



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN
ELECTROMECAÁNICA

“Análisis de los Sistemas de Puesta a Tierra de las Subestaciones Eléctricas Portoviejo 1, Manta 3 y Montecristi 1 de 69/13,8 kV pertenecientes a la CNEL Un Manabí para establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo.”

Autor: Saltos González Joan Manuel

ING. Quispe Toapanta, Vicente Javier
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

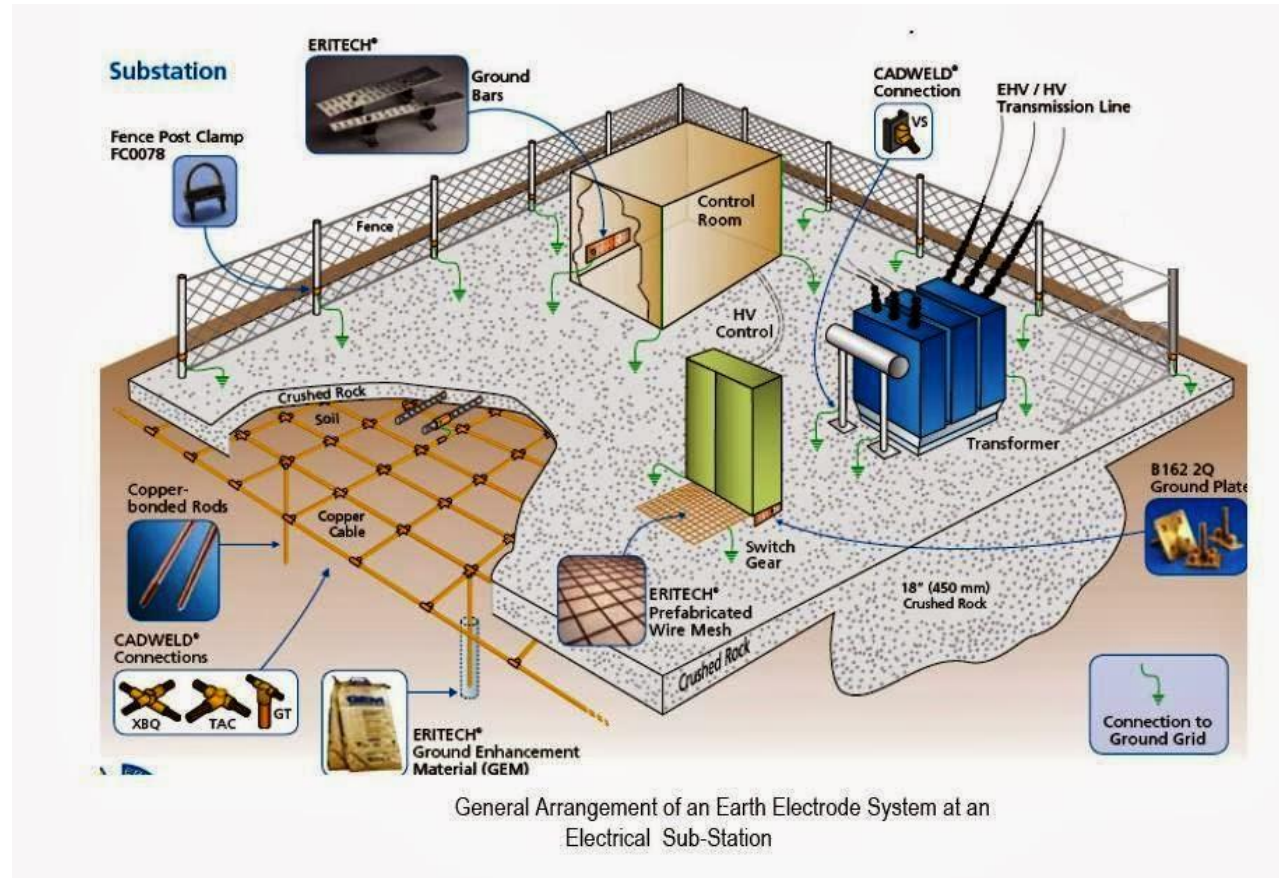


Contenido:

- Objetivo del sistema de puesta a tierra
- Terminología
- Justificación
- Levantamiento de Información de la condición Actual de los SPT subestaciones
- Modelación y Simulación del Sistema de puesta a tierra
- Determinación del Plan de Mantenimiento para los SPT
- Análisis de Precios unitarios para obtención de costos
- Conclusiones
- Recomendaciones

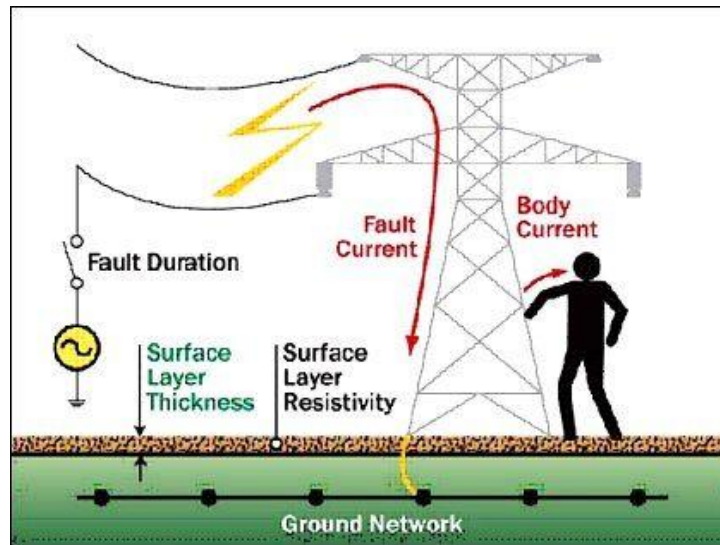


Sistema de Puesta a Tierra en Subestaciones Eléctricas



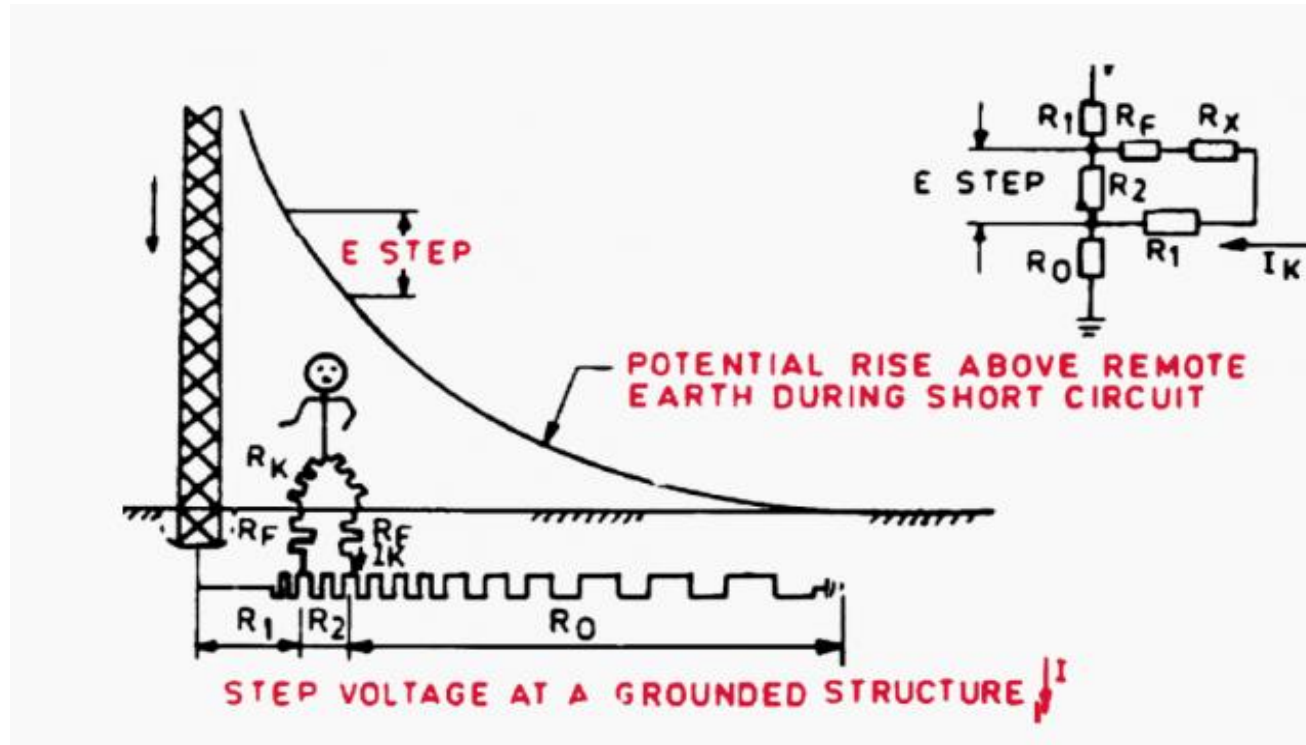
Objetivos del Sistema de Puesta a Tierra

- Proteger la vida del personal en caso de que ocurra una descarga eléctrica.
- Aislar las fallas lo más rápido posible, otorgando una baja impedancia para la conducción de las sobrecorrientes hacia la tierra, a fin de que se activen las protecciones



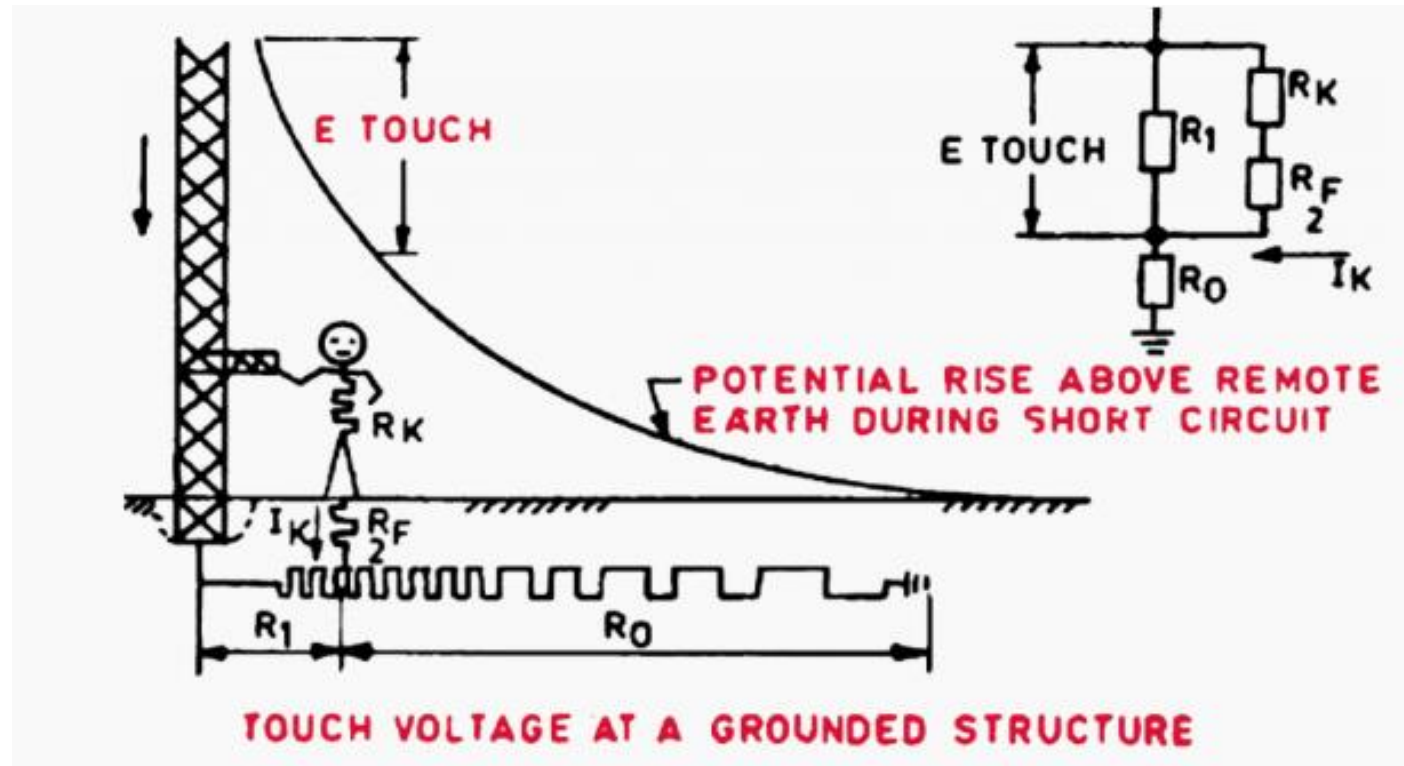
Terminología en un Sistema de Puesta a Tierra

Voltaje de Paso: El voltaje que experimenta una persona a una distancia de un metro con el pie sin tener contacto con cualquier objeto aterrizado.



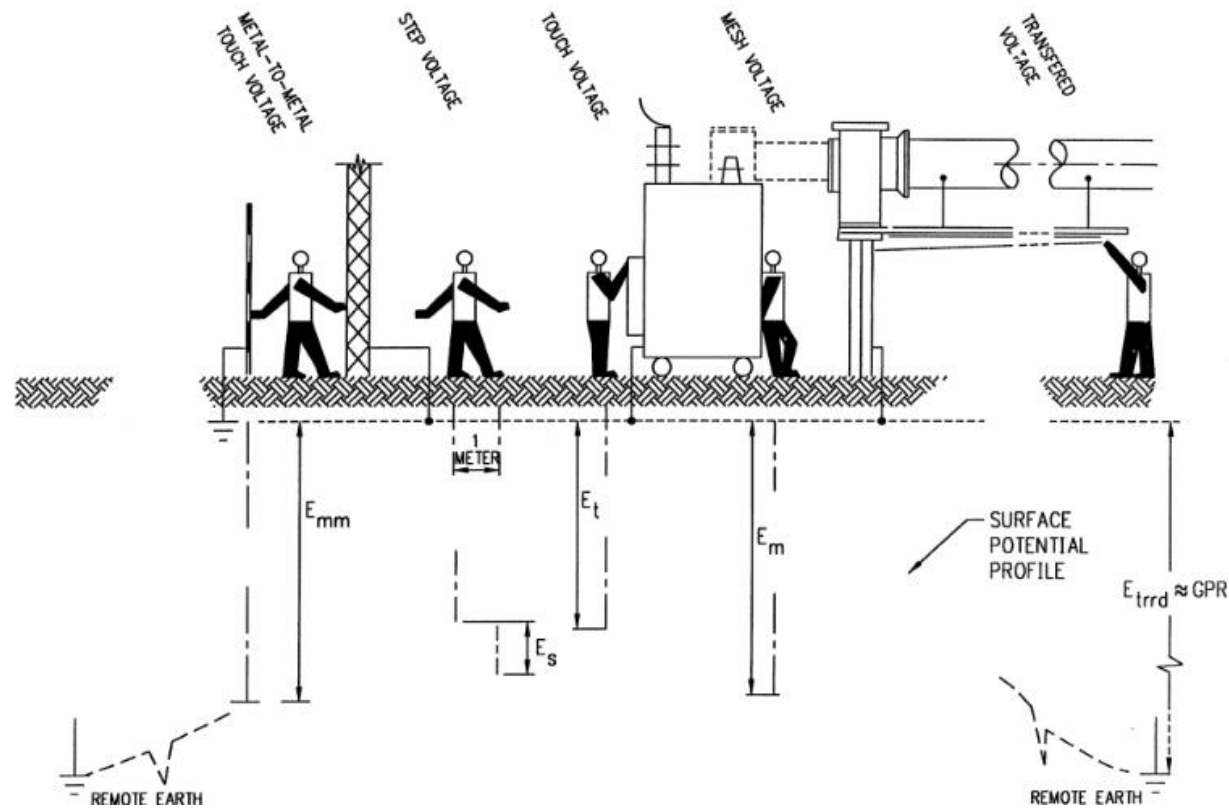
Terminología en un Sistema de Puesta a Tierra

Voltaje de Toque: El voltaje que experimenta una persona que se encuentra de pie y al mismo tiempo tenga una mano en contacto con una estructura aterrizada.



Terminología en un Sistema de Puesta a Tierra

Voltaje de Malla: El máximo voltaje de toque que se encuentra dentro de una cuadrícula de la malla de tierra



Justificación

La CNEP EP tiene como objetivo de aprendizaje y desarrollo, incrementar los niveles de eficiencia de los servicios tecnológicos, por lo tanto es indispensable levantar información actualizada de los sistemas de puesta a tierra en sus diferentes subestaciones, abriendo paso a realizar una investigación para analizar alternativas que mejoren el sistema.



Levantamiento de Información

Se realizó inspección visual y uso del equipo de medición de tierra.



Medición de la Resistividad del Terreno

Medición de Resistencia de la Malla de Tierra

IEEE Std 80-2000
(Revision of
IEEE Std 80-1986)

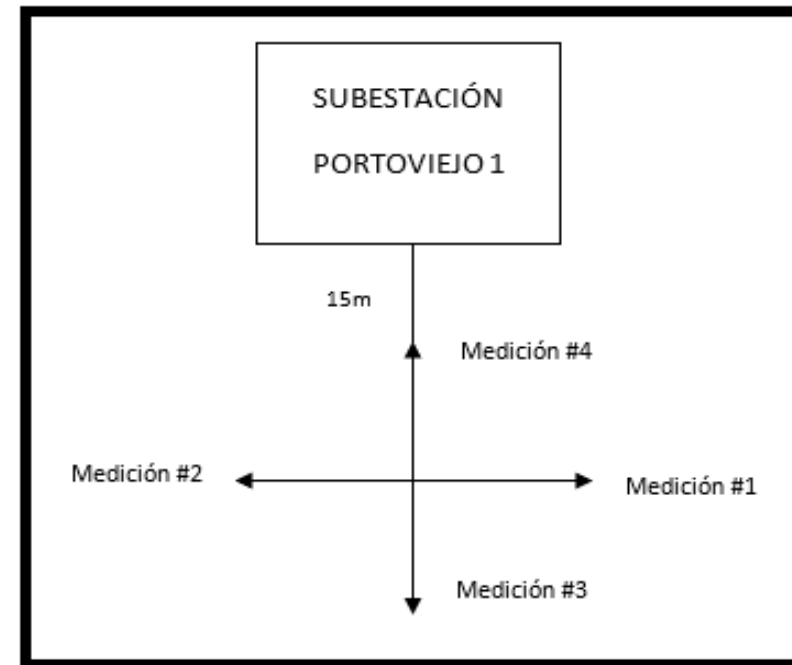
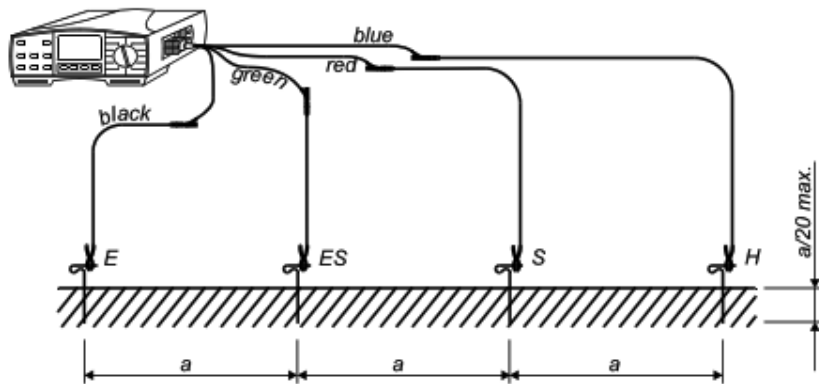
IEEE Guide for Safety
in AC Substation Grounding

Sponsor
Substations Committee
of the
IEEE Power Engineering Society



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Medición de Resistividad del Terreno



Condición Actual de Resistividad del Terreno en S/E Portoviejo 1

Resistividad del Terreno = 7,9 Ωm



Tabla 12. Medición de la resistividad del suelo en la Subestación Eléctrica Portoviejo

#Medición	Espaciamiento [m]	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Resistividad Promedio
		R1	ρ_1	R2	ρ_2	R3	ρ_3	$\rho=(\rho_1+\rho_2+\rho_3) /3$
		[Ω]	[Ωm]	[Ω]	[Ωm]	[Ω]	[Ωm]	[Ωm]
1	4	0,17	4,10	0,17	4,14	0,17	4,22	4,15
2	4	0,27	7	0,31	8	0,31	8	7,66
3	4	0,35	9	0,37	9,5	0,39	10	9,5
4	4	0,39	10	0,4	11	0,39	10	10,33
PROMEDIO								7,9

Medición de Resistencia de la Malla de Tierra.

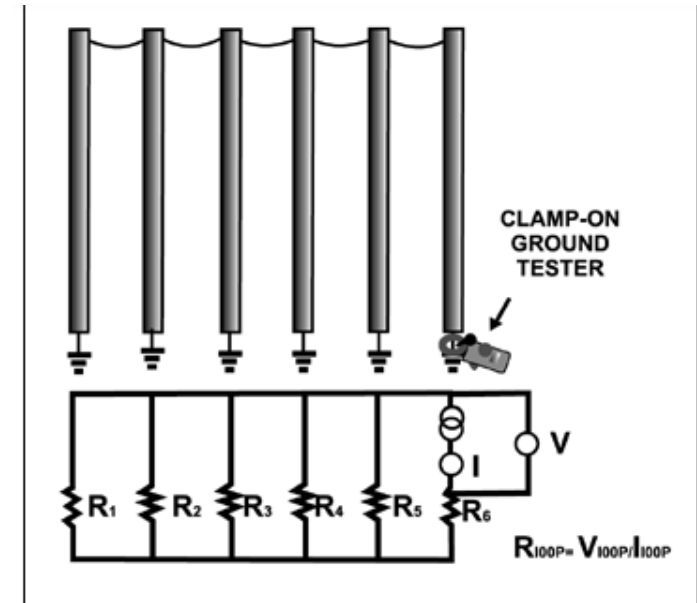
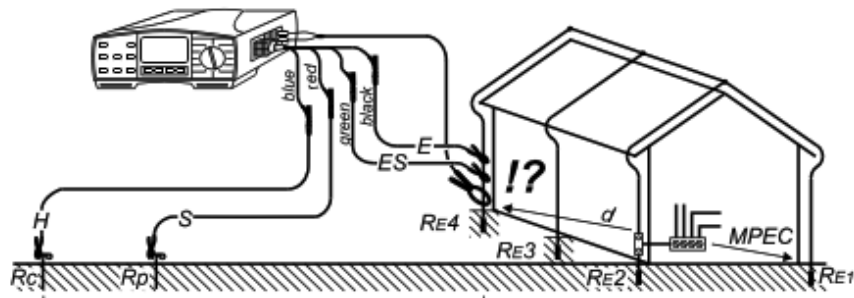
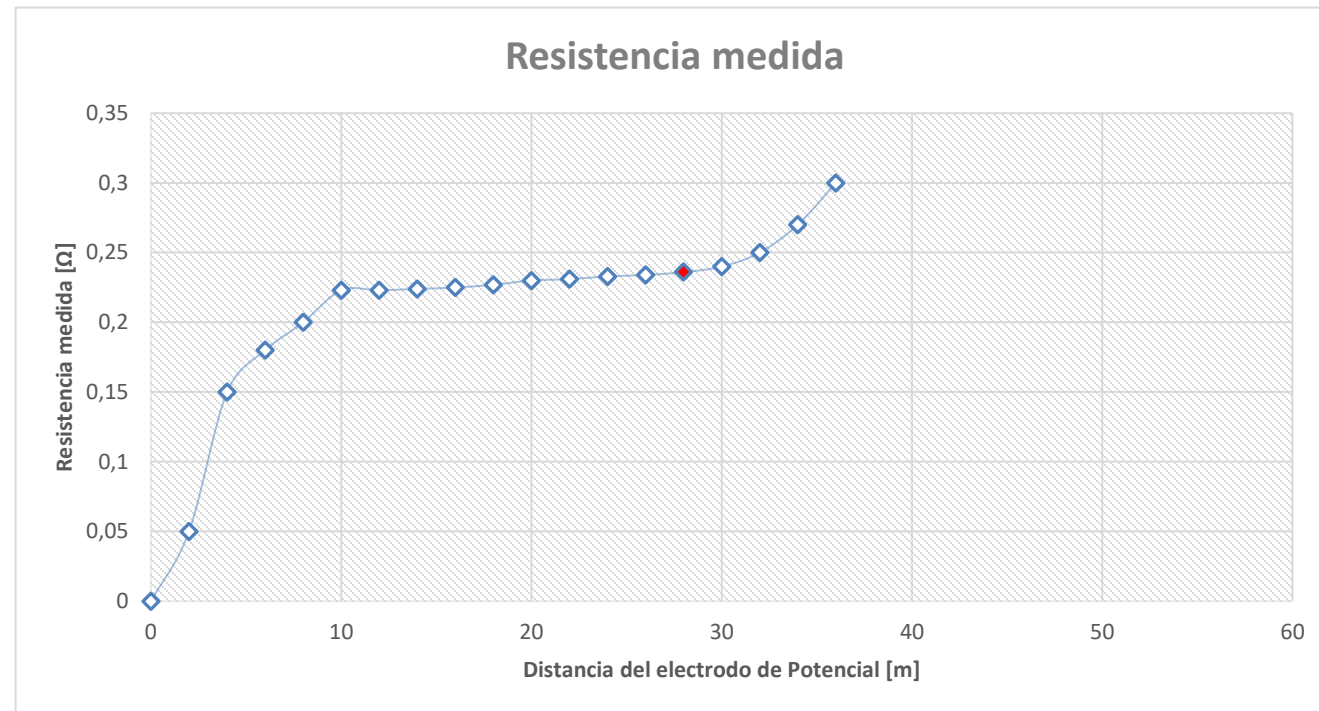


Figura 2. Aplicación en tierra paralela interconectada.



Condición Actual de Resistencia de la Malla de Tierra en S/E Portoviejo 1

Resistencia del sistema de tierra medida = 0,23 Ω



Condición Actual de Resistividad del Terreno en S/E Manta 3

Resistividad del Terreno = 93,2 Ωm

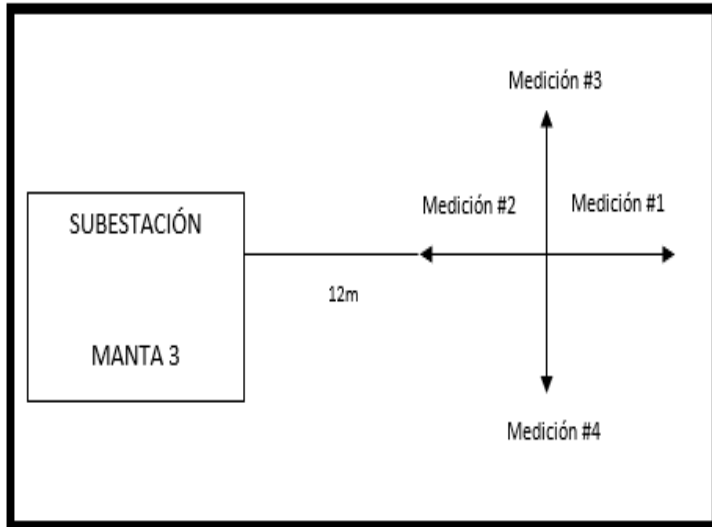
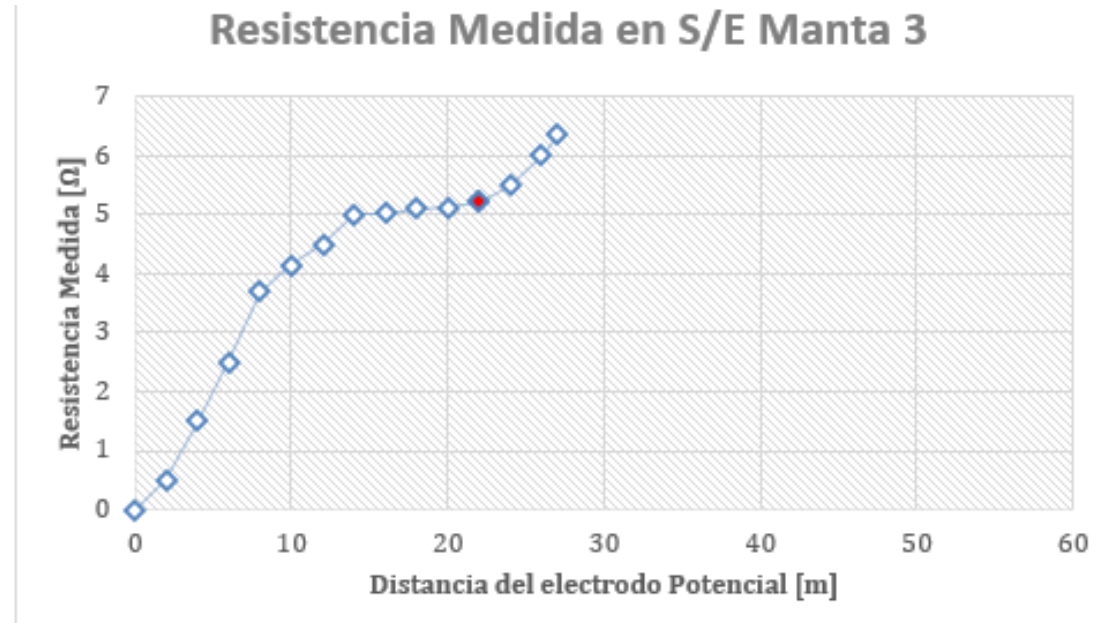


Tabla 16. Medida de la resistividad del suelo en la subestación Manta 3

#Medición	Espaciamiento [m]	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Resistividad Promedio
		R1 [Ω]	ρ_1 [Ωm]	R2 [Ω]	ρ_2 [Ωm]	R3 [Ω]	ρ_3 [Ωm]	$\rho = (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) / 3$ [Ωm]
1	4	4	100,53	4	100,5	4,5	113,09	104,706
2	4	3	75,39	2	50,26	5	125,66	83,77
3	4	3	75,39	2	50,26	3	75,39	67,01
4	4	4	100,53	5	125,66	5	125,66	117,28
PROMEDIO								93,2

Condición Actual de Resistencia de la Malla de Tierra en S/E Manta 3.

Resistencia del sistema de tierra medida = 5,21 Ω



Medición de Resistividad del Terreno en S/E Montecristi 1

Resistividad del Terreno = 10,4 Ωm

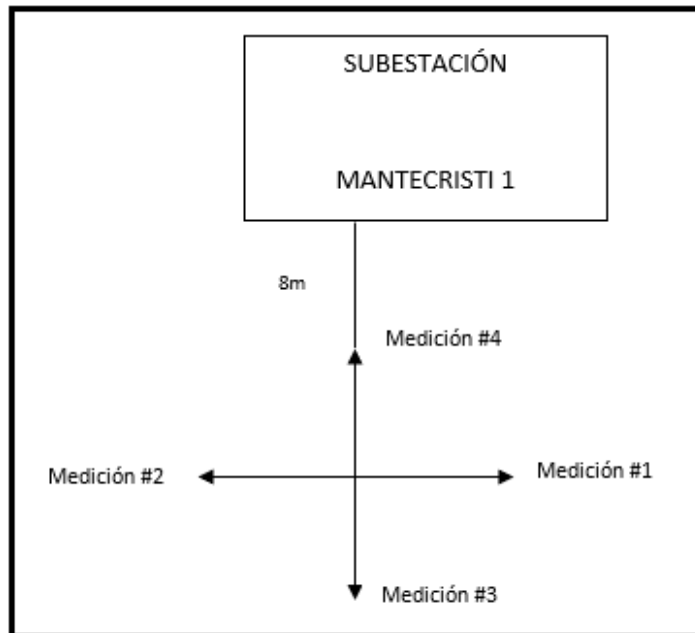
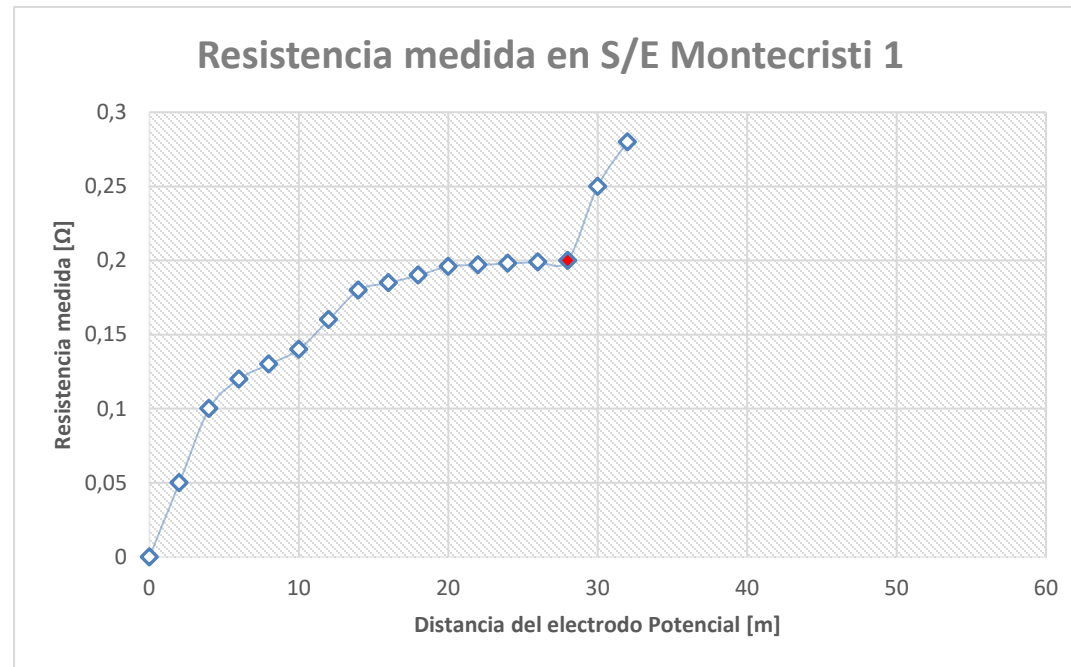


Tabla 20 Medidas de la resistividad del suelo en la Subestación Eléctrica Montecristi 1

#Medición	Espaciamiento [m]	Perfil 1		Perfil 2		Perfil 3		Resistividad Promedio
		R1 [Ω]	ρ_1 [Ωm]	R2 [Ω]	ρ_2 [Ωm]	R3 [Ω]	ρ_3 [Ωm]	$\rho=(\rho_1+\rho_2+\rho_3) /3$ [Ωm]
1	4	0,35	9	0,39	10	0,43	11	10
2	4	0,12	3	0,16	4	0,12	3	10
3	4	0,32	8	0,43	11	0,32	8	9
4	4	0,43	11	0,6	15	0,47	12	12,6
PROMEDIO								10,4

Medición de Resistencia de la Malla de Tierra de S/E Montecristi 1.

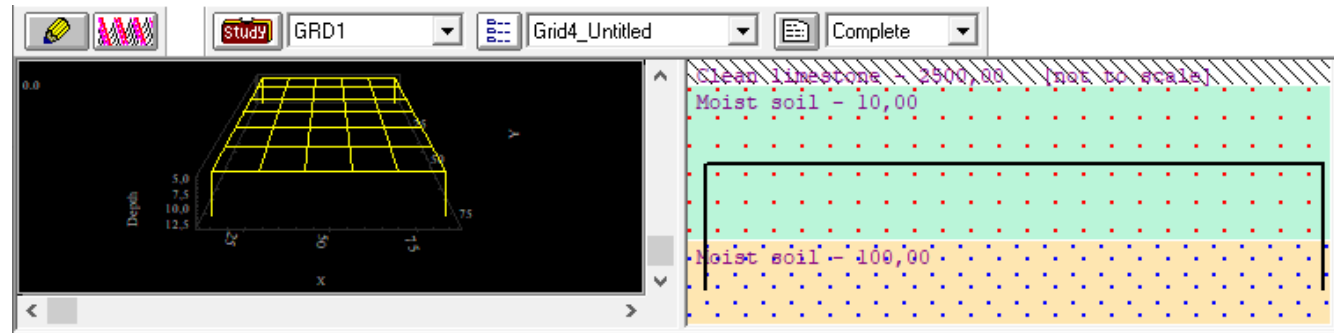
Resistencia del sistema de tierra medida = 0,2 Ω



Simulación del SPT S/E Portoviejo 1

$$I_{cortocircuito} = 9,246 \text{ kA}$$

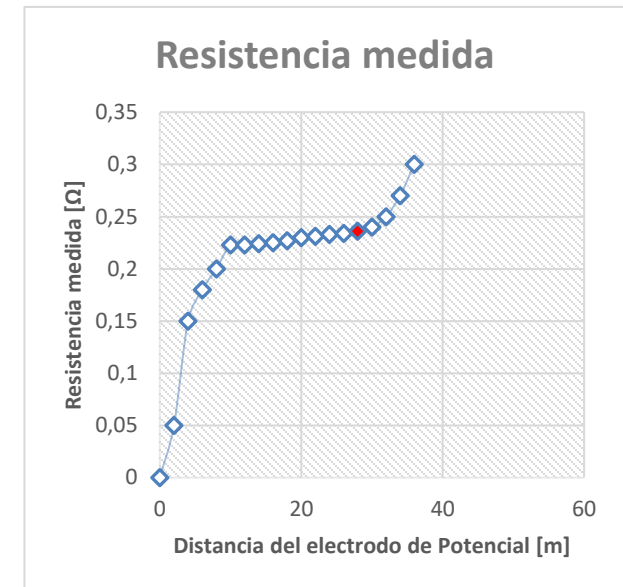
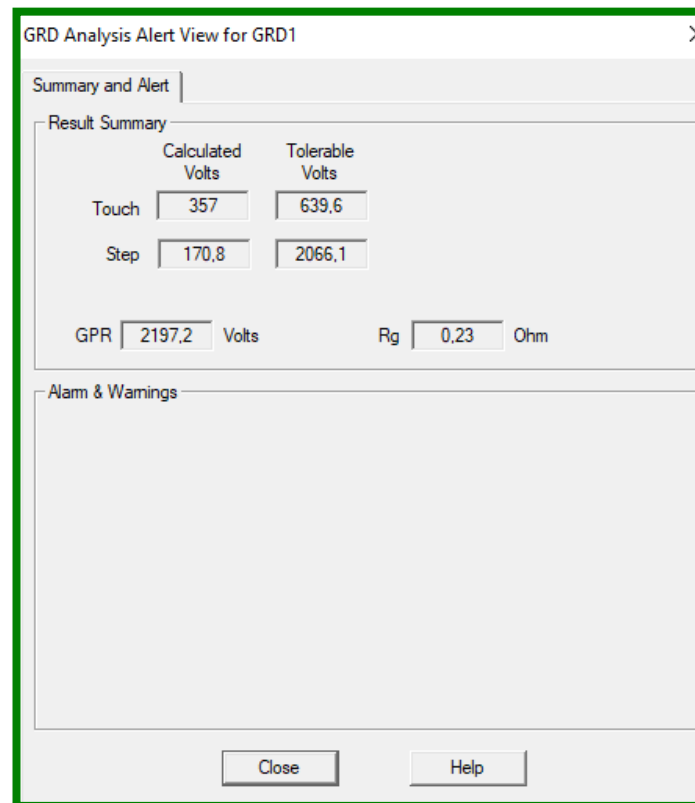
Parámetros		Configuración de la malla para simulación normal
Profundidad de conductores (m)		1,5
Longitud de la malla (m)	Lx	21
	Ly	21
Nº de conductores	X	7
	Y	6
Nº total de conductores		13
Tipo de Conductor		Cobre, recocido suave estirado, 2/0 AWG
Nº de electrodos		4



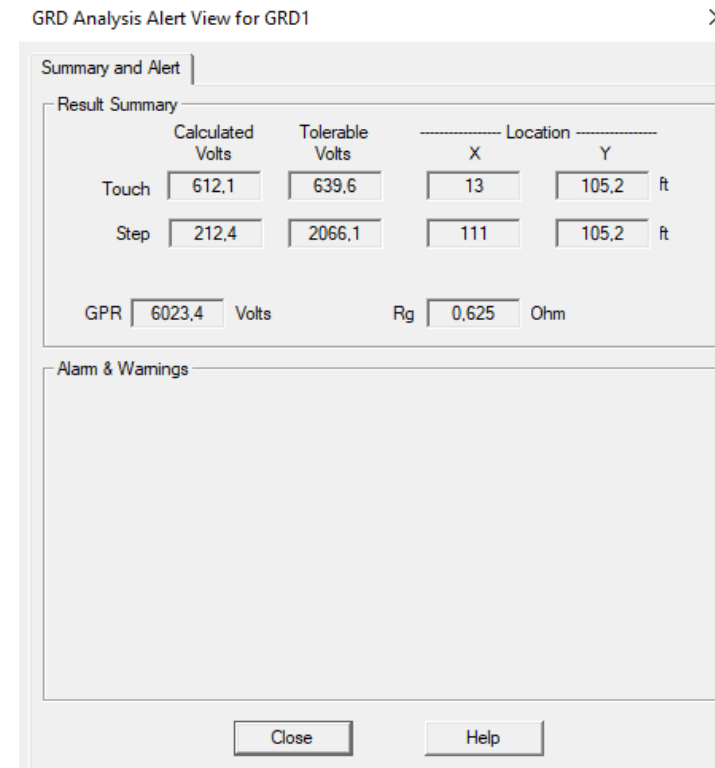
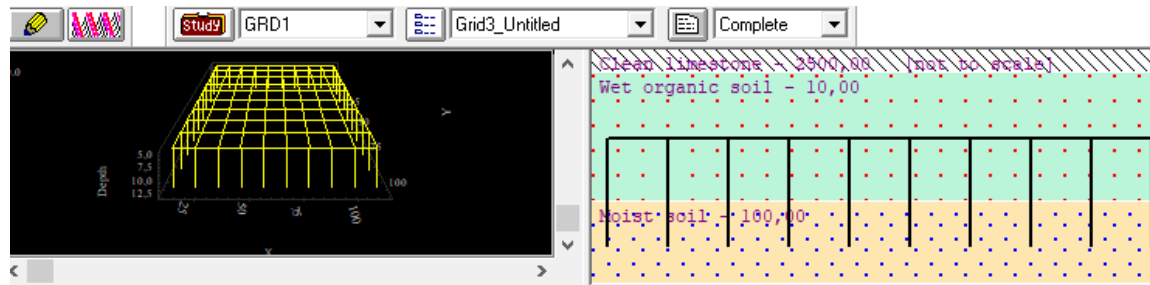
Método IEEE 80-2000

Resistencia del sistema de tierra simulada = 0,23 Ω

- Cumple con Norma IEEE 80-2000.
- $E_m < V_{toque}$
- $E_s < V_{paso}$



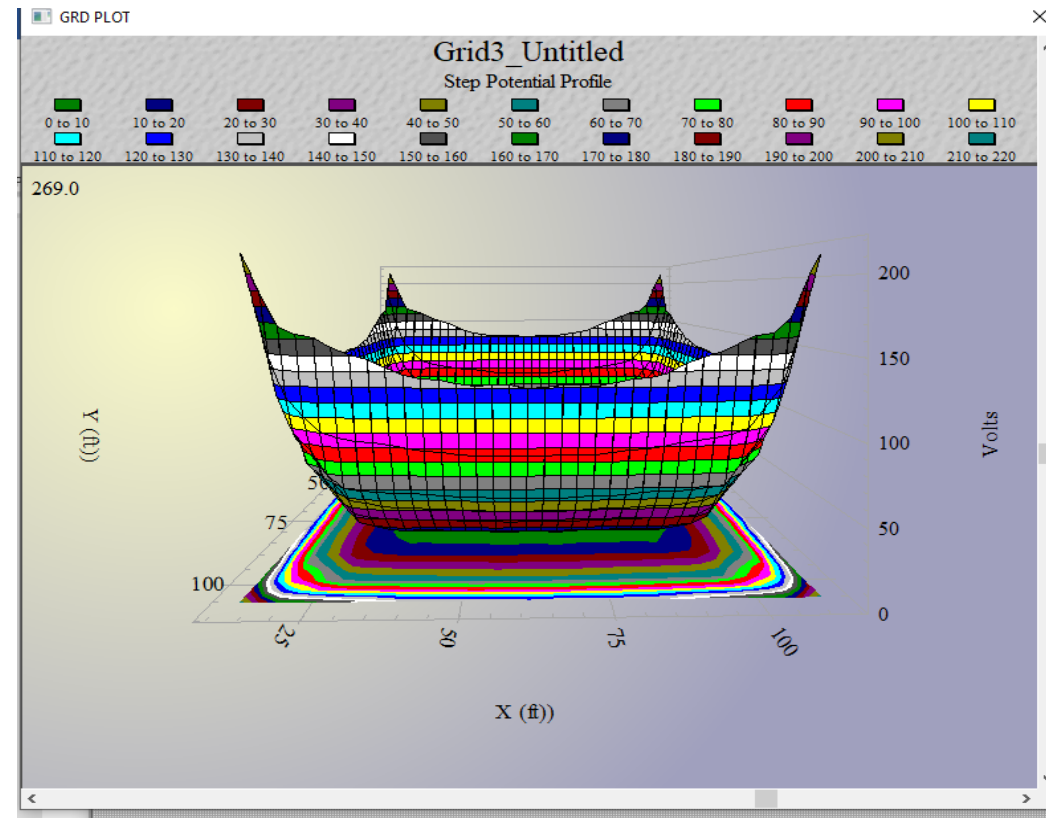
Método Elementos Finitos (FEM)



Voltaje de Paso

$$E_s < E_{paso}$$

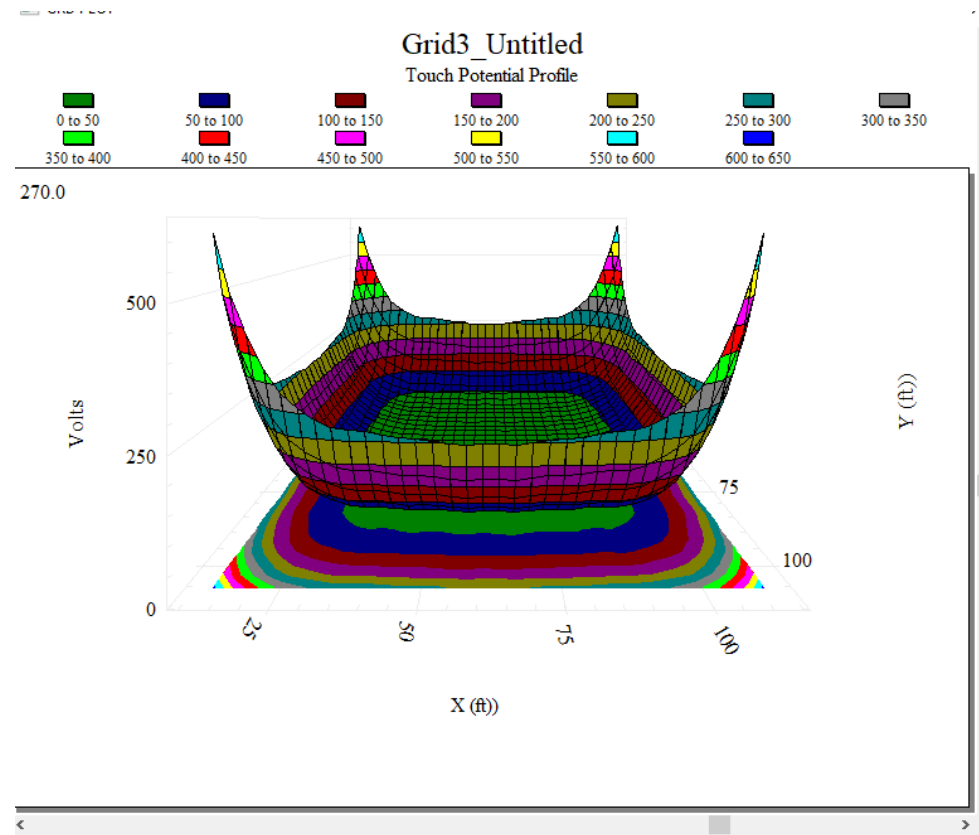
$$212,2 V < 2066,1 V$$



Voltaje de Toque

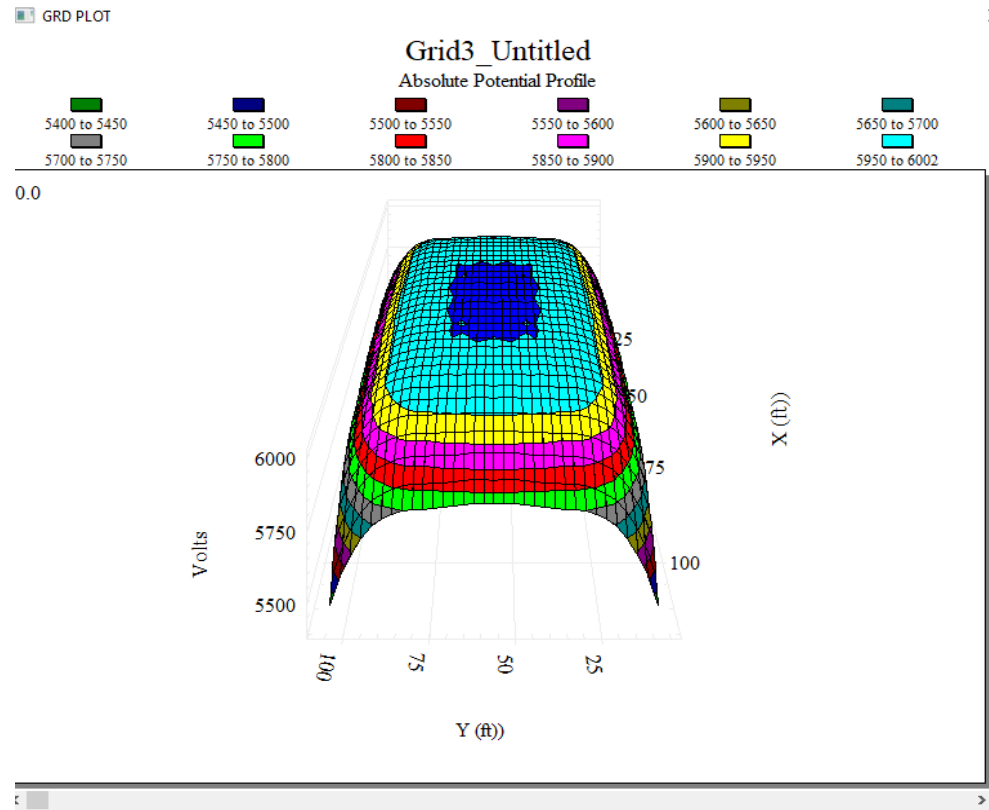
$$E_m < E_{toque}$$

$$612,1V < 639,6V$$



Voltaje Absoluto

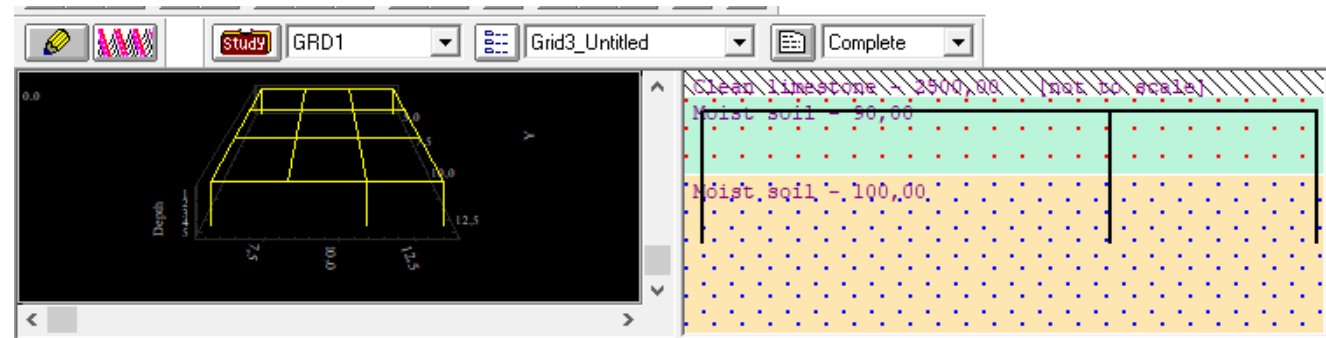
$$GPR = 6023,44 V$$



Simulación del SPT S/E Manta 3

$$I_{\text{cortocircuito}} = 8,298 \text{ kA}$$

Parámetros		Configuración de la malla para simulación normal
Profundidad de conductores (m)		1,5
Longitud de la malla (m)	Lx	8
	Lx	8
Nº de conductores	X	4
	Y	4
Nº total de conductores		8
Tipo de Conductor		Cobre, recocado suave estirado, 2/0 AWG
Nº de electrodos		5
Y unidad de electrodos		5



Método IEEE 80-2000

Resistencia del sistema de tierra simulada = 5,062 Ω

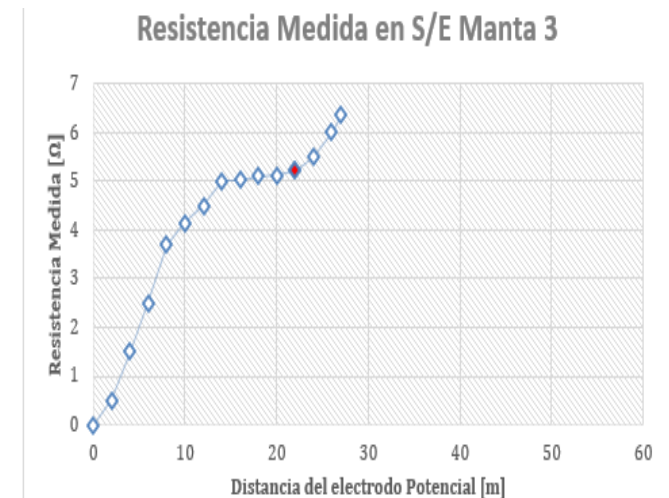
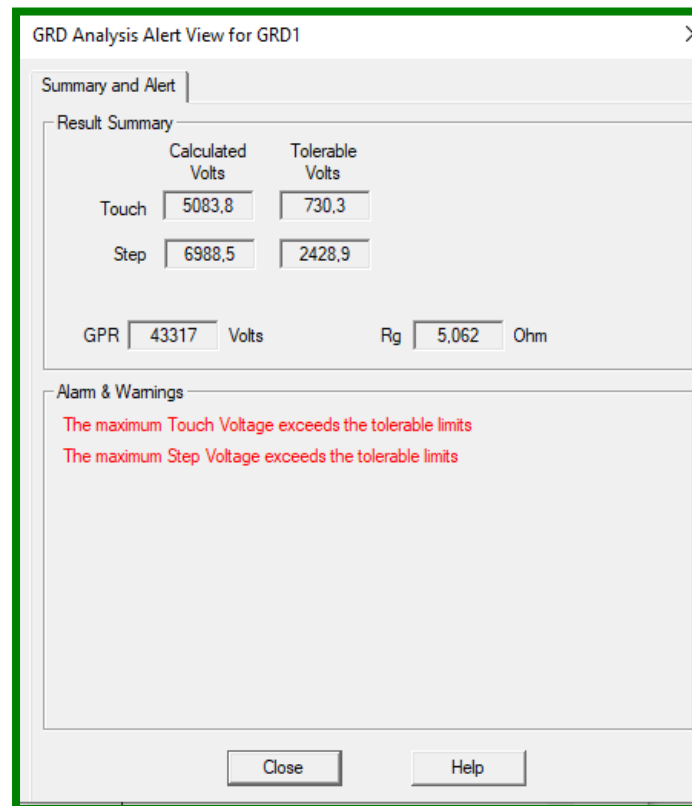
- No Cumple con Norma IEEE 80-2000.

- No cumple

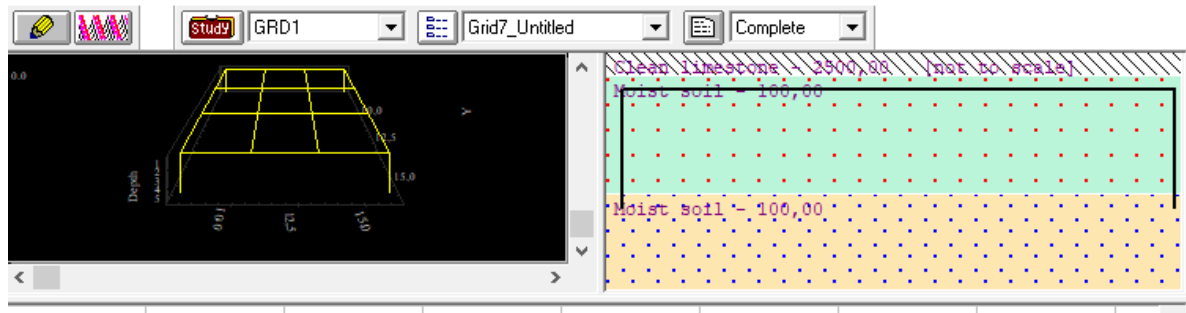
$$E_m > V_{toque}$$

- No cumple

$$E_s > V_{paso}$$



Método Elementos Finitos (FEM)



GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts	Location	
			X	Y
Touch	6957,8	730,5	8	16 m
Step	6013,5	2429,7	8	8 m

GPR Volts Rg Ohm

Alarm & Warnings

- The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits
- The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits

Close Help

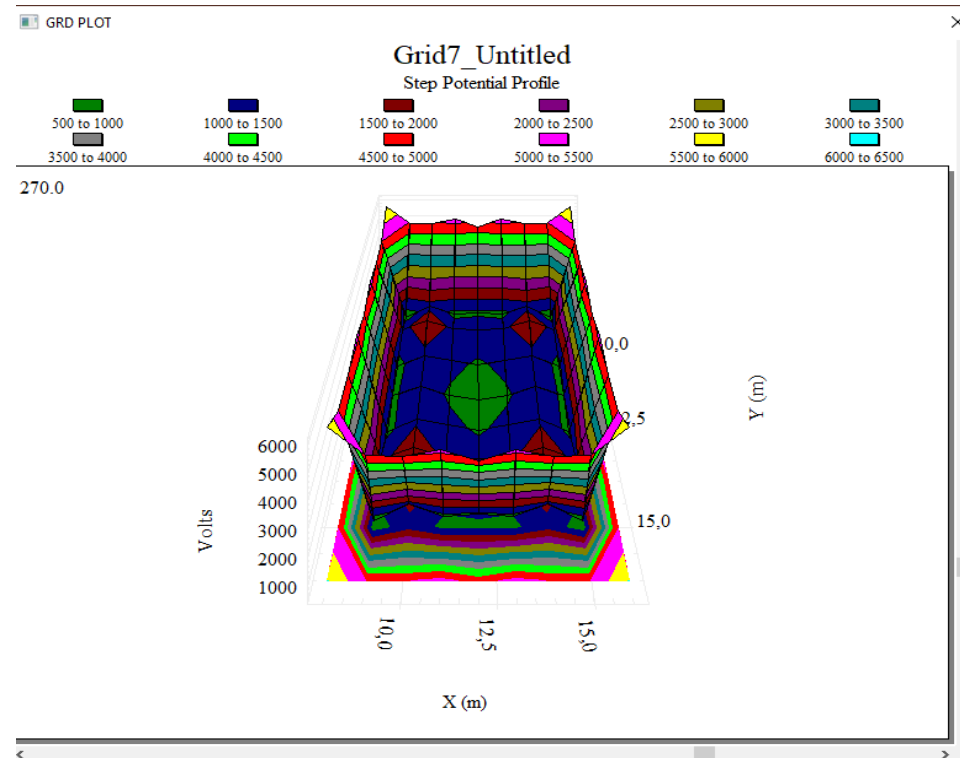


Voltaje de Paso

$$E_s > E_{paso}$$

$$6013,5 \text{ V} < 2429,7 \text{ V}$$

No Cumple

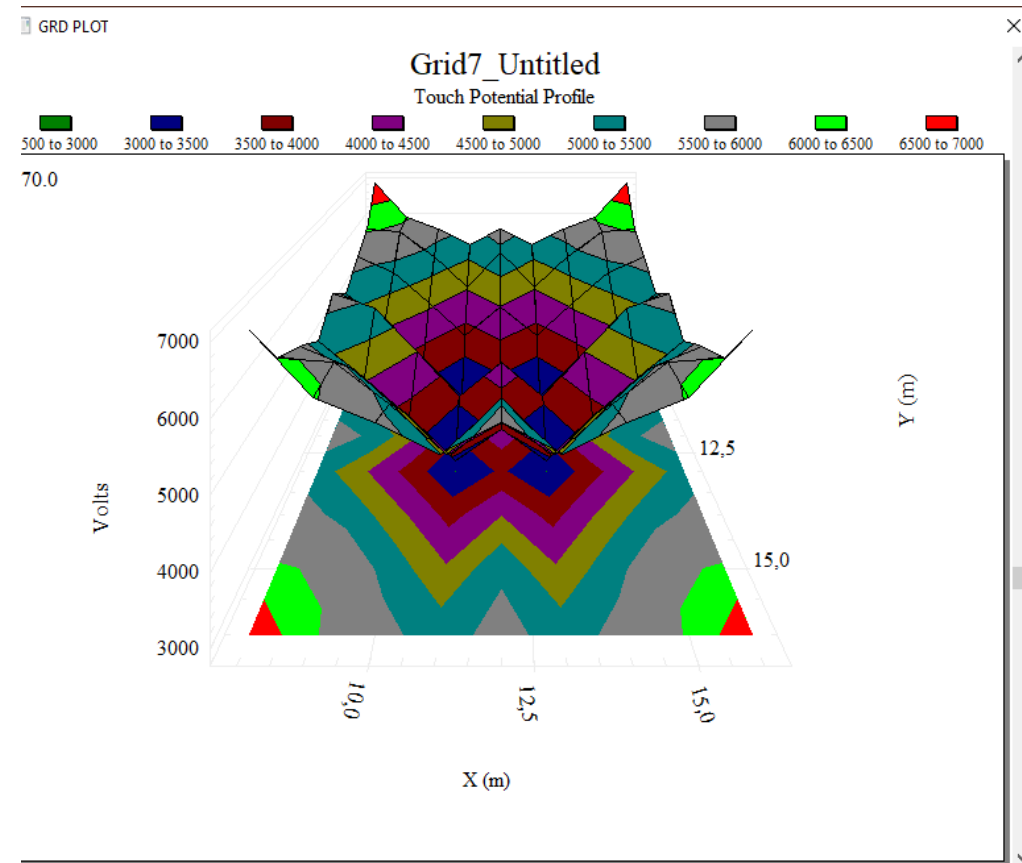


Voltaje de Toque

$$E_m > E_{toque}$$

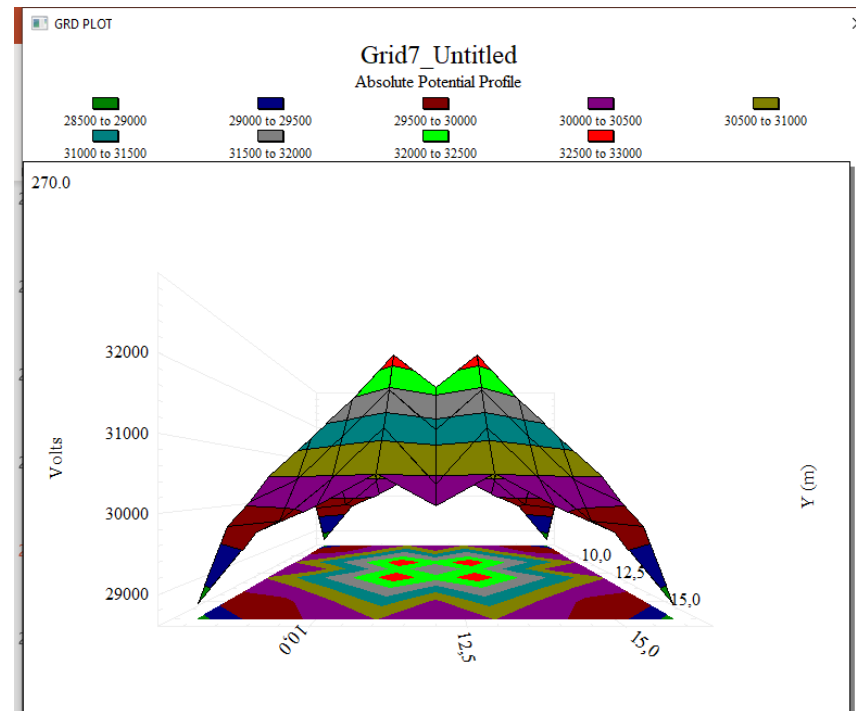
$$6957,8 > 730,5 V$$

No Cumple



Voltaje Absoluto

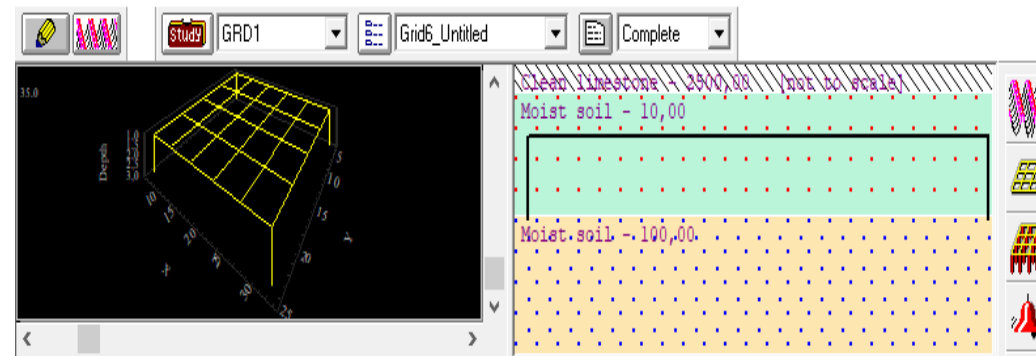
$GPR = 35763,2 V$
Elevado



Simulación del SPT S/E Montecristi 1

$$I_{cortocircuito} = 6,413 \text{ kA}$$

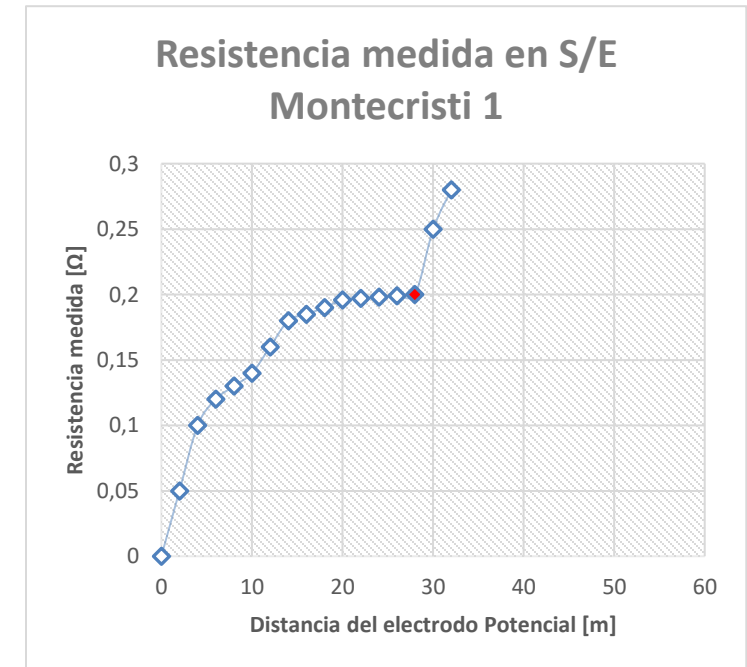
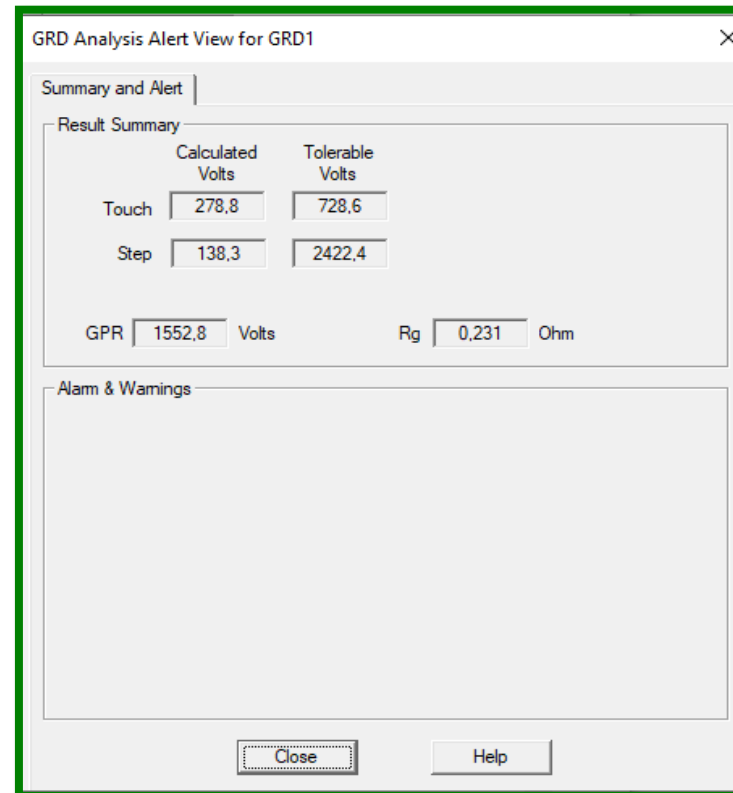
Parámetros		Configuración de la malla para simulación normal
Profundidad de conductores (m)		1
Longitud de la malla (m)	Lx	25
	Ly	20
Nº de conductores	X	5
	Y	6
Nº total de conductores		11
Tipo de Conductor		Cobre, recocido suave estirado, 70 mm ²
Nº de electrodos		4
Longitud de electrodo (m)		2
Diámetro del electrodo (cm)		2
Resistencia de la tierra		0,231



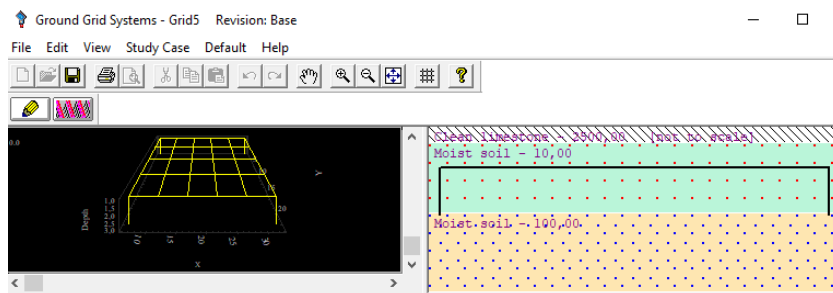
Método IEEE 80-2000

Resistencia del sistema de tierra simulada = 0,231 Ω

- Cumple con Norma IEEE 80-2000.
- $E_m < V_{toque}$
- $E_s < V_{paso}$



Método Elementos Finitos (FEM)



GRD Analysis Alert View for GRD1

Summary and Alert

Result Summary

	Calculated Volts	Tolerable Volts	Location	
			X	Y
Touch	520,1	728,6	31,8	23,2 m
Step	243,5	2422,4	6,8	3,2 m

GPR 5068,6 Volts Rg 0,754 Ohm

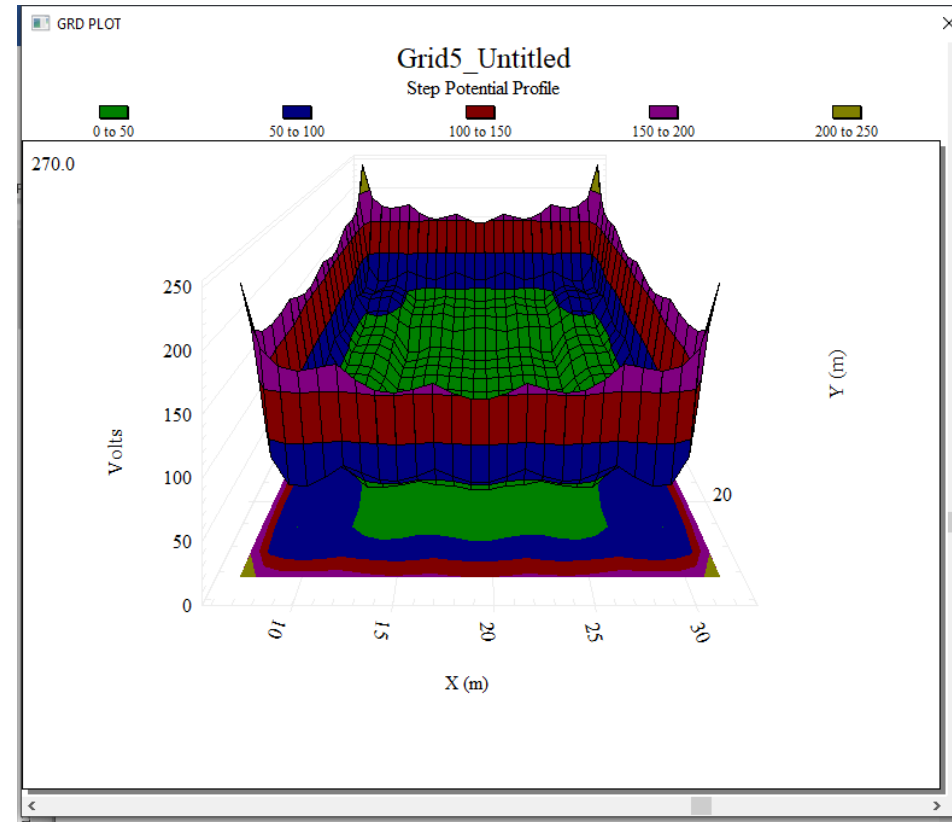
Alarm & Warnings



Voltaje de Paso

$$E_s < E_{paso}$$

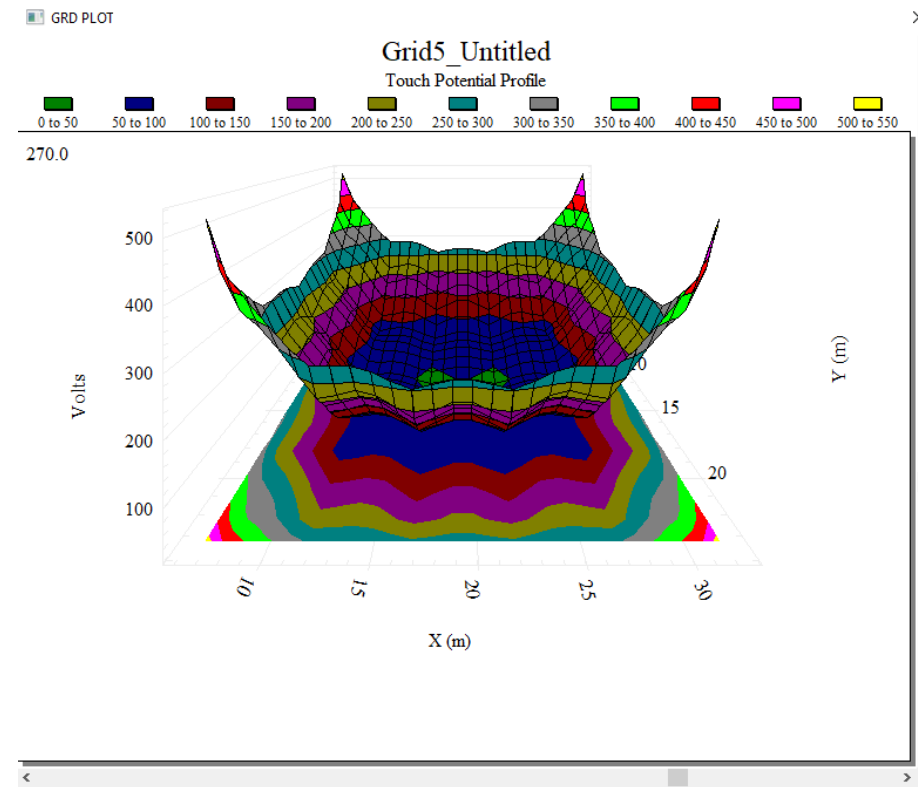
$$243,5 \text{ V} < 2422,4 \text{ V}$$



Voltaje de Toque

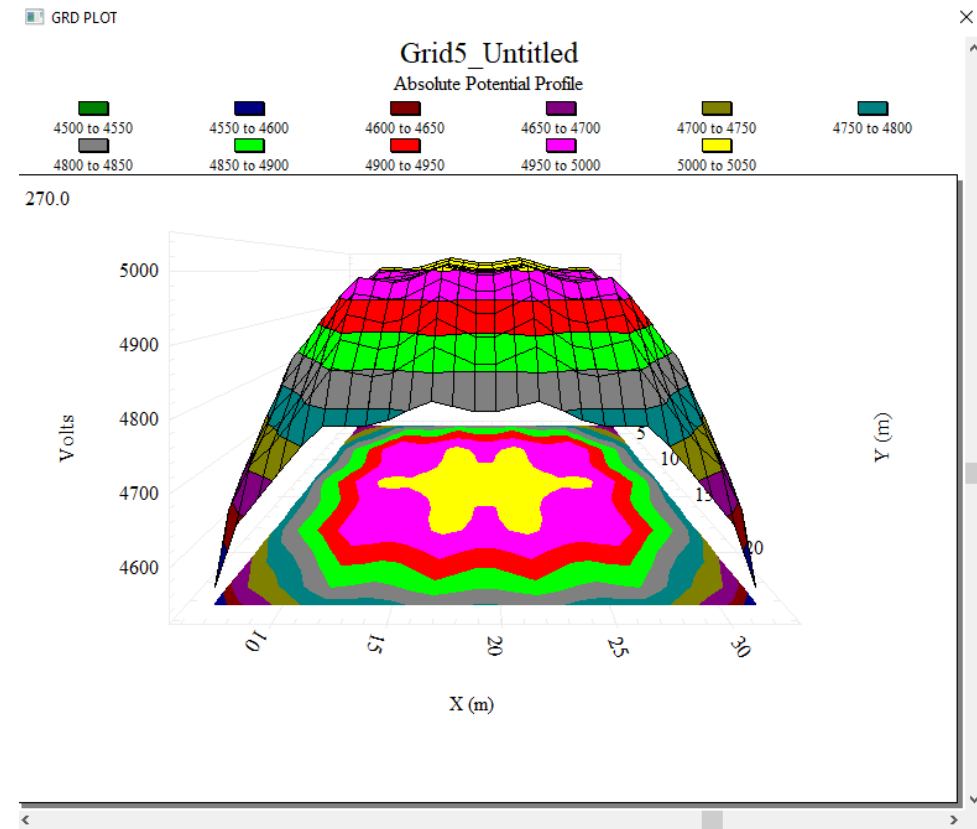
$$E_m < E_{toque}$$

$$520,1 V < 728,6 V$$



Voltaje Absoluto

$GPR = 5068,6 V$



Plan de Mantenimiento de los SPT

HOJA DE PROPUESTA DE MANTENIMIENTO

Frecuencia de la Rutina	Tarea Propuesta
Rutina Anual	Realizar la verificación del estado del sistema de puesta a tierra, mediante las mediciones de resistividad del terreno y medición de la resistencia de puesta a tierra, realizar un análisis estadístico de las mediciones, para evaluación de factibilidad técnica y factibilidad económica
	Medición de tensión de contacto y tensión de paso que se presenten sobre la superficie de la puesta a tierra, para comparar con los establecidos por la normativa y evaluar las condiciones del sistema.
	Tratamiento del terreno mediante sales y químicos, para disminuir su resistividad al paso de la corriente.
	Efectuar revisión en las cámaras de inspección, realizando excavaciones para determinar el estado físico de los conductores de la malla en distintos puntos
	Inspección del sistema de puesta a tierra, con las condiciones generales de los conductores, nivel de corrosión, estado de las uniones y componentes, para realizar un reacondicionamiento cíclico o una sustitución cíclica de ser necesaria.
	Verificar limpieza y ajuste de los tornillos de las uniones mediante martilleo en su cabeza. En caso de no presentar sonido no sólido aflojar, ajustar el tornillo y aflojar nuevamente y ajustar finalmente.
	Rediseñar o proponer mejoras del sistema si es requerido.



Análisis de Precios Unitarios para obtención de Costos

Tabla 50
Costo Referencial por Mantenimiento Predictivo

Costo total de Actividad por Mantenimiento Predictivo del sistema de tierra				
Actividades por Mantenimiento Predictivo	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Dólares)	Costo total (Dólares)
Inspección Visual del Cable de Protección	m	10	12,55	125,50
Inspección Visual de la Toma de Tierra	u	50	22,90	1.145,00
Inspección Visual de la Torre	u	50	2,72	136,00
Inspección Visual de corrosión en Uniones	u	100	20,9	2.090,00
Termovisión de Conductores	m	10	44,50	222,5
Medición puesta a tierra de Torre	u	50	30,50	732,00
Medición de resistividad del terreno	u	1	250,00	250,00
Medición de tensión de contacto y de paso	u	50	125,50	3.012,00
SUBTOTAL				7.713,00
I.V.A. (12%)				925,56
TOTAL (IVA)				8.638,56
INDIRECTOS (15%)				1.295,78
UTILIDAD (5%)				431,93
COSTO TOTAL DEL RUBRO				10.366,27



Análisis de Precios Unitarios para obtención de Costos

Tabla 51
Costo Referencial por Mantenimiento Preventivo

Costo total de Actividad por Mantenimiento Preventivo del sistema de tierra				
Actividades por Mantenimiento Preventivo	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Dólares)	Costo total (Dólares)
Limpieza de Uniones de aterrizado	u	50	80,00	2.800,00
Limpieza de conductores de tierra	m	10	180,55	1.805,50
Inspección de conductores de malla de tierra	m	10	25,50	255,00
Corrección de puntos calientes	m	10	570,00	5.700,00
Ajuste de conexiones en la caja de registro	u	50	95,00	3.800,00
Mantenimiento de Uniones de la caja de registro	u	50	120,50	2.410,00
SUBTOTAL				16.770,50
TOTAL (IVA)				18.782,96
INDIRECTOS (15%)				2.817,44
UTILIDAD (5%)				939,15
COSTO TOTAL DEL RUBRO				22.536,54



Análisis de Precios Unitarios para obtención de Costos

Tabla 52

Costo Referencial por mantenimiento correctivo

Costo total de Actividad por Mantenimiento Correctivo del sistema de puesta a tierra				
Actividades por Mantenimiento Correctivo	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Dólares)	Costo total (Dólares)
Reparación de conductores de tierra	m	10	550	3850,00
Reparación de uniones	u	100	150	15.000,00
Mejoramiento del sistema de tierra	u	50	180	9.000,00
Mejoramiento del suelo	u	1	750	750,00
SUBTOTAL				28.600,00
TOTAL (IVA)				32.032,00
INDIRECTOS (15%)				4.804,80
UTILIDAD (5%)				1.601,6
COSTO TOTAL DEL RUBRO				38.438,40



Conclusiones

- La condición actual de la resistencia de puesta a tierra de la subestación Portoviejo 1 es muy buena presenta un valor de $0,23\Omega$, ya que se encuentra bajo los estándares eléctricos permitidos, la cual tiene un valor menor a 1Ω , tal y como recomienda la norma IEEE 80-2000.
- La subestación Manta 3 presenta una elevada resistencia de puesta a tierra, presenta un valor de $5,21\Omega$ por lo que se encuentra en una condición no favorable, superando el límite de 1Ω establecido por la norma IEEE 80-2000.
- La subestación Montecristi 1 tiene una resistencia de puesta a tierra excelente, presenta un valor de $0,2\Omega$ por debajo de 1Ω establecido por la cláusula 14.1 de la norma IEEE 80-2000.



Conclusiones

- Se elaboró un plan de mantenimiento predictivo y preventivo para las subestaciones Portoviejo 1 y Montecristi 1, sus condiciones actuales son buenas, por lo que es factible realizar reacondicionamiento cíclico en las uniones y conductores que presentan óxido y mejorar las condiciones del terreno cada cierto tiempo.
- El plan de mantenimiento elaborado para la subestación Manta 3 es un plan correctivo, debido a que presenta condiciones críticas que afectan a la seguridad del personal y de los equipos en la subestación.



Recomendaciones

- Realizar comprobaciones del sistema de puesta a tierra periódicamente en intervalos máximos de 3 años, para asegurar la vida útil de los equipos, así como la seguridad al personal dentro de la subestación
- La subestación Manta 3 presenta condiciones críticas para la seguridad del personal y de los equipos, razón por la cual se requiere de un mejoramiento del terreno mediante cloruro de sodio, sulfato de magnesio y cobre o cloruro de calcio, para aumentar la conductividad del suelo que rodea el electrodo, junto con una reparación de la malla de tierra de la subestación añadiendo planchas de cobre.



Recomendaciones

- Los costos referenciales de mantenimiento para el sistema de puesta a tierra de las subestaciones proceden de tres actividades, el mantenimiento predictivo que presenta un costo referencial de \$10.366,27 USD, el mantenimiento preventivo con un costo de \$22.536,54 USD y el mantenimiento correctivo que cuenta con un costo referencial de \$38.438,40 USD para la ejecución de dichas actividades.



Gracias