

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

TEMA: *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS Y DE SEGURIDAD EN EL LABORATORIO DE PRUEBAS DE EQUIPOS A 15KV”.*

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO

POSTULANTES:

VILLACRES ARMAS PABLO SANTIAGO

POZO GUALPA NELSON MAURICIO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. KLEBER MAYORGA

LATACUNGA – ECUADOR

NOVIEMBRE 2011

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	1
1.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	1
1.1.1 Definiciones.....	2
1.2 CONSTITUCIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA.....	3
1.2.1 El toque eléctrico.....	4
1.2.2 Contacto directo.....	4
1.2.3 Contacto indirecto.....	5
1.2.4 Falla de los aparatos eléctricos.....	6
1.2.4.1 Recorrido de las corrientes de falla (IF).....	6
1.2.4.2 Corrientes admisibles por el cuerpo humano - I_k	7
1.2.5 Parámetros eléctricos en el cuerpo humano.....	8
1.2.5.1 Resistencia eléctrica R_k	8
1.2.5.2 Potenciales admisibles V_k	9
1.3 MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA.....	10
1.3.1 Sistema no aterrizado.....	11
1.3.2 Sistema aterrizado.....	13
1.3.2.1 Sistema aterrizado mediante impedancia.....	13
1.3.2.2 Sistema aterrizado con baja impedancia.....	14
1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	15
1.5 CONDUCTORES DE TIERRA.....	19
1.5.1 Requerimientos del sistema de puesta a tierra.....	19
1.5.2 Conductores de conexión y conductores de protección.....	20
1.6 ELECTRODOS DE TIERRA.....	21
1.7 MÉTODOS DE INSTALACIÓN.....	22
1.7.1 Barras.....	22
1.7.2 Planchas.....	25
1.7.3 Electrodo Horizontales.....	26
1.7.4 Relleno.....	26

1.7.5 Conexiones	26
1.7.5.1 Conexiones Mecánicas	27
1.7.5.2 Conexiones bronceadas (soldadas en fuerte)	28
1.7.5.3 Uniones exotérmicas.....	29
1.7.5.4 Conexiones soldadas en forma autógena	29
1.8 DISEÑO PARA LA PUESTA A TIERRA.....	30
1.8.1 Sistema de electrodos a tierra	30
1.8.2 Sistemas de electrodos de área pequeña.....	32
1.8.3 Sistemas de electrodos de área media	35
1.8.4 Diseño para edificios.....	40
1.9 NORMAS Y REGLAMENTACIÓN	44
1.10 EQUIPO DE PUESTA A TIERRA	45
1.10.1 Componentes del instrumento.....	45
1.10.2 Requisitos mínimos de los instrumentos.....	46
1.10.3 Ensayos tipo	47
1.10.4 Consideraciones para la medición.....	48
1.10.5 Casos no recomendables para la medición.....	48
1.11 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	49
1.11.1 Electrodo verticales (jabalina).....	52
1.11.2 Resistencia a tierra de dos o más jabalinas en paralelo.....	54
1.11.3 Electrodo horizontales	56
1.11.4 Resistencia de malla.....	58
1.11.4.1 Cálculo de la resistencia de malla.....	59
1.11.5 Tensiones presentes en las mallas de tierra.....	59
1.11.5.1 Tensión de paso (Vp).....	59
1.11.5.2 Tensión de contacto o toque	60
1.11.6 Electrodo de puesta a tierra óptimos	62
1.11.6.1 Electrodo verticales.....	62
1.11.6.2 Electrodo horizontales.....	64
1.11.7 Resistencias de dispersión.....	65
CAPITULO II	71

2.1 INTRODUCCIÓN	71
2.2 RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS	71
2.3 INFLUENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO.....	73
2.4 FACTORES QUE DETERMINAN LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.....	73
2.4.1 Naturaleza de los suelos.....	73
2.4.2 La humedad	74
2.4.3 La temperatura del terreno.....	75
2.4.4 La concentración de sales disueltas	76
2.4.5 La compactación del terreno.....	77
2.4.6 La estratificación del terreno	78
2.5 GENERALIDADES DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	79
2.6 FINALIDAD DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	80
2.7 MÉTODOS DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD.....	80
2.7.1 Método de los tres electrodos	80
2.7.2 Método de los cuatro electrodos	82
2.7.3 Configuración Wenner.....	83
2.7.4 Configuración de Schlumbereger	85
2.8 EQUIPO TÉCNICO NECESARIO PARA LAS PRUEBAS	86
2.8.1 Probador de resistencia de tierra.....	86
2.8.2 Características del equipo Ground Tester (Modelo 6470-B).....	86
2.8.3 Especificaciones técnicas del equipo Ground Tester (Modelo 6470-B).....	87
2.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENTREVISTA Y LA ENCUESTA.....	88
2.9.1 Entrevista.....	88
2.9.2 Encuesta.....	94
2.10 ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS	105
2.11 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	105
CAPITULO III.....	106
3.1 PROPUESTA FACTIBLE.....	106

3.2 PRESENTACIÓN	106
3.3 JUSTIFICACIÓN	107
3.4 MARCO TEÓRICO	108
3.5 MARCO ADMINISTRATIVO	110
3.6 FACTIBILIDAD	112
3.7 IMPACTO	112
3.8 CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA.....	113
3.8.1 Análisis matemático para la determinación de la resistividad eléctrica.....	113
3.8.2 Procedimientos de cálculo	116
3.8.3 Investigación de las características del terreno.....	117
3.8.4 Determinación de la corriente de corto circuito de falla a tierra.....	120
3.8.5 Determinación de la corriente máxima de la falla a tierra	121
3.9 DISEÑO PRELIMINAR DE LA MALLA.....	122
3.9.1 Cálculo de la resistencia a tierra de la malla diseñada.....	127
3.9.2 Tratamiento químico del suelo mediante la adición de Gel.....	133
3.9.3 Construcción del sistema de puesta a tierra	138
BIBLIOGRAFÍA	154
ANEXO.....	155

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA # 1 CONTACTO DIRECTO.....	5
FIGURA # 2 CONTACTO INDIRECTO.....	6
FIGURA # 3 CORRIENTE DE FALLA RETORNANDO A LA FUENTE.....	7
FIGURA # 4 RECORRIDOS DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO HUMANO.....	8
FIGURA# 5 POTENCIALES EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	9
FIGURA # 6 POTENCIALES EN RÉGIMEN TRANSITORIO.....	10
FIGURA # 7. CORRIENTES CAPACITIVAS EN UN SISTEMA TRIFÁSICO.....	11
FIGURA # 8 SISTEMA TN-S TÍPICO. FUENTE PUESTA A TIERRA EN UN ÚNICO PUNTO. CONDUCTORES DE NEUTRO Y TIERRAS SEPARADAS. EL CLIENTE DISPONE DE UN TERMINAL DE TIERRA DESDE LA PANTALLA DEL CABLE DE SERVICIO.....	16
FIGURA # 9 SUMINISTRO TN-C-S (TIERRA DE PROTECCIÓN MÚLTIPLE).....	17
FIGURA # 10 SISTEMA PNB.....	17
FIGURA #11 SISTEMA TT. LA ALIMENTACIÓN SE PONE A TIERRA EN UN ÚNICO PUNTO.....	18
FIGURA # 12 FUENTE AISLADA DE TIERRA O CONECTADA A TIERRA A TRAVÉS DE ALTA IMPEDANCIA.....	19
FIGURA # 13 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO A UNA PUESTA A TIERRA DE BARRA SIMPLE.....	31
FIGURA # 14 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO A UN GABINETE CON PUESTA A TIERRA DE PLACA ÚNICA.....	33
FIGURA # 15 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO ENTORNO AL GABINETE CON BARRA SIMPLE Y ELECTRODO PERIMETRAL (GRADUADOR DE POTENCIAL)..	34
FIGURA # 16 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO Y EN EL INTERIOR DE UNA SUBESTACIÓN CON DISEÑO ANTIGUO QUE INCORPORA BARRAS Y ELECTRODOS HORIZONTALES.....	36
FIGURA # 17 TIPO MALLA, PARA PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIÓN.....	38
FIGURA # 18 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN EL ENTORNO Y SOBRE UN ARREGLO DE PUESTA A TIERRA MODERNO TIPO MALLA.....	39
FIGURA # 19 ARREGLO DE PUESTA A TIERRA TN-C-S EN UNA INSTALACIÓN DOMICILIARIA.....	41
FIGURA # 20 INSTALACIÓN TN-S TÍPICA EN EL INTERIOR DE UNA PROPIEDAD COMERCIAL O INDUSTRIAL PEQUEÑA.....	42
FIGURA # 21 COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	51
FIGURA # 22 MODELO DE JABALINA ENTERRADA, EN LA SUPERFICIE Y EN IMAGEN.....	53
FIGURA # 23 ELECTRODO VERTICAL ENTERRADO A UNA PROFUNDIDAD T.....	54
FIGURA # 24 ZONAS DE INTERFERENCIA (TRASLAPE), CUANDO LOS ELECTRODOS NO ESTÁN ESPACIADOS SUFICIENTEMENTE.....	55
FIGURA # 25 DOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.....	55
FIGURA # 26 ELECTRODO HORIZONTAL ENTERRADO A UNA PROFUNDIDAD “H”. ..	57
FIGURA # 27 CONFIGURACIONES HORIZONTALES DE CONDUCTORES.....	57
FIGURA # 28 TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO (TOQUE).....	60
FIGURA # 29 OPTIMIZACIÓN DEL ELECTRODO VERTICAL CON RELLENO EN POZO.	63
FIGURA # 30 OPTIMIZACIÓN DEL ELECTRODO HORIZONTAL CON RELLENO EN ZANJA.....	65
FIGURA # 31 RESISTENCIA DE DISPERSIÓN DEL ELECTRODO VERTICAL.....	66

FIGURA # 32 CONEXIÓN DE ELECTRODOS VERTICALES EN PARALELO.....	67
FIGURA # 33 RESISTENCIA DE DISPERSIÓN DE ELECTRODOS HORIZONTALES.	69
FIGURA # 34 CONEXIONES DE ELECTRODOS COMBINADOS.....	70
FIGURA # 35 RESISTIVIDAD DE UN CUBO DE TERRENO DE 1 M DE ARISTA.....	71
FIGURA # 36 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE HUMEDAD	75
FIGURA # 37 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA	76
FIGURA # 38 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DEL % DE SAL.....	77
FIGURA # 39 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA COMPACTACIÓN DEL TERRENO.....	77
FIGURA # 40 INFLUENCIA DE LA ESTRATIFICACIÓN DEL TERRENO	78
FIGURA # 41 MODELO DE SUELO DE DOS ESTRATOS (CAPAS)	79
FIGURA # 42 MÉTODO DE TRES ELECTRODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	81
FIGURA # 43 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD POR EL MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS.....	82
FIGURA # 44.....	84
FIGURA # 45 CONFIGURACIÓN DE WENNER.....	84
FIGURA # 46 CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER.....	85
FIGURA # 47 TELURÓMETRO	86
FIGURA # 48.....	95
FIGURA # 49.....	95
FIGURA # 50.....	97
FIGURA # 51.....	98
FIGURA # 52.....	99
FIGURA # 53.....	100
FIGURA # 54.....	101
FIGURA # 55.....	102
FIGURA # 56.....	103
FIGURA # 57.....	104
FIGURA # 58 MODELO ANALÍTICO DE UN SUELO CONDUCTOR DE RESISTIVIDAD ($\Delta\rho$) HOMOGÉNEA.....	114
FIGURA # 59 DISPOSICIÓN DE LOS ELECTRODOS PARA EL MÉTODO DE WENNER.....	118
FIGURA # 60 GEL (GEN ÉRICO) UTILIZADO PARA ELABORAR LOS SPT.....	133

ÍNDICE TABLAS

TABLA # 1 RESISTIVIDADES TÍPICAS SEGÚN EL TIPO DE SUELO O AGUA	74
TABLA # 2 ESPECIFICACIONES	87
TABLA # 3 ESCALA	87
TABLA # 4	88
TABLA # 5 TABLA DE DATOS DE LA PRIMERA PREGUNTA	94
TABLA # 6 TABLA DE DATOS DE LA SEGUNDA PREGUNTA	95
TABLA # 7 TABLA DE DATOS DE LA TERCERA PREGUNTA	97
TABLA # 8 TABLA DE DATOS DE LA CUARTA PREGUNTA.....	98
TABLA # 9 TABLA DE DATOS DE LA QUINTA PREGUNTA.....	99
TABLA # 10 TABLA DE DATOS DE LA SEXTA PREGUNTA	100
TABLA # 11 TABLA DE DATOS DE LA SÉPTIMA PREGUNTA	101
TABLA # 12 TABLA DE DATOS DE LA OCTAVA PREGUNTA	102
TABLA # 13 TABLA DE DATOS DE LA NOVENA PREGUNTA	103
TABLA # 14 TABLA DE DATOS DE LA DECIMA PREGUNTA	104
TABLA # 15 DETALLES DE COSTOS DE LOS MATERIALES ADQUIRIDOS POR LOS TESISTAS	110
TABLA # 16 DETALLES DE COSTOS DE LOS ACCESORIOS ADQUIRIDOS POR LOS TESISTAS	111
TABLA # 17 DETALLES DE COSTO TOTAL DE LA TESIS.....	111
TABLA # 18 DESCRIPCIÓN DE SUELO	119
TABLA # 19 CARACTERÍSTICAS DE SUELO	119
TABLA # 20 FACTOR DE DECREMENTO	121
TABLA # 21 DISTANCIA DE UN METRO ENTRE ELECTRODOS	128
TABLA # 22 DISTANCIA DE DOS METROS ENTRE ELECTRODOS	129
TABLA # 23 DISTANCIA DE TRES METROS ENTRE ELECTRODOS	129
TABLA # 24 DISTANCIA DE CUATRO METROS ENTRE ELECTRODOS.....	129
TABLA # 25 DISTANCIA DE CINCO METROS ENTRE ELECTRODOS.....	130
TABLA # 26 RESISTIVIDAD PROMEDIO	130
TABLA # 27 DOSIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA RESISTIVIDAD.....	134
TABLA # 28 RESULTADO DE APLICACIÓN.....	135
TABLA # 29 ANÁLISIS DE RESULTADOS	138

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis nace debido a la necesidad que tenía la Universidad Técnica de Cotopaxi de la creación de un laboratorio de pruebas para la carrera de Ingeniería Eléctrica, por lo que para su buen desempeño y funcionamiento se diseñó e implementó un sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15KV, de acuerdo a las normas y recomendaciones emitidas por la IEEE, con la finalidad de brindar garantías, a personas, equipos e instalaciones eléctricas.

El desarrollo de este proyecto inicia con la recopilación de información necesaria y adecuada, en función de la base teórica establecida, por lo que se realiza el estudio del suelo, mediciones de resistividad, cálculos y diseño de acuerdo al área establecida.

Obtenidos los datos se elabora el correspondiente plano donde se detalla la ubicación y distancias de la malla de un sistema de puesta a tierra, para lo cual se construyó utilizando la configuración de electrodo vertical de acuerdo a un proceso lógico como son: ubicación, excavación de los pozos, tratamiento químico al terreno con la aplicación de gel con el propósito de disminuir su resistividad mejorando la conductividad de la malla.

Este estudio realizado nos brinda como resultado favorable para los sistemas eléctricos, equipos y las personas ya que estarán protegidos contra posibles potenciales peligrosos.

ANTECEDENTES

En los sistemas de telégrafo de principios del siglo XIX se usaban dos o más cables para llevar la señal y el retorno de las corrientes. Por aquel entonces se descubrió probablemente el científico alemán (Carl August Steinheil) que la tierra podría ser usada como un camino de retorno para completar un circuito cerrado, de esta forma el cable de retorno era innecesario.

Sin embargo, había problemas con este sistema, ejemplificado por la línea de telégrafo transcontinental construida en 1861 por la "Western Union Company" entre San José (Missouri) y Sacramento (California). Con clima seco, la conexión de tierra a menudo desarrollaba una alta resistencia, esto requería que vertiera agua sobre las barras que hacían de conexión para que el sistema funcionara.

Más adelante, cuando la telefonía comenzó a sustituir a la telegrafía, se encontró que las corrientes que inducían en la tierra otros aparatos, los ferrocarriles y los relámpagos causaban una interferencia inaceptable, por lo que el sistema de dos hilos fue reintroducido.

La toma a tierra es un sistema de protección al usuario de los aparatos conectados a la red eléctrica. Consiste en una pieza metálica, conocida como pica, electrodo o jabalina, enterrada en suelo con poca resistencia eléctrica y si es posible conectada también a las partes metálicas de la estructura de un edificio. Se conecta y distribuye por la instalación por medio de un cable de aislante, que debe acompañar en todas sus derivaciones a los cables de tensión eléctrica, y debe llegar a través de los enchufes a cualquier aparato que disponga de partes metálicas que no estén suficientemente separadas de los elementos conductores de su interior.

Cualquier contacto directo o por humedades, en el interior del aparato eléctrico, que alcance sus partes metálicas con conexión a la toma a tierra encontrará por

ella un camino de poca resistencia eléctrica, evitando pasar al suelo a través del cuerpo del usuario que accidentalmente pueda tocar el aparato.

ANTECEDENTES DE LA INSTITUCIÓN.

Después de varias gestiones y teniendo como antecedente la extensión que creo la Universidad Técnica del Norte se cumple con los anhelos de toda la gente de Cotopaxi, el cual fue contar con una institución pública, laica y gratuita, creada mediante ley promulgada en el Registro Oficial N.- 618 del 24 de enero de 1995, y que forma parte del Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Superiores. Se rige por la Constitución Política del Estado, la Ley de Educación Superior y otras leyes conexas. La Universidad ha definido con claridad su postura institucional orientando así su trabajo hacia los sectores urbanos, marginales y campesinos del Centro del país; para de esta manera alcanzar la calidad y la excelencia educativa.

La misión de la universidad es desarrollar una educación liberadora, para la transformación social, que satisface las demandas de formación y superación profesional, en el avance científico-tecnológico de la sociedad, en el desarrollo cultural, universal y ancestral de la población ecuatoriana. Generadora de ciencia, investigación y tecnología con sentido: humanista, de equidad, de conservación ambiental, de compromiso social y de reconocimiento de la interculturalidad; para ello, desarrolla la actividad académica de calidad, potencia la investigación científica, se vincula fuertemente con la colectividad y lidera una gestión participativa y transparente, con niveles de eficiencia, eficacia y efectividad, para lograr una sociedad justa y equitativa.

Es así que la Universidad Técnica de Cotopaxi asumió la responsabilidad de formar profesionales del más alto nivel científico, progresistas y de pensamiento democrático los mismos que estarán al servicio de todos los sectores del país.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15KV en la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante ajustes de protección de alto voltaje para interrumpir los circuitos y aislar los equipos o aparatos con falla, de manera que se minimice el efecto de la falla y se mantenga la continuidad del servicio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Limitar las tensiones de las partes metálicas de los equipos o máquinas a valores no peligrosos para las personas.

- Asegurar, en caso de avería del material utilizado, la actuación correcta de las protecciones, de forma que la parte de la red averiada quede separada de las fuentes de alimentación, eliminando los riesgos propios de la avería.

- Impedir la acumulación de cargas electrostáticas o inducidas en los equipos, máquinas o elementos metálicos que se hallen en zonas con riesgo de explosión

La presente investigación está distribuida de la siguiente manera:

En el Capítulo I se da a conocer las bases teóricas de los sistemas de puesta a tierra y protecciones eléctricas, la constitución de una puesta a tierra los equipos a utilizar en para la medición de la resistividad del terreno el mismo que ayudara a recolectar datos e información que serán utilizados en el diseño. En el Capítulo II se realiza un diagnóstico dentro de la Universidad Técnica de Cotopaxi con lo cual se analizará e interpretará la información recopilada por medio de las encuestas. En el Capítulo III se implementa y construye el sistema de puesta a tierra y protecciones eléctricas basando en los cálculos realizados para este tipo de instalaciones demostrando así el la manera de realizar una puesta a tierra el mismo que cumplirá con las necesidades del laboratorio de banco de pruebas para transformadores de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

CAPITULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.

Todas las instalaciones eléctricas necesitan estar aterrizadas a tierra, es así que en los últimos años esta práctica se viene desarrollando y evolucionando cada día más, al punto que en la actualidad la mayoría de sistemas eléctricos tales como estaciones generadoras, líneas de transmisión, líneas de distribución e instalaciones tanto comerciales como domiciliarias cuentan con este tipo de conexiones.

Ante las posibles fallas de aislamiento de los conductores en algunos equipos eléctricos, se corre el riesgo de que la cubierta metálica de éstos, quede con tensión eléctrica. El contacto directo con un equipo electrizado puede producir en el ser humano desde alteraciones del ritmo cardíaco hasta la muerte. La conexión a tierra eficaz conduce la electricidad indeseable hacia tierra alejando el peligro en forma segura. La cubierta metálica, o apantallamiento puesto a tierra, es usual en muchas líneas de transmisión de la información, porque protege a los equipos electrónicos contra perturbaciones electromagnéticas. También sirve como referencia de las señales en un equipo electrónico y para eliminar las diferencias de potencial entre diferentes componentes de un sistema de comunicaciones o control automático. Todas estas y otras aplicaciones merecen un tratamiento singular.

Un error común en la conexión de un equipo o en la transmisión de tensión en un conducto es la confusión entre tierra (GND) y neutro (N). Aunque idealmente estos dos terminan conectados en algún punto a tierra, la función de ellos es muy distinta. Mientras que el cable de neutro es el encargado de la transmisión de corriente, el conductor de tierra es una de las seguridades primarias de los equipos contra el shock eléctrico; de modo que tomándolos como la misma cosa anulamos

la seguridad de tierra contra el shock eléctrico. En el hipotético caso que en una instalación tomara el neutro y tierra como la misma cosa, cuando el cable de tierra se corte o abra, la carcasa de los equipos conectados a tierra-neutro, tendrá el potencial de línea y así toda persona que los toque estará expuesta a una descarga eléctrica.

Se denomina puesta a tierra de una instalación dada a la unión eléctrica intencional entre todas las masas metálicas de la misma y un electrodo dispensor enterrado en el suelo, que suele ser generalmente una jabalina, placa o malla de cobre o hierro galvanizado (o un conjunto de ellas), con el fin de conseguir una unión con la menor resistencia eléctrica posible entre las masas y la tierra. Si esa unión se realiza sin interposición de impedancia (o resistencia) alguna, se dice que es una puesta a tierra directa, en caso contrario sería una vinculación indirecta.

1.1.1 Definiciones.

Para una mejor comprensión del tema es conveniente definir los siguientes términos los mismos que utilizaremos para el desarrollo de la presente tesis:

Caída de potencial o tensión.- Es la diferencia entre las tensiones medidas en dos puntos diferentes de una línea en un momento dado.

Conductor de puesta a tierra.- Es el conductor que está conectado sólidamente de manera intencional a una puesta a tierra, para conectar a tierra los diferentes puntos de una instalación.

Conductor de protección.- Conductor usado para conectar las partes conductivas de los equipos, canalizaciones y otras cubiertas, entre si y/o con el (los) electrodo(s) de puesta a tierra, o con el conductor neutro en el tablero, el equipó de conexión o en la fuente de un sistema derivado separadamente.

Contacto directo.- Es el contacto accidental de personas con un conductor activo (fase o neutro) o con una pieza conductora que habitualmente esta con tensión.

Contacto indirecto.- Es el contacto de una persona con masa metálicas accidentalmente puestas bajo tensión, siendo este el resultado de un defecto de aislamiento.

Voltaje de paso.- Es la diferencia de potencial (tensión) máxima entre dos puntos sobre el terreno separados entre sí a una distancia de un paso, la cual se supone de un metro, en la dirección de máxima gradiente de potencial.

Voltaje de toque.- Es la diferencia de potencial máxima entre una estructura u objeto metálico puesto a tierra y un punto sobre la superficie del terreno a una distancia horizontal de un metro.

Terminal de conexión a tierra o borde de tierra.- Es un punto aislado de los conductores eléctricos, pero no de la masa del aparato, al cual se une sólidamente el conductor de conexión a tierra.

Electrodo de puesta a tierra o electrodo de aterramiento.- Es un conductor metálico rectilíneo resistente al ataque corrosivo (cobre), embutido directamente en el suelo o en el relleno de una excavación, puede tener diferentes formas.

Resistividad del suelo.- Mediante este término se define a la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, pudiendo ser también un estrato del suelo; se obtiene indirectamente mediante mediciones realizadas en un determinado campo; su magnitud se expresa en ($\Omega \times m$), es inversa a la conductividad. Entonces la resistividad eléctrica (ρ) es la relación que se da entre la diferencia de potencial en un material y la densidad de corriente que resulta en el mismo.

1.2 CONSTITUCIÓN DE UNA PUESTA A TIERRA.

Para que un sistema de energía eléctrica opere correctamente con una apropiada continuidad de servicio, con un comportamiento seguro de los sistemas de protección y para garantizar los niveles de seguridad personal es necesario que el sistema eléctrico en su conjunto posea un sistema de puesta a tierra.

Cuando se trata de instalaciones eléctricas que darán servicio a una extensa gama de aparatos eléctricos y electrónicos ya sean fijos o móviles; con carcazas metálicas y no metálicas, susceptibles al deterioro desde el punto de vista eléctrico es fundamental la protección contra las fallas debido al deterioro del aislamiento que origina la aparición de tensiones por contactos indirectos.

1.2.1 El toque eléctrico

Es el contacto accidental con un conductor u objeto electrizado que ocasiona que ocasiona inicialmente estremecimiento y contracciones súbitas en una persona o en un animal; la severidad y consecuencias de estas y otras manifestaciones, dependerá de la intensidad de la corriente eléctrica y del tiempo que esta circule por el cuerpo.

1.2.2 Contacto directo

Ocurre cuando una parte desprotegida del cuerpo humano (Fig. 1) hace contacto limpio con una pieza desprovista de aislamiento o con una parte de un conductor activo (energizado), en tanto que otra parte del cuerpo está en contacto con otro punto de menor potencial; generalmente se trata de componentes defectuosos o averiados, por el uso tales como tomacorrientes o conductores pelados de artefactos eléctricos.

Los toques directos son sumamente peligrosos. Los accidentes se puede evitar, en principio, cuidando que los elementos eléctricos que normalmente utilizamos como son: interruptores, timbres, conductores aislados etc. No presente averías ni daños.

FIGURA # 1 CONTACTO DIRECTO



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

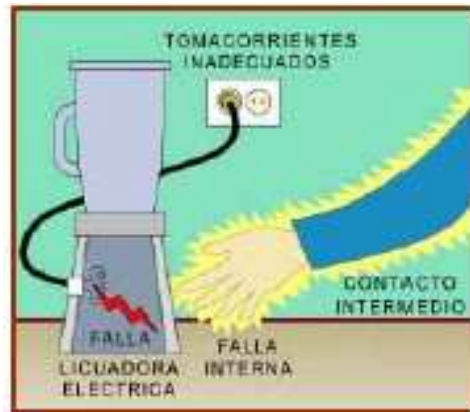
1.2.3 Contacto indirecto

Constituye una parte del cuerpo humano (fig. 2) con la masa (caja metálica o cubierta) de una máquina, artefacto o instalación eléctrica que se ha electrizado debido a la falla interna del aislamiento mientras que otra parte está en contacto con un punto de menor potencial. Puede ocurrir con la máxima conducción de corriente “falla franca” o a través de una resistencia espontánea que limita dicha corriente “falla amortiguada”.

Los toques indirectos a veces son menos peligrosos porque el contacto ocurre a través de un medio que limita la corriente; sin embargo, son difíciles de evitar al igual que las fallas eléctricas

En todos los casos, al cumplir con la forma de uso, recomendado por el fabricante para cada aparato, se estará minimizando el riesgo.

FIGURA # 2 CONTACTO INDIRECTO



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.2.4 Falla de los aparatos eléctricos

Los aparatos eléctricos en funcionamiento pueden fallar por deterioro natural o como consecuencia del uso recargado o erróneo o por la incidencia de una sobretensión en el circuito eléctrico; de ese modo involucran accidentalmente a las personas que los están utilizando con una corriente que atraviesa el cuerpo.

1.2.4.1 Recorrido de las corrientes de falla (IF)

La corriente de falla en vez de regresar a la fuente por el conductor mellizo lo hará necesariamente por el suelo (tierra), para lo cual pasa por la falla hacia la masa y continúa por las partes más conductoras que están en contacto con ella, hasta que llega tierra. (Fig. 3).

Cuando no hay conexión entre la masa y tierra una de esas partes más conductoras puede ser la persona que está utilizando el aparato, tocándolo o agarrándolo, en cuyo caso, su salud o vida estarían en peligro.

Para minimizar la corriente peligrosa que podría pasar a través de la persona, la norma recomienda conectar la masa del artefacto con la tierra, con lo cual se reduce drásticamente la resistencia del trayecto para la circulación de la corriente de falla.

FIGURA # 3 CORRIENTE DE FALLA RETORNANDO A LA FUENTE



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.2.4.2 Corrientes admisibles por el cuerpo humano - I_k

Las corrientes susceptibles de circular por el cuerpo humano comprometiendo el corazón y sin peligro para la salud, se denominan corrientes admisibles y se han establecido (Dalziel) para intervalos de hasta 3,0 segundos según el peso medio de la persona (70 kg asignado para los hombres y 50 kg. Para las mujeres.) Son relativamente pequeñas y según su intensidad, producen diferentes sensaciones.

IK (60 HZ)			SENSACIÓN
Menor a 1,0 mA			Límites de Percepción
De 6,0	a	1,0 mA	Fastidio, hormigueo
De 8,0	a	25 mA	Malestar, Calambres
De 25	a	50 mA	Asfixia, Descontrol

Las normas adoptan como límite de corriente admisible, 50 mA, en intervalos de hasta 3,0 segundos, dado que por encima de dicha magnitud hasta los 100 mA, la corriente puede producir fibrilación ventricular y mayores corrientes de electrocución y muerte.

1.2.5 Parámetros eléctricos en el cuerpo humano.

Los toques eléctricos a partir de la diferencia de potencial aplicada conllevan a la circulación de corriente a través del trayecto comprometido del cuerpo humano. La evaluación del fenómeno requiere conocer las magnitudes de resistencia y potencial.

1.2.5.1 Resistencia eléctrica R_k .

Entre dos partes diferentes del cuerpo humano que incluyen el corazón, se miden diferentes resistencias eléctricas; las normas recomiendan adoptar un valor promedio de $R_k = 1000 \text{ Ohm}$. (Fig. 4).

FIGURA # 4 RECORRIDOS DE LA CORRIENTE EN EL CUERPO HUMANO



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.2.5.2 Potenciales admisibles V_k

La diferencia de potencial, considerada admisible por el cuerpo humano se calcula a partir de $I_k = 0,05$ A (Corriente admisible) y $R_k = 1000$ Ohm (Resistencia media), según la duración (t) del contacto.

En régimen permanente (Fig. 5), hasta por (t = 3,0 s), el potencial no peligroso en seco está definido por ($V_k = R_k \times I_k$)

$$V_k = 1000 \times 0,050$$

$$V_k = 50 \text{ V} \quad (\text{Potencial no peligroso en seco})$$

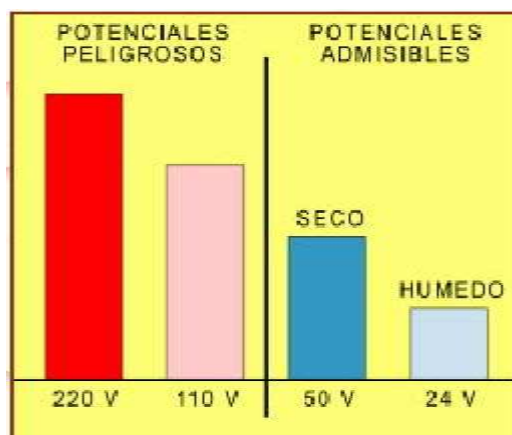
En régimen transitorio (Fig. 6), el tiempo (t) de exposición es controlado por la protección eléctrica (fusibles, interruptores), y se define según la relación (Dalziel)

(Potencial soportable > 50 V)

$$V_k = 1000 \times 0,116 / \sqrt{t}$$

$$V_k = 116 / \sqrt{t}$$

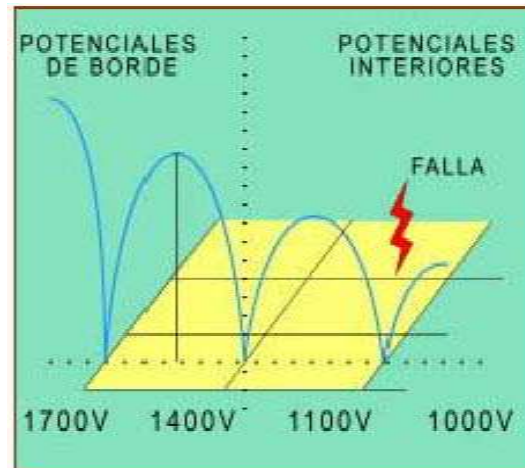
FIGURA# 5 POTENCIALES EN RÉGIMEN PERMANENTE



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Bajo contingencias de toque eléctrico conviene disponer de un circuito alterno de baja resistencia (conexión masa – tierra) y de accesorios que incrementan la resistencia eléctrica de cuerpo humano (guantes, mangas, delantales, zapatos, etc.)

FIGURA # 6 POTENCIALES EN RÉGIMEN TRANSITORIO.



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.3 MÉTODOS DE PUESTA A TIERRA

En el ámbito de la puesta a tierra el objetivo común es la búsqueda de la mayor seguridad posible.

En el terreno de la protección de personas, los regímenes son equivalentes, si se respetan todas las reglas de instalación y utilización. Dadas las características específicas de cada régimen, no puede hacerse una elección apriorística.

Esta elección debe de ser el resultado de un acuerdo entre el usuario y el diseñador de la red

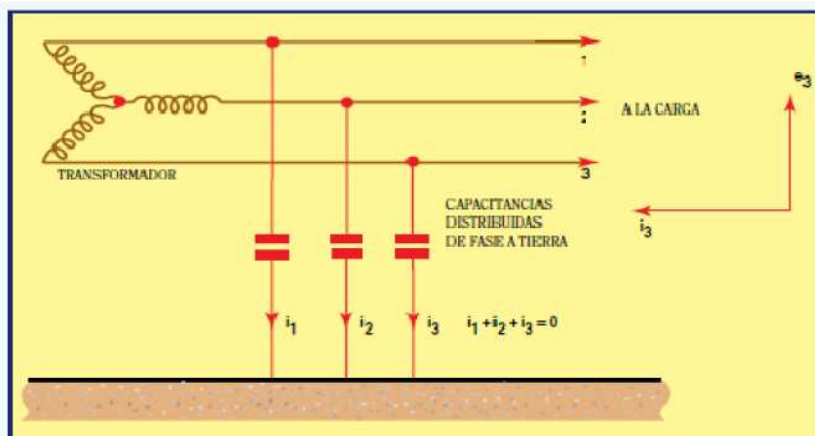
Para de esta forma seleccionar el sistema adecuado.

Hay varias formas en las cuales puede operar el sistema de potencia las cuales detallamos a continuación:

1.3.1 Sistema no aterrizado

Este sistema no tiene una conexión a tierra formal, intencional o deliberada. Pueden existir algunas conexiones de alta impedancia para instrumentación, por ejemplo el bobinado de un instrumento de medida (transformador de potencial o de corriente). Bajo condiciones normales, la capacidad entre cada fase y tierra es sustancialmente la misma. El efecto es estabilizar el sistema respecto a la tierra de modo que en un sistema trifásico, el voltaje de cada fase a tierra es el voltaje estrella del sistema. El punto neutro, si existe y está presente, está en o cerca del potencial de tierra como se puede observar en la Figura 7

FIGURA # 7. CORRIENTES CAPACITIVAS EN UN SISTEMA TRIFÁSICO



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Las fallas en líneas de distribución aéreas no son infrecuentes, particularmente durante condiciones de mal tiempo, cuando pueden caer ramas de árboles sobre las líneas. Cuando ocurre el primer incidente, implicando un contacto entre un conductor y tierra, puede no haber daño porque no existe un circuito metálico cerrado que permita el flujo de corriente. Esto es diferente en un sistema aterrizado donde puede fluir una corriente significativamente alta. A primera vista, el sistema levantado de tierra aparenta ser un sistema más seguro y más

confiable. En realidad fluye una corriente en un sistema levantado de tierra, que retorna vía los acoplamientos capacitivos de las otras dos fases. La corriente capacitiva que fluye en el punto de falla es 3 veces la corriente capacitiva normal a tierra de cada fase del sistema completo. El daño debido a la primera falla probablemente sea leve, ya que la corriente total es aun relativamente pequeña. Sin embargo, la corriente podría ser suficiente para provocar riesgo de electrocución si alguien tocara el conductor dañado. Las compañías eléctricas a menudo consideran que es lento y tedioso localizar fallas en este tipo de sistemas.

La probabilidad de una segunda falla es mayor de lo que generalmente se piensa, ya que el voltaje a través del resto de la aislación será el nivel fase-fase en vez del nivel fase-tierra (es decir, un incremento de $\sqrt{3}$ en magnitud). Este solicitará la aislación fase a tierra y puede provocar envejecimiento acelerado y ruptura. Es probable que una segunda falla involucre una considerable energía de falla y daño. Por esto es importante remover la primera falla tan rápido como sea posible.

El fenómeno de resonancia puede causar sobretensiones en este tipo de sistemas. El sistema ya tiene una alta capacitancia y si un conductor de fase se conecta a tierra a través de una conexión que tenga alta inductancia, (por ejemplo un transformador de medida) entonces puede ocurrir resonancia, circulación de altas corrientes y sobre voltajes. Una falla a través de un arco intermitente con alta impedancia puede causar altos voltajes similares al fenómeno anterior, conduciendo a la falla del equipo. Esto se debe a un efecto de cargas atrapadas en el neutro. Con cada arco la carga se refuerza progresivamente y puede producir voltajes que pueden ser suficientemente altos como para sobrepasar la aislación por 6 ó 7 veces (en teoría) respecto de lo que ocurre a voltaje normal. Los voltajes realmente medidos en la práctica, debido a las condiciones ambientales, polvo, etc., han sido 3 a 4 veces el voltaje normal.

Si la continuidad de servicio es un factor importante para el sistema de distribución, entonces un sistema levantado de tierra puede tener algunas ventajas. Sin embargo, es probable que la aislación aplicada entre cada conductor de fase y tierra necesite incrementarse al menos al mismo nivel que la aislación entre diferentes fases, para controlar el riesgo por fallas monofásicas a tierra y por carga atrapada.

1.3.2 Sistema aterrizado.

Un sistema puesto a tierra tiene al menos un conductor o punto (usualmente el neutro o punto común de la estrella) intencionalmente conectado a tierra. Por condiciones prácticas y de costo, esta conexión se realiza normalmente cerca de donde se unen los 3 enrollados individuales de un transformador trifásico, es decir el neutro o punto común de la estrella. Este método se adapta cuando hay necesidad de conectar al sistema cargas fase neutro, para prevenir que el voltaje neutro a tierra varíe con la carga. La conexión a tierra reduce las fluctuaciones de voltaje y los desequilibrios que podrían ocurrir de otra forma. Otra ventaja es que puede usarse relés residuales para detectar fallas antes que se conviertan en fallas fase-fase. Esto puede reducir el daño real causado y la sollicitación impuesta en otras partes de la red eléctrica.

El tipo de puesta a tierra se clasifica según el tipo de conexión instalada. Los principales tipos son:

1.3.2.1 Sistema aterrizado mediante impedancia.

En este caso se insertan deliberadamente resistores y/o reactores en la conexión entre el punto neutro y tierra, normalmente para limitar la corriente de falla a un nivel aceptable. En teoría, la impedancia puede ser lo bastante alta como para que fluya una corriente de falla poco mayor que en la situación de sistema no puesto a tierra.

En la práctica, para evitar sobre voltajes transitorios excesivos debido a resonancia con la capacitancia paralela del sistema, las puestas a tierra inductivas deben permitir que fluya a tierra por falla al menos un 60% de la capacidad de cortocircuito trifásico. Esta forma de puesta a tierra tiene menor disipación de energía que la puesta a tierra resistiva.

Pueden usarse como conexión a tierra enrollados de supresión de arco, también conocidos como bobinas de Peterson, o neutralizadores de falla a tierra. Estos son reactores sintonizados que neutralizan el acoplamiento capacitivo de las fases sanas y de este modo la corriente de falla es mínima. Debido a la naturaleza auto-compensada de este tipo de puesta a tierra, es efectiva en ciertas circunstancias en sistemas aéreos de media tensión, por ejemplo, aquellos que están expuestos a un alto número de fallas transitorias. El uso de interruptores con recierre automático ha reducido el uso de este método de puesta a tierra en sistemas de alta y media tensión.

La puesta a tierra por resistencia es de uso más común, porque permite limitar la corriente de falla y amortiguar los sobrevoltajes transitorios, eligiendo el valor correcto de resistencia. En principio se usó resistencias líquidas. Ahora es más común el uso de resistores del tipo cerámico. Estos requieren menos espacio, tienen costos de mantención significativamente menores y luego del paso de la corriente de falla se enfrían más rápidamente que las resistencias líquidas.

1.3.2.2 Sistema aterrizado con baja impedancia

Esta es la técnica más común, particularmente en bajo voltaje. Aquí el neutro se conecta a tierra a través de una conexión adecuada en la cual no se agrega intencionalmente ninguna impedancia. La desventaja de este arreglo es que las corrientes de falla a tierra son normalmente altas pero los voltajes del sistema permanecen controlados bajo condiciones de falla.

1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Existen ciertos métodos para efectuar una conexión a tierra, los cuales reciben definiciones estándares. Cada uno se identifica por un código que contiene las siguientes letras:

T: tierra, conexión directa a tierra.

N: neutro

C: combinada

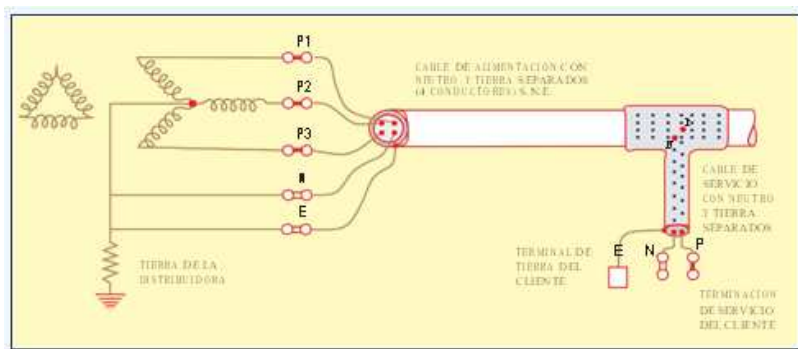
S: separada

A continuación se describen los tipos principales, incorporando las figuras y diagramas que permiten explicarlos en más detalle. Note que los electrodos de tierra en los diagramas incluyen el símbolo del resistor para mostrar que el electrodo tiene una impedancia, que es predominantemente resistiva.

<http://www.uncp.edu.pe/newfacultades/ingenieriasarq>

TN-S.- En este tipo, el neutro de la fuente tiene un único punto de conexión a tierra en el transformador de alimentación. Los cables de alimentación tienen neutro separado del conductor de tierra de protección. Generalmente, el conductor de neutro es un cuarto “conductor” y el conductor de tierra forma una vaina o cubierta protectora (conductor PE). Este era el arreglo estándar antes de la introducción de los sistemas de puestas a tierra de protección múltiples. El arreglo se ilustra en la figura 8

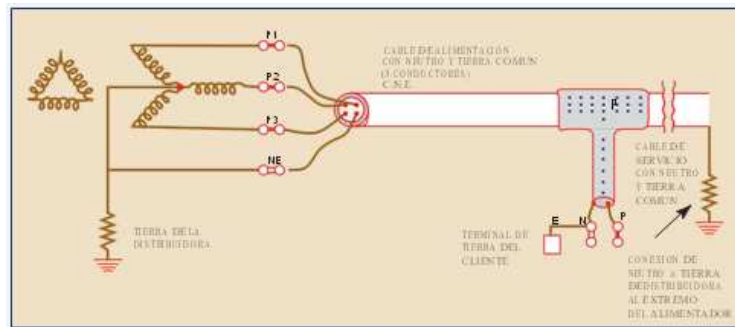
FIGURA # 8 SISTEMA TN-S TÍPICO. FUENTE PUESTA A TIERRA EN UN ÚNICO PUNTO. CONDUCTORES DE NEUTRO Y TIERRAS SEPARADAS. EL CLIENTE DISPONE DE UN TERMINAL DE TIERRA DESDE LA PANTALLA DEL CABLE DE SERVICIO



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

TN-C-S.- En este tipo, el neutro de la alimentación se pone a tierra en varios puntos. El cable de alimentación tiene una pantalla metálica externa que combina neutro y tierra, con una cubierta de PVC (se denominan cables CNE). La pantalla que combina neutro y tierra es el conductor tierra de protección neutro (conductor PEN). El fabricante proporciona un terminal de tierra, que está conectado al neutro de la alimentación. La alimentación en el interior de la instalación del cliente debiera ser TN-S, es decir, el neutro y la tierra deben estar separados, conectados sólo en la posición de servicio. Debido a que se permite al cliente usar el terminal de tierra, el proveedor debe asegurarse que todos los elementos metálicos internos, normalmente expuestos (tales como tuberías de agua, de gas, calefacción, etc.) se conecten juntos en la forma prescrita en las normas. El arreglo se ilustra en la figura 9

FIGURA # 9 SUMINISTRO TN-C-S (TIERRA DE PROTECCIÓN MÚLTIPLE)



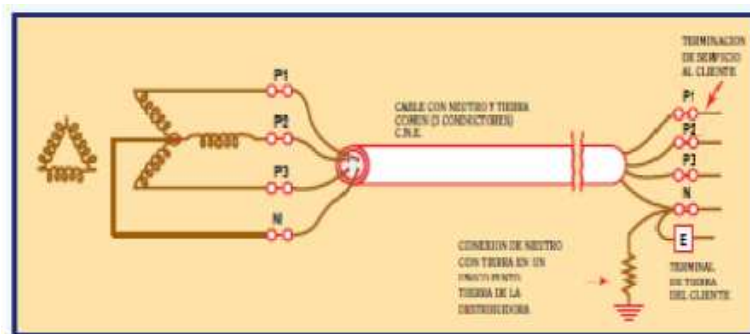
FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Neutro puesto a tierra por el proveedor en varias ubicaciones.

El cliente o usuario dispone de un terminal de tierra conectado a neutro de servicio

PNB.- Conexión a neutro de protección. Este es una variación del sistema TN-C-S en que el cliente dispone de un terminal de tierra conectado al neutro de la alimentación, pero el neutro se conecta a tierra en un único punto, normalmente cerca del punto de alimentación al cliente. Se reserva el uso de este arreglo cuando el cliente tiene un transformador particular. El arreglo se ilustra en la figura 10

FIGURA # 10 SISTEMA PNB



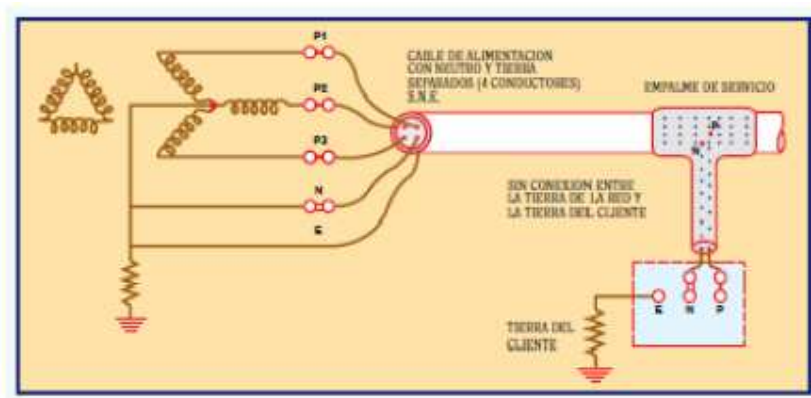
FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

El cliente o usuario tiene transformador propio.

Se usa cables CNE con tierra y neutro en único punto

TT.- Este es un sistema donde la alimentación se pone a tierra en un único punto, pero se puede notar que la pantalla del cable y las partes metálicas expuestas de la instalación del cliente están conectadas a tierra vía un electrodo separado que es independiente del electrodo de alimentación, su constitución se puede observar en la figura 11

FIGURA #11 SISTEMA TT. LA ALIMENTACIÓN SE PONE A TIERRA EN UN ÚNICO PUNTO.

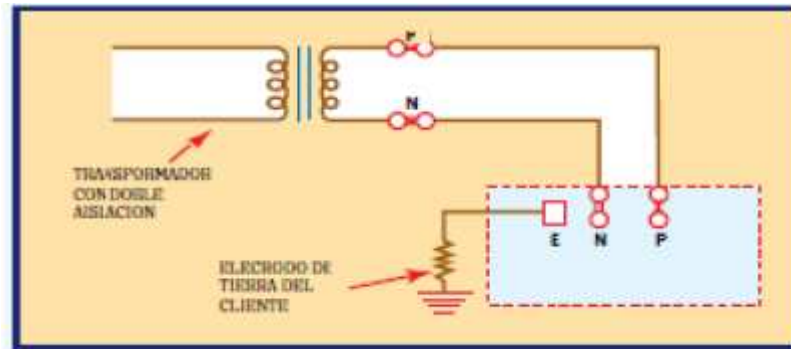


FUENTE: PROCOBRE
RECOPILADO POR: POSTULANTES

El cliente instala su tierra propia que es independiente de la tierra de la alimentación

IT.- Este es un sistema que no tiene conexión directa entre partes vivas y tierra pero con las partes conductivas expuestas de la instalación conectada a tierra. En algunas ocasiones se proporciona una conexión a tierra de alta impedancia para simplificar el esquema de protección requerido para detectar la primera falla a tierra, esto se puede observar en la figura 12

FIGURA # 12 FUENTE AISLADA DE TIERRA O CONECTADA A TIERRA A TRAVÉS DE ALTA IMPEDANCIA.



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Todas las partes conductivas expuestas de la instalación se conectan a una tierra independiente.

El principio subyacente es tomar primero todas las precauciones razonables para evitar un contacto directo con las partes eléctricas vivas y en segundo lugar proporcionar medidas de protección contra contactos indirectos. Lo último implica puesta a tierra y conexión equipotencial efectiva y un sistema de protección que remueva la condición de falla.

1.5 CONDUCTORES DE TIERRA

Luego de indicar las diferentes conexiones de puesta a tierra, es necesario considerar ahora el sistema mismo de puesta a tierra. A continuación se explican las funciones más importantes de los conductores de tierra y se presentan algunas definiciones; se usan generalmente los mismos tipos, ya sea si el sistema de puesta a tierra es para una casa, industria o central generadora.

1.5.1 Requerimientos del sistema de puesta a tierra

La función del sistema de puesta a tierra es doble:

- Proporcionar un camino de impedancia suficientemente baja, vía los conductores de tierra, de regreso a la fuente de energía, de tal modo que ante el evento de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar al dispositivo de protección del circuito
- Limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso personas y animales, bajo condiciones normales y anormales del circuito. La conexión conjunta de todas las estructuras metálicas normalmente expuestas, previene la posibilidad de una diferencia de potencial peligrosa que surja entre contactos metálicos adyacentes ya sea bajo condiciones normales o anormales.

1.5.2 Conductores de conexión y conductores de protección

Conductor de protección de circuito

Este es un conductor separado instalado con cada circuito y está presente para asegurar que parte o toda la corriente de falla regrese a la fuente a través de él. Puede ser un conductor individual, la cubierta metálica exterior de un cable o la estructura de un ducto metálico.

Conductores de conexión

Estos conductores aseguran que las partes conductivas expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan aproximadamente al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica. Las dos formas de conductores de conexión son:

Conductores de conexión equipotencial: son aquellos conductores principales, que conectan entre sí y a tierra, partes conductivas expuestas que normalmente no llevan corriente, pero podrían hacerlo bajo una condición de falla. Estas conexiones normalmente unen al sistema de puesta a tierra tuberías metálicas de gas y agua expuestas que ingresan a la instalación, estructura metálica del edificio

y servicios principales. En el interior de instalaciones, estas conexiones deben ser de un cierto tamaño mínimo (al menos 6 mm²) y generalmente no necesitan ser mayor que 25 mm² en cobre.

Conductores de conexión suplementarios: son para asegurar que el equipo eléctrico y otros ítems de material conductor en zonas específicas estén conectados entre sí y permanecen sustancialmente al mismo potencial. Se usan en adición a los conductores de conexión equipotencial principales y conductor de protección de circuito.

En el interior de subestaciones eléctricas, los conductores de conexión y de tierra necesitan ser de tamaño suficiente ya que ellos pueden llevar una buena cantidad de corriente de falla hasta por tres segundos, sin daño.

1.6 ELECTRODOS DE TIERRA

El electrodo de tierra es el componente del sistema de puesta a tierra que está en contacto directo con el terreno y así proporciona un medio para botar o recoger cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra. En sistemas puestos a tierra se requerirá normalmente llevar una corriente de falla bastante grande por un corto período de tiempo y, en consecuencia, se necesitará tener una sección suficientemente grande como para ser capaz de llevar esta corriente en forma segura. Los electrodos deben tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para continuar respondiendo a las sollicitaciones durante un período de tiempo relativamente largo, en el cual es difícil efectuar ensayos reales o inspección. El material debe tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo. Los materiales usados incluyen cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y fierro fundido. El cobre generalmente es el material preferido por las razones que se describirán posteriormente. El aluminio se usa algunas veces para conexiones fuera del terreno, pero la mayoría de los estándares prohíben su uso como electrodo de tierra debido al riesgo de corrosión

acelerada que existe. El producto corrosivo una capa de óxido- deja de ser conductivo y reduce la efectividad de la puesta a tierra.

1.7 MÉTODOS DE INSTALACIÓN

Cuando se instalan electrodos de tierra, se deben satisfacer tres condiciones:

El trabajo debe ser realizado eficientemente para minimizar costos de instalación.

El terreno o material de relleno usado no debe tener un índice de acidez pH que cause corrosión al electrodo.

Todas las uniones o conexiones bajo tierra deben ser construidas de modo que no se presente corrosión en la unión o conexión

El método de instalación, relleno y conexiones que se detalla en los siguientes párrafos dependerá del tipo de sistema de electrodos que se usará y de las condiciones del terreno. En lugares que fueran necesarios deberán hacerse uso de trabajo de excavaciones comunes.

www.procobre.com/Instalaciones_de_Puesta_a_Tierra

1.7.1 Barras

Las barras generalmente ofrecen la forma más conveniente y económica de instalar un electrodo. A menudo se requiere modificar poca superficie (tal como romper superficies de concreto), pero por supuesto es necesario inspeccionar para asegurarse que no hay equipo o instalaciones enterradas -tales como tuberías de agua o gas- que puedan ser dañadas al enterrar las barras. Los métodos de instalación incluyen accionamiento manual, accionamiento mecánico y perforadura. Las barras cortas (típicamente hasta 1.80 metros de largo) se instalan a menudo empleando un martillo pesado (combo) operado manualmente. Los golpes relativamente cortos y frecuentes son más efectivos normalmente. Las barras están acondicionadas con una cabeza endurecida y una punta de acero para asegurar que la barra misma no se dañe durante el proceso

Las barras más largas se manejan en forma similar, pero usando un martillo neumático que requiere mucho menos esfuerzo físico y proporciona una inercia directa mayor. Se usan también exitosamente para este propósito herramientas eléctricas, a petróleo, hidráulicas de aceite o aire. Debido a su peso, estas herramientas algunas veces requieren de un aparejo para sostenerlas. Un martillo eléctrico típico podría tener un consumo de 500 Watts y proporcionar aproximadamente 1500 golpes por minuto. Es posible enterrar barras hasta una profundidad de 10 metros o más usando este método, dependiendo por supuesto, de las condiciones reales del suelo. Se ha informado también que barras hasta 30 metros han sido instaladas de esta manera, pero no se sabe cuán derechas quedaron. Se sabe que algunas veces se doblan y quiebran a cierta profundidad. El tiempo que demora instalar la barra varía con el tipo de suelo. Por ejemplo, en arena o gravilla suelta, la tasa de penetración de una barra de 11 mm de diámetro puede ser 3,5 metros por minuto, pero ésta cae a 0,5 metros por minuto en arcilla firme.

El diámetro de la barra es el principal factor que incide en el esfuerzo necesario para instalarla. Las barras delgadas (9 mm de diámetro) se instalan relativamente fáciles, pero a medida que la longitud de la barra aumenta, el diámetro de la barra debe incrementarse para asegurar que la barra tenga suficiente resistencia mecánica- particularmente en los puntos de unión. Al doblar el diámetro de la barra de 12 mm a 24 mm, aumenta la resistencia mecánica para impacto en más de tres veces. Cuando las barras tienen que ser muy profundas, normalmente son soldadas o acopladas mecánicamente. El acoplamiento debe ser tal que el diámetro de la barra no se incremente significativamente, de otro modo la instalación se dificultará y al penetrar la unión se producirá un espacio con un diámetro mayor que el de la barra. El acoplamiento debiera también apantallar la sección tratada, para ayudar a prevenir la corrosión.

Las barras de acero recubiertas de cobre son significativamente más resistentes que las barras de cobre sólido, las cuales se doblan muy fácilmente y pueden quebrarse cuando se intenta introducirlas en el suelo rocoso.

Cuando se requiere barras más profundas o en condiciones de suelo difícil donde hay roca subyacente, la forma más efectiva es taladrar una perforación estrecha en la cual se instala el electrodo de barra con material de relleno adecuado. Este método es a menudo sorprendentemente económico, ya que puede realizarse un número significativo de perforaciones profundas en un día usando equipo de bajo costo. Las barras pueden instalarse en forma rutinaria a profundidades de hasta 20 metros y con equipo más especializado a una profundidad significativamente mayor.

Además de las ventajas de obtener una gran profundidad y una trayectoria más controlada del electrodo, otro beneficio es que de esta manera puede instalarse electrodos de cobre sólido relativamente delgados.

Debido a que la barra de cobre sólido tiene una mejor conductividad que la barra recubierta de cobre, esto mejora aún más el beneficio obtenido por el uso de barras largas. Si se entierran mecánicamente a dicha profundidad, las barras necesitarían ser de mucho mayor diámetro y puede ser necesaria una barra de acero recubierta de cobre para proveer la resistencia mecánica adecuada. En el pasado se usaron varias formas diferentes de sección, tales como sección transversal en forma de estrella, para incrementar la resistencia de la barra y hacer menos probable que se doblara en suelo rocoso. Sin embargo, no están disponibles ahora. La forma diferente sólo tiene un efecto marginal sobre la resistencia eléctrica obtenida, pero podría requerir menos material para la misma área superficial.

Las barras verticales largas pueden proporcionar una solución económica en muchas situaciones

Existe también equipo disponible que usa conductor de cobre retorcido enterrado en profundidad para provocar un efecto similar al de una barra convencional, pero evita uniones mecánicas. Una barra de acero se entierra, arrastrando el conductor

retorcido detrás de ella. Con el tiempo, el acero probablemente se corroa, dejando sólo al conductor de cobre como electrodo permanente.

1.7.2 Planchas

Originalmente, a comienzos de siglo, las planchas eran tan comunes que a todos los electrodos de tierra se les llamaba planchas de tierra. Cuando se incrementó el uso de la electricidad, las planchas debieron manejar corrientes mayores, lo cual significó aumentar las dimensiones de la plancha. Su uso continuó por un tiempo considerable, principalmente debido a la costumbre y la práctica, a pesar de que tenían algunas desventajas. Por ejemplo, generalmente requieren excavación manual o mecánica y, por lo tanto, el costo de instalación puede ser muy alto.

Para reducir la magnitud de la excavación requerida, las planchas se instalan normalmente en un plano vertical, desde aproximadamente 0,5 metros bajo la superficie. Es fácil compactar el terreno contra la plancha cuando se rellena, si está instalada verticalmente. Otra desventaja se debe a la ubicación escogida para las planchas de tierra. A menudo se ubicaban demasiado próximas entre sí y sus zonas de influencia se traslapaban. Esto aumenta la resistencia combinada a un valor mayor que el esperado. Si las planchas tienen que llevar una cantidad importante de corriente, entonces su resistencia necesita ser de bajo valor. En la práctica, las resistencias combinadas no eran aún lo suficientemente bajas y las corrientes de falla generalmente seguían otras rutas. Por lo tanto, en esta situación no se cumplía la mejor densidad de corriente, señalada como una ventaja para las planchas. Usualmente podía lograrse un arreglo mejor usando barras y electrodos horizontales.

Debido al costo de instalación relativamente alto, poco se justifica usar planchas ahora y las existentes, cuando se detecta deterioro, son reemplazadas normalmente por una agrupación de barras.

1.7.3 Electrodo Horizontales

Los electrodos horizontales pueden ser instalados en surcos directamente en el terreno o más frecuentemente en zanjas de hasta un metro de profundidad. El uso de equipo de excavación mecánica de pala angosta puede resultar en costos de instalación menores, en sitios donde esto es posible. La profundidad de instalación tiene normalmente un mínimo de 0,5 metros y más si es necesario pasar bajo nivel de cultivo o de escarcha en zonas heladas

En muchos proyectos grandes, toda el área puede ser excavada para permitir obras civiles. Esto presenta a menudo una buena oportunidad para minimizar costos tendiendo el conductor del electrodo de tierra en ese momento. Debe tenerse cuidado de prevenir daño o robo del conductor, una vez tendido.

1.7.4 Relleno

En todos los casos, el material de relleno debe ser no-corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño y si fuera posible, que ayude a retener la humedad. Muy a menudo, el material previamente excavado es apropiado como relleno, pero debiera ser removido antes de rellenar, asegurándose de que quede bien compactado. El suelo debiera tener un índice de pH entre 6,0 (ácido) y 10,0 (alcalino). La arcilla dura no es un material de relleno conveniente ya que si es fuertemente compactada, puede llegar a ser casi impermeable al agua y podría permanecer relativamente seca. También puede formar grandes terrones que no se afianzan alrededor del conductor.

Los materiales que no debieran ser usados como relleno incluyen arena, ceniza, muchos de los cuales son ácidos y corrosivos.

1.7.5 Conexiones

Los electrodos de tierra tienen que ser conectados entre sí de alguna manera y es normal que sea vía cobre desnudo si es posible, ya que esto ayudará a reducir el valor de impedancia global. Las conexiones entre los diferentes componentes

deben ser mecánicamente robustas, tener buena resistencia a la corrosión y baja resistividad eléctrica. Es prudente evitar uniones y conexiones innecesarias. Debe considerarse el valor de corriente de falla y la duración de la falla que se espera que soporte el sistema de tierra. Varios estándares indican especificaciones para los materiales que son mínimos aceptables, por ejemplo, establecen que las coplas para barras de cobre necesitan un contenido mínimo de cobre de 80%. A continuación se explican en más detalle los métodos de unión que se emplean, incluyendo métodos mecánicos, bronceados (soldadura en fuerte), soldadura exotérmica y soldados por fusión autógena.

1.7.5.1 Conexiones Mecánicas

Se usan comúnmente y pueden ser mecánicas (conexión apernada) o hidráulicas (compresión). Los conectores deben satisfacer los requerimientos de los estándares aplicables. El proceso de probar el cumplimiento de las normas involucra habitualmente una serie de pruebas de vida durante las cuales el conector es sometido a impactos mecánicos, eléctricos y térmicos. En consecuencia son factores importantes el diseño, tamaño y material usado particularmente ya que tales conectores pueden permanecer invisibles en el terreno por cierto número de años, antes de que sean solicitados para operar. Es esencial una conexión eléctrica de baja resistencia, especialmente en sistemas de electrodos del tipo radial. Durante la mantención, se han descubierto conexiones con resistencia de más de 20 ohms. Claramente, esto perjudica el comportamiento del sistema de electrodos

Cuando se apernan entre sí cintas de cobre, debe tenerse cuidado con el tamaño de las perforaciones efectuadas para acomodar el perno. Si son demasiado grandes, la capacidad de transporte de corriente de la cinta se perjudicará. Por esta razón, los estándares y reglamentos de práctica normalmente limitan el diámetro de la perforación a un tercio del ancho de la cinta o menos

Cuando se apernan metales diferentes (por ejemplo cintas de cobre y aluminio), las superficies deben ser minuciosamente limpiadas y protegidas por un inhibidor de óxido. Una vez efectuada la conexión, el exterior debe ser cubierto por pintura

bituminosa u algún otro medio para proteger contra el ingreso de humedad. Cuando se une cobre y aluminio, el cobre primero debe ser estañado. Una unión apertada de este tipo es actualmente el método recomendado preferentemente en los estándares para conectar metales diferentes, en el caso de instalaciones exteriores y en subestaciones eléctricas. Estas conexiones deben estar a una mínima distancia sobre tierra y no pueden ser enterradas.

Para unir distintos tipos de conductores, por ejemplo, barras de tierra a cinta o cable, se dispone de abrazaderas apropiadas. Estas deben tener un alto contenido de cobre. No deben usarse bandas metálicas.

En alguna oportunidad se usó uniones de tipo estañado y remachado. La cinta de cobre se perforaba, luego era estañada y remachada. Sin embargo, los remaches algunas veces se rompen y sueltan debido a vibración, etc. Este método de unión claramente no es recomendado para tratar los altos valores de corriente de falla encontrados ahora.

1.7.5.2 Conexiones bronceadas (soldadas en fuerte)

La conexión bronceada se aplica ampliamente al cobre y aleaciones de cobre. Este método tiene la ventaja de proporcionar una baja resistencia de unión la cual no se corroe. Actualmente, es el método preferido descrito por los estándares para conectar cintas de cobre en el interior de subestaciones. Sin embargo, es esencial que el bronceado sea efectivo. Puede ser difícil hacer una buena unión en terreno, particularmente donde están involucradas grandes áreas de sección transversal. Son esenciales las superficies planas limpias pues los materiales de bronceado generalmente no fluyen como la soldadura. Existe así la posibilidad de conexiones adecuadas sólo en los puntos de contacto, pero con vacíos importantes que quedan sin llenar. Para este trabajo es esencial una buena fuente de calor, particularmente para conectores grandes.

1.7.5.3 Uniones exotérmicas

Estas uniones se realizan mediante un molde de grafito que se diseña para ajustar el tipo específico de unión y el tamaño de los conductores. Usando una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre virtualmente puro en torno a los conductores.

<http://www.erico.com/public/library/fep/LT0664.pdf>

La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito. Si se ocupa y mantiene adecuadamente, cada molde puede usarse para realizar entre 50 y 70 uniones. Este tipo de unión asegura los siguientes beneficios:

- Proporciona una unión permanente, de baja resistencia eléctrica y resistente a la corrosión.
- La técnica empleada no requiere adiestramiento, relativamente.
- Puede operar a alta temperatura, permitiendo eventualmente reducir el calibre del conductor.

Este tipo de unión actualmente no es siempre permitida para conectar cobre y aluminio en subestaciones. Los metales que pueden conectarse son acero inoxidable, bronce, cobre, acero con recubierta de cobre, acero galvanizado, bronce y riel de acero. Hay algunos aspectos de seguridad involucrados con este tipo de unión, pero la técnica se ha desarrollado rápidamente para controlarlos, por ejemplo, reduciendo la emisión de gas

1.7.5.4 Conexiones soldadas en forma autógena

El cobre puede unirse por soldadura de bronce o soldadura al arco en presencia de gas.

La técnica de unión por soldadura de bronce es efectiva y de bajo costo, empleada primariamente para realizar uniones en terreno (por ejemplo en trabajos con tuberías de cobre). En esta técnica clásica, se usa bronce como metal de relleno

para formar un enlace superficial entre las partes de cobre. La técnica emplea alta temperatura y un material de relleno que es el que más se ajusta al cobre. A pesar de que la soldadura de bronce puede usarse para conectar cobre a metales ferrosos, esto normalmente no se cumple para puestas a tierra

Cuando necesita unirse componentes de cobre de mayor medida, entonces se usa soldadura autógena en ambiente gaseoso. El arco eléctrico proporciona el calor, mientras que el área en torno al electrodo y la soldadura es envuelta por un gas tal como argón, helio o nitrógeno. Esto reduce la oxidación que toma lugar durante el proceso de soldadura. El nitrógeno se usa ampliamente como el “gas inerte” cuando se suelda cobre. Se requieren materiales de relleno especialmente desarrollados, que son reconocidos por su buen comportamiento al soldar cobre.

El aluminio puede ser soldado vía arco de gas inerte de tungsteno o arco de gas inerte de metal. La soldadura en frío a presión se usa algunas veces para unión entre aluminio.

1.8 DISEÑO PARA LA PUESTA A TIERRA

1.8.1 Sistema de electrodos a tierra

Las corrientes de falla consideradas son mayores que aquellas normalmente previstas en instalaciones domésticas o comerciales, es por esto que el comportamiento del electrodo debiera ser similar.

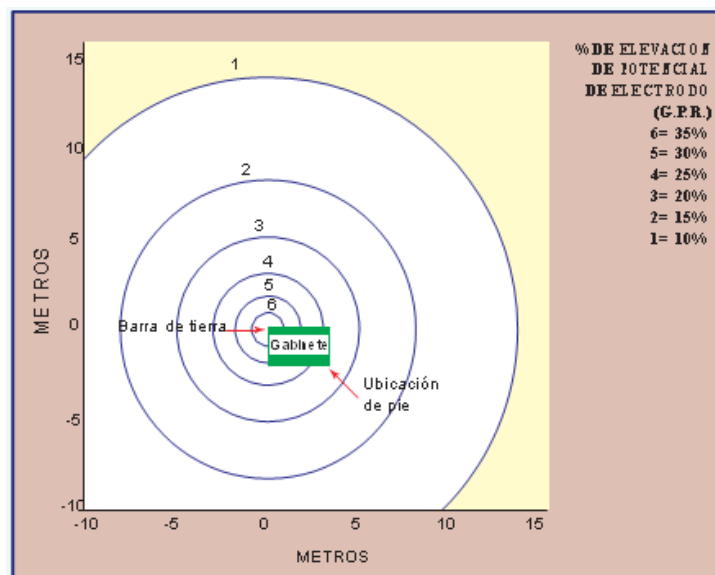
Para ilustrar el concepto diferente de diseño requerido, imagine que al diseñador se le ha solicitado asegurar que el electrodo de tierra tiene una impedancia de 5 ohms, de modo que pueda operar el equipo de protección. Si además suponemos que el suelo es uniforme en el sector, con 50 ohm-metro de resistividad, y las propiedades mecánicas del suelo son apropiadas, entonces el método más económico de conseguir este valor puede ser usando una simple barra vertical.

Por simulación computacional, se puede calcularse que una barra de aproximadamente 12,5 m de longitud proporcionará ese valor. Supongamos que el equipo que se protege por este sistema de tierra está contenido en el interior de un

gabinete metálico de 3 m de longitud y 2 m de ancho. Si la corriente de falla prevista es 200 amperes, el potencial del electrodo y del gabinete claramente se elevará a 1000 V durante el tiempo que demora la protección en operar. Habrá un voltaje en la superficie del suelo, sobre el electrodo, el cual se reduce al alejarse de él

Suponiendo que la barra de tierra se ha instalado en una esquina del gabinete, entonces los perfiles de voltaje en la superficie del suelo que rodea la barra serán como se muestra en la figura 13.

FIGURA # 13 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO A UNA PUESTA A TIERRA DE BARRA SIMPLE



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Estos perfiles se forman al suponer que la corriente de falla fluye uniformemente en el terreno que rodea a la barra y los contornos de potencial resultan marcando las posiciones de igual voltaje a lo largo de cada trayectoria de corriente (las líneas equipotenciales en todas las figuras se muestran como porcentaje del alza de voltaje real del electrodo (GPR)). Una persona que toque la esquina opuesta del gabinete, con su pie un metro más retirado, (es decir, en la posición mostrada en la

figura 13) experimentaría una diferencia de potencial entre mano y pie, de 784 volts.

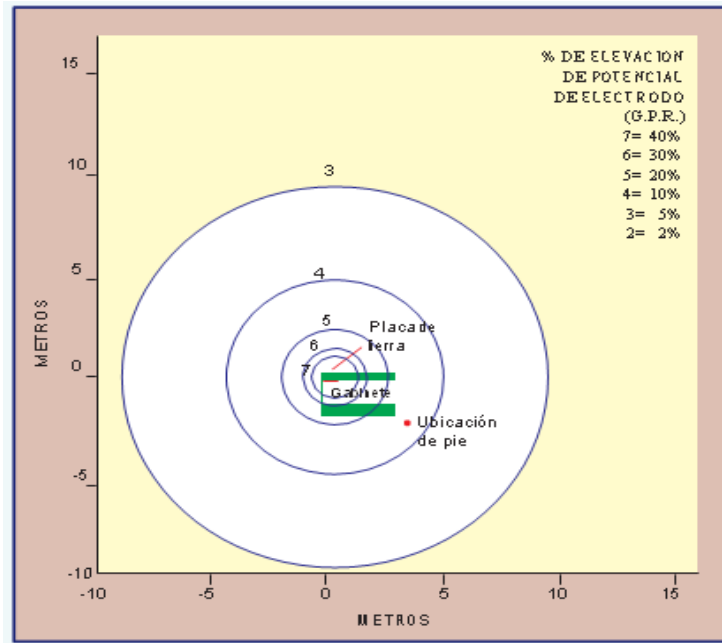
El voltaje de contacto permitido depende de la norma relevante y del tiempo tomado por el sistema de protección para desconectar el circuito fallado. Claramente, una simple barra no proporciona un sistema de tierra bien diseñado, pero precisamente es el tipo que tradicionalmente se ha usado en el pasado. Otro método tradicional era usar una placa; para propósitos de comparación, la figura 14 ilustra los perfiles de voltaje que resultarían si en vez de la barra vertical se usara una placa cuadrada de 900mm por lado, enterrada a 0,6 metros de profundidad. Esta placa tendría una impedancia de 17 ohms. Las líneas equipotencialmente tienen forma elíptica cerca del electrodo y se transforman en circunferencias al alejarse de él. Para un flujo de corriente de 200 amperes, el potencial de contacto en la esquina del gabinete ahora es de 3060 volts. Este mayor valor se debe a la mayor impedancia de la placa comparada con la barra

1.8.2 Sistemas de electrodos de área pequeña

Si se usan los tipos de electrodos anteriores como la tierra principal para una instalación domiciliaria residencial, puede ser suficiente. La corriente de falla prevista debiera ser menor que 200 amperes, de modo que la elevación de voltaje podría reducirse significativamente y de la misma manera el voltaje de contacto. Además, la muralla de la casa normalmente es no-conductiva y la conexión al electrodo de tierra es aislada. Así, es improbable que una persona pueda experimentar un voltaje de contacto del tipo ilustrado.

Debiera notarse que el tiempo de despeje de la falla puede ser bastante más largo y por lo tanto el voltaje de contacto permitido, menor.

FIGURA # 14 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO A UN GABINETE CON PUESTA A TIERRA DE PLACA ÚNICA



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

En una instalación comercial o industrial, la corriente de falla prevista será mayor y el límite de voltaje de contacto puede ser excedido con electrodos como aquellos de las figuras 13 y 14. En la subestación de una compañía eléctrica, la corriente de falla ciertamente en la mayoría de los casos excede 200 amperes - algunas veces por un factor de 10 ó de 100.

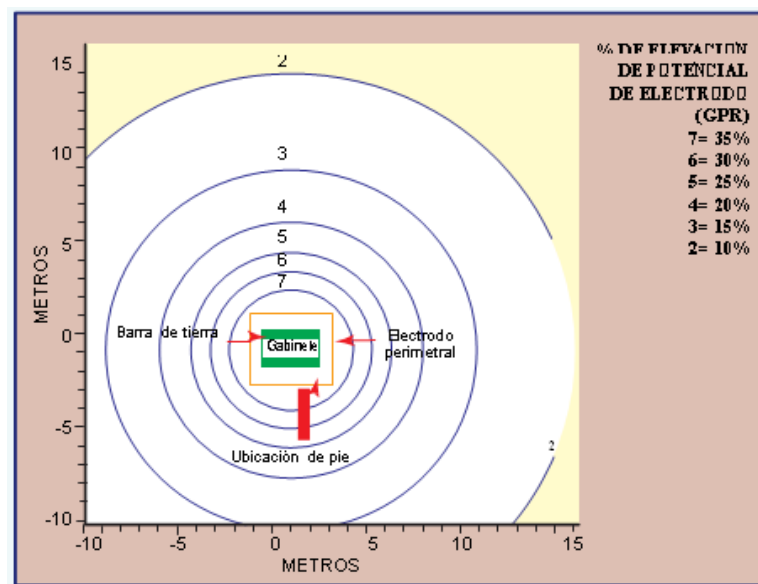
Aún si en una subestación eléctrica la protección opera en menos de 0,2 segundos, puede haber problemas de voltajes de contacto y de otro tipo si se usara el tipo de electrodo de la figura 13 o el de la figura 14.

Para mejorar la situación, puede instalarse en el terreno un electrodo perimetral (o graduador de potencial) situado aproximadamente a un metro de distancia del gabinete, enterrado a 0,5 metros. Este conductor se llama algunas veces un anillo de guarda. El perfil de voltaje en torno al gabinete, para la misma corriente de falla de 200 amperes, se muestra en la Figura 15. En este caso, con la barra simple y el conductor perimetral, la impedancia se reduce a 3,17 ohms. El voltaje de contacto se reduce ahora a 182 volts.

Si el mismo conductor perimetral se aplica al ejemplo de contacto alcanza 307 volts. Claramente el electrodo perimetral ha mejorado la seguridad de la instalación.

Esta es la manera básica en que deben diseñarse los sistemas de tierra para cumplir con las nuevas normas. El electrodo perimetral limita el voltaje de contacto que puede ser aplicado, aplanando el gradiente de potencial en la vecindad del gabinete. Además reduce la impedancia del electrodo y la elevación de potencial, en los ejemplos anteriores. Cualquiera de estas configuraciones puede ser aceptable en una instalación comercial o industrial. En este caso el conductor perimetral del sistema de electrodos también proporciona la graduación de potencial necesaria para reducir el voltaje de contacto. Para obtener esto es posible tener electrodos separados como podemos anotar en la siguiente sección.

FIGURA # 15 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO ENTORNO AL GABINETE CON BARRA SIMPLE Y ELECTRODO PERIMETRAL (GRADUADOR DE POTENCIAL)



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Para subestaciones eléctricas pequeñas, un diseño mejor se consigue usando un bucle de conductor horizontal como electrodo perimetral y ubicando barras

verticales en cada una de las cuatro esquinas. Estas pueden ser más cortas que el ejemplo anterior, típicamente de 3 metros de longitud. Este esquema puede proporcionar un sistema de puesta a tierra más eficiente en un suelo uniforme de 50 ohm-metro y entrega una impedancia de 3,7 ohm. El voltaje de contacto sería de 175 volts.

1.8.3 Sistemas de electrodos de área media

Los sistemas de área media se encuentran típicamente en subestaciones eléctricas. Debe anotarse que hay otros componentes del sistema de puesta a tierra asociado con subestaciones que también necesitan considerarse. Por ejemplo, es usual conectar al sistema de puesta a tierra barras de acero reforzado de estructuras de construcciones, cimientos o pilares, la pantalla metálica de cables subterráneos y el cable de tierra de líneas áreas. Las consideraciones individuales para estos componentes van más allá del alcance de este libro, que se concentrará sólo en el electrodo de tierra instalado en la subestación

En diseños antiguos, no es extraño encontrar arreglos de electrodos tales como aquel de la figura 16. Como en el caso anterior, el principal objetivo de este diseño era obtener un valor específico de impedancia a tierra. El diseño está basado en barras de tierra verticales, y en el conocimiento de que se hace un uso efectivo del área colocando barras de tierra separadas aproximadamente a la misma distancia que su longitud.

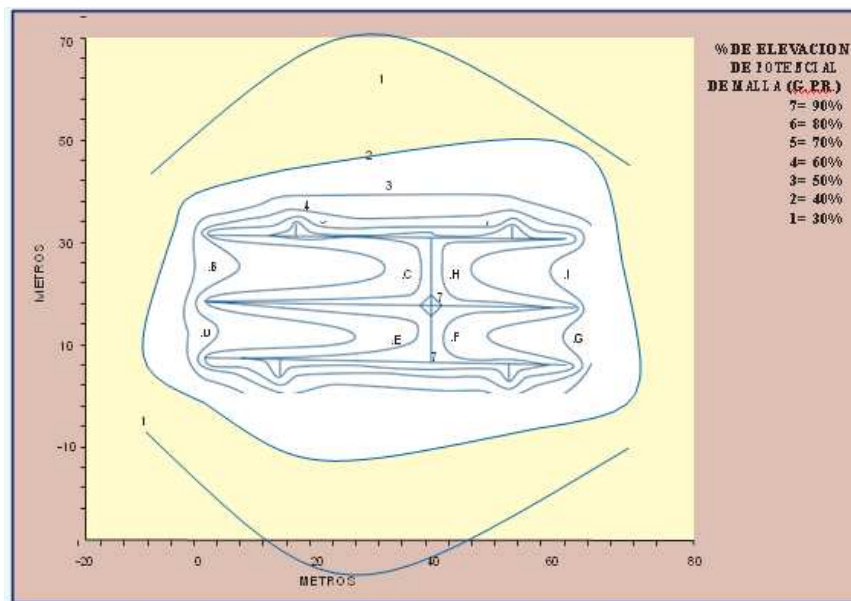
Luego, electrodos horizontales interconectan estas barras y así disminuye aún más el valor de impedancia a tierra.

Este concepto fue la partida de los modernos diseños de malla, pero en esta primera etapa, no se sabía que las barras en el interior del área tienen poco efecto. Debido al diseño de tipo radial, el comportamiento del sistema puede comprometerse seriamente si ocurre corrosión en cualquiera de las diferentes conexiones.

Finalmente, hay áreas indicadas en la figura, donde los voltajes de contacto pueden ser excesivos. Estas áreas están entre las líneas B-C, D-E, F-G y H-I. Si

una estructura metálica expuesta conectada al sistema de tierra estuviera presente aquí, los potenciales de contacto podrían exceder los valores permitidos. Para ilustrar lo anterior, se muestran en la figura los perfiles de voltaje en la superficie del suelo, nuevamente como porcentaje del potencial de malla o GPR.

FIGURA # 16 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN TORNO Y EN EL INTERIOR DE UNA SUBESTACIÓN CON DISEÑO ANTIGUO QUE INCORPORA BARRAS Y ELECTRODOS HORIZONTALES



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Un diseño moderno se muestra en la figura 17. Está basado en los siguientes principios.

- Un bucle efectivo, formado por un conductor perimetral.
- Buena interconexión entre los electrodos y equipos importantes de la planta.
- Uso económico de material de buena calidad
- Control de potenciales en toda el área

El electrodo perimetral se ubica ya sea 2 metros hacia el interior de la reja o bien 1 metro afuera.

Se conectan barras a tierra verticales al electrodo perimetral. Este electrodo recoge o distribuye la mayor parte de la corriente de frecuencia industrial y es un componente clave del sistema de tierra. Puede ser de mayor sección (calibre) que el que se usa enterrado en el interior de la subestación. A menudo será de cinta de cobre para aprovechar su mayor área superficial, comparado con conductor retorcido (con hebras) de área transversal similar. Las barras verticales se conectan a este electrodo para mejorar su comportamiento y permitir cierto grado de seguridad frente a variaciones estacionales tales como cambios en el nivel del de agua. Donde exista la posibilidad de robo o daño contra terceras personas, el conductor perimetral puede cubrirse en concreto a intervalos regulares. Cierta número de conductores transversales se instalan en el área, separados del orden de 10 metros. La separación real dependerá de las condiciones del suelo, de la corriente de falla y de la elevación prevista del potencial de tierra.

Las conexiones cruzadas cumplen dos funciones. La primera es permitir que todas las estructuras metálicas expuestas puedan conectarse entre sí y prevenir diferencias de potencial entre ellas. La segunda función es proporcionar un control de potenciales en la superficie dentro del área, para reducir los voltajes de paso y contacto. Los conductores transversales se conectan normalmente en cada intersección y en cada extremo del electrodo perimetral. Si el conductor perimetral está ubicado 2 metros al interior de la reja, pero existe alguna razón para pensar que el voltaje de contacto en la reja puede ser excesivo, entonces puede instalarse un conductor de control de potenciales un metro fuera de la reja. Este debiera conectarse a la reja, pero no a la malla de tierra. Debido a que este electrodo no será requerido para llevar una corriente significativa, puede tener una sección transversal pequeña. Esta opción es costosa, principalmente debido a la excavación adicional involucrada. Es más frecuente combinar el rol de conductor perimetral y de conductor de control de potencial de la reja, y extender el electrodo fuera de la reja.

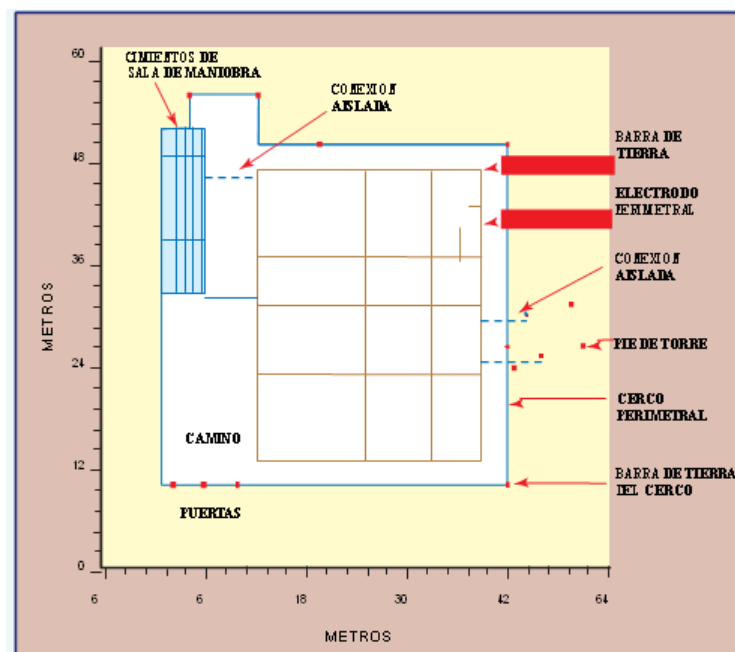
Todos los electrodos están interconectados, para confirmar un alto grado de seguridad: una falla mecánica o corrosión de uno o más conductores no afecta

seriamente el comportamiento del sistema de tierra. Esto es un hecho importante, ya que el sistema de electrodos no puede verse, está instalado posiblemente en un ambiente corrosivo y debe comportarse adecuadamente durante un largo período de tiempo.

Este tipo de diseño usa más cobre, pero lo usa efectivamente. Debe tenerse cuidado en la elección del material utilizado, ya que es posible que experimente corrosión química o electroquímica. El empleo de metales diferentes puede incrementar este riesgo, por lo tanto el cobre se usa a menudo por todos lados.

En este ejemplo la reja está puesta a tierra mediante barras en cada esquina y cerca del cruce de la línea área. Las tierras de la reja son independientes de la malla de tierra. Sin embargo, si el electrodo perimetral de la malla está fuera de la reja, es usual conectar la reja al sistema de puesta a tierra principal.

FIGURA # 17 TIPO MALLA, PARA PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIÓN

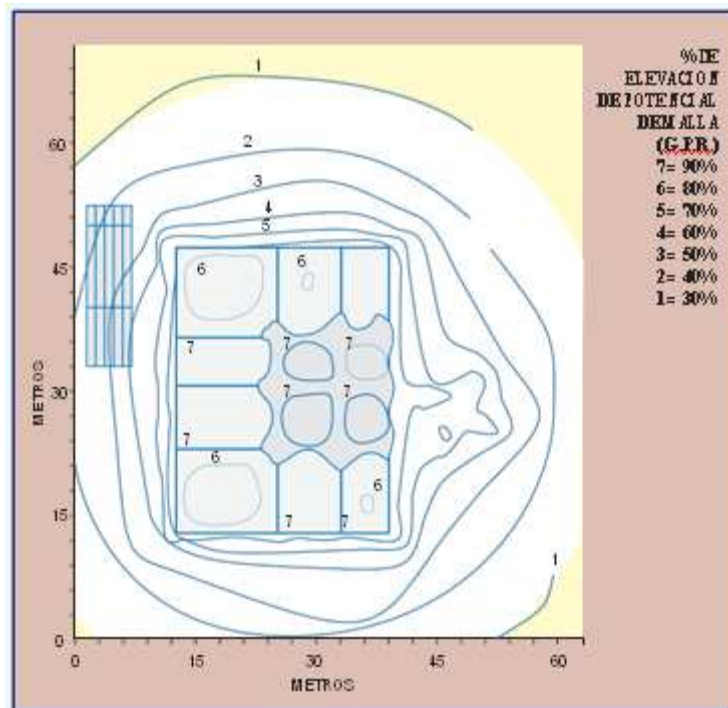


FUENTE: PROCOBRE
RECOPILADO POR: POSTULANTES

Las precauciones de diseño indicadas anteriormente aseguran la satisfacción del criterio referente a voltajes de paso y contacto. El perfil de voltaje en la superficie

del suelo se muestra en la figura 18. Una inspección de este perfil muestra que el potencial de superficie en el área sobre el electrodo principal está entre 70 y 90% del GPR. Esto significa que los voltajes de contacto están entre el 30 y el 10% del GPR. Puede existir aún la necesidad de reducir la impedancia del sistema de electrodos. Por ejemplo, actualmente se requieren precauciones adicionales si la GPR está sobre 430 volts (circuitos de baja confiabilidad) ó 650 volts (circuitos de alta confiabilidad). En algunas oportunidades es ventajoso extender el sistema de puesta a tierra de modo que la elevación de potencial de tierra se reduzca suficientemente sin exceder estos límites. Las dos opciones principales son usar largas barras verticales en el conductor perimetral o extender el sistema de tierra más afuera para encerrar un área mayor.

FIGURA # 18 POTENCIAL EN LA SUPERFICIE DEL SUELO EN EL ENTORNO Y SOBRE UN ARREGLO DE PUESTA A TIERRA MODERNO TIPO MALLA.



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.8.4 Diseño para edificios.

El proteger a las persona es el objetivo primordial de la puesta a tierra y sus respectivas normas. La puesta a tierra es fundamental en la mayoría de las prácticas para obtener seguridad. El sistema de puesta a tierra debe proporcionar un camino directo a tierra para las corrientes de falla a la vez que minimizar potenciales de paso y contacto. La función secundaria es contribuir a reducir perturbaciones y servir como una referencia de voltaje común para equipo electrónico sensible. Sin embargo, con el creciente uso de este tipo de equipo, particularmente computadores, hay una mayor conciencia de la importancia de esta función secundaria del sistema de puesta a tierra.

Arreglos TN-S típicos

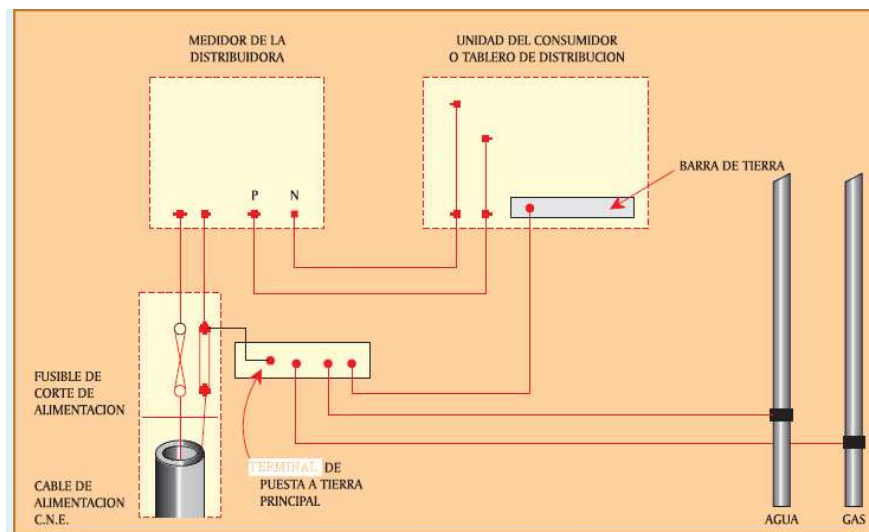
La medida de protección más común es una conexión equipotencial puesta a tierra y desconexión automática de la alimentación. Las normas establecen tiempos máximos de desconexión para diferentes tipos de equipos. Para decidir qué tiempos son apropiados, tiene que considerarse también el arreglo de puesta a tierra externo a la propiedad, es decir, el de la red de alimentación. Esto es porque cualquier corriente de falla a tierra normalmente tiene que retornar al transformador de la fuente. La impedancia del bucle por tierra está formada por la impedancia del sistema de puesta a tierra en el transformador de fuente, los conductores de tierra entre el transformador y la propiedad y la impedancia desde el punto de falla al punto de alimentación en la propiedad.

La figura 19 ilustra una alimentación TN-C-S típica y es el arreglo más común para nuevas y recientes alimentaciones de energía a instalaciones domésticas. En este arreglo los conductores neutro y de tierra se combinan en la red de alimentación. Sin embargo, ellos deben estar separados en el interior de locales.

Un conductor de protección (tierra de protección) acompaña cada circuito eléctrico que sale del tablero. En una instalación de alambrado normal, éste sería el alambre de tierra de cobre desnudo (sin aislamiento) que se encierra con los conductores aislados de fase y neutro en un cable con envoltura de PVC. Todas las partes de las estructuras metálicas conductivas expuestas se conectan entre sí

para asegurar que no existan diferencias de potencial entre ellas durante condiciones de falla consideremos una instalación más compleja, por ejemplo parte de aquella en el interior de una oficina o pequeña industria. En la figura 1.19 se ilustra una disposición, con énfasis en el esquema de puesta a tierra.

FIGURA # 19 ARREGLO DE PUESTA A TIERRA TN-C-S EN UNA INSTALACIÓN DOMICILIARIA.



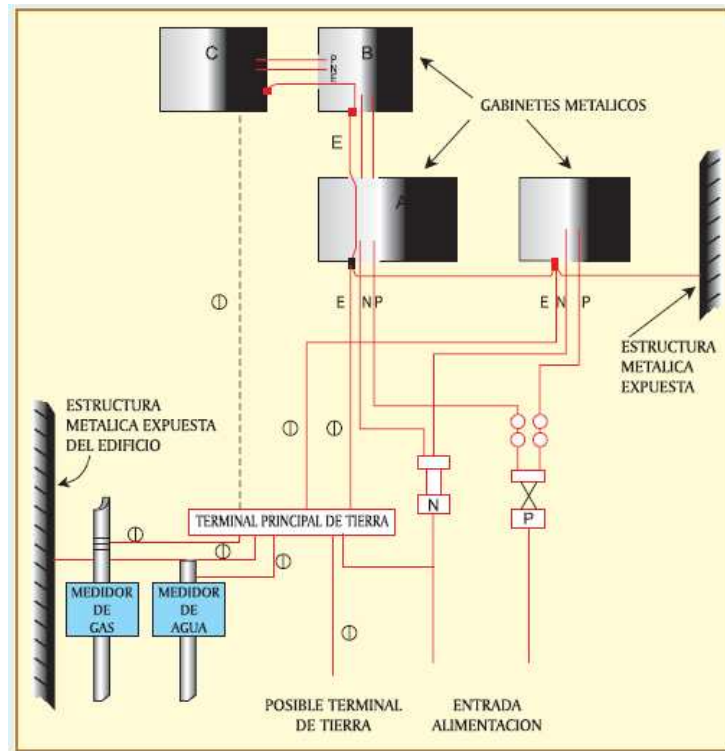
FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Un conductor de protección acompaña a todos los conductores que llevan corriente. Si este conductor tiene una sección transversal de 10 mm² o menos, debe ser de cobre. Las conexiones equipotenciales principales se usan para conectar servicios que ingresan a la propiedad (tales como tuberías metálicas de gas o de agua). Similar al caso de la instalación doméstica. Debe instalarse una copla aislante, de extensión no inferior a un metro, al ingresar las tuberías al recinto de la instalación. El sistema interno de tuberías de distribución de agua, gas u otro, debe conectarse al terminal de tierra como cualquier otro elemento metálico expuesto (figura 20). Los conductores de conexión suplementarios dan una indicación visible de que el equipo metálico expuesto está interconectado y se usan principalmente cuando no pueden obtenerse los tiempos de desconexión requeridos. Los conductores de protección de circuitos debieran ya asegurar esto, pero el enlace suplementario es normalmente más corto y así más directo. No se

intenta que lleve corriente de falla, pero su dimensión mínima es tal que es como si llevara algo. Los conductores de conexión suplementarios pueden también usarse (si es necesario) para conectar partes metálicas externas tales como: escaleras, barandas, etc. Esto puede sólo ser necesario si la estructura metálica externa puede introducir un potencial (normalmente potencial de tierra) y quedará al alcance de partes conductoras del equipo.

El diseñador debe asegurarse que la impedancia del conductor de protección esté coordinada con las características del equipo de protección de modo que durante una falla a tierra, cualquier voltaje sobre equipo expuesto que pueda ser tocado simultáneamente sea de magnitud y duración tal que no produzca peligro. La elevación de voltaje en un área durante una falla tiene que limitarse a un valor establecido en las normas y este valor se determina colocando un valor mínimo de impedancia del bucle de tierra. Es esencial que los conductores de protección de cobre usados tengan área transversal suficientemente grande.

FIGURA # 20 INSTALACIÓN TN-S TÍPICA EN EL INTERIOR DE UNA PROPIEDAD COMERCIAL O INDUSTRIAL PEQUEÑA



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Note que las conexiones a tierra de carcazas metálicas deben ser agrupadas en un punto, para evitar que la corriente tenga que fluir por el metal de la misma carcaza. Esto puede crear interferencia. Donde van cables entre edificios, ellos deben entrar y salir en un punto y si es posible encaminarlos por ductos metálicos eléctricamente continuos. La armadura del ducto debe ser conectada al terminal de tierra principal, en este punto también puede requerirse protección contra ondas.

Se ha encontrado ahora que equipo tipo IT, tales como fuentes de potencia de computadores, son causantes de problemas particulares con arreglos de puesta a tierra del tipo tradicional. Este tipo de equipo tiene una conexión permanente a tierra y es una fuente de corriente de fuga a tierra que tiene un alto contenido de armónicas. Cargas rectificadas monofásicas producen armónicas impares, algunas de las cuales son aditivas en los conductores de neutro y tierra. Si suponemos que tal equipo está situado en las posiciones A, B y C en la Figura 20, entonces la ruta a lo largo del conductor de protección desde C al terminal de tierra principal puede ser larga, tendrá una impedancia y aparecerá una diferencia de voltaje entre la tierra y C y de ahí a otras partes. La inductancia del conductor de protección será especialmente importante cuando la diferencia de voltaje sea mayor para las corrientes armónicas que aquella a la frecuencia industrial. Esta diferencia de voltaje es probable que genere ruido (o interferencia) y finalmente un riesgo de choque eléctrico. Se producirá calentamiento y campos electromagnéticos radiados que también pueden causar interferencia. Una manera de reducir el voltaje en C es rutear un conductor de protección separado. Adicional, directamente hacia el terminal de tierra principal o tan cerca de él como sea práctico. Este conductor preferiblemente debiera ser aislado y no instalarse en paralelo con cables o estructuras de acero. Una ruta tan directa como sea posible minimizará su impedancia. Además de la reducción de voltaje ganada por esta impedancia reducida, habría una reducción adicional debido a que la corriente de fuga asociada con el equipo en A y en B ya no seguiría la misma ruta.

Esto se llama una tierra limpia y se muestra en la figura 20. La tierra limpia podría sólo tomarse de un electrodo de tierra separado si éste a su vez está conectado al terminal de puesta a tierra principal. Si este enlace no existe, el

arreglo no cumple las normas y puede ser peligroso. Otros métodos de producir una tierra limpia incluyen el uso de transformadores de aislamiento y acondicionadores de fase (típicamente un transformador de aislamiento junto con regulación de voltaje y algún filtrado de armónica).

Como se mencionó previamente, es esencial seleccionar la sección transversal apropiada y para reducir interferencia no deseada hay una tendencia creciente a aumentar el tamaño de los conductores de protección para ayudar a reducir la interferencia en tales instalaciones.

El costo de pérdida de datos y falla de equipo para los clientes a menudo es mucho mayor que el costo del capital inicial para mejorar el sistema de puesta a tierra.

1.9 NORMAS Y REGLAMENTACIÓN

Las normas proporcionan los límites de diseño que deben satisfacerse y (conjuntamente con los reglamentos de práctica), explican cómo pueden diseñarse los sistemas de puesta a tierra para ajustarse a ellos. Los sistemas de puesta a tierra en general y más aún se deben cumplir con las partes aplicables de la última edición de las normas y reglamentaciones internacionales que se indican a continuación:

- En el ámbito internacional, es muy conocido y empleado el grupo de estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- Norma Eléctrica Mexicana (NOM-001, SEDE 2005)
- 210-8. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra
- 215-9. Protección de las personas mediante interruptores de circuito por falla a tierra.

- Artículo 250 Puesta a tierra
- 250-74. Conexión de la terminal de puesta a tierra de un receptáculo a la caja.
- 250-42. Equipo fijo o conectado de forma permanente.
- NCH Eléc. 4/84 Electricidad. Instalaciones interiores en baja tensión - Punto 10 Puesta a tierra (Norma reglamentaria chilena)
- Recomendaciones del IEEE-80 STD-2000 Guide for safety in AC Substation Grounding
- Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 345
- Reglamento de seguridad del trabajo contra riesgos en instalaciones de energía eléctrica (acuerdo No. 013) Ministerio de Trabajo Ecuatoriano

1.10 EQUIPO DE PUESTA A TIERRA

Antes de efectuar una medición de resistividad es necesario seleccionar adecuadamente el equipo a utilizar y para ello se requiere saber cuáles son los componentes del instrumento, es decir, la fuente de potencia, sistema de medida, los requisitos mínimos que deben cumplir estos equipos y qué tipo de ensayo debe ser sometido estos equipos.

1.10.1 Componentes del instrumento.

Los componentes del instrumento son:

- Fuente de potencia
- Sistema de medida

Fuente de potencia:

- Recomendable alterna o alterna pulsante, capaz de vencer la resistencia propia del circuito y del terreno, tensión entre 50 y 500 V. a una frecuencia de 60 a 70 Hz.

- Debido a la probabilidad de electrólisis no es recomendable fuente de tensión continua.

- En el caso de instrumentos a batería deberá disponer de rectificador estático DC/AC

Dispositivos para eliminar corrientes electrolíticas y de inducción:

- Cuando la fuente es un generador manual, un rectificador mecánico será capaz de rectificar las corrientes electrolíticas y de inducción, de manera que la corriente neta por el circuito de medida sea cero.

- Cuando la fuente de potencia es una batería operada por un convertidor o transistor, el rectificador estático rechazará las corrientes de frecuencia diferente al de la corriente de prueba.

Sistema de medida:

Básicamente se conocen tres sistemas de medida:

Sistema voltímetro: amperímetro o sistema ohmimétrico;

Ventaja: la resistencia de los electrodos de corriente no afecta la lectura del instrumento.

Sistema comparador: de resistencias, ofrece relativa facilidad en la lectura directa.

Sistema de balance nulo: debido al uso de electrodos de resistencia baja no afecta la lectura del instrumento.

Existen sistemas combinados entre sistema ohmimétrico y el sistema de balance nulo, mejorándose la medición de resistencias bajas.

1.10.2 Requisitos mínimos de los instrumentos

Existen tradicionalmente equipos analógicos y digitales, equipos que trabajan a manivela y a batería.

En la actualidad los equipos modernos deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Compactos y de fácil traslado y permitir almacenamiento de información.
- Interface para PC, accesorios, manual, medición multipolo (2, 3,4) controlados por microprocesador.
- Opción para medición con pinzas o estacas.
- Al usar transductores de medición deben ser de similar clase de precisión.
- Deben tener certificaciones de los siguientes ensayos tipos: ensayo de aislamiento, ensayo de compatibilidad electromagnética, ensayos climáticos, ensayos mecánicos, ensayo de clase de precisión.

1.10.3 Ensayos tipo

Los equipos de medición para su funcionamiento adecuado en cualquier condición y para arrojar una lectura confiable, debe cumplir con ensayos tipos y deben tener certificaciones de los mismos, a continuación se indican los diferentes ensayos tipos:

- Certificaciones de los siguientes ensayos tipos
 - Aislamiento: IEC 61000 – 4 – 2, IEC 61010 – 1
 - Compatibilidad electromagnética: IEC 1000 – 4 – 2, IEC 61326 – 1
 - Climáticos: DIN 40040
 - Mecánicos: IEC 529, DIN 40050
 - Clase de precisión: (+/-2%)
 - Medición de RE: IEC 61557 – 5
 - Fabricación: DIN ISO 9001

1.10.4 Consideraciones para la medición

Es necesario saber las precauciones que deben tenerse presente antes de efectuar una medición y también, en qué casos no es recomendable efectuar una medición.

Precauciones para la medición

Las mediciones deben efectuarse en épocas apropiadas en la sierra en estiaje y en la costa en verano.

- Los electrodos de exploración deben tener un buen contacto con el terreno.
- Si el terreno es deslizante remover el material suelto hasta encontrar tierra firme.
- Si el suelo tiene capa gruesa de arena verter agua en el punto de clavado de los electrodos.
- Verificar el punto de contacto de la bornera de los instrumentos y la toma de los electrodos.
- Verificar los conductores gastados para evitar puntos de degradación del aislamiento.
- Verificar la presencia de corrientes inducidas.
- La resistencia de los electrodos auxiliares y conductores deben ser tal que no influyan en las mediciones.

1.10.5 Casos no recomendables para la medición.

Estas recomendaciones son producto de la experiencia práctica y sirven si se desea un resultado bueno.

Las recomendaciones a tomar en cuenta son:

- Después de una lluvia.
- Durante alta humedad ambiental.

- Cuando hay conductores pelados y no se logran buen contacto en el conexionado.
- Durante horas de tormenta.
- Durante horas de humedad, en la que se escucha chisporroteo en los aisladores.
- Durante la ejecución de trabajos de mantenimiento sobre la infraestructura en las proximidades.

1.11 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Uno de los parámetros más importantes que caracteriza una puesta a tierra es el valor de su resistencia. Se define este como el cociente entre el potencial adquirido por ella y la corriente conducida a tierra.

Debido a que existen diferentes espesores de los estratos y con resistividades diferentes cada uno, a fin de obtener un valor bajo de resistencia, es necesario conocer el tamaño y la forma del electrodo a enterrar, ya que de ello dependerá su resistencia.

Para una comparación económica entre las diferentes configuraciones de puesta a tierra, se requieren expresiones analíticas que relacionen todos los parámetros de la puesta a tierra.

Tales expresiones deben ser utilizadas adecuadamente para cada configuración, teniendo en cuenta sus limitaciones porque son el resultado de las aplicaciones de los conceptos de la teoría de campo o del método de potenciales promedios, que asume una densidad de carga uniformemente distribuido en todo el sistema de puesta a tierra de la misma manera que la resistividad del suelo.

Una forma de determinar teóricamente la resistencia de puesta a tierra es por analogía con la capacitancia a tierra del sistema de electrodos, la cual está basada en el hecho que el flujo de corriente a tierra de un sistema de electrodos, tienen la misma trayectoria como la emisión de flujo eléctrico de una configuración similar de conductores teniendo cargas aisladas, entonces:

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{C} \right)$$

Donde “C” es la capacitancia del sistema de electrodos considerando su imagen con respecto a la superficie de la tierra.

Por lo tanto, el problema de calcular resistencia de puesta a tierra queda reducido a determinar la capacitancia de cualquier configuración de puesta a tierra y su imagen.

La resistencia de puesta a tierra se calculará para configuraciones de electrodos verticales, horizontales, mallas y sistemas conjuntos. Se presenta finalmente los cálculos optimizados de electrodos tanto verticales, horizontales y sus resistencias de dispersión.

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra involucra el cálculo de la misma resistencia a tierra, ya sea de un electrodo elemental, una combinación simple de electrodos, una combinación compleja de electrodos (malla de tierra) o de mallas de tierra interconectadas.

En general, los electrodos elementales que conforman la mayor parte de las puestas a tierra, son: la barra enterrada verticalmente en el terreno y el conductor horizontal embebido en el terreno.

Los electrodos, tales como el anillo y la plancha metálica dispuesta sobre la superficie del terreno, se utilizan casi exclusivamente como complementos de una puesta a tierra para controlar gradientes de potencial sobre el terreno y despreciándose, la mayoría de las veces su influencia sobre la resistividad total.

La esfera y semiesfera, salvo algún caso particular, no se usan en absoluto y la plancha metálica embebida implica suposiciones y aproximaciones que deben ser aceptadas a falta de métodos más exactos.

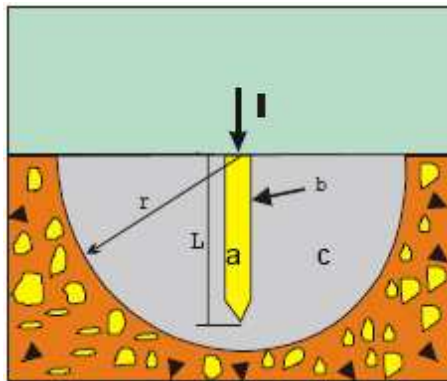
Las prácticas y comprobaciones en modelos dan como resultado que estas aproximaciones pueden considerarse aceptables.

En términos generales, un error del $\pm 20\%$ entre lo calculado y lo obtenido es satisfactorio.

La resistencia de puesta a tierra total tiene tres componentes (Fig. 21):

- La resistencia del conductor conectado al sistema de puesta a tierra, que está en función de su resistividad, longitud y sección.
- La resistencia de contacto entre la superficie del electrodo y el suelo, este valor es usualmente pequeño si el electrodo está libre de pintura o grasa, esto se elimina efectuando un buen contacto entre el electrodo y tierra.
- La resistencia de la tierra alrededor del electrodo que es la resistencia principal que influirá en la resistencia total de la puesta a tierra.

FIGURA # 21 COMPONENTES DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA



FUENTE: PROCOBRE
RECOPILADO POR: POSTULANTES

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Dónde:

ρ : resistividad del terreno.

L: longitud del electrodo.

A: área de la semiesfera equivalente.

Si una esfera de radio x , tiene el espesor dx , entonces la resistencia dR del elemento es:

$$dR = \frac{\rho dx}{2\pi x^2}$$

Siendo la resistencia hasta una distancia x de:

$$R = \int_{r_1}^r \frac{\rho dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Si $r_1 = \infty$ la resistencia total será:

$$R_{\infty} = \frac{\rho}{2\pi r}$$

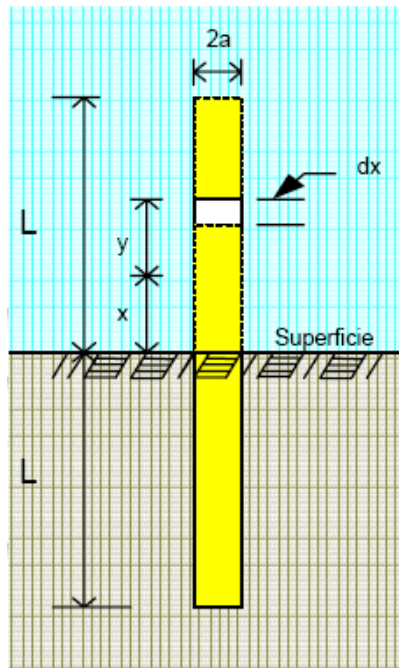
<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6667028/Puesta-a-Tierra>

1.11.1 Electrodo verticales (jabalina)

Jabalina enterrada sobre la superficie

Considerando una jabalina de longitud “L”, diámetro “2a” junto con su imagen sobre la superficie de la tierra (Fig. 22)

FIGURA # 22 MODELO DE JABALINA ENTERRADA, EN LA SUPERFICIE Y EN IMAGEN



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

El problema electrostático consiste en calcular la capacitancia, asumiendo una carga uniforme sobre la superficie, esto significa calcular el potencial promedio sobre el electrodo.

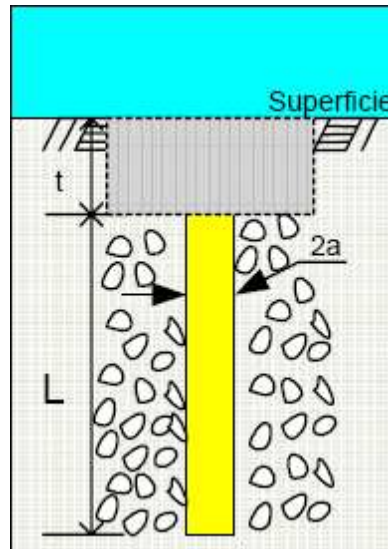
Suponiendo que la carga asumida es en centímetros de longitud, entonces la carga en el segmento dy es qdy . El potencial en cualquier punto P debido a esta carga es:

$$\text{Potencial} = \frac{q \, dy}{\sqrt{a^2 + y^2}}$$

Jabalina enterrada a partir de una profundidad “t”.

En la mayoría de los casos no se encuentran enterradas a partir de la superficie del terreno, sino a partir de una profundidad t , como se muestra en la Fig. 23

FIGURA # 23 ELECTRODO VERTICAL ENTERRADO A UNA PROFUNDIDAD T



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

La resistencia será:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{L}{a} \sqrt{\frac{3L+4t}{L+4t}} \right)$$

Donde el objetivo de enterrar una distancia “t” al electrodo debajo de la superficie es para disminuir los posibles gradientes de potencial sobre la superficie del terreno en los contornos de la barra

$$R = \frac{100}{2\pi \times 2} \ln \left(\frac{2}{8 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{3 \times 2 + 4 \times 0,3}{2 + 4 \times 0,3}} \right) = 47,1 \Omega$$

1.11.2 Resistencia a tierra de dos o más jabalinas en paralelo

Si bien el objetivo es disminuir la resistencia equivalente, esto se logra teniendo un espaciamiento mínimo entre jabalinas igual al doble de su longitud con el fin de evitar zonas de interferencia como se observa en la Fig. 24

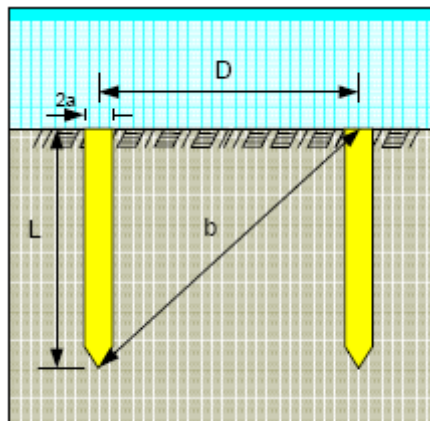
FIGURA # 24 ZONAS DE INTERFERENCIA (TRASLAPE), CUANDO LOS ELECTRODOS NO ESTÁN ESPACIADOS SUFICIENTEMENTE



Resistencia de tierra de 2 jabalinas separadas a una distancia D, como se observa en la Fig. 25

FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

FIGURA # 25 DOS ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi L} \ln \left(\frac{(b+L)^2 - D^2}{D^2 - (b+L)^2} \right)$$

Haciendo $D = 2L$

$$R_2 = \frac{\rho}{4\pi L} \ln\left(\frac{10,47 L - 2}{2 - 1,53 L}\right)$$

Se puede obtener un índice de reducción de resistencia igual a:

$$K = \frac{R_2 \text{ electrodo}}{R_1 \text{ electrodo}}$$

Considerando el mismo criterio se puede calcular la resistencia equivalente para varias jabalinas en paralelo de longitud y espaciamiento iguales.

1.11.3 Electrodo horizontales

La resistencia de aterramiento de un conductor o electrodo enterrado horizontalmente en el suelo a una profundidad “h” metros será:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln\left(\frac{2L^2}{ah} - 2 + \frac{2h}{L} - \left(\frac{h}{L}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{h}{L}\right)^4\right) \right] \Omega$$

Dónde:

R: resistencia en (Ω).

L: longitud en (m).

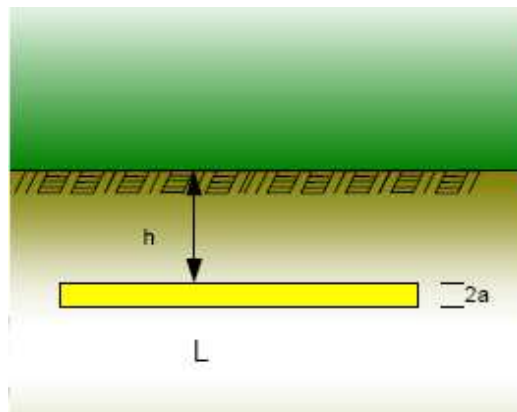
a: radio del electrodo en (m).

n: profundidad de enterramiento en (m).

También se puede utilizar:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{a \cdot h} \text{ en } \Omega$$

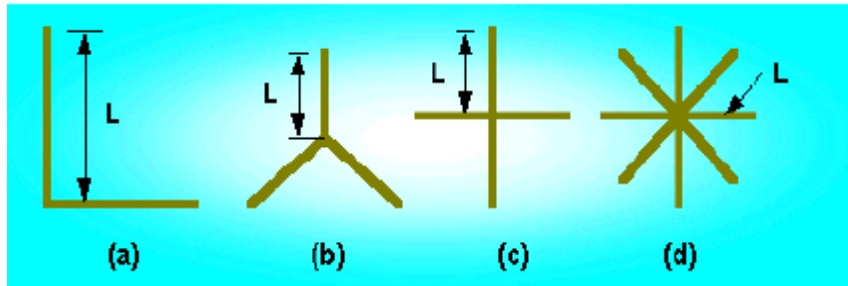
FIGURA # 26 ELECTRODO HORIZONTAL ENTERRADO A UNA PROFUNDIDAD "H".



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Se pueden enterrar electrodos con diferentes configuraciones como se observa en la Fig. 27

FIGURA # 27 CONFIGURACIONES HORIZONTALES DE CONDUCTORES



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

Dos conductores en ángulo recto (fig. 1.27.a)

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2ah}\right) - 0,2373 + 0,8584 \frac{h}{L} + 1,656 \left(\frac{h}{L}\right)^2 - 10,85 \left(\frac{h}{L}\right)^4 \right]$$

Configuración en estrella con tres puntos (fig. 1.27.b)

$$R = \frac{\rho}{3\pi L} \left[\ln\left(\frac{L^2}{2ah}\right) - 1,077 - 0,836 \frac{h}{L} + 3,808 \left(\frac{h}{L}\right)^2 - 13,824 \left(\frac{h}{L}\right)^4 \right]$$

1.11.4 Resistencia de malla

Otra forma de configurar una puesta a tierra es mediante una malla entrelazada por conductores de cobre, la unión de los puntos de la malla debe ser tal que no exista calentamiento en dicha unión, con ello se pueden lograr resistencias más bajas que en las configuraciones anteriores.

1.11.4.1 Cálculo de la resistencia de malla

Según la fórmula experimental de “Laurent”, se tiene la siguiente fórmula para el cálculo de puesta a tierra de una malla:

Dónde:

ρ : resistividad (Ω - m).

s: superficie que cubre la malla (m²).

L: longitud total de conductor de la malla (m).

$$R = \frac{\rho}{4\sqrt{\frac{s}{\pi}}} + \frac{\rho}{L} \quad (\Omega)$$

1.11.5 Tensiones presentes en las mallas de tierra

Consideramos una malla formada por “n” conductores dispuestos en cada dirección con separación uniforme “D” entre ellos, enterrada a una profundidad fija “h” metros, siendo “L” la longitud total de conductor enterrado. En el momento en que la falla difunde una corriente de I Amperes al terreno, una persona puede quedar expuesta a los siguientes voltajes de riesgos (Fig. 3.11 a)

1.11.5.1 Tensión de paso (V_p).

Corresponde a la diferencia de potencial entre dos puntos ubicados sobre la superficie del suelo, separados a una distancia de un metro:

$$V_p = K_s K_i \rho_e \frac{I}{L} \text{ (Volts)}$$

$$K_i = 0,65 + 0,172 n$$

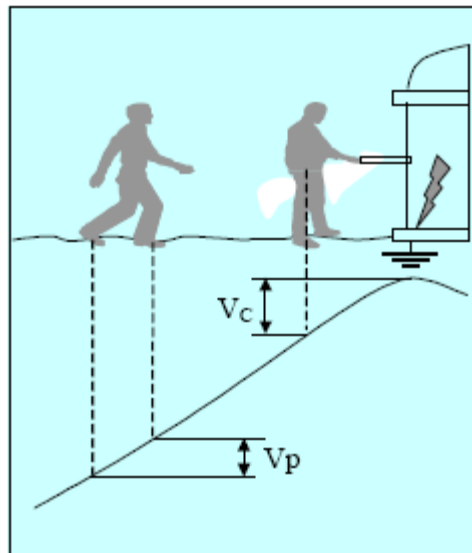
Dónde:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D+h} + \frac{1}{3D+h} + \dots + \frac{1}{(n-1)D+h} \right]$$

1.11.5.2 Tensión de contacto o toque.

La tensión de contacto mano – pie corresponde a la diferencia existente entre el potencial de un punto sobre la superficie del terreno y el potencial que adquiere un conductor metálico unido a la malla. Para su estimación, se utiliza la expresión correspondiente al máximo posible o tensión de contacto.

FIGURA # 28 TENSIÓN DE PASO Y CONTACTO (TOQUE).



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

$$V_m = K_m K_i \rho_e \frac{I}{L} \text{ (volts)}$$

Dónde:

$$K_m = \pi \left[\frac{1}{2} \text{Ln} \left(\frac{D^3}{16hd} \right) + \text{Ln} \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{5}{4} \dots \frac{2n-3}{2n-2} \right) \right]$$

Estas tensiones presentes en la superficie del terreno sobre una malla de tierra que difunde una corriente de falla, no deben superar en ningún caso las tensiones tolerables por el cuerpo humano. La máxima diferencia de potencial a que puede ser sometido el cuerpo humano, en base a los posibles puntos de contacto se calcula mediante las expresiones:

a. Máxima tensión de paso tolerable:

$$V_p = \frac{116 + 0,696 c \rho_s}{\sqrt{t}} \text{ (volts)}$$

b. Máxima tensión de contacto tolerable:

$$V_c = \frac{116 + 0,174 c \rho_s}{\sqrt{t}} \text{ (volts)}$$

En donde:

ρ [Ω -m]: resistividad de la capa superficial.

t [seg]: tiempo global de exposición.

c: factor de corrección debido a la presencia de la capa superficial resistiva. En la práctica se estima $c = 1$.

Los límites de diseño se han establecido como tensiones y para llegar a los límites apropiados, es necesario considerar la impedancia a través del cuerpo humano, la resistencia de contacto de la mano, la resistencia del calzado y la resistividad del material superficial bajo el calzado. Suponiendo:

100 Ohm – metro la resistividad del suelo.

1000 Ohm para la impedancia del ser humano.

4000 Ohm de impedancia para el calzado.

300 Ohm resistencia de contacto de la mano.

1.11.6 Electrodo de puesta a tierra óptimos

A partir de la disponibilidad de espacio y la resistividad de diseño, se define el tipo y la forma de la instalación del electrodo de puesta a tierra, que deberá ser preferentemente de cobre electrolítico macizo por su alta resistencia al ataque corrosivo del suelo que otros materiales, aún con protección de superficie, no pueden asegurar su tiempo promedio de vida.

www.procobre.com/Instalaciones_de_Puesta_a_Tierra

1.11.6.1 Electrodo verticales

Existe en el mercado, varillas de cobre temple duro ya cortadas en longitudes estandarizadas de 2,0; 2,5; 3,0 y 3,5 m con diámetros a escoger de 0,013 y 0,019 m; se elige el tamaño más comercial que tiene 2,5 m de longitud (2,44 real) con 0,013 ó 0,019 m de diámetro; el cual puede optimizarse con el relleno en el pozo según el modelo analítico (Fig. 29), con ($r_0 \rightarrow R$)

$$dR_{ij} = \rho_r \frac{d_r}{dS} = \frac{\rho_r}{2\pi L} \int_{r_0}^R \frac{dr}{r}$$

$$R_{ij} = \frac{\rho_r}{2\pi L} \ln \frac{R}{r_0}$$

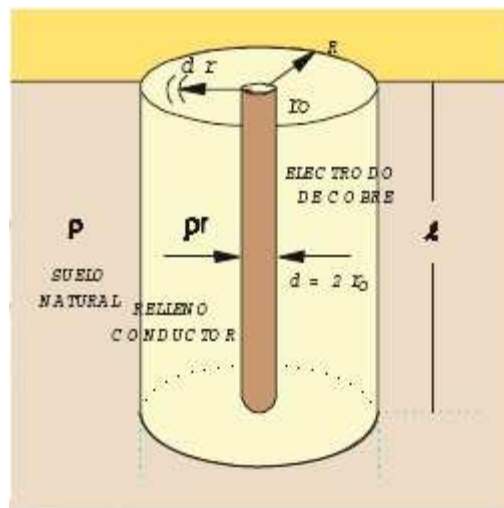
Dónde:

r_0 : radio del electrodo, (m).

R: radio optimizado – pozo, (m).

L: longitud del electrodo, (m).

FIGURA # 29 OPTIMIZACIÓN DEL ELECTRODO VERTICAL CON RELLENO EN POZO.



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.11.6.2 Electrodo horizontales

Las pletinas de cobre, existen en el mercado a partir de 3,0 m de longitud, con secciones diferentes; la más adecuada será (0,003 m x 0,04 m); deberá hacerse un hueco con un taladro de 0,013 m de diámetro en uno de los extremos.

En caso de escasez se podrá utilizar un conductor de cobre desnudo de 100 mm² temple semiduro o blando. El modelo también puede ser optimizado con el relleno en una zanja (Fig. 30) considerando ($r_0 \rightarrow R$)

$$dR_{ip} = \rho_r \frac{dr}{dS} = \frac{\rho_r}{2\pi L} \int_{r_0}^R \frac{dr}{r}$$

$$R_{ip} = \frac{\rho_r}{2\pi L} \ln \frac{R}{r_0}$$

Dónde:

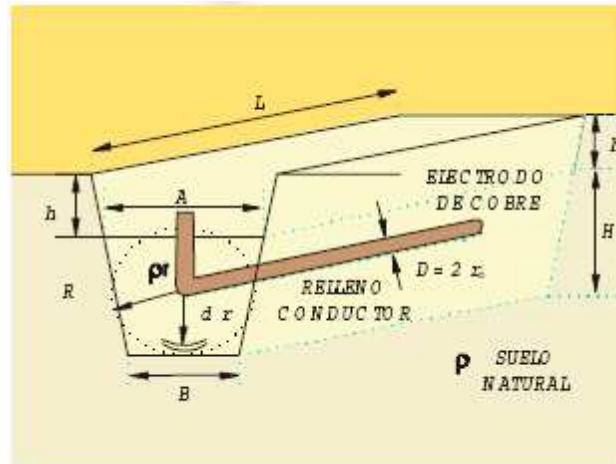
r_0 : radio del electrodo, (m).

R : radio optimizado – zanja, (m).

L : longitud del electrodo, (m).

El suelo subyacente en las zonas habitadas del país es pedregoso por su filiación aluvial o diluvial, por tanto el clavado de electrodos verticales para puesta a tierra no es viable, para su instalación nos obliga a excavar un pozo y para electrodos horizontales, una zanja que se aprovechan para reponer las sales naturales ausentes conformado el relleno con la misma tierra fina del sitio y tierra adicional, mezclándolas con un aglutinante también natural, de granulometría fina, conductivo, no corrosivo e higroscópico.

FIGURA # 30 OPTIMIZACIÓN DEL ELECTRODO HORIZONTAL CON RELLENO EN ZANJA EN ZANJA



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

1.11.7 Resistencias de dispersión

La dispersión de las corrientes en el suelo, mediante electrodos de gran superficie (circular, cuadrangulares, esféricos, ortogonales, etc.), puede lograrse también con electrodos simples y económicos, optimizando su geometría mediante una instalación que aproveche las excavaciones para incluir rellenos y tratamientos del suelo.

Resistencia de dispersión (R_j) de un electrodo vertical

Se calcula con la siguiente expresión:

$$R_j = \frac{\rho_r}{2\pi L} \ln \frac{D}{d} + \frac{\rho}{12\pi} \ln \frac{4L}{D}$$

Dónde:

ρ_r : resistividad del relleno = 5 (Ω -m).

ρ : resistividad del diseño, (Ω -m).

L: longitud de electrodo, (m).

D: diámetro del pozo = 2 R (m).

d: diámetro del electrodo = 2 ro (m).

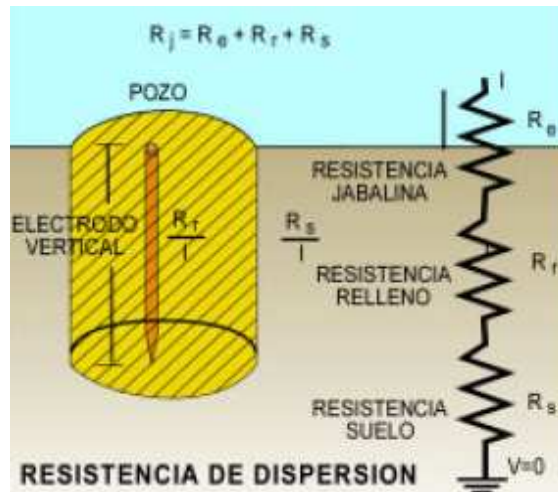
Ejemplo:

Para los datos de la puesta a tierra de electrodo vertical propuesto Fig. 31, con la resistividad de diseño ya establecida ($\rho = 300 \Omega$ -m) se obtiene:

$$R_j = \frac{5}{15,7} \text{Ln} \frac{1,0}{0,013} + \frac{300}{94,2} \text{Ln} \frac{4 \times 2,5}{1,0}$$

FIGURA # 31 RESISTENCIA DE DISPERSIÓN DEL ELECTRODO VERTICAL.

$$R_j = 1,38 + 7,33 = 8,7 \Omega$$



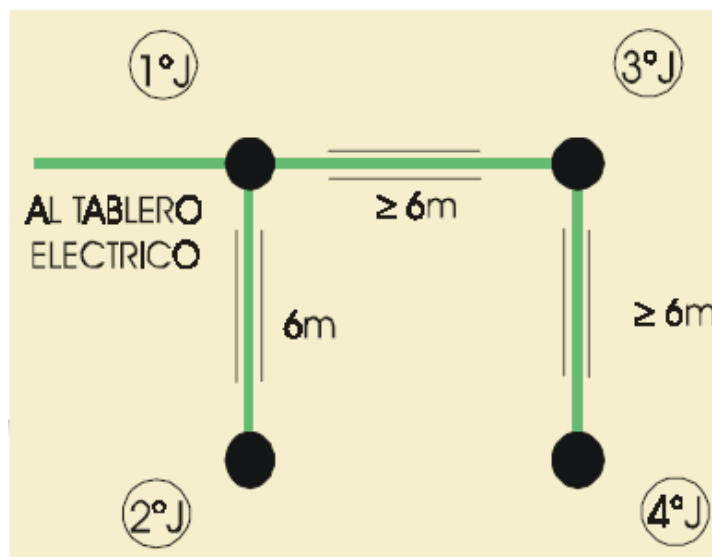
FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

En caso de requerir bajas resistencias de dispersión en edificios con áreas libres físicamente separadas; a partir del primer pozo ejecutado, se pueden adicionar, hasta tres pozos a (6 m) o más uno de otro, que serán unidos al tablero eléctrico mediante el conductor de conexión dentro de los ductos existentes, pudiendo obtener como mínimo de 3 a 4 Ohm. Fig. 32

- Para dos electrodos: $R_{2j} = 0,60 R_j \Omega$
- Para tres electrodos: $R_{3j} = 0,45 R_j \Omega$
- Para cuatro electrodos: $R_{4j} = 0,35 R_j \Omega$

Cualquiera que fuese la forma del electrodo instalado en la excavación, las características conductivas y geométricas del relleno higroscópico en contacto con el suelo natural permite obtener una baja resistencia total de dispersión.

FIGURA # 32 CONEXIÓN DE ELECTRODOS VERTICALES EN PARALELO.



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Resistencia de dispersión (R_p) de un electrodo horizontal.

$$R_p = \frac{\rho_r}{2 \pi L} \ln \frac{R}{r_0} + \frac{\rho}{12 \pi L} \ln \frac{L^2}{3,7 \times h \times R}$$

Dónde:

ρ_r : resistividad del relleno = 5 (Ω -m).

ρ : resistividad de diseño, (Ω -m).

L: longitud electrodo horizontal, (m).

R: radio equivalente del relleno, (m).

r_0 : radio equivalente del electrodo, (m).

h: profundidad de enterramiento, (m).

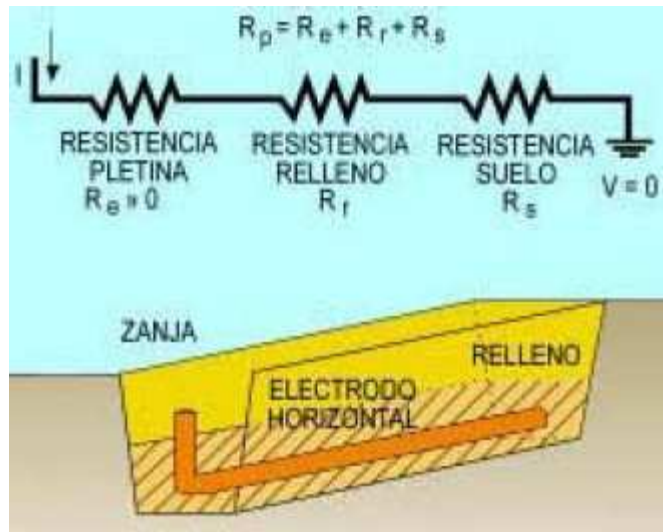
Ejemplo

Para los datos de la puesta a tierra del electrodo horizontal propuesta Fig. 33, con la resistividad de diseño ya establecida ($\rho = 300 \Omega$ -m), resulta:

$$R_p = \frac{5}{18,84} \ln \frac{0,28}{0,006} + \frac{300}{113,04} \ln \frac{9}{0,3626}$$

$$R_p = 1,02 + 8,52 = 9,54 \Omega$$

FIGURA # 33 RESISTENCIA DE DISPERSIÓN DE ELECTRODOS HORIZONTALES.



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

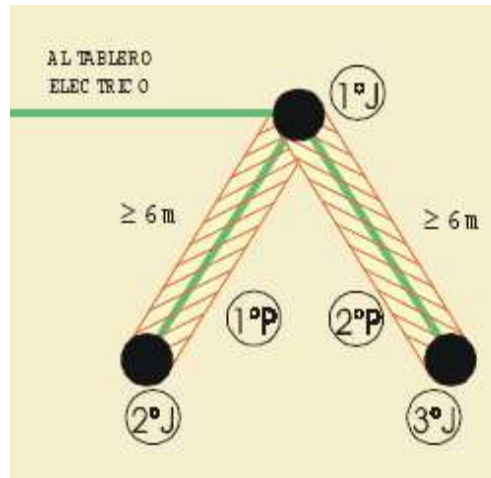
Resistencias de dispersión

Las resistencias de dispersión asignables, según las necesidades de seguridad y correcto funcionamiento de aparatos eléctricos y electrónicos son:

- Servicio doméstico: 9 – 15 Ω
- Servicio doméstico moderno: 6 – 9 Ω
- Servicio de oficina: 3 – 6 Ω
- Servicio red de procesamiento: 2 – 3 Ω
- Servicio de comunicaciones: < 2 Ω
- Servicio médico: < 2 Ω
- Descargas atmosféricas: < 2 Ω

www.fro.utn.edu.ar/.../5.../Protecciones

FIGURA # 34 CONEXIONES DE ELECTRODOS COMBINADOS



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

En caso de aplicar esquemas combinados (Fig. 34) de electrodos verticales unidos por electrodos horizontales de (6,0 m) o más de longitud, instalándolos según los métodos que propone este texto; la resistencia total bajará moderadamente; se la puede estimar en forma aproximada con:

$$R = \frac{R_{nj} \times R_{np}}{R_{nj} + R_{np}} [1,43] \text{ Ohm}$$

Para aterramientos con resistencias de dispersión inferiores a 3,0 Ohm, se aplican otros métodos basados en el perfil estratificado de resistividades del suelo y en los análisis físicos y químicos del suelo.

CAPITULO II

2.1 INTRODUCCIÓN

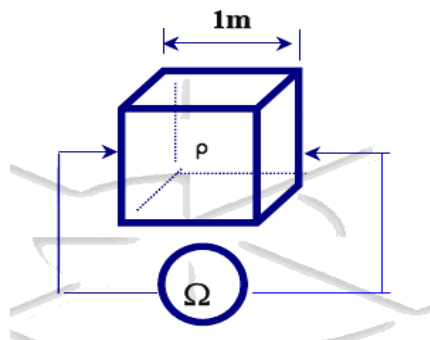
En el presente capítulo se desarrollará la metodología para el diseño de una malla de puesta a tierra teniendo en cuenta los aspectos normativos en tal forma que cualquier punto accesible a las personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidas a tensiones de paso o de contacto que superen los umbrales de soportabilidad, cuando se presente una falla, y se debe tener presente que el criterio fundamental para garantizar la seguridad de los seres humanos, es la máxima corriente que pueden soportar, debida a la tensión de paso o de contacto y no el valor de la resistencia de puesta a tierra tomado aisladamente.

Un bajo valor de resistencia de puesta a tierra es siempre deseable para disminuir el máximo potencial de tierra, por tanto al diseñar un sistema de puesta a tierra, es fundamental determinar tensiones máximas aplicadas al ser humano en caso de falla durante la operación con los equipos a 15KV.

2.2 RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

La resistividad de los suelos se expresa en $\Omega\text{-m}$, $\Omega\text{-cm}$ ó $\Omega\text{-mm}$, que corresponde a la resistencia que presenta un cubo de 1 metro cúbico de suelo o aguas, entre sus paredes laterales (aristas) y se representa por la letra griega ρ .

FIGURA # 35 RESISTIVIDAD DE UN CUBO DE TERRENO DE 1 M DE ARISTA



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Dónde:

Dimensiones de ρ :

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l} \Rightarrow \left(\frac{\Omega m^2}{m} \right) = \Omega m$$

Dónde:

R = Resistencia en (Ω)

ρ = Resistividad en ($\Omega \cdot m$)

l = Longitud en (m)

S = Sección en (m^2)

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratificación (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno también se ve afectado por las variaciones estacionales. Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad, por ello la grava tiene mayor resistividad que la arena, y esta mayor resistividad que la arcilla.

Debido que las capas no son uniformes en un terreno, cuando se mide la resistividad se está midiendo la resistividad aparente y por ello amerita determinar la resistividad de cada capa o estrato y sus espesores.

2.3 INFLUENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO

La tierra representa generalmente un mal conductor (gran contenido de óxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos) pero gracias al amplio volumen disponible, se puede lograr a través de ella los niveles conductivos necesarios para su utilización auxiliar.

La conductividad representa un fenómeno esencialmente electroquímico o electrolítico, y por lo tanto, depende de la cantidad de agua depositada o el nivel de humidificación existente. Los suelos están compuestos principalmente, por óxidos de silicio y óxidos de aluminio que son muy buenos aislantes; sin embargo la presencia de sales y agua contenida en ellos, mejora notablemente la conductividad de los mismos.

2.4 FACTORES QUE DETERMINAN LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores y es necesaria su evaluación:

- Naturaleza de los suelos.
- La humedad.
- La temperatura del terreno.
- La concentración de sales disueltas.
- La compactación del terreno.
- La estratificación del terreno.

2.4.1 Naturaleza de los suelos

Los suelos son buenos, regulares o malos conductores de la electricidad en función de su naturaleza. El Análisis y conocimiento de esta naturaleza es el primer paso para la instalación adecuada del sistema de puesta a tierra.

En la tabla siguiente se muestra los valores característicos de la resistividad de los suelos, donde se puede apreciar que entre la resistividad del agua de mar y el hielo existe una gran diferencia y se puede concluir que el agua de mar es el que presenta la más baja resistividad y por lo tanto un buen conductor de la electricidad.

TABLA # 1 RESISTIVIDADES TÍPICAS SEGÚN EL TIPO DE SUELO O AGUA

Tipo de suelo o agua	Valor típico de resistividad (ohm-m)
Agua de mar	2
Arcilla	40
Aguas Subterráneas	50
Arena	2000
Granito	25000
Hielo	100000

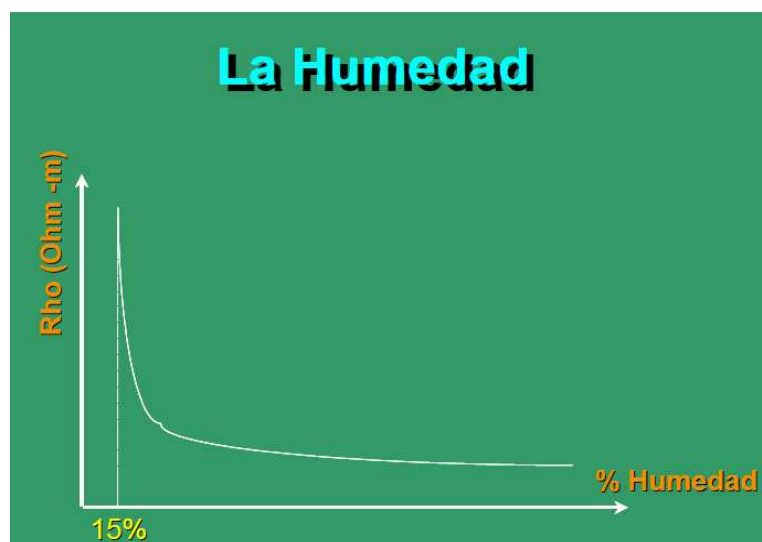
REALIZADO POR: POSTULANTES

2.4.2 La humedad

La resistividad que presenta un terreno está en relación directa a los porcentajes de humedad contenida en él; es decir, depende de su estado hidrométrico, al aumentar la humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad. En todo caso siempre que se añade agua a un terreno disminuye su resistividad respecto al que tendría en seco.

El agua contenida en ellos no se mueve y en estas circunstancias, se dice que el terreno está “saturado de humedad”. En el siguiente gráfico se puede observar la variación de resistividad en función de la humedad, en una muestra de arcilla roja, con el porcentaje de humedad contenida.

FIGURA # 36 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE HUMEDAD



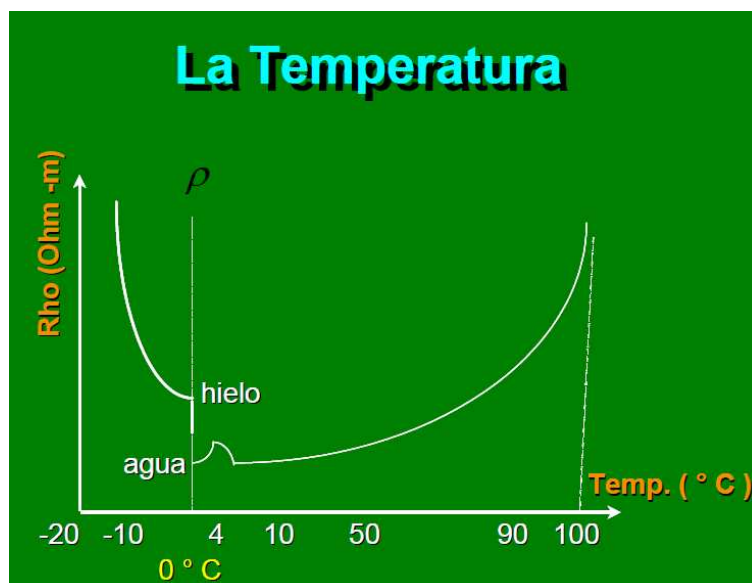
FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.4.3 La temperatura del terreno

La resistividad de los suelos, también depende de la temperatura, esta característica térmica del terreno depende de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad.

La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando el terreno se enfría por debajo de cero grados centígrados el agua que contiene se congela. El hielo es aislante desde el punto de vista eléctrico, lo que implica que la movilidad de los iones del terreno a través del agua se ve detenida al congelarse esta. Una forma de amortiguar este efecto en zonas con clima continental (inviernos fríos y veranos calurosos) deberá introducirse los electrodos a mayor profundidad. En el siguiente gráfico se puede observar como aumenta la resistividad de un terreno en función del descenso de la temperatura.

FIGURA # 37 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.4.4 La concentración de sales disueltas

Al presentarse una mayor concentración de sales disueltas en un terreno, mejora notablemente la conductividad y por lo tanto la resistividad.

El agua hace que las sales penetren hacia la parte profunda del terreno, hacia la capa de depósito, y que un riesgo excesivo o unas lluvias excesivas lavan el terreno y, por lo tanto, arrastran la sal que rodea los electrodos aumentando la resistividad.

Tampoco es aconsejable ubicar el electrodo cercano al cauce del río porque son terrenos muy lavados y por lo tanto más resistivos de lo normal.

El siguiente gráfico muestra la variación de la resistividad de un terreno en función del porcentaje de sal presente:

FIGURA # 38 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DEL % DE SAL



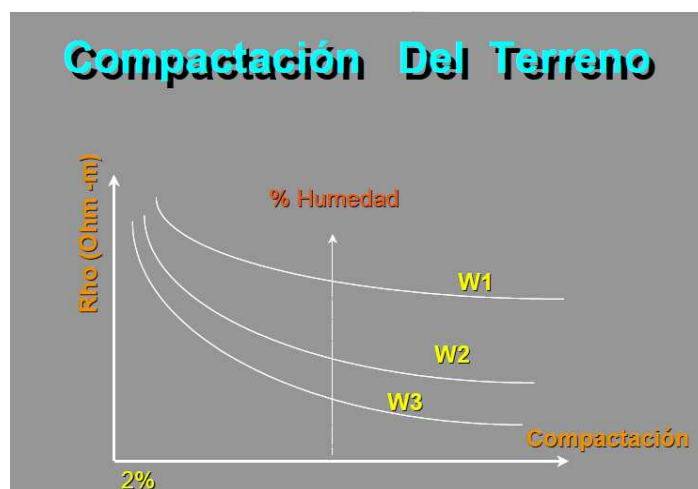
FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.4.5 La compactación del terreno

Cuando la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad, por lo tanto es recomendable que exista un buen contacto entre electrodo y el terreno y por lo tanto es necesaria una compactación.

En el siguiente gráfico se muestra cualitativamente la influencia de la compactación del suelo, en la variación de la resistividad.

FIGURA # 39 VARIACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO EN FUNCIÓN DE LA COMPACTACIÓN DEL TERRENO



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.4.6 La estratificación del terreno

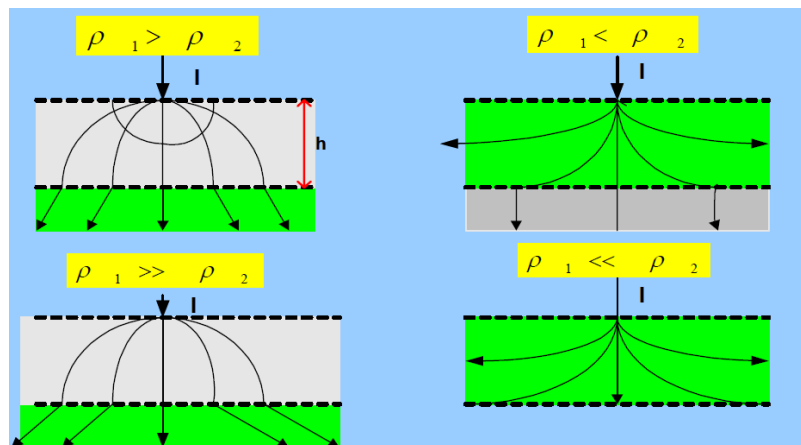
El suelo está formado por capas (estratos) que tienen diferentes resistividades y profundidades debido a la formación geológica que son generalmente horizontales y paralelas a la superficie.

Existen estratos que se presentan en forma inclinada o vertical debido a fallas geológicas pero para los estudios se asumen horizontales. El desconocimiento a priori de la resistividad de las capas inferiores obliga al estudio y medición de las mismas si se requiere conocer el valor de la puesta a tierra a una determinada profundidad.

Se puede afirmar que la resistividad a una profundidad de 5 m puede llegar a ser mayor que solamente a una profundidad de 1,5 m por tratarse de un terreno de una capa arcillosa.

En la siguiente figura se observa que el comportamiento de la resistividad del terreno no es uniforme y depende de la característica de los estratos y en un caso real se puede dar terrenos con diferentes capas con resistividades y espesores diversos que pueden ser mayor a lo requerido, por lo tanto no tendría éxito la puesta a tierra en esta capa.

FIGURA # 40 INFLUENCIA DE LA ESTRATIFICACIÓN DEL TERRENO



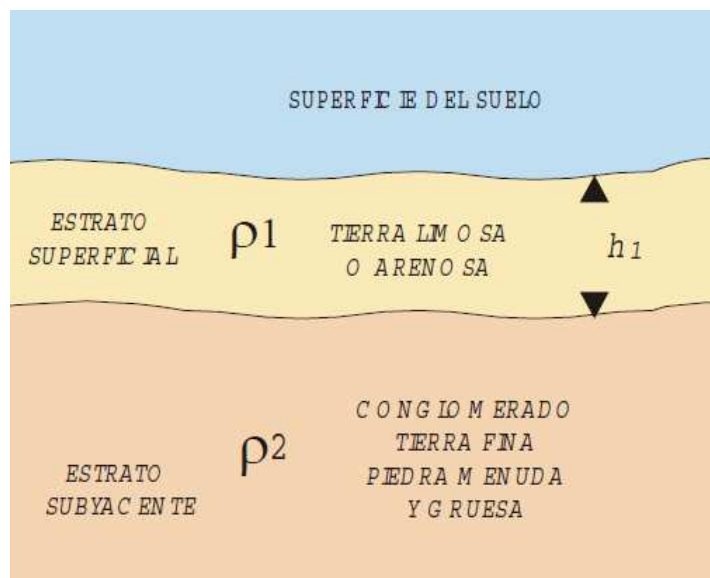
FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.5 GENERALIDADES DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

Para conseguir un valor bajo de resistencia de puesta a tierra es necesario saber la resistividad del terreno y su espesor respectivo, para ello debe evaluarse el comportamiento del suelo como conductor eléctrico a partir de medidas realizadas con un instrumento llamado Telurómetro. En gran parte de las ciudades del país, a la profundidad que se entierran los electrodos de puesta a tierra (máximo 3,5 m) el suelo está compuesto mayormente de dos estratos:

- Un estrato superficial
Generalmente de tierra limosa y/o tierra arenosa, con un espesor variable entre 0,3 y 1,2 m, normalmente seco en la costa y húmedo en la sierra y selva.
- Un estrato subyacente.
Constituido por conglomerados finos y pedregosos en la costa, así como rocosos y pedregosos en la sierra y selva alta.

FIGURA # 41 MODELO DE SUELO DE DOS ESTRATOS (CAPAS)



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.6 FINALIDAD DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD

El objetivo de la medición de la resistividad tiene las siguientes finalidades:

- Obtener la resistividad de cada estrato o capa.
- Encontrar la profundidad de los estratos o capa.
- Ubicación óptima de las instalaciones de puesta a tierra.

2.7 MÉTODOS DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD

Para un Análisis real del terreno es fundamental efectuar la medición de la resistividad del terreno. Los métodos de medición se pueden clasificar en:

- Por el tipo de fuente:
 - Método Volt – amperímetro.
 - Uso de instrumento específico.

- Por el número de electrodos utilizados:
 - Método de tres electrodos.
 - Método de cuatro electrodos.
 - Configuración de Wenner.
 - Configuración de Schulumberger

2.7.1 Método de los tres electrodos

Básicamente consiste en medir la resistencia de puesta a tierra de un electrodo de dimensiones conocidas, enterrado en un terreno cuya resistividad se desea conocer. El cálculo de la resistividad aparente a una profundidad dada, puede ser realizada utilizando cualquiera de las tres ecuaciones a, b, c; aunque se puede recomendar el uso de la ecuación “c” a partir de la cual se obtiene.

$$\rho_a = \frac{2\pi \cdot LR}{\ln \frac{4L}{r} - 1}$$

Ecuaciones:

$$(a) R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{a}$$

$$(b) R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Arc .sen .h} \frac{L}{a}$$

$$(c) R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - I \right)$$

Dónde:

ρ_a : Resistividad aparente para una profundidad L (Ω - m)

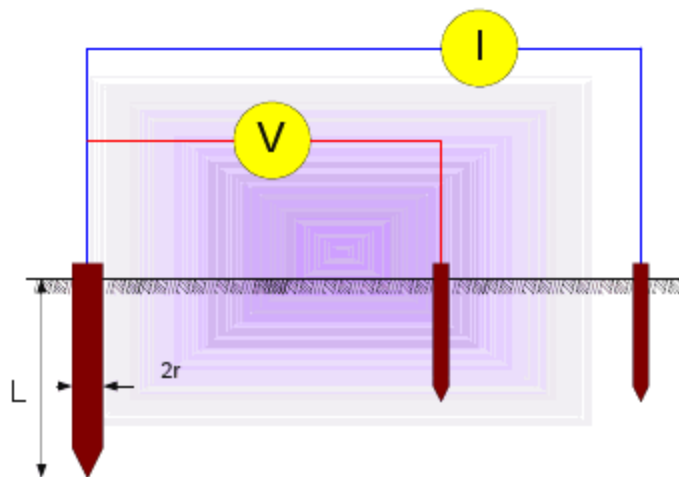
L: Longitud del electrodo enterrado en contacto con el suelo (metros)

2r: Diámetro del Electrodo (metros)

R: Valor medido de la resistencia (ohmios)

Este método tiene muchas limitaciones, no obstante, actualmente es utilizado por algunas compañías.

FIGURA # 42 MÉTODO DE TRES ELECTRODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.7.2 Método de los cuatro electrodos

El principio de este método está basado en la medición de la diferencia de potencial entre dos de los electrodos, luego de haber inyectado al terreno una corriente a través de los otros dos. La corriente inyectada puede ser corriente continua conmutada o corriente alterna de baja frecuencia (menores de 200 Hz) por razones de acoplamiento entre los conductores.

La ecuación fundamental para la medición de resistividad mediante cuatro electrodos es:

$$\rho = \frac{2\pi \cdot V}{I} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)}$$

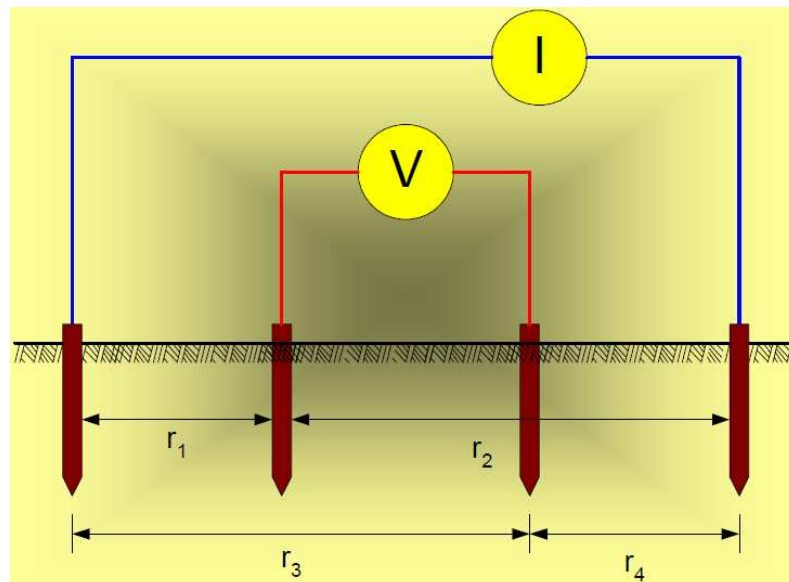
Dónde:

V: Diferencia de potencial entre dos electrodos

I: Corriente inyectada

r1, r2, r3, r4: Distancia entre los electrodos de acuerdo a la figura 43

FIGURA # 43 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD POR EL MÉTODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS



FUENTE: PROCOBRE
RECOPIADO POR: POSTULANTES

Si el terreno considerado es homogéneo, el valor de la resistividad medida por este método corresponderá al valor único de resistividad presente en el terreno; pero sí no es homogéneo, entonces el valor obtenido será ficticio, llamándose resistividad aparente y se designa por ρ_a .

Existen varias configuraciones clásicas de este método, dependiendo de la forma relativa en que se ubiquen los electrodos.

2.7.3 Configuración Wenner

Para esta configuración, los cuatro electrodos se colocan en una línea recta, con igual separación y profundidad de penetración en el terreno (Fig. 45). El método de medición está basado en la ecuación que se muestra desarrollada por el Dr. Frank Wenner, donde los electrodos 1 y 4 (externos) se utilizan para inyectar la corriente y los electrodos 2 y 3 (centrales) sirven para medir la diferencia de potencial que al dividirse por la corriente inyectada da un valor de resistencia R . Luego:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}}$$

Dónde:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{n}$$

ρ : Resistividad del terreno (ohmio – metro)

R : Resistencia medida (ohmios)

a : Distancia entre electrodos (metros)

b : Profundidad de penetración de los electrodos (metros)

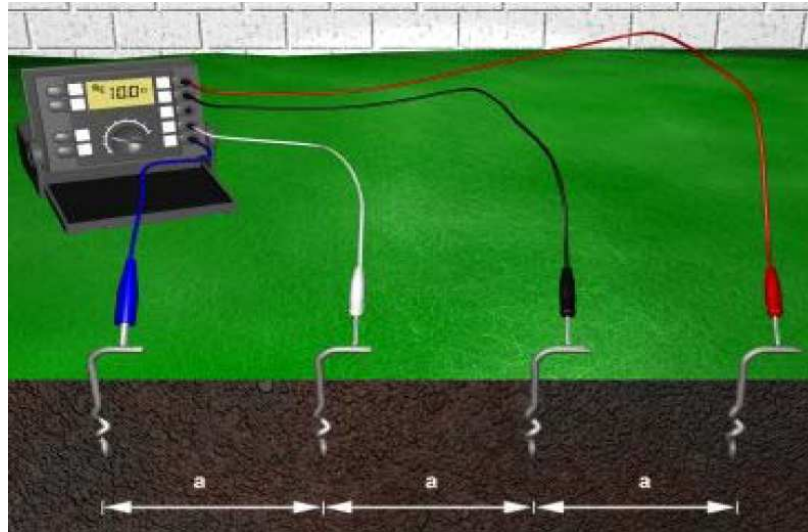
n : Factor aproximado que tiene un valor entre 1 y 2 (depende de la relación b/a)

La segunda ecuación puede aproximarse a:

$$\rho = 4\pi a R \quad \text{Si } b > a$$

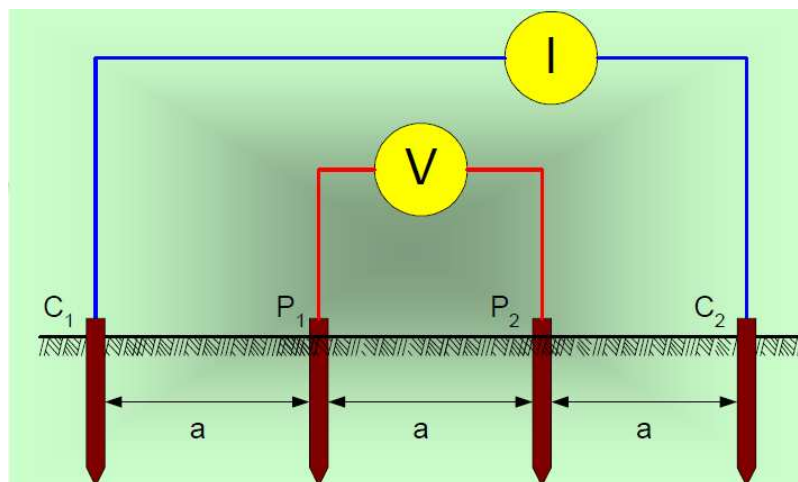
$$\rho = 2\pi a R \quad \text{Si } b < a$$

FIGURA # 44



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

FIGURA # 45 CONFIGURACIÓN DE WENNER



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

La configuración de Wenner permite una visualización más rápida de la curva, ya que la resistividad puede ser obtenida en forma más directa a partir de los valores de resistencia R leídos en el instrumento. Por otro lado, se pueden utilizar instrumentos menos sensitivos que en la configuración Schlumberger, ya que a medida que se alejan los electrodos también lo hacen los de potencial.

2.7.4 Configuración de Schlumberger

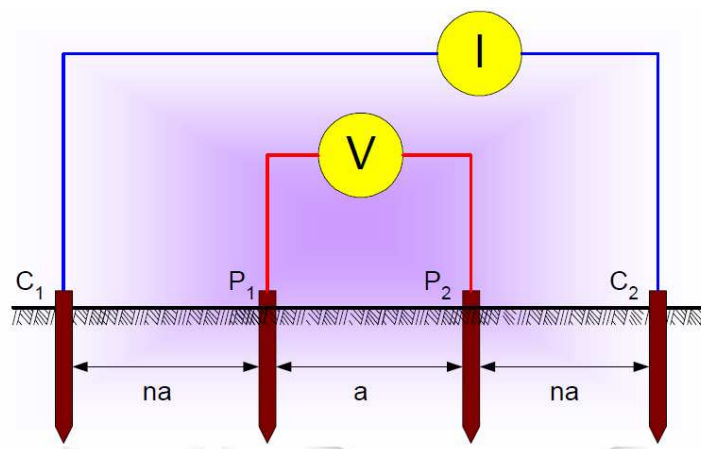
Para esta configuración los cuatro electrodos se colocan también en línea recta, manteniendo la separación entre electrodos centrales o de potencial (a) constante; mientras que los electrodos exteriores varían su separación a partir de los electrodos interiores, a distancias múltiplos (na) de la separación base de los electrodos centrales (a), Fig. 46

La ecuación fundamental para este caso es:

$$\rho_{sch} = \pi R.n(n+1) a$$

Algunas de las ventajas de esta configuración son la rapidez con que se realizan las mediciones y la menor sensibilidad a las variaciones laterales del terreno, debido principalmente a que sólo se desplazan los electrodos de corriente, permaneciendo en su lugar los de potencial.

FIGURA # 46 CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER



FUENTE: PROCOBRE
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.8 EQUIPO TÉCNICO NECESARIO PARA LAS PRUEBAS

El equipo que se analizará a continuación es un equipo totalmente confiable ya que su margen de error es tolerable, es un equipo diseñado y construido de acuerdo a normas internacionales.

2.8.1 Probador de resistencia de tierra

El equipo que se utilizara para la medición del aislamiento es Ground Tester (Modelo 6470-B), este equipo tiene como finalidad efectuar la prueba de corriente constante 250 mA permite pruebas de resistencia de tierra física sin disparar los corta-circuitos en el circuito bajo prueba. Puede seleccionar pruebas momentáneas singulares o pruebas automáticas. Este dispositivo fue diseñado para cumplir con las normas de seguridad de IEC-1010 (EN 61010).

FIGURA # 47 TELURÓMETRO



RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.8.2 Características del equipo Ground Tester (Modelo 6470-B)

El probador de resistencia de tierra Ground Tester (Modelo 6470-B), es un equipo altamente eficiente debido a que el margen de error es mínimo para la prueba de resistencia de tierra.

El diseño de este equipo está destinado para su fácil operación y transporte, así que nos permite estimar la resistencia de tierra de una subestación propuesta o torre de transmisión, calcular el acoplamiento inductivo entre circuitos de comunicación y una torre cercana y levantamientos geológicos.

2.8.3 Especificaciones técnicas del equipo Ground Tester (Modelo 6470-B)

TABLA # 2 ESPECIFICACIONES

Medidas	Resistencia de tierra física (en 3 escalas) y voltaje CA a 200V
Pantalla	LCD 3 -1/2 dígitos (1999 cuentas) con LED indicador de estado de prueba
Retención de datos	Congela la última lectura en la pantalla LCD
Prueba automática	Cronómetro de prueba de 3 minutos con apagado automático
Botón de Medidas	Botón pulsador para lectura singular o seguro para prueba automática de 3 minutos
Longitud de los cables de prueba	Rojo: 15 m (50'), Amarillo: 10 m (33'), Verde: 5 m (16')
Fuente de tensión	Seis baterías 1.5V 'AA' (incluidas)
Indicación de batería baja	LCD muestra icono 'B'
Indicador de sobre-escala	Se muestra el '1' como dígito más significativo
Seguridad	IEC-1010 (EN-61010) categoría III
Peso	800 g. (27.7 oz) con baterías
Dimensiones	163 x 100 x 50 mm (6.42 x 3.94 x 2")
Accesorios incluidos	Cables de prueba (3), varillas auxiliares para tierra (2), seis baterías 'AA', y estuche

RECOPIADO POR: POSTULANTES

TABLA # 3 ESCALA

Medidas	Escala	Resolución	Precisión
Resistencia de tierra física corriente de prueba 2mA (820 Hz)	20, 200, 2000 Ω	0.01 Ω , 0.1 Ω , 1 Ω	$\pm (2\%rdg + 2d)$ or $\pm 0.1\Omega$ whichever is greater
Voltaje de tierra Frecuencia: 40 a 500Hz	0 a 200VAC	0.1V	$\pm (1\%lec + 2d)$

RECOPIADO POR: POSTULANTES

2.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENTREVISTA Y LA ENCUESTA.

Con el propósito de conocer la opinión de los jefes departamentales y estudiantes del octavo nivel de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se aplicó entrevistas y encuestas respectivamente cada una enfocada al grado de conocimiento que los interventores poseen.

2.9.1 Entrevista

La presente entrevista fue realizada a los jefes departamentales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi ELEPCO S.A. los cuales son:

TABLA # 4

JEFES DEPARTAMENTALES		
DEPARTAMENTO	INSTITUCIÓN	RESPONSABLE
Departamento de Ingeniería y Construcción	ELEPCO S.A.	Ing. Moscoso Diego
Director de Planificación	ELEPCO S.A.	Ing. Vásquez Ramiro
Jefe de Subestaciones	ELEPCO S.A.	Ing. Basantes Marco

REALIZADO POR: POSTULANTES

Esta entrevista está dirigida a los jefes departamentales de la Empresa Eléctrica Cotopaxi ELEPCO S.A. con el fin de obtener información de suma importancia para el buen desarrollo de este proyecto.

El objetivo principal de esta entrevista es verificar si es factible realizar el diseño e implementación del sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15 KV.

La presente entrevista a los jefes departamentales se muestra a continuación:

Pregunta N° 1

¿Por qué considera usted necesario la realización de un sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15KV?

Análisis

Ante corrientes de descarga a tierra o fallas a tierra se producen diferencias de potencial en los sistemas y en el equipamiento, tensiones de paso peligrosas para las personas y animales por lo que es necesario un buen sistema de protecciones con sus debidas seguridades.

Interpretación

Interconectar todos los electrodos de tierra del laboratorio obteniéndose así un sistema de puesta a tierra en forma de malla en toda la planta.

Pregunta N° 2

¿Conoce usted de un sistema que limite el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos?

Análisis

Si, Un sistema de puesta a tierra garantiza una conexión de baja resistencia entre los equipos eléctricos y electrónicos con las partes metálicas cercanas, con el fin de minimizar el peligro para el personal en el caso de una falla.

Interpretación

Limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso personas y animales, bajo condiciones normales y anormales del circuito.

Pregunta N° 3

¿Piensa usted que un sistema de tierra está relacionado con la seguridad?

Análisis

Lo primero es establecer conexiones equipotenciales por seguridad. Toda estructura metálica conductiva expuesta que puede ser tocada por una persona, se conecta a través de conductores de conexión eléctrica. La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada.

Interpretación

Todo tipo de estructura metálica deberá estar aterrizado a tierra.

FUENTE: Ing. Moscoso Diego Departamento de Ingeniería y Construcción

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Pregunta N° 1

¿Por qué considera usted necesario la realización de un sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15KV?

Análisis

Al hablar de pruebas de alto voltaje lo primero que se debe considerar es un buen sistema de protecciones para conducir a tierra todas las corrientes anormales que se originan como consecuencia de carcassas de los equipos eléctricos energizados.

Interpretación

El sistema de puesta a tierra debe ser diseñado de acuerdo al área física y capacidades de los equipos electrónicos que van a operar en el laboratorio.

Pregunta N° 2

¿Conoce usted de un sistema que limite el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos?

Análisis

Si, Un sistema aterrizado nos permite el control de las tensiones peligrosas, mientras los relés, fusibles o interruptores despejan la falla; mediante una conexión de baja resistencia con la tierra para crear una trayectoria de retorno efectiva a la corriente de falla.

Interpretación

Proporcionar un camino de impedancia suficientemente baja, vía los conductores de tierra, de regreso a la fuente de energía, de tal modo que ante el evento de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar al dispositivo de protección del circuito.

Pregunta N° 3

¿Piensa usted que un sistema de tierra está relacionado con la seguridad?

Análisis

La conexión eléctrica es para asegurar que, si una falla ocurriese, entonces el potencial sobre todas las estructuras metálicas conductivas expuestas sea

virtualmente el mismo. En otras palabras, la conexión eléctrica iguala el potencial en el interior del local, de modo que las diferencias de potencial resultantes son mínimas. De este modo, se crea una “plataforma” equipotencial segura para la operación.

Interpretación

La mayoría de los equipos eléctricos se aloja en el interior de cubiertas metálicas y si un conductor energizado llega a entrar en contacto con éstas, la cubierta también quedará temporalmente energizada por tanto el diferencial de potencial en las estructuras metálicas deben ser mínimas.

FUENTE: Ing. Vásquez Ramiro, Director de Planificación

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Pregunta N° 1

¿Por qué considera usted necesario la realización de un sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15KV?

Análisis

Debido a la adquisición de equipos costosos y de última tecnología se encuentran expuestos a sobre voltajes transitorios de origen atmosférico y de maniobra, especialmente en muy altos voltajes de transmisión.

Interpretación

Conocer los niveles de tensión soportables por el equipamiento a proteger.

Pregunta N° 2

¿Conoce usted de un sistema que limite el voltaje a tierra sobre materiales conductivos que circundan conductores o equipos eléctricos?

Análisis

Si, de acuerdo a los estudios realizados el sistema de puesta a tierra nos permite limitar el voltaje que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o de contactos indirectos.

Interpretación

Un buen sistema a tierra permitirá disipar rápidamente las elevadas corrientes, evitando sobre tensiones internas y externas.

Pregunta N° 3

¿Piensa usted que un sistema de tierra está relacionado con la seguridad?

Análisis

La función de un sistema de puesta a tierra es garantizar que, en el evento de una falla a tierra, toda corriente de falla que se origine, pueda retornar a la fuente de una forma controlada. Por una forma controlada se entiende que la trayectoria de retorno está predeterminada, de tal modo que no ocurra daño al equipo o lesión a las personas.

Interpretación

La impedancia del sistema de tierra debiera ser lo bastante baja de modo que pueda fluir suficiente corriente de falla a tierra para que operen correctamente los

dispositivos de protección, los cuales a su vez provocarán la operación de interruptores o fusibles para interrumpir el flujo de corriente.

FUENTE: Ing. Basantes Marco, Jefe de Subestaciones

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

2.9.2 Encuesta

Esta técnica permite identificar de manera clara y precisa el problema, por lo que el grupo investigador ha formulado diez preguntas, las cuales están dirigidas a conocer principalmente la opinión de los estudiantes de octavo nivel de la carrera de ingeniería eléctrica.

A continuación se detallan los resultados de las encuestas realizadas a los estudiantes de octavo nivel de la carrera de ingeniería eléctrica:

Pregunta N° 1

¿Conoce usted sobre los sistemas de puesta a tierra?

Los obtenidos son los siguientes:

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

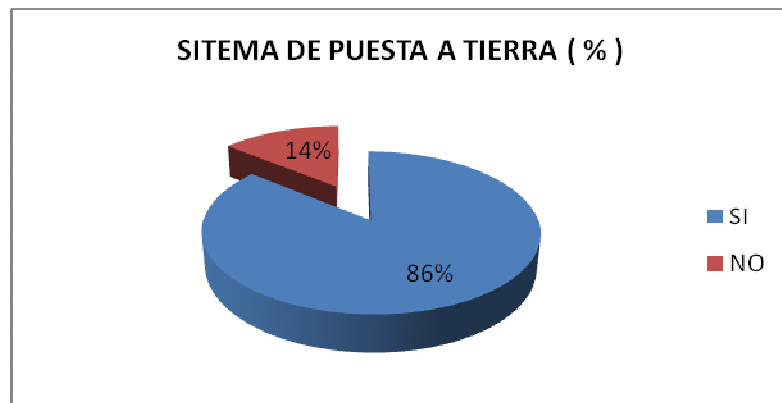
TABLA # 5 TABLA DE DATOS DE LA PRIMERA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	30	86
2	NO	5	14
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 48



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Como se puede observar del 100% de los estudiantes encuestados el 86% mencionan que conocen sobre los sistemas de puesta a tierra, tanto que el 14% no conoce de este tipo de sistema.

Los encuestados dan a conocer que conocen sobre los sistemas de puesta a tierra.

Pregunta N° 2

¿Sabe usted como limitar las tensiones peligrosas a fin de salvaguardar tanto las instalaciones como las personas?

Los obtenidos son los siguientes:

LIMITAR LAS TENSIONES PELIGROSAS

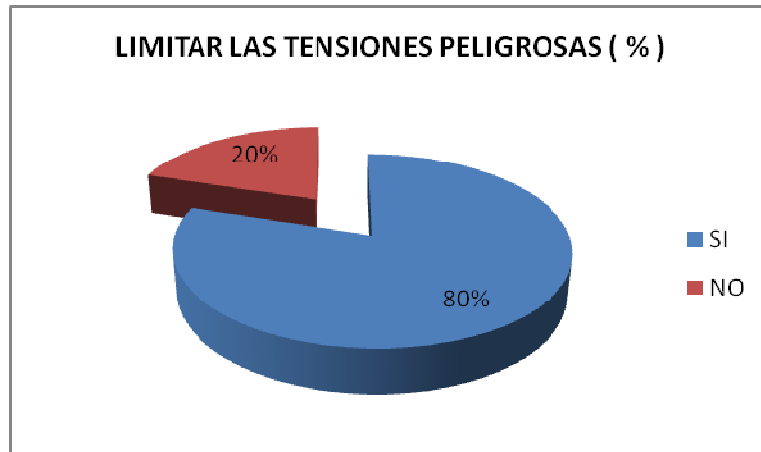
TABLA # 6 TABLA DE DATOS DE LA SEGUNDA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	28	80
2	NO	7	20
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 49



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 80 % aseveran conocer como limitar las tensiones peligrosas, por lo tanto, el 20% de los estudiantes mencionan no conocer de las tensiones peligrosas.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que tienen sobre como limitar las tensiones peligrosas para salvaguardar las instalaciones como las personas.

Pregunta N° 3

¿Considera usted que un sistema aterrizado proporciona una impedancia suficientemente baja para facilitar la operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla?

Los obtenidos son los siguientes:

SISTEMA ATERRIZADO IMPEDANCIA BAJA

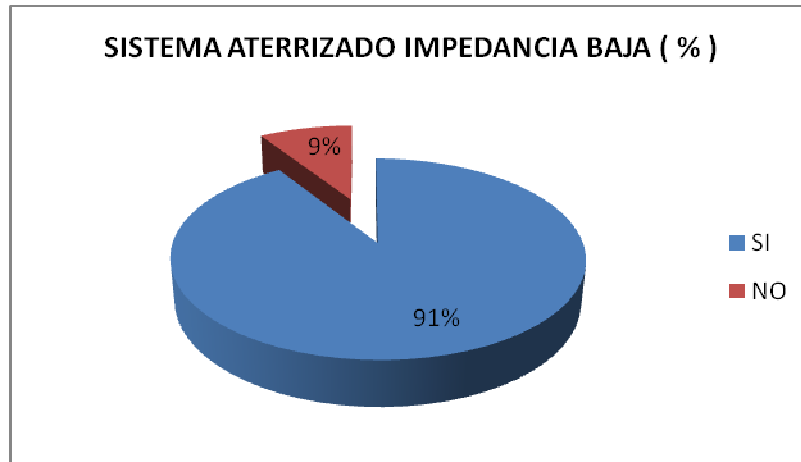
TABLA # 7 TABLA DE DATOS DE LA TERCERA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	32	91
2	NO	3	9
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 50



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Como se puede observar del 100% de los estudiantes encuestados el 91% mencionan que un sistema aterrizado nos baja la impedancia, tanto que el 9% no conoce de este tipo de sistema.

Los encuestados dan a conocer que conocen sobre los sistemas aterrizados que permiten una operación satisfactoria de las protecciones en condiciones de falla.

Pregunta N° 4

¿Conoce usted los procedimientos para el diseño de un sistema de puesta a tierra para un laboratorio de pruebas de equipos a 15KV?

Los obtenidos son los siguientes:

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

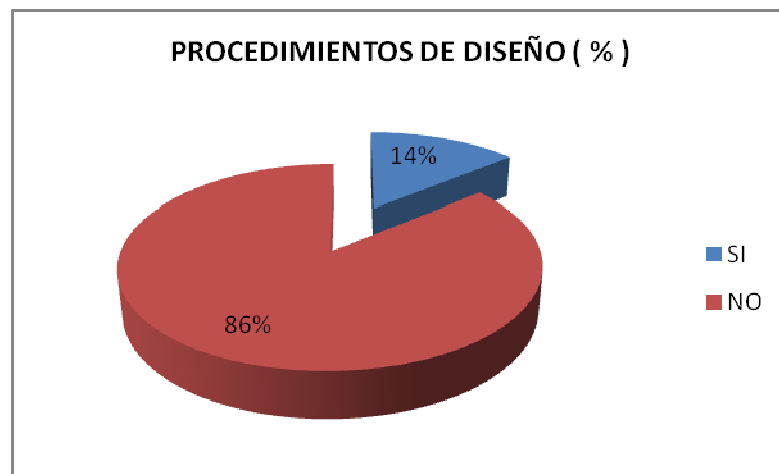
TABLA # 8 TABLA DE DATOS DE LA CUARTA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	5	14
2	NO	30	86
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 51



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 14 % aseveran conocer los procedimientos de diseño de un sistema de puesta a tierra, por lo tanto, el 86% de los estudiantes mencionan no conocer de los procedimientos de diseño de un sistema de puesta a tierra.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el desconocimiento de los procedimientos para el diseño de un sistema de puesta a tierra para un laboratorio de pruebas de equipos a 15KV.

Pregunta N° 5

¿Conoce usted cómo hacer que el equipamiento de protección sea más sensible y permita una rápida derivación de las corrientes defectuosas a tierra?

Los obtenidos son los siguientes:

EQUIPAMIENTO DE PROTECCIÓN SEA MAS SENSIBLE

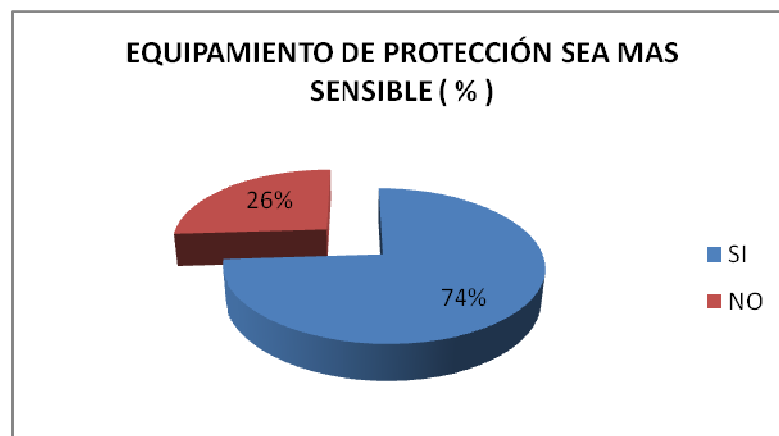
TABLA # 9 TABLA DE DATOS DE LA QUINTA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	26	74
2	NO	9	26
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 52



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 74 % aseveran conocer cómo hacer que el equipamiento de protección sea más sensible, por lo tanto, el 26% de los estudiantes mencionan no conocer cómo hacer que el equipamiento de protección sea más sensible.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que tienen sobre cómo hacer que el equipamiento de protección sea más sensible y permita una rápida derivación de las corrientes defectuosas a tierra.

Pregunta N° 6

¿Sabe usted como proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, transitorios y de sobretensiones internas del sistema?

Los obtenidos son los siguientes:

DERIVACIÓN A TIERRA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

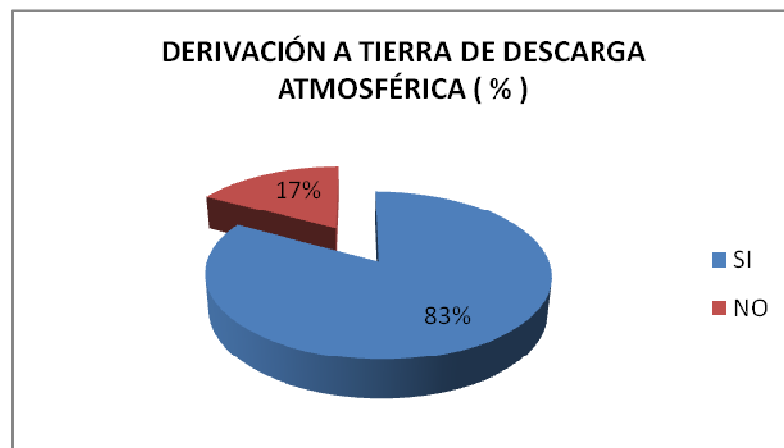
TABLA # 10 TABLA DE DATOS DE LA SEXTA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	29	83
2	NO	6	17
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 53



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 83% aseveran conocer cómo proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, por lo tanto, el 17% de los estudiantes mencionan no conocer cómo proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que tienen sobre como proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, transitorios y de sobretensiones internas del sistema.

Pregunta N° 7

¿Considera usted necesario conocer que tan buen conductor de la electricidad es el suelo y para esto es necesario saber su resistencia eléctrica?

Los obtenidos son los siguientes:

RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL SUELO

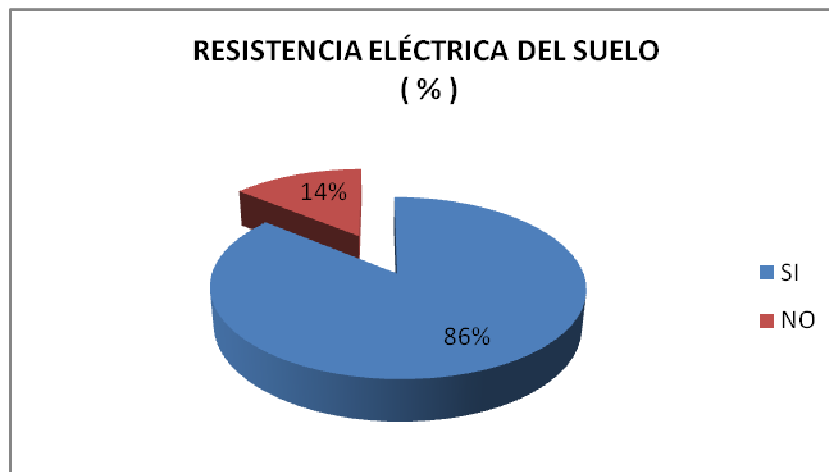
TABLA # 11 TABLA DE DATOS DE LA SÉPTIMA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	31	86
2	NO	4	14
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 54



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 86% aseveran la necesidad de determinar la resistencia del suelo, por lo tanto, el 14% de los estudiantes mencionan no conocer como determinar la resistencia del suelo.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que tan buen conductor de la electricidad es el suelo y para esto es necesario saber su resistencia eléctrica el suelo.

Pregunta N° 8

¿Considera usted que un buen sistema de puesta a tierra comienza con la selección del lugar de emplazamiento procurando localizar el área con la más baja resistencia?

Los obtenidos son los siguientes:

SELECCIÓN DEL LUGAR CON LA MAS BAJA RESISTENCIA

TABLA # 12 TABLA DE DATOS DE LA OCTAVA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	34	97
2	NO	1	3
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 55



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 97% aseveran que la selección del lugar debe ser con la más baja resistencia., por lo tanto, el 3% de los estudiantes mencionan no conocer de la selección del lugar con la más baja resistencia.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que un buen sistema de puesta a tierra comienza con la selección del lugar de emplazamiento con la más baja resistencia.

Pregunta N° 9

¿Considera usted que un buen sistema de puesta a tierra permitirá proteger las máquinas y los aparatos de las sobretensiones?

Los obtenidos son los siguientes:

PROTEGER MÁQUINAS DE SOBRETENSIONES

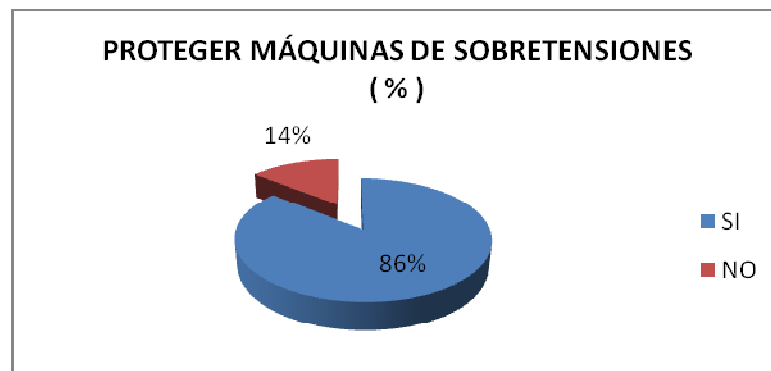
TABLA # 13 TABLA DE DATOS DE LA NOVENA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	30	86
2	NO	5	14
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 56



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 86% aseveran que un buen sistema de tierra protegerá las máquinas, por lo tanto, el 14% de los estudiantes mencionan que un buen sistema de tierra no protegerá las máquinas.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que un buen sistema de puesta a tierra protegerá las máquinas de sobretensiones.

Pregunta N° 10

¿Considera usted que un buen sistema de puesta a tierra proporcione un buen funcionamiento y una vida útil prolongada a los equipos de precisión de alto voltaje?

Los obtenidos son los siguientes:

VIDA ÚTIL PROLONGADA A LOS EQUIPOS

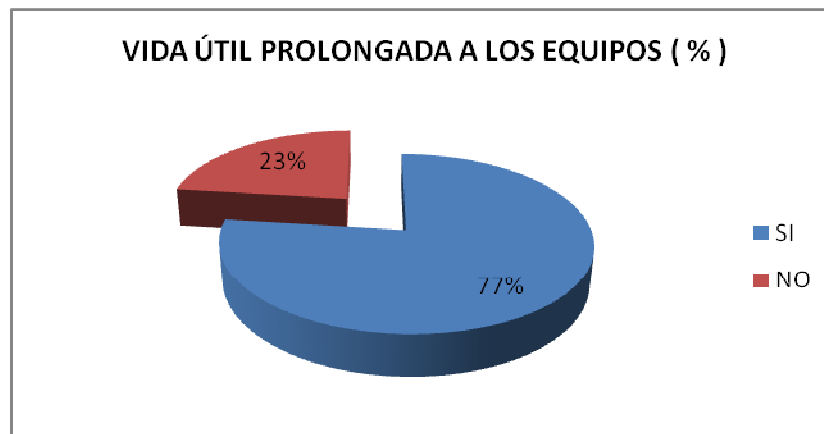
TABLA # 14 TABLA DE DATOS DE LA DECIMA PREGUNTA

ÍTEM	ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	(%)
1	SI	27	77
2	NO	8	23
TOTAL		35	100

FUENTE: 8vo Ing. U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

FIGURA # 57



FUENTE: 8vo Ing. Eléctrica U.T.C.

ELABORADO POR: LOS POSTULANTES

Interpretación

Del 100% de estudiantes encuestados el 77% aseveran que un buen sistema de tierra prolongara su vida útil en los equipos de alto voltaje, por lo tanto, el 23% de los estudiantes mencionan que un buen sistema de tierra no prolongara su vida útil de los equipos de alto voltaje.

Los estudiantes dan a conocer en su gran mayoría el conocimiento que un buen sistema de puesta a tierra prolongara la vida útil de los equipos de alto voltaje.

2.10 ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS

¿El diseño e implementación del sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15 KV, permitirá la elaboración de un sistema de puesta a tierra?

2.11 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para realizar la verificación se procedió a ejecutar encuesta y entrevista a los jefes departamentales y a los estudiantes del octavo nivel de la carrera de ingeniería eléctrica.

Una vez aplicada las técnicas de investigación como la encuesta y la entrevista y analizando detenidamente cada una de ellas se puede determinar qué:

Esta hipótesis es verdadera porque basados en los resultados tomados por las encuestas y entrevistas, se puede determinar que hay una idea clara de cómo proteger a las personas y precautelar la vida útil de los equipos cuando exista una corriente de falla que se origine en la operación del laboratorio de alto voltaje.

Con los datos estadísticos se puede apreciar que los estudiantes no conocen los procedimientos para el diseño de un sistema de puesta a tierra para un laboratorio de pruebas de equipos a 15KV.

Por ende los resultados obtenidos en las encuestas y entrevistas podemos manifestar que “El diseño e implementación del sistema de protecciones eléctricas y de seguridad en el laboratorio de pruebas de equipos a 15 KV es viable ya que nos permitirá la elaboración de un sistema de puesta a tierra”.

CAPITULO III

3.1 PROPUESTA FACTIBLE

De acuerdo a los estudios realizados para generar una protección de las personas y los equipos se ha considerado el estudio preliminar del área del nuevo laboratorio de alto voltaje para lo cual se realizó la medición de la resistividad del suelo utilizando equipos de última tecnología obteniendo como resultado una alta resistividad por lo que es necesario el diseño e implementación de un sistema de puesta a tierra que cumpla con las normas internacionales las que determinan una baja resistividad.

3.2 PRESENTACIÓN

El proyecto de diseño e implementación está dirigido a la correcta aplicación de los conocimientos adquiridos el cual permitirá aplicar soluciones técnicas a los requerimientos presentados en el transcurso de la ejecución.

Este proyecto de tesis tendrá mucha importancia ya que permitirá a los alumnos de la especialidad de ingeniería eléctrica realizar prácticas en el laboratorio y a su vez poder aplicar todos los procedimientos adecuados que se deben utilizar para la prueba de transformadores con elementos reales y conocer su correcto funcionamiento y de esta manera resolver todas las inquietudes y dudas que tenga el estudiante ya que contara con el apoyo del docente que tendrá a su disposición este laboratorio y de esta forma podrá explicar de mejor manera sus conocimientos.

El alumno como principal sujeto de transformación en el proceso docente educativo debe enfrentar un conjunto de problemas para lograr los niveles esperados en su aprendizaje como eslabón esencial de la formación integral a que se aspira en la educación a nivel superior. Cabe destacar que al poner en práctica

los conocimientos adquiridos en el aula permitirán mejorar el aprendizaje en los estudiantes.

El proyecto de tesis principalmente está enfocado hacia la seguridad que deben tener todas las personas que vayan a operar o recibir algún tipo de instrucción. Ya que en el laboratorio se manejara niveles de voltaje bastantes elevados los mismos que podrían causar algún incidente es por esto que el sistema de puesta a tierra es la base fundamental para la protección de todos aquellos que lo manipulen y a su vez la protecciones respectivas que deben tener los equipos, es así que estamos trabajando en la prevención y requerimientos técnicos de los fabricantes de los equipos y siguiendo todas las normas técnicas que exigen los entes reguladores para la implementación de este tipo de laboratorios.

Para evitar y atenuar la peligrosidad de las perturbaciones en la vida útil y funcionamiento de los equipos, se ha previsto la estabilidad, continuidad de funcionamiento y la protección de los mismos con dispositivos que eviten el ingreso de estos transitorios a los sistemas en fracciones de segundo (nano segundos) y sean dispersados por una ruta previamente asignada como es el sistema de puesta a tierra, que es el primer dispositivo protector no solo de equipo sensible, sino también de la vida humana evitando desgracias o pérdidas que lamentar así como también las protecciones en bajo voltaje proporcionando una mayor seguridad

3.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante entender que los sistemas de protecciones y las medidas de seguridad permiten proteger la vida humana y equipos en general, para la cual no se escatima en presupuestos y se busca que cuando los sistemas de protección sean requeridos, protejan adecuadamente, sin lamentar ninguna pérdida humana, pudiendo si, reparar las pérdidas materiales.

Por lo cual es necesario diseñar un sistema de protecciones que establezca los ajustes de protección de alto voltaje, garantizando el nivel de seguridad, selectividad, rapidez y confiabilidad requeridas en el sistema, aplicando los procedimientos de selección de elementos de protección, con el fin de minimizar los daños en los equipos y maximizar la continuidad de servicio ante la ocurrencia de fallas, usando protecciones debidamente dimensionadas y con mayor importancia al tratarse de la implantación de un laboratorio de pruebas, donde la manipulación de equipos va a ser casi en forma permanente por docentes y estudiantes en las diferentes prácticas demostrativas que se ejecutarán.

3.4 MARCO TEÓRICO

Implementar en el laboratorio de equipos a 15 KV las protecciones eléctricas y de seguridad respectivas las cuales permitan la operación y el cuidado de los equipos y de quienes trabajen en mencionado laboratorio, ya que mediante la implementación podremos obtener una mayor vida útil y cumplir con las normas requeridas.

Para la instalación de los equipos que son de alta precisión se requieren de un sistema de puesta a tierra óptimo, es por eso que se realizara un estudio de tipo de suelo y con mencionados resultados se ejecutara el diseño utilizando la teoría de mejor resultado.

Es así que los elementos o componentes que conformarán el sistema de protección contra sobre tensiones indicara sus principios de funcionamiento, su selección y la ubicación estratégica en el circuito eléctrico para la protección de los equipos eléctricos en áreas o secciones específicas del sistema.

Para el diseño del sistema de puesta a tierra, se ha seleccionado las normas, reglamentos que rigen las instalaciones eléctricas por los entes correspondientes en nuestro país y por los requerimientos de los fabricantes de los equipos, de esta manera se a dimensionado en una forma adecuada las protecciones para que cumplan con su objetivo el cual es salvaguardar la vida de los operarios e incrementar la vida útil de los equipos.

Características de funcionamiento

El funcionamiento de un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos tanto eléctricos como electrónicos con la finalidad de evitar accidentes y daños en nuestros equipos en caso de una corriente transitoria.

La función de la Puesta a Tierra consiste en limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan llegar a presentar las masas metálicas; garantizar la actuación efectiva de las protecciones a personas y disminuir o anular el riesgo que supone algún tipo de avería en el material utilizado.

La manera que debe conectarse la puesta a tierra es mediante un cable el cual será conectado a uno o varios electrodos el mismo que estará enterrado a una profundidad determinada en el estudio que se realizara previamente.

Las grandes corrientes a Tierra, provienen de las fallas del aislamiento de los aparatos y circuitos eléctricos; asimismo, de los impactos "directos o indirectos" de las descargas atmosféricas; en todos estos casos hay peligro para las personas.

Todas las conexiones a tierra tanto en la masa y estructuras metálicas, permitirán la seguridad, contando adicionalmente con que los Fusibles o Interruptores, los mismo que actúan para evitar que se quemen las instalaciones eléctricas.

En una puesta a tierra la conexión entre el electrodo desnudo en contacto directo con el suelo, permiten la conducción y dispersión de las corrientes eléctricas, para brindar seguridad eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los aparatos conectados al circuito eléctrico. Se tiene dos finalidades importantes:

- a. Evacuar y dispersar las corrientes eléctricas con mínima resistencia.
- b. Proveer a las masas eléctricas el potencial de referencia cero, debido a que la Tierra se comporta como un conductor infinito de carga, que hace que su potencial eléctrico sea cero ($V = 0$).

3.5 MARCO ADMINISTRATIVO

A continuación se procederá a detallar los gastos inmersos en la implementación del sistema de puesta a tierra, los mismos que han sido financiados totalmente por los tesistas en cuanto al desarrollo tanto de la tesis, el diseño, la construcción y la adquisición de todos los materiales; con lo cual se cumple el objetivo planteado anteriormente.

TABLA # 15 DETALLES DE COSTOS DE LOS MATERIALES ADQUIRIDOS POR LOS TESISTAS

Materiales Eléctricos adquiridos por el grupo investigador			
Cant.	Elemento	Precio Unitario	Sub. Total
12	Varillas cooperweld de alta camada de 250 micras.	18	96
70	Cable desnudo # 2/0 AWG.	12	840
12	Suelda Exotérmica de 90	7.50	90
12	Saco de GEN	42	504
1	Volqueta de Tierra negra	80	80
TOTAL:			1610

Fuente: Mercurio electricidad.

REALIZADO POR: POSTULANTES

TABLA # 16 DETALLES DE COSTOS DE LOS ACCESORIOS ADQUIRIDOS POR LOS TESISISTAS

Gastos de elaboración de la tesis teórica.			
Cant.	Procesos	P. Unitario \$	Sub. Total \$
50	Investigación en internet.	0,6	30
80	Horas de uso de computadoras	0,4	32
900	Impresiones para presentar las tesis.	0,1	90
1400	Copias de Tesis para presentar para las correcciones de la misma	0,02	28
700	Copias de libros de investigación	0,02	14
5	Anillados de las copias de las tesis	1	5
2	Empastados de las tesis.	13	26
200	Copias de las preguntas de las encuestas.	0,02	4
TOTAL:			229

REALIZADO POR: POSTULANTES

TABLA # 17 DETALLES DE COSTO TOTAL DE LA TESIS.

Gastos totales en la implementación de la tesis.		
N.	Descripción.	Sub. Total \$
1	Materiales Eléctricos.	1610
2	Gastos de elaboración de la tesis teórica.	229
TOTAL DE GASTOS:		1839

Fuente: Detalle de costos de las tablas 15, 16.

REALIZADO POR: POSTULANTES

3.6 FACTIBILIDAD

Esta propuesta es factible porque existe amplia información y la experiencia de los docentes ya que muchos de ellos ejercen su profesión en el campo eléctrico y en los sistemas referentes al tema de investigación por tal razón tienen el conocimiento y los equipos necesarios para el diseño del sistema de puesta a tierra. Mientras que el grupo investigador cuenta con las bases académicas necesarias para poder implementar el mismo sin cometer errores de diseño, al momento de la ejecución del proyecto, en cuanto a los recursos económicos es financiado por el grupo investigador para su ejecución; con el firme propósito de que este proyecto sea un aporte beneficioso, para el desarrollo tecnológico de la universidad y poder aportar con profesionales de calidad a la sociedad.

Para la utilización de este laboratorio, cada uno de los equipos cuenta con los sistemas de protecciones adecuados los mismos que cumplen con los parámetros de operación para la puesta en funcionamiento; y de ésta manera el estudiante tendrá la suficiente seguridad para realizar las prácticas.

3.7 IMPACTO

La realización de este proyecto es un aporte importante para los laboratorios de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas en especial para el área de Ingeniería Eléctrica por lo que tiene una gran acogida por parte de los docentes y estudiantes, quienes contarán con equipos de última tecnología para la realización de diferentes pruebas en transformadores en las cuales podrán comprobar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clase. También se considera de gran importancia la implementación de este laboratorio, que permitirá conocer el funcionamiento y operación de los diferentes equipos de prueba a 15KV.

El presente proyecto genera una gran expectativa por parte de las autoridades en la actualización, e implementación de los laboratorios de prácticas que contengan equipos que están utilizando tecnología de punta.

3.8 CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA

Actualmente el laboratorio no cuenta con un sistema de protecciones, motivo por el cual se elaborara una malla de puesta a tierra debido a que se realizara prueba de alto voltaje, razón por la cual la IEEE recomienda la elaboración de una malla para poder tener una baja resistividad a continuación se indica el procedimiento que se siguió para el cálculo las mallas teniendo en cuenta que el valor la resistividad del terreno se midió en estado natural es decir sin un tratamiento para disminuir su resistividad, posteriormente se tratará químicamente el terreno para disminuir la resistividad que será fundamental para determinar la resistencia de puesta a tierra final.

Como metodología de cálculo de la malla para suelos uniformes se utilizará la propuesta por la IEEE Std-80 2000:

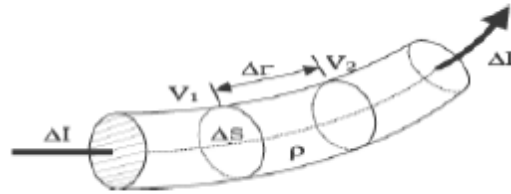
3.8.1 Análisis matemático para la determinación de la resistividad eléctrica

En nuestro estudio para determinar las condiciones eléctricas bajo las cuales ocurre la conducción de corriente en el suelo, se establece un modelo matemático a partir de:

- a) Una porción de suelo de sección (Δs), longitud (Δr) y resistividad (ρ).

- b) Una diferencia de potencial (ΔV) en sus extremos, que hace circular una corriente (ΔI).

FIGURA # 58 MODELO ANALÍTICO DE UN SUELO CONDUCTOR DE RESISTIVIDAD (ρ) HOMOGÉNEA



RECOPIADO POR: POSTULANTES

Los suelos en el laboratorio son muy homogéneos motivo por el cual la aplicabilidad de este análisis es correcto. Entonces la resistencia (R) de un segmento de suelo (Δr) que se toma como conductor, al ser recorrido por una corriente (ΔI) está dada por la resistividad (ρ) del material que lo constituye y la geometría del conductor en la siguiente relación

$$R = \rho \times \frac{\Delta r}{\Delta s}$$

Por otro lado, según la Ley de Ohm la resistencia (R) para el mismo segmento, también estará dada por:

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Igualando ambas expresiones de (R) e intercambiando términos se tiene:

$$\frac{\Delta V}{\Delta r} = \rho \frac{\Delta I}{\Delta s}$$

De esto, se obtiene que la intensidad del campo eléctrico (E) en la dirección (r) del suelo se comporta de la misma forma que en el aire o en el vacío; es decir, es conservativo y por lo tanto inversamente proporcional a la superficie de dispersión (ds) de la corriente (dI).

$$-E = \rho J = \frac{\rho I}{2\pi r^2}$$

A partir de este análisis se concluye que las siguientes ecuaciones son válidas para su aplicación en cualquier material puesto que existe un campo conservativo.

La resistividad eléctrica ρ de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad σ como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material.

A partir de esta ecuación podemos despejar la resistividad:

$$\rho = \frac{R * s}{l}$$

Donde $l = \Delta r$ es la longitud del segmento de suelo que se está analizando. La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro ($\Omega \cdot m$). La conductividad se define como el inverso de la resistividad.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

La unidad de conductividad en el Sistema Internacional es el siemens (S).

La resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad, salinidad y presión.

De acuerdo a la norma IEEE Std 80_2000 considera diferentes elementos para un sistema de conexión a tierra como son: resistividad del terreno, cálculo de la resistencia de la tierra, cálculo de la corriente de corto circuito, dimensionamiento del conductor, voltaje de paso y de contacto.

El laboratorio no cuenta con un sistema de protecciones, motivo por el cual se elaborara una malla de puesta a tierra debido a que se realizara prueba de alto voltaje, razón por la cual la norma IEEE Std 80_2000 recomienda la elaboración de una malla para poder tener una baja resistividad a continuación se indica el procedimiento que se siguió para el cálculo teniendo en cuenta que el valor de la resistividad del terreno se midió en estado natural, es decir sin un tratamiento para disminuir su resistividad, posteriormente se tratará químicamente el terreno para disminuir la resistividad que será fundamental para determinar la resistencia de puesta a tierra final.

3.8.2 Procedimientos de cálculo

Toma de Muestras en Campo

Para el cálculo de la resistividad del suelo se ocupó el método de Wenner. (Método de cuatro electrodos). El equipo utilizado es un telurómetro, marca AEMC, modelo 6470-B, como se muestra en la siguiente fotografía.



Telurómetro

Para la medición de la resistividad del suelo es necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno.

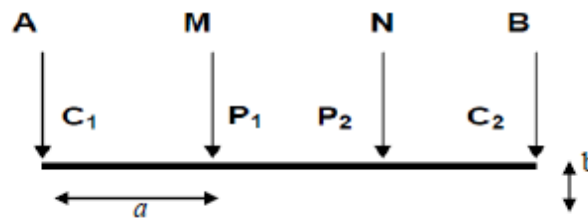
3.8.3 Investigación de las características del terreno

Se relacionan principalmente con el comportamiento que tiene el terreno desde el punto de vista eléctrico, es decir la capacidad de disipar las corrientes de defecto que llegan a través de los electrodos, esta característica se especifica con la obtención de la resistividad del suelo la cual depende de la naturaleza del terreno: contenido de humedad, salinidad, temperatura, variaciones estacionales, entre otros. A continuación se presentan las características del terreno del área del laboratorio.

Descripción General del Suelo: Presenta una capa de poca profundidad de material relleno a la cual le sigue un limo arenoso de color café oscuro que va de medianamente denso a denso conforme aumenta la humedad. En definitiva se trata de un suelo tipo canchagua.

Para medir la resistividad se aplicó el método de Wenner mediante el siguiente procedimiento:

FIGURA # 59 DISPOSICIÓN DE LOS ELECTRODOS PARA EL MÉTODO DE WENNER



RECOPIADO POR: POSTULANTES

Se clavaron cuatro electrodos, separados por una distancia “a” (15 m) y a una profundidad $b = 15$ cm.

- Por medio de los electrodos extremos se inyectó corriente, mientras que en los electrodos intermedios se midió potencial (en función de la resistencia), utilizando el equipo Ground Tester modelo 6470-B
- El terreno se dividió mediante dos líneas ortogonales sobre las cuales se hizo pasar el arreglo de electrodos.
- Para asegurar la medición de resistividad del terreno se hizo pasar dos líneas a 45° de las primeras sobre las cuales también se hizo pasar el arreglo de electrodos.

Nuestra medición de resistividad, siguiendo los pasos anteriores, en los puntos designados para los diferentes SPT, se realizará de manera superficial.

TABLA # 18 DESCRIPCIÓN DE SUELO

Profundidad [m]	Tipo de Terreno
0 a 0,15	Relleno
0,15 a 2	Limo arenoso color café claro de baja humedad natural y medianamente denso.
2 a 4,45	Limo arenoso color café claro de ligera humedad natural y muy denso.

RECOPIADO POR: POSTULANTES

La medida de la resistividad deberá realizarse en varios puntos, tales que cubran razonablemente toda la extensión de la malla, con el objeto de verificar la homogeneidad del suelo, de manera muy general cuando la coincidencia de las medidas es razonable, se puede tomar como dato de diseño la mayor de ellas, por lo cual se sabe de lo anterior que al tratarse de un suelo arena arcilloso se tiene buenas resistividades y como se ve en la tabla está en el orden de 50 a 500 ohm m, por lo cual se especifica la resistividad obtenida es de:

$$\rho = 168 \Omega \cdot m.$$

TABLA # 19 CARACTERÍSTICAS DE SUELO

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD ohm m
Terrenos Pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humos	10 a 150
Turba Húmeda	5 a 100
Arcilla Plástica	50
Margas y Arcillas Compactas	100 a 200
Arena Arcillosa	50 a 500
Arena Silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Calizas blandas	100 a 300
Granitos	100 a 600

FUENTE: BIBLIOTECA DEL EX INECEL
 RECOPIADO POR: POSTULANTES

3.8.4 Determinación de la corriente de corto circuito de falla a tierra

$$I_{cc} = \frac{0.8 * U}{R}$$

Como se desea calcular la intensidad de corto circuito en el cuadro general de una área con grado de electrificación básico. Mencionado laboratorio estará alimentada por la línea general de alimentación que tiene una sección de 33.54 mm^2 y una longitud de 82 metros correspondiente al cable # 2 AWG.

Se comienza por el cálculo de la resistencia de fase de la línea general de alimentación

$$R(LGA) = \rho \frac{L(LGA)}{S(LGA)}$$

$$R(LGA) = \frac{0.018 \Omega \frac{mm^2}{m} (82 * 2 m)}{33.54 mm^2}$$

$$R(LGA) = 0.088 \Omega$$

$$R = R(LGA)$$

$$R = 0.088 \Omega$$

$$I_{cc} = \frac{0.8 * U}{R}$$

$$I_{cc} = \frac{0.8 * 220 V}{0.088}$$

$$I_{cc} = 2000 A$$

3.8.5 Determinación de la corriente máxima de la falla a tierra

$$I = D_C \times I''$$

El factor de decremento depende del tiempo de duración de la descarga a tierra la cual para este diseño se ha especificado que es de 30 ciclos por lo que $t = 0.5$ seg, y con este valor se procede al uso de una tabla para determinar D_c .

TABLA # 20 FACTOR DE DECREMENTO

Tiempo de Descarga (t) [s]	Dc
0.08	1.65
0.10	1.25
0.25	1.10
\approx 0.50	1.00

REALIZADO POR: POSTULANTES

Como vemos el valor de 0.5 seg. no se encuentra por lo cual se procedió a la interpolación de los datos y se halló un valor de $D_c = 1.02618$ Se considera una corriente de falla de $I_{cc} = 2$ KA, además como es más económico diseñar y construir la malla de puesta a tierra para la capacidad futura posible se debe considerar un factor de ampliación esperada adecuado que lo asumiremos de 1.1. Con lo cual:

$$I = 1.02618 \times I_{cc} \times 1.1$$

$$I = 1.02618 \times 2 \times 1.1$$

$$I = 2.25 \text{ [kA]}$$

3.9 DISEÑO PRELIMINAR DE LA MALLA

Se debe comenzar entendiendo que para el prediseño se considera un cable continuo que debe rodear totalmente a la rejilla para abarcar la mayor área posible, los cables en el interior de la rejilla deberán colocarse paralelamente a una distancia conveniente y lo más constante posible, además el diseño preliminar debe ajustarse de tal modo que la longitud total de los conductores enterrados, incluyendo las varillas sea mayor o igual a la dada por la ecuación.

Parámetros de cálculo

Para definir la malla de puesta a tierra para el laboratorio de pruebas de equipos a 15 KV se consideran los siguientes parámetros de cálculo:

Dimensión del patio: 8.4 * 13.80 m²

Corriente máxima de falla: 2 KA

Resistividad del suelo: 168 Ω-m

Resistividad de la superficie: 3000 Ω-m

Tiempo máximo de falla: 0.5 seg

Ta = 40°C

Tm = 250 °C (uniones pernadas)

Cálculo de la longitud

$$L = n \cdot A + m \cdot B$$

Dónde:

A: Longitud de la malla (m)

B: ancho de la malla (m)

L: Longitud total del conductor (m)

n: Número de conductores en paralelo de longitud A

m: Número de conductores en paralelo de longitud B

$$L = 4 \cdot 13.8 + 3 \cdot 8$$

$$L = 74 \text{ m}$$

Por otro lado generalmente se coloca en la superficie ripio para lograr una mayor resistividad del suelo a nivel de los pies y con ello las personas tengan un mejor nivel de seguridad este efecto actúa en la longitud de cable enterrado con los factores ρ_s que es la resistividad del suelo a nivel de los pies cuyo valor se halla entre 2000 y 10000 ohm m. y se ha escogido el menor valor $\rho_s = 3000 \text{ ohm} \cdot \text{m}$, debido efectos de degradación y el valor de C_s se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C_s := 1 - a \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2 \cdot h_s + a} \right)$$

$$C_s = 1 - 0.106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{168}{3000}}{2 \cdot 0.15 + 0.106} \right) = 0.945$$

Donde, $a = 0.106 \text{ m}$ y h_s es el valor del tamaño de la capa de ripio que se encuentra entre 15 a 20 cm, y para este diseño se ha escogido un valor de $h_s = 15 \text{ cm}$.

De esta manera se ha encontrado un valor de $C_s = 0.945$

Cálculo diámetro del conductor

$$Ac = 1000 * \left(\frac{33 * t}{\log_{10} \frac{250 - 30}{234 + 30} + 1} \right)$$

$$Ac = 1000 * \left(\frac{33 * 0.5}{\log_{10} \frac{250 - 30}{234 + 30} + 1} \right)$$

$$Ac = 8171.65 \text{ CM}$$

$$1 \text{ cm} = 5 * 0.0001 \text{ mm}^2, 8171.65 \text{ CM} = 4.085 \text{ mm}^2$$

$$d = \frac{\sqrt{4 * Ac_{mm}}}{\pi}$$

$$d = \frac{\sqrt{4 * 4.085}}{\pi}$$

$$d = 2.28 \text{ mm}$$

El diámetro del conductor es = 2.28 mm.

Aproximando el calibre mínimo permitido por la norma se elige el conductor AWG 2/0 que tiene un diámetro igual a 10.52 mm.

Cálculo de Km, Ki

La malla se la coloca a una profundidad de 50 cm y la separación de conductores es de 3 m c/u.

n = 4 (número de conductores puestos en paralelo en la rejilla)

D = 3 m (separación de los conductores de la malla)

$h = 0.5$ m (profundidad a la que está enterrada la malla)

$K_{ii} = 1$ (puesto que se colocaran varillas en el perímetro)

$K_h = 1.5$

$d = 0.016$ m (diámetro de los conductores que forman la malla)

$$K_m := \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi \cdot (2 \cdot n - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\left[\frac{\ln 3^2}{16 * 0.5 * 0.016} + \frac{((3 + 2 * 0.5))^2}{8 * 3 * 0.016} - \frac{0.5}{4 * 0.016} \right] + \frac{1}{1.5} * \ln \left[\frac{8}{\pi * (2 * 4 - 1)} \right] \right]$$

$K_m = 0.632$

$$K_i = 0.656 + 0.172 * n$$

$$K_i = 0.656 + 0.172 * 4$$

$K_i = 2$

Cálculo de K_s

$$K_s = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{0.5}{2} + \frac{1}{3 + 0.5} + \frac{1(1 - 0.5^2)}{3} \right]$$

$K_s = 0.25$

Cálculo del potencial de paso

$$V_P = \frac{k_s \times k_i \times \rho \times I_{CC}}{L_T}$$

$$V_P = \frac{0.25 \times 2 \times 168 \times 2000}{74}$$

$$V_P = 2270.27V$$

Cálculo del potencial de contacto o de malla

$$V_C = \frac{k_m \times k_i \times \rho \times I_{CC}}{L_T}$$

$$V_C = \frac{0.632 \times 2 \times 168 \times 2000}{74}$$

$$V_C = 5739.24V$$

Cálculo de Área

El área total de la malla es:

$$A = (13.80 \times 8.92) = 110.4 \text{ m}^2$$

Se tiene que se distribuirán 12 varillas en el perímetro de la malla.

Las varillas son de cobre de 2.4 m, con lo que serán necesaria una longitud de conductor igual a:

$$L_v = 28.8 \text{ m (longitud de las varillas)}$$

Por lo que la longitud total para nuestro diseño es:

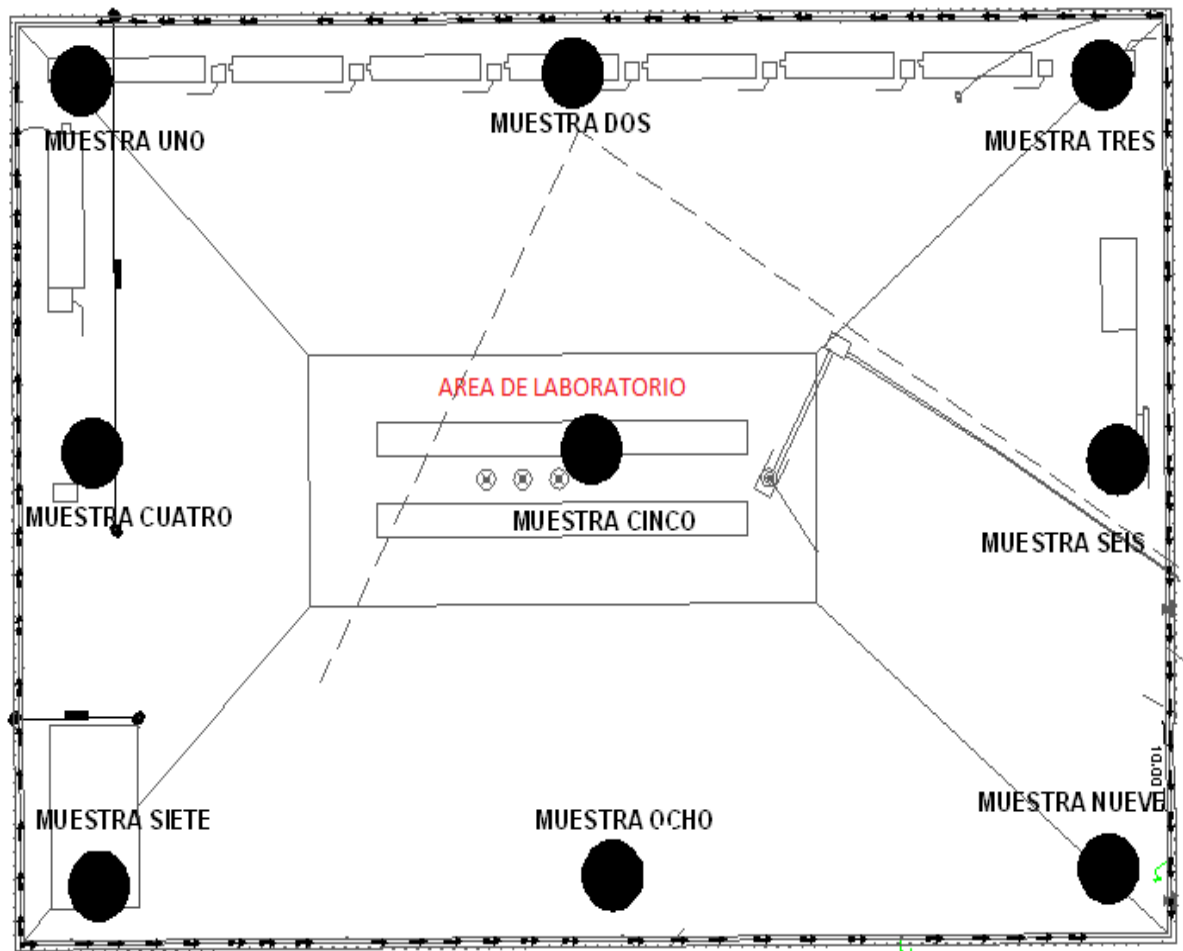
$$L' = 79 + 28.8 = 107.8 \text{ m}$$

$$L'' = 107.8 \text{ m (longitud del conductor más las varillas)}$$

3.9.1 Cálculo de la resistencia a tierra de la malla diseñada

Una vez que la malla se encuentra diseñada, la primera verificación debe consistir en que el valor de resistencia que esta genere sea adecuado, es decir que cumpla con el valor establecido por norma IEEE 142_1991 la cual establece que para subestaciones de plantas industriales, edificios y grandes instalaciones comerciales, el valor debe estar entre 1 y 5 ohm.

A continuación se muestra los datos obtenidos en el campo con muestras en nueve puntos a 1, 2, 3,4 y 5 metros de distancia.





Toma de distancias

Distancia a 1 Metro	
Muestra	Resistencia del Telurómetro Ω -m
1	158
2	160
3	148
4	165
5	157
6	130
7	169
8	161
9	120

TABLA # 21 DISTANCIA DE UN METRO ENTRE ELECTRODOS

Distancia a 2 Metro	
Muestra	Resistencia del Telurómetro Ω -m
1	170
2	156
3	138
4	185
5	160
6	140
7	170
8	145
9	176

TABLA # 22 DISTANCIA DE DOS METROS ENTRE ELECTRODOS

Distancia a 3 Metros	
Muestra	Resistencia del Telurómetro Ω -m
1	150
2	170
3	160
4	173
5	160
6	150
7	170
8	158
9	194

TABLA # 23 DISTANCIA DE TRES METROS ENTRE ELECTRODOS

Distancia a 4 Metros	
Muestra	Resistencia del Telurómetro Ω -m
1	180
2	175
3	168
4	170
5	160
6	160
7	150
8	160
9	162

TABLA # 24 DISTANCIA DE CUATRO METROS ENTRE ELECTRODOS

Distancia a 5 Metros	
Muestra	Resistencia del Telurómetro Ω-m
1	180
2	198
3	190
4	195
5	185
6	190
7	185
8	197
9	190

TABLA # 25 DISTANCIA DE CINCO METROS ENTRE ELECTRODOS

Una vez ingresados los datos obtenidos del telurómetro, y analizados se obtuvieron los siguientes resultados:

Distancia horizontal entre electrodos	Resistividad promedio
1 m	158
2 m	162
3 m	165
4 m	165
5 m	190
Promedio:	168 Ω-m

TABLA # 26 RESISTIVIDAD PROMEDIO

El promedio obtenido de la medición de las muestras en el Telurómetro para nuestro proyecto es de 168 Ω-m para lo cual el valor de la resistencia de la malla se puede aproximar mediante la siguiente ecuación:

$$R := \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$R = 168 * \left[\frac{1}{74} + \frac{1}{\sqrt{20 * 110.4}} * \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 * \sqrt{\frac{20}{110.4}}} \right) \right]$$

$$R = 8.33 \Omega$$

Comprobación de aspectos de seguridad

Cuando nos referimos de seguridad, todo el sistema de malla tiene que cumplir con estos requerimientos, con el fin de garantizar una confiabilidad del sistema y una seguridad del personal de trabajo.

Se determina así al más alto valor de potencial cuando existe una falla:

$$U = ((Km * Ki * \rho * I)) / ((L + 1.15 * L')$$

$$U = ((0.632 * 2 * 168 * 2250)) / ((74 + 1.15 * 107.8)$$

$$U = 2611.59V$$

El voltaje máximo que puede recibir una persona (aproximada de 50 Kg) es:

$$E_o = \frac{(116 + 0.174 * C_s * p_s)}{\sqrt{t}}$$

$$E_o = \frac{(116 + 0.174 * 0.945 * 3000)}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_o = 861.66V \text{ para un tiempo de descarga de 0.5 seg.}$$

Entonces se tiene que:

$$E_o > U$$

El potencial de toque es **menor** que U (potencial de cc), por lo que el diseño no cumple con la seguridad del personal.

También se debe controlar el potencial de paso (cuando una persona camina por el laboratorio).

El potencial de paso de una malla es:

$$U_s = \frac{(K_s * K_i * \rho * I)}{L}$$

$$U_s = \frac{(0.25 * 2 * 168 * 2250)}{74}$$

$$U_s = 2554V$$

El voltaje máximo que puede recibir una persona (aproximada de 50 Kg) es:

$$E_s = \frac{(116 + 0.174 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t}}$$

$$E_s = \frac{(116 + 0.174 * 0.945 * 3000)}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_s = 2970.55V$$

Es = 2970.55 V para un tiempo de descarga de 0.5 seg.

Entonces se tiene que:

$$E_s > U_s$$

El potencial de paso es mucho mayor que Us (potencial de cc), por lo que el diseño cumple con la seguridad del personal.

3.9.2 Tratamiento químico del suelo mediante la adición de Gel

En virtud que la resistencia obtenida supera las normas establecidas en este proyecto el cual es $R \leq 5 \Omega$ se ha considerado la utilización de químicos los mismos que ayudaran a la reducción notable de la resistividad del suelo.

El tratamiento químico del suelo surge como un medio para mejorar y disminuir la resistencia eléctrica del sistema de puesta a tierra sin necesidad de utilizar gran cantidad de electrodos.

FIGURA # 60 GEL (GEN ÉRICO) UTILIZADO PARA ELABORAR LOS SPT



REALIZADO POR: POSTULANTES

El gel utilizado para la construcción de los diferentes sistemas de puesta a tierra en el laboratorio, cumple los siguientes factores:

- Alto % de reducción inicial
- Facilidad de aplicación

- Tiempo de vida útil (del tratamiento y de los elementos del SPT)
- Facilidad en su reactivación
- Estabilidad (mantener la misma resistencia durante varios años)

El gel aplicado al terreno, en el desarrollo de este proyecto posee las siguientes características:

- Higroscopicidad - Alta capacidad de Gelificación
- No es corrosivo - Alta conductividad eléctrica
- Químicamente estable en el suelo
- No es tóxico - Inofensivo para la naturaleza

El tratamiento consiste en incorporar al pozo los electrolitos que aglutinados bajo la forma de un Gel mejoran la conductividad de la tierra y retiene la humedad en el pozo por un periodo prolongado de manera que se garantiza una efectiva reducción de la resistencia eléctrica y una estabilidad que no se vea afectada por las variaciones del clima. La cantidad de dosis por metro cúbico de tierra del SPT, varía de 1 a 3*, y está en función a la resistividad natural del terreno. En la tabla se presentan algunos valores de dosificación en función de la resistividad del terreno.

TABLA # 27 DOSIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA RESISTIVIDAD

Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Dosificación
de 50 a 200	1 dosis x m ³
de 200 a 400	2 dosis x m ³
de 400 a mas	3 dosis x m ³

REALIZADO POR: POSTULANTES

En la siguiente tabla se indica los resultados obtenidos luego de haber aplicado el gel los mismos que fueron obtenidos con la aplicación de una sola dosis

TABLA # 28 RESULTADO DE APLICACIÓN

Distancia horizontal entre electrodos	Resistividad promedio Ω -m	Resistividad promedio Ω -m (GEL)
1 m	158	28
2 m	162	29
3 m	165	31
4 m	165	32
5 m	190	30
Promedio:	168	30

REALIZADO POR: POSTULANTES

Como se puede apreciar los resultados obtenidos luego de la aplicación del tratamiento químico del suelo mediante la adición de Gel se obtiene una reducción considerable de 30 Ω -m promedio.

Para lo cual se realiza la aplicación de fórmulas para el nuevo valor de resistencia y verificar si cumple con los requerimientos de seguridad de $E_o > U$ y $E_s > U_s$

Parámetros de cálculo

Dimensión del patio: 8.4 * 13.80 m²

Corriente máxima de falla: 2 KA

Resistividad del suelo: 30 Ω -m

Resistividad de la superficie: 3000 Ω -m

Tiempo máximo de falla: 0.5 seg.

Ta = 40°C

Tm = 250 °C (uniones pernadas)

$$R := \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$R = 50 * \left[\frac{1}{74} + \frac{1}{\sqrt{20 * 110.4}} * \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 * \sqrt{\frac{20}{110.4}}} \right) \right]$$

$$R = 1.6 \Omega$$

El potencial de toque de una malla es:

$$U = ((K_m * K_i * \rho * I)) / ((L + 1.15 * L')$$

L = longitud del conductor

L' = longitud con las varillas

$$U = ((0.632 * 2 * 50 * 2250)) / ((74 + 1.15 * 107.8)$$

$$U = 739.77V$$

El voltaje máximo que puede recibir una persona (aproximada de 50 Kg) es:

$$E_o = \frac{(116 + 0.174 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t}}$$

$$E_o = \frac{(116 + 0.174 * 0.945 * 3000)}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_o = 861.66V \text{ para un tiempo de descarga de 0.5 seg.}$$

Entonces se tiene que:

$$E_o > U$$

El potencial de toque es **mayor** que U (potencial de cc), por lo que el diseño cumple con la seguridad del personal.

También se debe controlar el potencial de paso (cuando una persona camina por el laboratorio).

El potencial de paso de una malla es:

$$U_s = \frac{(K_s * K_i * \rho * I)}{L}$$

$$U_s = \frac{(0.25 * 2 * 50 * 2250)}{74}$$

$$U_s = 712V$$

El voltaje máximo que puede recibir una persona (aproximada de 50 Kg) es:

$$E_s = \frac{(116 + 0.174 * C_s * \rho_s)}{\sqrt{t}}$$

$$E_s = \frac{(116 + 0.174 * 0.945 * 3000)}{\sqrt{0.5}}$$

$$E_s = 2970.55V$$

Es = 2970.55V para un tiempo de descarga de 0.5 seg.

Entonces se tiene que:

$$E_s > U_s$$

El potencial de paso es mucho mayor que Us (potencial de cc), por lo que el diseño cumple con la seguridad del personal.

TABLA # 29 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resistencia de la malla	Potencial de toque	Potencial de cc	Observaciones
Resistencia 8.33 Ω	$E_o = 861.66 \text{ V}$	$U = 2611.59 \text{ V}$	$E_o < U$ por lo que el diseño no cumple con la seguridad de las personas
Resistencia (utilizado GEL) 1.6 Ω	$E_o = 861.66 \text{ V}$	$U = 739,77 \text{ V}$	$E_o > U$ por lo que el diseño si cumple con la seguridad de las personas

Resistencia de la malla	Potencial de paso	Potencial de cc	Observaciones
Resistencia 8.33 Ω	$E_s = 2970.55 \text{ V}$	$U_s = 2554 \text{ V}$	$E_s > U_s$ por lo que el diseño si cumple con la seguridad de las personas
Resistencia (utilizado GEL) 1.6 Ω	$E_s = 2970.55 \text{ V}$	$U_s = 712 \text{ V}$	$E_s > U_s$ por lo que el diseño si cumple con la seguridad de las personas

REALIZADO POR: POSTULANTES

3.9.3 Construcción del sistema de puesta a tierra

En los respectivos planos Anexo # 1 se presentan la ubicación del laboratorio el mismo que comprende la protección del auto transformador de 15 KVA que servirá para realizar la diferentes pruebas razón por la cual la resistencia requerida para este tipo de laboratorios es $R \leq 5 \Omega$. La resistividad del suelo fue el punto de partida en la elaboración de la malla, el cual fue analizó anteriormente.

Para construir este sistema de puesta a tierra se siguió el cálculo y el diseño de malla del punto que serán los puntos de partida para el dimensionamiento práctico, se espera mediante este diseño una obtención de resistividad de 6.1 Ω este resultado se lo obtuvo mediante la simulación en el software CYME (CYMGrd) pero con la adición de gel al tratar químicamente al terreno, se espera una resistividad por debajo de los 5 Ω

Luego de haber obtenidos los cálculos se procedió a realizar los trabajos de obra civil y mediciones como se aprecia en las siguientes fotografías.

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

- Obra civil para el Sistema de puesta a tierra



- Excavaciones de los pozos los mismos que servirán para la colocación tanto de la varilla Copperweld como del gel para la disminución de la resistividad:



- En este punto se le da el tratamiento químico al terreno correspondiente al pozo del sistema de puesta a tierra utilizando el gel:



- Dispositivos utilizados para realizar las sueldas



- Químicos utilizados para realizar la Soldadura Exotérmica



- Proceso de soldadura



- Soldadura terminada





- Proceso de medición







Al concluir, los resultados obtenidos son notorios y satisfactorios, se fundamentan teóricamente en los anteriores capítulos y en el Capítulo 3 se diseña e implementa el sistema de puesta a tierra.

Los resultados sistema de puesta a tierra tendrá un valor por debajo de los límites establecidos motivo por el cual este proyecto se termina con éxito, y cumpliendo la normativa establecida a un valor de 1.6Ω

3.11 CONCLUSIONES

- Mediante la elaboración de este proyecto de tesis se presentó una formulación de procedimientos claros y sencillos para el diseño y construcción de puestas a tierra, basado tanto en los conocimientos adquiridos a lo largo del proceso de formulación superior y en función de la aplicabilidad de las normas IEEE, a fin de establecer los criterios, metodologías, procesos y especificaciones que se debe seguir.
- Se ha podido demostrar en el diseño que el potencial máximo al que llega el sistema de malla respecto a tierra es menor que el potencial o tensión máxima que puede soportar una persona sin sufrir daño alguno de ser así el diseño de la red está correcto y no requiere de mayores cálculos.
- Previa la determinación de la profundidad a la que fue enterrada la malla se pudo realizar la investigación de las características del terreno para hallar su resistividad la cual determina esencialmente la profundidad de la malla.
- El diseño de la puesta a tierra se lo ha realizado tomando en cuenta los cambios futuros, que generalmente obligan a aumentar la capacidad de electrodos por lo que resulta más económico diseñar y construir una malla de puesta a tierra para la capacidad futura posible, que hacer una ampliación del electrodo ya construido.
- Se ha considerado en la construcción los voltajes tanto de paso como el de toque, razón por la cual se aterrizó la estructura del edificio a la malla en todas las columnas del laboratorio.

3.12. RECOMENDACIONES

- Para evitar las llamadas fallas mecánicas de los conductores, se acordado limitar el calibre del conductor de la malla aun mínimo de 2/0 AWG debiéndose tomar en cuenta esto para las salidas o interconexiones entre la malla y los equipos
- Una falla que origina corrientes a tierra, hace que se vuelvan peligroso los circuitos o conductores que lleguen de distancias apartadas a la red de tierra en cuestión, ya que en el extremo próximo a la red y el extremo opuesto pueden aparecer diferencias de potencial de miles de voltios por lo que se recomienda durante el diseño prestar especial atención a todos los conductores que se proyecten una distancia apreciable fuera de la red de tierra.
- La unión de los conductores y varillas se los debe realizar con puntos de suelda además se los cubrirá con una pasta polimería con el fin de evitar la oxidación.
- Es importante considerar el voltaje de toque, razón por la cual no se instalara en lugares donde se tenga que hacer algún mantenimiento permanente.
- Mantener húmedo el sistema de puesta a tierra para lo cual están contruidos pozos de revisión con sus respectivas tapas los cuales permitirán realizar este trabajo sin ningún contratiempo.
- Es indispensable realizar una inspección anual con el equipo adecuado el cual sería un teluometro el mismo que determinaran si es necesario realizar algún tipo de mantenimiento del sistema de puesta a tierra.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA CITADA

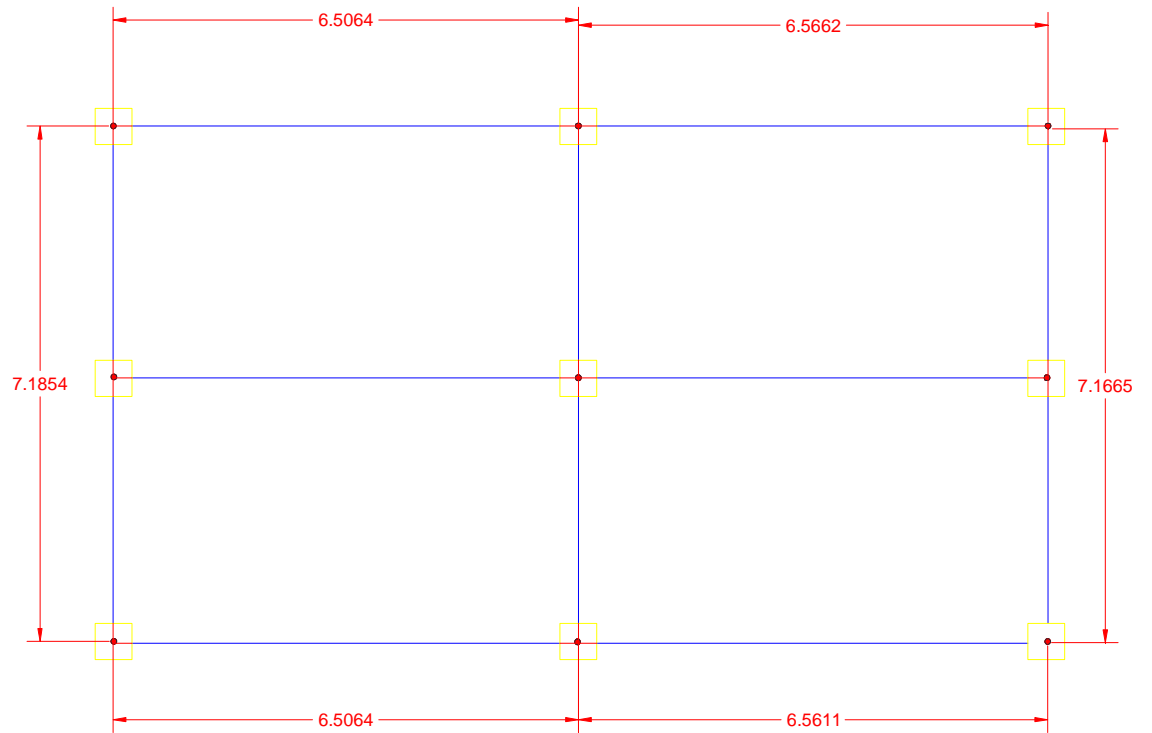
- <http://www.uncp.edu.pe/newfacultades/ingenieriasarqu>
- <http://www.erico.com/public/library/fep/LT0664.pdf>
- <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6667028/Puesta-a-Tierra>
- www.frro.utn.edu.ar/.../5.../Protecciones
- www.procobre.com/Instalaciones_de_Puesta_a_Tierra
- Cátedra: Transmisión y Distribución de la Energía

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

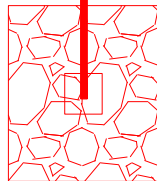
- Introducción a Sistemas de Puesta a Tierra THOR-GEL.
- Cap. 2. Diseño de puesta a tierra.pdf Qques Huayllo Cancha, Wilbert Rene
- Mediciones de resistividad y resistencia de PAT .pdf
- Manual técnico de malla de puestas a tierra.pdf procobre.org 2010
- Instalaciones de Puesta a Tierra en Baja Tensión
- www.monografias.com/trabajos67/seguridad-laboratorio.
- Diseño del sistema apantallamiento y puesta a tierra del nuevo laboratorio de alta tensión de la Escuela Politécnica Nacional
- Fundamentos e Ingeniería de las puesta a tierra : Respuestas ante fallas eléctricas






ANEXO

PLANO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE MALLA DE PUESTA A TIERRA DEL LABORATORIO DE EQUIPOS DE PRUEBA A 15 KV DE LA UTC.



Varilla coperweld de 2.40m.



-  Caja de revision de de 50 x50 x50cm.
-  Punto de suelda exotermica de 115
-  Dimención de pozo a pozo
-  Conductor desnudo numero de 2/0
-  Caja de revision de de 20 x20 x20cm.

