

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



ESTUDIO DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE
PUESTA A TIERRA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN PARA LOS NIVELES DE TENSIÓN DE 400KV,
230KV, 115KV Y 34.5KV EN CADAFE

REALIZADO POR:
CEDEÑO LUCART, LUIS ALBERTO

Trabajo de Grado Presentado Ante la Ilustre Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial Para Optar al Título de:
INGENIERO ELECTRICISTA

BARCELONA, ABRIL DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



ESTUDIO DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE
PUESTA A TIERRA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN PARA LOS NIVELES DE TENSIÓN DE 400KV,
230KV, 115KV Y 34.5KV EN CADAFE

REALIZADO POR:
CEDEÑO LUCART, LUIS ALBERTO

Revisado y Aprobado por:

ING. MELQUÍADES
BERMÚDEZ
ASESOR ACADÉMICO

ING. HORACIO
CARABALLO
ASESOR INDUSTRIAL

Trabajo de Grado Presentado Ante la Ilustre Universidad de Oriente
Como Requisito Parcial Para Optar al Título de:
INGENIERO ELECTRICISTA

BARCELONA, ABRIL DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS.
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.



ESTUDIO DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE
PUESTA A TIERRA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LÍNEAS
DE TRANSMISIÓN PARA LOS NIVELES DE TENSIÓN DE 400KV,
230KV, 115KV Y 34.5KV EN CADAFE

JURADO CALIFICADOR

El Jurado Hace constar que Asignó a esta Tesis la Calificación de:

ING. LUÍS SUÁREZ
JURADO PRINCIPAL

ING. VERENA
MERCADO
JURADO PRINCIPAL

ING. MELQUÍADES
BERMÚDEZ
ASESOR ACADÉMICO

ING. HORACIO
CARABALLO
ASESOR INDUSTRIAL

BARCELONA

ABRIL

DE

2009

RESOLUCIÓN

DE ACUERDO AL ARTÍCULO 44 DEL REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico en primer lugar a mis padres y en especial a mi madre, que siempre me brindó su palabra y sus consejos como aliento para seguir adelante y no desfallecer ante ninguna circunstancia y a mi padre por ser mi ejemplo a seguir y que supo enseñarme que con dedicación se pueden lograr grandes cosas.

A todas las personas que en su momento me brindaron su apoyo, para continuar con la incansable carrera de la vida y poder de esa forma ir cumpliendo cada una de mis metas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios todo poderoso, por haberme dado salud para poder lograr mis metas, ese Dios que siempre me ha guiado en los caminos de la vida y al que le debo todo lo que he logrado y de igual forma ruego me siga ayudando para seguir alcanzando otras metas que ya me he trazado.

Gracias a mis padres y hermanos por su apoyo y esfuerzo para ver a otro hijo y hermano graduado como profesional.

Gracias a todos mis compañeros de estudio, y amigos de toda la vida y los que encontré en la universidad, a Marcelys, Ana Sabeh, Staling, Alexander Ortiz, David, Ángela, Martha, Pedro, Gavi, y a todos aquellos que me brindaron su amistad y compañerismo.

Gracias a todos los profesores, desde el primero que nos impartió clases en el departamento de Electricidad, el profesor Luís Suárez, hasta el profesor Hernán Parra con el que culminamos la carrera, pasando por el profesor Luís Parraguez, Melquíades Bermúdez, Verena Mercado y el profesor Santiago Escalante, que nos enseñaron en muy particular forma la esencia de un profesional y la ética que debe mantenerse, y al mismo tiempo la humildad que debe prevalecer en un ser humano, a todos muchas gracias.

Gracias a todos los Ingenieros del departamento de construcción de subestaciones I, por toda la colaboración prestada.

Gracias Ingeniero Jean Michel Ravel, Ingeniero Horacio Caraballo y al Ingeniero Miguel Cedeño, por el apoyo profesional brindado y por

colaborar en la facilitación de todos los documentos requeridos para la realización de este trabajo.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio de los métodos utilizados en el diseño de puesta a tierra en subestaciones y líneas eléctricas para los niveles de tensión de 400kv, 230kv, 115kv y 34,5kv en CADAFE, las cuales distribuyen energía eléctrica a gran parte del país. Este estudio abarca una descripción de las normas utilizadas por CADAFE para sus diseños de puesta a tierra, así como también, cálculos basados en normas internacionales para verificar su viabilidad técnica.

Para lograr con el objetivo planteado se comenzó por definir los conceptos más importantes en el diseño de la puesta a tierra, como lo son la resistencia de puesta a tierra, las mallas de puesta a tierra, voltajes de paso y toque, máximo alza de potencial, el espaciamiento entre conductores y la profundidad de enterramiento de una malla. Posteriormente y utilizando las normas nacionales e internacionales sobre diseños de puesta a tierra como la IEEE 80-2000, el Código Eléctrico Nacional, normas CADAFE, IEEE 142, se recomendaron los criterios a seguir para el diseño de una malla de aterramiento y las configuraciones que se deben utilizar para la puesta a tierra en torres de líneas de transmisión.

Finalmente se presenta un estudio económico de algunos sistemas de puesta a tierra de subestaciones y líneas construidas bajo dichas normativas. Adicionalmente se determinaron las zonas con mayor probabilidad de fallas causadas por descargas atmosféricas, con la utilización de la carta cerámica de Venezuela, basándose en los datos suministrados por el Servicio de Meteorología de la Aviación.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
Capitulo i INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Generalidades.....	15
1.2 EMPRESA	17
1.2.1 Reseña Histórica.....	17
1.2.2 Dirección Operativa de Desarrollo de Transmisión	20
1.3 Planteamiento del Problema	21
1.4 Justificación de la Investigación.....	22
1.5 Alcance y Limitaciones	23
1.6 OBJETIVOS.....	23
1.6.1 Objetivo General	23
1.6.2 Objetivos Específicos	23
1.7 METODOLOGÍA	24
1.7.1 Técnicas de Recolección de Información.....	24
1.7.2 Metodología Utilizada.....	24
1.7.3 Tipo de Investigación	24
Capitulo ii fundamentos TEÓRICOS	26
2.1. INTRODUCCIÓN	26
2.2 ANTECEDENTES.....	26
2.3 ESQUEMAS DE SUBESTACIONES UTILIZADOS POR CADAFE.....	27
2.4 SOBRETENSIONES.....	30
2.4.1. Clasificación de las sobretensiones	31
2.4.1.1 Clasificación Según su Duración	32
2.4.1.1.1 Sobretensiones Instantáneas.....	32

2.4.1.1.2	Sobretensiones Mantenidoas.....	32
2.4.1.2	Clasificación Según su Forma	32
2.4.1.2.1	Sobretensiones Temporales	32
2.4.1.2.2	Sobretensiones de Maniobra	33
2.4.1.2.3	Sobretensiones de Origen Atmosférico.....	33
2.4.1.3	Clasificación Según su Origen.....	35
2.4.1.3.1	Sobretensiones Internas	35
2.4.1.3.2	Sobretensiones externas.....	38
2.5	PUESTA A TIERRA.....	41
2.5.1	Características de la Puesta a Tierra	41
2.5.2	Objetivos de un Sistema de Puesta a Tierra	42
2.5.3	Esquemas y Disposiciones de Conexión a Tierra	43
2.5.3.1	Sistema Sólidamente Puesto a Tierra.....	43
2.5.3.2	Aislados o no Puestos a Tierra	43
2.6	LIMITACIONES INTRÍNSECAS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	44
2.7	MALLA DE PUESTA A TIERRA.	45
2.7.1	Funciones de la Malla de Tierra	45
2.7.2	Aspectos Básicos en el Diseño de la Malla	46
2.8	DEFINICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA.....	47
2.9	VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA SEGÚN EL ÁREA DE LOS CONDUCTORES	48
2.10	RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	49
2.11	INFLUENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO	51
2.12	ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	52
2.12.1	Corrosividad del Suelo	52
2.13	FACTORES QUE DETERMINAN LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.....	55
2.13.1	La Estratificación del Terreno.....	55

2.13.2	La Compactación del Terreno	56
2.13.3	Naturaleza de los Suelos.....	57
2.13.4	Humedad.....	58
2.13.5	La Temperatura del Terreno.....	59
2.13.6	La Concentración de las Sales Disueltas	60
2.14	GENERALIDADES DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	60
2.14.1	Un Estrato Superficial.....	61
2.14.2	Un Estrato Subyacente.....	61
2.15	FINALIDAD DE LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD	61
2.16	MÉTODOS DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD.....	62
2.16.1	Método de Tres ElectrodoS	62
2.16.2	Método de los Cuatro ElectrodoS	63
2.16.2.1	Configuración de Schlumberger	65
2.16.2.2	Configuración de Wenner	66
2.17	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	68
2.17.1	Método de Tagg	69
2.18	PUESTA A TIERRA EN SUBESTACIONES.....	74
2.18.1	Voltaje de Paso	74
2.18.2	Voltaje de Toque	75
2.18.3	Voltaje de Malla.....	76
2.18.4	Voltaje Transferido	76
2.19	DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA CORRIENTE DE FALLA A TIERRA O CORRIENTE DE MALLA	78
2.19.1	Factor de Reducción o División de Corrientes de Falla (Sf).....	79
2.19.2	Factor de Corrección o Decrecimiento de la Corriente de Falla Asimétrica (Df).	80
2.19.3	Factor de Corrección para el Crecimiento del Sistema a Futuro Cp.....	82
2.19.4	Valor RMS de la Corriente Simétrica de Falla a Tierra..	83

2.20	VOLTAJE DE PASO PELIGROSO EN LA PERIFERIA (Es)	84
2.20.1	Factor de Espaciamento para el Voltaje de Paso (Ks)	85
2.20.2	Factor de Corrección de Irregularidad (Ki)	86
2.21	VOLTAJE DE TOQUE PELIGROSO EN LA PERIFERIA (Et)	87
2.21.1	Factor de Espaciamento para el Voltaje de Toque (Km)	87
2.22	RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (Rg)	88
2.22.1	Resistencia de Sverak	89
2.22.2	Resistencia de Schwarz	90
2.23	DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR	92
2.24	PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DE LA MALLA (h)	94
2.25	ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES PARALELOS	95
(D)		
2.26	PUESTA A TIERRA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	95
2.26.1	Línea de Transmisión	96
2.26.2	Contrapesos	96
2.27	ACTIVIDAD CERÁUNICA DE VENEZUELA	98
2.27.1	Temporada Lluviosa en Venezuela	99
2.27.1.1	Región Centro Costera	102
2.27.1.2	Región Centro Occidental	102
2.27.1.3	Región de los Andes	103
2.27.1.4	Región Zuliana	103
2.27.1.5	Región Llanos Centrales	104
2.27.1.6	Región Nor-Oriental	104
2.27.1.7	Región Guayana y Amazonas	105
2.28	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FORMACIÓN DEL RAYO	105
2.28.1	Parámetros de Incidencia del Rayo	106
2.29	EFFECTO DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	106
2.30	CARTA ISOCERÁUNICA DE VENEZUELA	107
CAPÍTULO iii	DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA	111

3.1 DISEÑO DE LA RED DE TIERRA.....	111
3.1.1 Subestación LOS BORDONES 115/13.8 (Nodal III)	115
3.1.2 Subestación PLANTA ANTONIO LOVERA (PAL) 230KV (Nodal 400T).....	119
3.1.3 Subestación BARINAS IV. 230/115KV (Nodal 230T)....	123
3.1.4 Subestación BAMARI 115kV (Nodal 115TD)	129
3.2 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE LOS CÁLCULOS DE LAS MALLAS DE PUESTA ATIERRA DE LAS DIFERENTES SUBESTACIONES	134
3.3 CALCULO DE ATERRAMIENTO EN APOYOS Y ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	139
3.3.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN D.T.A 115KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI	139
3.3.2 LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV, AISLADA EN 230 KV. S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E SAN JUAN DE LOS MORROS.....	150
3.4 REDISEÑO DE LA MALLA DE TIERRA DE LAS SUBESTACIONES YA DISEÑADAS	155
3.4.1 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BORDONES	155
3.4.2 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación PLANTA ANTONIO LOVERA (PAL) 230KV (Nodal 400T)	160
3.4.3 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BARINAS IV. 230/115KV (Nodal 230T).....	165
3.4.4 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BAMARI 115kV (Nodal 115TD).....	173
3.5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL REDISEÑO DE LAS MALLAS DE PUESTA ATIERRA DE LAS DIFERENTES SUBESTACIONES.....	179
3.6 TABLAS COMPARATIVAS EN LAS SUBESTACIONES PARA LOS DISTINTOS ESPACIAMIENTOS	184

3.7 REDISEÑO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	189
3.7.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN D.T.A 115KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI	189
3.7.2 LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV, AISLADA EN 230 KV. S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E SAN JUAN DE LOS MORROS.....	197
CAPITULO IV ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	204
4.1 Introducción	204
4.2 Análisis de Resultados.....	230
CONCLUSIONES.....	232
RECOMENDACIONES	236
BIBLIOGRAFÍA CITADA	238
ANEXOS	240
ANEXO 1 Gráficos para determinar el factor de división Sf.....	241
ANEXO 2. Medición de la resistividad del terreno para cada una de las subestaciones.....	253
ANEXO 3. Características del conductor de cobre desnudo	264
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	265

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

En los sistemas eléctricos, por distintas causas se presentan sobretensiones, que pueden producir rupturas de los niveles de aislamiento y en consecuencia daños y/o pérdidas del servicio.

Las sobretensiones que se presentan dependen de factores externos a la red, características técnicas de los componentes de la red, descargas eléctricas, fallas en las líneas de alimentación, sobre cargas de líneas, entre otros.

Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar daños en los equipos los equipos en caso de corrientes transitorias peligrosas, o también, por falta de aislamiento en uno de los conductores, puedan quedar en contacto con partes metálicas y ser tocados por alguna persona pudiendo ocasionarle lesiones o incluso la muerte.

Por estas razones, se recomienda que se realicen las instalaciones de puesta a tierra, ya que, la corriente siempre buscará el camino más fácil por donde fluir, y al llegar a tierra se disipe por esta, esto si se tiene una resistividad muy baja en el terreno donde se realizó la instalación, o un diseño óptimo de los sistemas de puesta a tierra que aseguren su efectividad.

Por la importancia de los sistemas de puesta a tierra, es necesario conocer la mayor cantidad de factores que hacen variar la resistencia del sistema. Alguno de estos factores pueden ser: las condiciones

climatológicas, estratigrafía, compactación del terreno, sales disueltas, características físicas del electrodo de conexión a tierra, etc.

La base de un buen sistema de puesta a tierra comienza en la medición o estudio de la resistividad del terreno luego la escogencia de la geometría del sistema de puesta a tierra que mejor se adapte a las subestaciones y líneas de transmisión, que son los puntos claves en este trabajo, luego definir parámetros de seguridad, escoger materiales y ajustar valores. Es importante para todo sistema de puesta a tierra que se realicen mediciones después de culminarlo para verificar que los valores corresponden a los exigidos por las Normas.

Por esta razón, los diseños de puesta a tierra deben ser técnica y económicamente viables para su realización, para obtener un buen sistema de aterramiento. Se debe tener presente los valores de resistencia deseada, de acuerdo a las Normas CADAPE, IEEE, ANSI, Código Eléctrico.

El presente trabajo está constituido por 5 capítulos que describen la metodología y los pasos para el estudio de los métodos utilizados en el diseño de puesta a tierra especialmente en subestaciones y líneas de transmisión en niveles de tensión de 400 Kv, 230 Kv, 115 Kv y 34,5 Kv.

Este trabajo se inició con la descripción del problema y siguiendo con una descripción de los tipos de subestaciones normalizadas por CADAPE y se definen tanto los fundamentos teóricos más resaltantes que están ligados a los sistemas de puesta a tierra, como los parámetros más importantes para el diseño de la puesta a tierra, también se mencionan las temporadas de lluvias en el país por ubicación geográfica, y haciendo uso de información referente a los niveles cerámicos de Venezuela, se establecerán gráficamente las zonas con más probabilidad de descargas

atmosféricas, luego en el capítulo 3, se realiza el diseño de las puestas a tierra en subestaciones y líneas normalizadas por CADAPE, y se realiza el rediseño las mismas para comparar los cambios que se reflejan. En el capítulo 4, se hace un estudio económico de las puestas a tierra diseñadas, culminando con un análisis de resultados.

1.2 EMPRESA

1.2.1 Reseña Histórica.

El servicio eléctrico en Venezuela, para el año 1946, era prestado por el sector privado, cuyos inversionistas se interesaban por aquellos centros mas poblados, debido a que las posibilidades de obtener un mejor rendimiento fueron mayores y, por otro lado, estaban las municipalidades que operaban con pequeñas plantas en poblaciones de menores recursos.

Estos servicios no estaban en la capacidad de producir suficiente energía para satisfacer la demanda, cada vez más creciente, en la población venezolana.

El 27 de octubre de 1958 se creó la compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAPE). Convirtiéndose en una gran compañía dedicada a la transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. CADAPE tiene como misión cumplir con las mejores condiciones de confiabilidad, eficiencia y rentabilidad, que adelanta su proceso de reestructuración de bienes, servicios y negocios.

Durante sus primeros 30 años, CADAPE obtuvo logros importantes y desarrolló una infraestructura eléctrica en generación, transmisión y

distribución que permitió alcanzar un alto grado de electrificación del territorio nacional.

Sin embargo, la necesidad de aumentar significativamente la productividad, agilizar la toma de decisiones, acercarse al suscriptor y mantener su perfil de empresa líder en el sector eléctrico para beneficio del desarrollo de la provincia venezolana, llevó a la compañía a replantear su estructura organizacional, por lo que a comienzos de la década de los noventa inició una reorganización, descentralización y regionalización con la finalidad de adecuarse a las nuevas realidades nacionales para lograr mayor eficiencia operativa y la prestación de un óptimo servicio.

De este proceso surgieron las siguientes empresas regionales de distribución y comercialización:

-ADELA (C.A. Electricidad de los Andes): Conformada por los estados Barinas, Mérida, Táchira y Trujillo.

-ELECENRO (C.A. Electricidad del Centro): Constituida por los estados Aragua, Amazonas, Guárico y Miranda.

-ELEOCCIDENTE (C.A. Electricidad de Occidente): Constituida por los estados Carabobo, Falcón, Lara, Portuguesa y Yaracuy.

-ELEORIENTE (C.A. Electricidad de Oriente): Constituida por los estados Anzoátegui, Bolívar, Delta Amacuro, Nueva Esparta, Sucre y Monagas.

-Posteriormente, en octubre de 1998, se creó el Sistema Eléctrico de Monagas y Delta Amacuro (SENDA), convirtiéndose en la quinta filial de CADAPE.

Uno de los elementos importante del Sistema Eléctrico de CADAFE, está representado por el sistema de transmisión, conformado por una red cuya longitud es de 15.031 km, de los cuales 1.469 km funcionan a un nivel de tensión de 400 kV, 4.486 km a 230 kV y 9.662 km a 115 kV, distribuidos en las tres áreas o Sistemas: Oriente, Centro y Occidente, con sus respectivos Despachos de Carga de alcance regional y el Centro de Control Nacional, ubicado en La Mariposa, para operar la red de CADAFE. Actualmente, el sistema cuenta con 26 subestaciones de transmisión con una capacidad de transformación instalada de 11.490 MVA.

El proceso de Distribución y Comercialización de la energía eléctrica generada y transmitida por CADAFE se realiza a través de sus 242 subestaciones, que tienen un total de 1.718 MVA de capacidad de transformación y una red de distribución conformada por 61.255 km de longitud, de los cuales 10.001 Km., funcionan a un nivel de tensión de 34,5 Kw y 51.254 Km. de longitud a 13,8 kV. A través de estas subestaciones, se distribuye la energía a un gran número de suscriptores que al 31 de diciembre de 2001 era aproximadamente de 2.326.703, los cuales son atendidos a través de 232 oficinas comerciales repartidas en todo el territorio nacional.

El 1º de enero del año 2007 nació la NUEVA CADAFE, al concretarse la fusión con las filiales de distribución (ELEORIENTE, ELEOCCIDENTE, ELECENTRO, CADELA y SEMDA), para crear una empresa moderna que pueda responder a los requerimientos de un país en crecimiento.

CADAFE vuelve así a ser la empresa de servicio eléctrico más grande del país, con presencia en más del 80 por ciento del territorio nacional y que atiende a más de tres millones de suscriptores.

Por esta razón CADAFE debe prestar una buena calidad de servicio, con lo cual es necesario revisar las características de diseño de las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, siendo de vital importancia el diseño de la puesta a tierra. De esta forma se plantea un estudio técnico-económico de los métodos aplicados en sus diseños de puesta a tierra, a través de las normas internacionales y nacionales en subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, para así establecer la factibilidad de los métodos a aplicar.

1.2.2 Dirección Operativa de Desarrollo de Transmisión

La dirección operativa de desarrollo de transmisión de adscrita a la VICEPRESIDENCIA EJECUTIVA DE TRANSMISIÓN tiene como objetivo garantizar la ejecución de los proyectos y obras previstos en el plan de expansión del sistema eléctrico de CADAFE y/o necesidades del sistema de transmisión de energía eléctrica, mediante el adecuado desarrollo de las actividades de diseño, construcción, puesta en marcha de las infraestructura, dentro de los parámetros de tiempo, costo y calidad establecidos y de acuerdo a los planes de inversión aprobados.

Dentro de sus funciones tenemos:

- Coordinar la consolidación y elaboración de los planes y presupuestos de inversión del área de transmisión con base al Plan de Expansión del Sistema Eléctrico y/o necesidades del sistema de transmisión de energía eléctrica.

- Planificar y controlar el desarrollo de los proyectos de nuevas instalaciones, ampliaciones en los niveles de tensión de 115, 230 y 400 k V.

-Servir de interlocutor con las unidades de compras mayores y logísticas para la adquisición de materiales y equipos de transmisión.

-Coordinar y controlar la elaboración de la ingeniería básica y de detalles de las obras a ejecutarse en el sistema de transmisión.

-Conformar los anteproyectos y especificaciones para la construcción de obras y adquisición de materiales y equipos.

-Participar en los procesos de licitatorios para la contratación de empresas para la construcción de obras y adquisición de materiales y equipos.

-Supervisar y controlar la administración de los contratos de obras y servicios de apoyo.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CADAFE, ha realizado desde su constitución como empresa eléctrica del estado numerosas obras, muchas de ellas de carácter estratégico para la nación. Como empresa de electricidad del Estado, motivada al logro de su objetivo primordial, el cual es suministrar energía eléctrica de forma continua, eficiente y confiable a un costo razonable, y debido al constante crecimiento de la carga originado por el desarrollo industrial y el aumento de la población, tiene el compromiso y la obligación de proteger, mantener y optimizar la operación de los elementos e instalaciones de su sistema. Entre estos elementos se encuentran las subestaciones y las líneas, las cuales son partes fundamentales para la prestación del servicio, es por ello que se debe estar prevenido de los eventos que puedan dañar a estas instalaciones,

poner en peligro la vida del personal y causar interrupciones, las cuales se traducirían en pérdidas económicas y de prestigio para la empresa.

Por tal motivo, CADAFE trata de mantener siempre, niveles óptimos de eficiencia y confiabilidad en la operación de las distintas subestaciones y líneas de transmisión de su sistema, tomando en cuenta parámetros que puedan afectar la vida útil de los equipos. Entre los parámetros más importantes se tiene los sistemas de aterramiento, el objetivo de éste es establecer valores mínimos de tensión que permitan proteger de sobretensiones peligrosas a las personas que laboran en las cercanías de las subestaciones y líneas de transmisión, y a los equipos, con el fin de evitar deficiencias en el servicio de energía eléctrica prestado (industrial, comercial y residencial).

Por esta razón CADAFE debe prestar una buena calidad de servicio, con lo cual es necesario revisar las características de diseño de las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, siendo de vital importancia el diseño de la puesta a tierra. De esta forma se plantea un estudio técnico-económico de los métodos aplicados en sus diseños de puesta a tierra, a través de las normas internacionales y nacionales en subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, para así establecer la factibilidad de los métodos a aplicar.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

CADAFE siempre conserva una posición prudente en lo que se refiere a la aplicación de normas y especificación de los sistemas de puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión que conforman el sistema eléctrico de potencia. Todo esto lleva implícito la responsabilidad de ofrecer un servicio eléctrico de alta calidad a un costo económicamente razonable.

Algunas gerencias y departamentos de CADAFE han observado que los métodos de puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión, pudieran no cumplir con los requisitos de las normas más recientes, como es el caso de la IEEE Std 80-2000. Actualmente debido al incremento de los niveles de corto circuito de las subestaciones y líneas producto del fortalecimiento de la red de transmisión, se pidió efectuar un estudio detallado a los fines de estudiar técnico-económicamente las Normas para los diseños de la puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión normalizadas por CADAFE.

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

No se logro realizar mediciones de resistencias de puesta a tierra, debido a que para realizar mediciones es necesario sacar fuera de servicio dichas subestaciones, que eso implica suspender el servicio y en la práctica esto se hace bastante difícil.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Realizar el estudio de los métodos utilizados en el diseño de la puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión para niveles de tensión de 400 kV, 230 kV, 115 kV y 34,5 kV.

1.6.2 Objetivos Específicos

Revisar las normas internacionales y nacionales sobre diseños de puesta a tierra para las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.

Revisar el procedimiento normalizado por CADAPE para el diseño de la puesta a tierra de las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.

Calcular la resistencia de puesta a tierra en las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión normalizadas de CADAPE.

Estudiar el impacto técnico-económico de los métodos utilizados para el diseño de la puesta a tierra en las subestaciones y líneas de transmisión.

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Técnicas de Recolección de Información

Se realizará mediante el análisis y revisión de diversas fuentes bibliográficas, proyectos realizados y la revisión de Normativas.

1.7.2 Metodología Utilizada

La metodología empleada fue desarrollada en cuatro fases, estas fueron diseñadas de manera de llevar una secuencia según los objetivos planteados, revisión de las normas nacionales e internacionales, revisión de las Normas para el diseño de la puesta a tierra de CADAPE y un conjunto de conocimientos previos, y una parte práctica en la que se realiza el cálculo de la resistencia de puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión, un análisis de precios unitarios y la incorporación de análisis de resultados y posibles soluciones al problema planteado.

1.7.3 Tipo de Investigación

La metodología utilizada durante la investigación del trabajo es del tipo documental, entendiéndose así por investigación documental, al estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos, ya que el estudio de los métodos utilizados para el diseño de la puesta a tierra en subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, que debe realizar la función de proteger a personas, equipos, etc, se derivan de las normas nacionales, internacionales y de las características vigentes que sigue CADAFE en el diseño de la puesta a tierra en subestaciones eléctricas y líneas de transmisión.

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

Las puestas a tierra se diseñan para que al ocurrir las fallas a tierra o descargas atmosféricas, se puedan drenar las corrientes producidas por estos eventos, sin producir lesiones a las personas que se encuentran dentro del perímetro de las subestaciones, ni averiar equipos.

Durante condiciones de falla a tierra, el flujo de corriente a tierra produce gradientes de potencial en el interior y alrededor de la subestación, por lo tanto, en el diseño de la malla de tierra se toma como base los límites de seguridad, para las diferencias de potencial que puedan existir bajo condiciones de falla, entre puntos que puedan ser tocados por una persona dentro de la subestación. De no tomarse estas precauciones en el diseño, el máximo gradiente de potencial a lo largo de la superficie de la tierra en condiciones de falla, puede ser de suficiente magnitud para poner en peligro a personas dentro del área. Por otra parte diferencias de potenciales peligrosos pueden desarrollarse entre estructuras o equipos y cualquier punto de tierra cercana. Es muy importante que la puesta a tierra tenga una baja resistencia, buena capacidad de conducción y una buena distribución del área.

En este capítulo se presentan los conceptos necesarios para el diseño y revisión de puesta a tierra

2.2 ANTECEDENTES

Se tomó como antecedente en este proyecto los siguientes trabajos:

En Agosto de 2005, fue desarrollado un trabajo titulado “Evaluación de los sistemas de puesta tierra de las subestaciones de distribución de Sema”, realizado por Carlos Hernández como requisito para obtener el título de Ingeniero Electricista en la Universidad de Oriente, del cual se obtuvo un diseño de los sistemas de puesta tierra de algunas subestaciones.

En octubre de 1998, fue desarrollado un trabajo titulado “Rediseño del sistema de puesta a tierra de la subestación Tigre I 230/115kv de la empresa CADAPE”, realizado por Nixon Vidal como requisito para obtener el título de Ingeniero Electricista en la Universidad de Oriente, del cual se obtuvo el rediseño del sistema de puesta tierra de la subestación Tigre I.

En noviembre de 2004, fue desarrollado un trabajo titulado “Estudio de métodos alternativos de disminución de la resistencia de puesta a tierra en torres de líneas de transmisión de CVG EDELCA”, realizado por Gustavo Bosa como requisito para obtener el título de Ingeniero Electricista en la Universidad Central de Venezuela, del cual se obtuvo el estudio de métodos alternativos de disminución de la resistencia de puesta a tierra en torres de líneas de transmisión.

En julio de 2008, fue desarrollado un trabajo titulado “Sistema de Puesta a Tierra de una Central de Generación de Energía Eléctrica con Grupos Electrónicos de Baja Tensión y Ajustes de Protección”, realizado por María Herrera como requisito para obtener el título de Ingeniero Electricista en la Universidad de Oriente, del cual se obtuvo el sistema de puesta a tierra de una central de generación.

2.3 ESQUEMAS DE SUBESTACIONES UTILIZADOS POR CADAPE.

Los diseños de las subestaciones en CADAFE están clasificadas en dos tipos: las subestaciones radiales y las subestaciones nodales.

Las subestaciones radiales son alimentadas solamente de una fuente, donde el flujo de potencia se establece en un único sentido, teniendo una salida y una llegada en los niveles de 115 kV o de 34,5 kV, con transformadores reductores a las tensiones 34,5 y 13,8 kV. Dentro de este tipo de subestaciones existen dos clasificaciones: subestaciones radial I (115 kV nivel de tensión de llegada); y subestaciones radial II (34,5 kV nivel de tensión de llegada); ambas subestaciones están diseñadas para operar en el sistema de distribución, es decir, son subestaciones terminales en el esquema de transmisión de energía. En la figura 2.1 se muestra el esquema de un sistema radial.

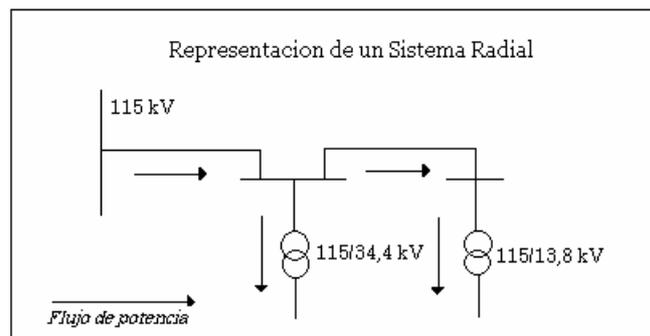


Figura 2.1 Subestaciones Radiales

Por otra parte, las subestaciones nodales reciben este nombre al estar interconectadas entre sí y conformar una malla en el sistema de transmisión; los terminales de conexión a las líneas se consideran solamente como salidas, ya que el flujo de energía se puede dar en ambos sentidos, según las condiciones de operación del sistema eléctrico. En la figura 2.2 se muestra el esquema de una subestación nodal.

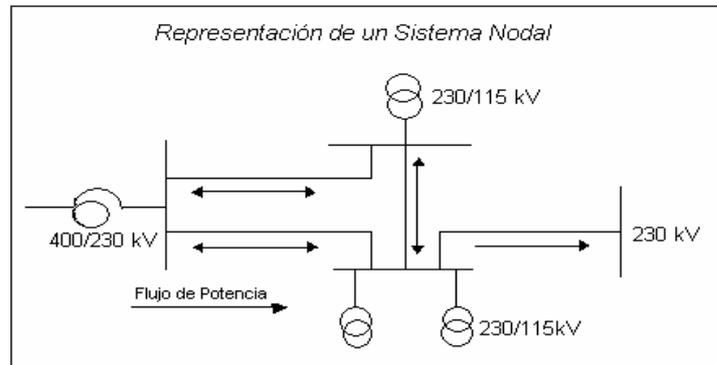


Figura 2.2 Subestaciones Nodales

Dentro del tipo de subestación nodal existen cuatro diseños normalizados:

-Subestación Nodal 400T: subestación encargada de operar en el nivel de tensión de 400 kV y realizar la interconexión del sistema de transmisión entre los niveles de 400 y 230 kV. Es el diseño de mayor envergadura que posee CADAFE, ya que estas subestaciones son el eje principal en la transmisión de los bloques de energía que realiza la empresa a través de todo el país.

-Subestación Nodal I (230T): subestación que opera en los niveles de transmisión de 230 y 115 kV, tiene capacidad también para manejar el sistema de distribución con la implementación de transformadores reductores de 115/34,5 kV y de 115/13,8 kV. Cabe destacar que esta subestación se utiliza en la distribución en áreas que alimenten directamente zonas industriales que se encuentran alejadas de las zonas pobladas, debido al gran espacio que se requiere para su construcción, para brindar la máxima seguridad a los ciudadanos y por el nivel de ruido que se genera en la subestación, condiciones que son adversas al desarrollo normal de una buena calidad de vida.

-Subestación Nodal II (115TD): en esta subestación se realiza la reducción a los niveles de tensión de 34,5 y 13,8 kV. Además de entregar energía hacia el sistema de distribución, es capaz de manejar hasta 5 salidas en el nivel de 115 kV, lo cual garantiza un máximo de confiabilidad en la alimentación de las cargas conectadas en el sistema de distribución.

-Subestación Nodal III: subestación que también opera en 115/34,5 kV y 115/13,8 kV, pero está enfocada netamente para su utilización en el sistema de distribución, solo posee 2 salidas en el nivel de 115 kV, sin embargo ofrece la ventaja que su instalación se puede realizar en lugares cercanos a los centros de consumo, con lo cual se reduce las interrupciones del servicio por disminución de la complejidad en el sistema de distribución.

2.4 SOBRETENSIONES

Generalmente se entiende por sobretensión toda onda de tensión variable en el tiempo cuyo máximo valor es superior a la tensión máxima de servicio. Existen muchas causas de sobretensiones, por eso su estudio debe realizarse partiendo de una clasificación definida a partir de sus causas, al tipo de proceso transitorio y al tiempo de duración. Otros autores sólo consideran a la sobretensión como todo aumento de tensión capaz de poner en peligro el material o el buen servicio de una instalación eléctrica.

Las sobretensiones son capaces de producir descargas que, además de destruir o averiar severamente el material, pueden producir otras sobretensiones que posiblemente aunadas a ciertas condiciones especiales en el sistema, pudieran ser igual o más perjudiciales que las primeras. En algunos casos, lo perjudicial de las sobretensiones no se debe al valor de su magnitud, ya que esta situación podría durar muy

poco tiempo, sino también a la forma de onda. El realizar una buena coordinación de aislamiento no asegura totalmente la protección del sistema, es por eso que debe asegurarse que la descarga a tierra se haga lo más rápido posible. Normalmente esta descarga se hace a través de los descargadores de sobretensión. Este dispositivo debe regularse a un factor de sobretensión que sea menor que el grado de seguridad de la instalación pero que, por otra parte no se aproxime al valor de la tensión de servicio, de lo contrario entraría muchas veces en funcionamiento haciendo inestables las condiciones de servicio de las instalaciones.

Las sobretensiones aparecen en todos los sistemas eléctricos, independientemente de los niveles de tensión, es importante acotar que en baja tensión tienen menos importancia que en alta, ya que las condiciones de funcionamiento y de aislamiento de estas últimas favorecen a diversas situaciones, como inestabilidad en el sistema y sobretensiones.

La severidad que puede alcanzar cualquier sobretensión depende del tipo y, sobre todo, del nivel de tensión de la red; en redes de tensión nominal inferior a 230 kV las sobretensiones debidas al rayo son más peligrosas que las debidas a otra causa, mientras que por encima de 400 kV las sobretensiones de maniobra suelen ser más peligrosas.

Las dos definiciones que se presentaron al comienzo de esta sección son igualmente válidas, lo que conlleva a realizar diferentes clasificaciones.

2.4.1 Clasificación de las Sobretensiones

En el presente trabajo sólo se consideran tres tipos de clasificaciones.

2.4.1.1 Clasificación Según su Duración

Depende única y exclusivamente del tiempo de la sobretensión, ésta se puede catalogar en instantánea o mantenida. Es necesario acotar que esta clasificación es muy poco usada y sólo se usa en sistemas de distribución.

2.4.1.1.1 Sobretensiones Instantáneas

La sobretensión puede considerarse instantánea cuando su tiempo de duración es menor que un cuarto ($\frac{1}{4}$) del periodo de trabajo.

2.4.1.1.2 Sobretensiones Mantenidoas

La sobretensión mantenida es para tiempos mayores a un cuarto ($\frac{1}{4}$) del periodo de trabajo.

2.4.1.2 Clasificación Según su Forma

Se basa en la forma, es decir, la constitución de la onda y normalmente se divide sobretensiones temporales, de maniobra y de origen atmosférico.

2.4.1.2.1 Sobretensiones Temporales

Dentro de este grupo están aquellas sobretensiones de larga duración (varios milisegundos), poco amortiguadas y de frecuencia igual o

próxima a la frecuencia de operación. Un ejemplo de sobretensiones temporales es la debida a un corto circuito entre una fase y tierra.

El valor de estas sobretensiones no suele superar 1,5 veces la tensión de servicio a frecuencia industrial. Pueden originarse además por desconexión de cargas importantes, resonancias o ferorresonancias.

Un caso especial de sobretensiones temporales es el de los sistemas con neutro aislado, muy común en sistemas de distribución, y que pueden funcionar durante cierto tiempo con una falla en una fase, quedando así aplicada una sobretensión hasta que se normalice la falla.

2.4.1.2.2 Sobretensiones de Maniobra

Una sobretensión de este tipo es fuertemente amortiguada, de corta duración y puede presentar un rango de frecuencias que varia entre los 2 y 10 kHz. Su origen puede estar en una maniobra de conexión o de desconexión de cualquier componente de un sistema, sin embargo puede haber otras causas que den lugar a una sobretensión de este tipo; por ejemplo, un corto circuito puede provocar transitoriamente una sobretensión que se clasificaría en este grupo. Este tipo de sobretensión entra también en otra clasificación, por lo que será explicada más adelante.

2.4.1.2.3 Sobretensiones de Origen Atmosférico

Son las que se originan por una descarga atmosférica conocida como rayo, tienen una duración muy corta y una amplitud que puede ser varias veces la tensión de pico nominal. La importancia de estas

sobretensiones crece a medida que disminuye la tensión nominal de los componentes afectados. El valor de las sobretensiones que se pueden alcanzar en una red de distribución originadas por un rayo es muy abrupto frente al valor de la tensión nominal de la red que, tanto el nivel de aislamiento de los componentes como la selección y coordinación de protecciones se realiza teniendo en cuenta el efecto de las sobretensiones atmosféricas.

La aparición de una sobretensión de origen atmosférico en un sistema de transmisión puede ser producida por una de las formas siguientes:

La descarga cae sobre un cable de tierra o una torre, en ambos casos una parte de la corriente del rayo termina propagándose a tierra donde originará sucesivas reflexiones que pueden dar lugar a una tensión superior a la rigidez dieléctrica del aislamiento entre la torre y alguno de los conductores de fase.

La descarga cae sobre un conductor de fase debido a un apantallamiento insuficiente del cable de tierra o a la inexistencia de éste; se produce una falla si la onda de tensión supera la rigidez dieléctrica del aislamiento.

La descarga cae en las cercanías de una línea, pudiendo inducir en ésta tensiones superiores al nivel de aislamiento.

Existen diversas teorías del origen de las descargas atmosféricas, así como de su constitución física. Dado que las sobretensiones de origen atmosférico no son base de la investigación, no se profundizará el estudio de estas.

Como se observa en las clasificaciones anteriores no existe una frontera muy clara entre un tipo y otro de sobretensión; por ejemplo, una sobretensión originada por una falla eléctrica (corto circuito) es de tipo temporal, pero transitoriamente puede ser clasificada como una sobretensión de maniobra; es por esta razón que existe otra clasificación de las sobretensiones.

2.4.1.3 Clasificación Según su Origen

Está referida al origen o causa y no por la forma de las sobretensiones y se dividen en: internas y externas.

2.4.1.3.1 Sobretensiones Internas

El nombre de estas sobretensiones obedece a que su origen o causa está dentro del propio sistema de transmisión de energía eléctrica. Estas sobretensiones denotan cierta dependencia del tratamiento del neutro del sistema; es decir no se observa el mismo comportamiento en un sistema conectado rígidamente a tierra o con el neutro flotando o con una conexión a tierra inductiva.

Estas sobretensiones se forman como consecuencia de las oscilaciones entre las energías de los campos eléctrico y magnético producidas por un arco intermitente, es decir, arcos que se apagan al pasar la corriente alterna por cero, pero se vuelve a encender cuando la sinusoide de la tensión toma mayores valores. También son las producidas al variar las propias condiciones de servicio de la instalación. Estas no se producen solamente por arqueo de aisladores sino también en los disyuntores cuando desconectan altas intensidades de corriente.

A este grupo de sobretensiones pertenecen las oscilaciones por intensidad de corriente, las variaciones de carga, descargas a tierra, conexión o desconexión de líneas, etc. En todos estos procesos, la energía acumulada en los elementos inductivos o capacitivos puede llegar a descargar de tal modo que originan perjudiciales aumentos de la tensión. Esta clase de sobretensiones pueden evitarse en gran parte.

Las sobretensiones de origen interno pueden clasificarse a su vez en dos categorías conocidas como: sobretensiones de maniobra y sobretensiones de servicio.

-Sobretensiones de maniobra

Referentes a los fenómenos transitorios que acompañan a los bruscos cambios de estado de una red, por ejemplo, cierre o apertura de disyuntores, descargas a tierra, operación con disyuntores estando el sistema a plena marcha. Es decir, cuando un sistema con elementos resistivos, inductivos y capacitivos pasa bruscamente de un régimen permanente a otro régimen permanente distinto. Por lo tanto se trata de fenómenos transitorios y la transición de uno a otro estado permanente va siempre acompañada de ondas de tensión que tienen un carácter oscilatorio amortiguado, desapareciendo cuando han pasado algunos periodos, a causa de las resistencias óhmicas y las corrientes de Foucault, que actúan como amortiguadores de las ondas. Estas sobretensiones son de breve duración y están fuertemente amortiguadas, como se mencionó anteriormente.

Cuando se desconecta un circuito por medio de un disyuntor, las sobretensiones que aparecen no son peligrosas. Pero si se conectan y desconectan líneas funcionando en vacío, las cuales se comportan como condensadores, debido a la reactancia de dispersión de generadores y

transformadores nacen sobretensiones oscilantes que pueden alcanzar un valor de tres (3) veces la tensión nominal de servicio del sistema. Estas sobretensiones son debidas a reencendidos del arco cortado por los disyuntores. Efectivamente, en caso de desconexión de una línea, el disyuntor interrumpe en el momento en que la corriente es nula, es decir cuando la tensión alcanza su valor máximo. Mientras que la tensión de la línea seccionada conserva este valor, la tensión de alimentación comienza a oscilar a frecuencia industrial. Como consecuencia la tensión en los bornes del disyuntor aumenta de valor, primero lentamente y después más rápidamente. En sistemas de alta tensión normalmente se produce un reencendido del arco y por consiguiente, oscilaciones en la red. Teóricamente, las tensiones pudieran alcanzar valores muy elevados, pero en la practica esto no ocurre por los elementos amortiguadores propios del sistema.

También la desconexión de transformadores funcionando en vacío puede provocar sobretensiones que son debidas a la ruptura del arco en el disyuntor. En efecto, debido a su impedancia la corriente en el transformador no puede anularse inmediatamente después de la desconexión, ya que circula por la capacidad propia del transformador, cargándola. Teorías de orden energético demuestran que estas sobretensiones son más elevadas mientras más pequeña sea la capacidad del transformador. Las sobretensiones generadas pueden producir descargas hacia la cuba del transformador, generalmente, estas descargas son inofensivas ya que no circula ninguna corriente importante por haberse desconectado el transformador.

-Sobretensiones de servicio

Comprende los estados estacionarios que puedan resultar durante la puesta en servicio o fuera de servicio de una carga, sobretodo cuando la

red comprende líneas de gran longitud; también pudieran incluirse en este grupo las sobretensiones permanentes provocadas por derivaciones a tierra.

2.4.1.3.2 Sobretensiones externas

Son las producidas por descargas atmosféricas, como el rayo. En la sección 2.3.1.2.3 Sobretensiones de origen atmosférico, se explica este tipo de sobretensiones.

En la práctica se ha podido observar que la incidencia del rayo en el sistema (impacto directo) conduce a mayores sobretensiones que cuando incide en la proximidad del mismo. A continuación trataremos por separado cada uno de estos casos.

-Sobretensiones inducidas

En el análisis de las sobretensiones inducidas por el rayo en el sistema, al incidir en su proximidad (impacto indirecto), no es sencillo, pues se deben considerar las cargas que el rayo induce al acercarse al sistema, pero sin haber llegado aún a la tierra, al igual que las cargas inducidas después de haber llegado a ella. La descarga de retorno también desempeña un papel muy importante, pues lleva de nuevo al seno de la nube una gran cantidad de cargas eléctricas.

Las sobretensiones inducidas por el rayo en el sistema no alcanzan valores muy peligrosos, pero si las tensiones de paso y toque en la proximidad del sitio de incidencia. Estas tensiones suelen ser tan elevadas que con frecuencia conllevan a accidentes fatales.

-La descarga retroactiva

La denominada descarga retroactiva por lo general ocurre cuando el rayo incide en forma franca o directa en una de las torres del sistema o en los conductores del mismo. Los dos casos extremos que se pueden presentar son: que el rayo caiga a la mitad del vano o en la punta de la torre. En la figura 2.3 se presenta la distribución de la intensidad de corriente para ambos casos. La condición mas grave viene siendo la ultima (impacto directo en la torre), ya que en este caso la torre afectada deriva a tierra 60% de la corriente del rayo. El resto es derivado a tierra por las torres vecinas.

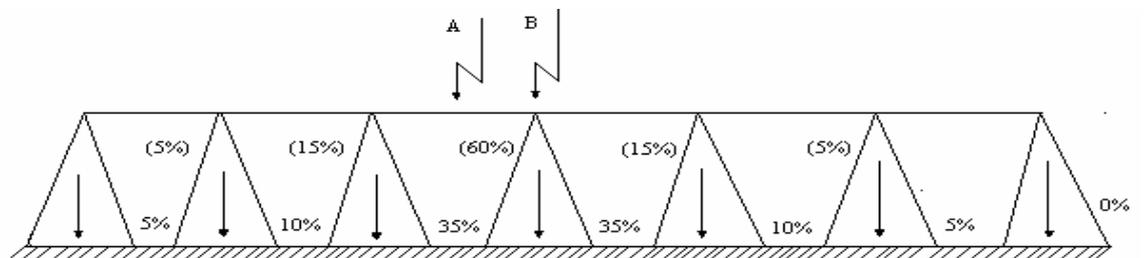


Figura 2.3 Casos extremos de la incidencia del rayo en un sistema de transmisión. El caso A correspondiente a la incidencia a mitad del vano, mientras que el caso B en forma directa en la torre (valores entre paréntesis). En este último la torre deriva 60% de la corriente

En vista de que el hilo de guarda se encuentra espacialmente por encima del plano de los conductores activos, el rayo incide generalmente en éste, actuando casi de inmediato el contacto a tierra de las torres contiguas.

Es importante el hecho de que la intensidad de corriente del rayo, al ser derivada a tierra por la estructura metálica de la torre, alcance valores considerables, provocando una apreciable caída de tensión VM en la resistencia de puesta a tierra de la torre. Esta caída de tensión viene dada por la ley de ohm:

$$VM = IM \cdot RM \quad (2.1)$$

Así pues, cuando la caída de tensión en la resistencia de puesta a tierra de la torre VM excede a la tensión de resistencia del aislador V'_{wf} , se produce una descarga entre la torre y el conductor activo, es decir, entre la masa metálica de la torre, generalmente conectada a tierra, y una de las fases. A este fenómeno se le conoce como descarga retroactiva.

Si se cumple la siguiente desigualdad, entonces ocurre la descarga retroactiva:

$$V_M + |V_n| > V'_{wf} \quad \text{con} \quad V_n = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} * v_n$$

Donde:

v_n : Valor momentáneo de la tensión nominal en kv

V'_{wf} : Tensión crítica disruptiva del aislador en kv

En la práctica, por consiguiente, hay que dispensar especial atención a la vigencia de la siguiente desigualdad:

$$I_M * R_M + |V_n| < V'_{wf} \quad (2.2)$$

En la cual V'_{wf} viene dado por:

$$V'_{wf} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} SV_f * K_f \quad (2.3)$$

Donde:

VLL: Tensión nominal línea a línea

SVf: Tensión máxima de operación (1,05p.u)

Kf : Sobretensión máxima a frecuencia industrial. (1,1-1,2)

De aquí se deduce el efecto de positivo de mantener las resistencias de aterramiento de las torres en valores bajos.

2.5 PUESTA A TIERRA

La puesta a tierra de una determinada instalación, consiste en la unión de un conjunto de elementos que permiten un contacto eléctrico conductivo entre el medio (terreno en general) e instalaciones, equipos, estructuras. A través de una unión intencional o casual a tierra, se pueden dispersar las corrientes producidas por anomalías en el sistema. Estas se disipan por medio de conductores, barras, plato, malla metálica en la superficie del suelo. A las tomas de tierra en forma de barra o plato se les llama electrodo.

2.5.1 Características de la Puesta a Tierra

-Conducir y dispersar en el terreno las corrientes de cualquier naturaleza que se puedan presentar ya sea por falla, descargas atmosféricas o debidas a maniobras, sin provocar gradientes de potencial peligrosos sobre la superficie de un terreno o entre el punto del terreno y objetos conductores vecinos, para lo cual se debe presentar una resistencia eléctrica adecuada que represente una buena capacidad de conducción.

-Los diferentes elementos y electrodos que conforman el sistema de puesta a tierra deben ser capaces de conducir, durante el mayor tiempo posible, las corrientes de fallas sin sufrir calentamientos excesivos.

-Debe ser resistente al ataque corrosivo del terreno.

-El valor de resistencia de puesta a tierra debe ser el adecuado para cada tipo de instalación.

-La variación de la resistencia eléctrica del terreno debida a cambios ambientales debe ser mínima, tal que en cualquier época del año, la corriente de falla a tierra sea capaz de producir la operación de los elementos de protección como los relés, fusibles, pararrayos.

-Su vida útil debe ser mayor de 20 años.

-Debe permitir un mantenimiento periódico.

-Su costo debe ser lo más bajo posible, considerando los requerimientos de las normas y especificaciones.

2.5.2 Objetivos de un Sistema de Puesta a Tierra

-Dar seguridad de las personas dentro de las instalaciones eléctricas.

-Proveer protección de las instalaciones eléctricas.

-Mantener la continuidad en el servicio eléctrico.

-Permitir un establecimiento y continuidad de un potencial de referencia para la seguridad y funcionamiento de los equipos electrónicos, unidades de procesamiento de datos, instrumentos.

-Asegurar una protección contra electricidad estática.

-Debe proporcionar un paso para las corrientes que se originan en las líneas de alimentación eléctricas.

2.5.3 Esquemas y Disposiciones de Conexión a Tierra

Muchos sistemas emplean alguna técnica para poner a tierra su neutro en uno o más puntos, entre estos métodos tenemos los siguientes:

- Solidamente puestos a tierra
- Resistencia de puesta a tierra
- Reactancia de puesta a tierra

2.5.3.1 Sistema Sólidamente Puesto a Tierra

Un sistema sólidamente puesto a tierra, se logra a través de una adecuada conexión, en la cual, no ha sido insertada intencionalmente impedancias, una unión metálica sólida del neutro del sistema. Figura 2.4

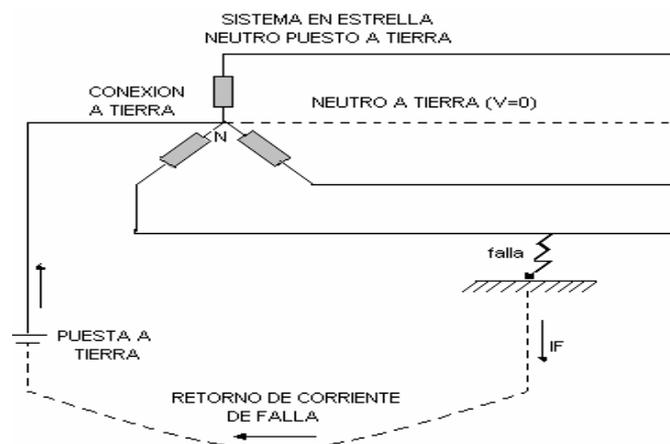


Figura 2.4 Esquema de un sistema solidamente puesto a tierra

2.5.3.2 Aislados o no Puestos a Tierra

Es un sistema, circuito o aparato, sin una conexión intencional. Este tipo de sistemas en realidad, acople a tierra por medio de las

capacitancias distribuidas de sus fases y conductores. La figura 2.5, muestra un sistema aislado.

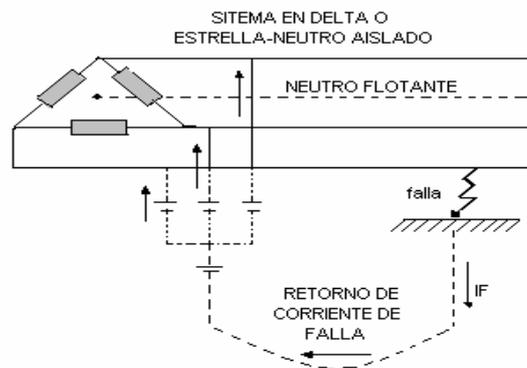


Figura 2.5 Esquema de un sistema con neutro aislado

2.6 LIMITACIONES INTRÍNSECAS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Se debe prestar atención al hecho de que un sistema de puesta a tierra tiene una conductancia límite para un área determinada y esto es básico para evitar un gasto inútil de materiales y mano de obra tratándose de lograr una conductancia que prácticamente es inalcanzable. Si bien es cierto que conviene aprovechar tanto como sea posible el área que disponemos para este propósito, no es menos cierto que debemos hacer un uso efectivo de los electrodos o conductores de la malla toda vez que ello significa una importante erogación en materiales y mano de obra.

Aumentar el número de jabalinas por encima de cierto número es un gasto inútil debido a que el aumento de conductancia que se consigue es prácticamente despreciable. Algo similar ocurre si se trata de una malla de puesta a tierra. En síntesis, dados:

- El suelo con la conductividad que le es propia.
- Las dimensiones de los electrodos.
- Un valor definido de la conductancia total deseada.

Es necesario verificar si con el área de que disponemos podremos alcanzar el valor deseado de conductancia, haciendo un uso económico de los electrodos o de los conductores de la malla. Si no es así, seguramente será más económico y más efectivo, aumentar el área que implantar más electrodos o adicionar más conductores a la malla dentro del área prevista inicialmente. Si no es posible el aumento del área, la única alternativa será la modificación de la resistividad del suelo.

2.7 MALLA DE PUESTA A TIERRA.

Una malla de puesta a tierra es un sistema de electrodos de tierra formado por conductores desnudos, interconectados y enterrados, de modo de proporcionar una puesta a tierra común a los equipos y estructuras metálicas de una instalación. Puede estar conectada a electrodos auxiliares para disminuir su resistencia de tierra.

2.7.1 Funciones de la Malla de Tierra

-Proteger a los individuos, limitando las tensiones de toque y paso a valores aceptables en las vecindades de la instalación durante condiciones de corto circuito.

-Proporcionar un medio para disipar la corriente eléctrica en la tierra bajo condiciones normales o de cortocircuito, sin exceder ningún límite operacional de los equipos o afectar adversamente la continuidad del servicio.

-Asegurar el buen funcionamiento de los equipos de protección de una red, lo cual garantizara el adecuado aislamiento de las porciones de dicha red que estén en falla.

- Minimizar la interferencia de los equipos de transmisión y distribución sobre los sistemas de comunicaciones y control.

- Mantener ciertos puntos de una red a un nivel de potencial definido con referencia a la tierra.

- Evitar las descargas eléctricas estáticas en atmósferas explosivas.

- Proteger la red contra los efectos de las descargas atmosféricas.

- Permitir la utilización de la tierra como camino de retorno en la transmisión de energía en corriente continua.

2.7.2 Aspectos Básicos en el Diseño de la Malla

El análisis conceptual de una malla de tierra usualmente empieza con la inspección de la planta general de la subestación, mostrando los equipos principales y estructuras. Para establecer las ideas básicas y conceptos, los siguientes puntos sirven como guía para comenzar con el diseño de una malla de tierra típica.

Un conductor continuo en forma de lazo debe rodear el perímetro de la subestación de tal forma que encierre la mayor área posible. Esta medida ayuda a evitar alta concentraciones de corrientes y, por lo tanto, altas diferencias de tensión en el área de la malla y cerca de los tramos finales de los cables de la malla.

Dentro del lazo, los conductores deben colocarse en líneas paralelas y, en lo posible, a lo de estructuras y filas de equipos, de tal forma que se tengan las conexiones mas cortas.

Una malla típica de una subestación puede estar conformada por conductores de cobre desnudo, enterrados como mínimo entre 0.3m y 0.5m bajo la capa de piedra, con un espaciamiento entre 3 a 15 m formando retículas. En cada punto de cruce, los conductores deben fijarse segura y apropiadamente.

Las varillas de puesta a tierra pueden colocarse en las esquinas de la malla y en la periferia. Pueden instalarse también adyacentes a los equipos de protección como pararrayos.

La malla debe extenderse sobre la totalidad del área de la subestación y, en ocasiones, por fuera de la cerca perimetral. Es usual disminuir la separación de los conductores en la periferia para mejor control de las tensiones de paso y toque.

Se debe prever una capa de piedra de alta resistividad sobre la superficie de toda la subestación. Esta capa puede tener un espesor entre 0.08m y 0.15m, con la finalidad de aumentar la resistencia de contacto entre el suelo y los pies de una persona que se encuentre en la subestación

Para ayudar a reducir la resistencia de la malla, se deben conectar los cables de guarda de las líneas de transmisión a la malla.

En sitios en los cuales es frecuente la presencia de personal de mantenimiento, como por ejemplo, adyacentes a mecanismos de operación de seccionadores, se debe instalar una esterilla de tierra.

2.8 DEFINICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA

La resistencia a tierra se puede definir como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la resistividad del terreno, las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.), también de la longitud y el área de los conductores.

El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto a potencial cero.

2.9 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA SEGÚN EL ÁREA DE LOS CONDUCTORES

En función a su profundidad:

A través de la figura 2.6, se puede calcular los efectos de la variación de la resistencia de tierra en función de la profundidad alcanzada por un electrodo.

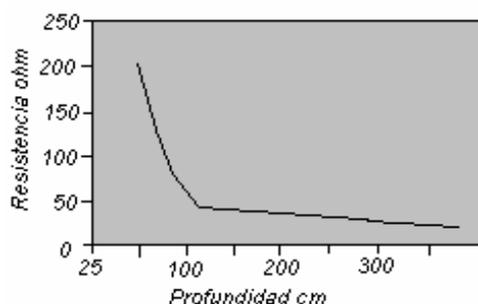


Figura 2.6 Variación de la resistencia en función de la profundidad del electrodo

La norma de instalaciones eléctricas CEN 250-83 especifica que la profundidad mínima de enterrado de una varilla debe ser de 2.4m.

Los electrodos de barras de hierro o acero tendrán como mínimo un diámetro de 5/8 de pulgadas (15,87mm). Las barras de acero inoxidable inferiores a 5/8 de pulgadas de diámetro, las de metales no ferrosos o sus equivalentes, deben estar aprobadas y ser de diámetro no inferior a 1/2 pulgadas (12,7mm).

En función del diámetro:

Ciertamente, la resistencia de un electrodo de una sección circular se reduce al incrementar su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

De acuerdo con la figura 2.7 que se muestra a continuación, se puede estimar gráficamente los valores de la resistencia en función del diámetro del electrodo.

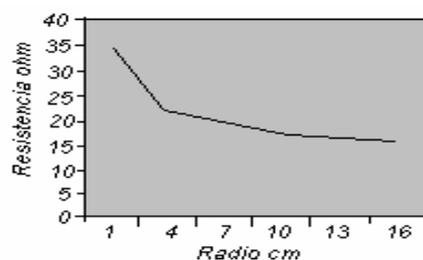


Figura 2.7 Variación de la resistencia en función del diámetro del Electrodo

2.10 RESISTIVIDAD DEL SUELO

La resistividad es una característica de los materiales que mide su oposición al flujo de corriente eléctrica. La resistividad se define como la tensión medida en los extremos de un cubo de 1m (V/m) dividido por la

corriente que atraviesa una sección cuadrada de un cubo de 1m (I/m^2); por lo tanto, el resultado es en unidades de Ωm .

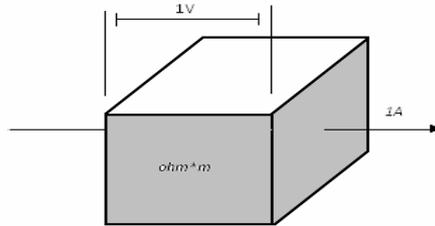


Figura 2.8 Resistividad de un cubo de terreno de 1m de arista

Donde:

Dimensiones de ρ :

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2.4)$$

$$\rho = \frac{R.S}{L} = \left(\frac{\Omega m^2}{m} \right) = \Omega m \quad (2.5)$$

Para el cubo de 1m de lado:

$$R(\Omega) = \rho \frac{1(m)}{S(m^2)} = \rho \frac{1(m)}{(1*1)m^2} = \frac{\rho}{1m} \quad (2.6)$$

Despejando ρ ,

$$\rho = R(\Omega m) \quad (2.7)$$

Donde:

R = Resistencia en (Ω)

ρ = Resistividad en ($\Omega.m$)

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 ésta 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.

2.11 INFLUENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO

La tierra representa generalmente un mal conductor (gran contenido de oxígeno 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.

2.12 ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Uno de los aspectos relacionados con las características del suelo es la corrosividad.

2.12.1 Corrosividad del Suelo

El tipo de corrosión que se presenta en los suelos se puede denominar de manera genérica como corrosión electroquímica, la que se produce si existen las condiciones mínimas necesarias como son dos materiales que puedan actuar como ánodo y cátodo respectivamente y un electrolito encargado de la transmisión de corriente. El suelo es un elemento en que tales elementos se pueden presentar de manera simultánea.

La corrosividad del suelo es dependiente de diversos factores dentro de los que podemos citar los siguientes:

-Porosidad:

Esta relacionada con la aireación que puede tener el suelo y es un factor dependiente de los tamaños de partículas (granulometría) y la composición mineralógica que el mismo tiene.

La porosidad del suelo es el elemento que viene a determinar la capacidad del suelo para retener agua, elemento que actuara como electrolito para los efectos de la corrosión. Así tendremos que la porosidad alta favorece la retención de agua y mayor aireación, lo que

incrementa el efecto corrosivo, mientras que una estructura granular favorece el paso del agua y por ende la disminución de la concentración de sales y con ello la corrosión del suelo.

-Concentración de materia orgánica:

Aquellos suelos con gran cantidad de materias orgánicas son capaces de retener gran cantidad de humedad y muy bajas o inexistentes cantidades de oxígeno. Cuando hay presencia de ácidos orgánicos, el suelo adquiere un carácter altamente corrosivo para metales como el hierro, cinc, plomo y cobre.

-Sales disueltas:

Las sales que son solubles en el agua son formadas principalmente por los iones de sodio, potasio, magnesio y calcio (Na^+ , K^+ , Mg^{++} y Ca^{++}) que se mezclan con las especies iónicas como Cl^- , OH^- , NO_3^- , CO_3^- , SO_4^- , etc, que también se encuentran en el suelo. Estos productos iónicos tienen un efecto favorable para la corrosión de la estructura metálica enterrada, lo que será mayor a medida que aumenta la concentración de los mismos, dado que aumenta la conductividad del suelo.

-Acidez (pH):

Es una medida de la acidez del suelo. Aquellos suelos que tienen mayor acidez suelen ser más corrosivos que los suelos con carácter alcalino.

La acidez del suelo es medida con base en la concentración de hidrogeniones, que puede variar marcadamente en función de la humedad y afectar sustancialmente la capacidad de disolución de sales.

El pH del suelo puede variar entre 3 y 9 normalmente y de acuerdo a la variación entre los mismos se puede obtener la siguiente clasificación mostrada en la tabla 2.1

Tabla2.1 Tipo de suelo de acuerdo al porcentaje de acidez

pH	Tipo de suelo
3-4	Muy ácido
4-5	Ácido
5-6	Moderadamente ácido
6,0-6,8	Ligeramente ácido
6,8-7,1	Neutro
7,1-8,0	Alcalino
8-9	Muy alcalino

-La resistividad:

Este factor, conjuntamente con la humedad, es el más influyente en la capacidad corrosiva del suelo.

En líneas generales se afirma que un suelo será más corrosivo a medida que sea más conductor y lo mismo se incrementará a medida que aumente la humedad.

En la tabla 2.2 se muestra una clasificación de los suelos según su resistividad.

Tabla 2.2 Clasificación de los suelos de acuerdo a la corrosividad

Resistividad (ohm/m)	Característica
0-10	Muy severamente corrosivo
10-30	Severamente corrosivo
30-100	Moderadamente corrosivo
100-500	Poco corrosivo
Mayor de 500	Baja probabilidad de corrosión

2.13 FACTORES QUE DETERMINAN LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores:

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

2.13.1 La Estratificación del Terreno

El suelo esta 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 asume 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.

En la figura 2.9 se observa que el comportamiento de la resistividad del terreno no es uniforme y depende de las características 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 etapa.

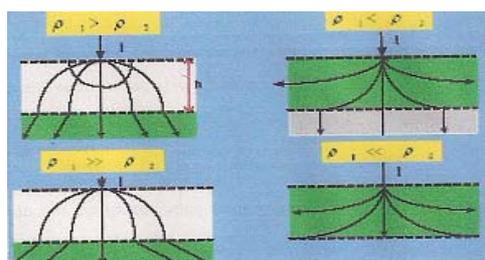


Figura 2.9 Influencia de la estratificación del terreno en la resistividad del mismo

2.13.2 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 el electrodo y el terreno y por ende es necesaria una compactación. En el siguiente gráfico 2.10 se muestra cualitativamente la influencia de la compactación del suelo, en la variación de la resistividad.

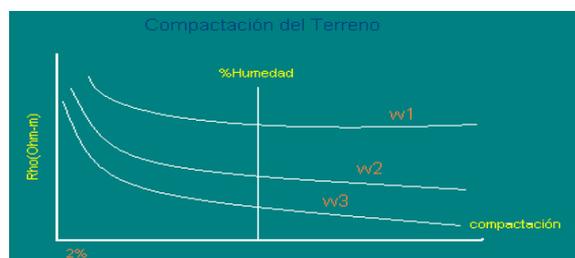


Figura 2.10 Variación de la resistividad del terreno en función de la compactación del mismo

2.13.3 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 de resistividad. Siendo el agua de mar la que presenta la mas baja resistividad.

Tabla 2.3 Valores de resistividad de algunos suelos

Naturaleza del terreno	Resistividad (ohm*m)
Agua de mar	2
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurasico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1.500 a 3.000
Calizas blancas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000

Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hielo	100.00

2.13.4 Humedad

La humedad es un factor que afecta inversamente la resistividad del suelo, a una mayor humedad menor es la resistividad del suelo; en otras palabras, los suelos secos presentan una alta resistividad, mientras que los suelos húmedos presentan una menor resistividad. Por lo tanto, sitios como riveras de ríos y costas marinas pueden presentar una baja resistividad del terreno.

En general, la humedad aumenta con la profundidad. Por otro lado, si el contenido de sales disueltas en el agua es bajo, no siempre una alta humedad en el suelo significa una baja resistividad. En el siguiente gráfico (figura 2.11) se puede observar la variación de la resistividad en función de la humedad, en una muestra de arcilla roja, con el porcentaje de humedad contenida.

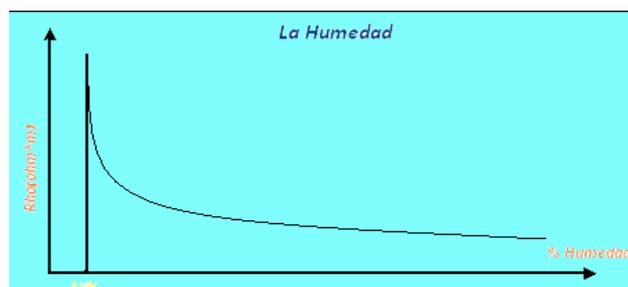


Figura 2.11 Variación de la resistividad en función al porcentaje de humedad.

2.13.5 La Temperatura del Terreno

La resistividad del suelo también es influenciada por la temperatura, la cual afecta de dos formas distintas:

Al aumentar la temperatura, disminuye la humedad del suelo aumentando la resistividad, sin embargo hay que tener en cuenta que esta fenómeno afecta mas la superficie del suelo, en las capas interiores del suelo la humedad es mas constante.

Por otro lado, la disminución de la temperatura iguales o menores a cero incrementa considerablemente el valor de la resistividad debido a que el agua contenida en el suelo se congela y el hielo como ya sabemos es un mal conductor.

En el siguiente gráfico, (figura 2.12) se puede observar como aumenta la resistividad de un terreno en función del descenso de la temperatura.

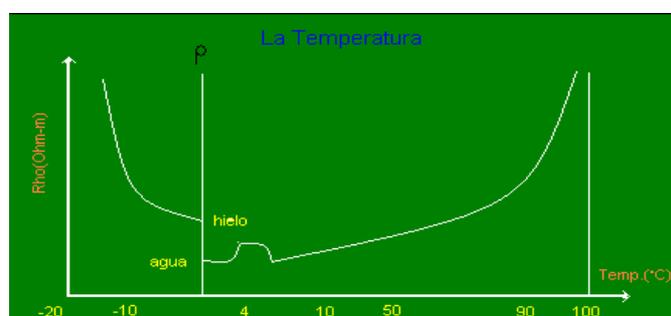


Figura 2.12 Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura.

2.13.6 La Concentración de las Sales Disueltas

Al presentarse una mayor concentración de las 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 riego excesivo o unas lluvias lavan el terreno y, por lo tanto, arrastras la sal que rodea los electrodos aumentando la resistividad.

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

En la figura 2.13 muestra la variación de la resistividad de un terreno en función del porcentaje de sal presente.

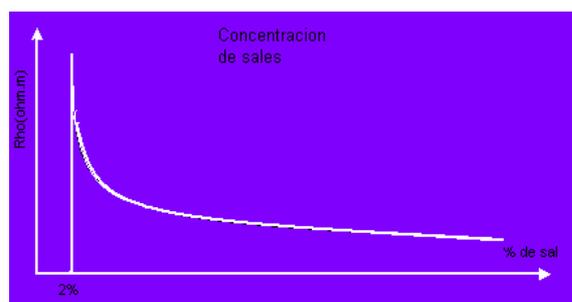


Gráfico2.13 Variación de la resistividad del terreno en función del % de sal.

2.14 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 llamada Telurómetro. A la profundidad que se entierran los electrodos de puesta a tierra (máximo 3,5 m) el suelo ésta compuesto mayormente de dos estratos:

- Un estrato superficial

- Un estrato subyacente

2.14.1 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 sierra y selva.

2.14.2 Un Estrato Subyacente

Constituido por conglomerados finos y pedregosos en la costa, así como rocosos y pedregosos en la sierra y selva alta.

2.15 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.

2.16 MÉTODOS DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD

Para un análisis real del terreno y de las puestas a tierra, 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 Schulumberger.

Configuración de Wenner.

2.16.1 Método de 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 (figura 2.14). El cálculo de la resistividad aparente a una profundidad dada, puede ser realizado utilizando cualquiera de las tres ecuaciones siguientes, aunque se puede recomendar el uso de la ecuación 2.11 a partir se obtiene:

$$\rho_a = \frac{2\pi r L}{\text{Ln} \frac{4L}{r} - 1} \quad (2.8)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{2L}{a} \quad (2.9)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Arcsenh} \frac{L}{a} \quad (2.10)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(L \frac{4L}{a} - L \right) \quad (2.11)$$

Donde:

ρ_a : Resistividad aparente para una profundidad L ($\Omega \cdot \text{m}$)

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

r: Radio del electrodo (m)

R: Valor medido de la resistencia (ohmios)

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

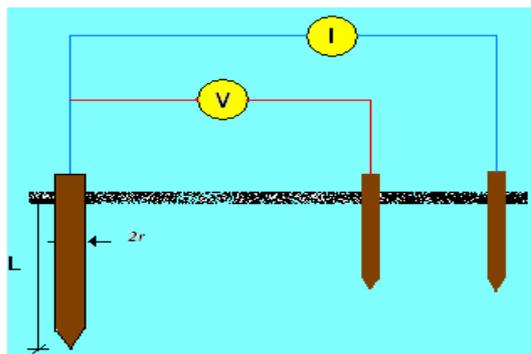


Figura 2.14 Método de tres electrodos para la medición de la resistividad.

2.16.2 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, teniendo en cuenta la (figura 2.15) es:

$$\rho = \frac{2\pi V}{I} * \frac{1}{\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)} \quad (2.12)$$

Donde:

V: Diferencia de potencial entre dos electrodos

I: Corriente inyectada

r1,r2,r3,r4: Distancia entre los electrodos de acuerdo a la (figura 2.15)

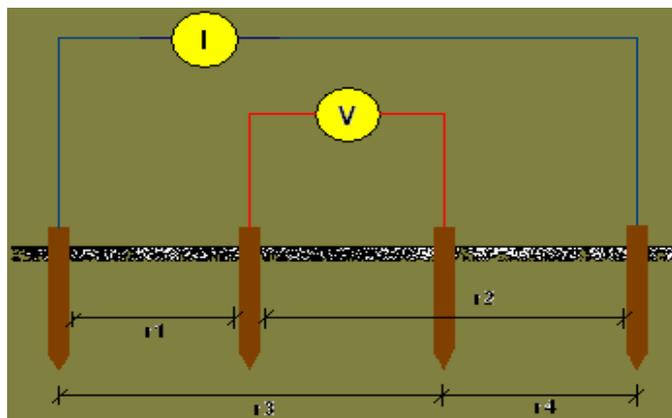


Figura 2.15 Medición de la resistividad por el método de los cuatro electrodos.

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 si 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.

2.16.2.1 Configuración de Schlumberger

Para esta configuración los cuatro electrodos se colocan en línea recta, manteniendo la separación entre los electrodos centrales o de potencial (a) constantes, mientras que los electrodos exteriores varían su separación a partir de los electrodos interiores, a distancias múltiplos de (na) de la separación base de los electrodos centrales (a) (figura 2.16)

La ecuación fundamental para este caso es:

$$\rho_{a_{Sch}} = \pi R \cdot n(n+1)a \quad (2.13)$$

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.

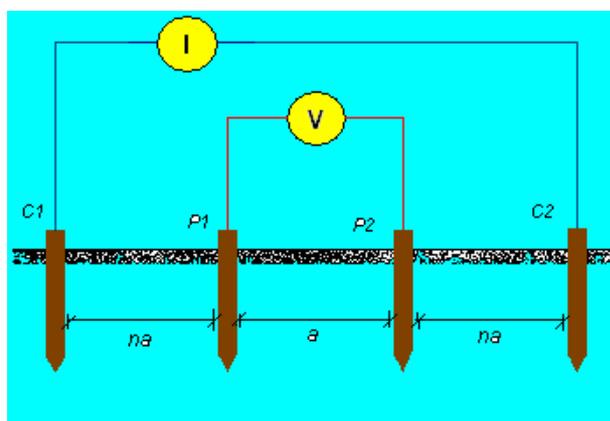


Figura 2.16 Configuración de schlumberger

2.16.2.2 Configuración de Wenner

Para esta configuración, los cuatro electrodos se colocan también en línea recta, con igual separación y profundidad de penetración en el terreno (figura 2.17). El método de medición está basado en la ecuación que se muestra desarrollada por el Dr. Frank Wenner, del cual se deriva el nombre del método, 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 de un valor de resistencia R. luego:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} \quad (2.14)$$

O también

$$\rho = \frac{4\pi a R}{n} \quad (2.15)$$

Donde:

ρ : Resistividad del terreno (ohm-m)

R: Resistencia medida (ohmios)

a : Distancia entre los electrodos(m)

b : Profundidad de penetración de los electrodos (m)

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

Si hacemos $b > a$ la segunda ecuación puede aproximarse a:

$$\rho = 4\pi a R \quad (2.16)$$

Y si hacemos $b < a$

$$\rho = 2\pi aR \quad (2.17)$$

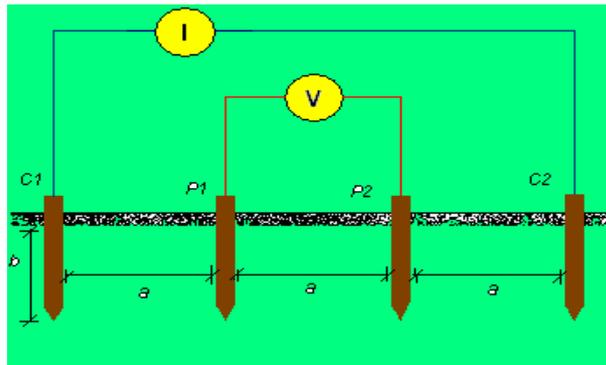


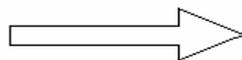
Figura 2.17 Configuración de Wenner

En la configuración de Wenner, los electrodos de corriente (C) y los de potencial (p) pueden tener 3 arreglos alternativos, sin alterar el resultado de la resistividad que se va a medir, siempre y cuando se aplique la expresión adecuada. Estos arreglos son mostrados a continuación.

Arreglos alternativos de la configuración WENNER

C-P-P-C

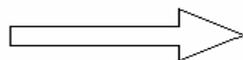
P-C- C-P



$$\rho = 2\pi aR1 \quad (2.18)$$

C-C-P-P

P-P-C-C



$$\rho = 6\pi aR2 \quad (2.19)$$

Siendo el más frecuente utilizado para las mediciones el arreglo C_P_P_C.

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 de corriente también lo hacen los de potencial.

2.17 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Todo lo descrito hasta ahora son solo tópicos necesarios para realizar la evaluación y diseño del sistema de puesta a tierra, y como debe de esperarse hay que realizar mediciones de resistividad del suelo y resistencia de la malla de puesta a tierra en todas las subestaciones y posteriormente los resultados obtenidos deben ser interpretados. A continuación se describen los criterios y métodos necesarios para tal fin. Al graficar los valores de resistividad vs longitud, se pueden obtener distintos tipos de curvas, dependiendo de los estratos del suelo, como se observa en la Figura 2.18

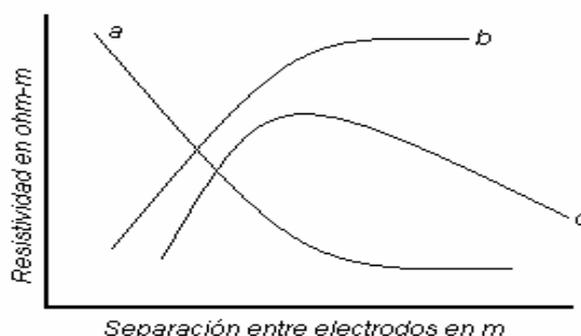


Figura 2.18 Curvas típicas de resistividad del terreno

En la figura 2.18, se observa tres tipos de curvas, cada una representa lo siguiente, las curvas a y b, representan un suelo estratificado de dos capas y la curva c, representa un suelo estratificado de tres capas. Hasta el momento, los métodos más eficaces suponen modelos estratificados de dos capas, en los que deben conocerse: la resistividad de la primera capa, su profundidad y la resistividad de la segunda capa.

Estos modelos son obtenidos utilizando métodos diversos, sin embargo, los de mayor aplicación son:

El método de Tagg.

La comparación de los gráficos obtenidos con curvas patrones.

Para efectos de este proyecto, el método seleccionado fue el método de Tagg, por normativa de CADAFFE, cuyo procedimiento se explica a continuación.

2.17.1 Método de Tagg

Una curva típica de resistividad aparente del terreno se muestra en la figura 2.19

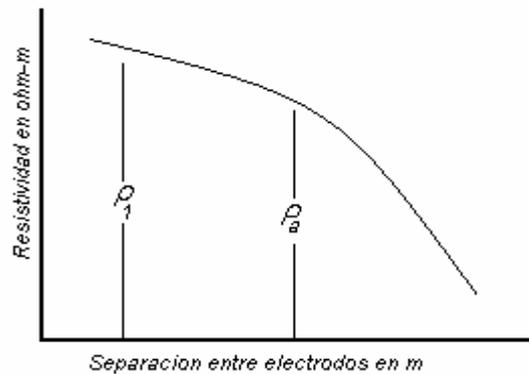


Figura 2.19 Curva más común de resistividad aparente

Por medio de esta curva de resistividad aparente, se puede determinar los parámetros para modelos de dos estratos (ρ, ρ_s, h), como se muestra en la figura 2.20

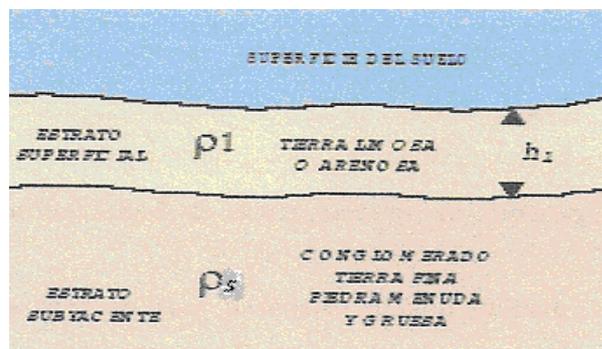


Figura 2.20 Modelo de suelo bi-estratificado

Donde:

ρ_1 : Resistividad de la primera capa (superior), en $\Omega \cdot m$.

ρ_s : Resistividad de la segunda capa (inferior), en $\Omega \cdot m$.

h : Altura de la primera capa, en m.

K : Factor de reflexión; $K = (\rho_s - \rho_1) / (\rho_s + \rho_1)$.

Es importante resaltar, que podrían esperarse dos formas típicas para las curvas de resistividad aparente vs separación de los electrodos,

esto va a depender de cual estrato tiene mayor resistividad específica. Si las formas de las curvas es decreciente, entonces la resistividad del primer estrato es mayor que la del segundo ($\rho^1 > \rho^2$) y el factor de reflexión K sería negativo, mientras que si su forma es creciente la resistividad del primer estrato es menor a la del segundo ($\rho^1 < \rho^2$) y tendría un factor de reflexión positivo. En la figura 2.21, se observa lo comentado.

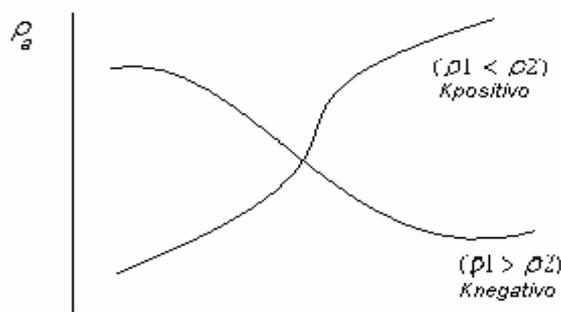


Figura 2.21 Curvas más comunes según el valor de K

Inicialmente para ambos tipos de curvas, se busca el valor de ρ^1 , extrapolando la curva hacia atrás, hasta tocar el eje ρ^a , siendo este valor de ρ^1 . Cuando por la forma de la curva, sea muy difícil extrapolar, entonces se toma el valor promedio de las resistividades aparentes para las primeras mediciones, es decir, para pequeñas separaciones entre los electrodos, tomando el valor promedio como ρ^1 .

Luego, para separación de electrodos "a" la resistividad aparente es ρ^a . Una vez encontrado ρ^1 , se procede a obtener relaciones de resistividad aparente (leídas en la curva) entre resistividad específica del primer estrato (ρ^1), de la forma siguiente:

Quando la curva tenga forma decreciente (K negativo), se leen valores de ρ^a para distintas separaciones de los electrodos "a", luego se calculan relaciones de ρ^a / ρ^1 .

Quando la curva tenga forma creciente (K positivo), se leen valores de ρ^a para distintas separaciones de los electrodos "a", pero la relación a calcular es de σ^a / σ^1 .

Donde:

σ^a = Conductividad aparente para separación de los electrodos "a"

$$\sigma^a = 1 / \rho^a$$

ρ^1 = Conductividad específica del primer estrato del terreno.

$$\rho^1 = 1 / \sigma^1$$

De las relaciones de ρ^a / ρ^1 ó σ^a / σ^1 , se obtienen datos de h/a para valores de K, por medio de gráficas estándares, las cuales se muestran en las figuras 2.22 y 2.23

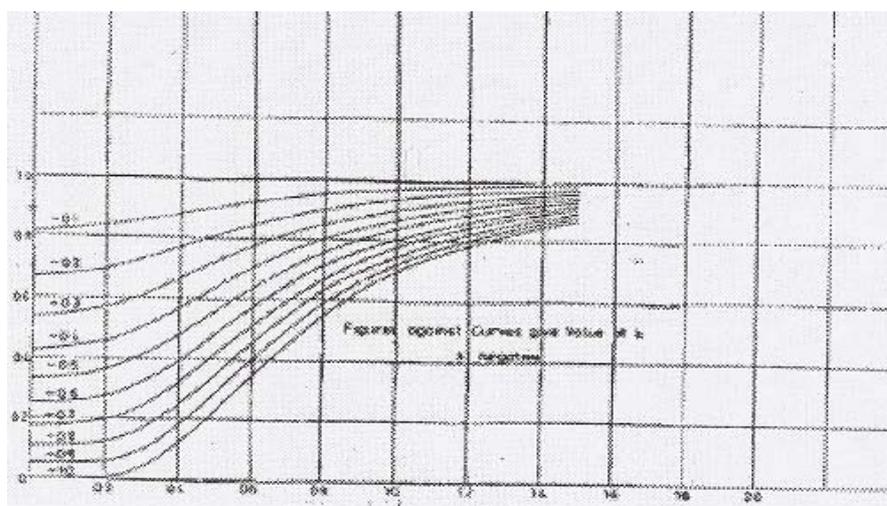


Figura 2.22 Curvas estándares para valores negativos de K

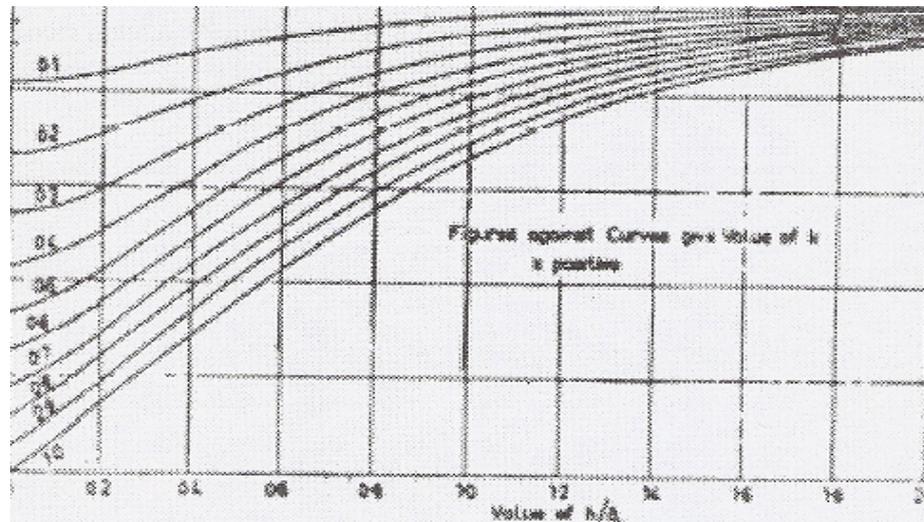


Figura 2.23 Curvas estándares para valores positivos de k

Los valores de h , resultan de multiplicar la relación h/a obtenida de la gráfica, por la separación de los electrodos “ a ” propia de cada relación ρ_a/ρ_1 ó ρ_a/σ_1 . El resultado de este proceso, es un juego de datos de K con respecto a h , los cuales se grafican en forma de curva, que se muestran en la figura 2.24. Mientras mayor sea el número de curvas, mayor será el grado de exactitud.

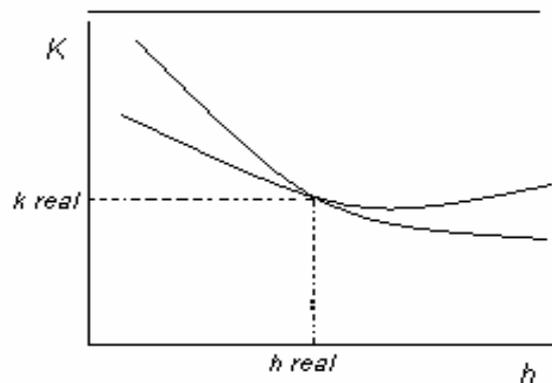


Figura 2.24 Curvas de K vs h

Como se observa en la figura 2.24, al graficar los valores h vs K , se obtiene un punto de intersección de las curvas, en el cual resulta ser el

valor verdadero o esperado de h y K del suelo en estudio. Finalmente, con los valores de ρ^1 , h y K , se despeja el valor de ρ_s de la ecuación 2.25.

2.18 PUESTA A TIERRA EN SUBESTACIONES

La puesta a tierra en las subestaciones, es de vital importancia, ya que, su función primordial es proteger al personal y a los equipos de la misma, en condiciones normales y de falla.

Los gradientes de potencial que se presentan, dependen de la geometría y la localización de los electrodos, características del terreno local y de otros factores, que determinan lo apropiado o no del sistema.

Durante condiciones típicas de fallas a tierra, el flujo de corriente a tierra produciría gradientes de potencial dentro y alrededor de la subestación. Estos gradientes podrían ser máximos a lo largo de la superficie del terreno, bajo condiciones muy adversas, poniendo en peligro a cualquier persona que se encuentre en el lugar.

También, diferencias de potencial dañinas existen algunas veces durante una falla, entre estructuras o carcasas de equipos puestos a tierra. Los gradientes creados en el terreno, producen perfiles de potencial superficiales, que tienen efecto primario en las diferencias de potencial anteriormente nombradas. Estas se denominan:

- Voltajes de paso.
- Voltaje de toque.
- Voltajes de malla.
- Voltajes transferido.

2.18.1 Voltaje de Paso

Se define como la diferencia de potencial superficial experimentado por una persona, cubriendo una distancia de (1) metro con sus pies, sin entrar en contacto con otro objeto a tierra, como se muestra en la figura 2.25

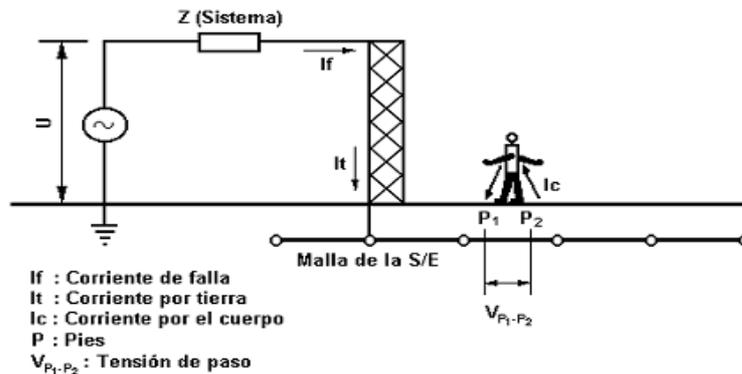


Figura 2.25 Voltaje de paso

2.18.2 Voltaje de Toque

Es la diferencia de potencial entre el voltaje máximo que la red de puesta a tierra de la subestación podría alcanzar, con relación a un punto distante tomado como referencia y el potencial superficial en el punto donde está parada una persona, que en ese momento tiene sus manos en contacto con una estructura de puesta a tierra, como se muestra en la figura 2.26.

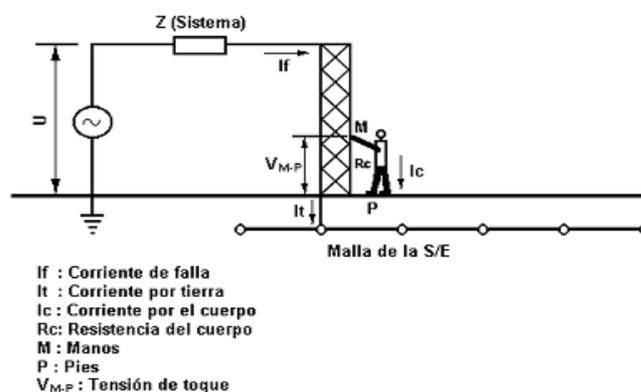


Figura 2.26 Voltaje de toque

2.18.3 Voltaje de Malla

Es el máximo voltaje de toque encontrado dentro de una malla o red de puesta a tierra.

2.18.4 Voltaje Transferido

Es un caso especial del voltaje de toque. Típicamente ocurre cuando una persona parada dentro del área de la subestación, toca un conductor puesto a tierra para un punto remoto o una persona parada en un punto remoto, toca un conductor conectado hasta la red de puesta a tierra en la subestación.

Una vez definidos esos términos, se deben establecer criterios para estos voltajes, que garanticen la seguridad de las personas. Los voltajes motrices máximos de cualquier circuito accidental, tendrían los siguientes límites:

-Para el voltaje de paso:

$$E_{\text{paso}_{50}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{ts}} \quad (2.20)$$

$$E_{\text{paso}_{70}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{ts}} \quad (2.21)$$

Donde:

$E_{\text{paso}_{50}}$: voltaje de paso máximo permisible, peso del cuerpo humano de 50Kg. (110 libras)

$E_{\text{paso}_{70}}$: voltaje de paso máximo permisible, peso del cuerpo humano de 70Kg. (155 libras)

-Para el voltaje de toque permisible tenemos:

$$\text{Etoque}_{50} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{ts}} \quad (2.22)$$

$$\text{Etoque}_{70} = (1000 + 1.5C_s\rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{ts}} \quad (2.23)$$

Donde:

Etoque50: voltaje de paso máximo permisible, peso 50Kg.

Etoque70: voltaje de paso máximo permisible, peso 70Kg.

C_s : Factor de reducción que depende del espesor de la capa de piedra de la superficie de la subestación h_s y del factor de reflexión k . C_s se determina a través de la figura 2.27

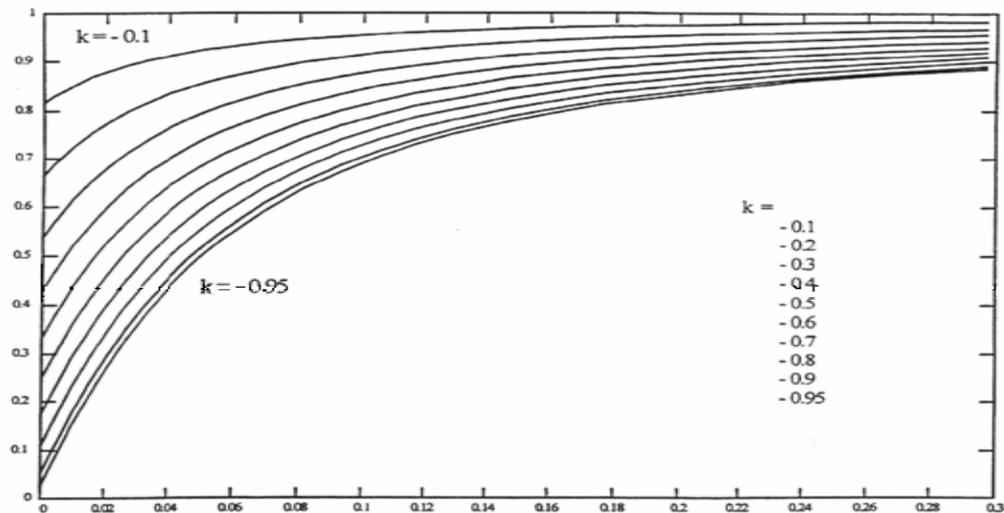


Figura 2.27 Curva estándar para estimar el valor de C_s , función del factor K y del espesor de la piedra picada

Los valores de C_s también se pueden obtener utilizando la siguiente ecuación que están dentro del 5% de los valores que se obtienen con el método gráfico.

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \quad (2.24)$$

K: Factor de reflexión. Se determina por medio de la siguiente fórmula, para el modelo de suelo de dos capas.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (2.25)$$

ρ_s : Resistividad de la capa de piedra de la superficie de la subestación; los valores típicos se encuentran en el rango de los $2000 \Omega.m$ y $5000 \Omega.m$

ρ : Resistividad del terreno $\Omega.m$

ts: Duración de la corriente de shock, en segundos.

hS: Espesor del material superficial en m

2.19 DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA CORRIENTE DE FALLA A TIERRA O CORRIENTE DE MALLA

En primer lugar, por medio de cálculos de cortocircuitos se obtiene la máxima corriente de falla a tierra que fluye por la malla de la subestación. Luego, la corriente seleccionada para el diseño de la malla IG, se obtiene de la siguiente forma:

$$IG = Sf \cdot Df \cdot Cp \cdot If \quad (2.26)$$

Donde:

Sf: factor de reducción o de división de la corriente de falla a tierra.

Df: Factor de corrección o de decremento que toma en cuenta el efecto de la corriente DC desplazada, es una componente de la corriente de falla asimétrica.

Cp: Factor de corrección para tomar en cuenta el crecimiento futuro del sistema.

If: corriente de falla RMS asimétrica en Amperios.

2.19.1 Factor de Reducción o División de Corrientes de Falla (Sf).

El proceso de verificación consiste en realizar una presentación equivalente de cables de guarda, los neutros, etc., conectados a la malla, y determinar que fracción de la corriente de falla total fluye entre la malla y la tierra, y que porción se irá por los cables de guarda y los neutros. (Figura 2.28). El factor Sf depende de diversos parámetros, algunos de los cuales son:

-Ubicación de la falla a tierra.

-Magnitud de la resistencia de la malla.

-Cables y tubos enterrados en la vecindad, o directamente conectados o ambos al sistema de tierra.

-Cables de guarda, neutros u otras rutas de retornos para la corriente de falla.

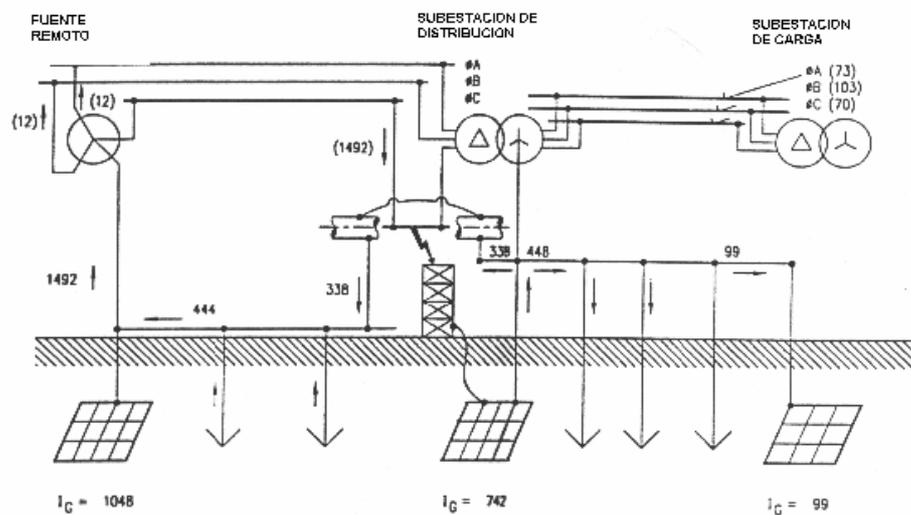


Figura 2.28 división de corriente típica para una falla del lado de alta de la subestación de distribución.

En el anexo 1 se muestran los valores aproximados para distintos números de circuitos de transmisión y distribución.

2.19.2 Factor de Corrección o Decrecimiento de la Corriente de Falla Asimétrica (Df).

El factor de decrecimiento (Df), es una medida de la forma de onda de la corriente de falla asimétrica, durante los primeros ciclos. La componente DC decae exponencialmente y esto es conocido como corriente DC desplazada. Para duraciones de la falla de aproximadamente dos ciclos o menos, la componente AC de la onda asimétrica está claramente determinada por la impedancia subtransitoria. Para fallas de duración de aproximadamente 6-60 ciclos, la componente AC, está determinada por la impedancia transitoria. Df viene dado por:

$$Df = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}} \right)} \quad (2.27)$$

Donde:

t_f : Tiempo de duración de la falla en segundos

T_a : Constante subtransitoria equivalente del sistema en segundos

$$T_a = \frac{X}{\omega R} \quad (2.28)$$

ω : frecuencia angular (rad/segundos)

X/R : corresponde a la relación X/R del sistema en el punto de falla para un tipo de falla dado, donde X y R son las componentes subtransitoria del sistema.

Para duraciones de fallas relativamente grandes, el efecto de la compensación de DC se puede asumir que esta más que compensado por la disminución de la componente subtransitoria de AC. Un factor de decremento 1,0 se puede utilizar para duraciones de fallas de 30 ciclos o más. En la tabla 2.4 se ilustra varios valores de D_f en función de t_f y X/R .

Tabla 2.4 Valores típicos de D_f

Duración de la falla		Factor de decremento Df			
t_f		X/R=	X/R=	X/R=	X/R=
(s)	Ciclos a (60H z)	10	20	30	40
0,0033	0,5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,462	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101
0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

2.19.3 Factor de Corrección para el Crecimiento del Sistema a Futuro Cp.

El factor de corrección del sistema a futuro, es una medida del crecimiento del sistema con lo cual se incrementa el valor de la corriente de falla. Este factor es un tanto difícil de determinar. Por ejemplo, si añadimos una línea de distribución a una subestación eléctrica, esto resultaría un aumento de la corriente de falla, la cantidad de corriente en la tierra puede disminuirse por los cables de guarda o de tierra de la nueva línea que presenta una ruta adicional de conducción para la corriente de falla, esto si la línea posee cable de guarda.

En la tabla 2.5 se muestran los valores típicos utilizados para C_p .

Tabla 2.5 Valores típicos de C_p

Futura expansión	C_p
Permanece igual	1
Expansión futura	1,5
Expansión futura	2

2.19.4 Valor RMS de la Corriente Simétrica de Falla a Tierra.

Para el caso de una falla de línea a tierra, la corriente I_f puede ser calculada como tres veces el valor de la corriente de falla de secuencia cero ($3I_0$), la cual puede ser calculada como:

$$I_f = \frac{3E}{3R_f + (R_1 + R_2 + R_0) + j(X_1 + X_2 + X_0)} \quad (2.29)$$

Donde:

R_1 , R_2 , R_0 y X_1 , X_2 , X_0 , son las reactancias de secuencias cero, positivas y negativas en el lugar de la falla. En la mayoría de los casos las

resistencia en la ecuación son asumidas cero y R_f es asumida igual a cero.

2.20 VOLTAJE DE PASO PELIGROSO EN LA PERIFERIA (ES)

Dentro de la malla, los voltajes pueden disminuirse (en un valor) para cualquier valor deseado, disminuyendo los intervalos de retículas de malla. Ellos pueden hacerse cero en la teoría limitándolo al caso de una placa sólida.

La situación es diferente en la zona inmediatamente externa en la periferia de la malla, donde el problema puede existir aún teóricamente para una placa sólida. Afortunadamente, una subestación puede diseñarse para eliminar la posibilidad de contacto de toque más allá de la periferia del sistema de puesta a tierra y las limitaciones sobre potenciales de paso son menos exigentes.

Se ha desarrollado en la actualidad, una fórmula bastante precisa la cual toma en consideración la profundidad de enterramiento, el espaciamiento, y en la que el voltaje de paso en la periferia viene definido como:

$$E_s = K_s K_i \rho \frac{IG}{L} \quad (2.30)$$

Donde:

K_s =Factor de espaciamiento que toma en consideración el espaciamiento y la profundidad de enterramiento de los conductores de la malla.

K_i = Factor de corrección de irregularidad.

$L = L_c + L_r$ (para mallas con pocas barras de puesta a tierra en el perímetro)

$L = L_c + 1.5L_r$ (para mallas con barras de puesta a tierra predominantes en el perímetro)

L_c = Longitud total del conductor de la malla.

L_r = Longitud total de las barras de puesta a tierra.

ρ = Resistividad promedio del terreno, en $\Omega \cdot m$.

I_G = Máxima corriente RMS en amperios fluyendo entre la malla y tierra.

Si los potenciales internos son mantenidos dentro de los límites tolerables, y si la resistividad de la superficie es comparable dentro y fuera de la cerca, los potenciales de paso en la periferia son pocas veces un problema, especialmente porque los voltajes de paso son siempre permisibles.

Se estima por simplicidad, que el máximo voltaje de paso ocurre a una distancia igual a la profundidad de la malla h , justo fuera del conductor del perímetro.

2.20.1 Factor de Espaciamiento para el Voltaje de Paso (K_s)

En vista que el voltaje de paso disminuye rápidamente con el crecimiento de la profundidad, se han derivado expresiones diferentes para el cálculo de K_s dependiendo de la profundidad de enterramiento h . por lo que, para una profundidad usual comprendida entre $0,25 < h < 2,5$ en metros se tiene que:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{N-2}) \right] \quad (2.31)$$

Y para $h < 0,25$ tenemos

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} W \right] \quad (2.32)$$

Donde:

$$W = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} \dots + \frac{1}{N+1} \quad (2.33)$$

Y si $N \geq 6$ entonces

$$W = \frac{1}{2(N-1)} + \ln(N-1) - 0.423 \quad (2.34)$$

2.20.2 Factor de Corrección de Irregularidad (Ki).

Este es un factor de corrección, que toma en cuenta la no uniformidad del flujo de corriente en las diferentes partes de la malla. Su presencia es necesaria en vista de que el desarrollo del modelo matemático compuesto por “n” conductores no se toma en cuenta completamente los efectos de la geometría de la malla, esto para dos grupos de conductores paralelos que son perpendiculares entre sí y están conectados en los puntos de intersección.

El valor de Ki se puede determinar a través de la ecuación siguiente:

$$K_i = 0.656 + 0.172N \quad (2.35)$$

$N = \sqrt{N_a \cdot N_b}$; Número de conductores perpendiculares a la mayor dirección.

$$N_a = \frac{L_a}{D} + 1 \quad (2.36)$$

$$N_b = \frac{L_b}{D} + 1 \quad (2.37)$$

La= Lado menor de la malla
 Lb= Lado mayor de la malla
 D= Espaciamiento entre conductores

2.21 VOLTAJE DE TOQUE PELIGROSO EN LA PERIFERIA (ET)

El voltaje de toque en la periferia considerado, es la diferencia de potencial en voltios, que se produce en el centro de una retícula de la esquina de la malla de puesta a tierra. Esta consideración se remite al hecho de que en las esquinas de la malla es donde se producen los gradientes de potencial más peligrosos. La ecuación que nos permite conseguir el valor de este voltaje, viene dada por la siguiente expresión:

$$E_t = K_m K_i \rho \frac{I_G}{L_s} \quad (2.38)$$

Donde:

$$L_s = 0,75L_c + 0,85L_r \quad (2.39)$$

K_m = factor de espaciamento para el voltaje de toque.

Cuando el arreglo incluye barras de puesta a tierra en el perímetro tenemos entonces, que el voltaje de toque viene expresado como:

$$E_t = \frac{K_m K_i I_G}{L_c + 1.5L_r} \quad (2.40)$$

El factor 1.5 refleja el hecho de que la corriente es más alta en las barras de aterramiento del perímetro que en los conductores de la malla.

2.21.1 Factor de Espaciamento para el Voltaje de Toque (K_m)

Este factor toma en consideración el espaciamiento D , el diámetro del conductor d , y la profundidad h de la malla de puesta a tierra. Su valor en términos de estos parámetros está dado por la ecuación siguiente:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2N-1)} \right] \quad (2.41)$$

Donde:

$K_{ii}=1$; para mallas con barras de aterramiento a lo largo del perímetro o para mallas con barras de aterramiento en las esquinas, como también a lo largo del perímetro y a través del área de la malla. Para mallas sin barras o mallas con solamente unas pocas barras, ninguna en las esquinas o sobre el perímetro entonces:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2N)^{\frac{2}{N}}} \quad (2.42)$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{h}{h_0}\right)} \quad (2.43)$$

Donde:

$h_0 = 1\text{m}$ (profundidad de referencia de la malla)

$N =$ Numero de conductores perpendiculares a la mayor dirección.

2.22 RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (RG).

En el cálculo de la resistencia de mallas de tierra existen una gama de métodos de cálculos. Partiendo de métodos de aproximados relativamente rudimentarios se llega a métodos cada vez más elaborados y complejos.

La elección entre uno u otro método será función del caso particular y principalmente de la exactitud que presente dicho método a utilizar,

gracias al beneficio que representa el manejo de una técnica que adapte el sistema lo más cercano a la realidad.

Entre los métodos usados con mucha mas frecuencia para determinar la resistencia aproximada de una malla de aterramiento están, el método de Laurent, el método de Sverak y el método de Schwarz.

Para efecto de este trabajo solo se estudiara el meto de Sverak y el método de Schwarz.

Un buen sistema de aterramiento provee una baja resistencia a la tierra remota para minimizar el incremento de potencial a tierra. Para la mayoría de las subestaciones de transmisión y otras más grandes, la resistencia a tierra es comúnmente de $1\ \Omega$ ó menos. En subestaciones de distribución más pequeñas el rango que comúnmente se acepta es de $1\ \Omega$ hasta $5\ \Omega$, dependiendo de las condiciones del lugar.

2.22.1 Resistencia de Sverak

Mediante este método se calcula la resistencia del sistema de tierra tomando en cuenta el área ocupada por el reticulado, la profundidad de enterramiento, y la longitud total de conductores utilizados para dicho reticulado.

En el caso de una rejilla con varillas en el suelo uniforme, una combinación de la longitud de conductores horizontales y las varillas de tierra nos proporcionara el estimado de la longitud total de conductores, ya que las varillas de tierra normalmente son mas efectivas en una longitud base por unidad. La resistencia de Sverak viene dada por:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (2.44)$$

Donde:

ρ = resistividad del suelo, en Ω -m.

A= Área de la malla, en m².

LT= Longitud de los conductores enterrados, en m.

h= Profundidad de enterramiento de la malla, en m.

2.22.2 Resistencia de Schwarz

Mediante este método se determinan separadamente las resistencias a tierra del reticulado del conjunto de barras y la resistencia mutua del reticulado de barras. La resistencia total de un sistema compuesto por retículas y barras es más baja que la resistencia de cualquier combinación en paralelo y viene dada por Schwarz como:

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (2.45)$$

Donde:

R1= Resistencia de los conductores de la red.

R2= Resistencia de todas las barras de puesta a tierra.

Rm= Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la red y el grupo de barras de puesta a tierra.

Schwarz, desarrolló el conjunto de ecuaciones para R1, R2 y Rm, las cuales vienen dadas por:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{h'} \right) + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad (2.46)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi * N_R L_E} \left[\ln \left(\frac{4L_E}{b} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_E (\sqrt{N_R} - 1)^2}{\sqrt{A}} \right] \quad (2.47)$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{L_E} \right) + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$$

(2.48)

Donde:

ρ = Resistividad del suelo, en Ω -m.

LC= Longitud total de todos los conductores de la rejilla, en m.

$h' = \sqrt{h \cdot d}$, para conductores enterrados a una profundidad h , en m.

$h' = 0,5d$, para conductores en la superficie del terreno, en m.

A= Área cubierta por la red, en m.

LE= Longitud promedio de cada barra, en m.

NR= Número de barras de puesta a tierra localizadas en el área, en m.

b= Diámetro de las barras de puesta a tierra, en m.

K1, K2= Constantes relacionadas con la geometría del sistema.

Las constantes K1 y K2, se obtienen de las graficas dadas por Schwarz, las cuales se muestran en la figura 2.29.

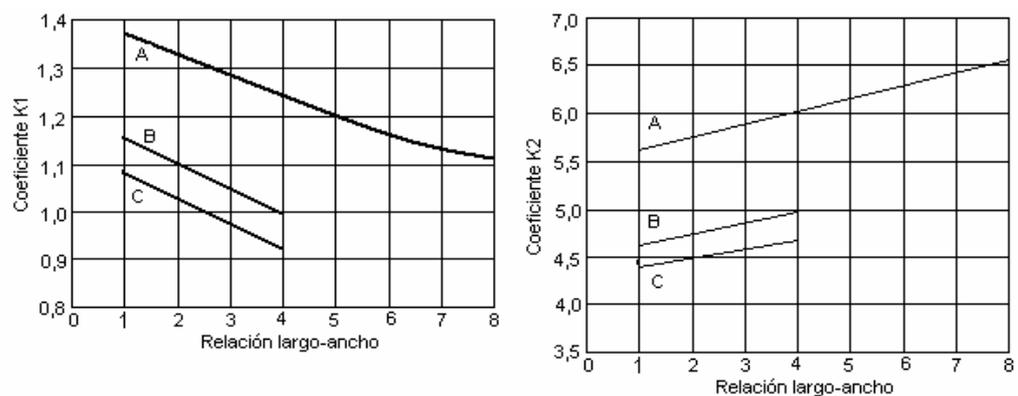


Figura 2.29 Gráficas para determinar las constantes geométricas dadas por Schwarz.

En la gráfica se establece lo siguiente:

Para una profundidad de $h=0$: (Curva A)

$$K1 = -0.05a/b + 1.41 \quad (2.49)$$

$$K2 = -0.05a/b + 5.50 \quad (2.50)$$

Para una profundidad de $h = 1/10 \sqrt{A}$ (Curva B)

$$K1 = -0.05a/b + 1.20 \quad (2.51)$$

$$K2 = -0.10a/b + 4.68 \quad (2.52)$$

Para una profundidad de $h = 1/6 \sqrt{A}$: (Curva C)

$$K1 = -0.05a/b + 1.13 \quad (2.53)$$

$$K2 = -0.05a/b + 4.40 \quad (2.54)$$

2.23 DETERMINACIÓN DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR

El calibre del conductor se determina por medio de la ecuación contenida en el Std.IEEE 80-2000, que a continuación se mostrará. La corriente de falla I_g deberá ser la corriente máxima de falla esperada y que podrá ser conducida por el conductor del sistema de tierra, la duración de la corriente de falla deberá reflejar el máximo tiempo de liberación de la falla. La siguiente ecuación determina el área de la sección transversal.

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c} \quad (2.55)$$

Donde:

I_g = Valor RMS de la corriente máxima de falla, en KA.

t_C = Duración de la corriente, en segundos.

K_f = Constante de la tabla 2.6, para los materiales de varios valores de temperatura de fusión (T_m) y temperatura ambiente 40°C (T_a).

Tabla 2.6 Constante de los materiales

Material	Conductividad(%)	$T_m(^\circ\text{C})$	K_f
Cobre destemplado con suave trazado	100,0	1083	7,00
Cobre comercial con duro trazado	97,0	1084	7,06
Cobre comercial con duro trazado	97,0	250	11,78
Alambre de acero con revestimiento de Cu	40,0	1084	10,45
Alambre de acero con revestimiento de Cu	30,0	1084	12,06
varilla de acero con revestimiento de Cu	20,0	1084	14,64
Aluminio grado EC	61,0	657	12,12
Aleación de Al 5005	53,5	652	12,41
Aleación de Al 6201	52,5	654	12,47

Alambre de acero con revestimiento de Al	20,3	657	17,20
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero con revestimiento inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con capa de zinc	8,6	419	28,96

El valor de la corriente que se utiliza para determinar el calibre del conductor, debe tomar en cuenta el factor de decrecimiento D_f , descrito en la sección 2.19.2, y la posibilidad de un incremento futuro, ya que es menos costoso incluir un margen adecuado en el calibre del conductor durante el diseño inicial, que intentar reforzar un número de terminales de tierra en una fecha posterior.

2.24 PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DE LA MALLA (H)

La profundidad de enterramiento tiene una influencia significativa sobre los voltajes de toque y paso. Esta influencia va a depender de la forma de cómo se experimenten los cambios de profundidad. Para aumentos moderados de la profundidad, el valor del voltaje de toque disminuye, debido a la reducción de la resistencia de la malla y a la reducción correspondiente en el aumento de potencial de la malla. Sin embargo, para incrementos grandes de profundidad el voltaje de toque puede aumentar significativamente.

El voltaje de paso sin embargo disminuye siempre con el aumento de la profundidad.

El rango de profundidad para una malla de aterramiento está entre 0,3 y 1,5 m, generalmente se toma 0,3 ó 0,5m.

2.25 ESPACIAMIENTO ENTRE CONDUCTORES PARALELOS (D)

El espaciamiento entre conductores es otro factor importante en la geometría de la malla de aterramiento. Si el espaciamiento entre conductores disminuye, también disminuye la resistencia de la malla, lo que traerá como consecuencia que el aumento del gradiente de potencial en la superficie también disminuya. Sin embargo, es hacer notar que por consideraciones estrictas de diseño de una malla de aterramiento, el espaciamiento entre conductores de la malla debe ser mucho mayor que la profundidad de enterramiento de la misma. Cabe destacar que el estimado inicial del espaciamiento se hace con base en la corriente de malla IG y el área que cubre la malla. Los rangos comunes para los espaciamientos de los conductores son de 3 a 15 m, esto debido a que cuando se excavan las zanjas en las cuales se pondrá el conductor, se limita el espacio del mismo a 2 m o más.

2.26 PUESTA A TIERRA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La puesta a tierra de las estructuras de soporte son de gran importancia, ya que ésta permite el aumento del factor de división de corriente, lo cual disminuye la corriente total que se dispersará por la malla de la subestación, disminuyendo así potenciales peligrosos en las vecindades de la misma.

Los criterios de diseño de CADAFE establecen que las resistencias de puesta a tierra de las estructuras no deben exceder los 20 ohmios (Apartado VI.2.3.1, Norma NL-AV, 1985)

2.26.1 Línea de Transmisión

Conjunto de conductores, materiales aislantes y accesorios utilizados para transferir electricidad entre dos o puntos de una red.

2.26.2 Contrapesos

Son conductores de acero galvanizado o del tipo Copperweld enterrados longitudinal y radialmente en el derecho de paso de la línea.

Los esquemas de puesta a tierra más comunes utilizados por empresas del sector eléctrico en el área de transmisión son los siguientes arreglos o contrapesos:

-Contrapeso radial del tipo 4xL.

Consiste en cuatro contrapesos de longitud L , cada uno conectado a una pata de la torre mediante conector, a una profundidad definida, la longitud será variable con un mínimo de 25 m y un máximo recomendable de 75 m. Es aplicable en zonas de perfil resistivo moderado en su primer estrato, con espacio suficiente para su ejecución. El tipo de contrapeso debe ser un conductor de un diámetro mínimo de 5/16". La figura 2.30 muestra el esquema de esta configuración.

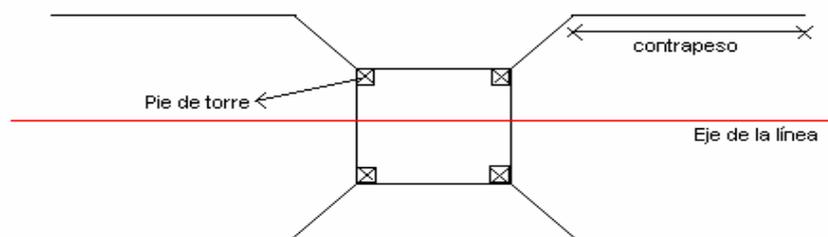


Figura 2.30. Contrapeso radial del tipo 4*L

La ecuación que rige este esquema es la siguiente:

$$R_T = \left(\frac{\rho}{8\pi L} \right) * \left[\text{Ln} \left(\frac{2L}{a} \right) + \text{Ln} \left(\frac{2L}{S} \right) + 2,912 \right] \quad (2.56)$$

-Contrapeso combinado(radial con jabalina) del tipo 4*(L+J)

Esta configuración es similar a la anterior, con la particularidad que cada extremo del contrapeso se conecta a una jabalina. Como se muestra en la figura 2.31. La longitud del contrapeso será variable con un mínimo de 5 m y un máximo recomendable de 50 m. Es aplicable en zonas de perfil resistivo donde su primer estrato es elevado y el segundo posee resistividades inferiores, con espacio suficiente para su ejecución.

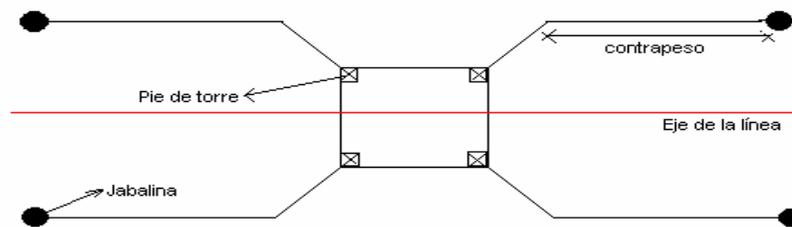


Figura 2.31 Contrapeso combinado 4*(L+J)

La ecuación que rige este esquema es la siguiente:

$$R_T = \left(\frac{\rho}{8\pi(L+1,15)} \right) * \left[\text{Ln} \left(\frac{2(L+1,15)}{a} \right) + \text{Ln} \left(\frac{2(L+1,15)}{S} \right) + 2,912 \right] \quad (2.57)$$

-Contrapeso circular de radio r

Este consiste en la ejecución de un círculo de radio r alrededor de la torre a una profundidad determinada al cual se conectan cada una de las patas de la torre mediante un conector, dicho radio será variable con un mínimo que permita abarcar toda el área de la torre, es aplicable en zonas

de espacios limitados en los alrededores del apoyo (zonas urbanas con construcciones en sus alrededores). Véase figura 2.32

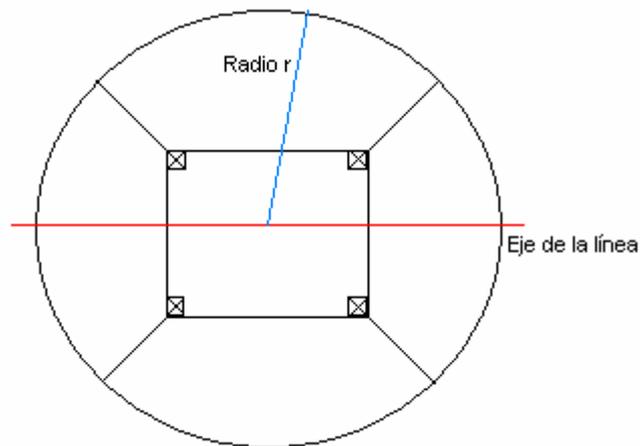


Figura 2.32 Contrapeso circular de radio r

La ecuación que rige este esquema es la siguiente:

$$R_T = \left(\frac{\rho}{4\pi^2 r} \right) * \left[\text{Ln} \left(\frac{8r}{a} \right) + \text{Ln} \left(\frac{8r}{S} \right) \right] \quad (2.58)$$

Donde:

R_T = Resistencia de puesta a tierra de la torre en Ω .

ρ = Resistividad del terreno en $\Omega \cdot \text{m}$

L = Longitud del conductor usado como contrapeso

l = Longitud de la jabalina en m

a = Radio del conductor utilizado como contrapeso en m

$S/2$ = profundidad de ubicación del contrapeso en m

r = Radio del círculo descrito por el contrapeso circular en m

2.27 ACTIVIDAD CERÁUNICA DE VENEZUELA

El objetivo es mostrar las temporadas de lluvias y las características más relevantes de la actividad de rayos en Venezuela, discretizando y

presentando la data por zonas, estados y meses a lo largo del año. En función de esta data, se buscan establecer aquellas ubicaciones geográficas que poseen mayor actividad y particularizar su comportamiento en función de los meses y años de los que se dispone información, basándose en los datos suministrados por el Servicio de Meteorología de la Aviación.

2.27.1 Temporada Lluviosa en Venezuela

Venezuela por su situación geográfica ubicada en la zona Tropical entre los (0.5 y 12 grados de latitud Norte), posee un clima de poca variación anual, no manifestándose las cuatro estaciones típicas de latitudes medias. Es por ello que en nuestro país se presentan dos (2) períodos, uno seco (Noviembre-Abril) y otro lluvioso Mayo - Octubre.

Durante el período seco o denominado comúnmente como Verano, la mayor parte del Norte de Venezuela, está bajo la influencia de la zona de los alisios del Noreste, con sus campos anticiclónicos en la altura, lo que origina buen tiempo en casi todo el Territorio Nacional. Pero se debe destacar, que aún en época de sequía pueden registrarse precipitaciones de importancia hacia la zona Norte Costera del país.

A partir de mediados de Abril hasta Octubre, el Territorio Venezolano está casi en su totalidad bajo la acción de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que incide y origina el inicio del período lluvioso, situación esta que se complementa en ocasiones con otros fenómenos sinópticos, como: perturbaciones tropicales, calentamiento diurno y/o efectos convectivos, incrementando la frecuencia e intensidad de las precipitaciones.

Ahora bien, la temporada lluviosa en Venezuela está gobernada principalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde la misma es un área muy especial situada justo en la franja ecuatorial de la tierra, y en donde el sol provoca una actividad frenética de evaporación y calentamiento (Ver figura 2.33), siendo la caldera superficial de nuestro planeta en donde se forman enérgicos fenómenos atmosféricos dando como resultado fuertes tormentas, aguaceros y vientos impredecibles.

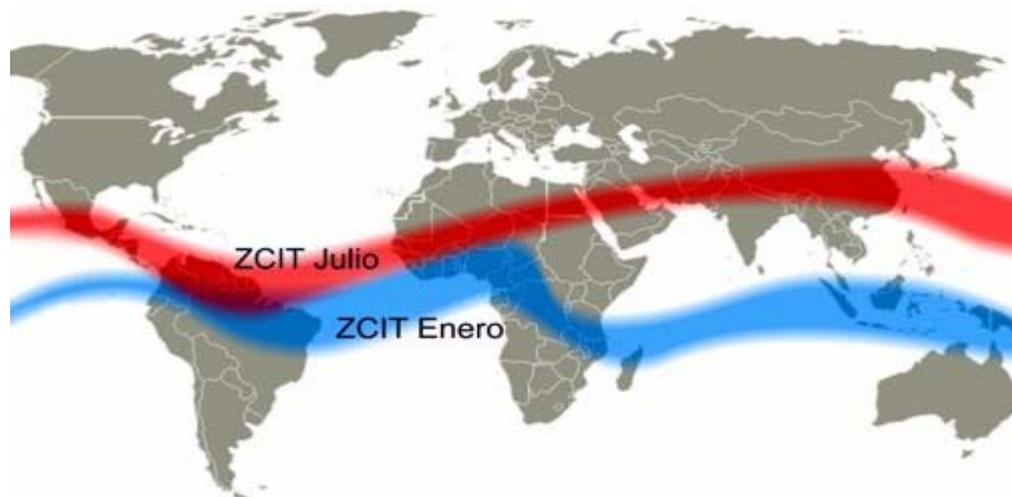


Figura 2.33 Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

En esta zona del océano, reina una actividad atmosférica excepcional originada por el calor del sol en el ecuador y los alisios que convergen, tanto los que provienen del hemisferio Norte como los que llegan del Sur. (Ver figura 2.34).

La concentración de cumulonimbos tormentosos es la más elevada del planeta, y aunque los vientos medios son del Este por los Alisios, la acumulación de grandes nubarrones negros tormentosos anulan hasta convertir en un caos la circulación general del aire. Por lo tanto, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es una banda de baja presión que se forma sobre las regiones de aguas más cálidas en los trópicos, donde las

masas de aire están forzadas a ascender por el calentamiento, originando una abundante formación de nubes y fuertes lluvias.

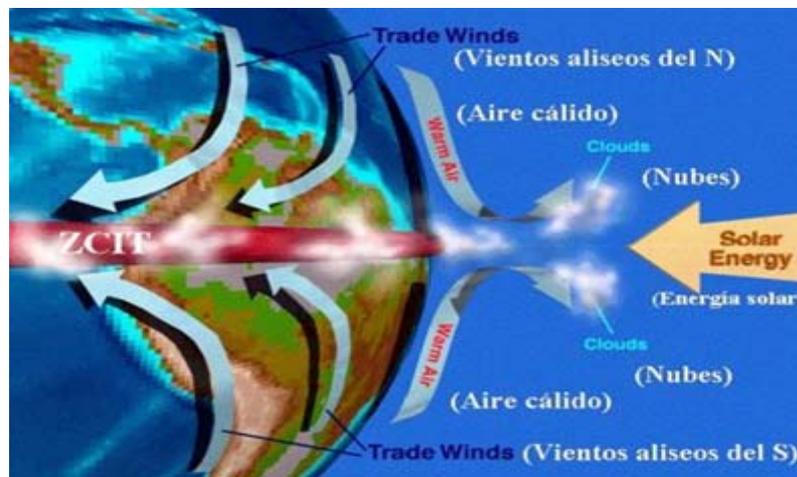


Figura 2.34 Actividad atmosférica originada por el calor del sol.

En Venezuela, debido a ese desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical, desde el sur hacia el norte, la temporada de lluvias afecta primeramente a los estados Amazonas y Guayana, avanzando progresivamente y originando precipitaciones más frecuentes a medida que se posesiona sobre el Territorio Nacional, llegando en ocasiones a su máxima elongación al norte del país hacia el mes de Junio (Ver figura 2.35).



Figura 2.35 Temporada de lluvia en Venezuela

Tal aseveración, en cuanto al movimiento de la Convergencia Intertropical y su influencia en el aumento de las precipitaciones en el Territorio Venezolano, se corrobora con los resultados obtenidos del análisis del régimen pluviométrico, tomando en consideración para ello, las estaciones meteorológicas pertenecientes a este Servicio, donde el criterio establecido para el comienzo de la temporada lluviosa, fue que el 70% de los datos, simultáneamente tengan una precipitación total mensual igual o superior a 60 milímetros y ocurran en un mínimo de diez días; basados en esos resultados, se indica el inicio de la temporada de lluvias en todo el país.

2.27.1.1 Región Centro Costera

Se analizaron las estaciones meteorológicas de Caracas – La Carlota (Distrito Capital), Maracay, Colonia Tovar (Aragua), Valencia y Palmichal (Carabobo). La estación de Maiquetía (Vargas) tiene características geográficas que incide directamente en el régimen pluviométrico, originando un microclima especial.

De acuerdo al análisis realizado, la temporada de lluvias comienza para el estado Carabobo en la primera quincena de Mayo, donde a partir de la segunda quincena se inicia para el resto de la región.

Por otra parte, aunque Maiquetía no tiene un período lluvioso definido, las precipitaciones tienden a incrementarse durante los meses de Junio hasta Agosto, coincidiendo las mismas con la temporada de Huracanes.

2.27.1.2 Región Centro Occidental

Se analizaron las estaciones meteorológicas de Acarigua, Guanare (Portuguesa), Barquisimeto (Lara) y la estación de Coro (Falcón), donde

esta última por estar situada muy al norte del Territorio Nacional, posee características típicas que conforman un microclima especial.

La temporada de lluvias se inicia en la segunda quincena de Abril en las áreas de Guanare y Acarigua. Para la porción sur de los estados Falcón y Lara comienzan a principios de Mayo y durante la segunda quincena de este, hacia la localidad de Barquisimeto.

Aunque el norte del estado Falcón no tiene un período lluvioso definido, las precipitaciones se incrementan en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre.

2.27.1.3 Región de los Andes

Se analizaron las estaciones meteorológicas de Valera (Trujillo), Santo Domingo del Táchira, San Antonio del Táchira (Táchira) y Mérida (Mérida).

La temporada lluviosa comienza a finales de Marzo para el estado Trujillo, en la primera quincena de Abril hacia la porción sur del estado Táchira, pero hacia el norte y la localidad de Mérida en la segunda quincena de Abril.

Debido a que El Vigía está ubicado al pie de montaña de la Cordillera Andina, por su situación geográfica posee un régimen pluviométrico especial, ya que durante todo el año, las precipitaciones mensuales superan los 100 mm, donde sus valores medios se incrementan de Abril a Mayo y luego de Noviembre a Diciembre.

2.27.1.4 Región Zuliana

Se analizaron los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas de Maracaibo, Mene Grande y La Cañada (Zulia).

En esta zona, la temporada lluviosa se inicia en el mes de Abril hacia la porción oriental de la región (Mene Grande) y tiende a incrementarse las precipitaciones en el mes de Junio para la zona norte. Por otra parte, en Maracaibo la pluviosidad aumenta considerablemente en los meses de Septiembre y Octubre, coincidiendo con el paso de ondas y perturbaciones tropicales al norte de Venezuela.

2.27.1.5 Región Llanos Centrales

Las estaciones analizadas fueron: Barinas (Barinas), Guasualito, San Fernando de Apure (Apure), Calabozo, Valle de La Pascua, Carrizal y San Juan de los Morros (Guárico).

La temporada de lluvias se inicia en la segunda quincena de Abril para el estado Barinas y la porción sudoeste del estado Apure (Guasualito).

En la primera quincena de Mayo hacia el sur del estado Guárico (Calabozo), y en la segunda quincena de este mes, comienza hacia el norte del estado Apure (San Fernando de Apure) y el resto del estado Guárico (Carrizal, Valle de La Pascua y San Juan de los Morros).

2.27.1.6 Región Nor-Oriental

Las estaciones analizadas fueron: Barcelona (Anzoátegui), Cumaná, Guiría (Sucre), Maturín y Temblador (Monagas). No considerando la estación meteorológica de Porlamar, porque no tiene un período lluvioso definido, ya que las precipitaciones son causadas por situaciones Norte y paso de perturbaciones tropicales, especialmente las Ondas del Este.

Se determinó que el inicio de las lluvias se divide en dos períodos: para el área sur de la región (Maturín, Temblador) comienza a principios de Mayo y hacia la zona norte costera (Barcelona, Cumaná y Guiria) en la primera quincena de Junio.

2.27.1.7 Región Guayana y Amazonas

Se analizaron las estaciones meteorológicas de Ciudad Bolívar, Tumeremo, Santa Elena de Uairén (Bolívar) y Puerto Ayacucho (Amazonas).

La temporada de lluvias comienza a mediados de Marzo en la porción sur de Guayana y Amazonas, durante la segunda quincena de Abril afecta la zona norte de Amazonas y el área central de Guayana.

Pero todo el norte de Guayana, está bajo el régimen pluviométrico a partir de la segunda quincena del mes de Mayo.

2.28 BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FORMACIÓN DEL RAYO

La tierra y la electrósfera (zona conductora de la atmósfera, de 50 a 100 Km de espesor) constituyen un gran condensador esférico natural, que se carga por ionización produciendo un campo eléctrico de varios cientos de voltios por metro de espesor. En este aire comienza una pequeña corriente de conducción asociada al campo eléctrico, de aproximadamente 1500 amperios para toda la tierra. El equilibrio eléctrico se mantiene a través de descargas en determinados puntos, la lluvia y las caídas de rayos. La formación de nubes de tormenta en masas efectivas de agua en forma gaseosa, va acompañada de fenómenos electrostáticos, en los cuales se separan las cargas de distinta polaridad. Las ligeras partículas con carga positiva, suben mediante corrientes de

aire ascendente, mientras que las pesadas, partículas cargadas negativamente, caen por su propio peso. Puede haber también grupos de cargas positivas en la parte inferior de las nubes en las que hay lluvia muy intensa. Visto desde una escala macroscópica, existe un dipolo. Cuando el gradiente límite de la tensión de ruptura se alcanza, tiene lugar una descarga en la nube, entre nubes o entre nubes y tierra. El último caso recibe el nombre de rayo.

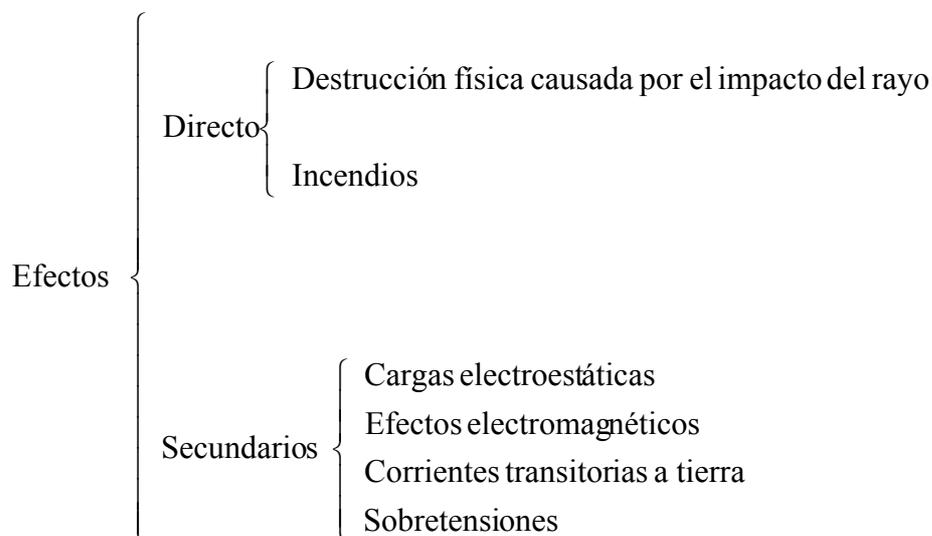
El conocimiento de los parámetros del rayo, en sus diferentes escalas, tiene importancia tanto científica como tecnológica. El conocimiento científico nos facilita entender su comportamiento en el tiempo y en el espacio, y sus relaciones con otros fenómenos naturales. En lo tecnológico, permite el diseño óptimo y la protección adecuada de seres vivos, de las infraestructuras y de los equipos, así como el oportuno mantenimiento para garantizar una operación confiable, económica y segura.

2.28.1 Parámetros de Incidencia del Rayo

Los parámetros de incidencia del rayo son: la densidad de rayos a tierra, el nivel cerámico, la polaridad de la descarga y las características de las descargas múltiples.

2.29 EFECTO DE LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

En el proceso de formación de la descarga atmosférica, hasta su última etapa se producen dos tipos de efectos, los cuales no se encuentran relacionados directamente entre sí, pero ambos pueden ser muy destructivos y representan un peligro para la seguridad de las personas, aéreas de alto riesgo, estructuras, sistemas eléctricos, etc.



Dentro de las características de las descargas se encuentra: temperaturas aproximadas del orden de 8.000 a 30.000° C, tensiones en el orden de 10 a 100 millones de Voltios e intensidad que varía de 20 a 100 KA.

2.30 CARTA ISOCERÁUNICA DE VENEZUELA

Se define como la representación sobre mapa de una determinada zona, región o país de los puntos de igual nivel ceráunico mediante curvas o líneas. Las cartas isoceráunicas no suministran información sobre la severidad o intensidad de las descargas pero aporta datos valiosos sobre la probabilidad relativa de las descargas atmosféricas en diferentes regiones.

Es de destacar que se pueden desarrollar mapas isoceráunicos por meses, que indican las temporadas en la cual es más probable la caída de rayos.

Actualmente, EDELCA cuenta con un sistema de detección y localización de descargas eléctricas atmosféricas con el cual se estima

tener conocimiento de cómo es el comportamiento de la actividad eléctrica en el país, a continuación se muestran los mapas de ubicación de la red de sensores y el mapa cerámico de Venezuela. Figura 2.36 y 2.37 respectivamente.



Figura 2.36 Ubicación de la red de sensores en Venezuela

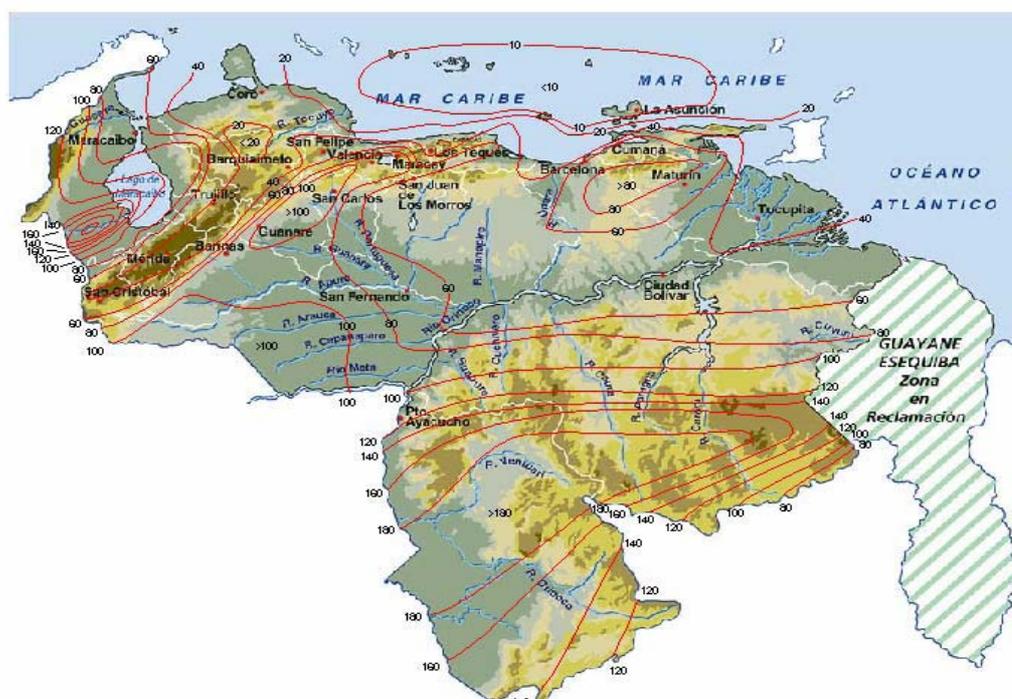


Figura 2.37 Mapa cerámico de Venezuela

Adicionalmente, se presenta para mayor facilidad de análisis la figura 2.38, en la cual se colocan los valores promedios de eventos en los años estudiados (1998-2002), para cada estado.

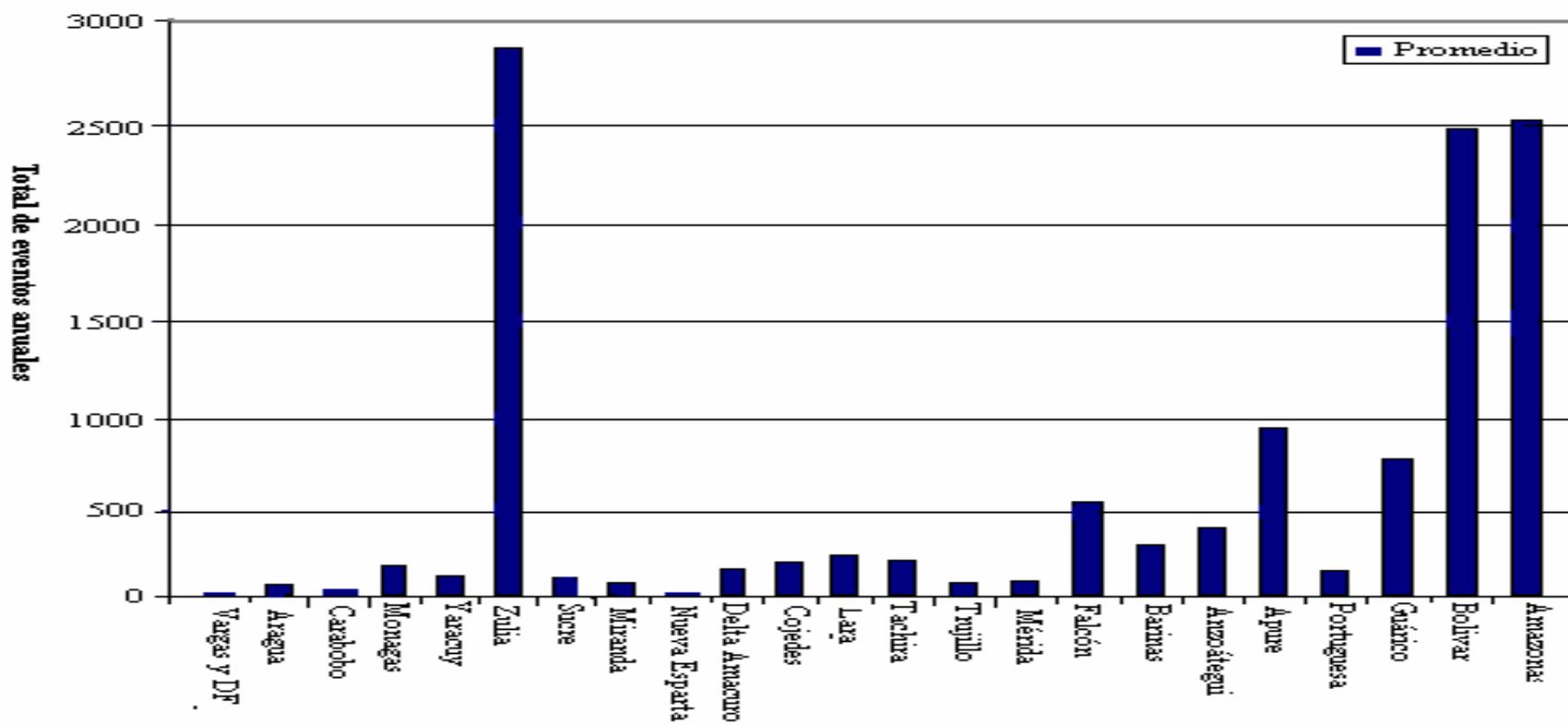


Figura 2.38 Data promediada en total de eventos anuales por Estado

CAPÍTULO III DISEÑO DE LA PUESTA A TIERRA

3.1 DISEÑO DE LA RED DE TIERRA.

La red de tierra juega un papel fundamental en el diseño de subestaciones de media, alta y extra alta tensión, ya que a ella se conectan a tierra los diferentes equipos que conforman una subestación para que las corrientes de falla tengan un retorno seguro a tierra. Por lo tanto es sumamente importante diseñar la misma con sumo cuidado, ya que un diseño incorrecto de la misma podría tener, entre otras consecuencias, la pérdida de los equipos por efecto de las corrientes de falla y representaría un grave peligro para el personal que opera en ella.

Las redes de tierra que se diseñan a continuación se basan en las Normas para Proyectos de Subestaciones NS-P de CADAPE, lo estipulado por el estándar IEEE 80-2000, el cual no es más que la revisión del antiguo estándar IEEE 80-1986 y Código Eléctrico Nacional.

Vale la pena resaltar que las normas CADAPE hacen referencia al Std. IEEE 80-2000, como lo estipula la Norma NSP 109-92.

Entre los criterios de diseño utilizados para la malla de tierra de las subestaciones, destacan lo siguiente los siguientes:

-La profundidad de enterramiento de la malla debe ser de 0,5 m. según Norma IEEE-80-2000.

-El conductor de la malla de tierra deberá ser de un calibre mínimo Nº 4/0 AWG. Según Código Eléctrico Nacional.

-Las tensiones de paso y de toque permisibles deberán estar limitadas a 3133 y 885V respectivamente. Según NS-P de CADAPE.

-La resistividad de la piedra picada será de $3.000 \Omega \cdot m$, y espesor de 0,1 m. Según IEEE-80-2000.

-El tiempo de despeje de la falla no será mayor a 0,5 s. Según NS-P de CADAFE.

-El espaciamiento entre conductores no será menor a 3 m como se estipula en la sesión 2.25, de acuerdo a la Norma IEEE-80-2000.

-El producto de la resistencia de la red de tierra y la máxima corriente que ha de circular por la red de tierra o Ground Potential Rise (GPR) no deberá ser mayor que el voltaje de toque. En caso contrario, se tendrá que recalcular la malla con base a los coeficientes K_m , K_h y K_i , cambiando alguno de los parámetros del diseño.

-Si se deben utilizar barras de puesta a tierra para disminuir la resistencia de la malla de tierra, estas deben ser del tipo Copperweld de 3/8" de diámetro, 3 mm de espesor y 2,44m de longitud mínima. Según Norma CEN 250-83.

-Si el GPR del diseño preliminar está por debajo del voltaje de toque tolerable, no es necesario ningún análisis adicional.

-La resistencia de la malla de tierra no será mayor a 1Ω en subestaciones de alta y media tensión. Std. IEEE 80-2000

Los diseños de los sistemas de puesta a tierra están basados en lo siguiente:

-Determinación de la Sección del Conductor

La determinación de la sección del conductor se realizará con base en la ecuación (2.55). Para todos los casos se utilizará conductor de cobre a temperatura ambiente de 40o C, temperatura de fusión de 1084o C y conductividad de 97%, en la cual $K_f = 7,06$. Tabla 2.6, y tomando como corriente de falla la suministrada por CADAFE, se calculará la sección del conductor a ser utilizado en las malla de puesta a tierra:

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c}$$

Criterios para determinar las tensiones de paso y toque.

Para evaluar los voltajes de toque y de paso permisibles, son utilizadas las expresiones expuestas en la sección 2.18, del Capítulo 2. Tomadas de la norma Std IEEE 80-2000. Estas ecuaciones son las siguientes:

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{paso_{70}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{toque_{50}} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{toque_{70}} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

El valor teórico de resistencia de malla de tierra, está representado por la resistencia de diseño que debería presentar la malla de acuerdo

con los datos de campo. Este cálculo es realizado usando las expresiones de las secciones 2.22.1 y 2.21.2 del Capítulo 2. Utilizando las siguientes expresiones:

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

$$R_g = \frac{R_1 * R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de IG se calcula a través de la ecuación (2.26), descrita en la sección 2.19 del Capítulo 2.

$$IG = S_f * D_f * C_p * I_f$$

Voltajes de Paso y Toque en la Periferia:

La revisión de los potenciales de paso y de toque peligrosos, se realiza con la aplicación de las ecuaciones 2.30 y 2.38 respectivamente, como lo sugiere la norma en el diseño de mallas de tierra para subestaciones. Estas expresiones, ya mencionadas en el Capítulo 2, son las siguientes:

$$E_s = K_s K_{ip} \frac{IG}{L}$$

$$E_t = K_m K_{ip} \frac{IG}{L_s}$$

Se debe hacer notar, que los parámetros dentro de las ecuaciones anteriores, asumen un suelo con resistividad uniforme y el modelo a utilizar en estudio es de dos capas. Pero según la norma ANSI/IEEE Std 80-2000, cuando se determina un modelo equivalente de dos estratos y la malla de puesta a tierra se encuentra dentro de la capa superior, el valor de ρ^1 (resistividad del primer estrato), puede utilizarse en las ecuaciones anteriores de E_s y E_t .

Cabe destacar que las subestaciones que se verán a continuación ya están construidas, por eso estarán ya establecidos algunos parámetros, como lo es la separación entre conductores de la malla de tierra, características físicas del terreno, corriente de falla a tierra y el factor C_p .

3.1.1 Subestación LOS BORDONES 115/13.8 (Nodal III)

Características físicas del terreno:

- Área total de la malla 83mx80m
- Resistividad del suelo = 25 Ω -m . (Ver anexos 2.a, al final de la tesis)
- Corriente de falla a tierra máxima= 11kA
- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra= 0,5m

Selección del conductor de la malla de puesta a tierra.

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c}$$

$$I_g = I * D_f * C_p$$

Para el diseño inicial del sistema, se tomó un valor para $C_p = 1,25$. suministrado por CADAPE.

$$I_g = 11 * 1 * 1,25 = 13,75 \text{ kA}$$

Así;

$$AK_{\text{cmil}} = 13,75 * 7,06 \sqrt{0,5} = 68,64 \text{ Kcmil}$$

De acuerdo a la tabla de secciones transversales de los conductores (ver Anexo 3, al final de la tesis), una vez obtenido el calibre del conductor, se concluye que el conductor de la malla de tierra debe ser inmediatamente superior al calculado, es decir, se debe seleccionar el conductor calibre N°1 con una sección de 83,69 Kcmil. Pero por especificaciones de CADAFE el conductor seleccionado es el calibre No 4/0 AWG con una sección de 211,6 Kcmil.

Criterios para determinar las tensiones de paso y toque permisibles.

Según ecuación 2.25, si $\rho = 25 \Omega \cdot \text{m}$ y $\rho_s = 3000 \Omega \cdot \text{m}$

$$K = \frac{25 - 3000}{25 + 3000} = -0,98347$$

Como en la figura 2.27, las curvas solo llegan hasta $K = -0,95$. Por consiguiente calculamos C_s a través de la ecuación 2.24, la cual es la siguiente:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \Rightarrow C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{25}{3000} \right)}{2 * 0,1 + 0,09} = 0.692$$

Para un operador 70Kg:

$$E_{\text{paso}_{70}} = (1000 + 6 * 0,692 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{\text{paso}_{70}} = 2987.66 \text{ V}$$

$$E_{toque_{70}} = (1000 + 1,5 * 0,692 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{70}} = 913,43V$$

Para un operador 50Kg:

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6 * 0,692 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{paso_{50}} = 2207,44V$$

$$E_{toque_{50}} = (1000 + 1,5 * 0,692 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{50}} = 510,85V$$

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla A= 6640m²

Separación entre conductores D=10m

De la ecuación 2.37, se obtiene el número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{83}{10} + 1 = 10$$

De la ecuación 2.36, se obtiene el número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{80}{10} + 1 = 9$$

Longitud total de conductores L_c:

$$L_c = 10 * 83 + 9 * 80 = 1550m$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Cálculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 25 * \left[\frac{1}{1550} + \frac{1}{\sqrt{20 * 6640}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/6640}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,151\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de S_f con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver anexo 1). Para 2 líneas de transmisión y 4 de distribución.
 $S_f = 25\%$

$$IG = 13,75 * 0,25 = 3,44 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 3440 * 0,151 = 519,44 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (E_s).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 10$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{10 + 0,5} + \frac{1}{10} (1 - 0,5^{10-2}) \right] = 0,380$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 10 = 2,124$$

Por lo tanto;

$$E_s = 0,380 * 2,124 * 25 * \frac{3440}{1550}$$

$$E_s = 44,78V$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 10)^{\frac{2}{10}}} = 0,55$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341m$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{10^2}{16 \cdot 0,5 \cdot 0,01341} + \frac{(10 + 2 \cdot 0,5)^2}{8 \cdot 10 \cdot 0,01341} - \frac{0,5}{4 \cdot 0,01341} \right) + \frac{0,55}{1,22} \ln \frac{8}{\pi(2 \cdot 10 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,961$$

$$E_t = 0,961 \cdot 2,124 \cdot 25 \cdot \frac{3440}{1550}$$

$$E_t = 113,13V$$

3.1.2 Subestación PLANTA ANTONIO LOVERA (PAL) 230KV (Nodal 400T)

Características físicas del terreno:

- Resistividad del suelo = 69 $\Omega \cdot m$. Valor suministrado por CADAFE ya que no se pudo obtener el estudio de resistividad del suelo.
- Corriente de falla a tierra máxima = 24,89kA.
- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra = 0,5m.
- Área total de la malla 91m x 50m

Selección del conductor de la malla de puesta a tierra.

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c}$$

Para el diseño inicial del sistema, se tomó un valor para $C_p = 1,1$ suministrado por CADAFE.

$$I_g = 24,89 * 1 * 1,1 = 27,38 \text{ kA}$$

Así;

$$AK_{cmil} = 27,38 * 7,06 \sqrt{0,5} = 136,68 \text{ Kcmil}$$

De acuerdo a la tabla de secciones transversales de los conductores (ver Anexo 3), una vez obtenido el calibre del conductor, se concluye que el conductor de la malla de tierra debe ser inmediatamente superior al calculado, es decir, se debe seleccionar el conductor calibre N° 3/0 con una sección de 167,8 Kcmil. Pero por especificaciones de CADAFE el conductor seleccionado es el calibre No 4/0 AWG con una sección de 211,6 Kcmil.

Criterios para determinar las tensiones de paso y toque permisibles.

Según ecuación 2.25, si $\rho = 69 \Omega \cdot m$ y $\rho_s = 3000 \Omega \cdot m$

$$K = \frac{69 - 3000}{69 + 3000} = -0,96$$

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)}{2h_s + 0,09} \Rightarrow C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{69}{3000} \right)}{2 * 0,1 + 0,09} = 0.696$$

$$E_{paso_{70}} = (1000 + 6 * 0,696 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{paso_{70}} = 3003,64 \text{ V}$$

$$E_{toque_{70}} = (1000 + 1,5 * 0,696 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{70}} = 917,43V$$

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6 * 0,696 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{paso_{50}} = 2219,25V$$

$$E_{toque_{50}} = (1000 + 1,5 * 0,696 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{50}} = 677,85V$$

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A=4550m^2$

Separación entre conductores $D=5m$

De la ecuación 2.37, se obtiene el número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{91}{5} + 1 = 20$$

De la ecuación 2.36, se obtiene el número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{50}{5} + 1 = 11$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 20 * 91 + 11 * 50 = 2370m$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Calculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 69 * \left[\frac{1}{2370} + \frac{1}{\sqrt{20 * 4550}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/4550}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,479\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

$$IG = I_g * S_f$$

El valor de S_f con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C11). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión sin distribución. $S_f=25\%$

$$IG = 7,38 * 0,25 = 6,845 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 6845 * 0,479 = 3278,76 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (E_s).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 15$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{5 + 0,5} + \frac{1}{5} (1 - 0,5^{15-2}) \right] = 0,439$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 15 = 2,864$$

$$E_s = 0,439 * 2,864 * 69 * \frac{6845}{2370}$$

$$E_s = 251,04V$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_{ii} = \frac{1}{(2*15)^{\frac{2}{15}}} = 0,63$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341m$$

Así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{5^2}{16*0,5*0,01341} + \frac{(5+2*0,5)^2}{8*5*0,01341} - \frac{0,5}{4*0,01341} \right) + \frac{0,63}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2*15-1)} \right]$$

$$K_m = 0,703$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,703 * 2,864 * 69 * \frac{6845}{2370}$$

$$E_t = 401,19V$$

3.1.3 Subestación BARINAS IV. 230/115KV (Nodal 230T)

Características físicas del terreno

- Resistividad del suelo = 1207 $\Omega \cdot m$. (ver anexo 2.b)
- Corriente de falla a tierra máxima = 9,5kA.
- Área total de la malla 210mx180

- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra= 0,5m.

Selección del conductor de la malla de puesta a tierra.

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c}$$

$$I_g = I * D_f * C_p$$

Para el diseño inicial del sistema, se tomo un valor para $C_p = 1$ suministrado por CADAFE.

$$I_g = 9,5 * 1 * 1 = 9,5 \text{ kA}$$

Así;

$$AK_{cmil} = 9,5 * 7,06 \sqrt{0,5} = 47.43 \text{ Kcmil}$$

De acuerdo a la tabla de secciones transversales de los conductores (ver Anexo 3), una vez obtenido el calibre del conductor, se concluye que el conductor de la malla de tierra debe ser inmediatamente superior al calculado, es decir, se debe seleccionar el conductor calibre N°3 con una sección de 52,63 Kcmil. Pero por especificaciones de CADAFE el conductor seleccionado es el calibre No 4/0 AWG con una sección de 211,6 Kcmil.

Criterios para determinar las tensiones de paso y toque permisibles.

Según ecuación 2.25, si $\rho = 1207 \Omega \cdot m$ y $\rho_s = 3000 \Omega \cdot m$

$$K = \frac{1207 - 3000}{1207 + 3000} = -0,43$$

En la figura 2.27, vemos que para un factor de reflexión las $K=-0,43$, obtenemos un factor de reducción $Cs=0,81$.

$$E_{paso_{70}} = (1000 + 6 * 0,81 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{paso_{70}} = 3459,25V$$

$$E_{toque_{70}} = (1000 + 1,5 * 0,81 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{70}} = 1031,33V$$

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6 * 0,81 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{paso_{50}} = 2555,89V$$

$$E_{toque_{50}} = (1000 + 1,5 * 0,81 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{toque_{50}} = 762,00V$$

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A= 37800m^2$

Separación entre conductores $D=10m$

De la ecuación 2.37, se obtiene el número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{210}{10} + 1 = 22$$

De la ecuación 2.36, se obtiene el número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{180}{10} + 1 = 19$$

Longitud total de conductores L_c :

$$LC = 22 \cdot 210 + 19 \cdot 180 = 8040 \text{m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

Calculo de Rg utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 1207 * \left[\frac{1}{8040} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 37800}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5 \sqrt{20/37800}} \right) \right]$$

$$R_g = 2,91 \Omega$$

Calculo de Rg utilizando el método de Schwarz.

$$h' = 0,082 \text{m}$$

$$d = 0,01341 \text{m}$$

Se utilizaran 32 barras de tierra de 0.016m de diámetro y 2,44m de longitud en el perímetro de la malla.

Los valores de k1 y K2, se obtuvieron a través de la figura 25 del Std.IEEE 80-2000 (ver figura 2.18 del Capitulo 2). Para una profundidad de enterramiento menor de $S < h = 0,1 / \sqrt{A}$, se toman los valores de la curva B de la figura.

$$K1 = -0,05 \frac{Lb}{La} + 1,2 = 1,142$$

$$K2 = 0,1 \frac{Lb}{La} + 4,68 = 4,797$$

$$R1 = \frac{1207}{\pi 8040} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 8040}{0,082} \right) + \frac{1,142 * 8040}{\sqrt{37800}} - 4,797 \right]$$

$$R1 = 2,60983 \Omega$$

$$R2 = \frac{1207}{2\pi * 32 * 2,44} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 * 2,44}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,142 * 2,44 (\sqrt{32} - 1)^2}{\sqrt{37800}} \right]$$

$$R2 = 16,553438 \Omega$$

$$Rm = \frac{1207}{\pi 8040} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 8040}{2,44} \right) + \frac{1,142 * 8040}{\sqrt{37800}} - 4,797 + 1 \right]$$

$$Rm = 2,49547 \Omega$$

Así:

$$Rg = \frac{2,60983 * 16,55344 - 2,49547^2}{2,60983 + 16,55344 - 2 * 2,49547}$$

$$Rg = 2,61 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 9,5 * 0,20 = 1,9 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 1900 * 2,61 = 4959 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 20$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{10 + 0,5} + \frac{1}{10} (1 - 0,5^{20-2}) \right] = 0,380$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 20 = 3,604$$

$$L_r = 2,44 \text{ m}$$

$$L = 8040 + 1,5 * 2,44 = 8043,66 \text{ m}$$

Por lo tanto;

$$E_s = 0,380 * 3,604 * 1207 * \frac{1900}{8043,66}$$

$$E_s = 390,93 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$K_{ii} = 1$; para mallas con barras de tierra.

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{10^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(10 + 2 * 0,5)^2}{8 * 10 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \operatorname{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 20 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,749$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,749 * 3,604 * 1207 * \frac{1900}{8157,12}$$

$$E_t = 758,81V$$

3.1.4 Subestación BAMARI 115kV (Nodal 115TD)

Características de la subestación:

- Resistividad del suelo = 408 Ω - m . (ver Anexo 2.c)
- Corriente de falla a tierra máxima = 4,20 kA.
- Área total de la malla 120,0m x 99,5 m

Selección del conductor de la malla de puesta a tierra.

$$AK_{cmil} = I_g * K_f \sqrt{t_c}$$

$$I_g = I * D_f * C_p$$

Para el diseño inicial del sistema, se tomo un valor para $C_p = 1,1$ suministrado por CADA FE.

$$I_g = 4,2 * 1 * 1,1 = 4,62kA$$

Así;

$$AK_{\text{cmil}} = 4,62 * 7,06\sqrt{0,5} = 23,06K_{\text{cmil}}$$

De acuerdo a la tabla de secciones transversales de los conductores (ver Anexo 3), una vez obtenido el calibre del conductor, se concluye que el conductor de la malla de tierra debe ser inmediatamente superior al calculado, es decir, se debe seleccionar el calibre N°5 con una sección de 33,1 Kcmil. Pero por especificaciones de CADAFE el conductor seleccionado es el calibre No 4/0 AWG con una sección de 211,6 Kcmil.

Criterios para determinar las tensiones de paso y toque permisibles.

Según ecuación 2.25, si $\rho = 407 \Omega \cdot \text{m}$ y $\rho_s = 3000 \Omega \cdot \text{m}$

$$K = \frac{408 - 3000}{408 + 3000} = -0,76056$$

En la figura 2.27, vemos que para un factor de reflexión las $K=-076$, obtenemos un factor de reducción $C_s=0,73$.

$$E_{\text{paso}}_{70} = (1000 + 6 * 0,73 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{\text{paso}}_{70} = 3139,53\text{V}$$

$$E_{\text{toque}}_{70} = (1000 + 1,5 * 0,73 * 3000) * 0,157 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{\text{toque}}_{70} = 951,41\text{V}$$

$$E_{\text{paso}}_{50} = (1000 + 6 * 0,73 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{\text{paso}}_{50} = 2319,65\text{V}$$

$$E_{\text{toque}}_{50} = (1000 + 1,5 * 0,73 * 3000) * 0,116 / \sqrt{0,5}$$

$$E_{\text{toque}}_{50} = 702,95\text{V}$$

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A=11940\text{m}^2$

Separación entre conductores

De la ecuación 2.37, se obtiene el número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{120}{5} + 1 = 25$$

De la ecuación 2.36, se obtiene el número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{99,5}{5} + 1 = 21$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 25 \cdot 120 + 21 \cdot 99,5 = 5090\text{m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Calculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 408 * \left[\frac{1}{5528} + \frac{1}{\sqrt{20 * 11940}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/11940}} \right) \right]$$

$$R_g = 1,73\Omega$$

Calculo de R_g utilizando el método de Schwar

$$h' = 0,082\text{m}$$

$$d = 0,01341\text{m}$$

Se utilizaran 46 barras de tierra de 5/8" de diámetro y 3m de longitud en el perímetro de la malla.

$$K1 = -0,05 \frac{Lb}{La} + 1,2 = 1,140$$

$$K2 = 0,1 \frac{Lb}{La} + 4,68 = 4,801$$

$$R1 = \frac{408}{\pi 5090} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 5090}{0,082} \right) + \frac{1,140 * 5090}{\sqrt{11940}} - 4,801 \right]$$

$$R1 = 1,53169 \Omega$$

$$R2 = \frac{408}{2\pi * 46 * 3} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 * 3}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,140 * 3 (\sqrt{46} - 1)^2}{\sqrt{11940}} \right]$$

$$R2 = 3,95917 \Omega$$

$$Rm = \frac{408}{\pi 5090} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 5090}{3} \right) + \frac{1,140 * 5090}{\sqrt{11940}} - 4,801 + 1 \right]$$

$$Rm = 1,46536 \Omega$$

Así:

$$Rg = \frac{1,53169 * 3,95917 - 1,46536^2}{1,53169 + 3,95917 - 2 * 1,46536}$$

$$Rg = 1,51 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 4,62 * 0,20 = 0,924 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 924 * 1,51 = 1395,24 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 23$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{5 + 0,5} + \frac{1}{5} (1 - 0,5^{23-2}) \right] = 0,439$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 23 = 4,048$$

$$L_r = 3\text{m}$$

$$L = 5090 + 1,5 * 3 = 5094,5\text{m}$$

Así;

$$E_s = 0,439 * 4,048 * 408 * \frac{924}{5094,5}$$

$$E_s = 146,73\text{V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$Kh = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{5^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(5 + 2 * 0,5)^2}{8 * 5 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \operatorname{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 23 - 1)} \right]$$

$$Km = 0,528$$

Por lo tanto;

$$Et = 0,528 * 4,048 * 408 * \frac{924}{5094,5}$$

$$Et = 158,22 \text{ V}$$

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS DE LOS CÁLCULOS DE LAS MALLAS DE PUESTA ATIERRA DE LAS DIFERENTES SUBESTACIONES

A continuación se tabulan los resultados obtenidos por separado de los distintos cálculos realizados de las mallas de puesta a tierra de las diferentes subestaciones ya nombradas.

Tabla 3.1 Subestación los BORDONES

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	10
Numero de conductores paralelos	9
Longitud total de conductores(m)	1550
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,151
Tensión de toque50 permisible (v)	510,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2207,44
Tensión de toque70 permisible (v)	913,43
Tensión de paso70 permisible (v)	2987,66
Máximo gradiente de potencial (v)	519,44
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	44,78
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	113,13

En la tabla 3.1, correspondientes a los datos obtenidos de la subestación LOS BORDONES, se observa que la resistencia de puesta a tierra esta en un valor aceptable, según el Std.IEEE 80-2000, es decir menor a 1Ω , la tensión de toque70 permisible es mayor que 885 v, según las normas CADAPE, pero los voltajes ES y ET están por debajo de las tensiones de paso y toque permisibles, y por ultimo se observa que el máximo gradiente de potencial esta por debajo del valor de la tensión de toque70 pero por encima de la tensión de toque50, resaltando así que la malla es segura para personas del orden de los 70 kg, sin embargo podría ser insegura para personas del orden de los 50 kg.

TABLA 3.2 Subestación PAL

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	20
Numero de conductores paralelos	11
Longitud total de conductores(m)	2370
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,479
Tensión de toque50 permisible (v)	677,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2219,25
Tensión de toque70 permisible (v)	917,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3003,65
Máximo gradiente de potencial (v)	3278,76
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	251,04
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	401,19

En la tabla 3.2, correspondientes a los datos obtenidos de la subestación PAL, se observa que la resistencia de puesta a tierra esta en un valor aceptable, según el Std.IEEE 80-2000, es decir menor a 1Ω , la tensión de toque70 permisible es mayor que 885 v, según las normas CADAFE, pero los voltajes ES y ET están por debajo de las tensiones de paso y toque permisibles, y por ultimo se observa que el máximo gradiente de potencial está por encima de los valores de tensiones de toque permisibles, resaltándose de esa manera que la malla puede ser insegura a pesar de que cumple con las normas en algunos criterios.

Tabla 3.3 Subestación BARINAS IV

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	22
Numero de conductores paralelos	19
Longitud total de conductores(m)	8040
Resistencia de la malla de tierra (Ω)	2,61
Tensión de toque50 permisible (v)	762,00
Tensión de paso50 permisible (v)	2555,89
Tensión de toque70 permisible (v)	1031,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3459,25
Máximo gradiente de potencial (v)	4959
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	390,93
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	758,89

En la tabla 3.3, correspondientes a los datos obtenidos de la subestación BARINAS IV, se observa que la resistencia de puesta a tierra esta en un valor por encima del aceptable, según el Std.IEEE 80-2000, es decir mayor a 1Ω , las tensiones de toque70 y paso70 permisible son mayores que 885 v y 3133 v respectivamente, según las normas CADAPE, pero los voltajes ES y ET están por debajo de las tensiones de paso y toque permisibles, y por ultimo se observa que el máximo gradiente de potencial está por encima de los valores de tensión de toque permisibles, resaltándose de esa manera que la malla puede ser insegura a pesar de que cumple con las normas en algunos criterios.

Tabla 3.4 Subestación BAMARI

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	25
Numero de conductores paralelos	21
Longitud total de conductores(m)	5090
Resistencia de la malla de tierra (Ω)	1,51
Tensión de toque50 permisible (v)	702,95
Tensión de paso50 permisible (v)	2319,65
Tensión de toque70 permisible (v)	951,41
Tensión de paso70 permisible (v)	3139,53
Máximo gradiente de potencial (v)	1395,24
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	131,50
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	158,22

En la tabla 3.4, correspondientes a los datos obtenidos de la subestación BAMARI, se observa que la resistencia de puesta a tierra esta en un valor por encima del aceptable, según el Std.IEEE 80-2000, es decir mayor a 1Ω , las tensiones de toque70 y paso70 permisibles son mayores que 885 v y 3133 v respectivamente, según las normas CADAPE, pero los voltajes ES y ET están por debajo de las tensiones de paso y toque permisibles, y por ultimo se observa que el máximo gradiente de potencial está por encima de los valores de tensión de toque permisibles, resaltándose de esa manera que la malla puede ser insegura a pesar de que las tensiones de paso Es y toque Et estén por debajo de las tensiones de paso y toque permisibles.

3.3 CALCULO DE ATERRAMIENTO EN APOYOS Y ESTRUCTURAS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Entre los criterios de diseño de la puesta a tierra de las líneas de transmisión, tenemos los establecidos por CADAFE en su Norma NL-AV, 1985, apartado VI.2. el cual establece lo siguiente:

Las resistencias de puesta a tierra de las estructuras no deben exceder los 20 ohmios.

Las configuraciones que se utilizarán son las de 4x25 m para resistividades menores a 1000 ohmios y 4x75 m para resistividades igual o mayor a 1000 ohmios.

Se evitará en lo posible la configuración de contrapeso circulares

El ángulo de salida del contrapeso radial o en estrella será aproximadamente igual a 45°. Figura 2.30

La profundidad de enterramiento será como mínimo de 80 cm, y se emplazarán preferiblemente paralelos a la proyección vertical de los cables de guarda.

3.3.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN D.T.A 115KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI

Aplicando las fórmulas 2.56, 2.57 y 2.58, con un diámetro de 5/16" del conductor usado como contrapeso, jabalinas de longitud de 2,44 m y 5/8" de diámetro.

Para contrapeso radial del tipo 4xL

Según ecuación 2.56;

Con L=25 m

$$R_T = \rho(0,0256)$$

Con L=50 m

$$R_T = \rho(0,0139)$$

Con L=75 m

$$R_T = \rho(9,698 \times 10^{-3})$$

Para contrapeso combinado (Radial con jabalina) del tipo 4*(L+J)

Según ecuación 2.57;

Con L=5m

$$R_T = \rho(0,0701)$$

Con L=10 m

$$R_T = \rho(0,0458)$$

Con L=15 m

$$R_T = \rho(0,0344)$$

Con L= 20 m

$$R_T = \rho(0,0277)$$

Con L=25 m

$$R_T = \rho(0,0233)$$

Con L=30 m

$$R_T = \rho(0,0202)$$

Con L=35 m

$$R_T = \rho(0,0178)$$

Con $L=40$ m

$$R_T = \rho(0,0159)$$

Para contrapeso circular de radio r

Según ecuación 2.57;

Con $r=6$

$$R_T = \rho(0,0553)$$

Con $r=10$

$$R_T = \rho(0,0357)$$

Con $r=14$ m

$$R_T = \rho(0,0267)$$

Con $r=18$ m

$$R_T = \rho(0,0215)$$

Basados en las muestras de las mediciones de las resistividades promedio facilitadas por CADAPE, se muestra en la tabla 3.5 los resultados obtenidos de las configuraciones de puesta a tierra utilizadas en las estructuras de apoyo de la línea de transmisión D.T.A 115 KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI.

Tabla 3.5 Resultados obtenidos para la línea PEZ- BAMARI

No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
1	140,74	3,60	Contrapeso radial 4x25
2	534,07	13,67	Contrapeso radial 4x25
3	133,20	3,40	Contrapeso radial 4x25
4	87,96	2,25	Contrapeso radial 4x25
5	830,64	11,55	Contrapeso radial 4x50
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
6	96,76	2,48	Contrapeso radial 4x25
7	67,86	1,74	Contrapeso radial 4x25
8	59,06	1,51	Contrapeso radial 4x25
9	468,73	11,99	Contrapeso radial 4x25
10	49,01	1,25	Contrapeso radial 4x25
11	280,23	7,17	Contrapeso radial 4x25

12	123,15	3,15	Contrapeso radial 4x25
13	233,73	5,98	Contrapeso radial 4x25
14	148,28	3,79	Contrapeso radial 4x25
15	302,25	7,74	Contrapeso radial 4x25
16	331,75	8,49	Contrapeso radial 4x25
17	219,91	5,62	Contrapeso radial 4x25
18	126,92	3,25	Contrapeso radial 4x25
19	340,55	8,72	Contrapeso radial 4x25
20	312,90	8,01	Contrapeso radial 4x25
21	155,82	3,99	Contrapeso radial 4x25
22	689,89	17,66	Contrapeso radial 4x25
23	216,14	5,53	Contrapeso radial 4x25
24	182,21	4,66	Contrapeso radial 4x25
25	338,04	8,65	Contrapeso radial 4x25
26	642,14	16,44	Contrapeso radial 4x25

27	281,49	7,21	Contrapeso radial 4x25
28	1172,44	11,37	Contrapeso radial 4x75
29	61,58	1,58	Contrapeso radial 4x25
30	76,65	1,96	Contrapeso radial 4x25
31	237,50	6,08	Contrapeso radial 4x25
32	260,12	6,66	Contrapeso radial 4x25
33	432,28	11,06	Contrapeso radial 4x25
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
34	251,33	6,43	Contrapeso radial 4x25
35	250,07	6,40	Contrapeso radial 4x25
36	196,04	5,02	Contrapeso radial 4x25
37	138,23	3,54	Contrapeso radial 4x25
38	256,35	6,56	Contrapeso radial 4x25
39	699,95	17,92	Contrapeso radial 4x25

40	811,79	11,28	Contrapeso 4x50	radial
41	994,00	13,82	Contrapeso 4x50	radial
42	456,16	11,68	Contrapeso 4x25	radial
43	373,22	9,55	Contrapeso 4x25	radial
44	972,64	13,52	Contrapeso 4x50	radial
45	182,21	4,66	Contrapeso 4x25	radial
46	652,19	16,69	Contrapeso 4x25	radial
47	559,20	14,32	Contrapeso 4x25	radial
48	250,07	6,40	Contrapeso 4x25	radial
49	368,19	9,43	Contrapeso 4x25	radial
50	241,27	6,18	Contrapeso 4x25	radial
51	219,91	5,63	Contrapeso 4x25	radial
52	365,68	9,36	Contrapeso 4x25	radial
53	106,81	2,73	Contrapeso 4x25	radial
54	75,40	1,93	Contrapeso 4x25	radial

55	262,64	6,72	Contrapeso radial 4x25
56	397,10	10,17	Contrapeso radial 4x25
57	639,63	16,37	Contrapeso radial 4x25
58	869,59	12,09	Contrapeso radial 4x50
59	617,01	15,71	Contrapeso radial 4x25
60	135,72	3,47	Contrapeso radial 4x25
61	131,95	3,38	Contrapeso radial 4x25
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
62	96,76	2,48	Contrapeso radial 4x25
63	136,97	3,50	Contrapeso radial 4x25
64	133,20	3,41	Contrapeso radial 4x25
65	87,96	2,25	Contrapeso radial 4x25
66	95,50	2,44	Contrapeso radial 4x25
67	123,15	3,15	Contrapeso radial 4x25

68	180,96	4,63	Contrapeso radial 4x25
69	204,83	5,24	Contrapeso radial 4x25
70	123,15	3,15	Contrapeso radial 4x25
71	140,74	3,60	Contrapeso radial 4x25
72	175,93	4,50	Contrapeso radial 4x25
73	175,93	4,50	Contrapeso radial 4x25
74	234,99	6,02	Contrapeso radial 4x25
75	343,06	8,78	Contrapeso radial 4x25
76	168,39	4,31	Contrapeso radial 4x25
77	777,86	10,81	Contrapeso radial 4x50
78	189,75	4,86	Contrapeso radial 4x25
79	295,31	7,56	Contrapeso radial 4x25
80	131,95	3,38	Contrapeso radial 4x25
81	105,56	2,70	Contrapeso radial 4x25
82	105,56	2,70	Contrapeso radial 4x25

83	354,37	9,07	Contrapeso radial 4x25
84	429,77	11,00	Contrapeso radial 4x25
85	109,33	2,79	Contrapeso radial 4x25
86	346,83	8,89	Contrapeso radial 4x25
87	162,11	4,15	Contrapeso radial 4x25
88	325,47	8,33	Contrapeso radial 4x25
89	150,80	3,86	Contrapeso radial 4x25
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
90	183,47	4,69	Contrapeso radial 4x25
91	159,59	4,09	Contrapeso radial 4x25
92	123,15	3,15	Contrapeso radial 4x25
93	780,37	10,84	Contrapeso radial 4x50
94	152,05	3,89	Contrapeso radial 4x25
95	251,33	6,43	Contrapeso radial 4x25

96	320,44	8,20	Contrapeso radial 4x25
97	1055,58	10,24	Contrapeso radial 4x75
98	471,24	12,06	Contrapeso radial 4x25
99	420,97	10,78	Contrapeso radial 4x25
100	1193,81	11,58	Contrapeso radial 4x75
101	565,49	14,48	Contrapeso radial 4x25
102	301,59	7,72	Contrapeso radial 4x25
103	520,25	13,31	Contrapeso radial 4x25
104	841,95	11,70	Contrapeso radial 4x50
105	238,76	6,11	Contrapeso radial 4x25
106	1043,01	10,12	Contrapeso radial 4x75
107	779,11	10,83	Contrapeso radial 4x50
108	508,94	13,03	Contrapeso radial 4x25

En la tabla 3.5, correspondientes a resultados obtenidos de la línea D.T.A 115 KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI. Se observa que en todos los casos la resistencia de puesta a tierra esta por

debajo de 20 ohm, notándose así que cumple con la norma CADAPE, resaltando que el diseño es técnicamente aceptable.

3.3.2 LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV, AISLADA EN 230 KV. S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E SAN JUAN DE LOS MORROS

Basados en las muestras de las mediciones de las resistividades promedio facilitadas por CADAPE, se muestra en la tabla 3.6 los resultados obtenidos de las configuraciones de puesta a tierra utilizadas en las estructuras de apoyo de la línea de transmisión PEZ- SAN JUAN

Tabla 3.6 Resultados obtenidos para la línea PEZ- SAN JUAN

No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
1	16,02	0,41	Contrapeso radial 4x25
2	67,70	1,73	Contrapeso radial 4x25
3	11,62	0,29	Contrapeso radial 4x25
4	15,71	0,40	Contrapeso radial 4x25
5	10,52	0,27	Contrapeso radial 4x25
6	12,25	0,31	Contrapeso radial 4x25
7	25,92	0,66	Contrapeso radial 4x25
8	12,25	0,31	Contrapeso

			radial 4x25
9	10,05	0,26	Contrapeso radial 4x25
10	19,64	0,43	Contrapeso radial 4x25
11	10,68	0,27	Contrapeso radial 4x25
12	32,44	0,83	Contrapeso radial 4x25
13	24,66	0,63	Contrapeso radial 4x25
14	27,80	0,71	Contrapeso radial 4x25
15	72,42	1,85	Contrapeso radial 4x25
16	60,00	1,54	Contrapeso radial 4x25
17	25,92	0,66	Contrapeso radial 4x25
18	44,14	1,13	Contrapeso radial 4x25
19	9,11	0,23	Contrapeso radial 4x25
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω . - m)	Resistencia (Ω .) (calculada)	Configuración Recomendada
20	13,20	0,34	Contrapeso radial 4x25
21	11,62	0,29	Contrapeso radial 4x25

22	7,22	0,18	Contrapeso radial 4x25
23	9,42	0,24	Contrapeso radial 4x25
24	21,05	0,54	Contrapeso radial 4x25
25	27,80	0,71	Contrapeso radial 4x25
26	11,63	0,30	Contrapeso radial 4x25
27	17,44	0,45	Contrapeso radial 4x25
28	9,43	0,24	Contrapeso radial 4x25
29	11,31	0,29	Contrapeso radial 4x25
30	19,32	0,49	Contrapeso radial 4x25
31	34,72	0,89	Contrapeso radial 4x25
32	17,28	0,44	Contrapeso radial 4x25
33	15,39	0,39	Contrapeso radial 4x25
34	4,71	0,12	Contrapeso radial 4x25
35	13,51	0,35	Contrapeso radial 4x25
36	16,65	0,43	Contrapeso radial 4x25

37	10,21	0,26	Contrapeso radial 4x25
38	14,77	0,38	Contrapeso radial 4x25
39	21,99	0,56	Contrapeso radial 4x25
40	35,19	0,90	Contrapeso radial 4x25
41	22,46	0,57	Contrapeso radial 4x25
42	22,46	0,57	Contrapeso radial 4x25
43	20,11	0,51	Contrapeso radial 4x25
44	16,02	0,41	Contrapeso radial 4x25
45	11,62	0,29	Contrapeso radial 4x25
46	17,44	0,24	Contrapeso radial 4x25
47	20,42	0,52	Contrapeso radial 4x25
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia (Ω) (calculada)	Configuración Recomendada
48	9,74	0,25	Contrapeso radial 4x25
49	28,28	0,72	Contrapeso radial 4x25
50	29,69	0,76	Contrapeso

			radial 4x25
51	44,14	1,13	Contrapeso radial 4x25
52	8,80	0,22	Contrapeso radial 4x25
53	15,24	0,39	Contrapeso radial 4x25
54	31,89	0,82	Contrapeso radial 4x25
55	55,92	1,43	Contrapeso radial 4x25
56	29,53	0,56	Contrapeso radial 4x25
57	84,98	2,17	Contrapeso radial 4x25
58	34,09	0,87	Contrapeso radial 4x25
59	42,88	1,09	Contrapeso radial 4x25
60	33,30	0,85	Contrapeso radial 4x25
61	22,31	0,57	Contrapeso radial 4x25
62	20,89	0,53	Contrapeso radial 4x25
63	15,86	0,41	Contrapeso radial 4x25
64	33,15	0,85	Contrapeso radial 4x25
65	14,29	0,37	Contrapeso

			radial 4x25
66	21,05	0,54	Contrapeso radial 4x25
67	21,05	0,54	Contrapeso radial 4x25

En la tabla 3.6, correspondientes a resultados obtenidos de la línea S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E SAN JUAN DE LOS MORROS se observa que en todos los casos la resistencia de puesta a tierra esta por debajo de 20 ohm, notándose así que cumple con la norma CADAPE, resaltando que el diseño es técnicamente aceptable.

3.4 REDISEÑO DE LA MALLA DE TIERRA DE LAS SUBESTACIONES YA DISEÑADAS

Luego del análisis, algunas mallas se rediseñan para comprobar cambios en sus parámetros, para eso se realizará nuevos diseños teniendo en cuenta el espaciamiento entre conductores de la malla para observar los cambios que se producen. Cabe notar que al solo cambiar el espaciamiento entre los conductores, la sección del conductor y las tensiones de paso y toque permisibles no varían, ya que no dependen de este parámetro.

3.4.1 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BORDONES

Características físicas del terreno:

- Área total de la malla 83mx80m
- Resistividad del suelo = $25 \Omega \cdot m$. (Ver anexos)
- Corriente de falla a tierra máxima= 11kA
- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra= 0,5m

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A= 6640\text{m}^2$

Separación entre conductores $D=3\text{m}$

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{83}{3} + 1 = 29$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{80}{3} + 1 = 28$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 29 \cdot 83 + 28 \cdot 80 = 4647\text{m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Calculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 25 * \left[\frac{1}{4647} + \frac{1}{\sqrt{20 * 6640}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/6640}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,141\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de S_f con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver anexo 1). Para 2 líneas de transmisión y 4 de distribución.
 $S_f=25\%$

$$I_G = 13,75 * 0,25 = 3,44\text{kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$\text{GPR} = 3440 * 0,141 = 485,04\text{V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 29$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{3 + 0,5} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{29-2}) \right] = 0,515$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 29 = 4,936$$

$$E_s = 0,515 * 4,936 * 25 * \frac{3440}{4647}$$

$$E_s = 47,07 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 * 29)^{\frac{2}{29}}} = 0,76$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341\text{m}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{3^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(3 + 2 * 0,5)^2}{8 * 3 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{0,41}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 29 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,60$$

$$E_t = 0,60 * 4,936 * 25 * \frac{3440}{4647}$$

$$E_t = 54,81V$$

Cambiando la separación entre conductores a 5 m, tenemos:

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A = 6640m^2$

Separación entre conductores $D = 5m$

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{83}{5} + 1 = 18$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{80}{5} + 1 = 17$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 18 * 83 + 17 * 80 = 2854m$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Calculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 25 * \left[\frac{1}{2854} + \frac{1}{\sqrt{20 * 6640}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/6640}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,144\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver anexo 1). Para 2 líneas de transmisión y 4 de distribución. Sf=25%

$$IG = 13,75 * 0,25 = 3,44 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 3440 * 0,144 = 495,36 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 18$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{5 + 0,5} + \frac{1}{5} (1 - 0,5^{18-2}) \right] = 0,439$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 18 = 3,308$$

$$E_s = 0,439 * 3,308 * 25 * \frac{3440}{2854}$$

$$E_s = 43,86 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_{ii} = \frac{1}{\left(\frac{2 * 18}{0,5} \right)^{\frac{2}{18}}} = 0,67$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{1}{1} \right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341 \text{ m}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{5^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(5 + 2 * 0,5)^2}{8 * 5 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{0,67}{1,22} \operatorname{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 18 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,49$$

Así;

$$E_t = 0,49 * 3,308 * 25 * \frac{3440}{2854}$$

$$E_t = 48,84V$$

3.4.2 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación PLANTA ANTONIO LOVERA (PAL) 230KV (Nodal 400T)

Características físicas del terreno:

- Resistividad del suelo = 69 Ω - m . (ver anexos 2)
- Corriente de falla a tierra máxima= 24,89kA.
- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra= 0,5m.
- Área total de la malla 91mx50m

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla A=4550m²

Separación entre conductores D=3m

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{91}{3} + 1 = 32$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{50}{3} + 1 = 18$$

Longitud total de conductores Lc:

$$LC = 32*91+18*50= 3812 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

Calculo de Rg utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 69 * \left[\frac{1}{3812} + \frac{1}{\sqrt{20 * 4550}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/4550}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,468\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

$$IG = I_g * S_f$$

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C19).(Ver Anexo 1).Para 4 líneas de transmisión sin distribución.
Sf=25%

$$IG = 27,38*0,25 = 6,845\text{kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 6845*0,468 = 3202,46\text{V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 24$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{3 + 0,5} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{15-2}) \right] = 0,515$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,14824N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 24 = 4,196$$

$$E_s = 0,515 * 4,196 * 69 * \frac{6845}{3812}$$

$$E_s = 267,93 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 * 24)^{\frac{2}{24}}} = 0,72$$

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341 \text{ m}$$

Así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{3^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(3 + 2 * 0,5)^2}{8 * 3 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{0,72}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 24 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,490$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,490 * 4,196 * 69 * \frac{6845}{3812}$$

$$E_t = 254,74 \text{ V}$$

Cambiando la separación entre conductores a 10 m, tenemos:

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A = 4550 \text{ m}^2$

Separación entre conductores $D = 10 \text{ m}$

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{91}{10} + 1 = 10$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{50}{10} + 1 = 6$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 10 * 91 + 6 * 50 = 1210 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Cálculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 69 * \left[\frac{1}{1210} + \frac{1}{\sqrt{20 * 4550}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5 \sqrt{20/4550}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,507 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

$$IG = I_g * S_f$$

El valor de S_f con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C19).(Ver Anexo 1).Para 4 líneas de transmisión sin distribución.
 $S_f = 25\%$

$$IG = 27,38 * 0,25 = 6,845 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 6845 * 0,507 = 3471 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (E_s).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 8$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{10 + 0,5} + \frac{1}{10} (1 - 0,5^{8-2}) \right] = 0,379$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 8 = 1,828$$

Por lo tanto;

$$E_s = 0,379 * 1,828 * 69 * \frac{6845}{1210}$$

$$E_s = 270,42 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (E_t).

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 * 8)^{\frac{2}{8}}} = 0,5$$

$$Kh = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$d = 0,01341 \text{ m}$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{10^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(10 + 2 * 0,5)^2}{8 * 10 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{0,5}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 8 - 1)} \right]$$

$$Km = 0,990$$

$$Et = 0,990 * 1,828 * 69 * \frac{6845}{1210}$$

$$Et = 706,39 \text{ V}$$

3.4.3 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BARINAS IV. 230/115KV (Nodal 230T)

Características físicas del terreno

- Resistividad del suelo = 1207 $\Omega \cdot \text{m}$. (ver anexo 2)
- Corriente de falla a tierra máxima = 9,5kA.
- Área total de la malla 210mx180
- Profundidad de enterramiento de la malla a tierra = 0,5m.

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla A = 37800m²

Separación entre conductores D = 3m

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{210}{3} + 1 = 71$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{180}{3} + 1 = 61$$

Longitud total de conductores Lc:

$$LC = 71 \cdot 210 + 61 \cdot 180 = 25890 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

Calculo de Rg utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 1207 * \left[\frac{1}{25890} + \frac{1}{\sqrt{20} * 37800} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/37800}} \right) \right]$$

$$R_g = 2,81 \Omega$$

Calculo de Rg utilizando el método de Schwarz.

$$h' = 0,082 \text{ m}$$

$$d = 0,01341 \text{ m}$$

Se utilizaran 32 barras de tierra de 0.016m de diámetro y 2,44m de longitud en el perímetro de la malla.

Los valores de k1 y K2, se obtuvieron a través de la figura 25 del Std.IEEE 80-2000 (ver figura 2.29 del Capitulo 2). Para una profundidad de enterramiento menor de $S < h = 0,1/\sqrt{A}$, se toman los valores de la curva B de la figura.

$$K1 = -0,05 \frac{Lb}{La} + 1,2 = 1,142$$

$$K2 = 0,1 \frac{Lb}{La} + 4,68 = 4,797$$

$$R1 = \frac{1207}{\pi 25890} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 25890}{0,082} \right) + \frac{1,142 * 25890}{\sqrt{37800}} - 4,797 \right]$$

$$R1 = 2,38373 \Omega$$

$$R2 = \frac{1207}{2\pi * 32 * 2,44} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 * 2,44}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,142 * 2,44 (\sqrt{32} - 1)^2}{\sqrt{37800}} \right]$$

$$R2 = 16,553438 \Omega$$

$$Rm = \frac{1207}{\pi 25890} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 25890}{2,44} \right) + \frac{1,142 * 25890}{\sqrt{37800}} - 4,797 + 1 \right]$$

$$Rm = 2,34822 \Omega$$

Así:

$$Rg = \frac{2,38373 * 16,553438 - 2,34822^2}{2,38373 + 16,553438 - 2 * 2,34822}$$

$$Rg = 2,38 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 9,5 * 0,20 = 1,9 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 1900 * 2,38 = 4522 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{Na * Nb} = 66$$

$$Ks = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{3 + 0,5} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{66-2}) \right] = 0,515$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$Ki = 0,644 + 0,148N$$

$$Ki = 0,644 + 0,148 * 66 = 10,412$$

$$Lr = 2,44 \text{ m}$$

$$L = 25890 + 1,5 * 2,44 = 25893,66 \text{ m}$$

Por lo tanto;

$$Es = 0,515 * 10,412 * 1207 * \frac{1900}{25893,66}$$

$$Es = 475,24 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$K_{ii} = 1$; para mallas con barras de tierra.

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{3^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(3 + 2 * 0,5)^2}{8 * 3 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 66 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,250$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,250 * 10,412 * 1207 * \frac{1900}{25893,66}$$

$$E_t = 230,57V$$

Cambiando la separación entre conductores a 5 m, tenemos:

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A = 37800m^2$

Separación entre conductores $D = 5m$

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{210}{5} + 1 = 43$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{180}{5} + 1 = 36$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 43 * 210 + 36 * 180 = 15510 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

Calculo de Rg utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 1207 * \left[\frac{1}{15510} + \frac{1}{\sqrt{20 * 37800}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/37800}} \right) \right]$$

$$R_g = 2,84 \Omega$$

Calculo de Rg utilizando el método de Schwarz.

$$h' = 0,082m$$

$$d = 0,01341m$$

Se utilizaran 32 barras de tierra de 0.016m de diámetro y 2,44m de longitud en el perímetro de la malla.

Los valores de k1 y K2, se obtuvieron a través de la figura 25 del Std.IEEE 80-2000 (ver figura 2.29 del Capítulo 2). Para una profundidad de enterramiento menor de $S < h = 0,1/\sqrt{A}$, se toman los valores de la curva B de la figura.

$$K1 = -0,05 \frac{Lb}{La} + 1,2 = 1,142$$

$$K2 = 0,1 \frac{Lb}{La} + 4,68 = 4,797$$

$$R1 = \frac{1207}{\pi 15510} \left[\ln \left(\frac{2 * 15510}{0,082} \right) + \frac{1,142 * 15510}{\sqrt{37800}} - 4,797 \right]$$

$$R1 = 2,45604 \Omega$$

$$R2 = \frac{1207}{2\pi * 32 * 2,44} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 * 2,44}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,142 * 2,44 (\sqrt{32} - 1)^2}{\sqrt{37800}} \right]$$

$$R2 = 16,553438\Omega$$

$$Rm = \frac{1207}{\pi 15510} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 15510}{2,44} \right) + \frac{1,142 * 15510}{\sqrt{37800}} - 4,797 + 1 \right]$$

$$Rm = 2,39676\Omega$$

Así:

$$Rg = \frac{2,45604 * 16,55343 - 2,39676^2}{2,45604 + 16,55343 - 2 * 2,39676}$$

$$Rg = 2,46\Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 9,5 * 0,20 = 1,90 \text{ k}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 1900 * 2,46 = 4666,00 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{Na * Nb} = 40$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{5 + 0,5} + \frac{1}{5} (1 - 0,5^{40-2}) \right] = 0,439$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 40 = 6,564$$

$$L_r = 2,44 \text{ m}$$

$$L = 15510 + 1,5 * 2,44 = 15513,66 \text{ m}$$

Por lo tanto;

$$E_s = 0,439 * 6,564 * 1207 * \frac{1900}{15513,66}$$

$$E_s = 426,79 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$K_{ii} = 1$; para mallas con barras de tierra.

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{5^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(5 + 2 * 0,5)^2}{8 * 5 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 40 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,450$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,450 * 6,564 * 1207 * \frac{1900}{15513,66}$$

$$E_t = 436,64 \text{ V}$$

3.4.4 Rediseño de la Malla de Tierra de la Subestación BAMARI 115kV (Nodal 115TD)

Características físicas del terreno

- Resistividad del suelo = $408 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$. (ver Anexo 2)
- Corriente de falla a tierra máxima = $4,20 \text{ kA}$.
- Área total de la malla $120,0 \text{ m} \times 99,5 \text{ m}$

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A = 11940 \text{ m}^2$

Separación entre conductores $D = 3 \text{ m}$

Número de conductores transversales:

$$N_b = \frac{120}{3} + 1 = 41$$

Número de conductores paralelos:

$$N_a = \frac{99,5}{3} + 1 = 35$$

Longitud total de conductores L_c :

$$L_c = 41 \cdot 120 + 35 \cdot 99,5 = 8402,5 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (R_g)

Calculo de R_g utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 408 * \left[\frac{1}{8402,5} + \frac{1}{\sqrt{20 * 11940}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5 \sqrt{20 / 11940}} \right) \right]$$

$$R_g = 1,70 \Omega$$

Calculo de R_g utilizando el método de Schwarz

$$h' = 0,082\text{m}$$

$$d = 0,01341\text{m}$$

Se utilizaran 46 barras de tierra de 5/8" de diámetro y 3m de longitud en el perímetro de la malla.

$$K1 = -0,05 \frac{L_b}{L_a} + 1,2 = 1,140$$

$$K2 = 0,1 \frac{L_b}{L_a} + 4,68 = 4,801$$

$$R1 = \frac{408}{\pi 8402,5} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 8402,5}{0,082} \right) + \frac{1,140 * 8402,5}{\sqrt{11940}} - 4,801 \right]$$

$$R1 = 1,46975 \Omega$$

$$R2 = \frac{408}{2\pi * 46 * 3} \left[\text{Ln} \left(\frac{4 * 3}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,140 * 3 (\sqrt{46} - 1)^2}{\sqrt{11940}} \right]$$

$$R2 = 3,95917 \Omega$$

$$R_m = \frac{408}{\pi 8402,5} \left[\text{Ln} \left(\frac{2 * 8402,5}{3} \right) + \frac{1,140 * 8402,5}{\sqrt{11940}} - 4,801 + 1 \right]$$

$$R_m = 1,42957 \Omega$$

Así:

$$R_g = \frac{1,46975 * 3,95917 - 1,42957^2}{1,46975 + 3,95917 - 2 * 1,42957}$$

$$R_g = 1,47 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 4,62 * 0,20 = 0,924 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 924 * 1,47 = 1358,28 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 38$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{3 + 0,5} + \frac{1}{3} (1 - 0,5^{38-2}) \right] = 0,515$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 38 = 6,268$$

$$L_r = 3 \text{ m}$$

$$L = 8402,5 + 1,5 * 3 = 8407 \text{ m}$$

Así;

$$E_s = 0,515 * 6,268 * 408 * \frac{924}{8407}$$

$$E_s = 144,85 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$Kh = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$Km = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{Ln} \left(\frac{3^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(3 + 2 * 0,5)^2}{8 * 3 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \operatorname{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 38 - 1)} \right]$$

$$Km = 0,326$$

Por lo tanto;

$$Et = 0,326 * 6,268 * 408 * \frac{924}{8407}$$

$$Et = 91,63 \text{ V}$$

Cambiando la separación entre conductores a 10 m, tenemos:

Diseño de la malla de tierra.

Área de la malla $A = 11940 \text{ m}^2$

Separación entre conductores $D = 5 \text{ m}$

Número de conductores transversales:

$$Nb = \frac{120}{10} + 1 = 13$$

Número de conductores paralelos:

$$Na = \frac{99,5}{10} + 1 = 11$$

Longitud total de conductores Lc :

$$LC = 13 * 120 + 11 * 99,5 = 2654,5 \text{ m}$$

Determinación de la resistencia de puesta a tierra. (Rg)

Calculo de Rg utilizando el método de Sverak:

$$R_g = 408 * \left[\frac{1}{2654,5} + \frac{1}{\sqrt{20 * 11940}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{20/11940}} \right) \right]$$

$$R_g = 1,81 \Omega$$

Calculo de Rg utilizando el método de Schwar

$$h' = 0,082m$$

$$d = 0,01341m$$

Se utilizaran 46 barras de tierra de 5/8" de diámetro y 3m de longitud en el perímetro de la malla.

$$K1 = -0,05 \frac{L_b}{L_a} + 1,2 = 1,140$$

$$K2 = 0,1 \frac{L_b}{L_a} + 4,68 = 4,801$$

$$R1 = \frac{408}{\pi 2654,5} \left[\ln \left(\frac{2 * 2654,5}{0,082} \right) + \frac{1,140 * 2654,5}{\sqrt{11940}} - 4,801 \right]$$

$$R1 = 1,66203 \Omega$$

$$R2 = \frac{408}{2\pi * 46 * 3} \left[\ln \left(\frac{4 * 3}{0,008} \right) - 1 + \frac{2 * 1,140 * 3 (\sqrt{46} - 1)^2}{\sqrt{11940}} \right]$$

$$R2 = 3,95917 \Omega$$

$$R_m = \frac{408}{\pi 2654,5} \left[\ln \left(\frac{2 * 2654,5}{3} \right) + \frac{1,140 * 2654,5}{\sqrt{11940}} - 4,801 + 1 \right]$$

$$R_m = 1,57403 \Omega$$

Así:

$$R_g = \frac{1,66203 * 3,95917 - 1,57403^2}{1,66203 + 3,95917 - 2 * 1,57403}$$

$$R_g = 1,66 \Omega$$

Determinación de máxima porción de corriente que circulará por la red (IG).

El valor de Sf con respecto a lo establecido en el Std.IEEE 80-2000 (figura C3). (Ver Anexo 1). Para 4 líneas de transmisión y 12 de distribución. Sf=20%

$$IG = 4,62 * 0,20 = 0,924 \text{ kA}$$

Cálculo del máximo gradiente de potencial en la malla (GPR).

$$GPR = 924 * 1,66 = 1532,82 \text{ V}$$

Cálculo de voltaje de paso en la periferia de la malla (Es).

$$N = \sqrt{N_a * N_b} = 12$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 * 0,5} + \frac{1}{10 + 0,5} + \frac{1}{10} (1 - 0,5^{12-2}) \right] = 0,380$$

El factor de corrección por irregularidad es:

$$K_i = 0,644 + 0,148N$$

$$K_i = 0,644 + 0,148 * 12 = 2,42$$

$$L_r = 3m$$

$$L = 2654,5 + 1,5 * 3 = 2659 \text{ m}$$

Así;

$$E_s = 0,380 * 2,42 * 408 * \frac{924}{2659}$$

$$E_s = 130,38 \text{ V}$$

Voltaje de toque peligroso en la periferia (Et).

$$K_h = \sqrt{\left(1 + \frac{0,5}{1}\right)} = 1,22$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\text{Ln} \left(\frac{10^2}{16 * 0,5 * 0,01341} + \frac{(10 + 2 * 0,5)^2}{8 * 10 * 0,01341} - \frac{0,5}{4 * 0,01341} \right) + \frac{1}{1,22} \text{Ln} \frac{8}{\pi(2 * 12 - 1)} \right]$$

$$K_m = 0,818$$

Por lo tanto;

$$E_t = 0,818 * 2,42 * 408 * \frac{924}{2659}$$

$$E_t = 280,66 \text{ V}$$

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS DEL REDISEÑO DE LAS MALLAS DE PUESTA ATIERRA DE LAS DIFERENTES SUBESTACIONES

En las tablas siguientes mostraremos los valores obtenidos del rediseño de las mallas de puesta tierra de las distintas subestaciones para las diferentes separaciones entre conductores.

Tabla 3.7 Subestación los BORDONES (para una separación de 3m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	29
Numero de conductores paralelos	28
Longitud total de conductores(m)	4647
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,141
Tensión de toque50 permisible (v)	510,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2207,44
Tensión de toque70 permisible (v)	913,43
Tensión de paso70 permisible (v)	2987,66
Máximo gradiente de potencial (v)	485,04
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	47,50
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	54,81

Tabla 3.8 Subestación los BORDONES (para una separación de 5m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	18
Numero de conductores paralelos	17
Longitud total de conductores(m)	2854
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,144

Tensión de toque50 permisible (v)	510,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2207,44
Tensión de toque70 permisible (v)	913,43
Tensión de paso70 permisible (v)	2987,66
Máximo gradiente de potencial (v)	495,36
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	43,86
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	48,84

Tabla 3.9 Subestación PAL (para una separación de 3m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	32
Numero de conductores paralelos	18
Longitud total de conductores(m)	3812
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,468
Tensión de toque50 permisible (v)	677,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2219,25
Tensión de toque70 permisible (v)	917,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3003,65
Máximo gradiente de potencial (v)	3202,46
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	267,93
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	254,74

Tabla 3.10 Subestación los PAL (para una separación de 10 m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG

Numero de conductores transversales	10
Numero de conductores paralelos	6
Longitud total de conductores(m)	1210
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,507
Tensión de toque50 permisible (v)	677,85
Tensión de paso50 permisible (v)	2219,25
Tensión de toque70 permisible (v)	917,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3003,65
Máximo gradiente de potencial (v)	3471
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	270,42
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	706,39

Tabla 3.11 Subestación BARINAS IV (para una separación de 3m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	71
Numero de conductores paralelos	61
Longitud total de conductores(m)	25890
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	2,38
Tensión de toque50 permisible (v)	762,00
Tensión de paso50 permisible (v)	2555,89
Tensión de toque70 permisible (v)	1031,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3459,25
Máximo gradiente de potencial (v)	4522
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	474,90
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	230,57

Tabla 3.12 Subestación BARINAS IV (para una separación de 5m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	43
Numero de conductores paralelos	36
Longitud total de conductores(m)	15510
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	2,46
Tensión de toque50 permisible (v)	762,00
Tensión de paso50 permisible (v)	2555,89
Tensión de toque70 permisible (v)	1031,43
Tensión de paso70 permisible (v)	3459,25
Máximo gradiente de potencial (v)	4666,00
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	426,79
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	436,64

Tabla 3.13 Subestación BAMARI (para una separación de 3m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	41
Numero de conductores paralelos	35
Longitud total de conductores(m)	8402,5
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	1,47
Tensión de toque50 permisible (v)	702,95
Tensión de paso50 permisible (v)	2319,65
Tensión de toque70 permisible (v)	951,41
Tensión de paso70 permisible (v)	3139,53
Máximo gradiente de potencial (v)	1358,28
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	144,85
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la	91,63

mallas (Et). (v)	
------------------	--

Tabla 3.14 Subestación BAMARI (para una separación de 10 m)

Parámetro	VALORES
Conductor seleccionado	4/0 AWG
Numero de conductores transversales	13
Numero de conductores paralelos	11
Longitud total de conductores(m)	2654,50
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	1,66
Tensión de toque50 permisible (v)	702,95
Tensión de paso50 permisible (v)	2319,65
Tensión de toque70 permisible (v)	951,41
Tensión de paso70 permisible (v)	3139,53
Máximo gradiente de potencial (v)	1532,82
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	130,38
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	280,66

3.6 TABLAS COMPARATIVAS EN LAS SUBESTACIONES PARA LOS DISTINTOS ESPACIAMIENTOS

Tabla 3.15 Subestación LOS BORDONES

PARÁMETRO	VALORES	VALORES	VALORES
	DISEÑO (SEPARACIÓN D=10 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=3 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=5 m)

Conductor seleccionado	4/0 AWG	4/0 AWG	4/0 AWG
Número de conductores transversales	10	29	18
Número de conductores paralelos	9	28	17
Longitud total de conductores (m)	1550	4647	2854
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,151	0,141	0,144
Tensión de toque ⁵⁰ (v)	510,85	510,85	510,85
Tensión de paso ⁵⁰ (v)	2207,44	2207,44	2207,44
Tensión de toque ⁷⁰ (v)	913,43	913,43	913,43
Tensión de paso ⁷⁰ (v)	2987,66	2987,66	2987,66
Máximo gradiente de potencial (v)	519,44	485,04	495,36
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	44,78	47,5	43,86
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	113,13	54,81	48,84

Tabla 3.16 Subestación PAL

PARÁMETRO	VALORES DISEÑO (SEPARACIÓN	VALORES REDISEÑO (SEPARACIÓN	VALORES REDISEÑO (SEPARACIÓN
-----------	----------------------------	------------------------------	------------------------------

	D=10 m)	D=3 m)	D=5 m)
Conductor seleccionado	4/0 AWG	4/0 AWG	4/0 AWG
Número de conductores transversales	10	32	20
Número de conductores paralelos	6	18	11
Longitud total de conductores (m)	1210	3812	2370
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	0,507	0,468	0,479
Tensión de toque ⁵⁰ (v)	677,85	677,85	677,85
Tensión de paso ⁵⁰ (v)	2219,25	2219,25	2219,25
Tensión de toque ⁷⁰ (v)	917,43	917,43	917,43
Tensión de paso ⁷⁰ (v)	3003,64	3003,64	3003,64
Máximo gradiente de potencial (v)	3471	3202,46	3278,76
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	270,42	267,93	251,04
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	706,39	254,74	401,19

Tabla 3.17 Subestación BARINAS IV

PARÁMETRO	VALORES	VALORES	VALORES
-----------	---------	---------	---------

	DISEÑO (SEPARACIÓN D=10 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=3 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=5 m)
Conductor seleccionado	4/0 AWG	4/0 AWG	4/0 AWG
Número de conductores transversales	22	71	43
Número de conductores paralelos	19	61	36
Longitud total de conductores (m)	8040	25890	15510
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	2,61	2,38	2,46
Tensión de toque50 (v)	762	762	762
Tensión de paso50 (v)	2555,89	2555,89	2555,89
Tensión de toque70 (v)	1031,43	1031,43	1031,43
Tensión de paso70 (v)	3459,25	3459,25	3459,25
Máximo gradiente de potencial (v)	4959	4522	4666
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	390,93	474,9	426,79
Voltaje de toque peligroso en la periferia de la malla (Et). (v)	758,89	230,57	436,64

Tabla 3.18 Subestación BAMARI

PARÁMETRO	VALORES	VALORES	VALORES
	DISEÑO (SEPARACIÓN D=10 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=3 m)	REDISEÑO (SEPARACIÓN D=5 m)
Conductor seleccionado	4/0 AWG	4/0 AWG	4/0 AWG
Número de conductores transversales	13	41	25
Número de conductores paralelos	11	35	21
Longitud total de conductores (m)	2654,5	8402,5	5090
Resistencia de la malla de tierra(Ω)	1,66	1,47	1,51
Tensión de toque50 (v)	702,95	702,95	702,95
Tensión de paso50 (v)	2319,65	2319,65	2319,65
Tensión de toque70 (v)	951,41	951,41	951,41
Tensión de paso70 (v)	3139,53	3139,53	3139,53
Máximo gradiente de potencial (v)	1532,82	1358,28	1395,24
Voltaje de paso en la periferia de la malla (Es). (v)	130,38	144,85	131,5
Voltaje de toque peligroso en la periferia de	280,66	91,63	158,22

la malla (Et). (v)			
--------------------	--	--	--

3.6.1 Análisis de las Subestaciones para los Distintos Espaciamientos.

En las tablas 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 respectivamente se observa que el espaciamiento entre conductores tiene gran influencia en el voltaje de paso y toque, observándose que al aumentar el espaciamiento entre conductores, disminuye el voltaje de paso pero aumentan los voltajes de toque. También se observa que la resistencia de puesta a tierra no varía significativamente al aumentar o disminuir el espaciamiento entre conductores. Cabe notar que esta influencia del espaciamiento en el voltaje de paso y toque se refleja más en subestaciones de mayor área.

3.7 REDISEÑO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Para el rediseño de las líneas de transmisión nos basaremos en las mismos criterios de diseño ya antes expuestos, pero tomando en cuenta la configuración de contrapesos combinados con jabalinas, para observar los cambios en la resistencia de puesta a tierra de las torres y comparar un método con el otro, es decir el contrapeso radial puro con el contrapeso combinado con jabalinas.

3.7.1 LÍNEA DE TRANSMISIÓN D.T.A 115KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI

En la siguiente tabla mostraremos las configuraciones recomendadas para las estructuras de apoyo de la línea de transmisión D.T.A 115 KV S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E BAMARI.

Tabla 4.19 Resultados obtenidos para la línea PEZ- BAMARI

No	Resistencia	Resist	Configuración Recomendada
----	-------------	--------	---------------------------

de muestra s	Promedio (medida)(Ω - m)	encia Ω . calculada		
1	140,74	9,87	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
2	534,07	18,37	Contrapeso 4*(15m+JAB)	combinado
3	133,20	9,34	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
4	87,96	6,17	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
5	830,64	19,34	Contrapeso 4*(25m+JAB)	combinado
6	96,76	6,78	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
7	67,86	4,76	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
8	59,06	4,14	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
9	468,73	16,12	Contrapeso 4*(15m+JAB)	combinado
10	49,01	3,44	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
11	280,23	12,82	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
12	123,15	8,63	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
13	233,73	16,38	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
14	148,28	10,39	Contrapeso	combinado

			4*(5m+JAB)
15	302,25	13,87	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
16	331,75	15,19	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
17	219,91	15,42	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
18	126,92	8,89	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia Ω . calculada	Configuración Recomendada
19	340,55	15,59	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
20	312,90	14,33	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
21	155,82	10,92	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
22	689,89	17,66	Contrapeso radial 4x25
23	216,14	15,15	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
24	182,21	12,77	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
25	338,04	15,48	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
26	642,14	16,44	Contrapeso radial 4x25
27	281,49	12,89	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
28	1172,44	18,64	Contrapeso combinado

			4*(40m+JAB)
29	61,58	4,32	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
30	76,65	5,37	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
31	237,50	16,65	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
32	260,12	18,23	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
33	432,28	14,87	Contrapeso combinado 4*(15m+JAB)
34	251,33	17,62	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
35	250,07	17,53	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
36	196,04	13,74	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
37	138,23	9,69	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
38	256,35	17,97	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
39	699,95	17,92	Contrapeso radial 4x25
40	811,79	18,91	Contrapeso combinado 4*(25m+JAB)
41	994,00	17,69	Contrapeso combinado 4*(35m+JAB)
42	456,16	15,69	Contrapeso combinado 4*(15m+JAB)
43	373,22	17,09	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)

44	972,64	19,64	Contrapeso 4*(30m+JAB)	combinado
45	182,21	12,77	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
46	652,19	16,69	Contrapeso radial 4x25	
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resist encia Ω . calculada	Configuración Recomendada	
47	559,20	19,23	Contrapeso 4*(15m+JAB)	combinado
48	250,07	17,53	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
49	368,19	16,86	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
50	241,27	16,91	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
51	219,91	15,42	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
52	365,68	16,75	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
53	106,81	7,49	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
54	75,40	5,29	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
55	262,64	18,41	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
56	397,10	18,19	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
57	639,63	16,37	Contrapeso radial 4x25	

58	869,59	17,57	Contrapeso 4*(30m+JAB)	combinado
59	617,01	15,79	Contrapeso radial 4x25	
60	135,72	9,51	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
61	131,95	9,25	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
62	96,76	6,78	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
63	136,97	9,60	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
64	133,20	9,34	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
65	87,96	6,17	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
66	95,50	6,69	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
67	123,15	8,63	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
68	180,96	12,69	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
69	204,83	14,36	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
70	123,15	8,63	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
71	140,74	9,87	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
72	175,93	12,33	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
73	175,93	12,33	Contrapeso	combinado

			4*(5m+JAB)
74	234,99	16,47	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia Ω . calculada	Configuración Recomendada
75	343,06	15,71	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
76	168,39	11,80	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
77	777,86	18,12	Contrapeso combinado 4*(25m+JAB)
78	189,75	13,30	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
79	295,31	13,52	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
80	131,95	9,25	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
81	105,56	7,39	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
82	105,56	7,39	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
83	354,37	16,23	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
84	429,77	19,68	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
85	109,33	7,66	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
86	346,83	15,88	Contrapeso combinado

			4*(10m+JAB)	
87	162,11	11,36	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
88	325,47	14,91	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
89	150,80	10,57	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
90	183,47	12,86	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
91	159,59	11,19	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
92	123,15	8,63	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
93	780,37	18,18	Contrapeso 4*(25m+JAB)	combinado
94	152,05	10,66	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
95	251,33	17,62	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
96	320,44	14,68	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
97	1055,58	18,79	Contrapeso 4*(35m+JAB)	combinado
98	471,24	16,21	Contrapeso 4*(15m+JAB)	combinado
99	420,97	19,28	Contrapeso 4*(10m+JAB)	combinado
10 0	1193,81	18,98	Contrapeso 4*(40m+JAB)	combinado
10	565,49	19,45	Contrapeso	combinado

1			4*(15m+JAB)	
2	10	301,59	13,81	Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resistencia Ω calculada	Configuración Recomendada	
3	10	520,25	17,89	Contrapeso combinado 4*(15m+JAB)
4	10	841,95	17,00	Contrapeso combinado 4*(30m+JAB)
5	10	238,76	16,74	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
6	10	1043,01	18,57	Contrapeso combinado 4*(35m+JAB)
7	10	779,11	18,15	Contrapeso combinado 4*(25m+JAB)
8	10	508,94	17,51	Contrapeso combinado 4*(15m+JAB)

3.7.2 LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 115 KV, AISLADA EN 230 KV. S/E PLANTA EZEQUIEL ZAMORA- S/E SAN JUAN DE LOS MORROS

En la tabla 4.20 los resultados obtenidos de las configuraciones de puesta a tierra recomendadas en las estructuras de apoyo de la línea de transmisión PEZ- SAN JUAN

Tabla 4.20 Resultados obtenidos para la línea PEZ- SAN JUAN

No	Resistencia	Resist	Configuración
----	-------------	--------	---------------

de muestra s	Promedio (medida)(Ω - m)	encia Ω . calculada	Recomendada
1	16,02	1,12	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
2	67,70	4,75	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
3	11,62	0,81	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
4	15,71	1,10	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
5	10,52	0,73	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
6	12,25	0,85	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
7	25,92	1,82	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
8	12,25	0,86	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
9	10,05	0,70	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
10	19,64	1,38	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
11	10,68	0,75	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
No de muestra s	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resist encia Ω . calculada	Configuración Recomendada
12	32,44	2,27	Contrapeso combinado

			4*(5m+JAB)	
13	24,66	1,72	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
14	27,80	1,95	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
15	72,42	5,08	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
16	60,00	4,21	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
17	25,92	1,82	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
18	44,14	3,09	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
19	9,11	0,64	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
20	13,20	0,93	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
21	11,62	0,81	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
22	7,22	0,51	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
23	9,42	0,66	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
24	21,05	1,48	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
25	27,80	1,95	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
26	11,63	0,82	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
27	17,44	1,22	Contrapeso	combinado

			4*(5m+JAB)	
28	9,43	0,66	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
29	11,31	0,79	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
30	19,32	1,35	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
31	34,72	2,43	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
32	17,28	1,21	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
33	15,39	1,08	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
34	4,71	0,33	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
35	13,51	0,95	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
36	16,65	1,17	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
37	10,21	0,72	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
38	14,77	1,04	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
39	21,99	1,54	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
No de muestras	Resistencia Promedio (medida)(Ω - m)	Resist encia Ω calculada	Configuración Recomendada	
40	35,19	2,47	Contrapeso	combinado

			4*(5m+JAB)	
41	22,46	1,57	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
42	22,46	1,57	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
43	20,11	1,41	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
44	16,02	1,12	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
45	11,62	0,81	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
46	17,44	1,22	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
47	20,42	1,43	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
48	9,74	0,68	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
49	28,28	1,98	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
50	29,69	2,08	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
51	44,14	3,09	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
52	8,80	0,62	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
53	15,24	1,07	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
54	31,89	2,23	Contrapeso 4*(5m+JAB)	combinado
55	55,92	3,92	Contrapeso	combinado

			4*(5m+JAB)
56	29,53	2,07	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
57	84,98	5,96	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
58	34,09	2,39	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
59	42,88	3,00	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
60	33,30	2,33	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
61	22,31	1,56	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
62	20,89	1,46	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
63	15,86	1,11	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
64	33,15	2,32	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
65	14,29	1,00	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
66	21,05	1,48	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)
67	21,05	1,48	Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)

3.8 TABLAS COMPARATIVAS EN LA LÍNEA PEZ-BAMARI PARA LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES DE CONTRAPESOS

En la siguiente tabla mostraremos una comparación técnica entre el diseño realizado con las normativas de CADAPE y el diseño para configuraciones utilizadas actualmente en muchos países del mundo.

Cabe notar que solo se mostraran 10 muestras de la línea de transmisión para un mejor entendimiento y análisis comparativo entre una configuración y la otra.

Tabla 3.21 Configuraciones de puesta a tierra de la línea PEZ-BAMARI

No	Resist Promedio medida (Ω -m)	DISEÑO		REDISEÑO	
		Resistencia calculada (Ω)	Configuración (Contrapeso)	Resistencia calculada (Ω)	Configuración Recomendada
1	140,74	3,6	Radial 4x25	9,87	Combinado 4*(5m+JAB)
2	534,07	13,67	Radial 4x25	18,37	Combinado 4*(15m+JAB)
3	133,2	3,4	Radial 4x25	9,34	Combinado 4*(5m+JAB)
4	87,96	2,25	Radial 4x25	6,17	Combinado 4*(5m+JAB)
5	830,64	11,55	Radial 4x50	19,34	Combinado 4*(25m+JAB)
6	96,76	2,48	Radial 4x25	6,78	Combinado 4*(5m+JAB)
7	67,86	1,74	Radial 4x25	4,76	Combinado 4*(5m+JAB)
8	59,06	1,51	Radial 4x25	4,14	Combinado 4*(5m+JAB)
9	468,73	11,99	Radial 4x25	16,12	Combinado 4*(15m+JAB)
10	49,01	1,25	Radial 4x25	3,44	Combinado 4*(5m+JAB)

En la tabla 3.21 se observa que al comparar técnicamente un método con el otro, se obtiene que los dos son técnicamente aceptados cumpliendo con la norma CADAFE y el Std.IEEE 142-2007, no obstante se puede observar que con la configuración de contrapeso combinado se necesita menor cantidad de conductor para su elaboración, el cual esta directamente ligado al factor económico que es muy importante a la hora de hacer diseños de sistemas de puesta a tierra.

CAPITULO IV ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En el diseño de la puesta a tierra en subestaciones y líneas de transmisión hay un factor muy importante a la hora de diseñar, y este factor es el económico, ya que por ejemplo resultaría impráctico una placa metálica como aterramiento en una subestación.

En este capítulo se hará un análisis de costo unitario con la finalidad de observar que parámetros se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar una determinada puesta a Tierra.

En las siguientes tablas, desde la 4.1 hasta la 4.25, se mostrarán el valor unitario para las subestaciones diseñadas con anterioridad para los distintos cambios en los parámetros de diseño con el fin de determinar cual de estos parámetros tiene mayor influencia en el costo de una construcción de un sistema de aterramiento.

De igual forma se realizará el estudio económico del diseño de la puesta a tierra de las líneas de transmisión con el objetivo de determinar que configuración es técnicamente y económicamente recomendada a la hora de diseñar un sistema de aterramiento para líneas de transmisión

Tabla 4.1. Análisis de precio unitario Subestación BORDONES
(separación 10 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: OBRAS CIVILES S/E BORDONES							
Propietario: CORPOELEC							
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA							
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento			
			1	0,028571 S.G/Día			
1.- MATERIALES							
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total	
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	3,00		400,00	1.200,00	
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	90,00		20,50	1.845,00	
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	310,00		19,00	5.890,00	
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	1.550,00		30,10	46.655,00	
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00	
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00	
					Total Materiales:	55.970,00	
					Unitario de Materiales:	55.970,00	
2.- EQUIPOS							
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total		
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00		
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00		
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00		
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00		
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25		
					Total Equipos:	2.836,25	
					Unitario de Equipos:	99.270,24	
3.- MANO DE OBRA							
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42		
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32		
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58		
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84		
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44		
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10		
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32		
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98		
					Total Mano de Obra:	1.052,00	
					Mano de Obra Directa:	1.052,00	
					350,00%	Prestaciones Sociales	3.682,00
					Total Mano de Obra:	4.734,00	
					Unitario Mano de Obra:	165.692,49	
					Costo Directo por Und:	320.932,72	
					16,86%	Administración y Gastos Generales:	54.109,26
						Sub-Total:	375.041,98
					4,00%	Utilidad e Imprevistos:	15.001,68
					5,67%	Financiamiento:	21.264,88
						PRECIO UNITARIO Bsf.	411.308,54

Tabla 4.2 Análisis de precio unitario Subestación BORDONES
(separación 3 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BORDONES						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,028571 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	21,00		400,00	8.400,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	812,00		20,50	16.646,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	310,00		19,00	5.890,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	4.647,00		30,10	139.874,70
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00
Total Materiales:						171.190,70
Unitario de Materiales:						171.192,70
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alg	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						99.270,24
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						165.692,49
Costo Directo por Und:						436.155,42
16,86% Administración y Gastos Generales:						73.535,80
Sub-Total:						509.691,23
4,00% Utilidad e Imprevistos:						20.387,65
5,67% Financiamiento:						28.899,49
PRECIO UNITARIO Bsf.						558.978,37

Tabla 4.3 Análisis de precio unitario Subestación BORDONES
(separación 5 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BORDONES						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,028571 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	8,00		400,00	3.200,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	306,00		20,50	6.273,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	310,00		19,00	5.890,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	2.854,00		30,10	85.905,40
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00
Total Materiales:						101.648,40
Unitario de Materiales:						101.648,40
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						99.270,24
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales:						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						165.692,49
Costo Directo por Und:						366.611,12
16,86% Administración y Gastos Generales:						61.810,64
Sub-Total:						428.421,76
4,00% Utilidad e Imprevistos:						17.136,87
5,67% Financiamiento:						24.291,51
PRECIO UNITARIO Bsf.						469.850,14

Tabla 4.4 Análisis de precio unitario Subestación PAL (separación 5

m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E PAL						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,013333 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	6,00		400,00	2.400,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	220,00		20,50	4.510,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	474,00		19,00	9.006,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	2.370,00		30,10	71.337,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00
Total Materiales:						87.633,00
Unitario de Materiales:						87.633,00
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						212.724,07
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBREIRO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales:						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						355.058,88
Costo Directo por Und:						655.415,94
16,86% Administración y Gastos Generales:						110.503,13
Sub-Total:						765.919,07
4,00% Utilidad e Imprevistos:						30.636,76
5,67% Financiamiento:						43.427,61
PRECIO UNITARIO Bsf.						839.983,45

Tabla 4.5 Análisis de precio unitario Subestación PAL (separación 3

m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E PAL						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,013333 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	15,00		400,00	6.000,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	576,00		20,50	11.808,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	474,00		19,00	9.006,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	3.812,00		30,10	114.741,20
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00
Total Materiales:						141.935,20
Unitario de Materiales:						141.935,20
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						212.724,07
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales:						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						355.058,88
Costo Directo por Und:						709.718,14
16,86% Administración y Gastos Generales:						119.658,48
Sub-Total:						829.376,62
4,00% Utilidad e Imprevistos:						33.175,06
5,67% Financiamiento:						47.025,65
PRECIO UNITARIO Bsf. 909.577,34						

Tabla 4.6 Análisis de precio unitario Subestación PAL (separación
10 m)

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E PAL						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,013333 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	2,00		400,00	800,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	60,00		20,50	1.230,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	474,00		19,00	9.006,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	1.210,00		30,10	36.421,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	0,00		25,50	0,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	40,00		9,50	380,00
Total Materiales:						47.837,00
Unitario de Materiales:						47.837,00
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						212.724,07
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBREIRO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						355.058,88
Costo Directo por Und:						615.619,94
16,86% Administración y Gastos Generales:						103.793,52
Sub-Total:						719.413,47
4,00% Utilidad e Imprevistos:						28.776,54
5,67% Financiamiento:						40.790,74
PRECIO UNITARIO Bsf.						788.980,75

Tabla 4.7 Análisis de precio unitario Subestación BARINAS IV(separación 10 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BARINAS IV						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,016666 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	11,00		400,00	4.400,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	418,00		20,50	8.569,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.608,00		19,00	30.552,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	8.040,00		30,10	242.004,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	32,00		25,50	816,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	106,00		9,50	1.007,00
Total Materiales:						287.348,00
Unitario de Materiales:						287.348,00
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						170.181,81
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBREIRO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales:						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						284.051,36
Costo Directo por Und:						741.581,17
16,86% Administración y Gastos Generales:						125.030,59
Sub-Total:						866.611,75
4,00% Utilidad e Imprevistos:						34.664,47
5,67% Financiamiento:						49.136,89
PRECIO UNITARIO Bsf.						950.413,11

Tabla 4.8 Análisis de precio unitario Subestación BARINAS IV
(separación 3 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BARINAS IV						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,016666 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	109,00		400,00	43.600,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	4.331,00		20,50	88.785,50
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.608,00		19,00	30.552,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	25.890,00		30,10	779.289,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	32,00		25,50	816,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	106,00		9,50	1.007,00
Total Materiales:						944.049,50
Unitario de Materiales:						944.049,50
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						170.181,81
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84	35,42		
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66	99,32		
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29	88,58		
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84	70,84		
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37	496,44		
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55	111,10		
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32	50,32		
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99	99,98		
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						284.051,36
Costo Directo por Und:						1.398.282,67
16,86% Administración y Gastos Generales:						235.750,46
Sub-Total:						1.634.033,13
4,00% Utilidad e Imprevistos:						65.361,33
5,67% Financiamiento:						92.649,68
PRECIO UNITARIO Bsf.						1.792.044,13

Tabla 4.9 Análisis de precio unitario Subestación BARINAS IV
(separación 5 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BARINAS IV						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,016666 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	39,00		400,00	15.600,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	1.548,00		20,50	31.734,00
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.608,00		19,00	30.552,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	15.510,00		30,10	466.851,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	32,00		25,50	816,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	106,00		9,50	1.007,00
Total Materiales:						546.560,00
Unitario de Materiales:						546.560,00
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						170.181,81
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
<u>Mano de Obra Directa:</u>						1.052,00
350,00% <u>Prestaciones Sociales</u>						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						284.051,36
Costo Directo por Und:						1.000.793,17
16,86% Administración y Gastos Generales:						168.733,73
Sub-Total:						1.169.526,90
4,00% Utilidad e Imprevistos:						46.781,08
5,67% Financiamiento:						66.312,18
PRECIO UNITARIO Bs.f.						1.282.620,15

Tabla 4.10 Análisis de precio unitario Subestación BAMARI
(separación 5 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BAMARI						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Convenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,020408 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	14,00		400,00	5.600,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	525,00		20,50	10.762,50
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.018,00		19,00	19.342,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	5.090,00		30,10	153.209,00
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	46,00		25,50	1.173,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	58,00		9,50	551,00
Total Materiales:						190.637,50
Unitario de Materiales:						190.637,50
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						138.977,36
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBREIRO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						231.967,86
Costo Directo por Und:						561.582,72
16,86% Administración y Gastos Generales:						94.682,85
Sub-Total:						656.265,56
4,00% Utilidad e Imprevistos:						26.250,62
5,67% Financiamiento:						37.210,26
PRECIO UNITARIO Bsf.						719.726,44

Tabla 4.11 Análisis de precio unitario Subestación BAMARI
(separación 3 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BAMARI						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,020408 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	36,00		400,00	14.400,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	1.435,00		20,50	29.417,50
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.018,00		19,00	19.342,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	8.402,50		30,10	252.915,25
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	46,00		25,50	1.173,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	58,00		9,50	551,00
Total Materiales:						317.798,75
Unitario de Materiales:						317.798,75
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						138.977,36
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
<u>Mano de Obra Directa:</u>						1.052,00
350,00% <u>Prestaciones Sociales</u>						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						231.967,86
Costo Directo por Und:						688.743,97
16,86% Administración y Gastos Generales:						116.122,23
Sub-Total:						804.866,20
4,00% Utilidad e Imprevistos:						32.194,65
5,67% Financiamiento:						45.635,91
PRECIO UNITARIO Bsf.						882.696,76

Tabla 4.12 Análisis de precio unitario Subestación BAMARI
(separación 10 m)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra OBRAS CIVILES S/E BAMARI						
Propietario: CORPOELEC						
Descripción Partida: MALLA DE TIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
			1	0,020408 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
MOLD	MOLDE PARA SOLDADURA EXOTERMICA	UND	4,00		400,00	1.600,00
CART	CARTUCHO P/SOLDADURA EXOTERMICA	UND	143,00		20,50	2.931,50
CAB2	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO N°2 AWG	M	1.018,00		19,00	19.342,00
CON490	CONDUCTOR DE COBRE TRENADO N° 4/0	M	2.654,50		30,10	79.900,45
JABA	JABALINA DE COBRE COPPERWELD 5/8" x 2,44	UND	46,00		25,50	1.173,00
CONEC	CONECTOR A LA CERCA ALAMBRE PUAS	UND	58,00		9,50	551,00
Total Materiales:						105.497,95
Unitario de Materiales:						105.497,95
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
EQPRU3	EQUIPO DE PRUEBA	1,00	150,00	1,00	150,00	
O76	RETROEXCAVADORA 1 D	2,00	930,00	1,00	1.860,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
GRUA	CAMION GRUA 10 TON	0,25	1.425,00	1,00	356,25	
Total Equipos:						2.836,25
Unitario de Equipos:						138.977,36
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	0,50	70,84		35,42	
CCP06	CAPORAL	2,00	49,66		99,32	
CCP02	AYUDANTE	2,00	44,29		88,58	
P15	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1,00	70,84		70,84	
CCP04	OBRAERO DE 1ra	12,00	41,37		496,44	
CCP08	SOLDADOR DE 1ra	2,00	55,55		111,10	
CHO1	CHOFER DE 1ra	1,00	50,32		50,32	
CCP05	OPERERADPR DE EQUIPO LIVIANO	2,00	49,99		99,98	
Total Mano de Obra:						1.052,00
Mano de Obra Directa:						1.052,00
350,00% Prestaciones Sociales:						3.682,00
Total Mano de Obra:						4.734,00
Unitario Mano de Obra:						231.967,86
Costo Directo por Und:						476.443,17
16,86% Administración y Gastos Generales:						80.328,32
Sub-Total:						556.771,49
4,00% Utilidad e Imprevistos:						22.270,86
5,67% Financiamiento:						31.568,94
PRECIO UNITARIO Bsf.						610.611,29

Tabla 4.13 Análisis de precio unitario Contrapeso Radial 4x25 m

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISION						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - CONTRAPESO RADIAL 4x25m						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
				3,00 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	100,00		1,90	190,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	4,00		14,85	59,40
Total Materiales:						249,40
Unitario de Materiales:						249,40
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						316,67
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84	70,84		
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32	100,64		
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29	44,29		
CCP04	OBRAERO DE 1RA	8,00	41,37	330,96		
Total Mano de Obra:						546,73
<u>Mano de Obra Directa:</u>						546,73
350,00% <u>Prestaciones Sociales</u>						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						820,10
Costo Directo por Unidad:						1.386,16
25,00% Administración y Gastos Generales:						346,54
Sub-Total:						1.732,70
10,00% Utilidad e Imprevistos:						173,27
PRECIO UNITARIO Bs.f.						1.905,97

Tabla 4.14 Análisis de precio unitario Contrapeso Radial 4x50 m

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISION						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - CONTRAPESO RADIAL 4x50m						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
				1,00 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	200,00		1,90	380,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	4,00		14,85	59,40
Total Materiales:						439,40
Unitario de Materiales:						439,40
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						950,00
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84	70,84		
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32	100,64		
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29	44,29		
CCP04	OBRA DE 1RA	8,00	41,37	330,96		
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						2.460,29
Costo Directo por Unidad:						3.849,69
25,00% Administración y Gastos Generales:						962,42
Sub-Total:						4.812,11
10,00% Utilidad e Imprevistos:						481,21
PRECIO UNITARIO Bsf.						5.293,32

Tabla 4.15 Análisis de precio unitario Contrapeso Radial 4x75 m

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISION						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - CONTRAPESO RADIAL 4x75m						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 0,50 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	300,00		1,90	570,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	4,00		14,85	59,40
Total Materiales:						629,40
Unitario de Materiales:						629,40
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						1.900,00
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBREIRO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						4.920,57
Costo Directo por Unidad:						7.449,97
25,00% Administración y Gastos Generales:						1.862,49
Sub-Total:						9.312,46
10,00% Utilidad e Imprevistos:						931,25
PRECIO UNITARIO Bsf.						10.243,71

Tabla 4.16 Análisis de precio unitario Contrapeso Circular de Radio
r=25 m

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISION						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - CONTRAPESO CIRCULAR DE RADIO r=25m						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 0,75 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	250,00		1,90	475,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
Total Materiales:						593,80
Unitario de Materiales:						593,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						1.266,67
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRERO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						3.280,38
Costo Directo por Unidad:						5.140,85
25,00% Administración y Gastos Generales:						1.285,21
Sub-Total:						6.426,06
10,00% Utilidad e Imprevistos:						642,61
PRECIO UNITARIO Bsf.						7.068,66

Tabla 4.17 Análisis de precio unitario Contrapeso Circular de Radio
r=50 m

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISION						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - CONTRAPESO CIRCULAR DE RADIO r=50m						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 0,25 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	520,00		1,90	988,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
Total Materiales:						1.106,80
Unitario de Materiales:						1.106,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						3.800,00
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84	70,84		
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32	100,64		
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29	44,29		
CCP04	OBRERO DE 1RA	8,00	41,37	330,96		
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						9.841,14
Costo Directo por Unidad:						14.747,94
25,00% Administración y Gastos Generales:						3.686,99
Sub-Total:						18.434,93
10,00% Utilidad e Imprevistos:						1.843,49
PRECIO UNITARIO Bsf.						20.278,42

Tabla 4.18 Análisis de precio unitario Medición de Resistencia de Puesta a Tierra

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra:						
Propietario:						
Descripción Partida: PUESTA A TIERRA - MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA ATIERRA						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 7,00 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
						0,00
						0,00
						0,00
					Total Materiales:	0,00
					Unitario de Materiales:	0,00
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
MEG	MEGGER	1,00	16.000,00	1,00	16.000,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
					Total Equipos:	16.500,00
					Unitario de Equipos:	16.500,00
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
						0
					Total Mano de Obra:	215,77
					Mano de Obra Directa:	215,77
					350,00% Prestaciones Sociales:	755,20
					Total Mano de Obra:	970,97
					Unitario Mano de Obra:	138,71
					Costo Directo por Unidad:	16.638,71
					25,00% Administración y Gastos Generales:	4.159,68
					Sub-Total:	20.798,39
					10,00% Utilidad e Imprevistos:	2.079,84
					PRECIO UNITARIO Bsf.	22.878,23

Tabla 4.19 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(5m+JAB)

Descripción de la Obra:		LINEA DE TRANSMISIÓN				
Propietario:						
Descripción Partida:		Contrapeso combinado 4*(5m+JAB)				
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento		
				13,25 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	20,00		1,90	38,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44	UND	4,00		25,50	102,00
					Total Materiales:	258,80
					Unitario de Materiales:	258,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
					Total Equipos:	950,00
					Unitario de Equipos:	71,70
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRAERO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
					Total Mano de Obra:	546,73
					Mano de Obra Directa:	546,73
					350,00% Prestaciones Sociales:	1.913,56
					Total Mano de Obra:	2.460,29
					Unitario Mano de Obra:	185,68
					Costo Directo por Unidad:	516,18
					25,00% Administración y Gastos Generales:	129,05
					Sub-Total:	645,23
					10,00% Utilidad e Imprevistos:	64,52
					PRECIO UNITARIO Bsf.	709,75

Tabla 4.20 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(10m+JAB)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso combinado 4*(10m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 7,75 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	40,00		1,90	76,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						296,80
Unitario de Materiales:						296,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						122,58
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRERO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						317,46
Costo Directo por Unidad:						736,84
25,00% Administración y Gastos Generales:						184,21
Sub-Total:						921,05
10,00% Utilidad e Imprevistos:						92,10
PRECIO UNITARIO Bs\$ 1.013,15						

Tabla 4.21 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(15m+JAB)

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso combinado 4*(15m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad		Rendimiento	
					4,50 S.G/Día	
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	60,00		1,90	114,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						334,80
Unitario de Materiales:						334,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						211,11
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84	70,84		
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32	100,64		
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29	44,29		
CCP04	OBRAERO DE 1RA	8,00	41,37	330,96		
Total Mano de Obra:						546,73
<u>Mano de Obra Directa:</u>						546,73
350,00% <u>Prestaciones Sociales</u>						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						546,73
Costo Directo por Unidad:						1.092,64
25,00% Administración y Gastos Generales:						273,16
Sub-Total:						1.365,80
10,00% Utilidad e Imprevistos:						136,58
PRECIO UNITARIO Bsf. 1.502,38						

Tabla 4.22 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(25m+JAB)

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso combinado 4*(25m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 2,75 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	100,00		1,90	190,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						410,80
Unitario de Materiales:						410,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						345,45
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRA DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
<u>Mano de Obra Directa:</u>						546,73
350,00% <u>Prestaciones Sociales</u>						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						894,65
Costo Directo por Unidad:						1.650,90
25,00% Administración y Gastos Generales:						412,73
Sub-Total:						2.063,63
10,00% Utilidad e Imprevistos:						206,36
PRECIO UNITARIO Bs.f. 2.269,99						

Tabla 4.23 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(30m+JAB)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso combinado 4*(30m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 2,00 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	120,00		1,90	228,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						448,80
Unitario de Materiales:						448,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						475,00
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRERO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						1.230,14
Costo Directo por Unidad:						2.153,94
25,00% Administración y Gastos Generales:						538,49
Sub-Total:						2.692,43
10,00% Utilidad e Imprevistos:						269,24
PRECIO UNITARIO Bsf						2.961,67

Tabla 4.24 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(35m+JAB)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso Combinado 4*(35m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad		Rendimiento	
					1,75 S.G/Día	
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	140,00		1,90	266,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						486,80
Unitario de Materiales:						486,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						542,86
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario	Total		
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84	70,84		
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32	100,64		
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29	44,29		
CCP04	OBRAERO DE 1RA	8,00	41,37	330,96		
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						1.405,88
Costo Directo por Unidad:						2.435,53
25,00% Administración y Gastos Generales:						608,88
Sub-Total:						3.044,42
10,00% Utilidad e Imprevistos:						304,44
PRECIO UNITARIO Bsf						3.348,86

Tabla 4.25 Análisis de precio unitario Contrapeso Combinado
4*(40m+JAB)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

Descripción de la Obra: LINEA DE TRANSMISIÓN						
Propietario:						
Descripción Partida: Contrapeso Combinado 4*(40m+JAB)						
Código	Código Covenin	Unidad	Cantidad	Rendimiento 1,50 S.G/Día		
1.- MATERIALES						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	% Desp	Costo	Total
GUA	GUAYA DE ACERO 5/16"	m	160,00		1,90	304,00
CONEC	CONECTOR UNIFILAR ACERO GALVANIZADO	UND	8,00		14,85	118,80
	JABALINA DE COBRE COOPERWELD 5/8" X 2,44		4,00		25,50	102,00
Total Materiales:						524,80
Unitario de Materiales:						522,80
2.- EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Costo	Dep o Alq	Total	
CAM	CAMINETA PICK UP 4x4	1,00	480,00	1,00	480,00	
CA350	CAMION 350	1,00	450,00	1,00	450,00	
H-M	HERRAMIENTAS MENORES	1,00	20,00	1,00	20,00	
Total Equipos:						950,00
Unitario de Equipos:						633,33
3.- MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Salario		Total	
MAE	MAESTRO DE OBRA DE 1ra	1,00	70,84		70,84	
CHO1	CHOFER DE 1ra	2,00	50,32		100,64	
CCP02	AYUDANTE	1,00	44,29		44,29	
CCP04	OBRAERO DE 1RA	8,00	41,37		330,96	
Total Mano de Obra:						546,73
Mano de Obra Directa:						546,73
350,00% Prestaciones Sociales:						1.913,56
Total Mano de Obra:						2.460,29
Unitario Mano de Obra:						1.640,19
Costo Directo por Unidad:						2.796,32
25,00% Administración y Gastos Generales:						699,08
Sub-Total:						3.495,40
10,00% Utilidad e Imprevistos:						349,54
PRECIO UNITARIO Bsf						3.844,94

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 4.26 se muestra el precio unitario de la malla de puesta a tierra para cada una de las subestaciones con el fin de determinar que espaciamiento es el recomendado a la hora de realizar un diseño de una malla de puesta a tierra

Tabla 4.26 resultados de precios unitarios para cada una de las mallas de puesta a tierra en cada una de las subestaciones.

SUBESTACION	PRECIOS UNITARIOS (Bsf)		
	SEPARACIÓN D=3 m	SEPARACIÓN D=5 m	SEPARACIÓN D=10 m
LOS BORDONES	558.978,37	469.850,14	411.308,54
PAL	909.577,34	839.983,45	788.980,75
BARINAS IV	1.792.044,13	1.282.620,15	950.413,11
BAMARI	882.696,76	719.726,44	610.611,29

En la tabla 4.26 se observa que el espaciamiento entre conductores tiene una gran influencia en el costo unitario de una malla de puesta a tierra, notándose así que mientras mayor es el espaciamiento entre conductores, menor es el costo unitario de la malla, por eso hay que tener muy en cuenta este parámetro a la hora de diseñar una malla de aterramiento, cumpliendo las exigencias técnicas y normas de seguridad y el factor económico, es decir, un buen diseño a un costo bajo. Los valores resaltados en amarillo son los diseños ya ejecutados por CADAFE.

En la tabla 4.27 se muestra el precio unitario para cada una de las configuraciones de contrapesos con la finalidad de determinar cual de las configuraciones es la más económicamente rentable a la hora de realizar un diseño de puesta a tierra en las torres de líneas de transmisión.

Tabla 4.27 Costos unitarios para cada una de las configuraciones de Contrapesos

CONFIGURACIÓN SEGÚN NORMAS CADAFE	PRECIO UNITARIO (Bsf)	CONFIGURACIÓN RECOMENDADA	PRECIO UNITARIO (Bsf)
RADIAL 4X25 m	1.905,97	COMBINADO 4*(5+JAB)	709,75
RADIAL 4X50 m	5.293,32	COMBINADO 4*(10+JAB)	1.013,15
RADIAL 4X75 m	10.243,71	COMBINADO 4*(15+JAB)	1.502,38
CIRCULAR r=25 m	7.068,66	COMBINADO 4*(25+JAB)	2.269,99
CIRCULAR r=50 m	20.278,42	COMBINADO 4*(30+JAB)	2.961,67
		COMBINADO 4*(35+JAB)	3.348,86
		COMBINADO 4*(40+JAB)	3.844,94

En la tabla 4.27 se observa que la configuración contrapeso radial puro del tipo 4x L m resulta más costosa que la configuración de contrapesos combinado siempre y cuando la longitud de los conductores utilizados como contrapesos en la configuración de contrapeso combinado resulte 10 m menor que la del contrapeso radial, notándose así, que es económicamente más rentable la configuración de contrapesos combinado, siempre y cuando cumpla con las exigencias técnicas del diseño de puesta a tierra, y su configuración resulte 10 m menor que la del radial puro.

CONCLUSIONES

En la revisión de los diseños de la malla de puesta a tierra de las 4 subestaciones planteadas por la empresa para ser evaluadas, se observó que solo 2 resultaron con valores altos en los cálculos de resistencia de puesta a tierra, es decir por encima de 1 ohm, la Subestación BARINAS IV y la Subestación BAMARI resaltando que estas subestaciones pueden no ser seguras, según el Std.IEEE 80-2000

Un valor de 20 ohm para la puesta a tierra de las torres de transmisión pudiera no ser adecuado para todos los niveles de tensión, ya que para niveles de tensiones elevadas igualmente será su nivel de aislamiento, por consiguiente para niveles menos bajos de tensión, existen menos niveles de aislamiento, que por consecuencia al momento de una falla es mas fácil sobrepasar esos niveles y dañar los equipos y elementos del sistema.

A pesar de los altos valores resistivos de puesta a tierra encontrados en los diseños de algunas subestaciones, es importante indicar que, los valores de los voltajes de toque no exceden los valores del GPS de dichas subestaciones.

Al variar los espaciamientos entre conductores de las mallas, se observó que los valores de resistividad varían en un porcentaje bastante bajo, resaltando así que la influencia del espaciamiento entre conductores de una malla es bastante bajo en la variación de los valores de resistividad

El espaciamiento entre conductores tiene gran influencia en los voltajes de paso y toque. Se pudo demostrar teóricamente en los diseños realizados que, al aumentar el espaciamiento entre conductores aumenta

el voltaje de toque y disminuye el voltaje de paso, por consiguiente al disminuir el espaciamiento, disminuye el voltaje de toque y aumentan el voltaje de paso, por la cual conviene mantener un espaciamiento moderado que mantenga dichos voltajes por debajo de los voltajes tolerables. Std.IEEE 80-2000

La profundidad de enterramiento tiene una influencia significativa sobre los voltajes de toque y paso. Para aumentos moderados de la profundidad, el valor del voltaje de toque disminuye, debido a la reducción de la resistencia de la malla y a la reducción correspondiente en el aumento de potencial de la malla. Sin embargo, para incrementos grandes de profundidad el voltaje de toque puede aumentar significativamente. Sin embargo el voltaje de paso disminuye siempre con el aumento de la profundidad.

El área del sistema de aterramiento es el factor geométrico más importante a la hora de determinar la resistencia de la rejilla, ya que este influye directamente en el valor de resistencia, mientras más grande es el área aterrizada, más baja será la resistencia de puesta a tierra y viceversa, mientras más limitada es el área mayor será le resistencia de puesta a tierra.

Tomando en cuenta la carta isocerámica de Venezuela, se determinó que las zonas más probables para descargas atmosféricas son los estados, Zulia, Falcón, Apure, Guárico, Bolívar y Amazonas. Tomando en cuenta que a quienes afectan mas las descargas atmosféricas son a las líneas, importante hacer notar que las resistencias de aterramientos de ellas, debe ser de un valor bajo y por consiguiente, también bajos le resistencia de aterramiento de las subestaciones que interconectan dichas líneas.

Considerando las temporadas de lluvia en Venezuela, hay que hacer notar que se debe tener sumo cuidado a la hora de hacer mediciones de resistividad del terreno. Ya que no se obtendrán valores de resistividades aceptables en época de lluvia, debido a que la humedad influye en los valores de resistividad.

Al analizar los análisis de costos unitarios, se observó que la configuración de puesta a tierra radial combinada con jabalinas resulta menos costosa para ciertas longitudes del contrapeso usado, y siendo de igual forma técnicamente aceptable.

El método para la medición de la resistividad que todavía se usa actualmente en muchos países es el método Wenner, el cual arroja resultados muy cercanos al valor real de la resistividad estudiada.

Al conectar a la tierra de la subestación el cable de guarda o el conductor neutro, o ambos y ellos a su vez hacia las estructuras de líneas de transmisión o postes de distribución, tendrá como efecto el incremento del gradiente de potencial en las bases de las torres, mientras se reduce en la subestación. Esto se debe a que cada torre que se encuentra cerca de la subestación compartirá el incremento del GPR en cada incremento de voltaje de la plataforma de aterrizaje de la subestación, cualquiera que sea la causa, en lugar de afectarse solo por una falla aislada en el lugar o por una descarga disruptiva en una de las torres. Por el contrario, cuando ocurre una falla en una torre, el efecto del sistema de aterrizaje que se conecta a la subestación disminuye la magnitud de los gradientes cercanos a la base de la torre.

Mediante los análisis de precios unitarios se observó que en las distintas configuraciones utilizadas para el diseño de la puesta a tierra en líneas de transmisión, la configuración de contrapesos combinado con

jabalinas resulta más económica que la del radial puro, siempre y cuando la longitud del contrapeso resulte 10 m menor que utilizando solo contrapeso radial.

RECOMENDACIONES

Para un mejor estudio de la resistividad del terreno, realizar las mediciones mediante el método de Wenner, haciendo mediciones en varias épocas del año y evitando en lo posible realizar mediciones en temporadas de lluvias, ya que la humedad es un factor muy influyente en el valor de resistividad, y por consiguiente las mediciones en dichas épocas no son las mas cercanas al valor real de resistividad.

Utilizar un espaciamiento entre conductores de la retícula de 5 m, ya que con este valor se consiguen buenos resultados en la resistencia de aterramiento y los valores de voltajes de toque y paso se mantienen en un rango aceptable con respecto a los máximos permisibles. Y además se tienen puntos más cercanos para la conexión de los equipos al sistema de aterramiento.

Para un mejor diseño de la puesta a tierra en líneas, se debe estudiar los casos para cada nivel de tensión, ya que un valor de 20 ohm puede ser no aceptable para niveles más bajos de tensión, en la cual los niveles de aislamientos son menores y es mucho mas fácil que ocurra la descarga retroactiva.

Utilizar jabalinas de gran longitud para alcanzar valores de resistividades menores, con la idea de disminuir el GPS en las vecindades de la subestación.

Usar el contrapeso combinado con jabalina, siempre que su combinación resulte 10 m menor que el contrapeso radial puro, ya que la diferencia económica entre una configuración y otra es bastante considerable. Cuando las longitudes entre el contrapeso radial y el combinado son similares, es recomendable utilizar el contrapeso radial.

Implementar planes de evaluación de las puesta a tierra, al igual que de la continuidad de las redes de aterramiento de las subestaciones, que contemplen la medición de los valores resistivos de éstas, por lo menos una vez al año, con el propósito de observar el cambio de las mismas a través del tiempo y así poseer una estadística para formalizar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo.

Conectar los cables de guarda de las líneas de transmisión a la malla de las subestaciones, con el objetivo de que una parte considerable de la corriente falla a tierra se desvíe lejos de la rejilla de aterrizaje de la subestación y así disminuir el alza de potencial en el área de la subestación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

[1] ANSI/IEEE Std.80. "IEEE Guide for Safty in A.C, Substation Grounding" (2000)

[2] Gilberto, Harper E. "Elementos de diseño de subestaciones eléctricas". Editorial Limusa México 2006.

[3] Siegert C., Luis A. "Alta tensión y sistemas de transmisión", Editorial Limusa. Venezuela 1996.

[4] Hernández, C. "Evaluación de los sistemas de puesta a tierra de las subestaciones de distribución de Senda" UDO. Escuela de ingeniería eléctrica 2005

[5] Mejía Villegas. "Manual sobre subestaciones de alta y extra alta tensión". Segunda Edición. Colombia 2003.

[6] Aguilera, M. "Procedimiento para el mantenimiento en las líneas de transmisión Occidente de CVG EDELCA". UDO. Escuela de ingeniería eléctrica 2008.

[7] Pérez, C. "Análisis de sobretensiones a frecuencia industrial en el sistema de transmisión de CADAPE". UCV. Escuela de ingeniería eléctrica 2008.

[8] Fink, D. "Manual de Ingeniería Eléctrica"., Decimotercera Edición. Mc Graw-Hill, México, 1996.

[9] Noriega, E “Diseño de mallas de tierra para subestaciones”, <http://www.monografias.com/trabajos21/mallas-de-tierra/mallas-de-tierra.shtml>. Año 2004.

[10] NS-P-360. Normas para proyectos de subestaciones. Especificación técnica para el sistema de puesta a tierra.-- Caracas: CADAPE, 1984.

[11] NL-AV. Especificaciones técnicas para diseño de la puesta a tierra de las líneas de transmisión. --Caracas: CADAPE. Apartado VI.2

[12] Norma 109-92. Presentación de proyectos de subestaciones de transmisión. Sistema de puesta a tierra.-- Caracas: CADAPE, 1992.

[13] Norma Venezolana Código Eléctrico Nacional N° 250-81 “Sistema del electrodo de puesta a tierra”. 1999.

[14] Comité de Normalización, Ingeniería y métodos. NS-P, especificación técnica sobre las subestaciones normalizadas de CADAPE, (Norma). --Caracas: CADAPE, 1984.

[15] IEEE Std.142-2007. “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems” (2007).

ANEXOS

ANEXO 1 GRÁFICOS PARA DETERMINAR EL FACTOR DE DIVISI3N SF

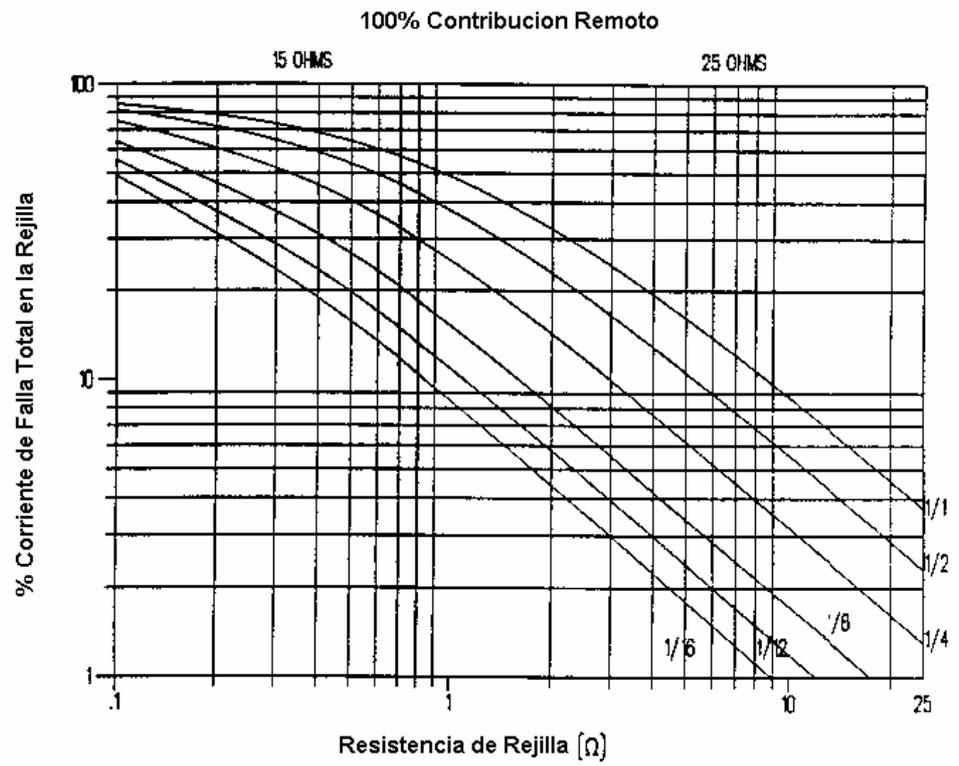


Figura C.1 Curvas para ajustar el factor de divisi3n Sf

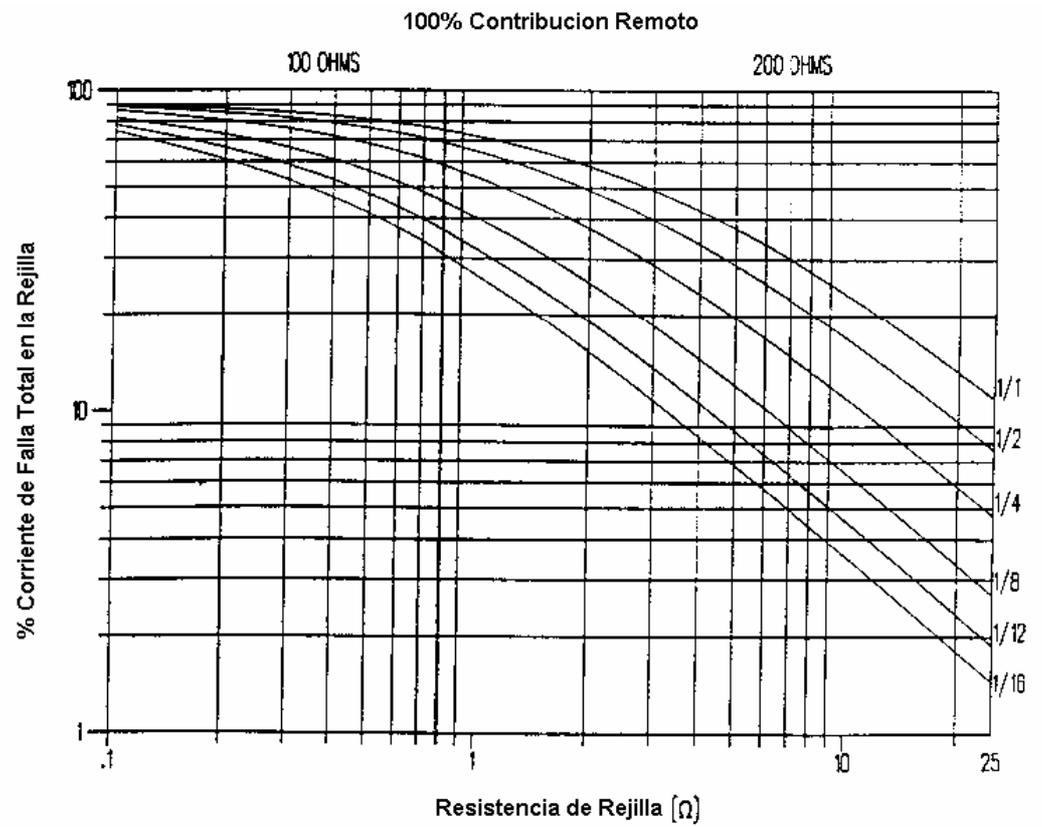


Figura C.2 Curvas para ajustar el factor de división Sf

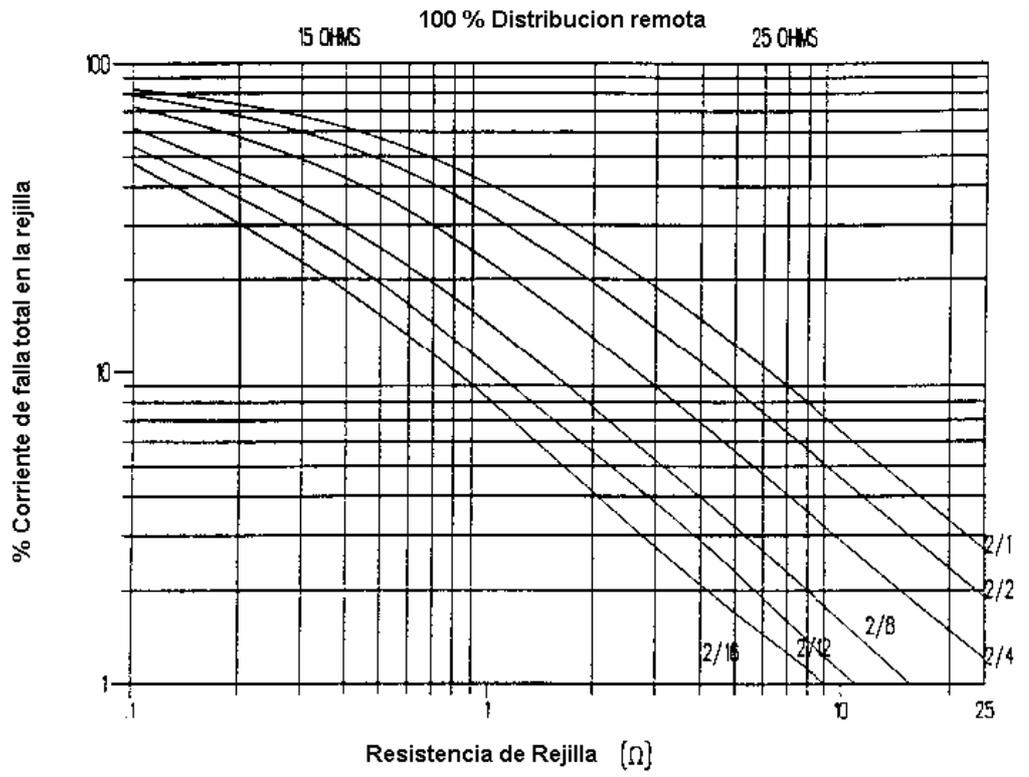


Figura C.3 Curvas para ajustar el factor de división Sf

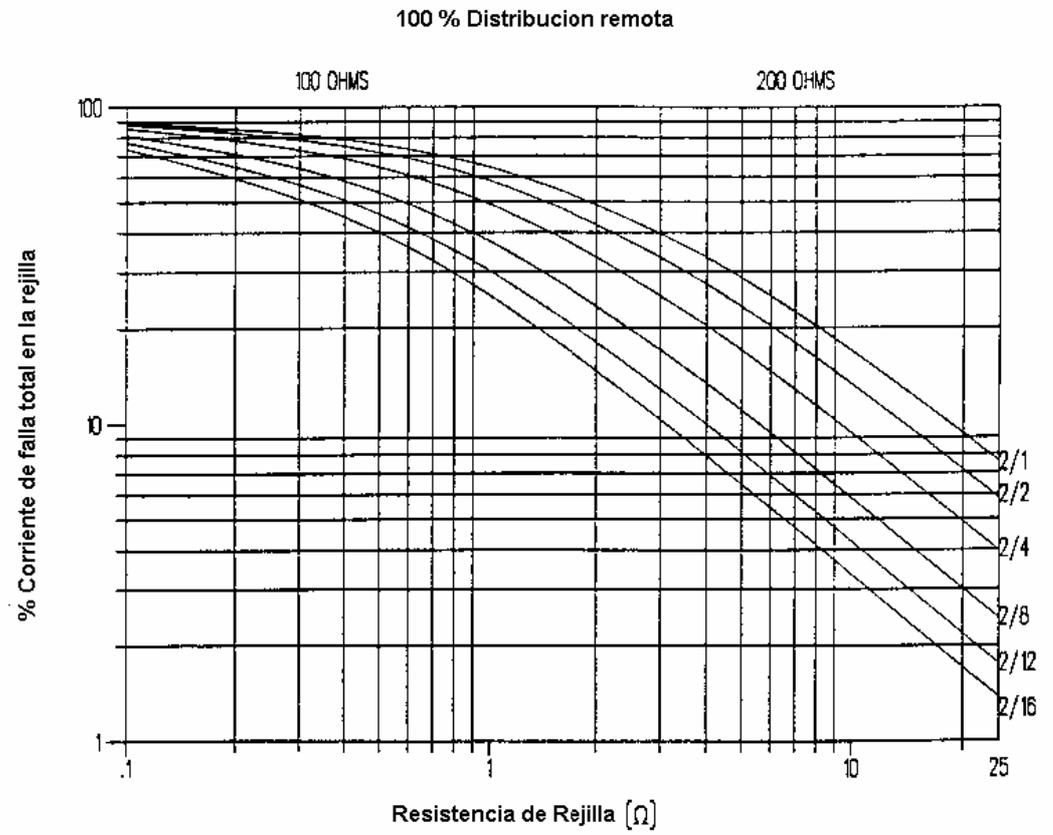


Figura C.4 Curvas para ajustar el factor de división Sf

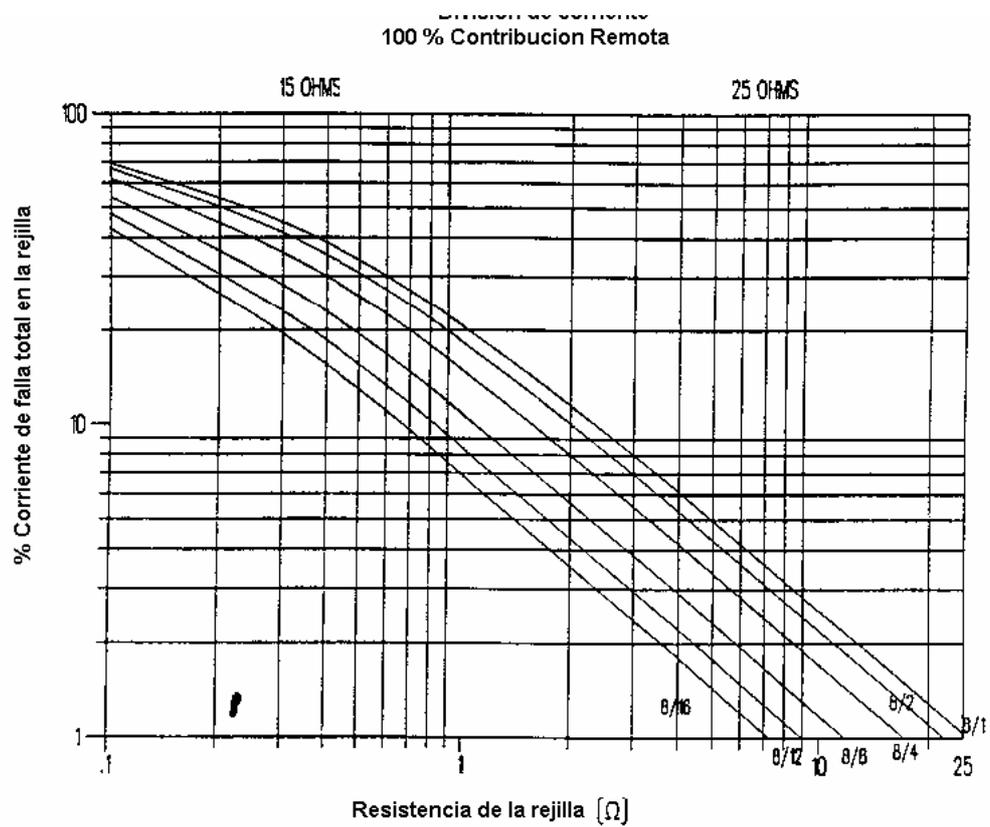


Figura C.5 Curvas para ajustar el factor de división Sf

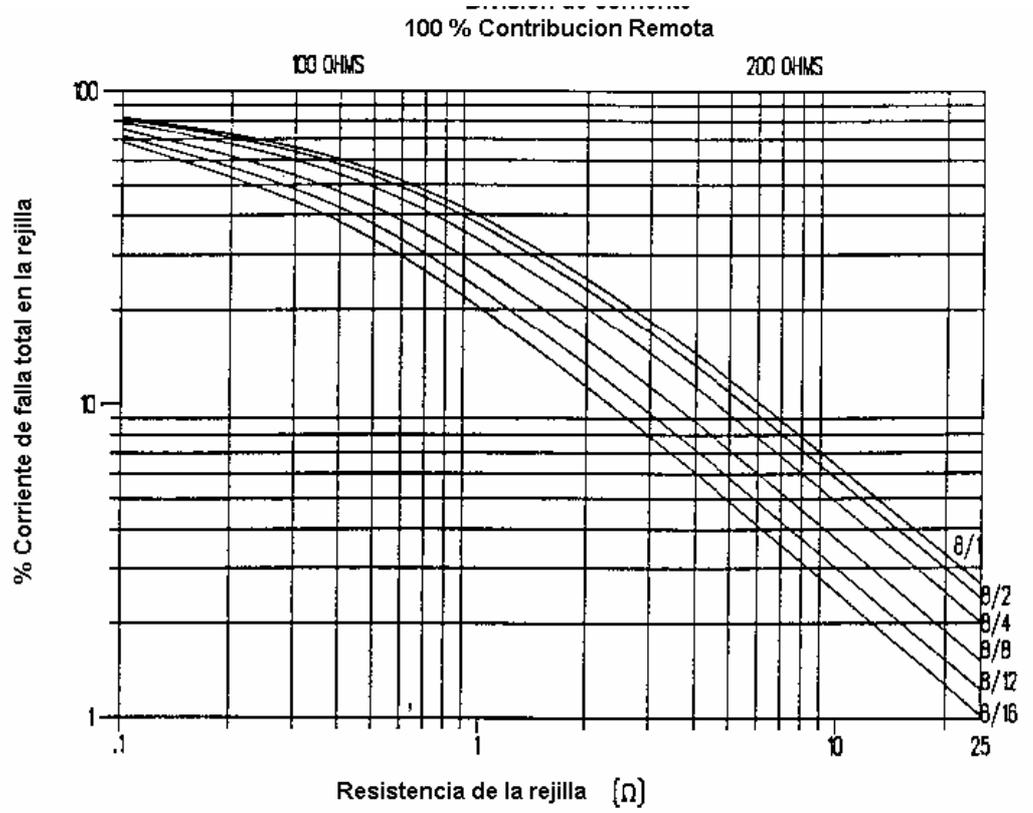


Figura C.6 Curvas para ajustar el factor de división Sf

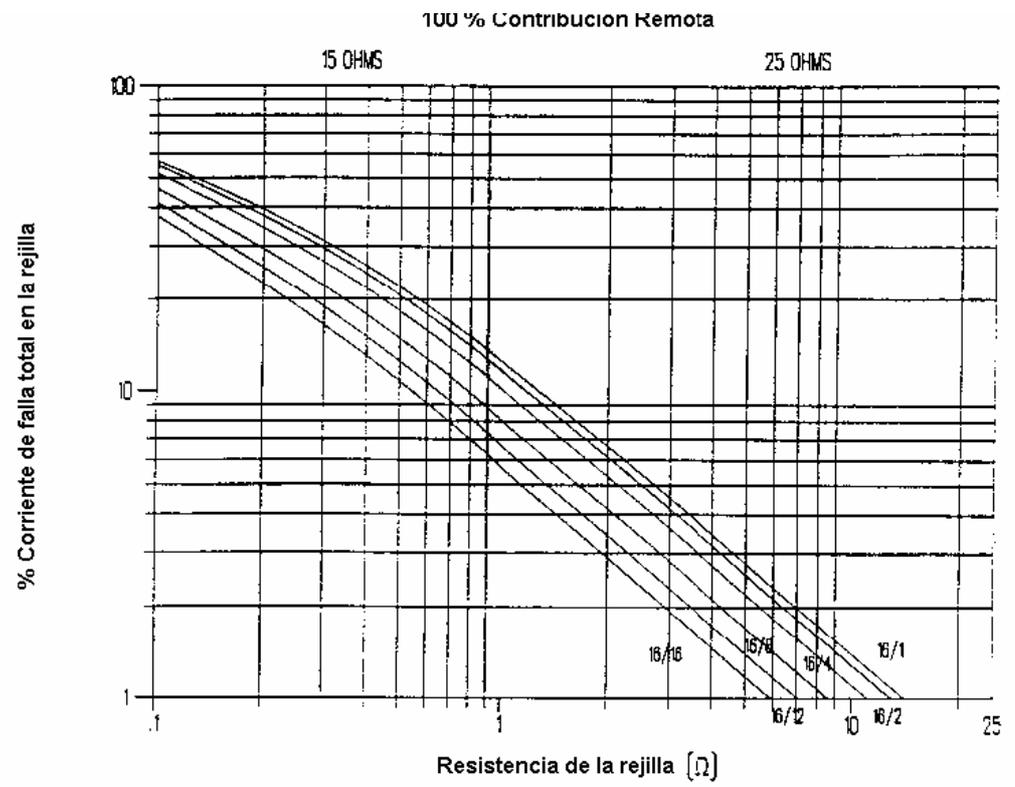


Figura C.7 Curvas para ajustar el factor de división Sf

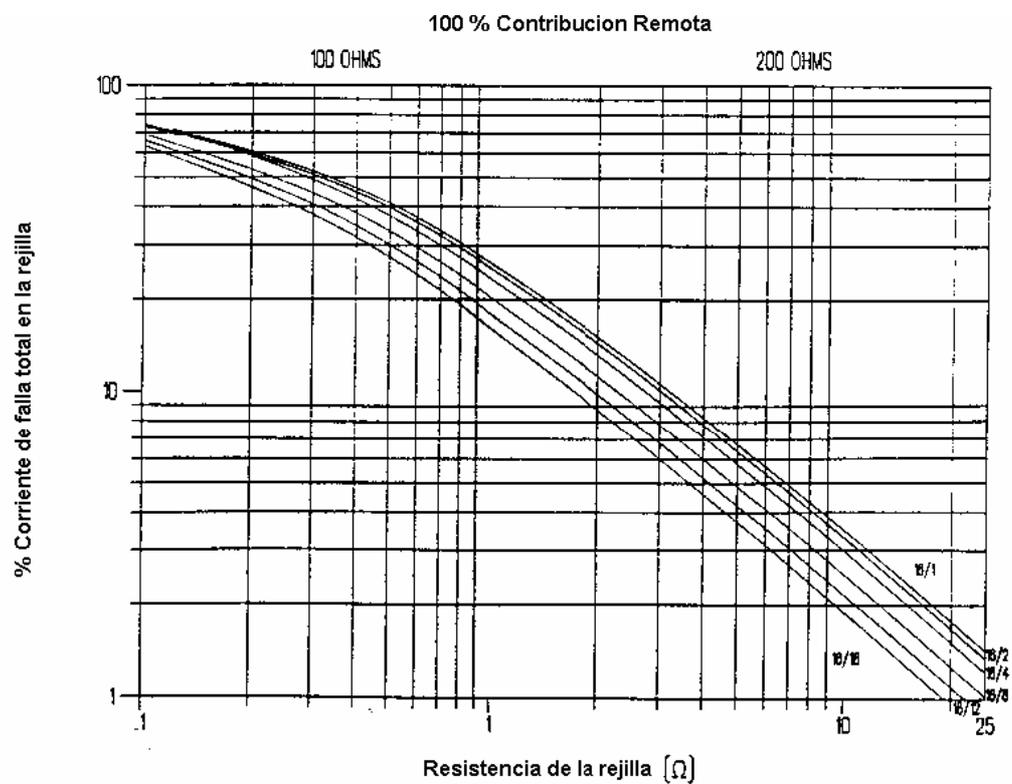


Figura C.8 Curvas para ajustar el factor de división S_f

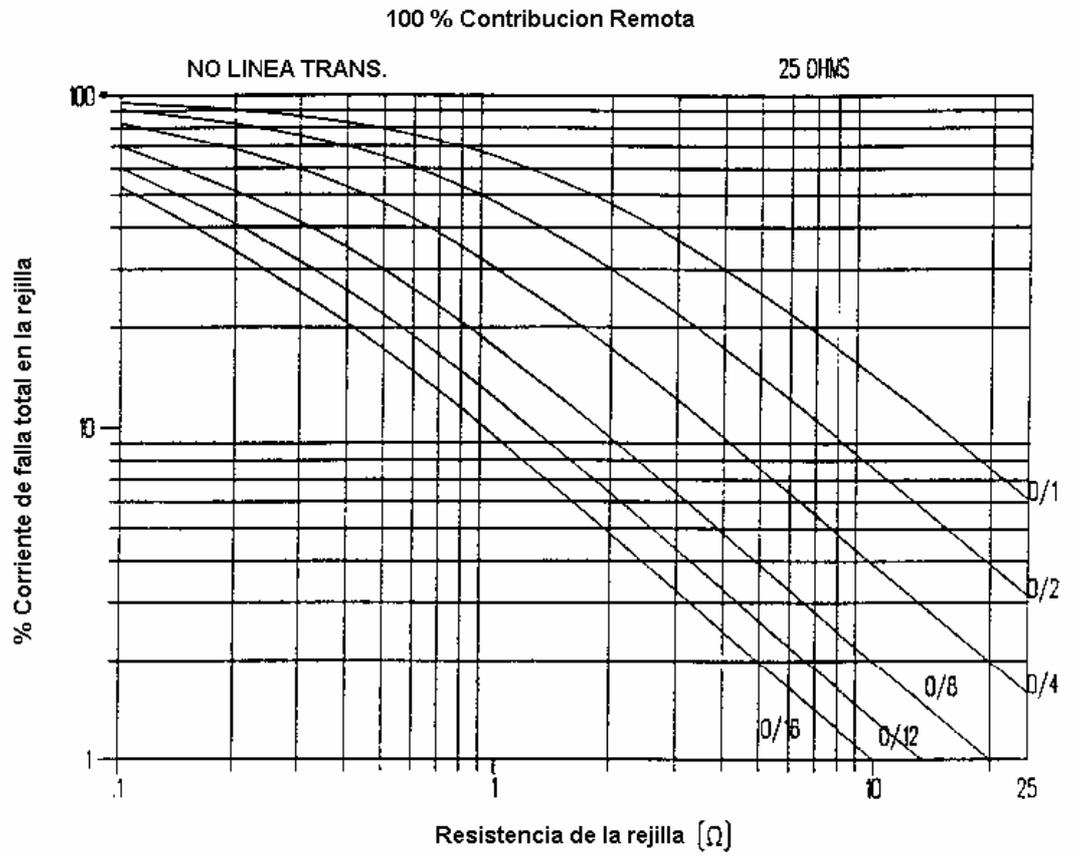


Figura C.9 Curvas para ajustar el factor de división Sf

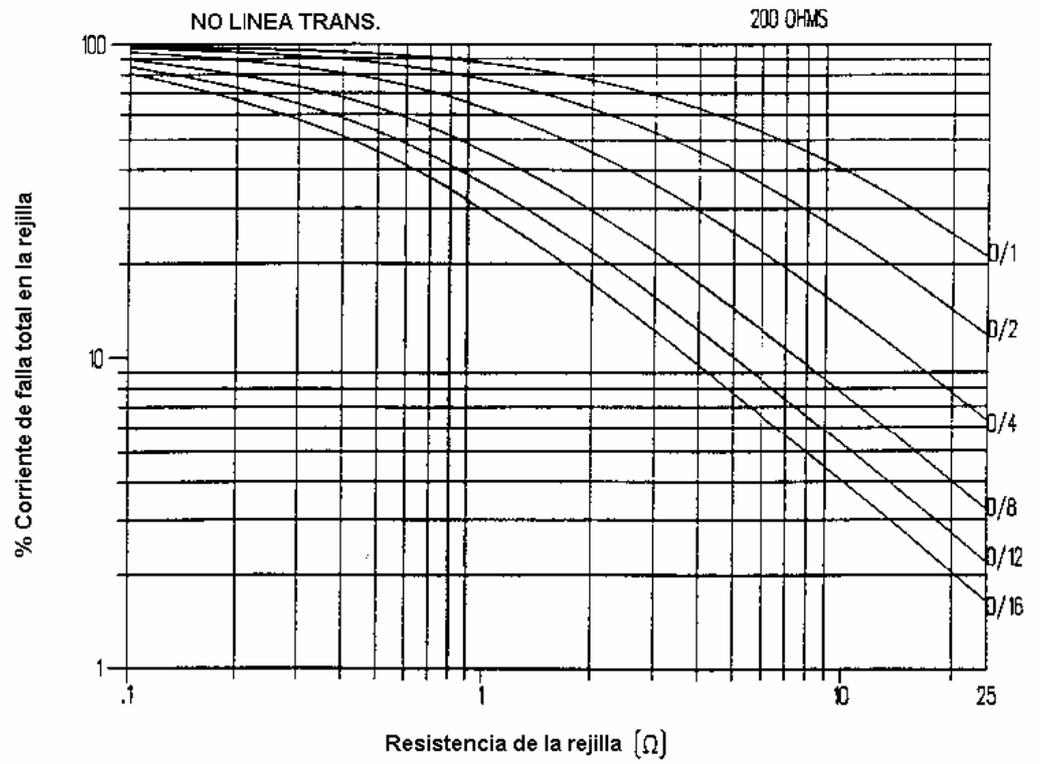


Figura C.10 Curvas para ajustar el factor de división Sf

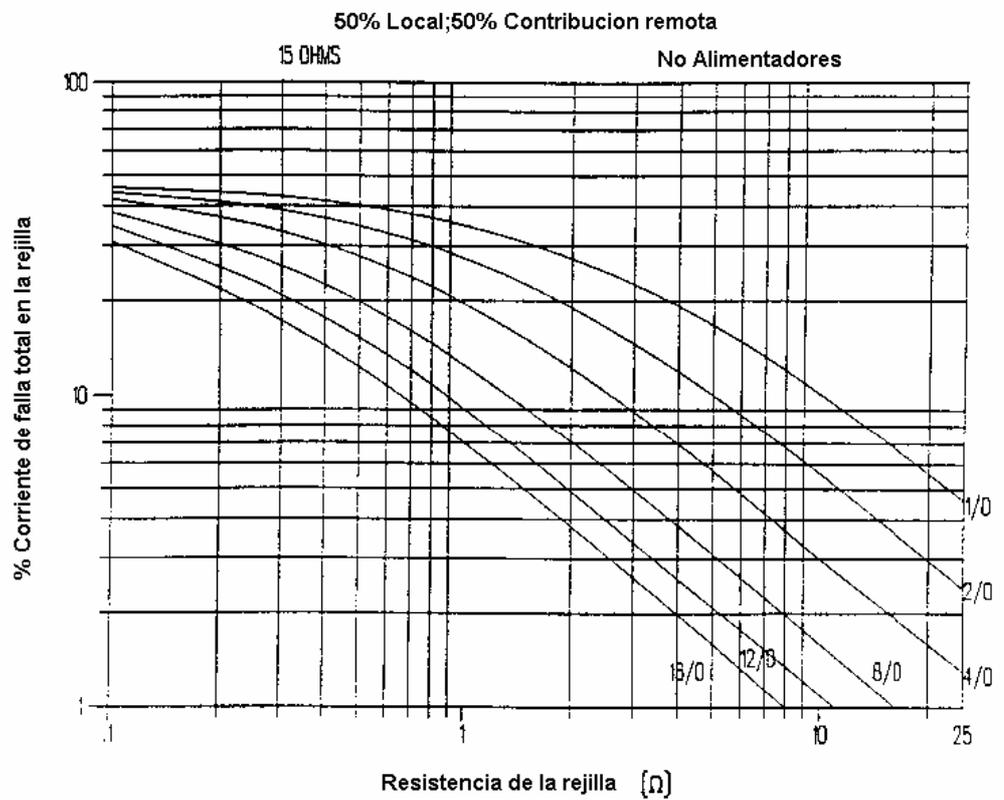


Figura C.11 Curvas para ajustar el factor de división Sf

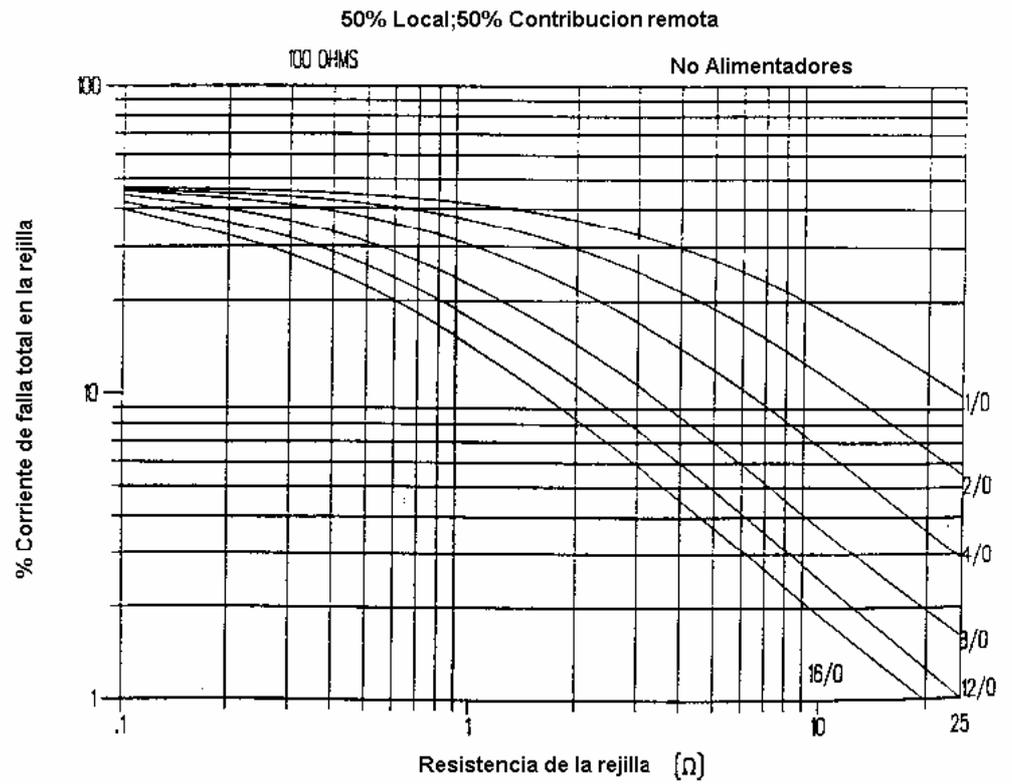


Figura C.12 Curvas para ajustar el factor de división Sf

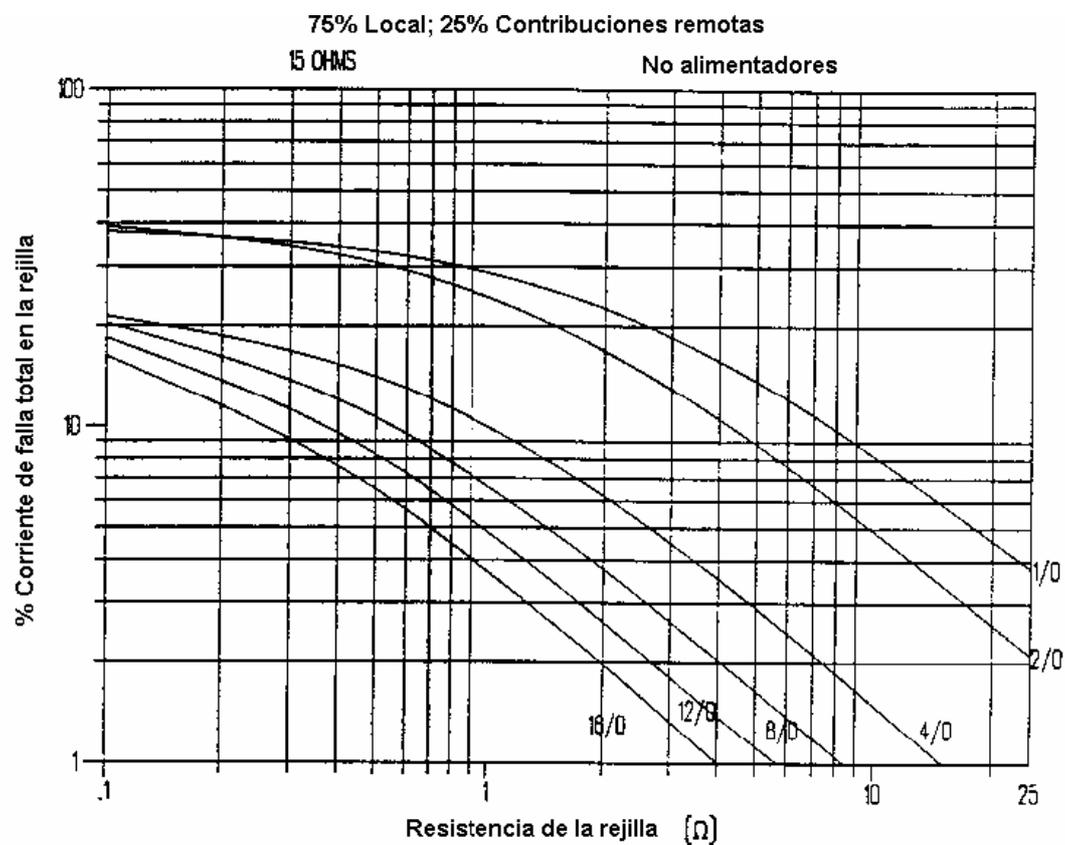


Figura C.13 Curvas para ajustar el factor de división Sf

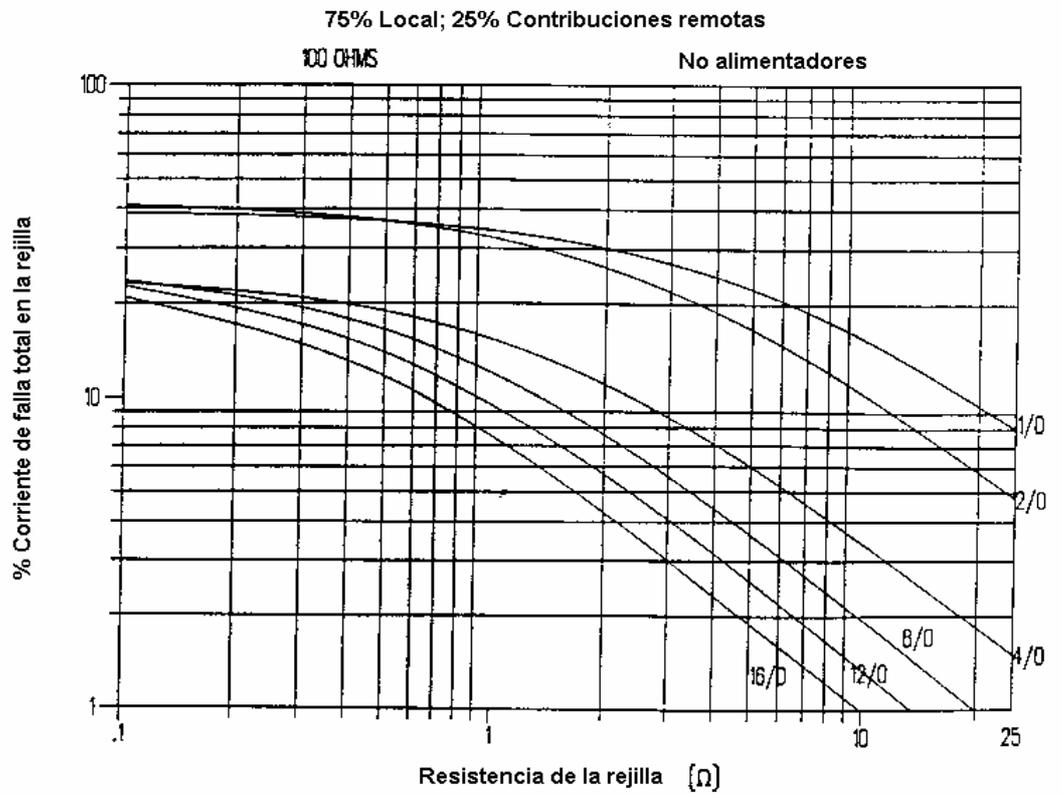


Figura C.14 Curvas para ajustar el factor de división Sf

ANEXO 2. MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO PARA CADA UNA DE LAS SUBESTACIONES

**CDAFE**

COMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL ESTADO MORELIANO
 ADMINISTRACIÓN EJECUTIVA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
 DIRECCIÓN DE DESARROLLO
 GENERALÍA DE INGENIERÍA DE PROYECTOS
 UNIDAD DE ACCIONES Y PROYECTOS

HOJA DE CALCULO

No. SB-B- 961. REV. b



CALCULADO POR:

DEPROEX C.A.

REVISADO POR:

Ing. Blas E. Arévalo D.

TITULO:

**S/E LOS BORDONES 115/13.8 KV.
 MALLA DE TIERRA
 MEDICION DE RESISTIVIDAD Y CALCULOS**

HOJA No.

8 / 10

ENERO 2005

VII.- MEDICIÓN DE RESISTIVIDAD.**Datos Generales**

Fecha de la Medición: 18/11/2004.

Hora: 11:30am - 2:30 PM

Equipo: Vibroground. Associated Research. Modelo 236A. Serial No. 3903

Condiciones del terreno en el momento de la Medición: Húmedo

Profundidad de enterramiento de los electrodos. h = 0,20mts.

MEDICION DE LA RESISTIVIDAD

EJE	LECTURA	RESISTENCIA R (Ohm)	a (m)	ρ (Ohm_m)
O-A	0,12X1	0,12	3	2,26
	0,18X1	0,18	6	6,79
	0,06X1	0,06	9	3,39
O-A'	0,30X1	0,30	3	5,65
	0,80X1	0,80	6	30,14
	0,40X1	0,40	9	22,61
O-B	0,22X1	0,22	3	4,15
	0,08X1	0,08	6	3,02
	0,04X1	0,04	9	2,26
O-B'	0,34X1	0,34	3	6,41
	0,14X1	0,14	6	5,28
	0,10X1	0,10	9	5,65

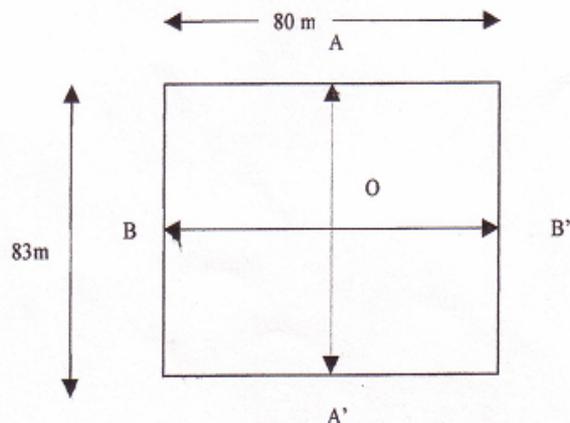
 $\rho_{prom} = 24,41 \text{ Ohm-m}$, $\rho_{pd} = 25,00 \text{ Ohm-m}$ 

Figura a. Medición de la resistividad de la subestación BORDONES



CADAFE
INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA ELÉCTRICA DEL ESTADO QUERÉTARO
SUBSECRETARÍA EJECUTIVA DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN
DIRECCIÓN DE DESARROLLO
CENTRO DE INGENIERÍA DE PROYECTOS
UNIDAD DE INGENIERÍA Y PROYECTOS

HOJA DE CALCULO

No. SB-B-961. REV. b



CALCULADO POR:

DEPROEX C.A.

REVISADO POR:

Ing. Blas E. Arévalo D.

TITULO:

S/E LOS BORDONES 115/13.8 KV.
MALLA DE TIERRA
MEDICION DE RESISTIVIDAD Y CALCULOS

HOJA No.

9 / 10

ENERO 2005

Resistividad vs Distancia de electrodos

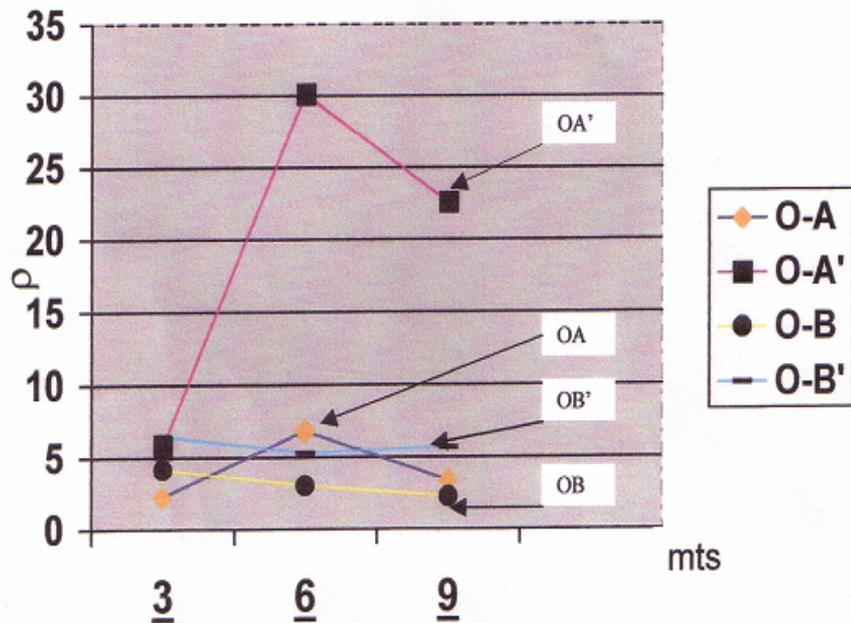


Figura a.1 gráficos de la medición de la resistividad de la subestación BORDONES

G.P.D.E.C.A.

Grupo de Pruebas y Desarrollos Eléctricos, C.A.

MEDICION DE RESISTIVIDAD

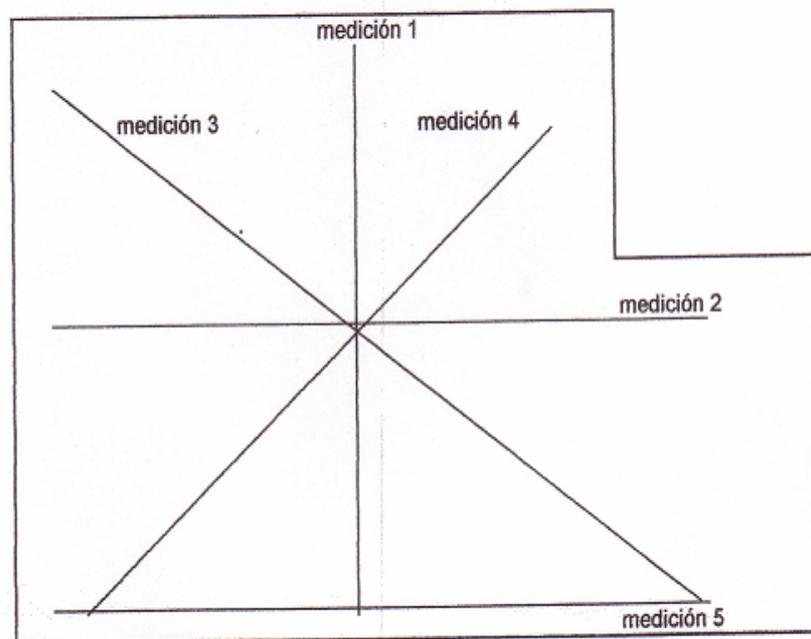
SUBESTACION: BARINAS IV - 230/115 KV

FECHA: 01/03/2005

a (m)	MEDICION 1		MEDICION 2		MEDICION 3		MEDICION 4		MEDICION 5	
	Ω	ρ (Ωm)								
5,0	29,3	920,49	27,4	860,80	24,6	772,83	29,2	917,35	46	1445,14
10,0	22	1382,30	9,5	596,90	8,1	508,94	9,6	603,19	19	1193,81
15,0	16	1507,97	5,7	537,21	5,4	508,94	6,2	584,34	18	1696,46
20,0	16	2010,62	4	502,66	3,8	477,52	4,2	527,79	15	1884,96
25,0	18	2827,44	3,2	502,66	3,2	502,66	1,8	282,74	14	2199,12
30,0	17	3204,43	1,4	263,89	7	1319,47	1,4	263,89	12	2261,95
35,0	17	3738,50	0,8	175,93	7	1539,38	4	879,65	13	2858,86

ρ (Ωm)prom.= 1207

CROQUIS DE UBICACIÓN



OBSERVACIONES:

PRUEBA REALIZADA POR: GERMAN GONZALEZ / DIEGO COLMENARES

Figura b. Medición de la resistividad de la subestación BARINAS IV

G.P.D.E.C.A.

Grupo de Pruebas y Desarrollos Eléctricos, C.A.

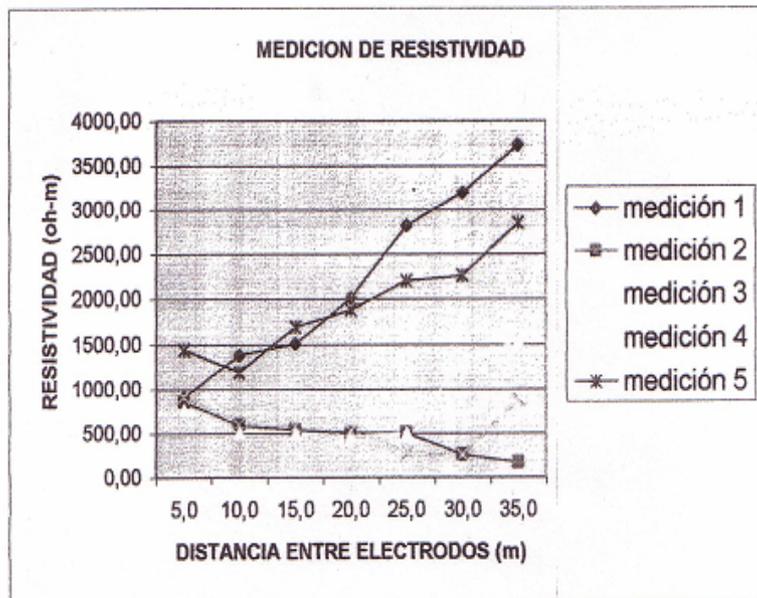
MEDICION DE RESISTIVIDAD

SUBESTACION: BARINAS IV - 230/115 KV

FECHA: 01/03/2005

a (m)	MEDICION 1		MEDICION 2		MEDICION 3		MEDICION 4		MEDICION 5	
	Ω	ρ (Ωm)								
5,0	29,3	920,49	27,4	860,80	24,6	772,83	29,2	917,35	46	1445,14
10,0	22	1382,30	9,5	596,90	8,1	508,94	9,6	603,19	19	1193,81
15,0	16	1507,97	5,7	537,21	5,4	508,94	6,2	584,34	18	1696,46
20,0	16	2010,62	4	502,66	3,8	477,52	4,2	527,79	15	1884,96
25,0	18	2827,44	3,2	502,66	3,2	502,66	1,8	282,74	14	2199,12
30,0	17	3204,43	1,4	263,89	7	1319,47	1,4	263,89	12	2261,95
35,0	17	3738,50	0,8	175,93	7	1539,38	4	879,65	13	2858,86

ρ (Ωm)prom.= 1207



OBSERVACIONES:

PRUEBA REALIZADA POR: GERMAN GONZALEZ / DIEGO COLMENARES

Figura b.1 Medición de la resistividad de la subestación BARINAS IV

4 Mediciones de campo de la subestación BAMARI

SIEMENS

MEDICIONES DE
RESISTIVIDAD DE SUELOS
S/E BAMARI

CÓDIGO: NT-196-534-1

REVISIÓN: 1

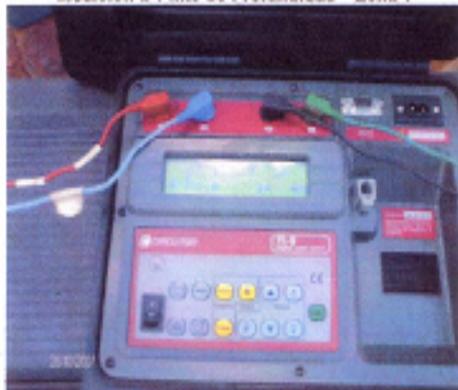
FECHA: 15/11/07



Medición a 1 mts de Profundidad -- Zona 1



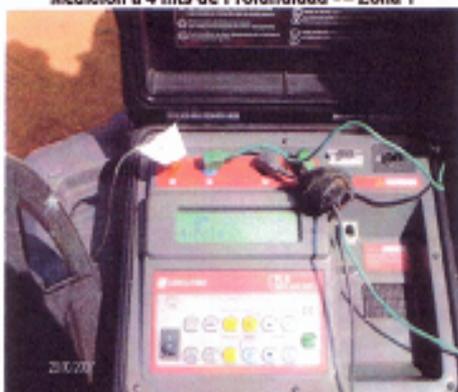
Medición a 2 mts de Profundidad -- Zona 1



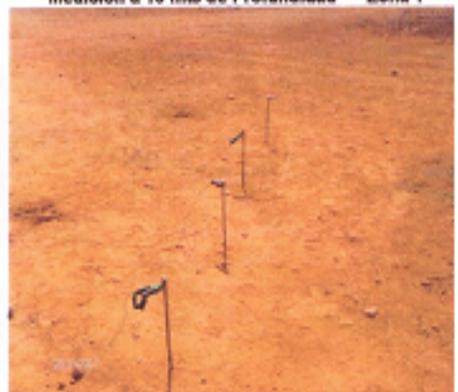
Medición a 4 mts de Profundidad -- Zona 1



Medición a 16 mts de Profundidad -- Zona 1



Medición con Spark Gap



Vista del Terreno Medición con Spark Gap



EnergyTech, C.A.
Soluciones de Ingeniería y Ahorro de Energía

Zona Industrial Municipal, Av. Henry Ford
C.C. Paso Las Industrias (2da Etapa)
Nivel Mezzanina, Oficina M-122.
Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela
Telf / Fax: 241-832.45.42
www.EnergyTech.com.ve
Ventas@EnergyTech.com.ve

MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

R.I.F. J-31034693-3

Cliente: Siemens, S.A

Fecha: 15/11/2007

Fecha: 14/11/2007

Lugar: Terrenos S/E Bamari, Calabozo, Edo Guarico

Condiciones del Terreno: Seco

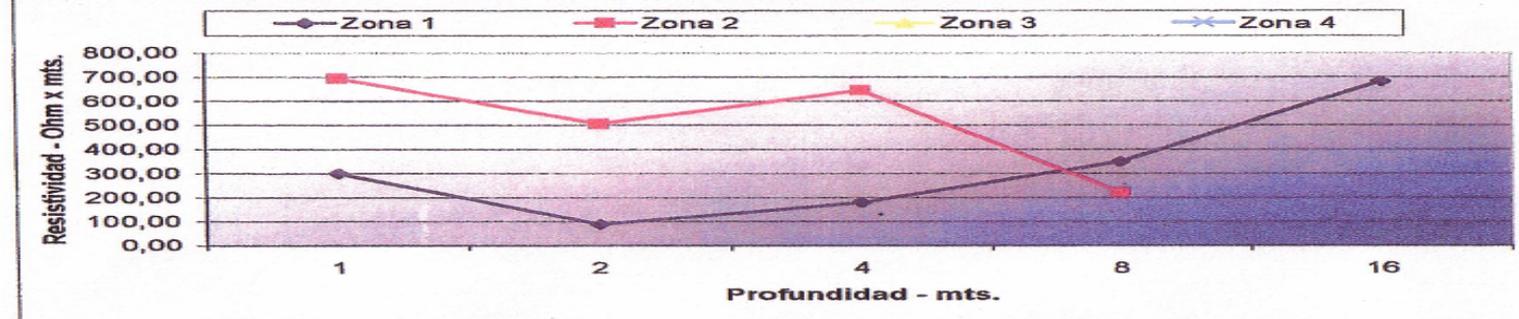
Mediciones realizadas por: Ing. Luis Lugo

Instrumento: TL-5 Circutor

Medición de Resistividad de Suelos

PRUEBA	Prof. <m>	Resistividad <ohm x m>	PRUEBA	Prof. <m>	Resistividad <ohm x m>	PRUEBA	Prof. <m>	Resistividad <ohm x m>	PRUEBA	Prof. <m>	Resistividad <ohm x m>
Zona 1	1	300,00	Zona 2	1	695,00	Zona 3	1		Zona 4	1	
	2	89,30		2	506,00		2			2	
	4	179,90		4	645,00		4			4	
	8	350,00		8	220,00		8			8	
	16	683,00		16			16			16	

Grafica de Resistividad del Suelo vs. Profundidad



CONCLUSION:

Factor de Corrección asumido:

1,00

Resistividad media considerada <ohm x m>:

407,58

Figura c. Medición de la resistividad de la subestación BAMARI

ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO

TABLE 1—CHARACTERISTICS OF COPPER CONDUCTORS, HARD DRAWN, 97.3 PERCENT CONDUCTIVITY

Size of Conductor		Number of Strands	Diameter of Individual Strands Inches	Outside Diameter Inches	Breaking Strength Pounds	Weight Pounds per Mile	Approx. Current Carrying Capacity* Amps	Geometric Mean Radius at 60 Cycles Feet	r_a Resistance Ohms per Conductor per Mile								x_a Inductive Reactance Ohms per Conductor Per Mile At 1 Ft. Spacing			x'_a Shunt Capacitive Reactance Megohms per Conductor Per Mile At 1 Ft. Spacing					
Circular Mils	A.W.G. or B.&S.								25°C. (77°F.)				50°C. (122°F.)				25 cycles	50 cycles	60 cycles	25 cycles	50 cycles	60 cycles	25 cycles	50 cycles	60 cycles
									d-c	25 cycles	50 cycles	60 cycles	d-c	25 cycles	50 cycles	60 cycles									
1 000 000	...	37	0.1644	1.151	43 830	16 300	1 300	0.0308	0.0585	0.0594	0.0620	0.0634	0.0640	0.0648	0.0672	0.0685	0.1666	0.333	0.400	0.216	0.1081	0.0901			
900 000	...	37	0.1560	1.092	39 510	14 670	1 220	0.0349	0.0650	0.0658	0.0682	0.0695	0.0711	0.0718	0.0740	0.0752	0.1693	0.339	0.406	0.220	0.1100	0.0916			
800 000	...	37	0.1476	1.029	35 120	13 040	1 130	0.0329	0.0731	0.0739	0.0760	0.0772	0.0800	0.0806	0.0826	0.0837	0.1722	0.344	0.413	0.224	0.1121	0.0934			
750 000	...	37	0.1424	0.997	33 400	12 230	1 090	0.0319	0.0780	0.0787	0.0807	0.0818	0.0853	0.0859	0.0878	0.0888	0.1739	0.348	0.417	0.226	0.1132	0.0943			
700 000	...	37	0.1375	0.963	31 170	11 410	1 040	0.0308	0.0836	0.0842	0.0861	0.0871	0.0914	0.0920	0.0937	0.0947	0.1759	0.352	0.422	0.229	0.1145	0.0954			
600 000	...	37	0.1273	0.891	27 020	9 781	940	0.0285	0.0975	0.0981	0.0997	0.1006	0.1066	0.1071	0.1086	0.1095	0.1799	0.360	0.432	0.235	0.1173	0.0977			
500 000	...	37	0.1162	0.814	22 510	8 151	840	0.0260	0.1170	0.1175	0.1188	0.1196	0.1280	0.1283	0.1296	0.1303	0.1845	0.369	0.443	0.241	0.1205	0.1004			
500 000	...	19	0.1622	0.811	21 590	8 151	840	0.0256	0.1170	0.1175	0.1188	0.1196	0.1280	0.1283	0.1296	0.1303	0.1853	0.371	0.445	0.241	0.1206	0.1005			
450 000	...	19	0.1539	0.770	19 750	7 336	780	0.0243	0.1300	0.1304	0.1316	0.1323	0.1422	0.1426	0.1437	0.1443	0.1879	0.376	0.451	0.245	0.1224	0.1020			
400 000	...	19	0.1451	0.726	17 560	6 521	730	0.0229	0.1462	0.1466	0.1477	0.1484	0.1600	0.1603	0.1613	0.1619	0.1909	0.382	0.458	0.249	0.1245	0.1038			
350 000	...	19	0.1357	0.679	15 590	5 706	670	0.0214	0.1671	0.1675	0.1684	0.1690	0.1828	0.1831	0.1840	0.1845	0.1943	0.389	0.466	0.254	0.1269	0.1058			
350 000	...	12	0.1708	0.710	15 140	5 706	670	0.0225	0.1671	0.1675	0.1684	0.1690	0.1828	0.1831	0.1840	0.1845	0.1918	0.384	0.460	0.251	0.1253	0.1044			
300 000	...	19	0.1257	0.629	13 510	4 891	610	0.01987	0.1950	0.1953	0.1961	0.1966	0.213	0.214	0.214	0.215	0.1982	0.396	0.476	0.259	0.1296	0.1080			
300 000	...	12	0.1581	0.657	13 170	4 891	610	0.0208	0.1950	0.1953	0.1961	0.1966	0.213	0.214	0.214	0.215	0.1957	0.392	0.470	0.256	0.1281	0.1088			
250 000	...	19	0.1147	0.574	11 360	4 076	540	0.01813	0.234	0.234	0.235	0.235	0.256	0.256	0.257	0.257	0.203	0.406	0.487	0.266	0.1329	0.1108			
250 000	...	12	0.1443	0.600	11 130	4 076	540	0.01902	0.234	0.234	0.235	0.235	0.256	0.256	0.257	0.257	0.200	0.401	0.481	0.263	0.1313	0.1094			
211 600	4/0	19	0.1055	0.528	9 617	3 450	480	0.01668	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.207	0.414	0.497	0.272	0.1359	0.1132			
211 600	4/0	12	0.1328	0.552	9 483	3 450	490	0.01750	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.205	0.409	0.491	0.269	0.1343	0.1119			
211 600	4/0	7	0.1739	0.522	9 154	3 450	480	0.01579	0.276	0.277	0.277	0.278	0.302	0.303	0.303	0.303	0.210	0.420	0.503	0.273	0.1363	0.1136			
167 800	3/0	12	0.1183	0.492	7 556	2 736	420	0.01559	0.349	0.349	0.349	0.350	0.381	0.381	0.382	0.382	0.210	0.421	0.505	0.277	0.1384	0.1153			
167 800	3/0	7	0.1548	0.464	7 366	2 736	420	0.01404	0.349	0.349	0.349	0.350	0.381	0.381	0.382	0.382	0.216	0.431	0.518	0.281	0.1405	0.1171			
133 100	2/0	7	0.1379	0.414	5 926	2 170	360	0.01252	0.440	0.440	0.440	0.440	0.481	0.481	0.481	0.481	0.222	0.443	0.532	0.289	0.1445	0.1205			
105 500	1/0	7	0.1228	0.368	4 752	1 720	310	0.01113	0.555	0.555	0.555	0.555	0.606	0.607	0.607	0.607	0.227	0.455	0.546	0.298	0.1488	0.1240			
83 690	1	7	0.1093	0.328	3 804	1 304	270	0.00992	0.699	0.699	0.699	0.699	0.765	0.607	0.607	0.607	0.233	0.467	0.560	0.306	0.1528	0.1274			
83 690	1	3	0.1670	0.360	3 620	1 351	270	0.01016	0.692	0.692	0.692	0.692	0.757				0.232	0.464	0.557	0.299	0.1495	0.1246			
66 370	3/8	7	0.0974	0.292	3 043	1 082	230	0.00883	0.881	0.882	0.882	0.882	0.964				0.239	0.478	0.574	0.314	0.1570	0.1308			
66 370	3/8	3	0.1487	0.320	2 913	1 071	240	0.00903	0.873	0.873	0.873	0.873	0.955				0.238	0.476	0.571	0.307	0.1537	0.1281			
66 370	3/8	1	0.258	0.258	3 003	1 061	220	0.00836	0.864	0.864	0.864	0.864	0.945				0.242	0.484	0.581	0.323	0.1614	0.1345			
52 630	3	7	0.0867	0.260	2 433	858	200	0.00787	1.112				1.216				0.245	0.490	0.588	0.322	0.1611	0.1343			
52 630	3	3	0.1325	0.285	2 359	850	200	0.00805	1.101				1.204				0.244	0.488	0.585	0.316	0.1578	0.1315			
52 630	3	1	0.229	0.229	2 439	941	190	0.00745	1.090				1.192				0.248	0.496	0.595	0.331	0.1656	0.1380			
41 740	4	3	0.1180	0.254	1 879	674	180	0.00717	1.388				1.518				0.250	0.499	0.596	0.324	0.1619	0.1349			
41 740	4	1	0.204	0.204	1 970	667	170	0.00863	1.374				1.503				0.254	0.507	0.606	0.329	0.1697	0.1415			
33 100	6	3	0.1050	0.226	1 505	534	150	0.00638	1.750				1.914				0.268	0.511	0.613	0.332	0.1681	0.1384			
33 100	6	1	0.1819	0.1819	1 591	529	140	0.00590	1.733				1.895				0.260	0.519	0.623	0.348	0.1738	0.1449			
26 250	6	3	0.0935	0.201	1 205	424	130	0.00568	2.21				2.41				0.262	0.523	0.628	0.341	0.1703	0.1419			
26 250	6	1	0.1620	0.1620	1 280	420	120	0.00526	2.18				2.39				0.265	0.531	0.637	0.358	0.1779	0.1483			
20 820	7	1	0.1443	0.1443	1 030	333	110	0.00468	2.75				3.01				0.271	0.542	0.651	0.364	0.1821	0.1517			
16 510	8	1	0.1285	0.1285	826	264	90	0.00417	3.47				3.80				0.277	0.554	0.665	0.372	0.1862	0.1552			

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	ESTUDIO DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE PUESTA A TIERRA EN LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARA LOS NIVELES DE TENSIÓN DE 400 KV, 230 KV, 115 KV Y 34,5 KV EN CADAFE
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
CEDEÑO L. LUIS A.	CVLAC: 17.213.775 E MAIL: lucart_16@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Mallas, resistencia de puesta a tierra, contrapesos, jabalinas.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBA REA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Eléctrica

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se realizó el estudio de los métodos utilizados en el diseño de puesta a tierra en subestaciones y líneas eléctricas para los niveles de tensión de 400kv, 230kv, 115kv y 34,5kv en CADAFE, las cuales distribuyen energía eléctrica a gran parte del país. Este estudio abarca una descripción de las normas utilizadas por CADAFE para sus diseños de puesta a tierra, así como también, cálculos basados en normas internacionales para verificar su viabilidad técnica.

Para lograr con el objetivo planteado se comenzó por definir los conceptos más importantes en el diseño de la puesta a tierra, como lo son la resistencia de puesta a tierra, las mallas de puesta a tierra, voltajes de paso y toque, máximo alza de potencial, el espaciamiento entre conductores y la profundidad de enterramiento de una malla. Posteriormente y utilizando las normas nacionales e internacionales sobre diseños de puesta a tierra como la IEEE 80-2000, el Código Eléctrico Nacional, normas CADAFE, IEEE 142, se recomendaron los criterios a seguir para el diseño de una malla de aterramiento y las configuraciones que se deben utilizar para la puesta a tierra en torres de líneas de transmisión.

Finalmente se presenta un estudio económico de algunos sistemas de puesta a tierra de subestaciones y líneas construidas bajo dichas normativas.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Melquíades Bermúdez	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	3.486.726			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Verena Mercado	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	82.235.587			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Luis Suárez	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:	11.144.624			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	04	14
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Estudio de los Métodos.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E
F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q
r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: ELECTRICIDAD

TEMPORAL: 6 MESES

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO ELECTRICISTA.

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO.

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE.

NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado:

“Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo; el cual lo participará al Consejo Universitario”

Cedeño L. Luis A

AUTOR

Ing. Melquíades Bermúdez.

TUTOR

Prof. Verena Mercado.

JURADO

Prof. Luis Suárez.

JURADO

Prof. Verena Mercado.

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS