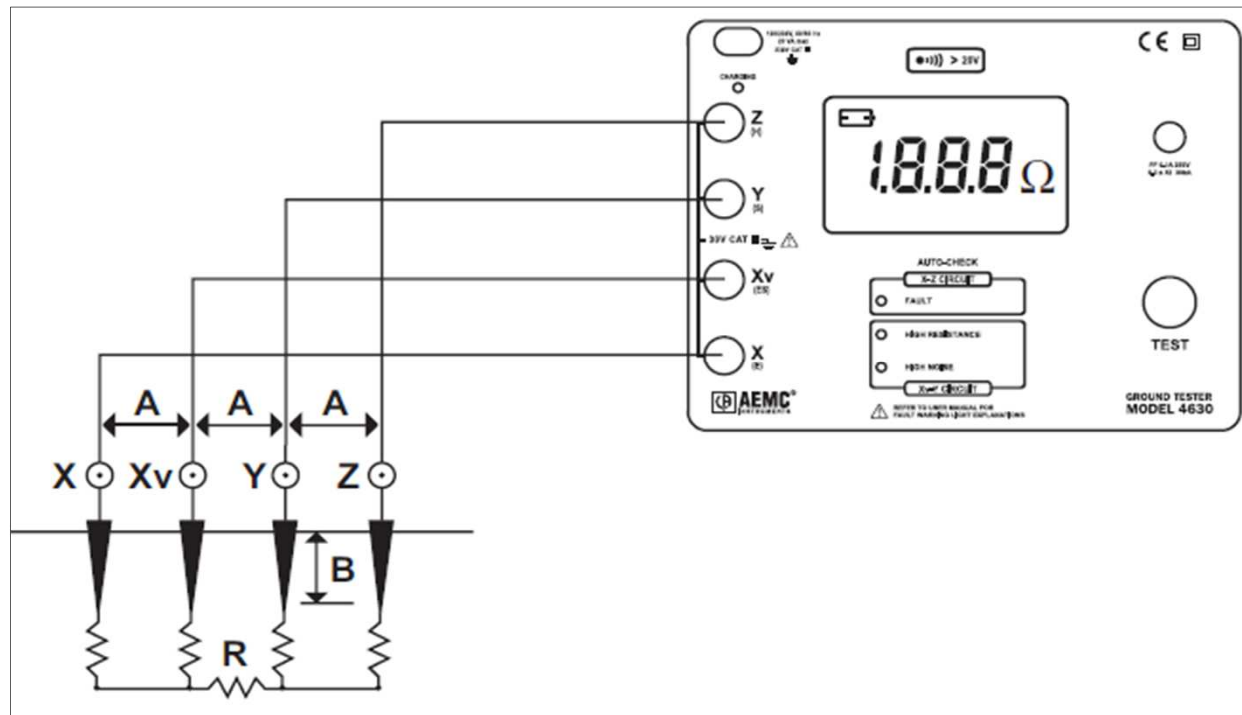
Esquema del método de Wenner



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

LECTURA DEL EQUIPO APLICANDO EL METODO DE WENER





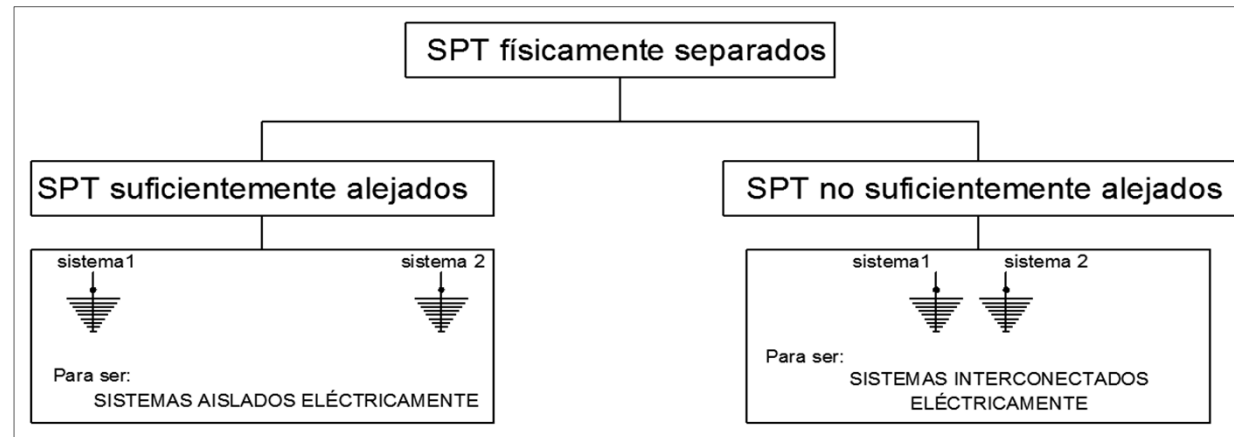
FACTORES NATURALES DEL TERRENO QUE INFLUYEN EN LA PUESTA A TIERRA

Corrosión Vs. Resistividad

Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$	Terrenos
0-900	Altamente corrosivos
900-5,000	Severamente corrosivos
5,000-10,000	Moderadamente corrosivos
10,000-20,000	Ligeramente corrosivos
>20,000	Muy poco corrosivos



SISTEMAS DE TIERRA FÍSICAMENTE SEPARADOS



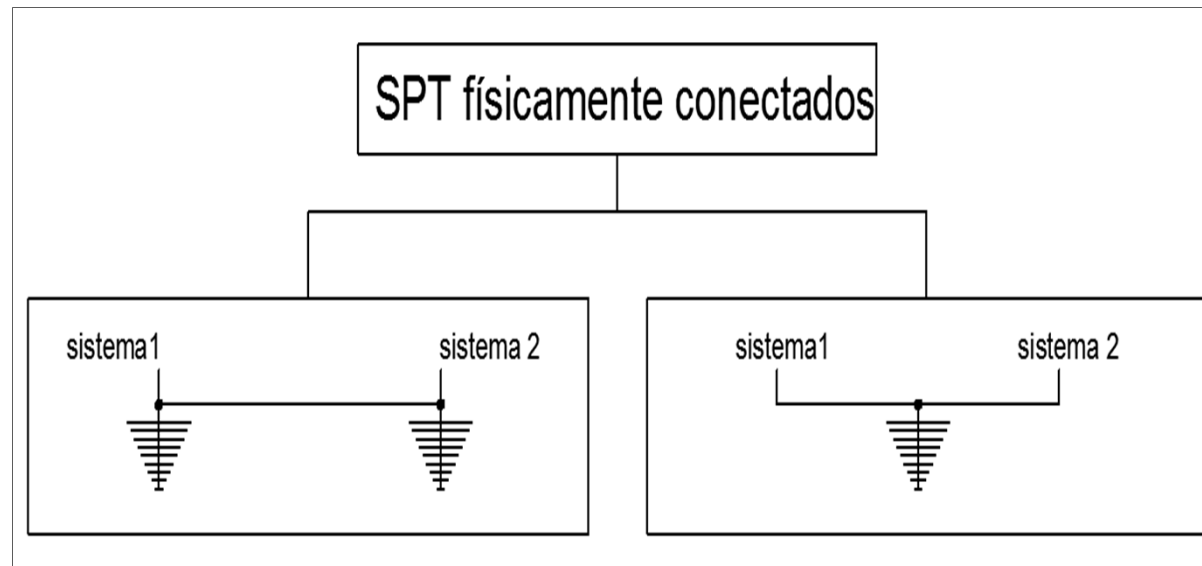
Por cuestiones de equipotencialidad la figura presenta dos opciones inválidas según la normativa IEEE. Pero se puede elegir cualquiera de estas por otros factores como el espacio disponible (área de terreno y dimensiones de la malla), valores máximos de corriente a disipar a tierra, resistividad del terreno, niveles de tensión soportables del equipo a proteger, etc.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMAS DE TIERRA FÍSICAMENTE CONECTADOS





ESPE

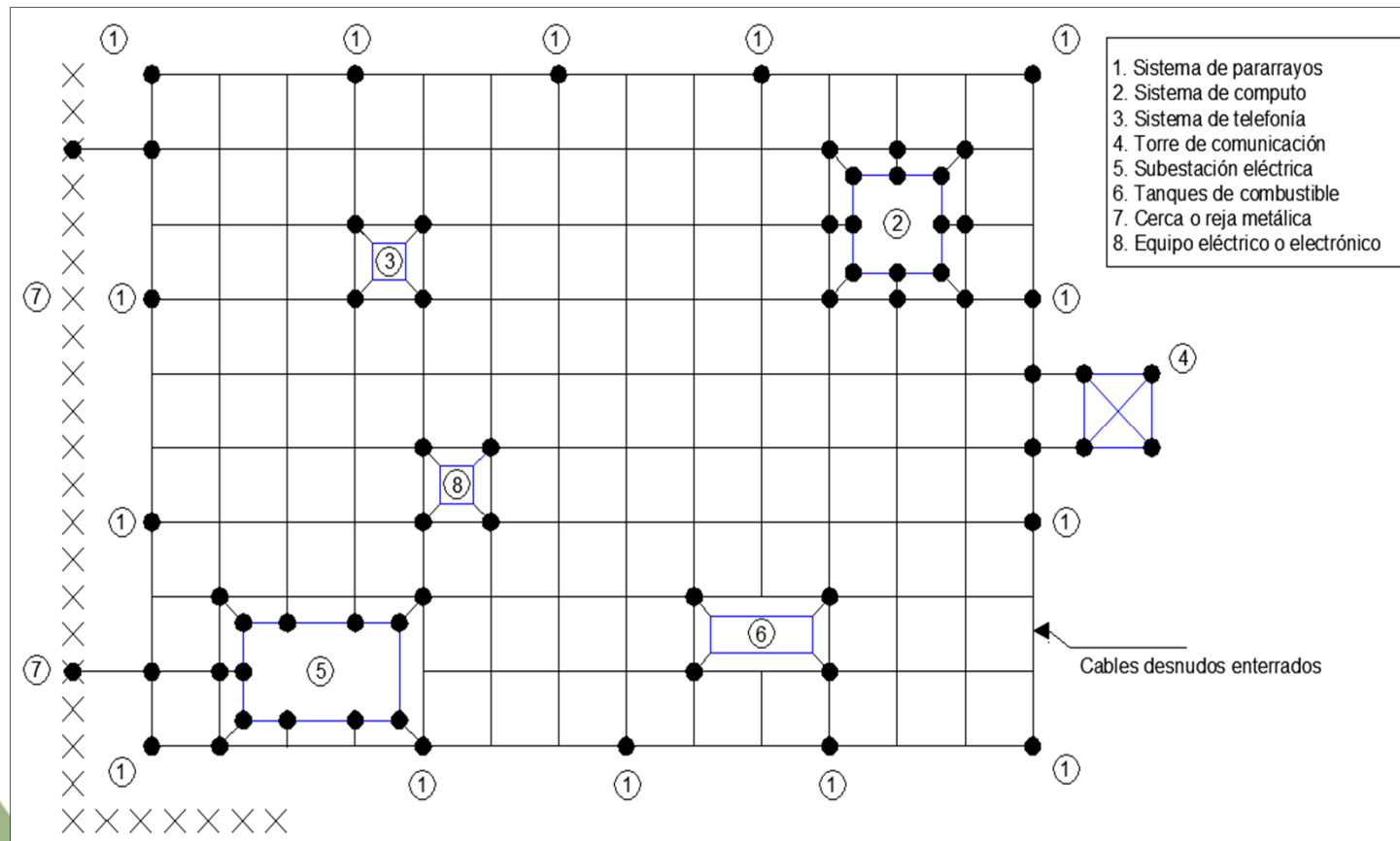
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VENTAJAS DE UNIR LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

- Reducir el valor de la resistencia de puesta a tierra como resultado de la resistencia equivalente
- Reducir la tensión de falla en el sistema de tierra
- Reducir el gradiente de potencial en el área cercana a los electrodos o sistemas de tierra.
- Limitar las diferencias de potencial entre ellos y sus sistemas asociados, logrando un punto o área equipotencial
- Evitar tensiones peligrosas transferidas entre electrodos o sistemas de tierra
- Obtener una respuesta más rápida de los equipos de protección
- Obtener una red de tierra más segura y confiable
- Lograr una red más extensa y posiblemente con un número mayor de electrodos.



SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN CON INTERCONEXIÓN DE SUS DIFERENTES SPT





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEFINICIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (SPCR)

Es un sistema completo que permite proteger una estructura contra los efectos del rayo. Consta de un sistema externo y de un sistema interno de protección contra el rayo. En casos particulares, un SPCR podrá estar formado solamente por un sistema externo o por un sistema interno:

- **Sistema Externo:** Comprende un dispositivo captor (terminal aéreo), las bajadas y un sistema de puesta a tierra.
- **Sistema Interno:** Comprende todos los dispositivos complementarios al sistema externo, con el objeto de reducir los efectos electromagnéticos (voltajes inducidos) de la corriente de rayo dentro del espacio a proteger.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE LA INCIDENCIA DE DESCARGA O RIESGO DE EXPOSICIÓN EN UNA INSTALACIÓN

NIVEL ISOCERÁUNICO (NISO)

Indica el número de días de tormenta por año que se puede dar en una determinada zona geográfica. Este método utiliza los servicios meteorológicos, los mismos que disponen de mapas isoceráunicos.

La probabilidad máxima de un día de tormenta es:

$$\text{NISO} / 365.$$



ÍNDICE DE RIESGO

Referente a la instalación de pararrayos establece el procedimiento para obtener el índice de riesgo, el cual se obtiene mediante la suma: $a + b + c$. Cuando el índice de riesgo es mayor que 27 entonces se precisa la instalación de pararrayos.

- El coeficiente a está dado por el tipo de estructura y la altura del edificio
- El coeficiente b depende de la zona geográfica donde se ubica el edificio
- El coeficiente c está dado por el lugar donde se encuentra ubicado el edificio



APANTALLAMIENTO ELÉCTRICO TIPO FRANKLIN

El rango de atracción de un pararrayos es la distancia sobre la cual un pararrayos sencillo vertical de una altura dada sobre un plano limpio, atrae una descarga atmosférica. El espacio protegido por tal dispositivo define el lugar en que la construcción no suele ser afectada por una descarga directa.

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos.



MÉTODOS PARA MARCAR LA ZONA A PROTEGER CON UN PARARRAYOS

- Estos métodos principalmente del ángulo de protección seleccionado

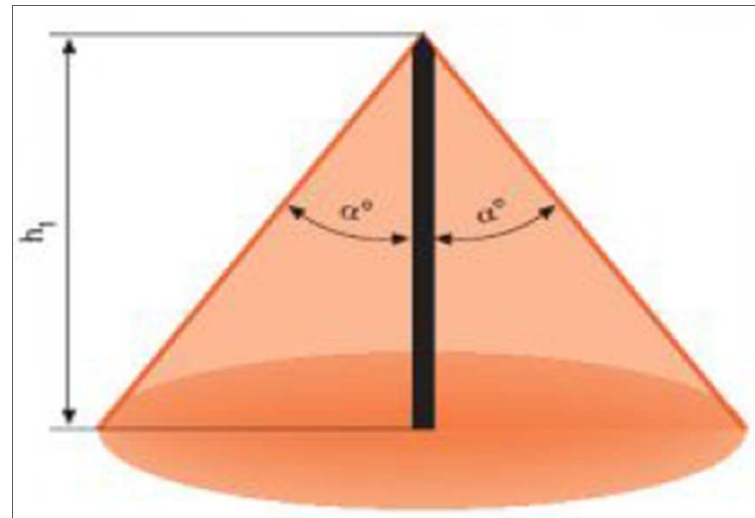


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- **CONO DE PROTECCIÓN**

La limitación que presenta este concepto es cuando se aplica a estructuras muy elevadas, pues hace pensar en la existencia de volúmenes de protección muy grandes, ya que la zona estimada es función de la altura de la estructura del pararrayo (torre).



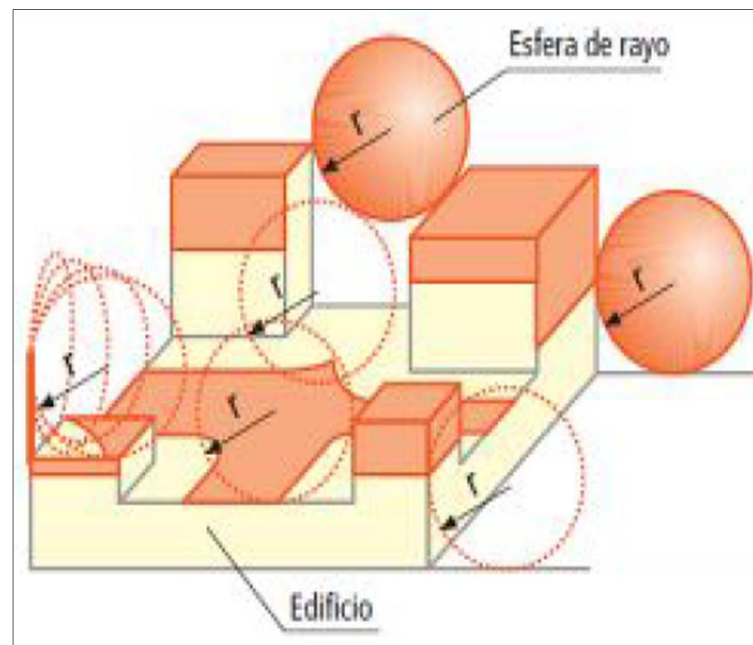


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- **ESFERA RODANTE**

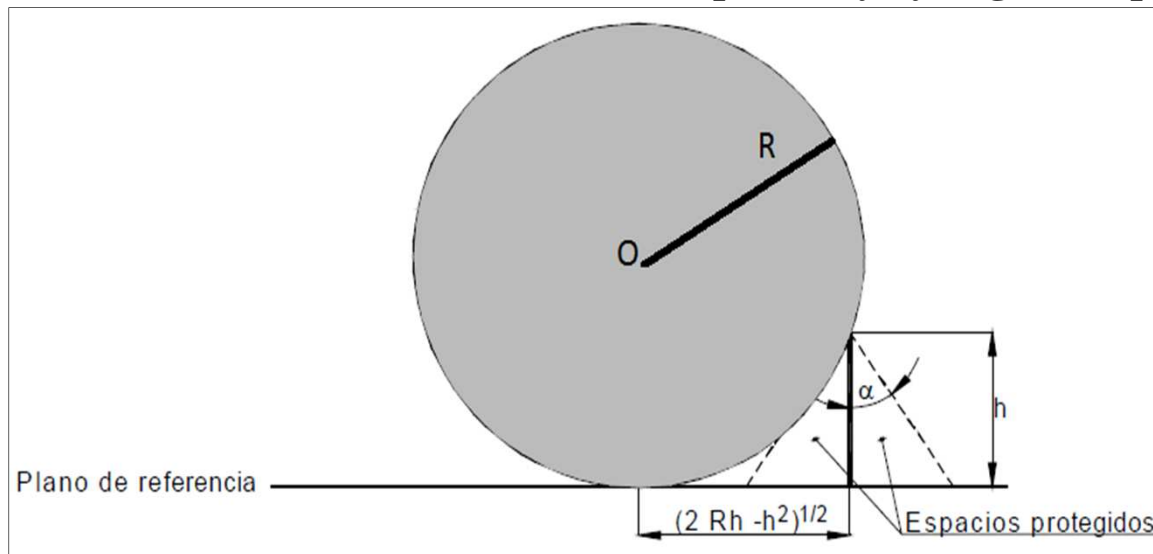
El método de la esfera rodante se utiliza para establecer el área de protección de las puntas Faraday. Este consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra, capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo. La esfera imaginaria debe rodarse (desde el nivel de la tierra) hacia la estructura a proteger e instalar una terminal aérea en el punto de contacto con la estructura.



Colocación del dispositivo captor en función del nivel de Protección

Nivel de Protección	Métodos de protección		
	Esfera Rodante (m)	Mallas (m)	Ángulo de protección
I	20	5x15	Ver Figura 2. 23
II	30	10x10	
III	45	15x15	
IV	60	20x20	

Figura 2. 23: Radio de la esfera rodante, altura del pararrayo y ángulo de protección





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RECOLPILACIÓN DE DATOS DE DISEÑO



LEVANTAMIENTO DE DIAGRAMAS Y PLANOS DEL CAMPUS

La información aquí presentada se adquirió en base a fuentes como: El informe de instalaciones eléctricas de la empresa E.V. Ingeniería eléctrica presentado a ELEPCO S.A. para su aprobación, además de diagramas y planos de la institución presentados al final en varios anexos.

Distribución de potencia del bloque de aulas A-B

Carga	Tablero	Potencia(KVA)
Regulador1 90 KVA	TP-1	55,49
Regulador2 90 KVA	TP-2	55,49
Regulador1 40 KVA	TP-3	21,22
Regulador2 40 KVA	TP-4	20,53
Climatización bloque B	TD-B AC	26,57
Climatización bloque A	TD-A AC	26,57
UPS2 15 KVA	TDR-CM	16,88
UPS1 80 KVA	TDP-R	81,74
Ascensores		8,95
Transformador CT-06 / 300 KVA (Aulas bloque A-B)		313,87



Distribución de potencia de la Biblioteca

Carga	Tablero	Potencia(KVA)
	TD-01I	11,73
Regulador	TP-T	53,25
UPS	TDR-01	15,05
	TD-AC3	6,09
	TD-AC2	4,83
	TD-AC1	14,52
Transformador CT-07 / 75 KVA (Biblioteca)		105,47

Distribución de potencia de las Residencias

Carga	Tablero	Potencia(KVA)
	TP-I	19,90
Regulador	TP-R	109,29
UPS	TDR-PB	10,74
	TD-A AC	4,21
	TD-B AC	4,21
	TD-ASC 1	3,14
	TD-ASC 2	6,28
Transformador CT-08 / 150 KVA (Residencias)		157,80



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DIAGRAMAS UNIFILARES Y PLANOS DEL PROYECTO ESPE - CAMPUS GRAL. RODRÍGUEZ LARA

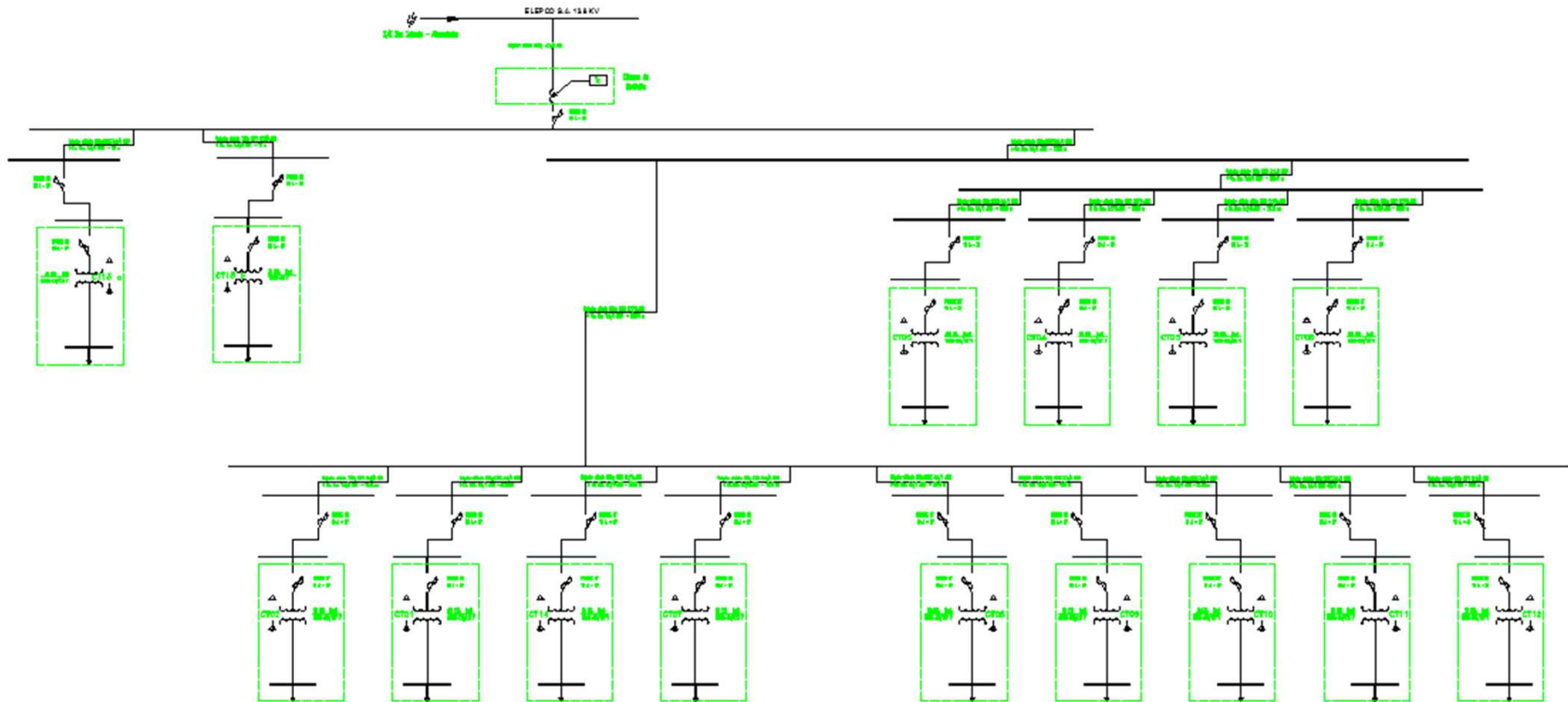
- **DIAGRAMA UNIFILAR DE MEDIA TENSIÓN (ANEXO A)**
- **DIAGRAMAS UNIFILARES DE BAJA TENSIÓN (ANEXO B)**
- **ESQUEMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO (ANEXO C)**
- **PLANO TOPOGRÁFICO (ANEXO D)**
- **PLANO DE REFERENCIAS PARA MEDICIONES (ANEXO E)**
- **VISTAS - EDIFICACIONES (ANEXO F)**



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVATION PARA LA EXCELENCIA

DIAGRAMA UNIFILAR DE MEDIA TENSIÓN (ANEXO A)

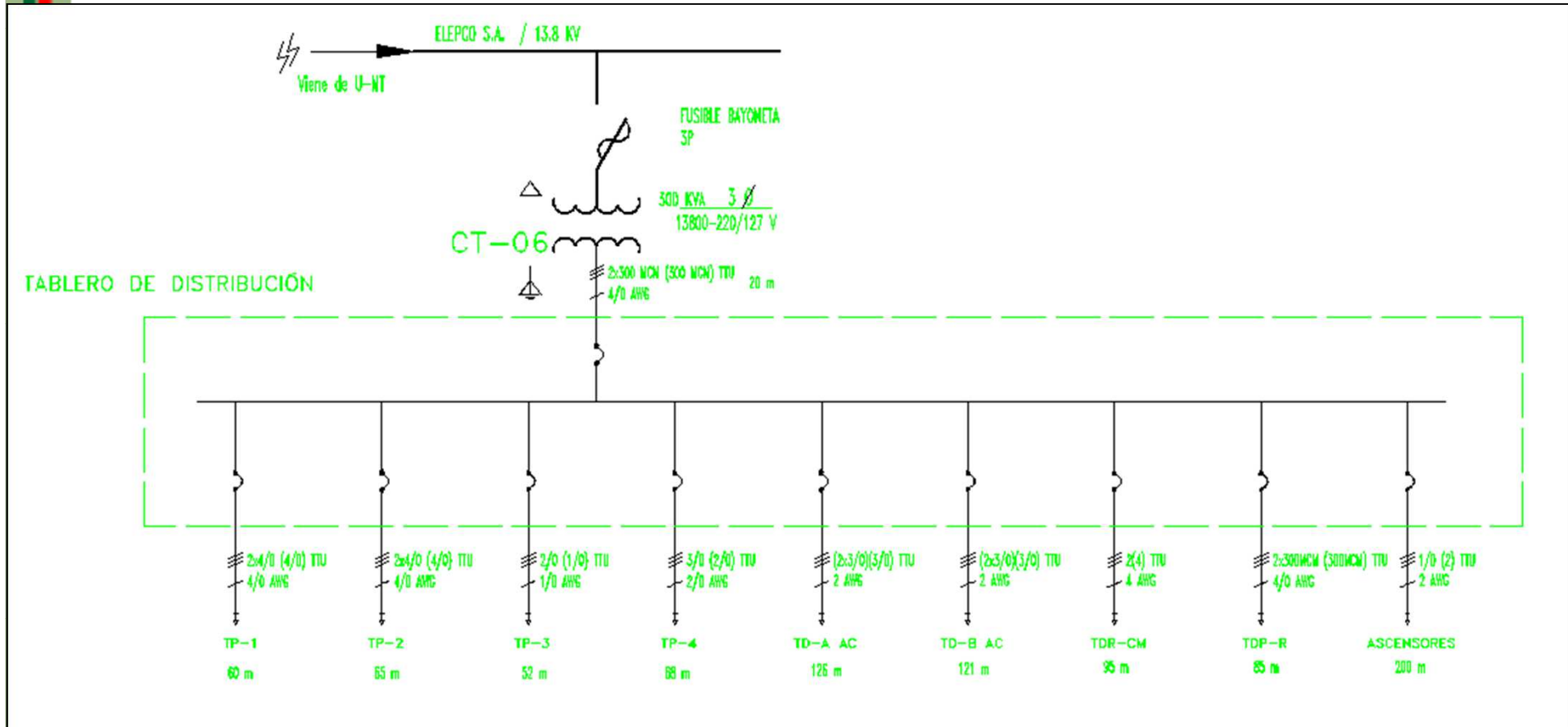




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN Y CALIDAD EN EL APRENDIZAJE

Anexo B (Bloque de aulas -06)

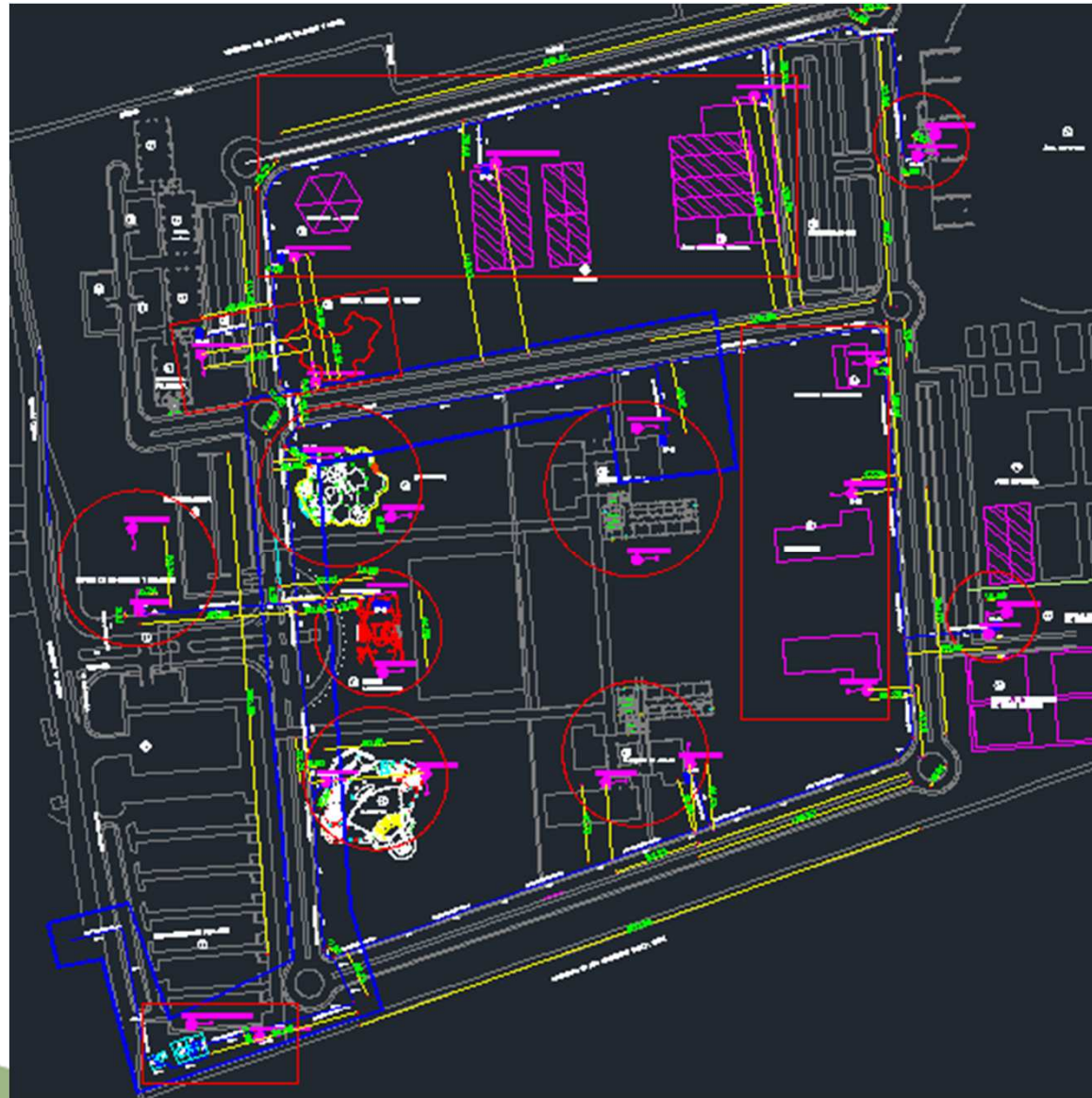




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA DEFENSA

PLANO DE REFERENCIAS PARA MEDICIONES (ANEXO E)

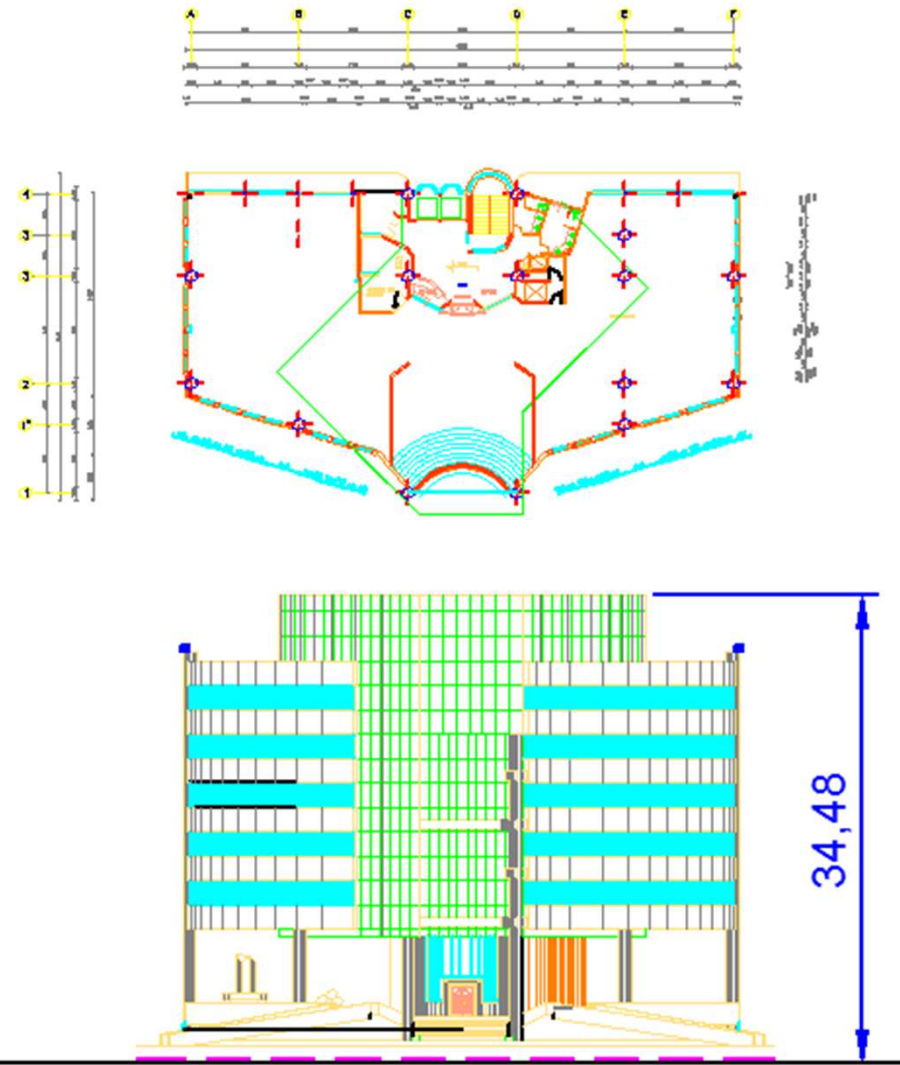




ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VISTAS - EDIFICACIONES (ANEXO F)

Edificio administrativo como ejemplo





DATOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN

Si no se tiene el valor $Z\%$ del transformador se debe utilizar la siguiente tabla:

Impedancias porcentuales típicas de los transformadores de acuerdo a su potencia nominal

Rango de potencia (KVA)	Z%
$5 \leq S_T \leq 100$	3,5
$100 < S_T \leq 400$	4,0
$400 < S_T \leq 1000$	4,6
$S_T > 1000$	5,0



Características técnicas del Sistema eléctrico

SISTEMA	Transformador	Potencia (KVA)	Vin (V)	Vout (V)	Z%
TRANSFORMACIÓN DE MEDIA TENSIÓN A BAJA TENSIÓN	CT-01	100	13800	127/220	3,5
	CT-02	75	13800	127/220	3,5
	CT-03	200	13800	127/220	4
	CT-04	30	13800	127/220	3,5
	CT-05	100	13800	127/220	3,5
	CT-06	300	13800	127/220	4
	CT-07	75	13800	127/220	3,5
	CT-08	150	13800	127/220	4
	CT-09	30	13800	127/220	3,5
	CT-10	50	13800	127/220	3,5
TRANSFORMACIÓN DE MEDIA TENSIÓN A BAJA TENSIÓN	CT-11	30	13800	127/220	3,5
	CT-12	30	13800	127/220	3,5
	CT-13a	45	13800	127/220	3,5
	CT-13b	30	13800	440	3,5
	CT-14	30	13800	127/220	3,5
GRUPO MOTOR GENERADOR	TE	1200	440	13800	5

DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA DE LOS TRANSFORMADORES A LAS DIFERENTES DEPENDENCIAS, TIPOS DE PUESTAS A TIERRA NECESARIAS

TABLA 3.6: Abastecimiento de las dependencias (Necesidad de SPT y apantallamientos eléctricos contra descargas atmosféricas)

N°	Ubicación	Tipos de sistemas de puesta a tierra			
		TS	TP	TE	TR
		Potencias para el diseño de los SPT (KVA)			Edificio a apantallar
1	Centro de transformación N° 1	100			
	Edificio administrativo		100	100	EDIFICIO ADMINISTRATIVO
2	Centro de transformación N° 2	75			
	Casino		75		
	Postgrados				AUDITORIO
3	Centro de transformación N° 3	200			
a	Bloque de aulas C		200	IGUAL A TE 6	AULAS BLOQUES C Y D
b	Bloque de aulas D				
4	Centro de transformación N° 4	30			
a	Aguas servidas		30		AGUAS SERVIDAS
b	Desechos sólidos			DESECHOS SÓLIDOS	
5	Centro de transformación N° 5	100			
a	Laboratorios		100	19,21	LABORATORIOS BLOQUE A
b	Laboratorios mecánica				
c	Laboratorios electrónica			47,21	LABORATORIOS BLOQUE B
d	Servicios universitarios				SERV. UNIVERSITARIOS

TABLA 3.6: Abastecimiento de las dependencias (Necesidad de SPT y apantallamientos eléctricos contra descargas atmosféricas)

N°	Ubicación	Tipos de sistemas de puesta a tierra			
		TS	TP	TE	TR
		Potencias para el diseño de los SPT (KVA)			Edificio a apantallar
6	Centro de transformación N°6	300			
a	Bloque de aulas A		300	UPS 1(15) UPS 2(80)	AULAS BLOQUES A Y B
b	Bloque de aulas B				
7	Centro de transformación N°7	75			
	Biblioteca		75	UPS(15,05)	BIBLIOTECA
8	Centro de transformación N° 8	150			
a	Residencias		150	UPS(10,74)	RESIDENCIAS BLOQUE B RESIDENCIAS BLOQUE D
b	Residencias bloque B				
c	Residencias bloque D				
9	Centro de transformación N° 9	30			
a	Cocina, bodega, fogón		30		COMEDOR-COCINA
b	Edificio MED				
c	Sistema integrado de salud				S. INTEGRADO DE SALUD
10	Centro de transformación N° 10	50			
	Metalurgia (Talleres)		50		TALLERES
11	Centro de transformación N° 11	30			
	Coliseo gimnasio		30		COLISEO-GIMNASIO
12	Centro de transformación N° 12	30			
	Área deportiva descubierta				
13	Centro de transformación N° 13 a				
	Sistema de bombeo de agua	45			
	Centro de transformación N° 13 b				
	Bomba electro sumergible	30			

TABLA 3.6: Abastecimiento de las dependencias (Necesidad de SPT y apantallamientos eléctricos contra descargas atmosféricas)

N°	Ubicación	Tipos de sistemas de puesta a tierra			
		TS	TP	TE	TR
		Potencias para el diseño de los SPT (KVA)			Edificio a apantallar
14	Centro de transformación N°14	30			
	a) Bar, banco, librería, aulas		30		
	b) Servicios				
15	Grupo motor Generador y TE		120 0		CASETA DE GENERADOR



Datos obtenidos en las mediciones

Referencias: Anexo E	a: Separación entre electrodos	R: Lectura 1 (Ω)	R: Lectura 2 (Ω)	Resistencia seleccionada (Ω)	Resistividad (Ωm)
1. (CT-01)	4	0,95	0,74	0,950	23,88
2. (CT-02)	4	1,32	0,72	1,320	33,18
3. (CT-03)	4	0,95	0,73	0,950	23,88
4. (CT-04)	4	1,2	1,87	1,870	47,00
5. (CT-05)	4	0,8	1,4	1,400	35,19
6. (CT-06)	4	1,19	1,33	1,330	33,43
7. (CT-07)	4	1,25	1,32	1,320	33,18
8. (CT-08) y 9c. (S. I. de Salud)	4	0,95	2,12	2,120	53,28
9. (CT-09), 10 (CT-10) y 11. (CT-11)	4	1,1	0,89	1,100	27,65
12. (CT-12)	4	1,71	1,23	1,710	42,98
13(CT-13), Generador Y TE	4	1,52	1,47	1,520	38,20
14(CT-14)	4	1,72	2,8	2,800	70,37
Resistividad Promedio del Campus					38,52



DISEÑO DE LA MALLA A TIERRA PARA LA CÁMARA CT-03 (PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN) Metodología IEEE-Std. 80

1. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ASIMÉTRICA TRIFÁSICA ($I_{CC.S3\emptyset.}$)

La corriente de corto circuito asimétrica trifásica es la mayor corriente de cortocircuito a disipar, su valor sirve para dimensionar el calibre del conductor y su fórmula es:

$$I_{CC.AS.3\emptyset.} = D_f * I_{CC.S3\emptyset.}$$

D_f

$$I_{CC.S3\emptyset.} = \frac{V_{BV}}{\sqrt{3} * (Z_T + Z_{LF} + R_F)} \longrightarrow I_{CC.S3\emptyset.} = \frac{V_{BV}}{\sqrt{3} * (Z_T)} \longrightarrow I_{CC.S3\emptyset.} = \frac{100 * S}{\sqrt{3} * V_{BV} * Z\%}$$

$$Z_T = \frac{Z\%}{100} * \frac{V_{BV}^2}{S}$$



D_f

El valor D_f esta dado en la Tabla 2. 2, para un tiempo estimado de 0,1 segundos en estado de corto circuito transiente y por una relación aproximada $X/R=20$.

Tabla 2. 2: Valores típicos de D_f
Fuente: IEEE Standard 80 - 2000

Duración de la falla, t_f		Factor de decremento, D_f			
Segundos	Ciclos a 60 Hz	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

$$D_f = 1,232$$



$$I_{CC.S3\emptyset} = \frac{100 * S}{\sqrt{3} * V_{BV} * Z\%}$$

Características técnicas del Sistema eléctrico

Transformador	Potencia (KVA)	Vin (V)	Vout (V)	Z%
CT-03	200	13800	127/220	4

$$I_{CC.S3\emptyset} = \frac{100 * 200000}{\sqrt{3} * 220 * 4}$$

$$I_{CC.S3\emptyset} = 13121,60 \text{ A}$$

$$I_{CC.AS.3\emptyset} = D_f * I_{CC.S3\emptyset}$$

$$I_{CC.AS.3\emptyset} = 1,232 * 13121,60$$

$$I_{CC.AS.3\emptyset} = 16165,81 \text{ A}$$

Para posteriores cálculos es necesario conocer también $I_{\emptyset T}$.

$$I_{\emptyset T} = \frac{\sqrt{3} * V_{BV}}{V_{AV}} * I_{CC.S3\emptyset}$$

$$I_{\emptyset T} = \frac{\sqrt{3} * 220}{13800} * 13121,60$$

$$I_{\emptyset T} = 362,32 \text{ A}$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

2. CÁLCULO DEL AREA DEL CONDUCTOR PARA LA MALLA

Según la normativa se puede utilizar la siguiente ecuación simplificada:

$$A_{Kcmil.} = \frac{I_{CC.AS.3\emptyset.}}{1000} * K_f * \sqrt{t_f}$$

El conductor utilizado será de cobre duro y para la construcción de la malla se utilizará soldadura exotérmica.

Tabla 2. 8: Constantes para los materiales de los conductores

Fuente: IEEE Standard 80-2000

Material	Conductividad (%)	Temperatura de fusión Tm (o C)	k_f
Cobre blando	100,0	1083	7,00
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97,0	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conexiones mecánicas a presión	97,0	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40,0	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30,0	1084	12,06
Varilla de acero recubierta de cobre	20,0	1084	14,64
Aluminio calidad EC	61,0	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de aluminio revestido en acero	20,3	657	17,20
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero galvanizado	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de zinc	8,6	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

$$K_f = 7,06$$

$$t_f = 0,5 \longrightarrow \text{Por diseño}$$



$$A_{Kcmil.} = 16,16581 * 7,06 * \sqrt{0,5} \rightarrow A_{Kcmil.} = 80,72 Kcmil.$$

Como un $Kcmil.$ equivale a $0,507 mm^2$, el área será: $A_{mm^2} = 40,92 mm^2$

TIPO	CALIBRE	ÁREA	CONSTRUCCIÓN				DIÁM COND APROX	PESO Total APROX	RESISTEN- CIA Eléctrica A20 °C
			#	DIÁMETRO					
				H	MIN	NOM				MAX
AWG	mm ²	#	mm	mm	mm	mm	Kg/Km	Ω/Km	
SOLIDO-D	30	0,05	1	0,25	0,25	0,26	0,25	0,45	340,26
SOLIDO-D	28	0,08	1	0,32	0,32	0,32	0,32	0,71	214,37
SOLIDO-D	26	0,13	1	0,40	0,40	0,41	0,40	1,14	134,50
SOLIDO-D	24	0,21	1	0,51	0,51	0,52	0,51	1,82	84,07
SOLIDO-D	23	0,26	1	0,57	0,57	0,58	0,57	2,30	66,63
SOLIDO-D	22	0,32	1	0,64	0,64	0,65	0,64	2,89	53,09
SOLIDO-D	20	0,52	1	0,80	0,81	0,82	0,81	4,62	33,21
SOLIDO-D	18	0,82	1	1,01	1,02	1,03	1,02	7,32	20,93
SOLIDO-D	16	1,31	1	1,28	1,29	1,30	1,29	11,62	13,19
SOLIDO-D	14	2,08	1	1,61	1,63	1,64	1,63	18,51	8,28
SOLIDO-D	12	3,31	1	2,03	2,05	2,07	2,05	29,40	5,21
SOLIDO-D	10	5,26	1	2,56	2,59	2,61	2,59	46,76	3,28
SOLIDO-D	8	8,37	1	3,23	3,26	3,30	3,26	74,39	2,06
SOLIDO-D	6	13,30	1	4,07	4,12	4,16	4,12	118,23	1,30
CABLE-D	8	8,37	7	1,22	1,23	1,25	3,70	75,91	2,09
CABLE-D	6	13,30	7	1,54	1,55	1,57	4,66	120,39	1,32
CABLE-D	4	21,14	7	1,94	1,96	1,98	5,88	191,71	0,83
CABLE-D	2	33,65	7	2,45	2,47	2,50	7,42	305,13	0,52
CABLE-D	1/0	53,42	19	1,87	1,89	1,91	9,26	484,38	0,33
CABLE-D	2/0	67,45	19	2,10	2,13	2,15	10,63	611,61	0,26
CABLE-D	3/0	85,10	19	2,36	2,39	2,41	11,94	771,64	0,21
CABLE-D	4/0	107,18	19	2,65	2,68	2,71	13,40	971,89	0,16

El conductor seleccionado es el 1/0 y sus parámetros para el resto de cálculos son:

$$A_C = 53,42 mm^2$$

$$d = 0,00926 m$$

Mínimo Normativa nacional

Seleccionado por normativa nacional

Mínimo IEEE Std. 80



3. CÁLCULO DEL VOLTAJE DE PASO Y DE CONTACTO (V_{P70} Y V_{C70})

Fórmulas empleadas para el cálculo del voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 kg. (Con capa superficial)

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_f}} \quad V_{C70} = \frac{(1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * 0,157}{\sqrt{t_f}}$$

Coefficiente en función del terreno y la capa superficial

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 * h_s + 0,09}$$

Fórmulas empleadas para el cálculo del voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 kg. (Sin capa superficial)

$$\begin{aligned} h_s &= 0 \rightarrow C_s = 1 \\ \rho_s &= \rho \end{aligned}$$

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 * 1 * \rho) * 0,157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{C70} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * \rho) * 0,157}{\sqrt{t_f}}$$



Datos obtenidos en las mediciones

Referencias: Anexo E	a: Separación entre electrodos	R: Lectura 1 (Ω)	R: Lectura 2 (Ω)	Resistencia seleccionada (Ω)	Resistividad (Ωm)
3. (CT-03)	4	0,95	0,73	0,950	23,88

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 * 1 * \rho) * 0,157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 * 1 * 23,88) * 0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$V_{P70} = 253,84 \text{ V}$$

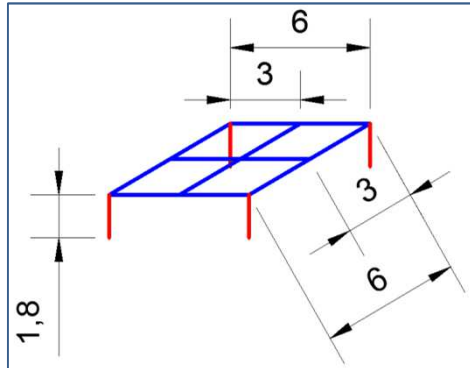
$$V_{C70} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * \rho) * 0,157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{C70} = \frac{(1000 + 1,5 * 1 * 23,88) * 0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$V_{C70} = 229,98 \text{ V}$$



4. DETERMINACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN INICIAL DE LA MALLA



- $n_{cy} = 3$
- $n_{cx} = 3$
- $L_y = 6\text{m}$
- $L_x = 6\text{m}$
- $D = 3\text{m}$
- $N_V = 4$
- $L_V = 1,8\text{m}$

$$A = L_y * L_x \quad A = 6 * 6$$
$$A = 36 \text{ m}^2$$

Dimensiones elegidas para el área de la malla (m)

Sin varillas

$$L_T = L_C$$

$$L_P = (L_x * 2) + (L_y * 2)$$

Con varillas

$$L_T = L_C + L_R$$

$$L_C = n_{cy}L_y + n_{cx}L_x \longrightarrow L_C = (3 * 6) + (3 * 6)$$
$$L_C = 36 \text{ m}$$

L Conductor de malla

$$L_R = N_V * L_V \longrightarrow L_R = 4 * 1,8$$
$$L_R = 7,2$$

L Varillas de malla

$$L_T = 36 + 7,2$$
$$L_T = 43,2 \text{ m}$$

$$L_P = (6 * 2) + (6 * 2)$$
$$L_P = 24 \text{ m}$$



5. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (R_g)

$$R_g = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$R_g = 23,88 * \left[\frac{1}{43,2} + \frac{1}{\sqrt{20 * 36}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,6 * \sqrt{20/36}} \right) \right]$$

$$R_g = 2,06 \Omega \quad \checkmark \text{ correcto}$$

Valores recomendados de resistencia de puesta a tierra

Instalaciones subterráneas	5 Ω o menos
----------------------------	--------------------



6. CÁLCULO DE LA CORRIENTE MÁXIMA DE MALLA (I_G)

$$I_G = D_f * S_f * I_{\phi T.}$$

Considerando el sistema de distribución y que el lugar donde sucede la falla es en la salida del secundario del transformador se estima Z_{eq} que es la impedancia equivalente del sistema según la tabla **Table C.1. de la IEEE Std. 80 – 2000 pág. 151**

$$S_f = \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_m}$$

$$S_f = \frac{(6,57 + j1.17) \Omega}{(6,57 + j1.17) \Omega + 5 \Omega}$$

$$S_f = 0,6$$

El factor de división de corriente (S_f) es la relación que expresa la corriente que debe disipar la malla de tierra y la corriente total que disiparán tanto la conexión a tierra de los transformadores, los cables de guarda y la malla de tierra como el resto de las mallas.



7. CÁLCULO MÁXIMO DEL POTENCIAL DE TIERRA (GPR)

Aumento de potencial de tierra

$$GPR = I_G * R_g$$

$$GPR = 267,83 * 2,06$$

$$GPR = 551,10 \text{ V}$$

Nota: Si $GPR > V_{C70}$ entonces deben calcularse las tensiones de malla y de paso en caso de falla, para determinar si se cumplen las condiciones 1 y 2 mostradas las próximas líneas de este diseño.

Como $551,10 \text{ V} > 229,98 \text{ V}$ se procede a calcular los voltajes de la malla y el voltaje de piso tolerable para una persona.

8. CÁLCULO DEL VOLTAJE DE MALLA (V_m)

$$V_m = \frac{\beta * I_G * k_m * k_i}{L_c + \left[\left[1,55 + \left(1,22 * \left(\frac{L_V}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right) \right] * N * L_V \right]}$$



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

$$k_i = 0,644 + (0,148 * n)$$

Factor de corrección por geometría de malla

$$n_a = \frac{2 * L_C}{L_P} \longrightarrow n_a = \frac{2 * 36}{24}$$

$$n_a = 3$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4 * \sqrt{A}}} \longrightarrow n_b = \sqrt{\frac{24}{4 * \sqrt{36}}}$$

$$n_b = 1$$

$$n_c = \left(\frac{L_y * L_x}{A} \right)^{\frac{0,7 * A}{L_y * L_x}} \longrightarrow n_c = \left(\frac{6 * 6}{36} \right)^{\frac{0,7 * 36}{6 * 6}}$$

$$n_c = 1$$

Factores geométricos de malla

$$n = n_a * n_b * n_c = 3$$

$$k_i = 0,644 + (0,148 * 3) = 1,09$$



$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16 * h * d} + \frac{(D + (2 * h))^2}{8 * D * d} + \frac{h}{4 * d} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} * \ln \left(\frac{8}{\pi * ((2 * n) - 1)} \right) \right]$$

K_{ii}	Factor de corrección por efectos en las esquinas de la malla (por ubicación de los electrodos)
K_h	Factor de corrección por la profundidad de enterramiento de la malla
K_m	Factor de espaciamiento para voltaje de malla

Si no existiesen varillas verticales a lo largo del perímetro de la malla $\rightarrow k_{ii} = \frac{1}{(2 * n)^{2/n}}$

Con varillas verticales a lo largo del perímetro de la malla $\rightarrow k_{ii} = 1$

$k_h = \sqrt{1 + h/h_0}$ \rightarrow Profundidad de referencia

$$k_h = \sqrt{1 + 0,6/1} \quad h_0 = 1$$
$$k_h = 1,26$$

$$k_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{3^2}{16 * 0,6 * 0,00926} + \frac{(3 + (2 * 0,6))^2}{8 * 3 * 0,00926} + \frac{0,6}{4 * 0,00926} \right) + \frac{1}{1,26} * \ln \left(\frac{8}{\pi * ((2 * 3) - 1)} \right) \right] = 0,76$$



$$V_m = \frac{\beta * I_G * k_m * k_i}{L_c + \left[\left[1,55 + \left(1,22 * \left(\frac{L_V}{\sqrt{L_1^2 + L_2^2}} \right) \right) \right] * N * L_V \right]}$$

$$V_m = \frac{23,88 * 267,83 * 0,76 * 1,09}{36 + \left[\left[1,55 + \left(1,22 * \left(\frac{1,8}{\sqrt{6^2 + 6^2}} \right) \right) \right] * 4 * 1,8 \right]}$$

$$V_m = 107,20 \text{ V}$$

Condición 1 del diseño

Si $V_m > V_{C70}$, Se debe cambiar la configuración de la malla

Si $V_m < V_{C70}$, Se debe pasar a calcular la tensión de paso en caso de falla.

Como $107,20 < 229,98 \text{ V}$ se procede a calcular el voltaje de paso en caso de falla



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

9. CÁLCULO DEL VOLTAJE DE PASO EN CASO DE FALLA O VOLTAJE DE PISO (V_S)

$$V_S = \frac{\beta * I_G * k_S * k_i}{0,75 * L_C + 0,85 * L_R}$$

→ Factor de espaciamento para voltaje de paso

→ L_S

Longitud efectiva de $L_C + L_R$ por voltaje de paso

$$k_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \left(\frac{1}{D} * (1 - 0,5^{n-2}) \right) \right]$$

$$k_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,6} + \frac{1}{3 + 0,6} + \left(\frac{1}{3} * (1 - 0,5^{3-2}) \right) \right]$$

$$k_S = 0,41$$

$$V_S = \frac{23,88 * 267,83 * 0,41 * 1,09}{0,75 * 36 + 0,85 * 7,2} = 85,45 \text{ V}$$

Condición 2 del diseño

Si $V_S > V_{P70}$, Se debe cambiar la configuración de la malla
Si $V_S < V_{P70}$, Se ha culminado el diseño

Como:

$85,45 \text{ V} < 253,84 \text{ V}$
El diseño ha terminado



DIMENSIONAMIENTO DE APANTALLAMIENTOS ELÉCTRICOS CONTRA DECARGAS ATMOSFÉRICAS BLOQUE DE AULAS C-D

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE PROTECCIÓN



LEVANTAMIENTO DEL PLANO FÍSICO (VER PLANOS DEL ANEXO B Y LAS EDIFICACIONES DEL ANEXO C)



DATOS NECESARIOS PARA DIMENSIONAR EL APANTALLAMIENTO

EVALUACIÓN DE PROBABILIDAD DE LA INCIDENCIA DE UNA DESCARGA

Si $N_{iso} > 27$, es necesario la colocación de pararrayos

$$N_{iso} = a + b + c$$



Cálculo del índice de riesgos. Coeficiente “a”

Tipo de Estructura	Tipo de cubierta	Altura del edificio en metros																				
		4	9	12	15	18	20	22	24	26	28	30	31	33	34	36	38	39	40	42	43	44
Metálica o de hormigón armado	No metálica	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	...
	Metálica	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...
De ladrillo, hormigón en masa o mampostería	No metálica	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	...
	Metálica	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	...	..	...
De madera	No metálica	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	...	...
Cualquiera	De ramaje vegetal	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	...	...	...	...	...

De acuerdo al ANEXO D y ANEXO F la estructura del edificio es de hormigón armado con cubierta metálica y su altura Máxima referente al nivel del suelo es de 15,6 m, por lo tanto $a = 7$



El coeficiente b depende de la zona geográfica donde se ubica el edificio y está dado por el siguiente mapa:



La zona geográfica donde se encuentra el edificio es en la Parroquia Belisario Quevedo (Entre Latacunga y Ambato), entonces según el mapa se tiene que $b = 20$.



Cálculo del índice de riesgo. Coeficiente "c"

Condiciones topográficas			Árboles y edificios circundantes		Tipo de edificio	
Terreno	Altitud	Altura respecto del edificio	Número	Vivienda unifamiliar	Bloques de viviendas u oficinas	Otros edificios
Llano	Cualquiera	Igual o mayor	Abundante	0	5	8
		Igual o mayor	Escaso	3	8	11
		Menor	Cualquiera	8	13	16
Ondulado	Cualquiera	Igual o mayor	Abundante	4	9	12
		Igual o mayor	Escaso	7	12	15
		Menor	Cualquiera	12	17	20
Montañoso	300 a 900 m	Igual o mayor	Abundante	6	11	14
		Igual o mayor	Escaso	9	14	17
		Menor	Cualquiera	14	19	22
	Superior a 900 m	Igual o mayor	Abundante	8	13	16
		Igual o mayor	Escaso	11	16	19
		Menor	Cualquiera	16	21	24

Como el terreno es llano y su altura respecto a la del edificio es menor, además el lugar está rodeado por árboles y edificios, entonces se tiene $c = 16$.



Por lo tanto $Niso = 7+20+16=83$

Como $Niso > 27$, es necesaria la instalación de pararrayos en el edificio, por eso se prosigue con el dimensionamiento de los mismos.

En todo el proyecto el coeficiente $b = 20$, será considerado como una constante debido al lugar geográfico donde se ubicarán los apantallamientos, por lo tanto $Niso$ será casi siempre mayor a 27 y se considera necesario realizar apantallamientos en todo el campus. Dando prioridad a los edificios de mayor altura que aumentaran el valor del coeficiente “a” y por ende el valor del índice de riesgo.



DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PROTECCIÓN REQUERIDO POR EL EDIFICIO

En Norteamérica, los equipos y estructuras son clasificados según su necesidad de protección contra descargas atmosféricas. Referencia: ANSI/NFPA 78-1989.

Primera clase: Las estructuras de esta clase, requieren de poca o ninguna protección. El requisito es que verdaderamente estén conectados a tierra. Ejemplos de esta clase son:

- a) Todas las estructuras metálicas excepto tanques u otras estructuras que contengan materiales inflamables.
- b) Tanques de agua, silos y estructuras similares, construidas mayormente de metal.
- c) Astas bandera construidas de algún material conductor.

Segunda clase: Esta clase consiste de edificios con cubierta conductora y estructura no conductora, tal como edificios con cubierta metálica. Este tipo requiere de conductores para conectar la cubierta a electrodos en la tierra.

Tercera clase: Esta clase consiste de edificios con estructura metálica y cubierta no conductora. Este tipo requiere de terminales aéreas conectadas a la estructura y fuera de la cubierta para actuar como terminales pararrayos.

Cuarta clase: Esta clase consiste de estructuras no metálicas, que requieren una protección. Se incluyen en esta clase:

- a) Edificios de madera, piedra, ladrillo u otros materiales no conductores, sin elementos de refuerzo metálicos.
- b) Chimeneas. Aún con elementos de refuerzo, éstas deben tener una gran protección contra rayos, con terminales aéreas, cables de bajada y electrodos de aterrizado.

Quinta clase: Una quinta clase consiste de aquellas cosas cuya pérdida puede ser de consecuencias, y que normalmente recibe un tratamiento pararrayos completo, incluyendo terminales aéreas, cables de bajada y electrodos de aterrizado. Entre éstas están:

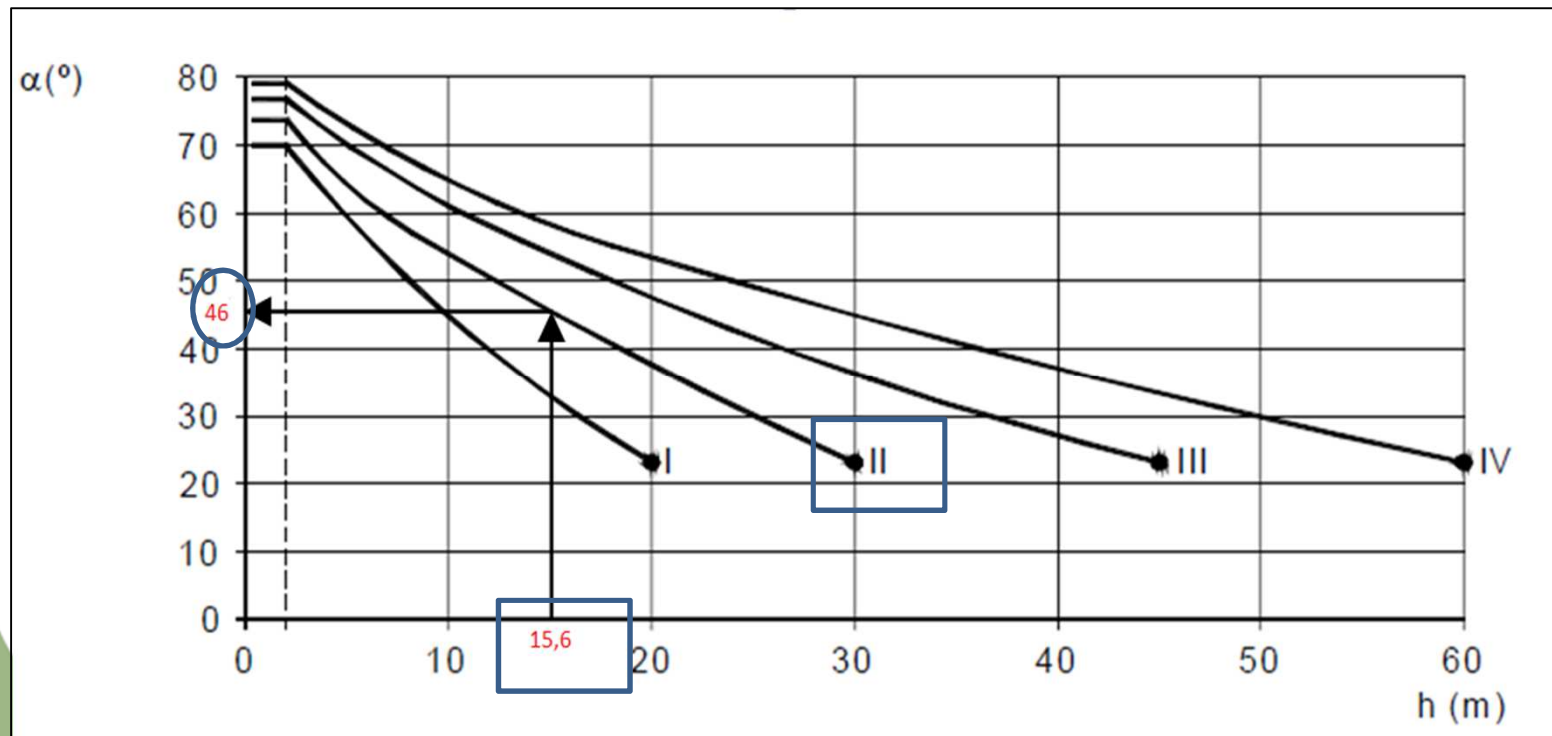
- a) Edificios de gran valor estético, histórico o intrínseco.
- b) Edificios conteniendo combustibles o materiales explosivos.
- c) Estructuras conteniendo sustancias que pueden ser peligrosas si se derraman como consecuencia de una descarga.
- d) Tanques o conjuntos de tanques.
- e) Plantas de energía y estaciones de bombeo.
- f) Líneas de transmisión.
- g) Subestaciones eléctricas.

EL EDIFICIO FORMADO POR UNA ESTRUCTURA METÁLICA Y UNA CUBIERTA CONDUCTORA EN LA PARTE CENTRAL, TENDRÁ UN NIVEL DE PROTECCIÓN CLASE II.



DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE PROTECCIÓN

Con el nivel de protección (clase II) y la altura del edificio (15,6 m) se selecciona el ángulo de protección en la próxima figura, obteniendo aproximadamente $\alpha = 46^\circ$, ángulo que servirá como referencia para determinar la zona de protección.

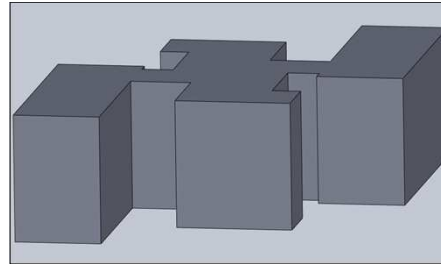




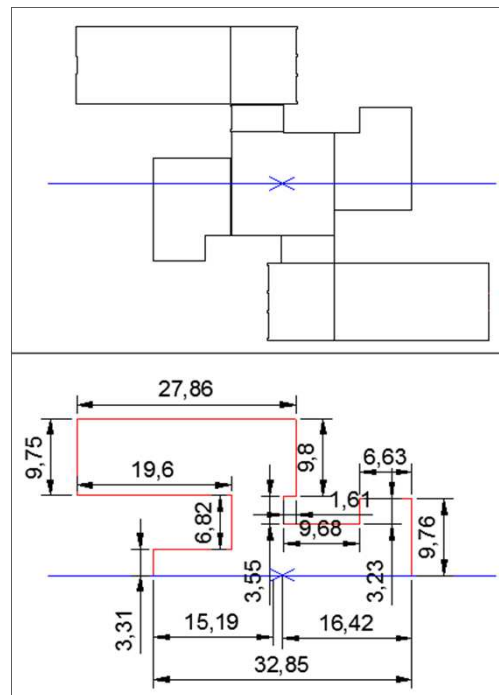
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ZONA A PROTEGER Y SUS MEDIDAS



Forma geométrica a proteger



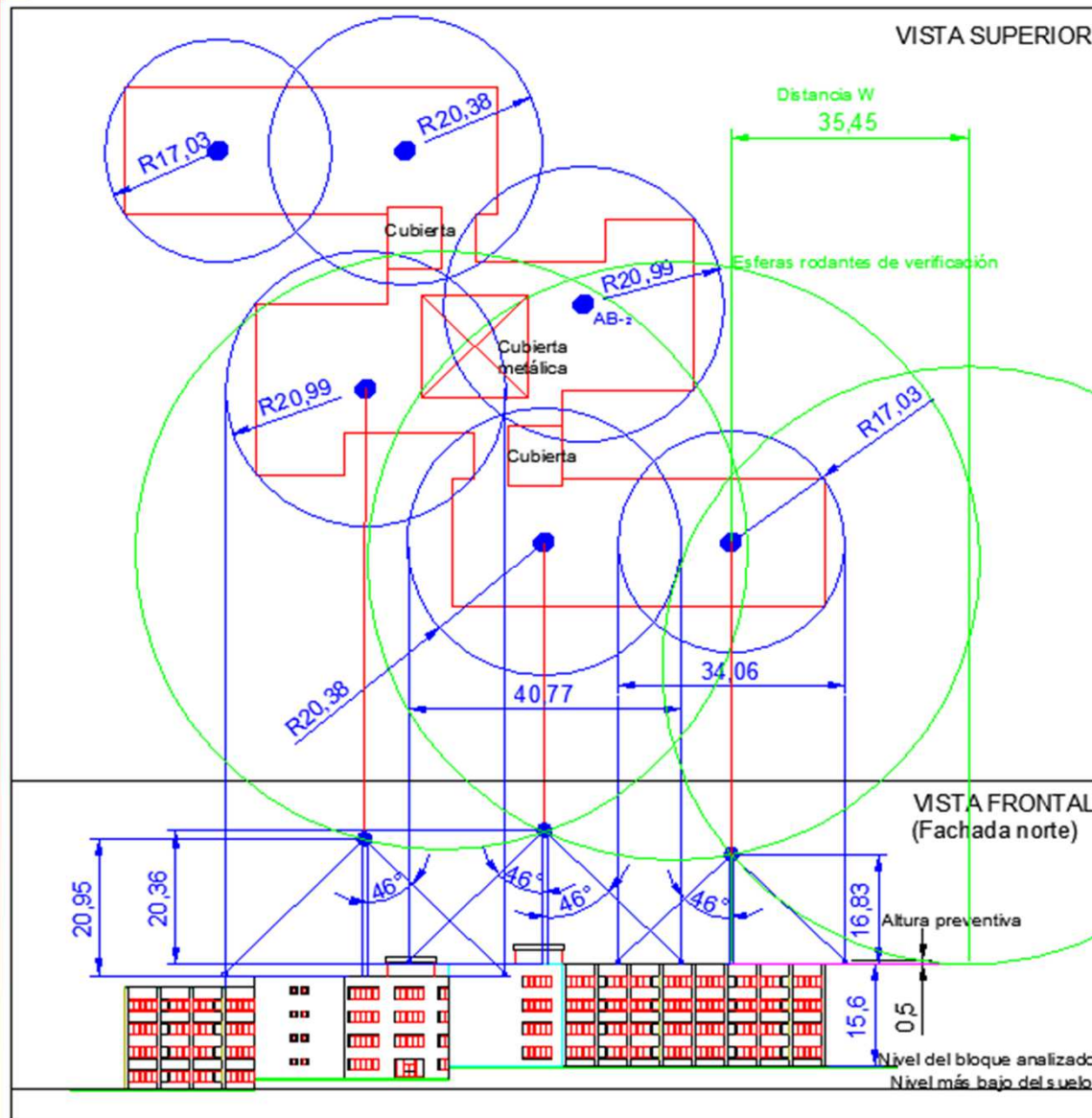
Dimensiones del contorno del edificio – Vista superior



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CÁLCULO DE LAS ALTURAS DEL PARARRAYOS



1. Dibujar circunferencias geométricamente estratégicas que cubran todo el perímetro de la vista superior del edificio
2. Proyectar perpendicularmente los centros de los círculos de la V.S. hasta tocar la superficie de la terraza en la V.F.
3. Proyectar perpendicularmente los puntos de los diámetros horizontales de las circunferencias de la V.S. hasta tocar la superficie de la terraza en la V.F.
4. Proyectar los dos puntos obtenidos en el paso 3 considerando el ángulo de protección hacia el punto obtenido en el paso 2, como se indica en la Figura, resultando así la altura del pararrayos.



Se necesitarán:

2 pararrayos de altura 20,95,
2 pararrayos de altura 20,36 y
2 pararrayos de altura 16,83.

Tipos de sistemas: se consideran los materiales de clase I, para edificios que no exceden 23 m (75 pies) y los de clase II, para edificios que exceden los 23m.

Requisitos mínimos para materiales de clase II

Tipo de conductor	Estándar	Cobre		Aluminio	
		Estándar	Métrico	Estándar	Métrico
Antena, pararrayos, sólido	Diámetro 3	1/2"	12.7 mm ²	5/8"	15.9 mm ²
Antena, pararrayos, tubular	Multifilar	AWG#15		AWG#13	
Conductor de bajada	Multifilar	AWG#17		AWG#14	
Conductor de unión	Sólido	1/2"	12.7 mm ²	1/2"	12.7 mm ²



RESULTADOS

Estos resultados están basados en las mallas TS, TP Y TE propuestas En la Tabla 3. 6, con los datos del capítulo 3

	34. D	32. L_y	33. L_x	30. n_{cy}	31. n_{cx}	35. N_v	36. L_v
Malla 1	3	6	6	3	3	4	1,8
Malla 2	3	9	9	4	4	12	1,8
Malla 3	3	12	12	5	5	16	1,8
Malla 4	3	15	15	6	6	20	1,8

Parámetros de construcción de las configuraciones de malla empleadas en el proyecto

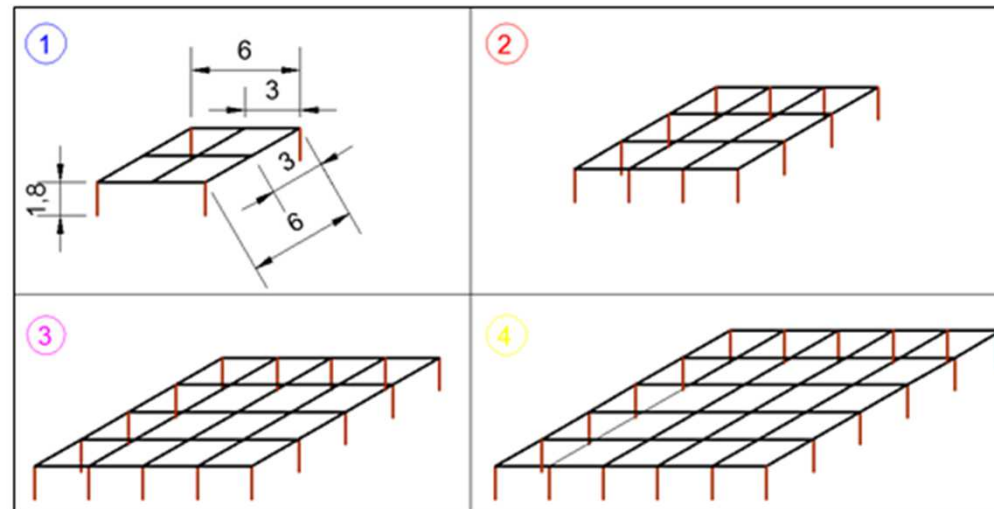


Figura 5.1 Descripción por colores de las mallas



Tabla 5. 2: Resultados de las mallas propuestas en la Tabla 3. 6, de acuerdo al color y parámetros de la Figura 5. 1

Transformador	Malla	Conductor calculado calibre (AWG)	Conductor seleccionado calibre (AWG)	Configuración de malla	4. Rm	41. Rg
1	TS-1	2	2	1	5	2,06
	TP-1	2	2	1	5	2,06
	TE-1	2	2	2	3	1,31
2	TS-2	4	2	1	5	2,86
	TP-2	4	2	1	5	2,86
3	TS-3	1/0	1/0	1	5	2,06
	TP-3	1/0	1/0	1	5	2,06
	TE-3a	4	2	2	3	1,31
	TE-3b	10	2	2	3	1,31
4	TS-4	8	2	1	5	4,05
	TP-4	8	2	1	5	4,05
5	TS-5	2	2	1	5	3,03
	TP-5	2	2	1	5	3,03
	TE-5a	2	2	2	3	1,92
	TE-5b	2	2	2	3	1,92

Transformador	Malla	Conductor calculado calibre (AWG)	Conductor seleccionado calibre (AWG)	Configuración de malla	4. Rm	41. Rg
6	TS-6	2/0	2/0	1	5	2,88
	TP-6	2/0	2/0	1	5	2,88
	TE-6 a	4	2	3	3	1,36
	TE-6 b	10	2	3	3	1,36
7	TS-7	4	2	1	5	2,86
	TP-7	4	2	1	5	2,86
	TE-7	10	2	3	3	1,35
8	TS-8	2	2	1	5	4,59
	TP-8	2	2	1	5	4,59
	TE-8	12	2	4	3	1,71
9	TS-9	8	2	1	5	2,38
	TP-9	8	2	1	5	2,38
10	TS-10	6	2	1	5	2,38
	TP-10	6	2	1	5	2,38



Tabla 5. 2: Resultados de las mallas propuestas en la Tabla 3. 6, de acuerdo al color y parámetros de la Figura 5. 1

Transformador	Malla	Conductor calculado calibre (AWG)	Conductor seleccionado calibre (AWG)	Configuración de malla	4. Rm	41. Rg
11	TS-11	8	2	1	5	2,38
	TP-11	8	2	1	5	2,38
12	TS-12	8	2	1	5	3,7
13a	TS-13a	6	2	1	5	3,29
13b	TS-13b	10	2	1	5	3,29
14	TS-14	8	2	2	5	3,85
	TP-14	8	2	2	5	3,85
Generador	Malla	Conductor calculado calibre (AWG)	Conductor seleccionado calibre (AWG)	Configuración de malla	4. Rm	41. Rg
15	TP-15	4/0	4/0	4	5	1,23



Tabla 5. 4: Tierras para la conexión de pararrayos según la dependencia a proteger

Transformador	Malla	Ubicación
1	TR-1	Edificio administrativo
2	TR-2	Auditorio
3	TR-3	Aulas CD (núcleo y edificio C)
		Aulas CD (núcleo y edificio D)
4	TR-4a	Aguas servidas
	TR-4b	Desechos sólidos
5	TR-5.1	Laboratorio (edificio 1)
	TR-5.2	Laboratorio (edificio 2)
	TR-5d	servicios universitarios
6	TR-6	Aulas AB (núcleo y edificio A)
		Aulas AB (núcleo y edificio B)
7	TR-7	Biblioteca
8	TR-8.1	Residencias (edificio 1)
	TR-8.2	Residencias (edificio 2)
9	TR-9a	Cocina comedor
	TR-9c	Sistema integrado de salud
10	TR-10	Metalurgia (Talleres)
11	TR-11	Coliseo gimnasio
Generador	Malla	Ubicación
15	TR-15	Cámara de Grupo motor generador



Tabla 5. 4: Altura de pararrayos según la dependencia a proteger de acuerdo a los anexos F y H

Ubicación	Altura del edificio (m)	Nivel de Protección (Clase)	Ángulo de protección (°)	h de pararrayos (m)			Nº de mástil
Edificio administrativo	34,48	3	34	26,91			1
Auditorio	13,36	3	56	25,2			2
Aulas CD (núcleo y edificio C)	15,6	2	46	20,95	20,36	16,83	3, 4, 5
Aulas CD (núcleo y edificio D)				20,95	20,36	16,83	6, 7, 8
Aguas servidas	3,9	5	80	5,12			9
Desechos sólidos	7,8	2	58	17,43			10
Laboratorio (edificio 1)	7,8	3	65	8,62	9,82		11, 12
Laboratorio (edificio 2)				8,62	9,82		13, 14
servicios universitarios	4,9	3	70	7,1			15
Aulas AB (núcleo y edificio A)	15,6	2	46	20,95	20,36	16,83	16, 17, 18
Aulas AB (núcleo y edificio B)				20,95	20,36	16,83	19, 20, 21
Biblioteca	13,2	3	58	18,08			22
Residencias (edificio 1)	11,2	3	59	12,01	12,82		23, 24
Residencias (edificio 2)				12,01	12,82		25, 26
Cocina comedor	7,8	3	65	5,93			27
Sistema integrado de salud	8,9	3	62	16,89			28
Metalurgia (Talleres)	7,8	2	58	2 de 14,72	2 de 16,91		29, 30,31,32
Coliseo gimnasio	11,7	2	52	1 de 24,29	3 de 26 ,68	1 central en techo	33, 34, 35, 36,37
Cámara de Grupo motor generador	3,9	5	80	2,6			38



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANEXO F (Apantallamientos) y ANEXO H (ubicación de SPT)



Edificio	IP SPT	IP Recorrido
01	01-01	
	01-02	
	01-03	
02	02-01	
	02-02	
	02-03	
03	03-01	
	03-02	
	03-03	
04	04-01	
	04-02	
	04-03	
05	05-01	
	05-02	
	05-03	
06	06-01	
	06-02	
	06-03	
07	07-01	
	07-02	
	07-03	
08	08-01	
	08-02	
	08-03	
09	09-01	
	09-02	
	09-03	
10	10-01	
	10-02	
	10-03	
11	11-01	
	11-02	
	11-03	
12	12-01	
	12-02	
	12-03	
13	13-01	
	13-02	
	13-03	
14	14-01	
	14-02	
	14-03	
15	15-01	
	15-02	
	15-03	



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PROYECTO

SIMULACIÓN DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO MEDIANTE EL SOFTWARE ETAP 12.00

Para el diseño de mallas no se consideraron las impedancias del sistema y de los cables, por lo que se cree conveniente realizar la simulación de las corrientes de cortocircuito del sistema de distribución, partiendo desde el alimentador de 13,8 kv desde la subestación Salcedo.

Como datos para la simulación se tiene que la corriente trifásica de cortocircuito de la subestación Salcedo es 2415 A, generando una potencia de cortocircuito aproximada de 60 MVA, la línea de transmisión presenta las siguientes características:

Distancia aproximada entre la subestación y la acometida del sistema = 6 Km.

Configuración horizontal

Distancia de separación entre fases $d = 30$ cm.

Altura de los postes de 11m.

Cable AASCSR para 13,8 KV

En el sistema se asume un efecto motor del 10% para todas las cargas y para los laboratorios abastecidos por el transformador CT-05 un efecto motor del 50 %.

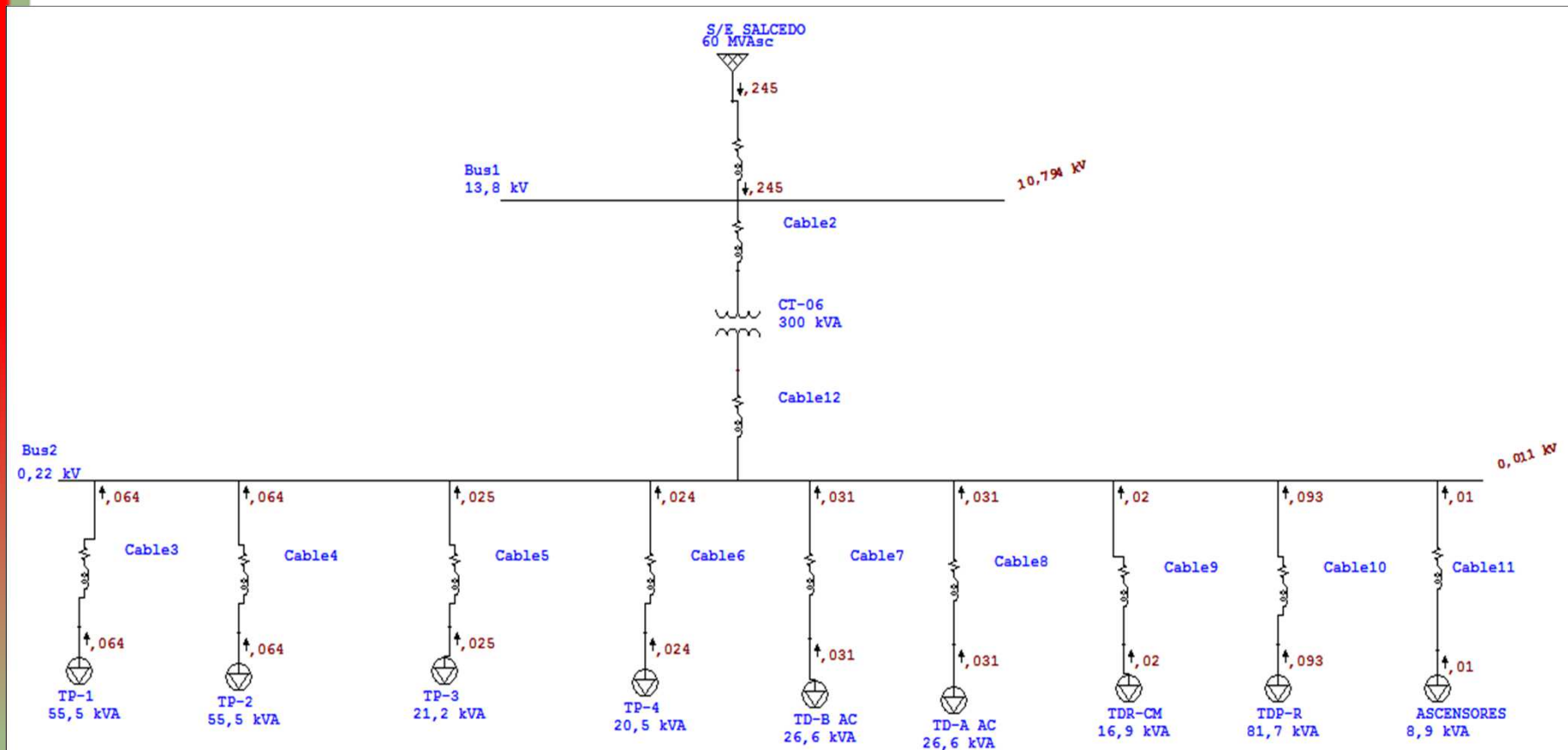


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO PARA EL BLOQUE DE AULAS AB, SIN CONSIDERAR AL RESTO DEL SISTEMA (TRANSFORMADOR CT -06)

Se seleccionó este el transformador de mayor potencia de la ESPE y se ubicó la falla en el lado de alta del transformador CT-06 donde la corriente simétrica máxima de cortocircuito es de **16754 KA (en la simulación)**. y la corriente simétrica máxima de cortocircuito en este punto **sin considerar la impedancia del sistema es de 19682,40 KA (En los cálculos)**.



ANÁLISIS DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO PARA EL BLOQUE DE AULAS AB, CONSIDERANDO TODO EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. (TRANSFORMADOR CT-06)

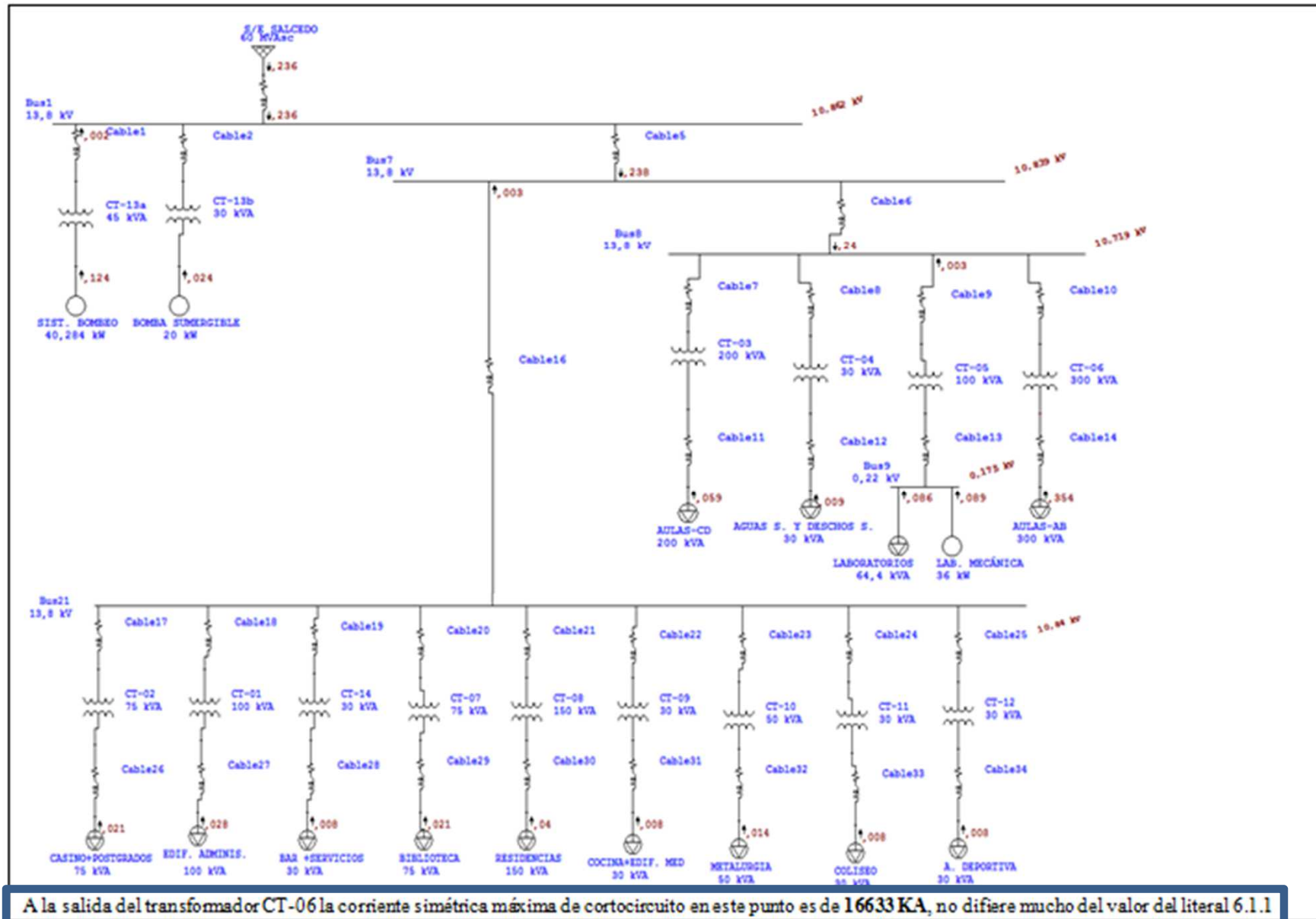


Figura 6. 2: Diagrama del sistema de distribución de la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE Latacunga



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO
PARA EL BLOQUE DE AULAS AB,
**CONSIDERANDO TODO EL
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.**
(TRANSFORMADOR CT -06)

Simulación ETAP

CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO
PARA EL BLOQUE DE AULAS AB,
**SIN CONSIDERAR LA
IMPEDANCIA DEL SISTEMA**
(TRANSFORMADOR CT -06)

Según los cálculos

ICC.S3Ø

19682,40 A

ICC.AS3Ø

24248,71 A

Área calculada y
Conductor
seleccionado

53,42 (2/0)

ICC.S3Ø

16633 A

ICC.AS3Ø

20492 A

Área calculada y
Conductor
seleccionado

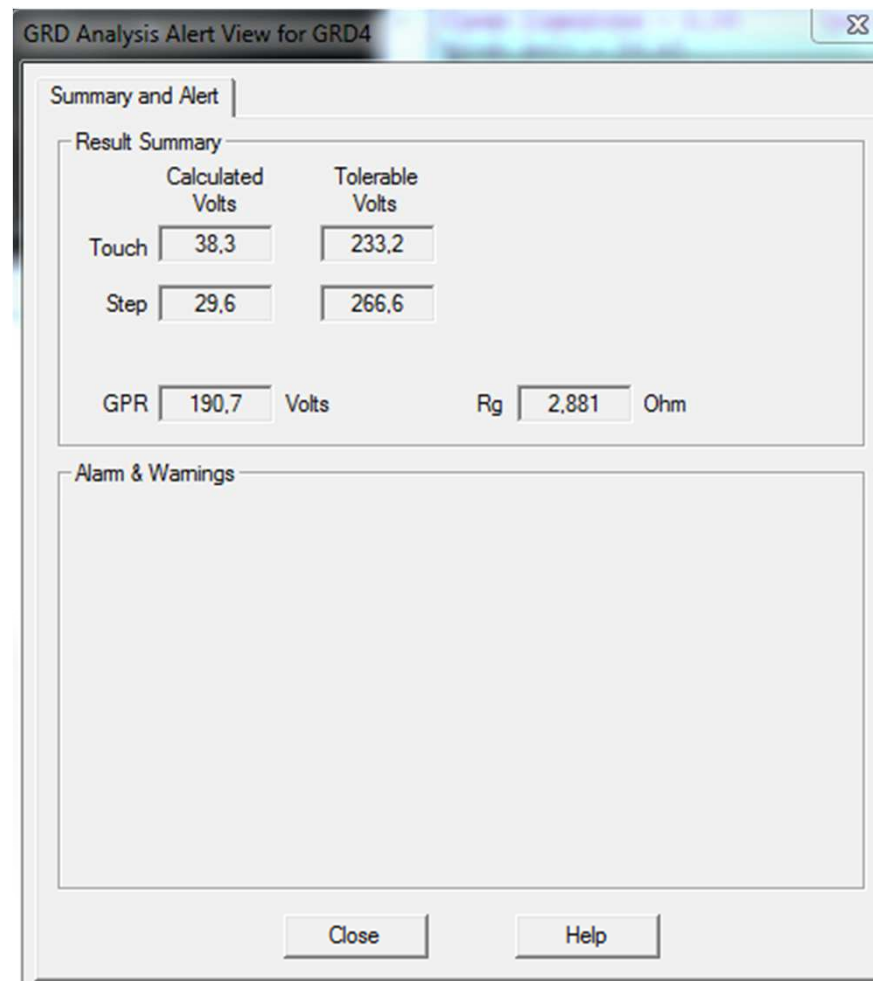
51,87 mm (2/0)

En este caso no existe diferencia al seleccionar el conductor

VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA MALLA TE-6 UPS1 POR EL MÉTODO IEEE CON LOS VALORES REALES DEL SISTEMA

Se ingresan los parámetros de la malla TE 6 calculada, los datos de campo y la corriente de cortocircuito en el software

Resultados obtenidos mediante la opción Grd Study case editor



✓ Correcto



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Analizando varias configuraciones de malla y diversos tipos de conductores en el programa se obtiene que:

- La norma IEEE en el software ETAP si permite utilizar conductor $< 2/0$ AWG para corrientes de falla bajas. Por lo que es factible utilizar el conductor recomendado por la empresa eléctrica Ambato.
- Con las configuraciones de malla 1 o 2 de la **Figura 5. 1**, La resistencia de la malla es mayor a 1,5. que es una buena resistencia de malla.
- El programa ETAP tiene consideraciones de diseño diferentes a ciertos parámetros del sistema, pero los resultados son muy similares a los obtenidos según el procedimiento del presente proyecto.

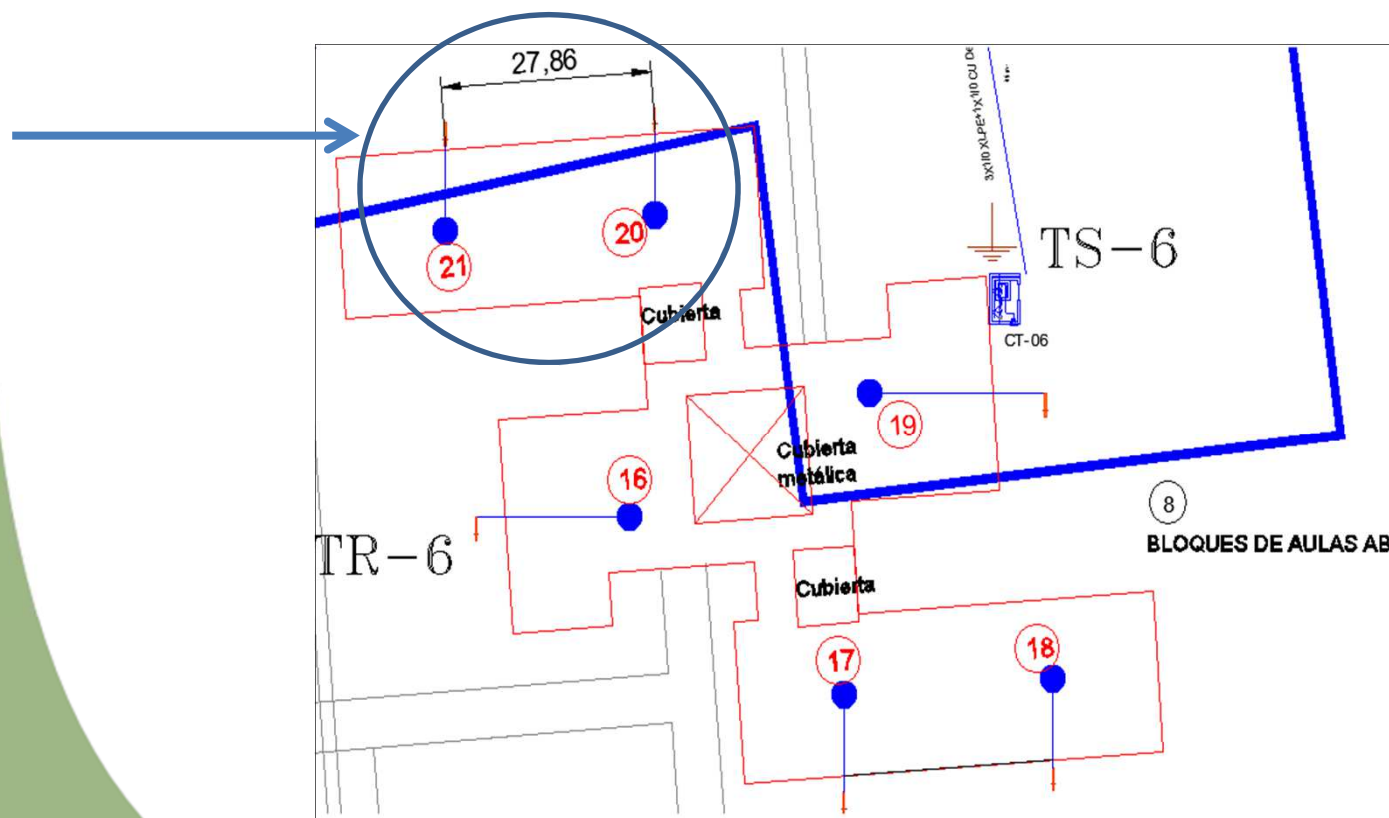


ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SIMULACIÓN DE SISTEMAS UNIDOS O SEPARADOS MEDIANTE EL MÉTODO FEM DEL SOFTWARE ETAP

Se analiza 2 varillas a tierra de los pararrayos 20 y 21 ubicadas en el bloque de aulas AB. La simulación es para descarga de un rayo de 18 KA con una resistividad de 33,43 ohm en el suelo.

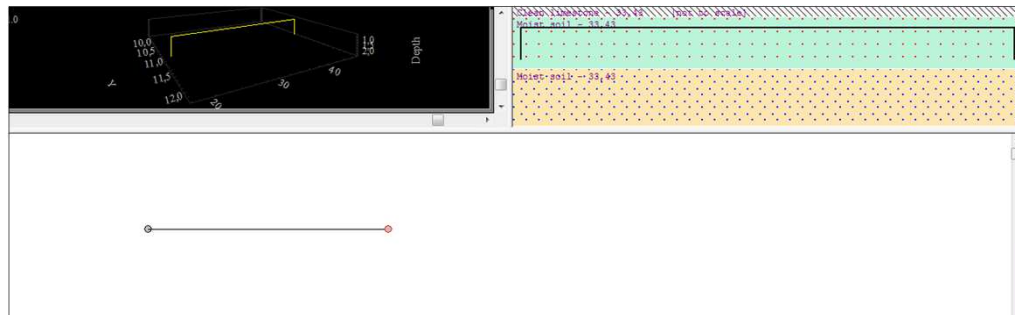


SPT de servicio y pararrayos del bloque de aulas AB



DOS VARILLAS DE TIERRA PARARRAYOS CONECTADAS

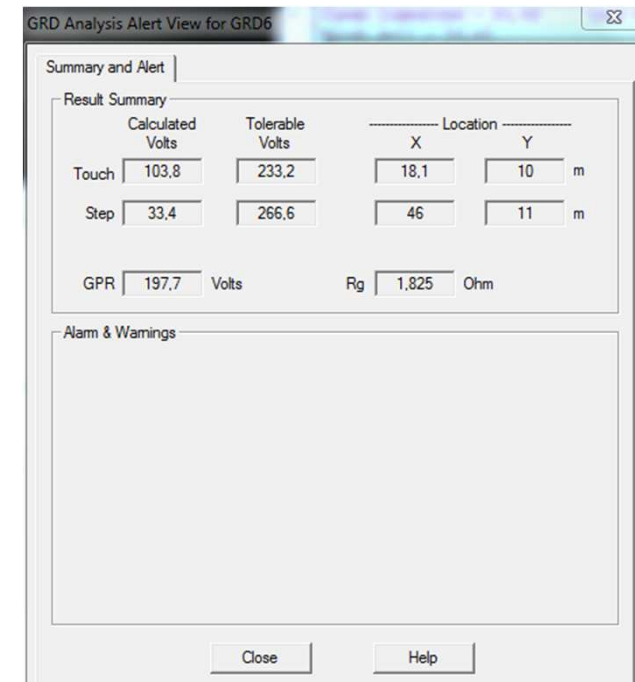
Se ingresa en el programa los elementos necesarios para el análisis, en este caso los parámetros del suelo, 2 varillas con una distancia de separación de 27,86 m y un conductor para su conexión.



Dos varillas de tierra pararrayos conectadas (bloque de aulas AB) dimensionadas en ETAP

✓ Correcto

Resultado obtenido mediante simulación





DOS VARILLAS PARARRAYOS SIN CONEXIÓN

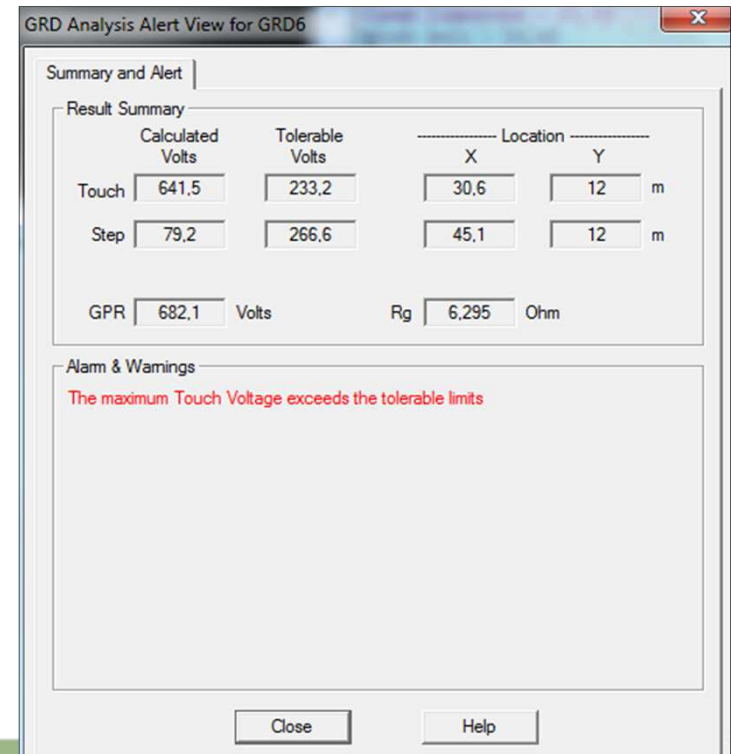
Se elimina el cable que conectaba las varillas en el caso anterior



Dos varillas de tierra pararrayos separadas (bloque de aulas AB) dimensionadas en ETAP

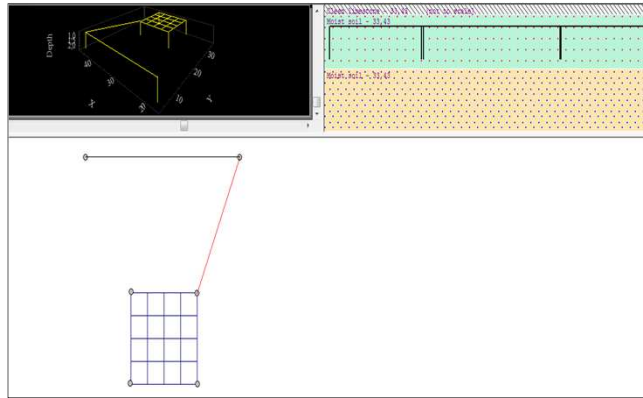
Se tiene errores en cuanto a los voltajes tolerables.

Figura 6. 8: Resultado obtenido mediante simulación

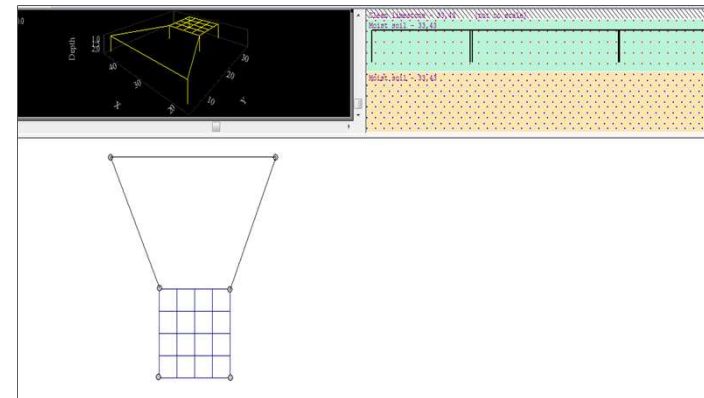




OTRAS SIMULACIONES



Malla a tierra de pararrayos y TE-6 UPS1 sin cerrar su lazo de unión (Correcto)



Malla a tierra de pararrayos y TE-6 UPS1 que forman un lazo cerrado (correcto)

- Al interconectar las varillas pararrayos mediante un cable se cumple con el diseño, no así al no estar conectadas mediante un cable.
- Un anillo de tierra ayuda considerablemente a mejorar la resistencia de la malla, disipando de mejor forma la corriente.
- Los voltajes de paso y de toque no ocasionan tanta dificultad en el diseño cuando se tiene una sola varilla, pero para una malla existen varios inconvenientes debido al área que esta ocupa para disipar las corrientes de falla.



ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS QUE MEJORAN NOTABLEMENTE EL DISEÑO DE UNA MALLA

Tabla: Variables y operaciones en ellas, para mejorar la resistencia calculada de la malla

Nº	Variables para mejorar la resistencia de la malla	Símbolo	Operación	Resistencia de la malla sin alterar las variables (Ω)	Resistencia de la malla alterando una variable (Ω)	Disminución de la resistencia de la malla (Ω)
1	Resistividad del suelo	ρ	$\rho / 2$	1,85	0,91	0,94
2	Área que ocupará la malla	A	$A * 2$	1,85	1,34	0,51
3	Profundidad a la que se enterrará la malla	h	$h * 2$	1,85	1,69	0,16
4	Número de varillas verticales	N_V	$N * 2$	1,85	1,75	0,1
5	Longitud de una sola varilla vertical	L_V	$L_V * 2$	1,85	1,75	0,1



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Para poder modificar las variables mencionadas se debe considerar el trabajo y los costos que esto implica, por ejemplo la resistividad del suelo es una constante de diseño, pero se la puede convertir en una variable, debido a que en la actualidad existen procesos químicos para mejorar dicha resistividad. Estos procesos tienen un costo, y pueden ser o no convenientes si se analiza su aplicación en grandes áreas. Se pueden variar otros parámetros en la malla, como el número de conductores horizontales y el espaciamiento entre sí, concordando siempre con el área de la malla.



ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE UNA CAPA SUPERFICIAL

Si no se llegase a cumplir con las condiciones de diseño, incluso al cambiar la configuración de la malla, lo más factible sería implementar una capa superficial, siendo las mejores opciones:

$$\rho_s > \rho$$

hs debe ser lo más grande posible

Las dos condiciones anteriores se determinaron al variar los parámetros ρ_s y h_s , efectuando el diseño con una capa superficial, notando que la diferencia entre V_m y V_c aumenta, al igual que en V_s y V_p , favoreciendo a cumplir las condiciones 1 y 2.

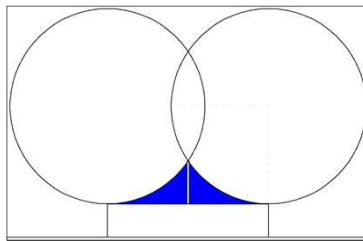


ESPE

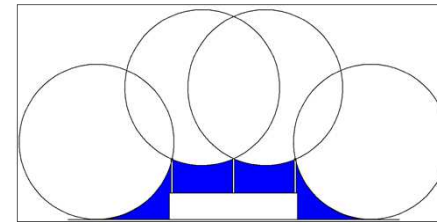
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE PARARRAYOS SEGÚN EL MÉTODO DE LAS ESFERAS RODANTES

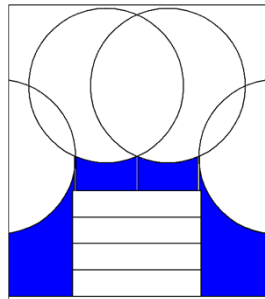
El método de las esferas rodantes es ideal para jaulas Faraday con conductores desnudos, pero para ubicación de puntas se requiere de un mejor análisis



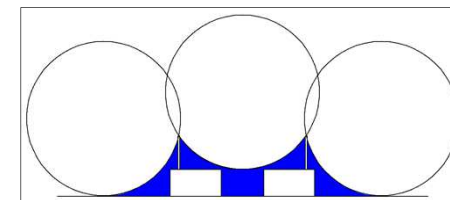
Zona de protección para un edificio



Zona de protección para un edificio que por su gran longitud necesita de varios pararrayos, o de un pararrayos de gran altura



Zona de protección para un edificio que por su gran altura necesita varios pararrayos o un pararrayos de mayor altura.



Varios pararrayos para proteger varios edificios y sus zonas aledañas

SPT A IMPLEMENTAR Y LA EVALUACIÓN DEL COSTO PARA SU INTEGRACIÓN SEGÚN EL ANEXO H

Tabla 6. 2: Análisis de las mallas a implementar para los transformadores y edificios

Costo total del proyecto transformadores				
1. MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
Cable de cobre desnudo semiduro #2 AWG 7 hilos	m	1800	5,37	9666
Cable de cobre desnudo semiduro #1/0 AWG 7	m	72	8,7	626,4
Cable de cobre desnudo semiduro #2/0 AWG 7	m	72	10,9	784,8
Varilla copperweld de 1.8metros de longitud	c/u	252	7,48	1884,96
Caja de revisión (0.35 x 0.35 x 1)	m3	36	40	1440
Zanja para la malla	m3	1274,4	12,2	15547,68
Conector a varilla 5/8 X 6	c/u	36	1,01	36,36
Barra equipotencial de cobre 1/8 X 3/4	m	18	17,21	309,78
Aislador de barra 25 mm	c/u	72	1,08	77,76
Punto de suelda exotérmica capsula 90	c/u	448	5,97	2674,56
SUBTOTAL 1				33048,3
2. MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
	h.hombre	1760	2,52	4435,2
	h.hombre	1760	1,89	3326,4
	h.hombre	1760	1,26	2217,6
SUBTOTAL 2				9979,2
3. EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
	h.hombre	1	50,43	50,43
SUBTOTAL 3				50,43
4. COSTO UNITARIO DIRECTO (1+2+3)				43077,93
5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20% de 4)				8615,586
6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5)				51693,516
7. PRECIO UNITARIO OFERTADO				51693,516

Tabla 6. 3: Análisis de la malla a implementar para el generador de emergencia

Costo total del proyecto generador				
1. MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
Cable de cobre desnudo semiduro #4/0 AWG	m	180	17,57	3162,6
Varilla copperweld de 1.8metros de longitud	c/u	20	7,48	149,6
Caja de revisión (0.35 x 0.35 x 1)	m3	1	40	40
Zanja para la malla	m3	135	12,2	1647
Conector a varilla 5/8 X 6	c/u	1	1,01	1,01
Barra equipotencial de cobre 1/8 X 3/4	m	0,5	17,21	8,605
Aislador de barra 25 mm	c/u	2	1,08	2,16
Punto de suelda exotérmica capsula 90	c/u	36	5,97	214,92
SUBTOTAL 1				5225,895
2. MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
	h.hombre	100	2,52	252
	h.hombre	100	1,89	189
	h.hombre	100	1,26	126
SUBTOTAL 2				567
3. EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)
	h.hombre	1	50,43	50,43
SUBTOTAL 3				50,43
4. COSTO UNITARIO DIRECTO (1+2+3)				5843,325
5. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20% de 4)				1168,665
6. PRECIO UNITARIO CALCULADO (4+5)				7011,99
7. PRECIO UNITARIO OFERTADO				7011,99

Tabla 6. 4: Costo de la implementación de todos los sistemas de mallas a tierra

TOTAL	Transformadores	51693,516
	Generador	7011,99
Costo total del proyecto mallas en dólares		58705,506

Análisis de los apantallamientos y sus SPT a implementar para diferentes edificaciones.

Costo total del proyecto apantallamientos contra descargas atmosféricas					
1. TORRES Y MÁSTILES				SUBTOTAL 1	6159
2. MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)	
Cable de cobre desnudo semiduro #2 AWG 7 hilos	m	4500	6.84	30780	
Abrazadera para fijar el conductor bajante	c/u	456	1.5	684	
Pararrayos de 18 KV	c/u	39	63.84	2489.76	
Accesorios para torretas		34	50	1700	
Accesorios para mástil		4	25	100	
Varilla copperweld de 1.8metros de longitud	c/u	150	7.48	1122	
				SUBTOTAL 2	36875.76
3. MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)	
	h.hombre	1520	2.52	3830.4	
	h.hombre	1520	1.89	2872.8	
	h.hombre	1520	1.26	1915.2	
				SUBTOTAL 3	8618.4
4. EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (DÓLARES)	COSTO TOTAL (DÓLARES)	
	h.hombre	1	68.78	68.78	
				SUBTOTAL 4	68.78
5. COSTO UNITARIO DIRECTO (subtotales 1+2+3+4)				51721.94	
6. COSTO UNITARIO INDIRECTO (20% de 5)				10344.388	
7. PRECIO UNITARIO CALCULADO (5+6)				62066.328	
8. PRECIO UNITARIO OFERTADO				62066.328	



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

COSTO DEL PROYECTO

Tabla 6. : Costo total final

Costo total mallas (Tabla 6.)	58705,506
Costo total apantallamientos (Tabla 6.)	62066,328
TOTAL (DÓLARES)	120771,83

CONCLUSIONES

- Se Realizó el levantamiento de planos eléctricos, topográficos y arquitectónicos para la obtención de datos necesarios para el diseño de los sistemas puestos a tierra y apantallamientos, datos relevantes, como que el suelo del campus presenta una resistividad promedio baja de $38,52 \Omega$, y su composición puede ser considerada como uniforme, a excepción de algunos sectores donde se ha realizado relleno de terrenos, modificando así las características del suelo.
- De acuerdo al sistema de distribución y el tipo de carga se determinó que el campus necesita implementar cuatro tipos de puestas a tierra: De servicio, de protección, para rayos y para equipos sensibles. Se diseñó mallas a tierra para ser utilizadas como sistemas de puesta a tierra para proporcionar un medio de descarga para sobrevoltajes ocasionados por fallas eléctricas.

- Se redujo el riesgo de destrucción que pudiese ocasionar una descarga atmosférica mediante el diseño de varios apantallamientos eléctricos ubicados estratégicamente según la forma de los edificios, considerando especialmente a los de mayor tamaño.
- Se determinó que los conductores seleccionados para los SPT en el presente diseño están correctamente dimensionados, a pesar de no haber considerado la impedancia de la red mediante la simulación de flujos del sistema de distribución, ya que se tiene una diferencia baja entre las corrientes de cortocircuito calculadas en el diseño y las calculadas mediante el software ETAP (Metodología ANSI).

- Se creó un plano eléctrico referencial mediante el diseño de SPT y apantallamientos eléctricos para la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE –Extensión Latacunga., plano que debe ser implementado considerando el costo obtenido en el estudio técnico - económico realizado en el presente proyecto.

RECOMENDACIONES

- Para sistemas de distribución de baja potencia es correcto utilizar calibres menores al calibre 2/0 AWG recomendado como mínimo por la IEEE, ya que el procedimiento de diseño que posee dicha normativa esta específicamente referido a subestaciones donde se trabaja con valores de potencia extremadamente altos.
- Aislar el neutro o realizar conexiones de cableado IG, a pesar de no cumplir con las normas IEEE, son buenas opciones para sistemas dedicados de comunicación y computadoras, pero se debe considerar que estos métodos poseen restricciones o se podrían deteriorar y hasta destruir los equipos ante una falla eléctrica. Jamás se debe confundir el cableado IG con una puesta a tierra independiente.
- Al tener el terreno una excelente resistencia, se deben considerar otros aspectos en el diseño, como la corrosión y el voltaje de paso y de toque en el suelo mojado.

- La distancia de separación entre pararrayos y varillas debe ser lo menor posible para acortar o dividir la trayectoria de la corriente a tierra en menor tiempo.
- Los pararrayos de la edificación deben estar conectados entre sí al igual que las varillas y las mallas a tierra. Estos dos últimos elementos deben estar unidos para formar una resistencia equivalente más baja que la que tienen por separado. Pero se debe evitar crear lazos cerrados al realizar esta conexión, ya que una corriente sumamente alta como la de un rayo podría destruir los sistemas de puestas a tierra que funcionarían como un circuito de consumo de corriente.
- Se debe conectar a tierra todas las estructuras metálicas incluida la de las edificaciones para contribuir con la resistencia equivalente del sistema, con la formación de un plano equipotencial y con la interferencia que suelen ocasionar por el alojamiento de cargas electrostáticas.

- El cable bajante pararrayos, debe tener aislamiento, para evitar fugas de corriente ante una descarga atmosférica.
- Diferenciar las tomas de tierra de las mallas comunes de las tomas de tierra en mallas especiales.
- Inspeccionar las condiciones y funcionalidad de los SPT cada cierto periodo de tiempo (15 años como mínimo – tiempo de vida útil de una varilla y recomendado considerando una corrosión media).
- Las mallas construidas de ser posible deberán interconectarse conforme avanza el proceso de construcción del sistema eléctrico en el campus.

- Para referencia de señales digitales en circuitos que trabajan con frecuencias de hasta 300 khz puede utilizarse conexión a tierra de un solo punto y para frecuencias mayores deben utilizarse conexiones multipunto porque se requiere que la carga esté distribuida de manera uniforme.
- Para frecuencias altas una malla a tierra presentará también una resistencia elevada, disminuyendo su desempeño, por lo que se recomienda ciertos métodos como apantallamientos en el cableado, filtros supresores y blindajes. Además de un sistema de protección interno contra descargas atmosféricas.
- La recomendación más importante es: “No se debe asumir que los problemas de las instalaciones eléctricas, radican siempre en la puesta a tierra, el 90 % de los problemas esta en los cableados” – Favio Casas Ospina. Una excelente referencia para un buen cableado que en conjunto con un SPT optimizaría un sistema eléctrico es el libro Esmeralda de la IEEE 80.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS