

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



**“EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y  
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA  
ESTACIÓN DE REBOMBEO “2” (KM-52) DE PDVSA”**

**REALIZADO POR:  
Germán Alexis Rodríguez Silva.**

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para optar al Título de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Puerto la Cruz, Junio de 2012.

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



**“EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y  
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA  
ESTACIÓN DE REBOMBEO “2” (KM-52) DE PDVSA”**

**REALIZADO POR:  
Germán Alexis Rodríguez Silva.**

**ASESORES:**

---

Ing. Verena Mercado  
Asesor Académico

---

Ing. Juan Amaiz  
Asesor Industrial

Puerto la Cruz, Junio de 2012.

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



**“EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA Y  
PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DE LA  
ESTACIÓN DE REBOMBEO “2” (KM-52) DE PDVSA”**

**JURADO CALIFICADOR**

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

---

Ing. Verena Mercado  
**Asesor Académico**

---

Ing. Adriana Méndez  
**Jurado Principal**

---

Ing. Santiago Escalante  
**Jurado Principal**

Puerto la Cruz, Junio de 2012

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la universidad de oriente:

“Los trabajos especiales de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario”.

## DEDICATORIA

Principalmente a Dios y el Arcangel Miguel, por guiarme en el buen camino y siempre estar a mi lado. Ayudarme en cuerpo y alma a tomar siempre las decisiones correctas.

A mis Padres Gerardo Rodríguez y Dinoira Silva, las palabras no describen el amor que siento por ustedes; gracias de todo corazón por ayudarme en esta etapa de mi vida, ustedes me han enseñado humildad, educación y respeto, en resumen todo lo que soy se los debo a ustedes. Mis ojos son ustedes mi familia. LOS AMO.

A mi hermano querido Carlos Rodríguez, hermano eres excelente persona, respetuoso, centrado y luchador, sigue así, tu también formaste parte de este triunfo. Esperamos con ansias que este día llegue para ti.

A mi familia, Tio Juan, Tia Gilka, Tia Mora y especialmente a mi abuela Elba Golindano “abu”, gracias por estar siempre apoyándome y creyendo en mí. Mi gratitud no tiene palabras. LOS ADORO.

A mi novia hermosa y preciosa, Giyelis Alvarado, gracias amor por creer en mí sin duda alguna, gracias por todas tus palabras que me ayudaron a seguir adelante en momentos difíciles y sobre todo gracias por todo el amor que me brindas incondicional. TE AMO MI CHIQUITA.

*Germán A. Rodríguez S.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada agradezco a Dios Padre Todopoderoso y al Arcangel Miguel, por brindarme sabiduría en tomar las mejores desiciones y por nunca abandonar en el camino hacia el logro de mis metas.

A mis Padres, por estar siempre ahí en el momento que los necesitaba, por sus consejos y risas, por brindarme todo lo que estaba dentro de sus manos para llegar a ser la persona que hoy en día soy. Por enseñarme el buen camino, educarme, hacerme humilde y respetuoso. Porque todo lo que tengo se los debo a ustedes. LOS AMO AHORA Y SIEMPRE.

A mi hermanito querido, por las risas, los chistes, las peleas, los consejos, todo eso formó parte para lograr mis metas. De Verdad Gracias.

A mi familia del Tigrito, Tío Juan por ser luchador y por el buen humor que nos das, gracias por las risas, Tía Gilka por ser un ejemplo de persona que supera obstáculos, por tu constancia y dedicación, Tía Mora por ser una mujer luchadora y con voluntad a seguir adelante, y mi Abu querida una persona más que grande en mi vida, gracias por inspirarme seguridad, responsabilidad, humildad y justicia. Agradezco mucho a los cuatro porque han sido un ejemplo en mi vida.

A mi Familia de Caracas, a todos los hermanos de mi Padre, de todos he tenido un buen aprendizaje y ejemplos a seguir, mis primos(as) por las risas, incontables aventuras y su cariño. A todos muchas gracias.

A mi novia bella y hermosa por siempre ayudarme y apoyarme en todo momento, por ser también una amiga incondicional, gracias mi vida por todo el amor que me das, TE AMO.

A mis amigos de la universidad que siempre estuvieron conmigo en los momentos buenos y malos, por las risas y por su apoyo, Giyelis Alvarado, Francisco Pinto, Mitchel Káraz, Fran Cappablo, Eliezer Cabrera, Juan Zabaleta, Gino Giovannini, PeblesManzanarez, Johan Alvarado, Jose Ceballos, Ronald Zerpa, Carlos Jimenez, Regulo Avila.

Agradezco mucho a todas las familias que me brindaron su apoyo en esta etapa de mi vida, especialmente a la familia Zabaleta García la Sra. Ana María y el Sr. Juan por ser mis segundos padres, agradezco a las familias Alvarado Magnelly, Pinto Torres y Káraz Cortes por su ayuda incondicional.

A mi Tutor Industrial Ing. Juan Amaiz, muchas gracias por brindarme su apoyo, por sus consejos, por ser un amigo para nosotros en esta etapa y gracias sobre todo por siempre darnos la oportunidad de aprender algo nuevo. Mil gracias por todo.

A mi Tutora Académica Ing. Verena Mercado, gracias por toda la ayuda, por los consejos, por nunca cerrarse a atenderme, por su disponibilidad, por la paciencia. De verdad muchas gracias.

A los profesores de la carrera, BermudezMelquiadez, Lennin Natera, Margarita Heraoui, Santiago Escalante, Enrique Serrano gracias por los conocimientos compartidos, por la paciencia y disponibilidad a ayudar.

A mis amigos de las pasantías Rosaura Carvajal y Rafael Galindo gracias por esas risas, escapadas y por estar ahí presentes en momentos de preocupación.

A la Universidad de Oriente (UDO), por permitirme formarme como persona y profesional, por ser más que una universidad una segunda casa.

Un especial agradecimiento a la empresa PDVSA, en concreto a la Gerencia de Coordinación operacional Faja (COF), por permitirme desarrollar la pasantía en su seno. Agradezco mucho al Sr. Rafael Barrios, Sr. César Medina, Yoelsy Blanco, Yoleida Ortiz, Sr. Francisco Rojas, Yamelis Arias por apoyarme en este proceso y siempre estar dispuestos a ayudar e impartir sus conocimientos.

A la Gerencia de Servicios Eléctricos Anaco, especialmente al Ing. Kenny Jones, por su disposición a ayudar y su apoyo, por los buenos consejos y brindar su amistad.

A las Gerencias de AIT y Mantenimiento Anaco, en especial al Sr Pedro Plaz e Ing. Armando Coronado, por su colaboración en la realización de las mediciones de campo.

*Germán A. Rodríguez S.*



## RESUMEN

En este trabajo se realizó la evaluación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de La Estación de Rebombeo “2” (Km-52); esta Estación representa una instalación de suma importancia para la llegada de crudo a la industria petrolera. Para el desarrollo de este trabajo se realizó un levantamiento y recolección de información del sistema eléctrico, con la finalidad de conocer las características y el estado actual de los sistemas de puesta a tierra y; protección contra descargas atmosféricas, identificando también, la situación del sistema eléctrico actual.

Se realizaron mediciones de resistividad del suelo, resistencia de puesta a tierra y continuidad entra la carcasa y el sistema de puesta a tierra, basados en los lineamientos de la Norma IEEE 80-2000 y de la Norma ANSI/NETA MTS. La resistividad del suelo es descendente con valores desde  $64,13\Omega.m$  a  $48,64\Omega.m$  entre la capa superior e inferior respectivamente. Los valores medidos de resistencia están por debajo del exigido por la Norma IEEE 80-2000 para este tipo de instalación, el cual es menor de  $1\Omega$ . Las mediciones de continuidad arrojaron valores satisfactorios por debajo de  $0,5\Omega$ , según Norma ANSI/NETA MTS.

Luego de la evaluación se definió que la protección contra descargas atmosféricas actual, multipuntas Franklin, deben ser reemplazadas; debido a no existir normas para su basamento y que no cumplen con su función de protección. Por lo que, se plantearon diseños de puntas Franklin convencionales de 24” en anillo basados en las normas CEI 61024-1 (1990), UNE 21 185, NFPA-780 y IEC 62305.

## ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN .....	IX
ÍNDICE GENERAL .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
CAPÍTULO I .....	20
INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 PDVSA.....	20
1.1.1 Reseña Histórica de la Empresa. ....	20
1.1.2 Petróleos de Venezuela. ....	21
1.1.3 PDVSA División Oriente.....	22
1.1.4 Distrito San Tomé.....	22
1.1.5 Coordinación Operacional Faja (COF).....	25
1.2 Planteamiento del problema. ....	27
1.3 Justificación. ....	30
1.4 Objetivos.....	31
1.4.1 Objetivo General. ....	31
1.4.2 Objetivos Específicos. ....	31
1.5 Marco Metodológico.....	32
1.5.1 Tipo de investigación.....	32
1.5.2 Nivel de Investigación.....	33
1.5.3 Técnicas utilizadas. ....	33
CAPÍTULO II.....	35
MARCO TEÓRICO.....	35
2.1 Antecedentes.....	35
2.2 fundamentos Teóricos. ....	37

2.2.1 Estación de Bombeo. ....	37
2.2.2 Sistema de Puesta a Tierra (SPT).....	39
2.2.3 Resistividad del Suelo. ....	45
2.2.4 Resistencia de Puesta a Tierra. ....	51
2.2.5 Mallas. ....	62
2.2.6 Tensiones de Seguridad.....	66
2.2.7 Descargas atmosféricas. ....	78
CAPITULO III.....	81
situación actual DE La Estación de rebombeo “2” .....	81
3.1 Introducción. ....	81
3.2 Descripción General. ....	81
3.2.1 Centro de Distribución de Potencia (CDP) Mesa 13,8kV. ....	83
3.2.2 Centro de Distribución de Potencia (Cdp) Mesa-Merey 13,8kV.....	84
3.2.3 Centro de Control de Motores Merey 480V.....	88
3.2.4 centro de Control de Motores Mesa 480V.....	95
3.2.5 Sala de Bombeo Merey.....	101
3.2.6 Sala de Bombeo Mesa. ....	103
3.2.7 Sistema contra incendios (SCI) a 480V.....	105
3.3 Descripción de los Sistemas de Puesta a Tierra.....	105
3.3.1 Sistema de Puesta a Tierra de la Sala de Bombas Mesa. .	106
3.3.2 Sistema de Puesta a Tierra de la Sala de Bombas Merey.	106
3.3.3 Sistema de Puesta a Tierra del Sistema Contra Incendio (SCI). ....	107
3.3.4 Sistema de Puesta a Tierra de la Subestación Eléctrica. ...	107
3.3.5 Sistema de Puesta a Tierra de la caseta de arrancadores Mesa externa. ....	108
3.3.6 Sistema de Puesta a Tierra de los Tanques.....	108
3.4 Descripción de la Protección Contra Descargas Atmosféricas.	109

CAPITULO IV .....	110
INSPECCIONES Y MEDICIONES .....	110
4.1 Introducción. ....	110
4.2 Inspección visual de los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT)....	111
4.2.1 Subestación eléctrica. ....	111
4.2.2 Sala Bombeo Mesa. ....	113
4.2.3 Sala de Bombas Merrey. ....	115
4.2.4 Sistema Contra Incendios (SCI). ....	116
4.2.5 Generador de emergencia.....	116
4.2.6 Otras instalaciones. ....	117
4.3 Inspección visual de la Protección Contra Descargas Atmosféricas (PCDA). ....	119
4.3.1 Subestación Eléctrica. ....	120
4.3.2 Sala de Bombas Mesa. ....	124
4.3.3 Sala de Bombas Merrey. ....	126
4.3.4 Instalaciones sin Protección Contra Descargas Atmosféricas. .....	127
4.3.5 Registros de fallas de la protección contra descargas atmosféricas. ....	129
4.4 Mediciones de continuidad.....	130
4.5 mediciones de Resistividad del Suelo.....	132
4.5.1 Medición de la resistividad del suelo de la Estación de Rebombeo “2”.....	132
4.6 Mediciones de resistencia eléctrica. ....	137
4.6.1 Subestación.....	137
4.6.2 Caseta de Arrancadores Mesa. ....	139
4.6.3 Sala de Bombeo Mesa. ....	140
4.6.4 Sala de Bombeo Merrey. ....	141
4.6.5 Sistema Contra Incendio (SCI). ....	142

CAPÍTULO V .....	144
CÁLCULOS TEÓRICOS Y SIMULACIONES .....	144
5.1 Introducción. ....	144
5.2 Cálculos teóricos de las resistencias de puesta a tierra. ....	145
5.2.1 Malla de la Sala de Bombeo Mesa. ....	145
5.2.2 Malla de la Subestación de Potencia. ....	147
CAPÍTULO VI .....	158
PROPUESTA DE MEJORAS .....	158
6.1 Introducción. ....	158
6.2 Mejoras en el Sistema de Puesta a Tierra. ....	159
6.2.1 Bobinas de choque. ....	159
6.2.2 Sustitución de conexiones típicas. ....	161
6.3 Mejoras de la Protección Contra Descargas Atmosféricas. ....	163
6.3.1 Diseño de las Salas de Bombas Mesa y Merey. ....	164
6.4 Planes de Inspección. ....	174
6.4.1 Inspecciones Visuales. ....	174
6.4.2 mantenimiento predictivo (Inspección Instrumental). ....	174
6.5. Programas de Mantenimientos. ....	176
CONCLUSIONES.....	178
RECOMENDACIONES .....	181
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	182
ANEXOS .....	184
ANEXOS A.....	185

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación Geográfica de PDVSA División Oriente. ....	23
Figura 1.2 Ubicación del Distrito San tomé.....	24
Figura 1.3 Estructura de La Coordinación Operacional Faja del Orinoco PDVSA.....	26
Figura 2.1. Puesta a Tierra .....	39
Figura 2.2. Tendencia de la Resistividad del Suelo. ....	46
Figura 2.3. Megger de cuatro terminales .....	48
Figura 2.4. Método de Wenner. ....	49
Figura 2.6. Perfil de Resistividad. ....	51
Figura 2.7. Esquema de Conexión de los Electrodo s .....	53
Figura 2.8. Coeficiente K1. ....	57
Figura 2.9. Coeficientes K2.....	57
Figura 2.10. Electrodo s de Puesta a Tierra .....	58
Figura 2.11. Barra Copperweld.....	59
Figura 2.12. Electrodo s de Hincamiento Profundo.....	60
Figura 2.13. Plato o Placa.....	61
Figura 2.14. Electrodo horizontal, Contrapesos.....	62
Figura 2.15. Malla de puesta a tierra. ....	63
Figura 2.16. Malla de Tierra en forma de retículas. ....	64
Figura 2.17. Conexiones de la Malla de Puesta a Tierra. ....	65
Figura 2.18. Diferencia de potencial entre los pies, circuito equivalente.....	67
Figura 2.19. Exposición de tensión de contacto.....	67
Figura 2.20. Diferencia de potencial entre los pies, circuito equivalente.....	69
Figura 2.21. Curva estándar para estimar el valor de Cs.....	71
Figura 2.22. Voltaje transferido.....	73
Figura 2.23. Descarga del Rayo. ....	79

Figura 3.2 Diagrama unifilar CDP Mesa 13.8kV. ....	85
Figura 3.3. Diagrama unifilar CDP Mesa-Merey 13.8kV .....	89
Figura 3.4 CCM servicios auxiliares Merey.....	92
Figura 3.5. Diagrama unifilar CCM Merey 480V .....	93
Figura 3.6 CCM servicios auxiliares Mesa.....	96
Figura 3.7. Diagrama unifilar CCM Mesa 480V .....	97
Figura 3.8 Sala de Bombeo Merey .....	101
Figura 3.9 Sala de Bombeo Mesa.....	103
Figura 4.1. Puesta a Tierra. ....	112
Figura 4.2. Puesta a Tierra del Transformador. ....	112
Figura 4.3. Barras de Puesta a Tierra.....	113
Figura 4.4. Barras de Puesta a Tierra Caseta de arrancadores Merey.....	113
Figura 4.5 Puesta a Tierra en Mesa.....	114
Figura 4.6. Estructura Sala de Bombeo Mesa. ....	114
Figura 4.7. Puesta a Tierra Merey. ....	115
Figura 4.8 Pilares de la Estructura de Merey.....	115
Figura 4.9. Puesta a Tierra Sistema Contra Incendio (SCI).....	116
Figura 4.10. Generador de Emergencia.....	116
Figura 4.11. Barra Equipotencial de Puesta a Tierra. ....	117
Figura 4.12 Torre de Comunicación.....	117
Figura 4.13 Barras de Puesta a Tierra.....	118
Figura 4.14 Bajada a la Puesta a Tierra. ....	118
Figura 4.15. Sistema de Aire Acondicionado. ....	119
Figura 4.16. Sistema Hidroneumático.....	119
Figura 4.17. PCDA de la Subestación del Km-52. ....	120
Figura 4.18 PCDA Caseta de Arrancadores Merey. ....	121
Figura 4.19. Llegada a la Puesta a Tierra.....	121
Figura 4.20. PCDA Caseta de Arrancadores Mesa. ....	122
Figura 4.21. Llegada a la Puesta a Tierra.....	122

Figura 4.22. Arreglo en anillo de la Sala de Comunicación. ....	123
Figura 4.23. PCDA del CDP Mesa. ....	123
Figura 4.24. Conexión de la PCDA del CDP Mesa-Merey. ....	124
Figura 4.25. Arreglo de la PCDA en Mesa. ....	125
Figura 4.26. Bajada y conexión a la Puesta Tierra hurtadas. ....	125
Figura 4.27. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes. ....	125
Figura 4.28. Arreglo anillado de la Sala de Bombeo Merey. ....	126
Figura 4.29. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes 1. ....	126
Figura 4.30. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes 2. ....	127
Figura 4.31. Caseta del Generador del Emergencia. ....	128
Figura 4.32. Sin Protección Contra Descargas Atmosféricas. ....	128
Figura 4.33. Tanques protegidos por su estructura puesta a tierra. ....	128
Figura 4.34. Esquema de mediciones de resistividad. ....	133
Figura 4.35. Perfil de resistividad del suelo. ....	135
Figura 4.36. Perfil de resistividad del suelo. ....	136
Figura 4.37. Gráfica resistencia vs longitud. ....	138
Figura 4.38. Grafica resistencia vs longitud. ....	139
Figura 4.39. Grafica resistencia vs longitud. ....	140
Figura 4.40. Grafica resistencia vs longitud. ....	141
Figura 4.41. Grafica resistencia vs longitud. ....	142
Figura 5.1 Imagen del estudio de los suelos simulador ETAP. ....	154
Figura 5.2 Vista 3D de la malla Subestación Rebombeo “2”. ....	155
Figura 5.3 Resultados de la simulación. ....	155
Figura 6.1 Circuito simplificado de una bobina de choque. ....	160
Figura 6.2. Montaje sugerido de la bobina de choque. ....	161
Figura 6.3. Días de tormentas al año en Venezuela. ....	168
Figura 6.4. Tabla 3, IEC 1024-1. ....	170
Figura 6.5. Tabla VII. UNE 21 185 Tabla I. ....	171
Figura 6.6. Estructuras Mesa y Merey protegidas de ancho. ....	172



Figura 6.7. Estructura Mesa lado mas largo. ....	172
Figura 6.8. Estructura Merey protegida lado más largo. ....	173

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resistividad Promedio. ....	47
Tabla 2.2 Valores típicos de Df .....	77
Tabla 3.1 Características de los Transformadores Mesa.....	86
Tabla 3.2 Característica de los Arrancadores Suaves Mesa .....	87
Tabla 3.3 Características de los transformadores Meroy.....	90
Tabla 3.4 Característica de los Arrancadores Suaves Meroy .....	91
Tabla 3.5 Descripción celdas barra I del CCM Meroy 480V. ....	94
Tabla 3.6 Descripción celdas barra II del CCM Meroy 480V. ....	95
Tabla 3.7 Descripción celdas barra 480V del CCM Mesa.....	98
Tabla 3.8 Descripción celdas barra 208-120V del CCM Mesa. ....	100
Tabla 3.9 Características de los Motores de la Sala de Bomba Meroy.....	102
Tabla 3.10 Características de los Motores de la Sala de Bomba Mesa existentes.....	104
Tabla 3.11 Características de los Motores de la Sala de Bomba Mesa no existentes.....	104
Tabla 3.12. Motores Sistema Contra Incendios. ....	105
Tabla 4.1. Mediciones de Continuidad.....	130
Tabla 4.2. Resistencia eléctrica del suelo.....	133
Tabla 4.3. Resistividad aparente del suelo (perfil 1). ....	134
Tabla 4.4. Resistencia eléctrica del suelo.....	135
Tabla 4.5. Resistividad aparente del suelo (perfil 2). ....	136
Tabla 4.6. Mediciones de Resistencia de la Subestación. ....	138
Tabla 4.7. Mediciones de Resistencia Caseta de Arrancadores Mesa. ....	139
Tabla 4.8. Mediciones de resistencia Sala de Bombeo Mesa.....	140
Tabla 4.9. Mediciones de resistencia Sala de Bombeo Meroy. ....	141
Tabla 4.10. Mediciones de resistencia Sistema Contra Incendio.....	142

Tabla 5.1. Valores Teóricos de Resistencia Eléctrica.....	146
Tabla 5.2. Comparación entre valores medidos y cálculos teóricos. ....	147
Tabla 5.3 Valores de resistencia.....	156
Tabla 5.4. Valores simulados y teóricos de los voltajes de toque y paso. ...	157
Tabla 6.1. Conexiones de Puesta a Tierra a instalar. ....	162
Tabla 6.2. Coeficiente entorno de la construcción C1.....	165
Tabla 6.3. Coeficiente de estructura C2.....	165
Tabla 6.4. Coeficiente contenido de la estructura C3 .....	166
Tabla 6.5. Coeficiente ocupación de la estructura C4.....	166
Tabla 6.6. Coeficiente de consecuencia sobre el entorno C5.....	167
Tabla 6.7. Criterios de Evaluación Termográfica .....	175
Tabla 6.8. Criterios de Aceptación de Descargas Parciales. ....	176

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PDVSA.**

#### **1.1.1 Reseña Históricade la Empresa.**

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) fue creada en 1976 a través de la nacionalización del petróleo y desde entonces se ha convertido en una de las corporaciones más importantes del mundo. A mediados de la década de los sesenta se realiza la búsqueda de crudos pesados en la faja petrolífera del Orinoco. En el año 1982 se da inicio a la creación del criogénico de Oriente, que comienza sus actividades en 1985.

Para el año 1988 se realizó un proceso de transformación de la industria petrolera con el fin de reducir costos y conformar así una sola empresa denominada PDVSA Petróleo y Gas, que cuenta con las divisiones operacionales: PDVSA Exploración, Producción y Mejoramiento, que se encarga de explorar, explotar y producir crudo y gas; y PDVSA Manufactura y Mercadeo, encargada del negocio de refinación y venta al mercado interno y/o externo. Ambas divisiones son apoyadas por la división PDVSA servicios que le da aportes a las actividades medulares del negocio.

### **1.1.2 Petróleos de Venezuela.**

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), es una empresa propiedad de La República Bolivariana de Venezuela, regida por la Ley Orgánica que reserva al Estado la Industria y el Comercio de Hidrocarburos.

Sus Operaciones abarcan la exploración, explotación, refinación, transporte, distribución y comercio de hidrocarburos, así como los negocios de Orimulsión, Petroquímica y Carbón, en los que también promueve la máxima participación privada.

PDVSA es una de las compañías energéticas más importantes del planeta. Esta posición de liderazgo se soporta en la fortaleza de un recurso humano que trabaja para construir la corporación energética de referencia mundial por excelencia y cuyo talento transforma en progreso para la humanidad la inmensa base de recursos de Venezuela.

La empresa tiene su sede principal en la ciudad de Caracas y esta presente en todos los estados petroleros a lo largo de la geografía nacional como lo son: Falcón, Zulia, Lara, Barinas, Apure, Carabobo, Distrito Capital, Guárico, Anzoátegui, Monagas, Bolívar, Nueva Esparta, Delta Amacuro y Amazonas. PDVSA tiene dividida sus zonas de trabajo en distritos operacionales.

La misión de la empresa PDVSA es satisfacer las necesidades de energía de la sociedad, apoyándose en la excelencia de su gente, basándose en las tecnologías de vanguardia y creando el máximo valor para la nación venezolana.

La visión de la empresa PDVSA es Ser la Corporación Energética de referencia mundial por excelencia.

Petróleos de Venezuela (PDVSA) tiene como meta la realización de actividades de explotación, exploración, producción, transportación y comercialización de los hidrocarburos, así como cualquier otra tarea en materia de petróleo y demás hidrocarburos que generan los recursos fiscales que requiere la nación para su desarrollo.

### **1.1.3 PDVSA División Oriente.**

PDVSA tiene divididos sus trabajos en distritos operacionales que están liderizados por una gerencia distrital, estructurados organizativamente en unidades básicas de producción y procesos. El área operativa de PDVSA Oriente está conformada por cinco distritos operacionales: Refinación (Puerto la Cruz), Anaco, Norte (Punta de Mata y Maturín), Sur (San Tomé) y Morichal.

En la figura 1.1 se muestran las tres (3) divisiones que componen la empresa: División Occidente (amarillo), División Oriente (naranja) y División Sur (azul).

### **1.1.4 Distrito San Tomé.**

El Distrito Social San Tomé tiene un área aproximada de 24.000 km<sup>2</sup> comprendiendo la mayor parte del Sur de los estados: Anzoátegui y Guárico, se extiende hasta Casma-Soledad en el estado Monagas.

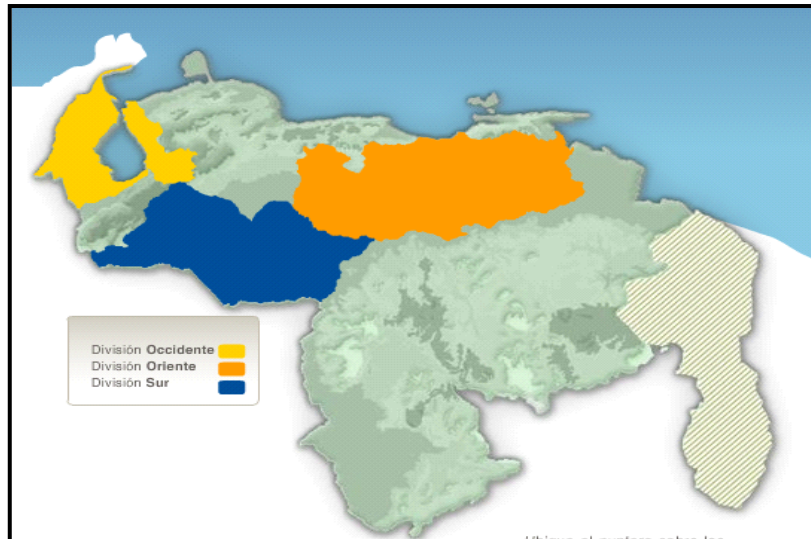


Figura 1.1 Ubicación Geográfica de PDVSA División Oriente.  
(PDVSA Intranet)

Este Distrito está ubicado específicamente en el centro de la Mesa de Guanipa (Zona Sur del Estado Anzoátegui).

Es un área extensa que se caracteriza por tener pozos medianamente profundos de hasta (4267,2 m) en el área tradicional y pozos someros hasta (1066,8 m), en el área de la Faja del Orinoco.

Se encuentra conformado por la Gerencia Distrital, 5 Unidades de Explotación de Yacimientos las cuales son: U.E.Y Liviano, U.E.Y Mediano, U.E.Y Pesado Este, U.E.Y. Pesado Este, U.E.Y. Pesado Oeste, U.E.Y. Extrapesado, cada una de ellas se divide en cuatro unidades: Producción, Infraestructura, Yacimientos y Control de Gestión, a su vez lo conforman 6 Gerencias Habilitadoras tales como: Perforación, Plantas, Coordinación Operacional Faja, Transmisión y Distribución Eléctrica (T&D), Transporte y

Mantenimiento Mayor; las Gerencias Asesoras: Servicios Corporativos, RRHH, Finanzas, Telecomunicaciones, Transporte, Médico y Asuntos Públicos. También esta conformada por la Gerencia de Presupuesto y Control de Gestión la cual sirve de apoyo a la Gerencia Distrital.

En la figura 1.2 se señala la ubicación del Distrito San Tomé perteneciente a la división Oriente, el cual pertenece al Municipio Freites, Cantaura. Se encuentra ubicado en el Estado Anzoátegui al Sur del Distrito de Punta de Mata.



Figura 1.2 Ubicación del Distrito San tomé.  
(PDVSA Intranet)



### **1.1.5 Coordinación Operacional Faja (COF).**

La Gerencia de Coordinación Operacional Faja del Orinoco (COF), adscrita a PDVSA Exploración y Producción (EyP), es la responsable del almacenamiento y transporte de crudo proveniente de la Faja del Orinoco.

El Propósito de COF es presentar a la Dirección Ejecutiva de Exploración y Producción Faja Petrolífera del Orinoco la propuesta del diseño, desarrollo Organizacional y modelo de la Estructura Básica de la Gerencia de Coordinación Operacional Faja, como organización medular de la Dirección, para su evaluación, aprobación e implantación.

La misión de COF es coordinar las operaciones de manejo de los crudos requeridos y producidos en la Faja Petrolífera del Orinoco, mediante el uso de la infraestructura existente, garantizando el mantenimiento e incorporando nuevas facilidades que permitan apalancar el proceso productivo, asegurando la continuidad operacional y el control contable de los volúmenes de hidrocarburos producidos y manejados.

La visión de COF es ser la Organización responsable del Transporte y la Contabilidad de los Hidrocarburos producidos por Exploración y Producción Faja Petrolífera del Orinoco; reconocida por impulsar el desarrollo de los procesos productivos de la corporación y fortalecer los planes integrales de desarrollo de la nación.

En la figura 1.3 se presenta un esquemático de la estructura de la Coordinación Operacional Faja del Orinoco.

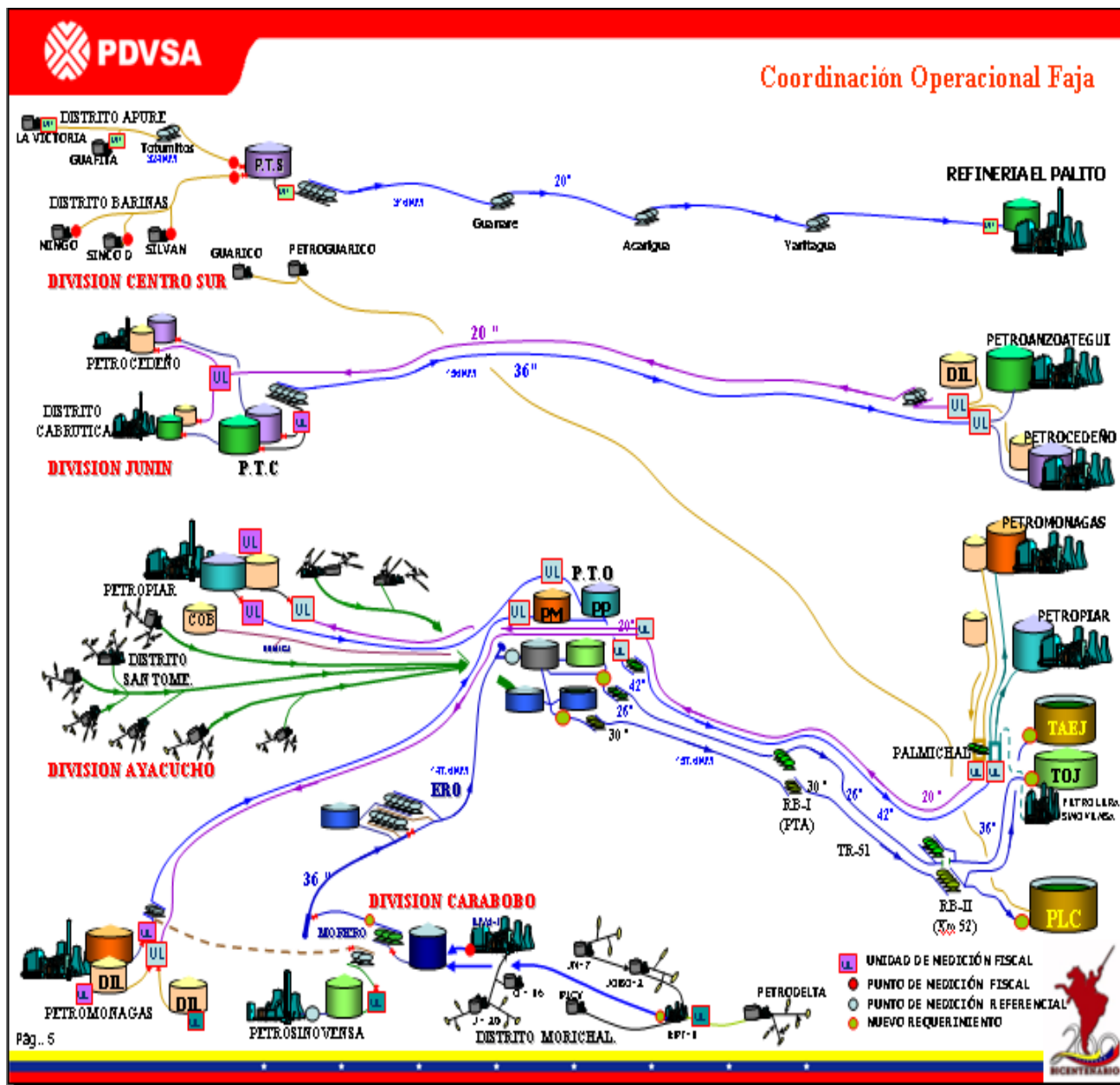


Figura 1.3 Estructura de La Coordinación Operacional Faja del Orinoco PDVSA.  
(PDVSA Gerencia de COF)

### **1.1.5.1 Gerencia de Visualización y Optimización de Procesos (VOP).**

La Gerencia tiene como misión visualizar y optimizar los procesos asociados a los sistemas de almacenamiento, manejo, transporte, medición y fiscalización de Hidrocarburos de la Faja Petrolífera del Orinoco; así como el seguimiento y control de proyectos en las fases de conceptualización, definición, implantación y entrega, bajo los estándares nacionales e internacionales de calidad, seguridad y ambiente, empleando las mejores tecnologías y prácticas operacionales, con un recurso humano altamente capacitado y comprometido con la empresa y el país.

La visión de VOP es ser reconocida como la gerencia líder en la visualización y optimización de procesos, asociados al manejo, transporte, medición y fiscalización de hidrocarburos de la Faja Petrolífera del Orinoco; a fin de satisfacer a nuestros clientes, dando soluciones oportunas, eficientes y de alta calidad.

Como Política de Calidad se pretende proveer las visualizaciones y optimizaciones requeridas para las actividades operacionales asociada al manejo transporte, medición y fiscalización de hidrocarburos de la Faja Petrolífera del Orinoco; a fin de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, orientada al mejoramiento continuo, la eficacia del sistema de gestión de la calidad y contribuyendo con el desarrollo de PDVSA y el país.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

PDVSA (Petróleos de Venezuela), es la empresa que a través de sus filiales se encarga de la explotación, venta, mercadeo y transporte de todo

producto y derivado del petrolero mediante la planificación, coordinación y supervisión de las actividades tanto en Venezuela como en el extranjero. En el seno del Distrito San Tomé se encuentra una parte de la Coordinación Operacional Faja (COF), adscrita a PDVSA Exploración y Producción (EyP), que es la responsable del almacenamiento y transporte de crudo proveniente de la Faja del Orinoco. En COFse cuenta con la Gerencia de Visualización y Optimización de Procesos (VOP) cuya misión es visualizar y optimizar los procesos asociados a los sistemas de almacenamiento, manejo, transporte, medición y fiscalización de Hidrocarburos de la Faja Petrolífera del Orinoco; así como el seguimiento y control de proyectos en las fases de conceptualización, definición, implantación y entrega, bajo los estándares nacionales e internacionales de calidad, seguridad y ambiente, empleando las mejores tecnologías y prácticas operacionales.

Los equipos eléctricos presentes en la Estación de Rebombéo "2" (Km-52) conforman un sistema cuyo fin es mantener un bombeo constante en niveles establecidos de crudo; para el cumplimiento de estos parámetros, es necesario realizar de manera constante revisiones a los equipos de potencia y control para lograr el buen funcionamiento de los mismos. La Estación de Rebombéo "2" está dividida principalmente en dos (2) salas de bombeo independientes Merey y Mesa, además cuenta con otras instalaciones, un Sistema Contra Incendios (SCI), una sala de control donde se ubican dos (2) CCM de servicios auxiliares a 480V y un patio de potencia o pequeña subestación que se encarga de alimentar al rebombéo completo a través de dos (2) Centro de Distribución de Potencia (CDP) de 13,8kV. Los motores que son alimentados por estos CDP, cuentan con sus transformadores cautivos de 13,8/4,16kV y con arrancadores suaves con By Pass.

Debido a que se habla de una instalación sumamente amplia, las redes de mallas de puesta a tierra existentes conforman un total de cinco (5), divididas en el patio de potencia, la sala de bombeo Merey, sala de bombeo Mesa, el Sistema Contra Incendios (SCI) y una malla pequeña ubicada en la caceta de arrancadores Mesa.

Últimamente, en las instalaciones de la Estación de Rebombeo “2” (Km-52) ha ocurrido un aumento notable en las tasas de fallas, haciéndose cada vez más continuas y perjudiciales; principalmente en los motores-bombas, válvulas motorizadas, arrancadores, etc., todo esto implica, altos costos de reparación, reintegración de equipos y disminución en el bombeo de crudo. La Gerencia de Visualización y Optimización de Procesos (VOP) asocia las constantes fallas con los sistemas de puesta a tierra, los cuales tienen un tiempo de operación que supera los 20 años; además en este lapso se han incorporado nuevas cargas al sistema, se ha presentado obsolescencia y una falta de planes de mantenimiento preventivos y correctivos a los sistemas de puesta a tierra.

El propósito de este trabajo consiste en determinar si efectivamente las fallas están relacionadas con los sistemas de puesta a tierra del Rebombeo “2”; Por ello, se busca evaluar y definir la mejor opción que permita que los sistemas de puesta a tierra y las protecciones contra descargas atmosféricas de la Estación de Rebombeo “2” (Km-52) funcionen de forma precisa, correcta y segura.

Con el fin de cumplir con los objetivos y dar respuesta al problema central planteado, se requiere realizar trabajos de campo que comprendan las mediciones de la resistividad del suelo y de las resistencias de mallas, para

luego ser comparadas con lo establecido en la normativa de la IEEE 80-2000 y de esta forma determinar si los valores están dentro de los requerimientos tomados del diseño original. De no ser así, se procederá a plantear las mejoras necesarias o rediseño con el fin de que los equipos eléctricos de potencia, electrónicos y comunicación operen en condiciones óptimas, para que el personal que labora en las instalaciones de la Estación de Rebombear "2" (Km-52) cuente con sistemas que garanticen confiabilidad y seguridad plena laboral.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

En instalaciones de bajo, medio y alto voltaje así como en zonas de producción petrolera, las estructuras metálicas expuestas pueden tener voltajes peligrosos para la vida humana. Estas situaciones de riesgo pueden presentarse tanto en condiciones normales como en condiciones de fallas; como por ejemplo descargas atmosféricas, cortocircuitos, etc.; lo que puede originar sobrevoltaje en las instalaciones, rupturas dieléctricas, etc.

Los sistemas de puesta a tierra y las protecciones contra descargas atmosféricas juegan un papel de gran importancia desde el punto de vista de seguridad en instalaciones eléctricas; ya que pueden generar un ambiente óptimo de trabajo para el personal y a su vez aumentar producciones ya que se minimiza el tiempo que pueden estar fuera de servicio los equipos.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 Objetivo General.**

Evaluar los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de la Estación de Rebombéo 2 (Km-52) de la Gerencia de Coordinación Operacional Faja de PDVSA.

### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- 1) Describir el sistema eléctrico actual, los sistemas de puesta a tierra y la protección contra descargas atmosféricas de la Estación de Rebombéo "2" (Km-52).
- 2) Realizar inspecciones visuales y mediciones de continuidad relacionadas a los sistemas de puesta a tierra y protecciones contra descargas atmosféricas de La Estación de Rebombéo 2 (Km-52).
- 3) Obtener el perfil de resistividad del suelo y las mediciones de resistencia de los sistemas de puesta a tierra.
- 4) Calcular la resistencia de puesta a tierra y voltajes de seguridad (toque y paso) teóricamente y mediante el programa ETAP.
- 5) Proponer mejoras asociadas a los sistemas de puesta a tierra y las protecciones contra descargas atmosféricas tomando en cuenta lo evaluado en las instalaciones.

## **1.5 MARCO METODOLÓGICO.**

### **1.5.1 Tipo de Investigación.**

Por lo general las investigaciones de tipo descriptivas, precisan para la demostración del problema formulado, un diseño de campo, siendo el caso de este trabajo, ya que se procedió a la recolección de información en las instalaciones asociadas al proyecto, es decir, de manera directa o de fuentes primarias. Además, fue necesario utilizar la revisión bibliográfica que permitió realizar una recolección de datos (documentales y técnicos), relacionados con los equipos específicos y los sistemas de puesta a tierra. La revisión fue realizada mediante libros, revistas, manuales, tesis, normas, Internet, planos, etc.

Según Buendía (1998) “Antes de entrar a recaudar los datos en el campo, todo investigador debe previamente revisar la literatura relacionada con la problemática que desea estudiar, esto quiere decir leer sobre el trabajo de otros autores y sus aportes. Esto sirve como referencia para observar cómo se han emprendido esas investigaciones y cuales resultados y conclusiones alcanzaron que son relevantes para el nuevo trabajo de investigación”.

Arias F. (1999), en su libro “El Proyecto de la Investigación”; expresa que la investigación del tipo campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna.



### **1.5.2 Nivel de Investigación.**

La investigación se catalogó como Descriptiva, ya que se buscó desarrollar una imagen o fiel representación (descripción) de los sistemas de puesta a tierra que se encuentran en la Estación de Rebombado 2 (Km-52) a partir de sus características y puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad.

Arias F. (1999), en su libro “El Proyecto de la Investigación” expresa que el tipo de investigación descriptivo consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

### **1.5.3 Técnicas utilizadas.**

Para lograr los objetivos planteados se utilizaron diversas herramientas que concretaron la información con la que se llevo a cabo el trabajo de investigación, estas son:

#### **1.5.3.1 Análisis documental.**

Se procedió a la obtención de la información necesaria para la elaboración del proyecto, analizando los diferentes tópicos relacionados con el mismo. Para desarrollar la misma se investigó en textos técnicos, libros, Internet, datasheets, manuales, revistas, entre otros; cualquier fuente de información relacionada con el tema.

### **1.5.3.2 Entrevistas no estructuradas.**

Esta técnica permitió obtener datos mediante un diálogo entre dos personas: El entrevistador "investigador" y el entrevistado, el cual deber ser una persona entendida en la materia de la investigación; la técnica consiste en realizar preguntas de acuerdo a las respuestas que vayan surgiendo durante la entrevista. Para el proyecto se utilizó esta técnica con el propósito de obtener información por parte del personal que se encuentra relacionado directamente con las instalaciones a estudiadas.

### **1.5.3.3 Técnicas computacionales.**

Esta herramienta se utilizó durante el desarrollo de todo el proyecto, ya que se implementaran los conocimientos computacionales para la transcripción del proyecto, así como la utilización de programas que permitieron facilitar y respaldar la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES.**

En la actualidad los sistemas de puesta a tierra son de gran importancia en el ámbito industrial, comercial y residencial donde se requiera su uso. Son indispensables en la protección de equipos eléctricos y para eso tienen que cumplir con ciertos requerimientos (normativas) que lo conviertan en un sistema que brinde confiabilidad y seguridad en las instalaciones.

A continuación se enumeran algunos trabajos relacionados con el tema:

**Peña, J. (2006)**, Evaluó los Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas en el Sistema Eléctrico de un Taladro de Perforación de Petróleo. Se realizaron mediciones en campo, de resistividad del suelo y resistencia de la malla de tierra. En el sistema de protección contra descargas atmosféricas, se realizó la revisión usando el método Electrogeométrico de la IEEE (GUIDE FOR DIRECT LIGHTNING STROKE SHIELDING OF SUBSTATIONS) y la norma NFPA-780, con la finalidad de comprobar que los equipos se encontraban en el espaciamiento adecuado para que el sistema contra descargas atmosféricas brindara la protección correcta.

**Betancourt, M. (2010)**, desarrolló un trabajo de grado, cuyo objetivo principal era la evaluación de un sistema de puesta a tierra en la región de

Morichal PDVSA-Distrito Morichal, Estado Monagas. Para la evaluación se realizaron pruebas de campo, que se basaron en la medición de la resistividad del suelo y resistencia de la malla a tierra con la finalidad de verificar que los valores de resistencia se encontraban dentro de lo exigido por la normativa de la IEEE 80-2000. Además, se realizó una simulación mediante el simulador ETAP del sistema de puesta tierra con el propósito de comparar con los valores obtenidos en las mediciones de campo.

**Golindano, W. (2003)**, evaluó los Sistemas de Puesta a Tierra y Sistemas de Protección contra Descargas Atmosféricas en las Subestaciones de PDVSA Anaco. Para la realización de este trabajo se llevaron a cabo mediciones de resistividad del suelo y mediciones de resistencia de la malla de tierra en cada una de las subestaciones estudiadas. Igualmente se realizaron simulaciones del sistema de puesta a tierra de dichas subestaciones mediante la herramienta computacional ETAP. Por último, se hizo una evaluación de la protección que ofrecen las Puntas Franklin, Cables de Guarda, etc.

**Mejías, R. (2007)**, realizó un trabajo basado en el diseño de un Sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas para el edificio sede de PDVSA Guaraguao, en este trabajo se realizaron estudios del clima presente en la zona, con el fin de obtener el diseño conveniente basándose en las normas de la empresa. Este trabajo servirá en la elaboración de este proyecto en la obtención de métodos que propicien el buen desarrollo del mismo.

**Rivas, G. (2006)**, elaboró un Estudio y Plan de Mantenimiento de los Sistemas de Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos y Electrónicos de los Pozos Bare 5 y Bare 10 PDVSA". Se tomaron mediciones de resistencia de

mallas con la finalidad de establecer mejoras y planes de mantenimientos. Así mismo se propusieron modelos de diseños propios con sus respectivos estudios económicos, de factibilidad y rentabilidad de la propuesta de los sistemas de puesta a tierra.

## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **2.2.1 Estación de Bombeo.**

Las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido (crudo, diluyente, agua, etc.) desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. Su uso es muy extendido en los varios campos de la ingeniería, así, se utilizan en:

- Redes de abastecimiento de agua potable, donde su uso es casi obligatorio, salvo en situaciones de centros poblados próximos de cadenas montañosas, con manantiales situados a una cota mayor.
- Red de alcantarillado, cuando los centros poblados se sitúan en zonas muy planas, para evitar que las alcantarillas estén a profundidades mayores a los 4 - 5 m.
- Sistema de riego, en este caso son imprescindibles si el riego es con agua de pozos.
- Sistema de drenaje, cuando el terreno a drenar tiene una cota inferior al recipiente de las aguas drenadas.

- En muchas plantas de tratamiento tanto de agua potable como de aguas servidas, cuando no puede disponerse de desniveles suficientes en el terreno.
- Un gran número de plantas destinadas a la elevación de la producción petrolera.

Generalmente las estaciones de bombeo constan de las siguientes partes:

- Una Subestación eléctrica de potencia para la alimentación de la estación.
  - Sistema Contra Incendio (SCI).
  - Sala o salas de bombas (en caso de dos o más en una misma estación).
  - Rejas.
  - Cámara de succión.
  - Línea de impulsión.
  - Servicios auxiliares:
1. Dispositivos de protección contra el golpe de ariete.
  2. Línea de alimentación de energía eléctrica o instalación para almacenamiento de combustible.
  3. Sistema de monitoreo y telecomunicaciones.

### 2.2.2 Sistema de Puesta a Tierra (SPT).

Es la unión o conexión eléctrica de un equipo, componente de un sistema eléctrico o instalaciones eléctricas con el suelo físico o la tierra por medio de dispositivos conductores de electricidad adecuados. En la figura 2.1 se presenta un ejemplo de un sistema de puesta a tierra.

En cuanto a lo referente al uso de los sistemas de puesta tierra, existen diferentes normas aplicables, sin embargo para este trabajo se tomaran como referencia las normas de la IEEE de manera más detallada será utilizada la 80-2000 de la IEEE; en esta norma se establecen un conjuntos de parámetros a seguir para tener una adecuada circulación de corriente, las del desbalance por el neutro y las corrientes de falla por los conductores de tierra.

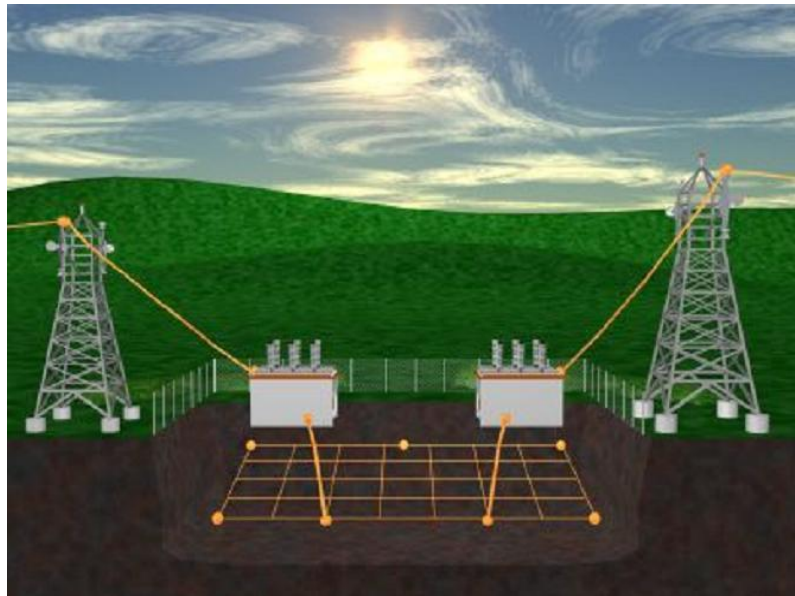


Figura 2.1. Puesta a Tierra.(Betancourt M.,2010)

### **2.2.2.1 Objetivo de la Puesta a Tierra.**

- Mantener una diferencia de voltaje muy baja entre las diferentes estructuras metálicas con lo que se busca resguardar al personal de cualquier choque eléctrico.
- Habilitar la conexión a tierra en sistemas con neutro a tierra.
- Ayudar a un mejor desempeño de los sistemas de protección.
- Proporcionar el punto de descarga para las cáscaras, armazón o instalaciones.
- Evitar incendios provocados por materiales volátiles o la combustión de gases al proveer un camino efectivo y seguro para la circulación de corrientes de falla, descargas atmosféricas y estáticas, y así eliminar los arcos y elevadas temperaturas en los equipos eléctricos.
- Asegurar que las partes sin corriente, tales como armazones de los equipos, estén siempre a potencial de tierra, a un caso de fallar el aislamiento.
- Promover el buen desempeño de los equipos.
- Proporcionar un medio eficaz de descargar los alimentadores o equipos antes de proceder en ellos a trabajos de mantenimientos.



### **2.2.2.2 Importancia del Sistema de Puesta a Tierra.**

En el diseño de cualquier instalación eléctrica, o en el uso de máquinas o aparatos que van a prestar servicio eléctrico, las normas de seguridad indican que todas las partes mecánicas accesibles al contacto humano se mantengan permanentemente a un potencial lo suficientemente bajo para que, aún en caso de falla, no constituyen ningún peligro para las personas.

### **2.2.2.3 Características Principales de los Sistemas de Puesta Tierra.**

Las principales especificaciones que debe cumplir un Sistema de Puesta a Tierra (SPT) son:

- Conducir a tierra las corrientes de fallas sin provocar gradientes de potencial peligrosos sobre la superficie del terreno. Además, debe ser capaz de conducir esas corrientes durante el mayor tiempo posible, sin calentamiento de sus partes.
- Tener una impedancia lo más baja posible, considerando el aspecto económico-técnico. Este criterio varía de acuerdo con el nivel de voltaje que se trabaje.
- Los electrodos y conductores de puesta a tierra deben ser resistentes a los ataques corrosivos, tanto del terreno como de la atmósfera.
- Tener durante todas las épocas del año un valor de resistencia que garantice la detección de fallas a tierra y pronta operación de los dispositivos de protección.

- Evaluar el costo más bajo posible teniendo en cuenta las características técnicas referidas en las normas.
- Debe poseer una vida de utilidad mayor a los 20 años.

#### **2.2.2.4 Componentes del Sistema de Puesta a Tierra.**

La función principal de los sistemas de conexión a tierra es proporcionar una trayectoria adecuada a las corrientes a que se originan cuando se presenta una falla a tierra en la subestación eléctrica. Para lograr este objetivo el sistema de conexión a tierra esta constituido por una red de electrodos unidos sólidamente y enterrados a una profundidad conveniente.

Los componentes que influyen directamente sobre el diseño del sistema de conexión a tierra son:

##### **2.2.2.4.1 Terreno.**

El terreno en el que se instala el sistema de conexión a tierra tiene un papel importante en el funcionamiento del sistema debido a las siguientes razones:

- Actúa como un elemento disipador de toda la energía producida durante una falla a tierra.
- Sirve como protección y sostén a los demás componentes del sistema.
- La resistividad del terreno es uno de los parámetros de diseño más importante.

#### **2.2.2.4.2 Electroodos.**

El sistema de conexión a tierra generalmente esta formado por un conjunto de electrodos horizontales (red de tierra) y verticales (varillas de tierra), siendo en la mayoría de los casos los elementos horizontales los que constituyen el principal elemento de control de gradientes de potencial. Los elementos verticales pueden ser útiles cuando se presentan variaciones importantes de la resistividad del terreno, ya que estos se pueden enterrar a una profundidad mayor donde es posible encontrar una resistividad menor y poca variación de esta.

La red de tierra consiste en un conductor continuo que rodea la mayor área posible de equipos. Dentro de la red se disponen conductores en líneas paralelas en ambos sentidos y de acuerdo a la distribución de los equipos principales. En los puntos de cruce de conductores deben unirse sólidamente. Las barras de tierra deben colocarse en las esquinas de la red y en las regiones donde de acuerdo a la importancia de los equipos se requiera. **(Mercado, 2008)**

#### **2.2.2.4.3 Uniones de la red.**

Las uniones mecánicas, soldadas, a comprensión, etc., entre los conductores de la red aseguran el adecuado control de potenciales en la superficie, también contribuyen a formar trayectorias múltiples para la corriente de falla, limitando las diferencias de tensión en la propia. Todos los puntos deben evaluarse en términos de continuidad, capacidad térmica, rigidez mecánica y contabilidad.

#### **2.2.2.4.4 Espaciamiento de los conductores.**

El espaciamiento típico de los conductores varía de 3 a 15m, aunque el espaciamiento óptimo en el control de los gradientes de potencial se encuentran entre 3 a 7 m, la relación de los lados de una malla generalmente es de 1:1 y hasta 1:3, a menos que un análisis (asistido por computadora) garantice valores más extremos.

#### **2.2.2.4.5 Profundidad de la red.**

Valores típicos para la profundidad de la red varían de 0,5 m hasta 1,3 m, pero para lograr un óptimo control de los gradientes de potencial deberán considerarse profundidades de 0,3 a 0,8 m.

#### **2.2.2.4.6 Corriente de falla [ $I_g$ ].**

Es indispensable entender que el comportamiento de un sistema de conexión a tierra es proporcional a la magnitud de la corriente de falla que entra al suelo a través de la red de tierras; sin embargo, no se debe aceptar que toda la corriente de falla a tierra se inyecta al suelo, ya que si existe una trayectoria de retorno entre el punto de falla y la fuente a través de los hilos de guarda, una cantidad importante de corriente regresa a la fuente, reduciendo la magnitud de dicha corriente.

En términos generales la magnitud de la corriente de falla es menor que la corriente de falla de una fase a tierra calculada por medio de un estudio de cortocircuito (vale la pena señalar, que en ningún caso debe tomarse el valor correspondiente al de falla trifásica, ya que es diferente). Sin embargo, debido a que el procedimiento para determinar la máxima corriente de falla

propuesto por la guía 80 del IEEE, no es un procedimiento sencillo y práctico, se recomienda utilizar un factor de decremento de 0,8 para subestaciones generadoras y de distribución y un factor de 0,65 para subestaciones de transmisión.

#### **2.2.2.4.7 Tiempo de liberación de la falla [ $T_f$ ].**

El tiempo de liberación de la falla y el de duración de shock eléctrico están íntimamente relacionados. La selección de  $T_f$  debe reflejar el tiempo de liberación de falla de los dispositivos de protección de la subestación. En la práctica, se consideran valores típicos dentro de un rango de 0,25-1,0 segundos; aunque para el caso de un análisis preliminar se puede usar un valor de 0,5 segundos con buenos resultados. **(Harper G, 2002)**

#### **2.2.3 Resistividad del Suelo.**

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

Es la propiedad que tiene el suelo para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

**Resistividad Homogénea:** si la curva de la resistividad aparente presenta variaciones dentro de una banda de <10% podemos considerar que tenemos un suelo homogéneo.

**Resistividad Heterogénea:** para el caso de un suelo donde las variaciones de la resistividad con la profundidad son sensiblemente mayores, las mediciones con el método Wenner, mediante la curva de resistencia aparente permite establecer claramente estas variaciones.

En la figura 2.2 se muestran las características de los perfiles de resistividad que pueden presentar los suelos, ascendente, descendente y homogéneo.

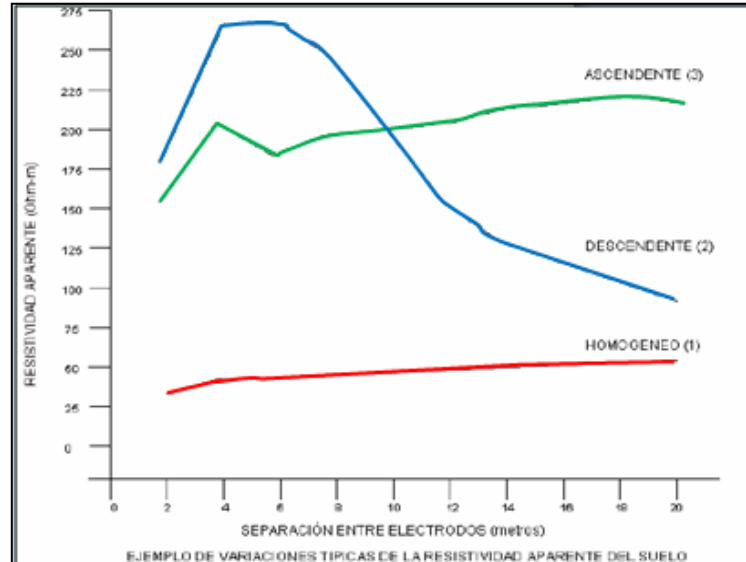


Figura 2.2. Tendencia de la Resistividad del Suelo.(IEEE 80-2000)

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- Sales solubles
- Composición propia del terreno
- Estratigrafía
- Granulometría
- Estado higrométrico
- Temperatura
- Compactación

En la tabla 2.1 se presentan los valores más comunes de resistividad de los diferentes tipos de tipos de suelos.

**Tabla 2.1 Resistividad Promedio. (IEEE 80-2000)**

<b>Descripción del suelo</b>	<b>Resistividad Promedio (Ohm.cm)</b>
Grava bien nivelada, mezcla arena-grava, poco o nada finas	60.000 - 100.000
Grava mal nivelada, mezcla arena-grava, poco o nada finas	100.000 - 250.000
Grava o roca arcillosa, grava mal nivelada, mezcla grava-arcilla	20.000 - 40.000
Arenas cienagosas, mezcla arena-cieno mal nivelada	10.000 - 50.000
Arena arcillosa, mezcla arena-arcilla mal nivelada	5.000 - 20.000
Arenas finas cienagosas o arcillosas con poca plasticidad	3.000 - 8.000
Suelos cienagosos o arenosos finos, cieno elastico	8.000 - 30.000
Arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas cienagosas, arcillas magras	2.500 - 6.000
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	1.000 – 5.500

### 2.2.3.1 Medición de la Resistividad del Suelo.

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia.

En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es requisito para hacer una malla de puesta a tierra. Aunque para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación más económica.

Para medir la resistividad del suelo se requiere de un telurómetro o Megger de tierra de cuatro terminales, figura 2.3. Los aparatos de mayor uso, de acuerdo a su principio de operación, pueden ser de 2 tipos: del tipo de compensación de equilibrio en cero y el de lectura directa. **(Peña J., 2006)**



Figura 2.3. Megger de cuatro terminales (Rivas G., 2006)



### 2.2.3.1.1 Método de Wenner.

Con el objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos  $C_1$  y  $C_2$  mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos  $P_1$  y  $P_2$ . Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos, como se muestra en la figura 2.4. La razón  $V/I$  es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.

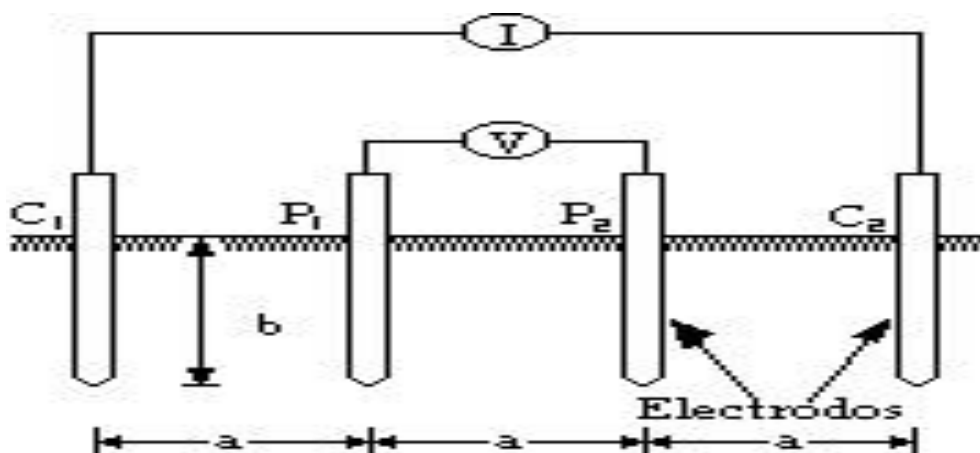


Figura 2.4. Método de Wenner. (Peña J., 2006)

La resistividad viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \frac{2A}{(A^2 + 4B^2)^{0,5}}\right] - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0,5}}} \quad (2.1)$$

Donde:

$\rho$ : Resistividad promedio a la profundidad (A) en ohm-m.

A: Distancia entre electrodos en metro.

B: Profundidad de enterrado entre los electrodos en metro.

R: Lectura del terrómetro en ohms.

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea  $A > 20B$ , la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

$$\rho = 2.\pi.A.R \quad (2.2)$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones representa la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos.

### 2.2.3.2 Perfil de Resistividad.

Para obtener el perfil de resistividad en un punto dado, se utiliza el Método de Wenner con espaciamientos entre electrodos de prueba cada vez mayores. Por lo general, para cada espaciamiento se toman dos lecturas de resistividad en direcciones perpendiculares entre sí. La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de resistividad (R) contra distancia entre electrodos (a) se denomina perfil de resistividad aparente del terreno.



Figura 2.6. Perfil de Resistividad.

#### 2.2.4 Resistencia de Puesta a Tierra.

Se define 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 área de los conductores.

El valor de la resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto de potencial a cero. **(Mercado V., 2008)**

##### 2.2.4.1 Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra.

La función primordial de una malla de tierra es la de proteger a las personas de voltajes peligrosos y eliminar la interferencia sobre circuitos de control y comunicación dentro de las vecindades de la subestación. Durante el cálculo de una malla de tierra se hacen una serie de asunciones y se dejan de tomar en cuenta factores como: la influencia de objetos metálicos cercanos al área de influencia de la subestación, por tanto, resulta de suma importancia verificar mediante mediciones la exactitud de los cálculos efectuados.

De lo anteriormente expuesto surge la necesidad de utilizar métodos de medición con resultados suficientemente exactos para permitir tomar decisiones rápidas y acertadas sobre las acciones a tomar, uno de los métodos más utilizados para este fin es el Método de Caída de Potencial. **(Golindano W., 2003)**

#### **2.2.4.1.1 Método de la Caída de Potencial.**

Para la medición de la Resistencia de Puesta a Tierra se adopto el Método Clásico de Caída de Potencial, método sumamente frecuente y de práctica común para dicha medida, recomendado en el estándar ANSI/IEEE Std. 81. El mismo consiste esencialmente en inyectar una corriente por un electrodo "C" y medir tensión a través de un electrodo de potencial "P", como se presenta en la figura 2.7. Los electrodos deberán ser dispuestos de la siguiente forma: la ubicación del electrodo de corriente (C) estará en función de las dimensiones del sistema de tierra a medir, de forma tal que se considera en el infinito.

Un criterio empírico presupone una distancia mínima de partida igual a 5 veces la diagonal mayor del sistema a medir. La distancia del electrodo de potencial (P) estará en función de la ubicación del electrodo de corriente, si se tiene en cuenta la interacción mutua malla-electrodo de potencial-electrodo de corriente, su ubicación más factible desde el punto de vista teórico es 0,62 la distancia del electrodo de corriente. **(Betancourt M., 2010)**

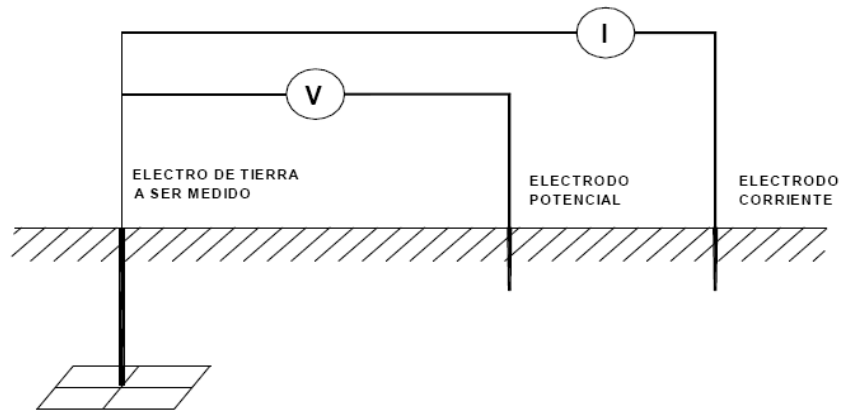


Figura 2.7. Esquema de Conexión de los Electrodos (IEEE 80-2000)

Con el electrodo de potencial (P) se realiza un barrido a lo largo de la distancia entre la malla de tierra y el electrodo de corriente. Se deberá establecer un intervalo de barrido del perfil, es decir, establecer una distancia a la cual se realizarán cada una de las mediciones (Voltaje y corriente) con lo cual se construye el perfil de la resistencia de puesta a tierra, a partir de estos valores.

#### 2.2.4.2 Calculo de la Resistencia de Puesta a Tierra.

El valor teórico dependerá del área o dimensiones del terreno donde se colocará el sistema. **(Mejías R., 2007)**

##### 2.2.4.2.1 Fórmula de Severat.

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 dichos reticulado.

En el caso de una rejilla con varillas en el suelo uniforme, una combinación de la longitud de conductores horizontales y la varillas de tierra nos proporcionara el estimado de la longitud total de conductores, ya que las varillas de tierra normalmente son más efectivas en una longitud base por unidad. Este cálculo se puede realizar según la ecuación de Severat:

$$R_g = \rho \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (2.3)$$

Donde:

$L_T$ = Longitud total de los conductores en [m<sup>2</sup>]

$A$ = Área de la malla [m<sup>2</sup>]

$h$ = Profundidad de la malla [m]

$\rho$  = Resistividad del suelo.

#### 2.2.4.2.2 Fórmula de Schwarz.

Es un conjunto de formulas para determinar la resistencia total de un sistema de puesta tierra en un suelo homogéneo que contenga una malla horizontal y electrodos tipo barras. La ecuación de Schwarz toma en cuenta la resistencia asociada a la malla de puesta a tierra  $R_1$ , y la resistencia del conjunto de barras  $R_2$ ; adicionalmente usa otro factor el cual es la resistencia mutua  $R_m$ , que toma en cuenta el efecto entre los valores calculados.

Schwarz utilizó las fórmulas introducidas por Sunde y Ründenbergr para combinar la resistencia de la malla, las barras y su mutua, y obtener la resistencia total del sistema  $R_g$ .

$$R = \frac{R1 \cdot R2 - R12^2}{R1 + R2 - 2 \cdot R12} \quad (2.4)$$

Donde

R1: Resistencia del reticulado

R2: Resistencia de las barras

R12: Resistencia mutua entre el reticulado y las barras

Para calcular cada una de las resistencias se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$R1 = \frac{\rho}{\pi \cdot L1} \left( h \left( \frac{4 \cdot L1}{\sqrt{d \cdot h}} \right) + K1 \cdot \frac{L}{\sqrt{A}} - K2 \right) \quad (2.5)$$

$$R2 = \frac{\rho}{2\pi \cdot n \cdot L2} \left( \text{Ln} \left( \frac{4 \cdot L2}{r} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K1 \cdot L2}{\sqrt{A}} - (\sqrt{n} - 1)^2 \right) \quad (2.6)$$

$$R12 = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left( \text{Ln} \left( \frac{2 \cdot L}{l} \right) - \frac{K1 \cdot L}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right) \quad (2.7)$$

Donde:

d: Diámetro del conductor (m)

h: Profundidad de la malla (m)

A: Área que cubre la malla (m<sup>2</sup>)

L1: Longitud total de los conductores de la malla (m)

L2: Longitud de los electrodos verticales (m)

- $\rho$  : Resistividad del terreno (ohm-m)  
 n: Cantidad de electrodos verticales  
 r: Radio de los electrodos verticales (m)  
 l: Longitud de la barra (m)

Los factores K 1 y K 2 se calculan de acuerdo con las siguientes expresiones

$$K1 = 1.43 - \frac{2.3 \cdot h}{\sqrt{A}} - 0.044 * \left(\frac{a}{b}\right) \quad (2.8)$$

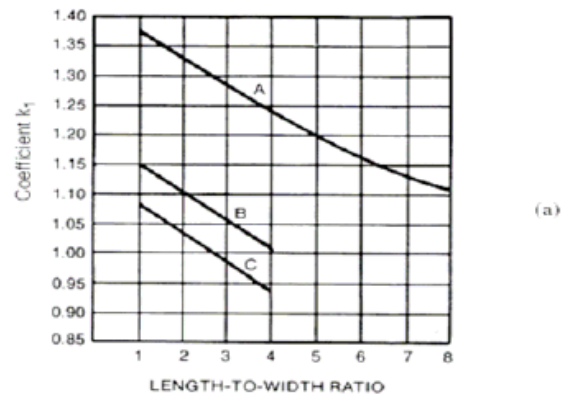
$$K2 = 5.5 - \frac{8 \cdot h}{\sqrt{A}} - \left(0.15 - \frac{h}{\sqrt{A}}\right) * \left(\frac{a}{b}\right) \quad (2.9)$$

Donde:

- a: Ancho de la malla (m)  
 b: Largo de la malla (m)

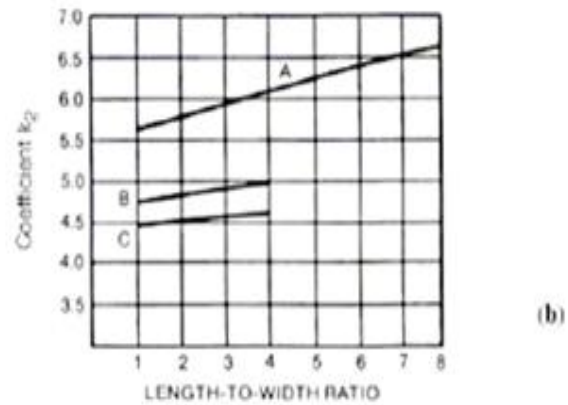
En las figuras 2.8 y 2.9 se muestran las gráficas que indican la diferencia entre K1 y k2 en la fórmula de Schwarz:





CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $y_A = -0.04x + 1.41$   
 CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_B = -0.05x + 1.20$   
 CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_C = -0.05x + 1.13$

Figura 2.8. Coeficiente K1.



CURVE A — FOR DEPTH  $h = 0$   
 $y_A = 0.15x + 5.50$   
 CURVE B — FOR DEPTH  $h = 1/10 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_B = 0.10x + 4.68$   
 CURVE C — FOR DEPTH  $h = 1/6 \sqrt{\text{AREA}}$   
 $y_C = -0.05x + 4.40$

Figura 2.9. Coeficientes K2.

### **2.2.4.3 Tipos de Puesta a Tierra.**

#### **2.2.4.3.1 Electrodo de Puesta a Tierra.**

Es todo material conductor, por lo general metálico, en perfecto contacto con el terreno encargado de disipar o conducir la corriente de falla. En la figura 2.10 se muestra un ejemplo de los electrodos de puesta a tierra.



Figura 2.10. Electrodo de Puesta a Tierra. (www.patanzas.com)

Entre los más utilizados están:

##### **2.2.4.3.1.1 Electrodo de Barra.**

Las barras tipo Copperweld de 2.44m de longitud y 5/8" de diámetro aceptadas prácticamente por toda la dependencia e instituciones, y reglamentada por el Código Eléctrico Nacional.



Figura 2.11. Barra Copperweld. ([www.promelsa.com](http://www.promelsa.com))

#### **2.2.4.3.1.2 Electrodo de Profundidad.**

Para tratar de cumplir con todas las características que debe tener un sistema de puesta a tierra se presenta la alternativa de jabalinas o barra autoempalmante, figura 2.12. Con las barras autoempalmantes se pueden realizar hincamientos de profundidad, alcanzando profundidades de 20, 30 hasta 40m. Se caracterizan por presentar:

- Facilidad de instalación.
- Mayor conductividad eléctrica, por estar recubierto con un baño de cobre.
- Lograr una mayor profundidad, de hincamiento, debido a que se van enterrando piezas una a una y estas a su vez se van solapando formando una sola barra, sin aumento de sección.

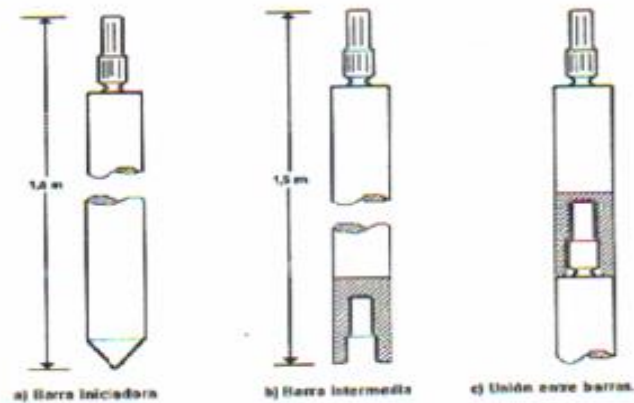


Figura 2.12. Electrodo de Hincamiento Profundo. (Golindano W., 2003)

Actualmente se pueden clasificar las barras autoempalmantes de acuerdo al proceso anticorrosivo al que son sometidas, y entre las cuales se encuentran los principales tipos:

- Barras Cobrizadas: El núcleo de acero, de forma cilíndrica es cubierto por una capa de cobre de 99,9%, la cual es adherida por deposición electrolítica, uniéndose de forma permanente y comportándose como un sólo metal. El espesor del cobrizado puede ir desde 250 hasta 400 micras, y de las cuales podemos encontrar:
- Barras Copperweld: cobre 99,9% de 350 micras de espesor.
- Barras Copperclad: cobre 99,9% de 400 micras de espesor.
- Barras de Acero Inoxidable: Especificadas para ambientes severos y de alta corrosión.

### 2.2.4.3.1.3 Electrodo en Forma de Placas Enterradas.

Este tipo de electrodo fue muy utilizado en terreno donde la profundidad de la capa vegetal es importante (1 a 1.5m). El empleo de placas como electrodos es menos común porque la mayor parte de la corriente de paso se concentra en las aristas, que tiene una superficie totalmente pequeña. La figura 2.13 muestra un ejemplo de los electrodos en forma de placa.

Este inconveniente puede remediarse, en parte, empleando capas perforadas para aumentar de esta forma la longitud de las aristas.

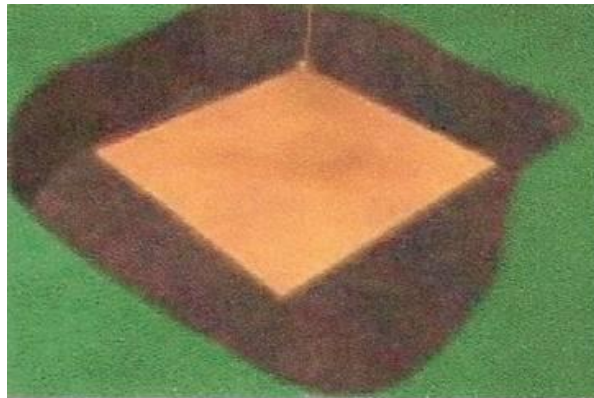


Figura 2.13. Plato o Placa.

### 2.2.4.3.1.4 Electrodo Horizontales (contrapesos).

Los contrapesos están constituidos por conductores desnudos enterrados a una cierta profundidad, generalmente 1.5 m; relativamente son fáciles de instalar, pero abarcan gran cantidad de terreno, ver figura 2.14. Estos electrodos son utilizados frecuentemente en líneas de transmisión, donde, debido a que la mayoría de estas líneas se extienden en terrenos pocos poblados y son robados constantemente. **(Mejías R., 2007)**

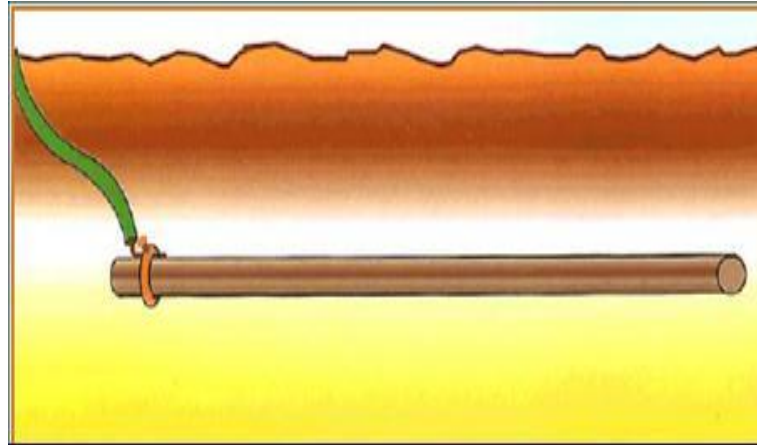


Figura 2.14. Electrodo horizontal, Contrapesos. (Mejías R, 2007)

### 2.2.5 Mallas.

La norma de instalaciones eléctricas requiere de un sistema enmallado de tierra con múltiples electrodos y conductores enterrados, cuando están involucradas tensiones y corrientes eléctricas muy altas, con el fin de minimizar los riesgos al personal en función de la tensión eléctrica de paso y de contacto.

La malla consta de una red de conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0 m, colocados paralela y perpendicularmente con un espaciado adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas como se muestra en la figura 2.15. El cable que forma el perímetro exterior de la malla debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico de la subestación o planta generadora. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas.

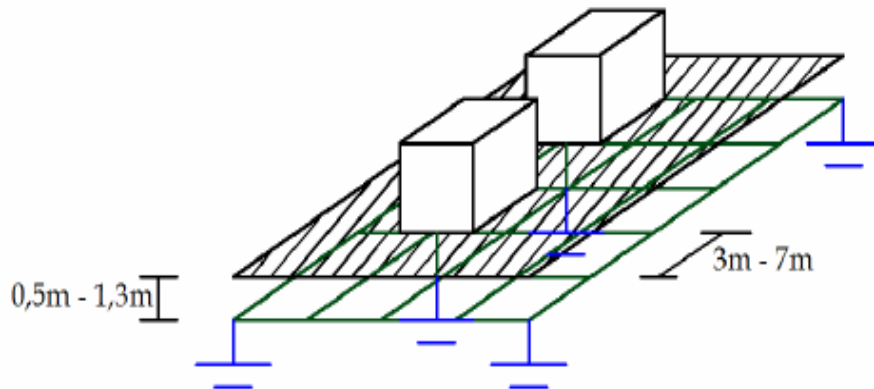


Figura 2.15. Malla de puesta a tierra. (IEEE 80-2000)

La resistencia de la malla de tierra esta constituida por tres (3) componentes esenciales:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra.
- La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- La resistencia del terreno donde se ubica la malla

Los elementos que conforman la malla para generar un valor de resistencia baja pueden ser los siguientes:

- Una o más barras enterradas.
- Conductores instalados horizontalmente formando diversas configuraciones.

- Un reticulado instalado en forma horizontal que puede tener o no barras conectadas en forma vertical en algunos puntos de ella.

La figura 2.16 muestra un ejemplo de una malla de puesta a tierra con reticulado.



Figura 2.16. Malla de Tierra en forma de retículas. ([www.LEM.com](http://www.LEM.com))

#### **2.2.5.1 Conexiones de la Malla de Tierra.**

Los cables empleados en las mallas de tierra son de acero, acero inoxidable, acero galvanizado y desnudo trenzados. Para evitar la corrosión galvánica en terrenos de baja resistividad, algunas compañías eléctricas desde el diseño utilizan en sus mallas de tierras, cable de cobre estañado para bajar el potencial electronegativo entre los diferentes metales, ver figura 2.17.

Los conectores empleados en la malla del sistema de tierras deben ser de tipo de compresión o soldables.



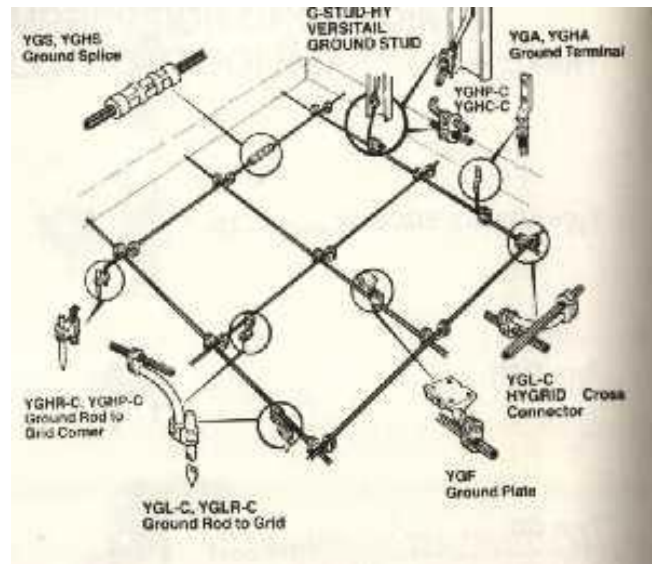


Figura 2.17. Conexiones de la Malla de Puesta a Tierra.

## 2.2.5.2 Sistema para Mallas de Tierra.

### 2.2.5.2.1 Sistema Radial.

Consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato. Tiene la desventaja de presentar grandes gradientes de potencial al producirse una falla en un equipo, es un sistema que no presenta estabilidad y es inseguro.

### 2.2.5.2.2 Sistema de Anillo.

Consiste en colocar en forma de anillo un cable de cobre de suficientemente calibre, aproximadamente de 1000MCM, alrededor de la instalación y conectado derivaciones a cada aparato, mediante un cable más delgado, 500 MCM o 4/0 AWG aproximadamente. Este sistema resulta muy económico y eficiente.

### **2.2.5.2.3 Sistema de Red.**

Es una malla formada por conductores de cobre, de calibre 4/0 AWG aproximadamente, conectados a través de barras copperweld a las partes más profundas o zonas de menor resistividad, y con derivaciones hacia los aparatos e instrumentos por cable de desnudo 2/0 AWG y 2 AWG. Es el más eficiente. Costoso y utilizado de los tres sistema. **(Rivas G., 2006)**

### **2.2.6 Tensiones de Seguridad.**

Toda persona que esté en contacto con algún equipo del sistema eléctrico, en el momento de una falla eléctrica, va a experimentar diferencias de potencial en su cuerpo, (entre la mano que hace contacto con la estructura y tierra, y entre los pies). La seguridad de las personas dependerá de prevenir la cantidad de energía crítica en el momento de impacto, antes de que la falla sea despejada.

#### **2.2.6.1 Tensión de Toque o Contacto.**

Se define como el valor de tensión a la cual se puede ver sometida una persona por contacto con cualquier parte metálica de una instalación que normalmente no esta bajo tensión.

La norma IEEE 80 – 86 indica que es la diferencia de potencial de tierra (GPR) y la superficie, en el punto donde la persona se encuentra parada mientras que al mismo tiempo sus manos se encuentran en contacto con una estructura puesta a tierra.

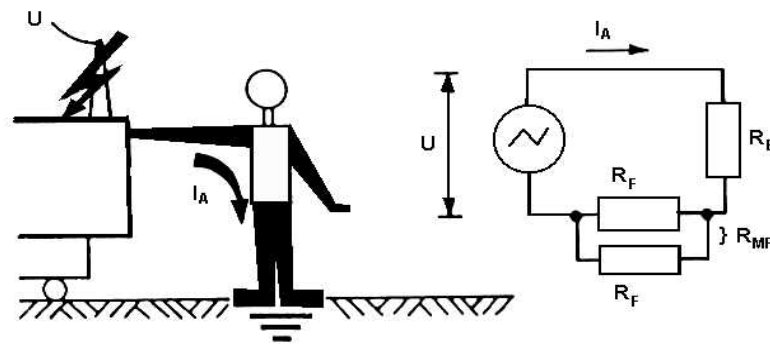


Figura 2.18. Diferencia de potencial entre los pies, circuito equivalente (IEEE 80-2000)

### 2.2.6.2 Tensión de Contacto.

Es la diferencia de potencial entre un punto en la superficie del terreno y cualquier otro punto que pueda ser tocado simultáneamente por una persona.

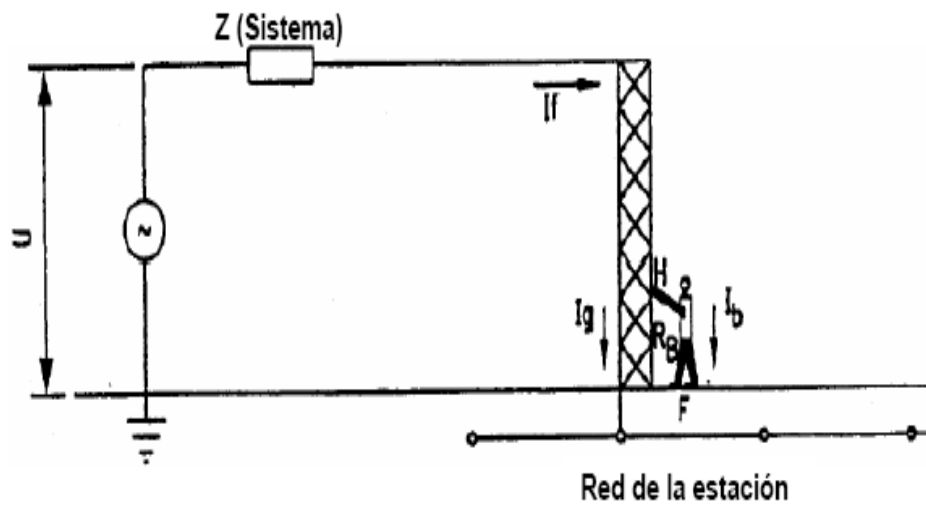


Figura 2.19. Exposición de tensión de contacto (IEEE 80-2000)

### 2.2.6.2.1 Potencial de Contacto Tolerable.

Se calcula a partir de las ecuaciones y circuito equivalente estudiados anteriormente:

$$E_{\text{toque } 50} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (2.10)$$

$$E_{\text{toque } 70} = (1000 + 1.5C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (2.11)$$

Donde:

$E_{\text{contacto } (50)}$  = voltaje de contacto máximo permisible, peso del cuerpo humano 50Kg.

$E_{\text{contacto } (70)}$  = voltaje de contacto máximo permisible, peso del cuerpo humano 70Kg.

$C_s$  = factor de reducción

$\rho_s$  = resistividad del material de la superficie en  $\Omega\text{m}$

$t_s$  = duración de la corriente en segundos.

La tensión de toque real dependerá de la geometría o configuración de la malla como tal, la ecuación se muestra en la siguiente:

$$E_t = K_m K_i \frac{I_G \rho}{L} \quad (2.12)$$

En donde:

$E_t$  = Tensión de contacto permisible en voltios

$K_m$  = Coeficiente que tiene en cuenta las características geométricas de la malla.

### 2.2.6.3 Tensión de Paso.

Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un terreno que pueden ser tocados simultáneamente por una persona.

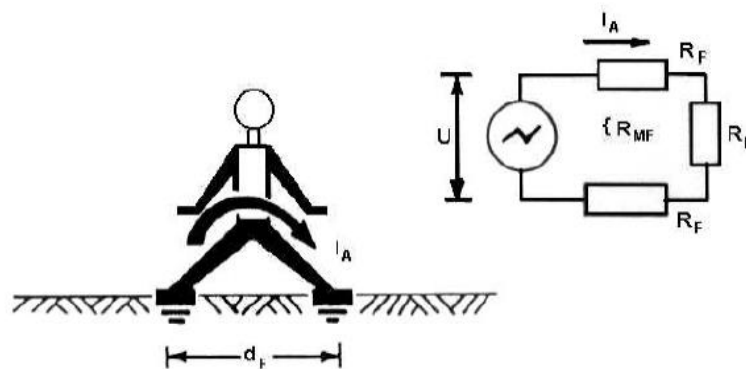


Figura 2.20. Diferencia de potencial entre los pies, circuito equivalente (IEEE 80-2000)

#### 2.2.6.3.1 Potencial de Paso Tolerable.

Se calcula a partir de las ecuaciones:

$$E_{paso_{50}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (2.13)$$

$$E_{\text{paso}_{70}} = (1000 + 6C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (2.14)$$

Donde:

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

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

$C_s$  = factor de reducción

$\rho_s$  = resistividad del material de la superficie en  $\Omega\text{m}$

$t_s$  = duración de la corriente en segundos.

El factor  $C_s$  depende del factor  $K$  (factor de reflexión) y  $h_s$  (espesor de la piedra picada).

El valor de  $K$  se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (2.15)$$

Donde:

$\rho_1$ : resistividad de la capa superficial en  $\Omega\text{m}$

$\rho_2$ : resistividad del suelo en  $\Omega\text{m}$

El valor  $C_s$  se obtiene de la siguiente manera:

- Es igual a 1 para estratos superficiales no protectores.

- Cuando son utilizados estratos superficiales protectores, de alta resistividad y espesor pequeño, como la piedra picada, es obtenido a partir de las siguientes curvas.

Para calcular el factor  $C_s$  es necesario tomar en cuenta las curvas del factor  $K$  y  $h_s$ , figura 2.21.

### EFFECTO DEL ESPESOR DEL MATERIAL DE LA SUPERFICIE.

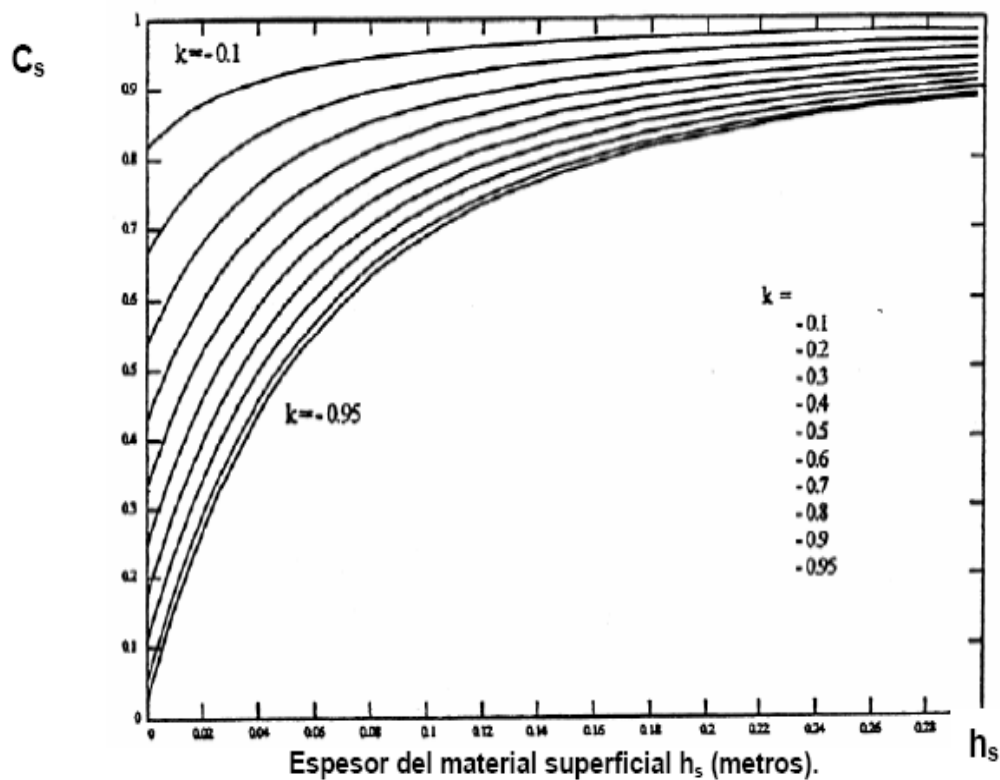


Figura 2.21. Curva estándar para estimar el valor de  $C_s$ . (IEEE 80-2000)

La tensión de paso real, va a depender de la profundidad a la que se encuentre, geometría o configuración de la malla como tal, y está dada por:

$$E_p = K_s K_i \frac{I_G \rho}{L} \quad (2.16)$$

Donde:

$E_p$  = Tensión de paso real (V)

$K_s$  = Coeficiente que tiene en cuenta, la influencia combinada de la profundidad y del espaciamiento de la malla.

$K_i$  = Coeficiente de irregularidad del terreno.

$\rho$  = Resistividad del suelo ( $\Omega$ -m)

$I_G$  = Corriente máxima de falla (Amp)

$L$  = Longitud total del conductor (m)

Los voltajes de paso, que puedan presentarse en las instalaciones no deben ser mayores a los valores permisibles ( $E_{paso50}$  y  $E_{paso70}$ ).

#### **2.2.6.4 Tensión de Malla.**

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

#### **2.2.6.5 Tensión Transferida.**

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.

En la figura 2.22 se presenta un ejemplo de la como puede ocurrir este tipo de voltaje de toque.



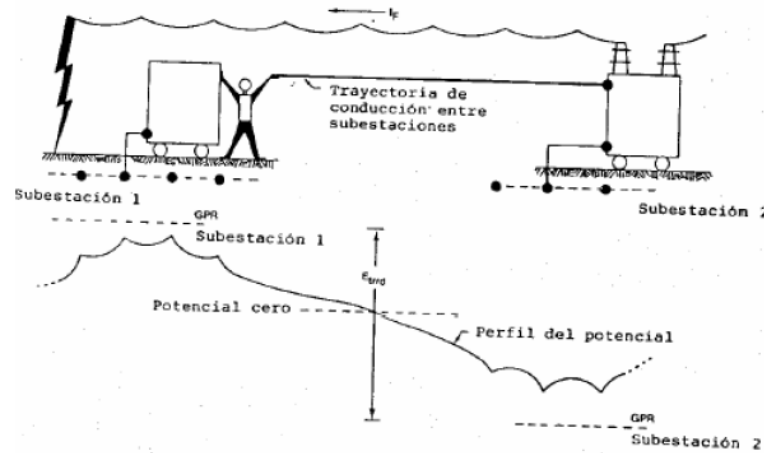


Figura 2.22. Voltaje transferido.

#### 2.2.6.6 Factor de Espaciamento (Ks).

Este factor se calcula tomando en cuenta espaciamiento entre reticulado ( $D$ ) y la profundidad de enterramiento ( $h$ ) de los conductores de la malla. En vista de que el voltaje de paso disminuye rápidamente con el crecimiento de la profundidad, se han derivado expresiones para el cálculo de  $K_s$ , dependiendo de la profundidad de enterramiento. Por lo que, para una profundidad usual comprendida entre  $0,25 < h < 2,5$  en metros se tiene que:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{N-2}) \right] \quad (2.17)$$

Para una profundidad mayor, es decir  $h > 0,25$  se tiene:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + \dots + \frac{1}{(n-1)D} \right] \quad (2.18)$$

### 2.2.6.7 Factor de Corrección de Irregularidad (Ki).

Este factor toma en cuenta la uniformidad del flujo de corriente en las diferentes partes de la malla. El valor de Ki se puede determinar a través de la ecuación:

$$K_i = 0.656 + 0.172n \quad (2.19)$$

Donde “n” es el número de conductores perpendiculares a la mayor dirección. Se obtiene de la siguiente expresión:

$$n = \sqrt{N_a \cdot N_b} \quad (2.20)$$

Na y Nb se obtienen de las siguientes expresiones:

$$N_a = \frac{L_a}{D} + 1 \quad (2.21)$$

$$N_b = \frac{L_b}{D} + 1 \quad (2.22)$$

Donde:

La: Lado menor de la malla(m)

Lb: Lado mayor de la malla(m)

D: Espaciamiento entre conductores(m)

### 2.2.6.8 Factor de Espaciamiento (Km).

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:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} \dots\right) \quad n - 2 \text{ términos} \quad (2.23)$$

### 2.2.6.9 Determinación de la máxima corriente de falla (I<sub>G</sub>).

Para conocer el valor de la máxima corriente de falla, en primer lugar, es necesario saber el valor de la máxima corriente de falla a tierra que fluye por la malla de la subestación, este valor se obtiene mediante un estudio de cortocircuitos. Luego, la corriente seleccionada para el diseño de la malla I<sub>G</sub>, se obtiene de la siguiente forma:

$$I_G = D_f * C_p * I_f \quad (2.24)$$

Donde:

D<sub>f</sub>: 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.

C<sub>p</sub>: Factor de corrección para tomar en cuenta el crecimiento futuro del sistema.

I<sub>f</sub>: corriente de falla RMS asimétrica en Amperios.

### 2.2.6.9.1 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:

$$Df = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left( 1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}} \right)} \quad (2.25)$$

Donde:

$t_f$  : Tiempo de duración de la falla en segundos

$T_a$  : Constante subtransitoria equivalente del sistema en segundos

$$T_a = \frac{X}{wR} \quad (2.27)$$

W: 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.

Un factor de decremento 1,0 se puede utilizar para duraciones de fallas de 30 ciclos o más. En la tabla 2.2 se muestran los valores más típicos de este factor Df en función de  $t_f$  y X/R.

**Tabla 2.2 Valores típicos de Df (IEEE 80-2000).**

Duración de la falla $t_f$		Factor de decremento Df			
(s)	Ciclos a (60H z)	X/R= 10	X/R= 20	X/R= 30	X/R= 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

#### 2.2.6.9.2 Factor de Corrección de 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.

Los valores típicos del factor Cp son:

- Si el sistema permanece igual  $C_p = 1$ .

- Si se pretende una expansión futura  $C_p = 1,5$ .
- Expansión futura  $C_p = 2$ .

### **2.2.7 Descargas Atmosféricas.**

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Los rayos pueden encontrar de 4 tipos: 2 iniciados en las nubes, y 2 iniciados en tierra, ya que pueden ser positivos o negativos. Los más comunes, siendo el 90 % de los rayos detectados, son de una nube negativa hacia tierra. Los rayos que inician en tierra son relativamente raros y ocurren normalmente en montañas o en estructuras altas.

Los rayos iniciados en las nubes negativas, normalmente aparecen en nubes de tormenta del tipo cumulonimbusconvectivas que usualmente miden de 3 a más de 50 km de largo, y son consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico.

Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50 metros por microsegundo con descansos de 50 microsegundos.

Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50 m de radio del punto de potencial más alto. Y, cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga hacia arriba de partículas positivas, aún desde una parte metálica debajo de una torre.



Figura 2.23. Descarga del Rayo. (Golindano W. 2003)

#### **2.2.7.1 Protección Contra Descargas Atmosféricas (PCDA).**

Consiste en todos aquellos dispositivos que ayudan a minimizar los efectos producidos por la incidencia de una descarga atmosférica en determinada estructura. Puede ser dividido en sistemas externos e internos de protección.

Los sistema de protección contra descargas atmosféricas están compuestos principalmente por tres partes básicas: un sistema de dispositivos terminales de atracción (DTA) sobre los techos o sobre cualquier otro lugar de la estructura (ubicados adecuadamente), y un sistema de conductores que conectan los DTA y los terminales de tierra. Si están adecuadamente ubicados e instalados, estos elementos básicos elevan la

posibilidad que una descarga atmosférica sea conducida inofensivamente entre los DTA y los terminales de tierra. **(Harper, G. 2002)**

#### **2.2.7.2 Objetivo de los Sistemas de Protección Contra Descargas Atmosférica.**

El objetivo principal de estos sistemas de protección se basa en resguardar a las personas y estructura contra descargas atmosféricas y proveer un medio por el cual la descarga puede abandonar la edificación a tierra sin ocasionar daño alguno.

Para ello, el sistema debe ser diseñado para proveer un camino de baja impedancia para que la corriente de la descarga lo siga, en preferencia a un camino de alta impedancia provisto por materiales de construcción de la edificación, como madera, piedra, concreto, etc. **(Volumen 4-I -PDVSA,2010)**



## **CAPITULO III**

### **SITUACIÓN ACTUAL DE LA ESTACIÓN DE REBOMBEO “2”**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se describe el sistema eléctrico de La Estación de Rebombéo“2” (Km-52), basándose fundamentalmente en la descripción de las líneas de alimentación, verificación de los equipos existentes (bombas, motores, arrancadores, CCM, entre otros), análisis de las características técnicas y condiciones actuales de operación; se incluirá reportes fotográficos, tablas, diagramas unifilares y las condiciones actuales del sistema con la finalidad de conocer detalladamente las instalaciones.

Fueron descritos los sistemas de puesta a tierra asociados a las instalaciones, con el objetivo de conocer los diseños originales que tienen un tiempo de operación que superan los 20 años.

Así mismo, se realizó una descripción de las protecciones contra descargas atmosféricas, basándose en el tipo de punta y los arreglos presentes en La Estación de Rebombéo “2” (Km-52), que se encuentran instalados desde el año 2001.

#### **3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.**

La Estación de Rebombéo “2” (Km-52) está dividida principalmente en dos (2) áreas independientes de producción; la Sala de Bombas Merey actualmente en servicio y la Sala de Bombas Mesa que se encuentra fuera

de servicio pero se pretende recuperar, por lo que es necesario indagar en su sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas.

En resumen, la Estación de Rebombeo “2” (Km-52) está estructurada en dos salas de bombas (Merey y Mesa), un sistema contra incendio (SCI), una sala de control donde se ubican los Centros de Control de Motores (CCM) para servicios auxiliares a 480V tanto de Merey como de Mesa y un patio de potencia o subestación eléctrica donde se ubican los Centros de Distribución de Potencia (CDP) a nivel de tensión 13,8kV, encargados de alimentar a través de cables directamente enterrados las instalaciones del rebombeo a niveles de tensión de 4,16kV y 480V principalmente.

La Subestación de la estación se encuentra alimentada por la subestación Rebombeo “2” perteneciente a CADAPE, a través de dos (2) transformadores de 115/13,8 kV, multietapas de 16/20MVA e impedancia de 10%, por cuatro (4) líneas trifásicas de 13,8kV de las cuales dos (2) energizan al Centro de Distribución de Potencia Mesa 13,8kV y las dos (2) restantes al Centro de Distribución de Potencia Mesa-Merey 13,8kV.

Sin embargo, actualmente la alimentación solo la provee uno de los dos (2) transformadores ya descritos, esto se debe a que la Sala de Bombeo Mesa está fuera de servicio y la carga la puede asumir un solo transformador de 115/13,8kV.

En la figura 3.1 se muestra el esquemático general sin escala de la Estación de Rebombeo “2” (Km.-52). Se ven reflejadas las salas de bombas, la subestación, la caseta de arrancadores Mesa, la sala de control, el sistema contra incendio, los tanques de agua, entre otros.

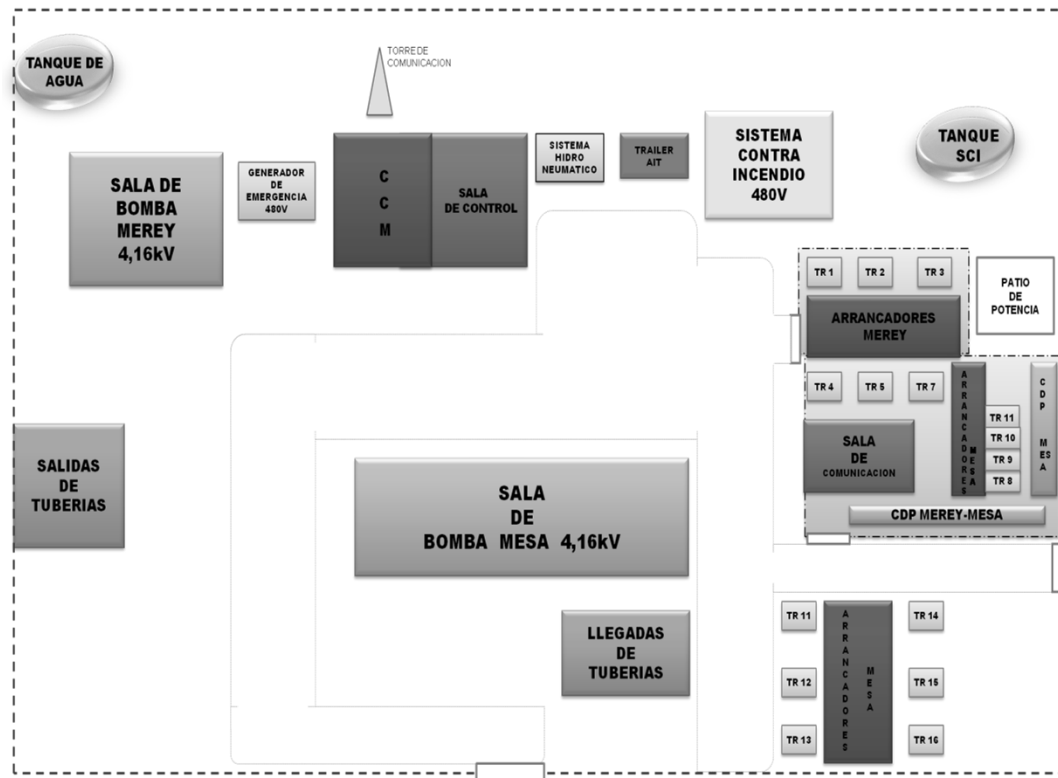


Figura 3.1 Esquemático de la Estación de Rebombeo "2" (Km-52)

### 3.2.1 Centro de Distribución de Potencia (CDP) Mesa 13,8KV.

Este CDP marca TRIAL está constituido por 12 celdas, corriente nominal 2000A, corriente de cortocircuito de 21KA y consta de dos (2) barras seccionadas (A y B) de 13,8kV a través de un interruptor (D-120) normalmente abierto de 1250 A; esto permite alimentar el CDP en forma acoplada para condiciones de mantenimiento o en caso de emergencia.

La barra A posee cuatro (4) transformadores de los cuales tres (3) son cautivos y tienen una relación de transformación de 13,8/4,16kV y capacidad de 3750KVA con una configuración delta-estrella puesta a tierra a través de una resistencia de 400A; estos transformadores van conectados directamente a los arrancadores suaves con By Pass y se encargan de

alimentar los motores (E6-05, E5-05 y E4-05) de la Sala de Bombeo Mesa; mientras el transformador restante es utilizado para servicios auxiliares (TS1), tiene una capacidad de 500KVA con una relación de transformación de 13,8/0,48kV, presenta una configuración delta-estrella sólidamente puesto a tierra.

La barra B presenta una disposición idéntica a la barra A pero alimentando a los motores E1-05, E2-05 y E3-05 de la Sala de Bombeo Mesa. El transformador para servicios auxiliares (TS2) tiene las mismas características que el transformador auxiliar de la barra A.

En la figura 3.2 se muestra el diagrama unifilar del Centro de Distribución de Potencia Mesa.

En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran las características principales de los transformadores y arrancadores suaves conectados a este Centro de Distribución de Potencia (CDP). Los transformadores correspondientes al TPA-05, TPA-06 y TPA-10 no se encuentran en sitio actualmente.

### **3.2.2 Centro de Distribución de Potencia (CDP) Mesa-Merey 13,8KV.**

El CDP Mesa-Merey SCHEIDER cuenta con 18 celdas, nivel de tensión 13,8kV, corriente nominal 2000A, corriente de cortocircuito de 21KAcc, dos barras seccionadas (A y B) por un interruptor (D-120) normalmente abierto de 2500A. Cabe destacar que este CDP alimenta los cinco (5) motores de la Sala de Bombas Merey y los cuatro (4) restantes de la Sala de Bomba Mesa (en total son diez motores en la sala de bombas Mesa).

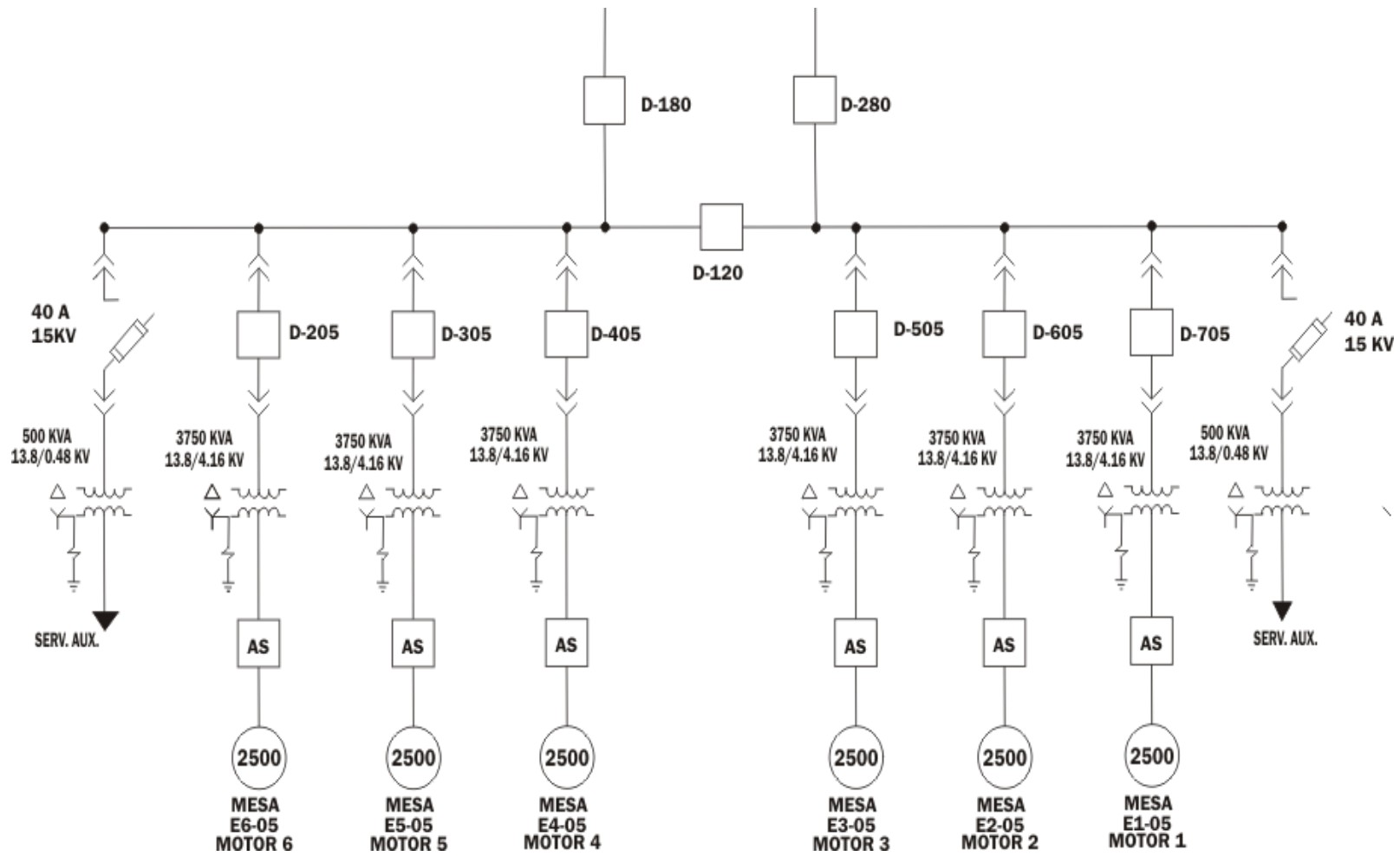


Figura 3.2 Diagrama unifilar CDP Mesa 13.8kV.

**Tabla 3.1 Características de los Transformadores Mesa.**

<b>TAG</b>	<b>Potencia (kva)</b>	<b>Relación de transformación</b>	<b>Corriente (amp)</b>	<b>Impedancia (%)</b>	<b>Conexión</b>	<b>Tipo de refrigeración</b>	<b>Comentarios</b>
TPA-01	2500/2800	13800/4160-2402	156,88/496,57	6,38	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-02	3750	13800/4160	156,88/496,57	5,5	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-03	3750	13800/4160	156,88/496,57	5,5	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-04	3750	13800/4160	156,88/496,57	5,5	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-05	3750	13800/4380	156,88/496,57	5,5	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Equipo faltante
TPA-06	3750	13800/4380	156,88/496,57	5,5	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Equipo faltante
TPA-07	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347/433	6,38	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-08	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347/433	6,38	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-09	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347/433	6,38	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Fuera de servicio
TPA-10	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347/433	6,38	Delta/estrella	ONAN/ONAF	Equipo faltante

**Tabla 3.2 Característica de los Arrancadores Suaves Mesa**

<b>TAG</b>	<b>MARCA</b>	<b>SERIAL</b>	<b>VOLTAJE (V)</b>	<b>CORRIENTE (Amp)</b>	<b>TIPO</b>	<b>ESTRUCTURA</b>
E1-05	ALLEN BRADLEY	0576207-037-95	5000	360	3R	7
E2-05	ALLEN BRADLEY	0576207-040-95	5000	360	3R	10
E3-05	ALLEN BRADLEY	0576207-039-95	5000	360	3R	9
E4-05	ALLEN BRADLEY	0576207-041-95	5000	360	3R	11
E5-05	ALLEN BRADLEY	0576207-042-95	5000	360	3R	12
E6-05	ALLEN BRADLEY	0576207-038-95	5000	360	3R	8
E7-05	ALLEN BRADLEY	0576207-006-95	5000	360	3R	6
E8-05	ALLEN BRADLEY	0576207-013-95	5000	360	3R	13
E9-05	ALLEN BRADLEY	0576207-015-95	5000	360	3R	15
E10-05	ALLEN BRADLEY	0576207-010-95	5000	360	3R	13

La barra A tiene conectados cinco (5) transformadores cautivos de 3750KVA y relación de transformación 13,8/4,16 kV con configuración delta-estrella puesta a tierra a 400 A, que se encargan de alimentar a dos (2) motores de Mesa (7 y 9) y tres (3) de Merey (7, 8 y 9) con sus respectivos arrancadores suaves con By Pass a 4,16kV. Además, cuenta con un transformador que alimenta al sistema contra incendio a 480V con capacidad de 500KVA configuración delta-estrella sólidamente puesto a tierra y para el control del factor de potencia un banco de condensadores a 13,8kV con capacidad de 4800KVAR.

En la barra B se encuentran cuatro (4) transformadores cautivos de 3750KVA relación de transformación 13,8/4,16kV configuración delta-estrella puesta a tierra a 400A cuya función es alimentar a dos (2) motores de la Sala de Bombas Mesa (8 y 10) y dos (2) motores de la Sala de Bombas Merey (5 y 6). La barra B tiene conectada también un banco de condensadores de 4800KVAR y posee una reserva no equipada.

En la Figura 3.3 se presenta el diagrama unifilar del Centro de Distribución de Potencia Mesa-Merey y en las tablas 3.3 y 3.4 se muestran las características principales de los transformadores y arrancadores suaves conectados a este Centro de Distribución de Potencia (CDP).

### **3.2.3 Centro de Control de Motores Merey 480V.**

Este CCM es marca SCHEIRDER, tiene corriente nominal de 800A y nivel de corriente de cortocircuito de 30KAcc, está conformado por treinta y un (31) celdas y consta de dos (2) barras divididas por un interruptor de 600A, las cuales se encuentran alimentadas a través de dos (2) líneas de 250MCM provenientes del Centro de Distribución de Potencia Mesa en



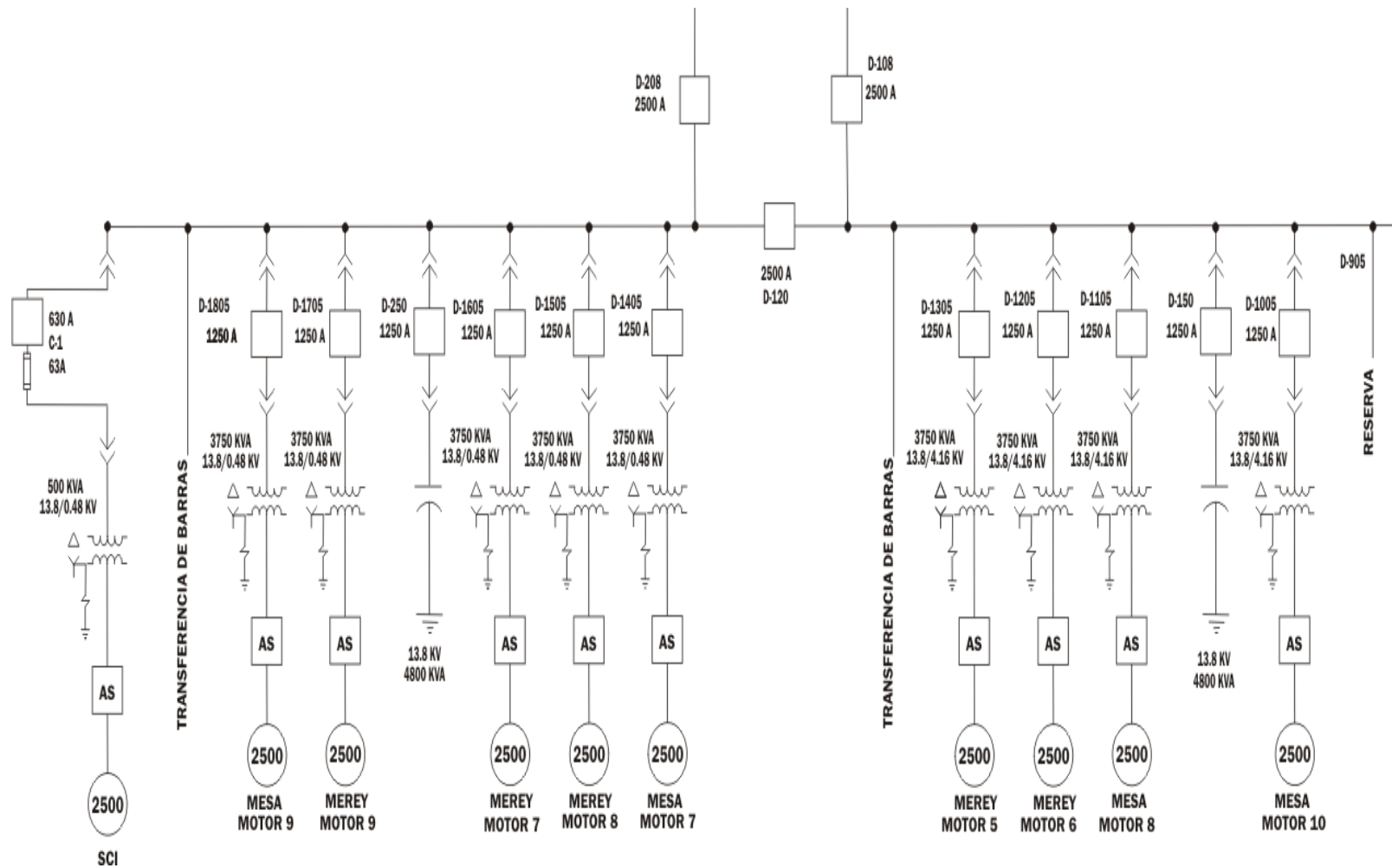


Figura 3.3. Diagrama unifilar CDP Mesa-Merey 13.8kV

**Tabla 3.3 Características de los transformadores Merey.**

<b>TAG</b>	<b>Marca</b>	<b>Potencia (kva)</b>	<b>Relación de transformación</b>	<b>Corriente (amp)</b>	<b>Conexión</b>	<b>Tipo de refrigeración</b>	<b>Comentarios</b>
TPA-05	SIEMENS	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347-433	Delta/ Estrella	ONAN/ONAF	En Servicio
TPA-06	SIEMENS	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347-433	Delta/ Estrella	ONAN/ONAF	En Servicio
TPA-07	SIEMENS	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347-433	Delta/ Estrella	ONAN/ONAF	En Servicio
TPA-08	SIEMENS	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347-433	Delta/ Estrella	ONAN/ONAF	En Servicio
TPA-09	SIEMENS	2500/3125	13800/4160-2400	104,6/347-433	Delta/ Estrella	ONAN/ONAF	En Servicio

**Tabla 3.4 Característica de los Arrancadores Suaves Merey**

<b>TAG</b>	<b>MARCA</b>	<b>SERIAL</b>	<b>VOLTAJE (V) máx.</b>	<b>CORRIENTE (Amp)</b>	<b>TIPO DE AISLAMIENTO</b>
E5-05	ALLEN BRADLEY	0576207-001-95	5000	360	1
E6-05	ALLEN BRADLEY	0576207-005-95	5000	360	1
E7-05	ALLEN BRADLEY	0576207-002-95	5000	360	1
E8-05	ALLEN BRADLEY	0576207-012-95	5000	360	1
E9-05	ALLEN BRADLEY	7001750-52-001-98	5000	2000	3R

las celdas de servicios auxiliares (TS1 y TS2) que corresponde a los transformadores de 13,8/0.48kV. La celda diez (10) alimenta al CCM perteneciente a Mesa de servicios auxiliares 480V. En la figura 3.4 se muestra el CCM de servicios auxiliares de Merrey.



Figura 3.4 CCM servicios auxiliares Merrey

En la figura 3.5 se muestra el diagrama unifilar perteneciente al Centro de Control de Motores de Merrey 480V.

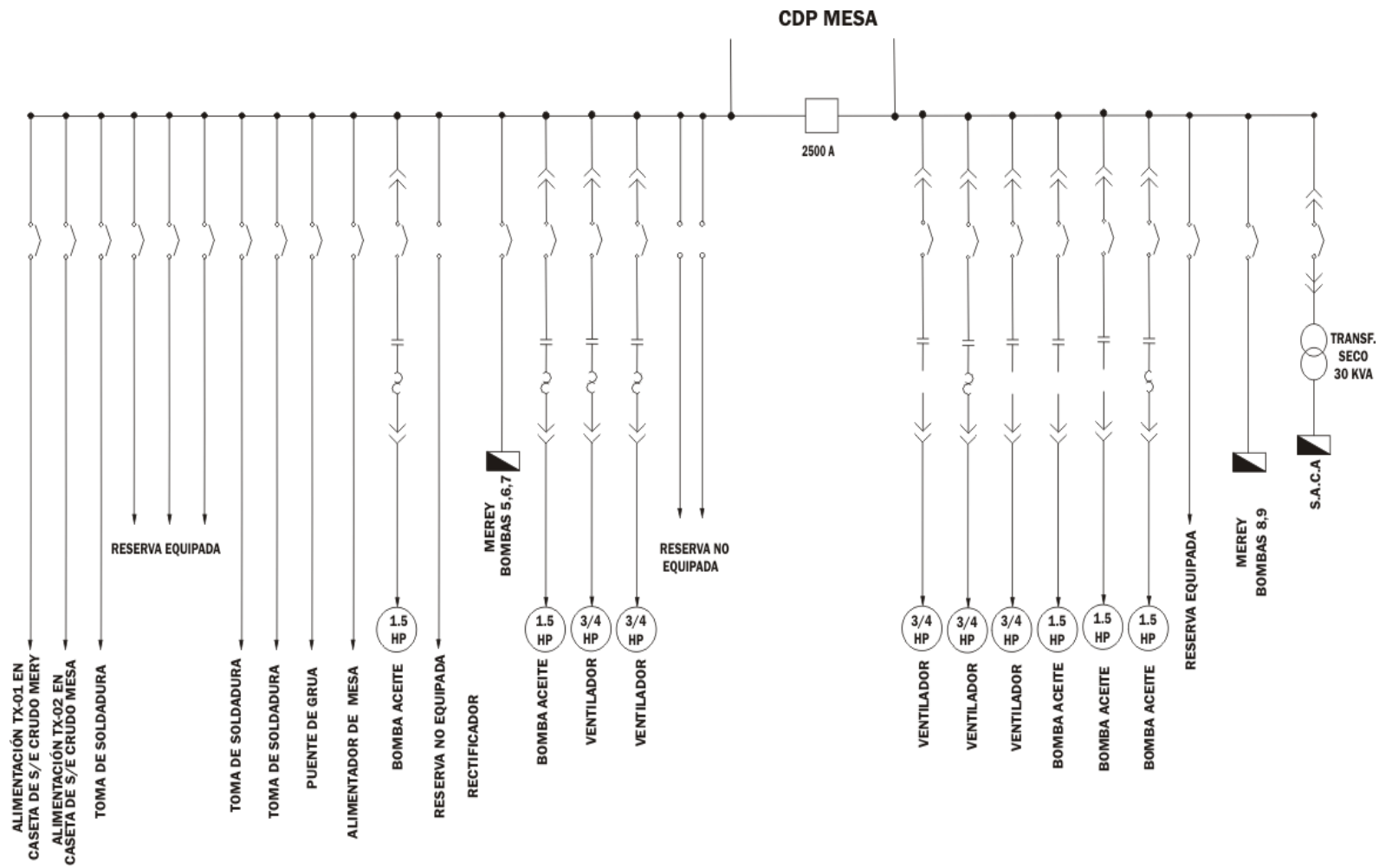


Figura 3.5. Diagrama unifilar CCM Merely 480V

La barra I va desde la celda #1 hasta la # 20 y la división de cada una se observa en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Descripción celdas barra I del CCM Merey 480V.**

<b>Celda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Interruptor</b>	<b>Calibre</b>
1	Alimentación TX-01 en caseta S/E crudo Merey 30Kva, 480/208-120V	3P-50Amp	3 #6 AWG THWN
2	Alimentación TX-02 en caseta S/E crudo Mesa 30Kva, 480/208-120V	3P-50Amp	3 #6 AWG THWN
3,7 y 8	Toma de soldadura	3P-60Amp	3 #6 AWG THWN
4,5 y 6	Reservas equipada	3P-20Amp	-
9	Puente de grúa	3P-25Amp	3 #12 AWG THWN
10	Alimentación CCM servicios auxiliares Mesa 480V	3P-225Amp	-
11	Motor bomba de aceite 1.5Hp, MPL-PT-06	3P-3Amp	3 #12 AWG THWN
12,18 y 19	Reservas no equipada	-	-
13	Alimentador cargador rectificador	3P-20Amp	3 #12 AWG THWN
14	Tablero Merey, T4VA-01 Bombas 5,6,7	3P-20Amp	3 #12 AWG THWN
15	Motor bomba de aceite 1.5Hp, MPL-PT-05	3P-3Amp	3 #12 AWG THWN
16	Motor ventilador 0.75Hp, MFL-PT-05	3P-3Amp	3 #12 AWG THWN
17	Motor ventilador 0.75Hp, MFL-PT-06	3P-3Amp	3 #12 AWG THWN
20	Llegada de la alimentación a 480V del CCM Merey, barra I	800 Amp	3#250 MCM

La barra II va desde la celda #22 hasta la #31 y se divide según lo mostrado en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Descripción celdas barra II del CCM Merey 480V.**

<b>Celda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Interruptor</b>	<b>Calibre</b>
22	Llegada de la alimentación a 480V del CCM Merey, barra II	800 Amp	3 #250 MCM
23	Motor ventilador 0.75Hp, MFL-PT-07	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
24	Motor ventilador 0.75Hp, MFL-PT-08	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
25	Motor ventilador 0.75Hp, MFL-PT-09	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
26	Motor bomba de aceite 1.5Hp, MPL-PT-07	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
27	Motor bomba de aceite 1.5Hp, MPL-PT-08	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
28	Motor bomba de aceite 1.5Hp, MPL-PT-09	3P-3Amp	3 #6 AWG THWN
29	Reserva equipada	3P-20Amp	-
30	Tablero Merey, T4VA-02 Bombas 8,9	3P-20Amp	3 #12 AWG THWN
31	Tablero de iluminación y tomacorrientes	3P-20Amp	4 #6 AWG THWN

La celda 21 que no se encuentra expresada en las tablas 3.1 y 3.2 constituye el interruptor del enlace de barra de 600A y 30Kacc.

### **3.2.4 Centro de Control de Motores Mesa 480V.**

El CCM de Mesa marca VALECTRA, nivel de tensión 480V está alimentado directamente desde la celda diez (10) del Centro de Control de

Motores de Merrey a nivel de tensión de 480V, la corriente nominal es de 800A para la barra de 480V. La figura 3.6 muestra una imagen del CCM de servicios auxiliares de Mesa.

De la celda 35 sale la alimentación a través de un transformador seco de relación de transformación 480/208-120V y 30KVA a las celdas que van desde la 37 hasta la 53, las cuales son resistencias de calefacción y algunos espacios libres.



Figura 3.6 CCM servicios auxiliares Mesa

En la figura 3.7 se muestra el diagrama unifilar del Centro de Control de Motores Mesa 480V.



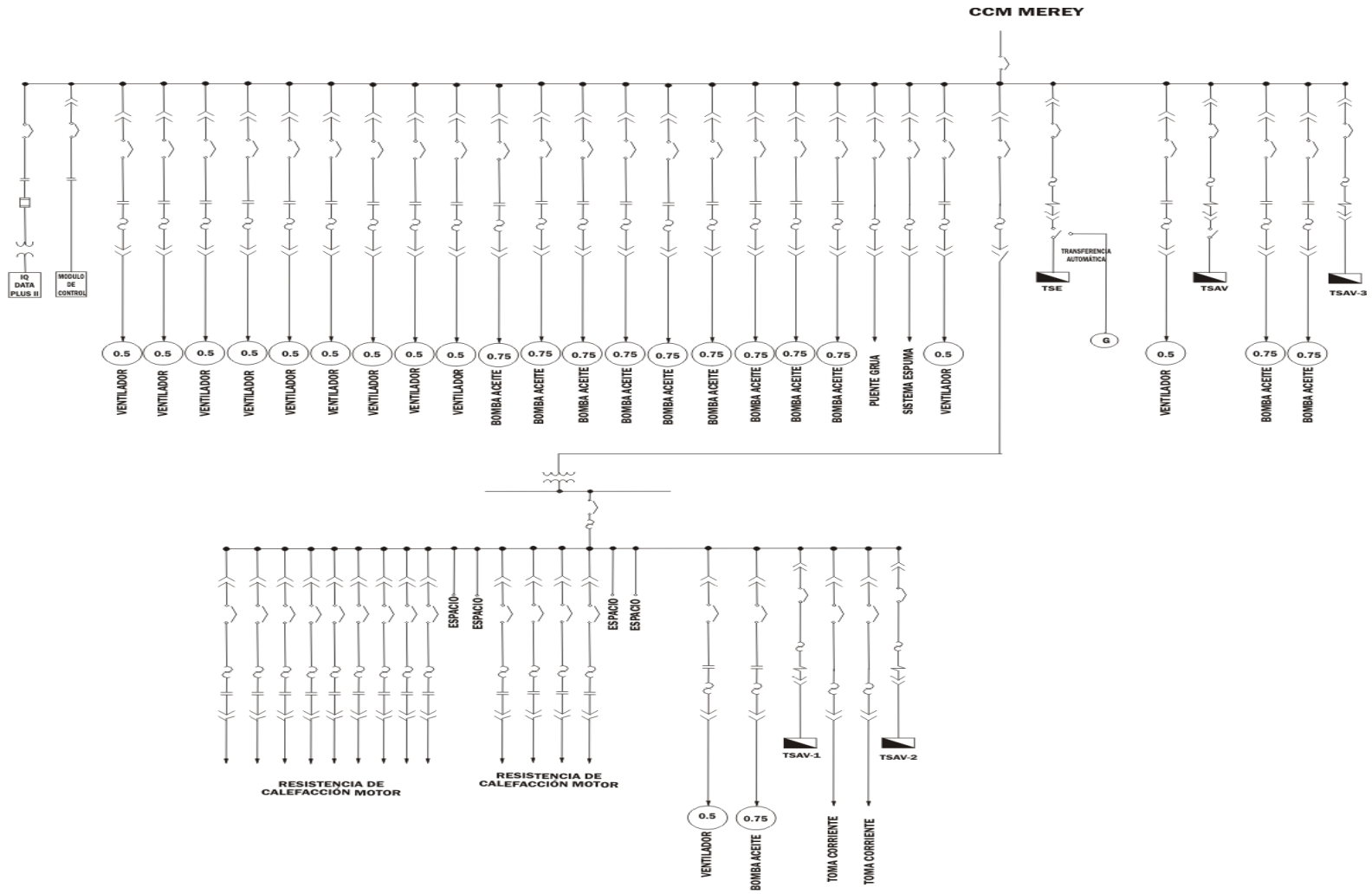


Figura 3.7. Diagrama unifilar CCM Mesa 480V

Las características detalladas de la barra de 480V se observa en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Descripción celdas barra 480V del CCM Mesa.**

<b>Celda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Interruptor</b>	<b>Calibre</b>
1	Medición (MULTILIM)	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
2	Modulo de control de temperatura (CT-03)	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
3	Motor ventilador B-1 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
4	Motor ventilador B-2 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
5	Motor ventilador B-3 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
6	Motor ventilador B-4 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
7	Motor ventilador B-5 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
8	Motor ventilador B-6 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
9	Motor ventilador B-7 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
10	Motor ventilador B-8 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
11	Motor ventilador B-9 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
12	Motor bomba de aceite B-1 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
13	Motor bomba de aceite B-2 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
14	Motor bomba de aceite B-3 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
15	Motor bomba de aceite B-4 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
16	Motor bomba de aceite B-5 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
17	Motor bomba de aceite B-60,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG

...Continuación. Tabla 3.7 Descripción celdas barra 480V del CCM Mesa.

<b>Celda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Interruptor</b>	<b>Calibre</b>
18	Motor bomba de aceite B-7 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
19	Motor bomba de aceite B-8 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
20	Motor bomba de aceite B-9 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
21	Puente de grúa	EHB 3P-50A	3 #12 AWG
22	Sistema de espuma	EHB 3P-30A	3 #12 AWG
23	Motor ventilador B-10 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
24	Alimentación a la barra de 208-120V	MCP 3P-30A	3 #12 AWG
25/26/27	Tablero de servicios de emergencia, entrada del generador a 480V, TSE	EHB 3P-150A	3 #12 AWG
28	Motor ventilador B-10 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
29/30	Tablero de servicios auxiliares válvulas motorizadas 480V, TSAV	EHB 3P-150A	3 #12 AWG
31	Motor bomba de aceite B-10 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
32	Motor bomba de aceite B-10 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
33/34	Tablero de servicios auxiliares válvulas motorizadas 480V, TSAV3	EHB 3P-100A	3 #12 AWG
53	Motor ventilador B-12 0,50Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
54	Motor bomba de aceite B-10 0,75Hp	MCP 3P-3A	3 #12 AWG
55/56	Tablero de servicios auxiliares válvulas motorizadas 480V, TSAV1	EHB 3P-100A	3 #12 AWG
57	Toma corriente Mesa 1 480V	EHB 3P-30A	3 #12 AWG
58	Toma corriente Mesa 2 480V	EHB 3P-30A	3 #12 AWG
59/60	Tablero de servicios auxiliares válvulas motorizadas 480V, TSAV2	EHB 3P-100A	3 #12 AWG

Las características detalladas de la barra de 208-120V se observa en la Tabla 3.8.

**Tabla 3.8 Descripción celdas barra 208-120V del CCM Mesa.**

<b>Celda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Interruptor</b>
36	Resistencia de calefacción Motor-1	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
37	Resistencia de calefacción Motor-2	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
38	Resistencia de calefacción Motor-3	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
39	Resistencia de calefacción Motor-4	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
40	Resistencia de calefacción Motor-5	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
41	Resistencia de calefacción Motor-6	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
42	Resistencia de calefacción Motor-7	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
43	Resistencia de calefacción Motor-8	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
44	Resistencia de calefacción Motor-9	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
45/46/51/52	Espacio libre	-
47	Resistencia de calefacción Motor-10	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
48	Resistencia de calefacción Motor-11	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
49	Resistencia de calefacción Motor-12	EHB 2P-15 <sup>a</sup>
50	Resistencia equipada	EHB 2P-15 <sup>a</sup>

### 3.2.5 Sala de Bombeo Merrey.

Esta sala de bombeo representa la única que actualmente está en servicio con una filosofía de operación de 4:1, lo que significa cuatro (4) motores continuos y uno (1) de reserva. Son cinco (5) bombas idénticas en estructura y funcionamiento, las cuales son alimentadas por el Centro de Distribución de Potencia Mesa-Merrey a una tensión de 4,16kV, a través de acometidas subterráneas de un 500MCM por cada fase, como muestra la figura 3.2 del diagrama unifilar del CDP Mesa-Merrey descrito anteriormente. La figura 3.8 muestra la Sala de Bombas Merrey.

Las características de placa de los motores de la sala de Bombeo Merrey se presentan en la tabla 3.9.



Figura 3.8 Sala de Bombeo Merrey

**Tabla 3.9 Características de los Motores de la Sala de Bomba Meroy.**

<b>TAG</b>	<b>MARCA</b>	<b>SERIAL</b>	<b>POTENCIA (HP)</b>	<b>VOLTAJE (V)</b>	<b>CORRIENTE (Amp)</b>	<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>TIPO</b>	<b>COMENTARIOS</b>
Motor 5, P205	SIEMES	E07376-01- 2	2500	4160	293	3575	F	En servicio (reserva)
Motor 6, P206	SIEMES	E07376-01- 1	2500	4160	293	3575	F	En servicio
Motor 7, P207	SIEMES	E07376-01- 3	2500	4160	293	3575	F	En servicio
Motor 8, P208	SIEMES	E07402-01- 1	2500	4000	313	3573	F	En servicio
Motor 9, P209	SIEMES	F09617-01-1	2500	4160	293	3575	F	En servicio

### 3.2.6 Sala de Bombeo Mesa.

La sala de Bombeo Mesa se encuentra fuera de servicio, tiene espacio para diez (10) bombas y filosofía de operación de 8:2, sin embargo estas instalaciones actualmente están en deterioro progresivo y se ha presentado desmantelamientos de sus equipos (bombas y motores). Teóricamente el CDP-Mesa alimenta a los motores 1, 2, 3, 4, 5 y 6 a través de dos (2) acometidas de 250MCM por fase; mientras que el CDP-Mesa-Merey a los motores 7, 8, 9 y 10 a un nivel de tensión de 4,16kV mediante un 500MCM por fase. La figura 3.9 muestra el estado actual de la Sala de Bombas Mesa.

En la tabla 3.10 se presentan las características técnicas de los motores existentes en la sala de bomba Mesa. La tabla 3.11 muestra los motores 01, 02, 03, 04, 05, 06 y 10 que no se encuentran en sitio actualmente.



Figura 3.9 Sala de Bombeo Mesa

**Tabla 3.10 Características de los Motores de la Sala de Bomba Mesa existentes.**

<b>NOMBRE</b>	<b>MARCA</b>	<b>SERIAL</b>	<b>POTENCIA (Kw/HP)</b>	<b>VOLTAJE (V)</b>	<b>CORRIENTE (Amp)</b>	<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>TIPO</b>
Motor-07	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-08	SIEMENS	E-08431-02-2	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-09	SIEMENS	E-08278-01-2	2500HP	4000	312	3573	F

**Tabla 3.11 Características de los Motores de la Sala de Bomba Mesa no existentes.**

<b>NOMBRE</b>	<b>MARCA</b>	<b>SERIAL</b>	<b>POTENCIA (Kw/HP)</b>	<b>VOLTAJE (V)</b>	<b>CORRIENTE (Amp)</b>	<b>VELOCIDAD (RPM)</b>	<b>TIPO DE AISLAMIENTO</b>
Motor-01	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-02	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-03	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-04	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-05	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-06	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F
Motor-10	SIEMENS	E-08278-01-4	2500HP	4000	312	3573	F



### 3.2.7 Sistema Contra Incendios (SCI) a 480V.

Este sistema consta de dos (2) motores, un tablero de alimentación a 480V y dos tableros de comunicación con la sala de control. Actualmente el sistema contra incendio de la Estación de Rebombéo "2" esta fuera de servicio propiciado principalmente por el desmantelamiento de los equipos de comunicación.

Técnicamente el SCI está alimentado por la celda #1 barra A del Centro de Distribución de Potencia Mesa-Merey a través de un transformador cuya relación de transformación es 13,8/0,48kV y capacidad 500KVA conexión delta-estrella sólidamente puesto a tierra.

En la tabla 3.12 se muestran los valores de placa de los dos (2) motores que conforman el Sistema Contra Incendio de la Estación de Rebombéo "2".

**Tabla 3.12. Motores Sistema Contra Incendios.**

<b>Nombre</b>	<b>Corriente (Amp)</b>	<b>Nivel de Tensión (V)</b>	<b>Potencia (Hp)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Comentarios</b>
Motor #1	386	460	350	1780	Fuera de servicio
Motor #2	250	460	120	1780	Fuera de servicio

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.

El sistema de puesta a tierra de la Estación de Rebombéo "2" del Km-52 está constituida principalmente por cinco (5) mallas ubicadas en la sala de bombas Mesa, sala de Bombas Merey, subestación eléctrica, caseta arrancadores Mesa externos y sistema contra incendio

respectivamente. Además, los dos (2) tanques asociados al sistema contra incendio tienen su puesta a tierra aislada de las redes de mallas.

Aunque son de características similares y cumplen la misma función de mantener seguro el sistema, deben ser descritas individualmente ya que más adelante serán evaluadas por separadas.

### **3.3.1 Sistema de Puesta a Tierra de la Sala de Bombas Mesa.**

La sala se encuentra puesta a tierra a través de una malla donde están conectadas las partes sin energía de los equipos (patines y carcasa de los motores), los pilares de la estructura metálica que protege a la sala de bombeo, motores-bombas, etc.

La malla tiene un área de  $85 \times 30 \text{ m}^2$ , espaciamiento del reticulado de 5 metros y profundidad de 0,6 metros, conformada por un conductor de cobre desnudo trenzado y de calibre 2/0 AWG, la malla se encuentra unida a través de conexiones exotérmica y posee barras copperweld asociadas a la malla, las conexiones derivativas son de calibre 2/0 y 1/0 AWG desnudas, estas conexiones son por soldaduras y apernadas.

### **3.3.2 Sistema de Puesta a Tierra de la Sala de Bombas Merrey.**

Al igual que ocurre en Mesa están conectadas a la malla las estructuras de la sala, los patines y carcasas de los motores que constituyen las partes desenergizadas, los motores, las partes metálicas de la instrumentación, etc.

La malla tiene un área de  $42 \times 30 \text{ m}^2$ , la separación del reticulado es de 6 metros y profundidad 0,6 metros. El conductor de la malla es de

calibre 2/0 AWG trenzado, la malla se une por conexiones exotérmicas y los conductores típicos son de calibre 2/0 y 1/0 AWG desnudas y sus conexiones a las estructuras son tanto apernadas como soldadas.

### **3.3.3 Sistema de Puesta a Tierra del Sistema Contra Incendio (SCI).**

Es una malla que abarca el sistema contra incendio y la sala de control; y se encuentran puesto a tierra estructuras metálicas, carcasa y patín de los motores del sistema contra incendio, el CCM que se encuentra en la sala, tableros, etc.

Esta malla tiene un área de 70x25 m<sup>2</sup>, separación entre reticulado de 5 metros y profundidad de 0,6 metros. El calibre del conductor es 2/0 AWG trenzado y las conexiones de la malla exotérmicas, los calibres de los conductores que se conectan derivados a la malla son 2/0 y 1/0 AWG desnudos y sus conexiones son de soldadura exotérmica y apernadas.

### **3.3.4 Sistema de Puesta a Tierra de la Subestación Eléctrica.**

En esta malla se conectan todas las estructuras metálicas desenergizadas del patio de potencia eso implica pilares, carcasas de transformadores, arrancadores y celdas, rejas perimetrales y patines; por otra parte, están puestos a tierras los neutros de los transformadores, los Centro de Distribución de Potencia Mesa y Mesa-Merey de 13,8kV, etc.

La malla de la subestación del rebombeo tiene un área de 65x45 m<sup>2</sup>, separación del reticulado de 5 metros y profundidad de 0,7 metros. El calibre de conductor de la malla es 4/0 AWG del tipo trenzado, tiene cuatro (4) barras Copperweld ubicadas en las esquinas, los calibres de los conductores conectados a la malla son 2/0 AWG y se conectan a las

equipos a través de soldadura exotérmicas y algunas estructuras apernadas.

### **3.3.5 Sistema de Puesta a Tierra de la Caseta de Arrancadores Mesa Externa.**

Esta malla viene siendo la de menor tamaño del rebombeo, se conectan las rejas perimetrales, carcasa de los transformadores, y la bajada de la barra que se encuentra dentro de la caseta donde llega el conductor de puesta a tierra de los arrancadores.

El área es de 18x18 m<sup>2</sup> y la separación del reticulado de 4,5 metros, profundidad de 0,7 metros. El calibre del conductor de la malla es 4/0 AWG trenzado y unida por soldadura exotérmica, los calibres de los conductores que derivan a la malla de puesta a tierra son 2/0 AWG desnudo y se encuentran apernadas a las estructuras, barras y equipos.

### **3.3.6 Sistema de Puesta a Tierra de los Tanques.**

Este sistema está formado por un anillo cuadrado de 10x10 metros alrededor del tanque. En el anillo cuadrado se conectan cuatro (4) puntos donde el tanque esta puesto a tierra y en las esquinas están enterradas cuatro (4) barras copperweld 5/8" de 2,44 metros de longitud.

Este sistema cumple de igual manera la protección contra descargas atmosféricas de los tanques, mediante el método de Faraday, es decir, utilizando la misma estructura metálica de los tanques como camino de drenaje de la corriente a tierra.

### **3.4 Descripción de la Protección Contra Descargas Atmosféricas.**

La protección contra descargas atmosféricas de la Estación de Rebombeo "2" es del tipo punta de franklin estilo Erizo o multipuntas. La punta es de acero inoxidable, diámetro de 5/8" y la longitud está dividida en 12" barra de acero inoxidable y una segunda parte de un conjunto de alambres de acero inoxidable (los cuales toman la forma de erizo) de 12" lo que totaliza una longitud de 24" (0,60 metros). La separación de los extremos de los alambre es de 2".

Estas puntas de Franklin se presentan en el rebombeo en arreglos lineales o anillos dependiendo de la estructura a proteger. El calibre del conductor de los arreglos es 2/0 AWG trenzado y desnudo, el mismo de la bajada a la malla de puesta a tierra.

Las estructuras protegidas por este sistema son: Sala de bombeo Mesa arreglo en anillo de 3x13, sala de bombeo Merey arreglo en anillo de 3x6, caseta de arrancadores mesa y merey tienen ambas arreglos en anillo de 3x4, la caseta de comunicación tiene un arreglo de 3x3 y por ultimo las estructuras que protegen los CDP de Mesa y Mesa-Merey poseen un arreglo lineal de 5 puntas de franklin Erizo.

## **CAPITULO IV**

### **INSPECCIONES Y MEDICIONES**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

En esta etapa del proyecto se obtuvo toda la información de las características del sistema de puesta a tierra y la protección contra descargas atmosféricas a través de visitas a campo y registros fotográficos de las instalaciones. Así mismo, se realizaron mediciones de continuidad para verificar la unión de los equipos con la malla de puesta a tierra, mediciones de resistividad del terreno y de resistencia de puesta a tierra de cada una de las mallas de La Estación de Rebombeo “2” (Km.-52).

Fueron evaluados puntos como las conexiones típicas o derivativas de los equipos y su puesta a tierra; su estado actual (deterioro), la falta de estas conexiones (hurto o desprendimiento), el tipo de conductor utilizado (trenzado, desnudo, recubierto), la verificación de los distintos calibres, el tipo de conexión (soldadura o apernada), etc.

Por otra parte, se hizo un levantamiento de la protección contra descargas atmosféricas del lugar que comprende principalmente el tipo de pararrayo utilizado, los arreglos en anillos, las bajadas a la malla de tierra y la falta de estas protecciones en algunas zonas de la Estación de Rebombeo “2” del Km-52.

Para las mediciones de resistividad fue empleado el método de los cuatro (4) electrodos o el método de Wenner, con el fin de conocer los valores de resistividad aparente del terreno adyacente a La Estación de Rebombeo “2” y así obtener el perfil de resistividad del suelo para emplear algunas mejoras al sistema actual de ser necesario.

Por su parte, para las mediciones de la resistencia de puesta a tierra se usó el método de los tres (3) electrodos o caída de potencial; con la finalidad de conocer el valor de la resistencia de las mallas de La Estación de Rebombeo "2" (Km.-52) y así comparar si se encuentran dentro del rango establecido por la norma IEEE Std. 80.

## **4.2 INSPECCIÓN VISUAL DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (SPT).**

Basándose en las divisiones de la Estación de Rebombeo "2" se realizaron recorridos escalonados donde se incluyen la subestación eléctrica, las salas de bombeo Mesa y Merey, la caseta de arrancadores Mesa y el sistema contra incendio; es por eso que se realiza una descripción detallada de la situación actual.

En general, se destaca que las conexiones que presentan los equipos son apernada y las estructuras soldadas, el conductor es de cobre desnudo trenzado y hay varios puntos típicos hurtados o faltantes.

### **4.2.1 Subestación Eléctrica.**

En la subestación de la Estación de Rebombeo "2" se observó que la puesta a tierra no está en buen estado y en muchas partes no hay conexión de los equipos a la malla de tierra.

En las estructuras metálicas que protegen a los CDP Mesa, CDP Mesa-Merey y los arrancadores Mesa se pudo visualizar la puesta a tierra. Los arrancadores Mesa **E1- 05**, **E2- 05**, **E3- 05**, **E4- 05** y **E5- 05** se encuentran puestos a tierra en su estructura, a excepción del arrancador **E6- 05**. Los transformadores presentes en el patio que

corresponden a los sistemas de Mesa y Meroy se encuentran puestos a tierra. Todo esto se muestra en las figuras 4.1 y 4.2.



a) Estructura.



b) Arrancador Suave.

Figura 4.1. Puesta a Tierra.



Figura 4.2. Puesta a Tierra del Transformador.

En la figura 4.3 se presentan las barras de puesta a tierra ubicadas en la sala de comunicación que se encuentra dentro de la subestación, comprende la llegada y bajada a la malla de los equipos del patio de potencia.





a) Barra uno.



b) Barra dos.

Figura 4.3. Barras de Puesta a Tierra.

En la figura 4.4 se muestra la barra de puesta a tierra de la caseta de arrancadores Merrey, llegada de los arrancadores **(E5-05, Motor-5)**, **(E6-05, Motor-06)**, **(E7-05, Motor-07)**, **(E8-05, Motor-08)**, **(E9-05, Motor-09)** y dos (2) transformadores secos ubicados en la caseta (TX-01 y TX-02).



Figura 4.4. Barras de Puesta a Tierra Caseta de arrancadores Merrey.

#### 4.2.2 Sala Bombeo Mesa.

Como se explicó anteriormente la sala de bombas Mesa se encuentra fuera de servicio y cuenta con diez (10) motores para servicio

de bombas; los patines de la estructura de los motores se encuentran puestos a tierra y el motor N° 7 es el único que cuenta con conexión desde su carcasa. En la figura 4.5 se observan estas conexiones apernadas.



a) Patín



b) Carcasa y patín

Figura 4.5 Puesta a Tierra en Mesa.

Las bases de la estructura que protegen la sala de Bombas Mesa están puestas a tierra en ocho (8) de sus veintidós (22) pilares como se muestra en la figura 4.6.



a) Pilar 1



b) Pilar 2

Figura 4.6. Estructura Sala de Bombeo Mesa.

### 4.2.3 Sala de Bombas Meroy.

Los cinco (5) motores de Meroy se encuentran puestos a tierra en los patines, sin embargo, en la carcasa de los motores no hay conexiones derivativas de puesta a tierra. Se visualizó puesta a tierra en la instrumentación externa en la llegada de tuberías, no así en la interna de la sala de bombeo. Lo dicho se muestra en las figuras 4.7.



a) Patín



b) Instrumentación

Figura 4.7. Puesta a Tierra Meroy.

La figura 4.8 muestra un ejemplo de las conexiones a tierra de los pilares de la Sala de Bombeo Meroy; la estructura se encuentra puesta a tierra en sus catorce (14) pilares.



a) Pilar 1



b) Pilar 2

Figura 4.8 Pilares de la Estructura de Meroy.

#### 4.2.4 Sistema Contra Incendios (SCI).

Al igual que ocurre en la sala de bombas Merey se presentan puesta a tierra en los patines de la estructura de los dos (2) motores, la carcasa de los motores no presenta puesta a tierra. La estructura esta puesta a tierra en sus pilares. En las figuras 4.9 se presenta lo descrito anteriormente.



a) Patín



b) Estructura

Figura 4.9. Puesta a Tierra Sistema Contra Incendio (SCI).

#### 4.2.5 Generador de Emergencia.

El generador de emergencia se encuentra puesto a tierra en su carcasa, sin embargo la conexión a tierra del patín del generador esta desconectada como se visualiza en la figura 4.10.



Figura 4.10. Generador de Emergencia.

Se observó la barra equipotencial de puesta a tierra de la caseta del generador como se muestra en la figura 4.11, con sus dos puntos de conexión y el bajante a la malla de puesta a tierra.



Figura 4.11. Barra Equipotencial de Puesta a Tierra.

#### 4.2.6 Otras Instalaciones.

La torre de comunicación se encuentra puesta a tierra en las cuatro esquinas de su estructura, se muestra un ejemplo de esto en la figura 4.12.



Figura 4.12 Torre de Comunicación.

En las figura 4.13 y 4.14 se observan las barras equipotenciales de puesta a tierra y sus respectivos bajantes, de los equipos de comunicación ubicados en la sala de control, lugar donde se encuentran los Centro de Control de Motores (CCM) de servicios auxiliares 480V.



a) Barra Interna



b) Barra Externa

Figura 4.13 Barras de Puesta a Tierra.



Figura 4.14 Bajada a la Puesta a Tierra.

Como se observa en la figura 4.15, el único punto de puesta a tierra de la estructura del sistema de aire acondicionado perteneciente a la sala de control se encuentra desconectado.



Figura 4.15. Sistema de Aire Acondicionado.

Por último, en la figura 4.16 se observa la puesta a tierra del sistema hidroneumático de la Estación de Rebombear "2" (Km-52).



a) Externa



b) Interna

Figura 4.16. Sistema Hidroneumático.

#### 4.3 INSPECCIÓN VISUAL DE LA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS (PCDA).

Se describen los arreglos en anillo, el tipo de pararrayos y las bajadas a la puesta de tierra de las instalaciones que fueron detalladas e inspeccionadas en la Estación de Rebombear "2" (Km.-52). Así mismo se resaltan las estructuras que carecen de estas protecciones.

### 4.3.1 Subestación Eléctrica.

Existen arreglos de protecciones en anillo en las estructuras de los Centros de Distribución de Potencia Mesa y Mesa-Merey, la caseta de comunicación y la caseta de arrancadores Merey; además el alumbrado interno de la subestación se encuentra protegido contra descargas atmosféricas. La estructura de los arrancadores Mesa correspondiente a los motores E1-05, E2-05, E3-05, E4-05, E5-05 y E6-05 no cuenta con protección contra descargas atmosféricas, siendo la única dentro del patio de potencia que no cuenta con estas protecciones. La figura 4.17 presenta ejemplos de las PCDA en la subestación del rebombero.



a) Alumbrado Interno



b) Sala de comunicación

Figura 4.17. PCDA de la Subestación del Km-52.

#### 4.3.1.1 Caseta de Arrancadores Merey.

La caseta de arrancadores correspondiente a los motores de Merey se encuentra protegida parcialmente por un arreglo en anillo de 3x4 pararrayos multipuntas, consta de un solo bajante. En las figuras 4.18 y 4.19 se presentan las características de este arreglo.





a) Arreglo

b) Bajante

Figura 4.18 PCDA Caseta de Arrancadores Merrey.



Figura 4.19. Llegada a la Puesta a Tierra.

#### 4.3.1.2 Caseta de arrancadores Mesa.

Esta caseta es la correspondiente a los motores de Mesa **E7- 05**, **E8- 05**, **E9-05** y **E10-05**, consta de una arreglo de 3x4 en anillo de puntas tipo erizo, con un solo bajante a la puesta a tierra. En las figuras 4.20 y 4.21 se presentan imágenes de esta área del Rebombeo.



a) Arreglo

b) Bajada

Figura 4.20. PCDA Caseta de Arrancadores Mesa.



Figura 4.21. Llegada a la Puesta a Tierra.

#### 4.3.1.3 Caseta de Comunicación.

La caseta de los equipos de comunicación presenta un arreglo de 3x3 en anillo, de puntas tipo erizo o multipuntas con su respectivo bajante. En la figura 4.22 se puede apreciar la protección contra descargas atmosféricas.



Figura 4.22. Arreglo en anillo de la Sala de Comunicación.

#### 4.3.1.4 Centro de Distribución de Potencia Mesa.

La protección de la estructura que protege a este CDP está basada en un sistema lineal de cinco (5) multipuntas con su bajante conectado a la estructura metálica, la cual cuenta con conexión de puesta a tierra en ese pilar. Lo descrito anteriormente se muestra en las figura 4.23.



a) Multipunta.



b) Conexión a Estructura

Figura 4.23. PCDA del CDP Mesa.

#### 4.3.1.5 Centro de Distribución de Potencia Mesa-Merey.

Se presenta un arreglo lineal similar al CDP Mesa, consta de cinco (5) puntas del tipo erizo con un solo bajante, conectado directamente a la estructura y esta a su vez conectada a la puesta a tierra en ese pilar. En las figuras 4.24 se presentan las conexiones.



a) Conexión

b) Bajada

Figura 4.24. Conexión de la PCDA del CDP Mesa-Merey.

#### 4.3.2 Sala de Bombas Mesa.

Esta sala de bombas se encuentra protegida por un arreglo de 3x13, con puntas tipo erizo o multipuntas. La protección cuenta con dos (2) bajantes depuesta de tierra, de las cuales una no tiene continuidad, es decir esta desconectada como se muestra en figura 4.26 y la figura 4.27 muestra que la bajada N°2 tiene continuidad hasta la puesta a tierra.



Figura 4.25. Arreglo de la PCDA en Mesa.



a) Bajada #1



b) Conexión a Tierra

Figura 4.26. Bajada y conexión a la Puesta Tierra hurtadas.



a) Bajada #2



b) Conexión a Tierra

Figura 4.27. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes.

### 4.3.3 Sala de Bombas Merrey.

El arreglo presente en la estructura de esta sala es de 3x6 multipuntas en anillo. Los dos (2) bajantestienen continuidad, es decir ninguna se encuentra visualmente desconectada como sucede en la Sala de Bombas Mesa. Las figuras 4.28, 4.29 y 4.30 muestran lo descrito con anterioridad.



Figura 4.28. Arreglo anillado de la Sala de Bombeo Merrey.



a) Bajada #1



b) Conexión a Tierra

Figura 4.29. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes 1.



a) Bajada #2

b) Conexión a Tierra

Figura 4.30. Bajada y conexión a la Puesta Tierra existentes 2.

#### 4.3.4 Instalaciones sin Protección Contra Descargas Atmosféricas.

El generador de emergencia 480V, sistema contra incendio 480V y la sala de control, son las instalaciones que no cuentan con su debida protección contra descargas atmosféricas.

Los dos (2) tanques de la estación no poseen un arreglo como muchas de las estructuras del rebombero, sin embargo su protección contra descargas atmosféricas está basada en su estructura, la cual tiene cuatro puntos de puesta a tierra. Dado que son tanques para el sistema contra incendio (contienen agua), se protegen con su propia estructura siempre y cuando esta se encuentre puesta a tierra como sucede en este caso.

Las figuras 4.31, 4.32 y 4.33 son ejemplos de las instalaciones del Rebombero "2" del Km.-52 que no cuentan con estas protecciones del tipo franklin multipuntas.



Figura 4.31. Caseta del Generador del Emergencia.



a) SCI



b) Sala de Control

Figura 4.32. Sin Protección Contra Descargas Atmosféricas.



a) Tanque 1 SCI



b) Tanque 2 SCI

Figura 4.33. Tanques protegidos por su estructura puesta a tierra.



#### **4.3.5 Registros de Fallas de la Protección Contra Descargas Atmosféricas.**

A continuación se presentan los reportes otorgados por la empresa los cuales servirán como fundamentos para propiciar la sustitución del sistema de protección contra descargas atmosféricas multipuntas:

1. Caída de rayo en la Sala de Bombeo Mesa que ocasiona daños en las válvulas motorizadas de descarga y succión. El acontecimiento generó parada de la planta en la Sala de Bombeo Mesa y por lo tanto disminución de la producción.
2. Incidencia de descarga atmosférica en la Sala de Control (no cuenta con Protección Contra Descargas Atmosféricas), que originó fuera de servicio de dos (2) PLC, los cuales tuvieron que ser reemplazados inmediatamente por la Gerencia.
3. El Generador de Emergencia, que no cuenta con estas protecciones, queda fuera de operación por la caída de un rayo en su caseta, que originó daños en la tarjeta electrónica. Actualmente sigue fuera de servicio.
4. Por último, en octubre de 2011, la incidencia de un rayo en la estación lejos de las estructuras supuestamente protegidas genera un elevado potencial en una alcantarilla de 50cm de diámetro y peso aproximado de 25Kg; a pesar de sus características la tapa de la alcantarilla se disparó hacia arriba unos 4m, sin causar daño alguno.

#### 4.4 Mediciones de Continuidad.

En la tabla 4.1 se muestran los registros de las mediciones de continuidad realizadas en La Estación de Rebombeario "2", mediante el equipo Megger DET2/2 AUTO EARTH TESTER, ver Anexo A.1. Estas mediciones se realizaron entre carcasa-tierra y según la norma IEEE 80-2000 para constar que la unión del conductor con la malla se encuentra en buen estado debe arrojar un valor menor a los 0,5Ω.

**Tabla 4.1. Mediciones de Continuidad.**

<b>N° de mediciones</b>	<b>Lugar</b>	<b>Equipo</b>	<b>Valor medido (Ω)</b>
1	Subestación	Transformador Mesa (TPA-01)	0,297
2	Subestación	Transformador Mesa (TPA-02)	0,311
3	Subestación	Transformador Mesa (TPA-03)	5,69
4	Subestación	Transformador Mesa (TPA-04)	0,118
5	Subestación	Transformador Meroy (TPA-05)	0,145
6	Subestación	Transformador Meroy (TPA-06)	0,081
7	Subestación	Transformador Meroy (TPA-07)	0,015
8	Subestación	Transformador Meroy (TPA-08)	0,213
9	Subestación	Transformador Meroy (TPA-09)	0,178
10	Subestación	Arrancador E1-05	0,045
11	Subestación	Arrancador E2-05	0,245
12	Subestación	Arrancador E3-05	0,114
13	Subestación	Arrancador E4-05	0,492
14	Subestación	Arrancador E5-05	0,780
15	Subestación	Barra Caseta Arrancadores Meroy	0,056
16	Subestación	Barra Caseta Comunicación	0,025

... Continuación. Tabla 4.1. Mediciones de Continuidad.

<b>N° de mediciones</b>	<b>Lugar</b>	<b>Equipo</b>	<b>Valor medido (<math>\Omega</math>)</b>
17	Subestación	Reja Entrada	74,156
18	Caseta Arrancadores Mesa	Transformador (TPA-07)	0,147
19	Caseta Arrancadores Mesa	Transformador (TPA-08)	0,324
20	Caseta Arrancadores Mesa	Transformador (TPA-09)	14,568
21	Caseta Arrancadores Mesa	Barra equipotencial Caseta Mesa	0,212
22	Sala de Bombeo Mesa	Motor 7	5,59
23	Sala de Bombeo Merey	Motor P-205	0,152
24	Sala de Bombeo Merey	Motor P-206	0,116
25	Sala de Bombeo Merey	Motor P-207	0,151
26	Sala de Bombeo Merey	Motor P-208	0,095
27	Sala de Bombeo Merey	Motor P-209	0,091
28	Caseta Generador de Emergencia	Carcasa del Generador	0,341
29	Caseta Generador de Emergencia	Patín del Generador	Desconectado
30	Sala de Control	Barra equipotencial comunicación	0,121
31	Sala de Control	Sistema de aire acondicionado	Desconectado

En la tabla 4.1 se puede constatar que la mayoría de las mediciones de continuidad arrojaron valores por debajo de los exigidos por la norma ANSI/NETA MTS de  $0,5 \Omega$ , certificando su unión con la malla de puesta a tierra; sin embargo, los puntos medidos que se encuentran sombreados presentaron valores que están por encima de la norma, dichos puntos muy posiblemente no se encuentren conectados a la malla o pueden estar sulfatados, por lo que se requiere que sean cambiados con el mayor apremio posible.

## **4.5 MEDICIONES DE RESISTIVIDAD DEL SUELO.**

Se realizaron las mediciones de resistividad en terrenos aledaños y dentro de la Estación usando el método de Wenner o método de los cuatros (4) electrodos, según lo referido en la normativa de la IEEE 80-2000.

### **4.5.1 Medición de la Resistividad del Suelo de la Estación de Rebombeo “2”.**

En este tramo se presentan los dos (2) perfiles en donde se midió la resistencia eléctrica del suelo, las mediciones del perfil #1 fueron realizadas en un terreno apartado pero dentro de las delimitaciones de la estación, se presentó un suelo compacto no natural con relleno superficial. Por otra parte, el perfil #2 se midió en un terreno aledaño de la Estación de Rebombeo; el terreno es compacto pero virgen, es decir sin ninguna modificación o relleno.

Debido a que en el perfil 1 se midió dentro de las instalaciones es muy posible que los valores fueran afectados por tuberías metálicas y el relleno que presenta el suelo, por lo tanto, en consideraciones de cálculos y simulaciones este perfil no será tomado.

En la figura 4.34 se presenta un esquemático de los perfiles medidos para el estudio de la resistividad del suelo.

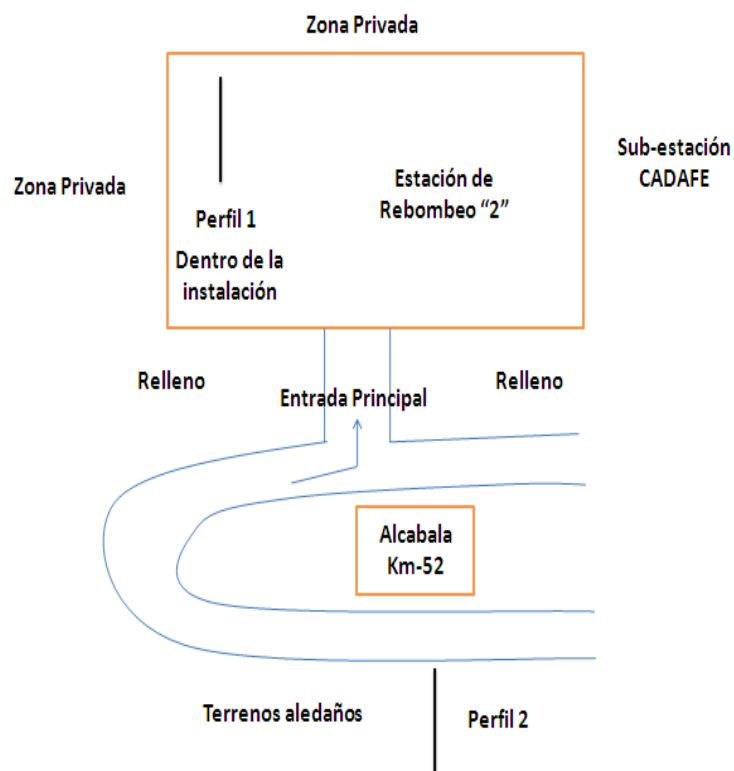


Figura 4.34. Esquema de mediciones de resistividad.

- **Perfil 1**

La tabla 4.2 muestra los valores obtenidos de la resistencia eléctrica del terreno y la distancia a la cual fueron colocados los cuatro (4) electrodos.

**Tabla 4.2. Resistencia eléctrica del suelo.**

Resistencia eléctrica del terreno		
N° de mediciones	Distancia de separación de electrodos (m)	Perfil 1 ( $\Omega$ )
1	0,30	245
2	0,70	104,90
3	1	83,60
4	2	31,00
5	3	11,82
6	4	5,76
7	5	3,55
8	6	2,44

Con los datos de resistencia eléctrica del suelo obtenidos se procedió a calcular la resistividad del suelo a través de la siguiente ecuación, la cual fue descrita en el capítulo II:

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

Donde b= 0,15 mts.

En la tabla 4.3 se expresan los resultados obtenidos al calcular la resistividad aparente del perfil 1, dentro de las delimitaciones del rebombeo.

**Tabla 4.3. Resistividad aparente del suelo (perfil 1).**

Resistividad del terreno		
N° de mediciones	Distancia de separación de electrodos (m)	Perfil 1 ( $\Omega.m$ )
1	0,30	607,65
2	0,70	496,10
3	1	544,33
4	2	391,52
5	3	222,80
6	4	144,765
7	5	111,525
8	6	91,985

Una vez que se tienen los valores de resistividad del perfil 1, se puede mostrar en la figura 4.35 el perfil de resistividad del suelo.

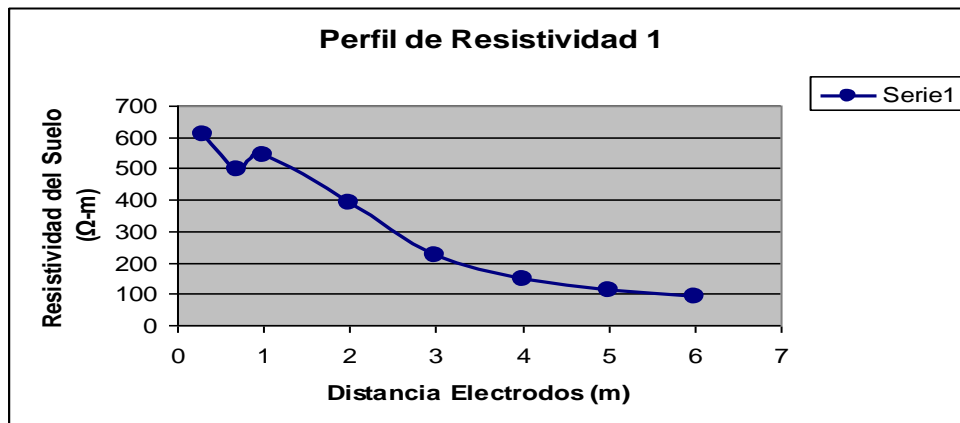


Figura 4.35. Perfil de resistividad del suelo.

El perfil de resistividad del terreno dentro de La Estación de Rebombeco "2" presenta un perfil descendente con capas no tan uniformes, desde 0.3m hasta 1m se presenta una irregularidad pero se puede tomar como la primera capa con valor de 607,65  $\Omega$ -m, a partir de 2m la capa dos (2) con un valor de 391,52  $\Omega$ -m.

- **Perfil 2**

La tabla 4.4 muestra los valores obtenidos de la resistencia eléctrica del terreno adyacente del rebombeco (perfil 2) y la distancia a la cual fueron colocados los cuatro (4) electrodos.

**Tabla 4.4. Resistencia eléctrica del suelo.**

Resistencia eléctrica del terreno		
N° de mediciones	Distancia de separación de electrodos (m)	Perfil 2 ( $\Omega$ )
1	0,30	24,70
2	0,70	13,56
3	1	7,47
4	2	3,22
5	3	1,946
6	4	1,652
7	5	1,243
8	6	0,98

Una vez calculada la resistividad del suelo con la fórmula anteriormente mencionada, en la tabla 4.5 se presentan los resultados del perfil 2, terreno virgen fuera de la estación.

**Tabla 4.5. Resistividad aparente del suelo (perfil 2).**

Resistividad del terreno		
N° de mediciones	Distancia de separación de electrodos (m)	Perfil 2 ( $\Omega \cdot m$ )
1	0,30	61,26
2	0,70	64,13
3	1	48,64
4	2	40,67
5	3	36,68
6	4	41,52
7	5	39,05
8	6	36,95

Una vez que se tienen los valores de resistividad del perfil 2, se muestra en la figura 4.36 el perfil de resistividad del suelo.

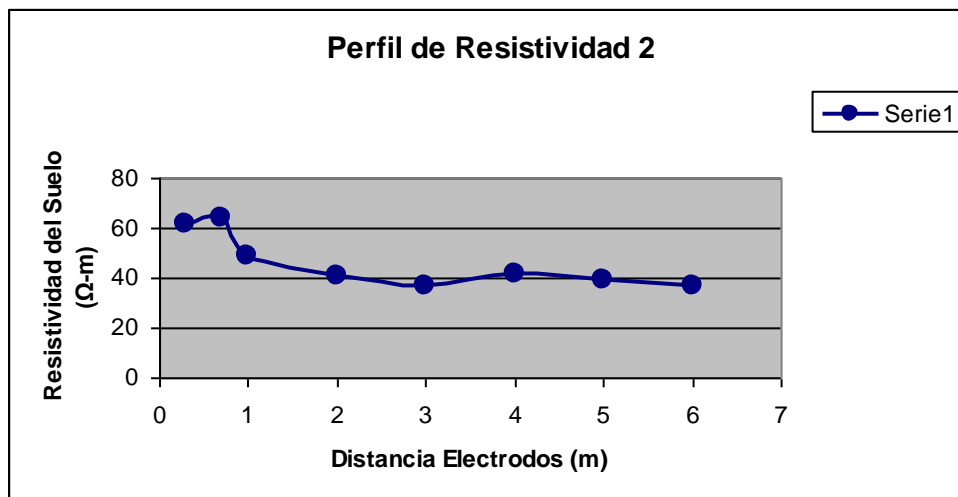


Figura 4.36. Perfil de resistividad del suelo.

En la figura 4.36 se observa un perfil descendente con capas uniformes, desde 0,3m hasta 0,7m se presenta cierta irregularidad pero



se puede nombrar la primera capa con un valor de 64,13  $\Omega$ -m, a partir de 1m la segunda capa con un valor de 48,64  $\Omega$ -m.

#### **4.6 MEDICIONES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.**

Para la obtención de estas mediciones fue utilizado el método de caída de potencial ya descrito en el capítulo II, con el objetivo de conocer si los valores de resistencia de los sistemas de puesta a tierra de La Estación de Rebombeco "2" se encuentran dentro de los parámetros que establece la norma IEEE 80-2000.

Se realizaron mediciones de resistencia eléctrica en los sistemas de puesta a tierra de la subestación eléctrica, la Sala de Bombeo Mesa, Sala de Bombeo Merey, el Sistema Contra Incendio y la Caseta de Arrancadores Mesa Externa.

Con estos valores se obtendrán tablas comparativas con los datos obtenidos en los cálculos teóricos y las simulaciones realizadas con el programa ETAP y así poder visualizar la variación que hay con el diseño original.

##### **4.6.1 Subestación.**

En la tabla 4.6 se muestran los resultados de las mediciones de resistencia eléctrica de la puesta a tierra de la subestación que alimenta al rebombeco.

Tabla 4.6. Mediciones de Resistencia de la Subestación.

Resistencia de Puesta a Tierra			
N° de mediciones	Distancia del electrodo de potencial (m)	Distancia del electrodo de corriente (m)	Resistencia medida ( $\Omega$ )
1	12	50	0,085
2	18	50	0,094
3	21	50	0,105
4	25	50	0,142
5	28	50	0,202
6	31	50	0,207
7	34	50	0,212
7	38	50	0,404
8	40	50	0,551

A partir de la tabla 4.6 se realiza la grafica de resistencia (Ohm) vs longitud (mts), la cual se muestra en la figura 4.37, donde se observa que valor de resistencia es de 0,207  $\Omega$ , mostrado en la región plana de la curva.

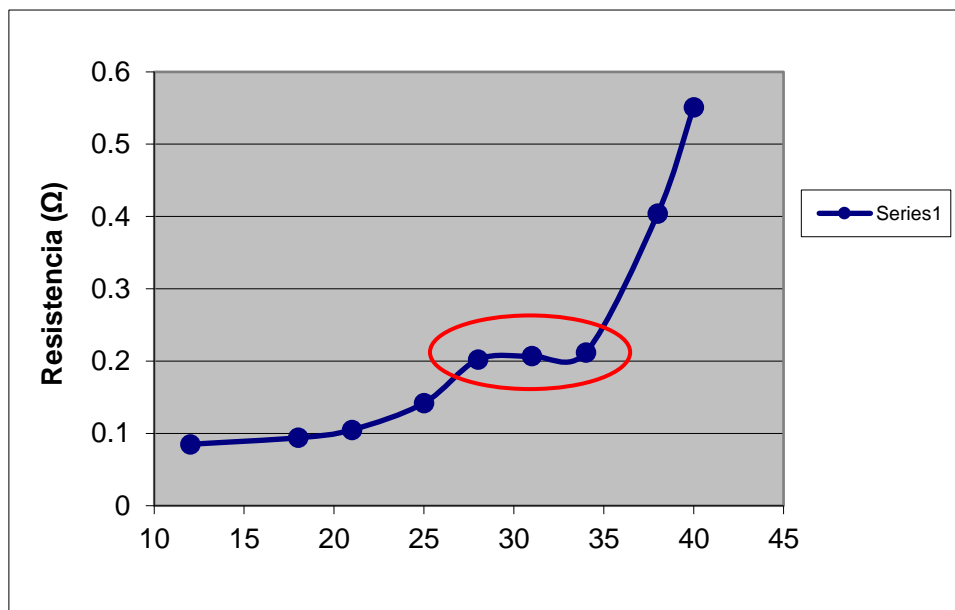


Figura 4.37. Gráfica resistencia vs longitud.

#### 4.6.2 Caseta de Arrancadores Mesa.

Los resultados de las mediciones de resistencia eléctrica de la puesta a tierra en la Caseta de Arrancadores Mesa se muestran en la tabla 4.7.

**Tabla 4.7. Mediciones de Resistencia Caseta de Arrancadores Mesa.**

Resistencia de Puesta a Tierra			
N° de mediciones	Distancia del electrodo de potencial (m)	Distancia del electrodo de corriente (m)	Resistencia medida ( $\Omega$ )
1	12	50	0,110
2	18	50	0,121
3	21	50	0,132
4	25	50	0,146
5	28	50	0,250
6	31	50	0,264
	34	50	0,277
7	38	50	0,391
8	40	50	0,453

De la figura 4.38 se puede obtener en la zona plana el valor de resistencia:  $0,264\Omega$ .

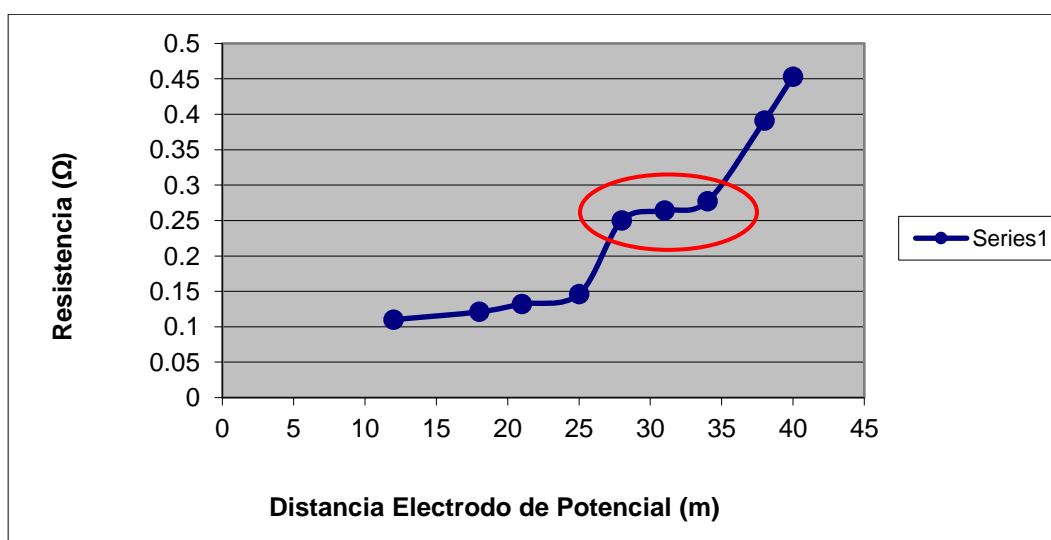


Figura 4.38. Grafica resistencia vs longitud.

#### 4.6.3 Sala de Bombeo Mesa.

Los resultados de las mediciones de puesta a tierra de la Sala de Bombeo Mesa se muestran en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8. Mediciones de resistencia Sala de Bombeo Mesa.**

Resistencia de Puesta a Tierra			
N° de mediciones	Distancia del electrodo de potencial (m)	Distancia del electrodo de corriente (m)	Resistencia medida ( $\Omega$ )
1	12	60	0,133
2	18	60	0,136
3	21	60	0,147
4	25	60	0,181
5	28	60	0,213
6	31	60	0,346
7	34	60	0,974
8	36	60	1,214
9	38	60	1,245
10	40	60	1,276
11	43	60	1,515
12	45	60	1,924

La figura 4.39 permite obtener el valor de la resistencia real de la puesta a tierra en la Sala de Bombas Mesa, cuyo valor es 1,245  $\Omega$ .

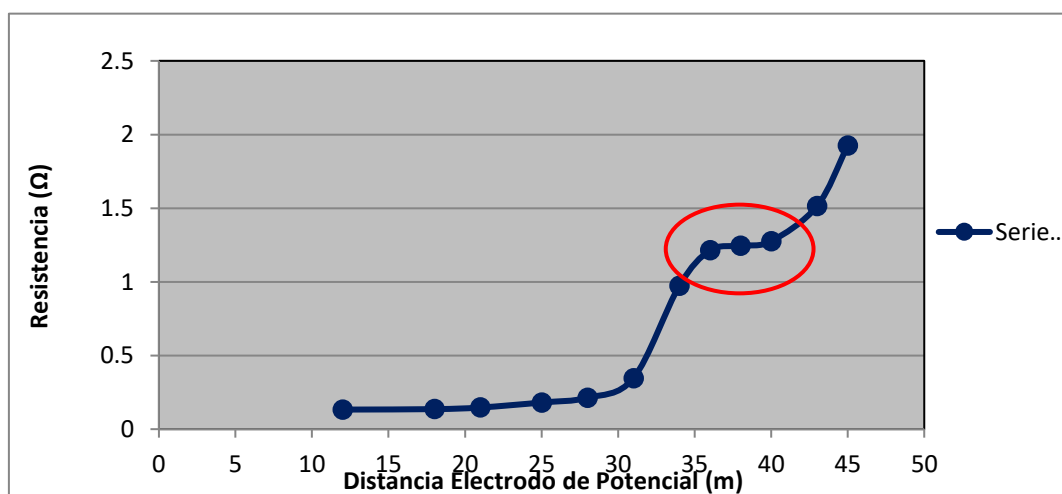


Figura 4.39. Grafica resistencia vs longitud.

#### 4.6.4 Sala de Bombeo Merrey.

Los resultados de las mediciones de puesta a tierra de la Sala de Bombeo Mesa se muestran en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9. Mediciones de resistencia Sala de Bombeo Merrey.**

Resistencia de Puesta a Tierra			
N° de mediciones	Distancia del electrodo de potencial (m)	Distancia del electrodo de corriente (m)	Resistencia medida ( $\Omega$ )
1	12	50	0,108
2	18	50	0,122
3	21	50	0,141
4	25	50	0,170
5	28	50	0,519
6	31	50	0,546
7	34	50	0,612
8	38	50	1,025

La figura 4.40 permite obtener el valor de la resistencia real de la puesta a tierra en la Sala de Bombas Merrey. El valor obtenido es 0,546  $\Omega$ .

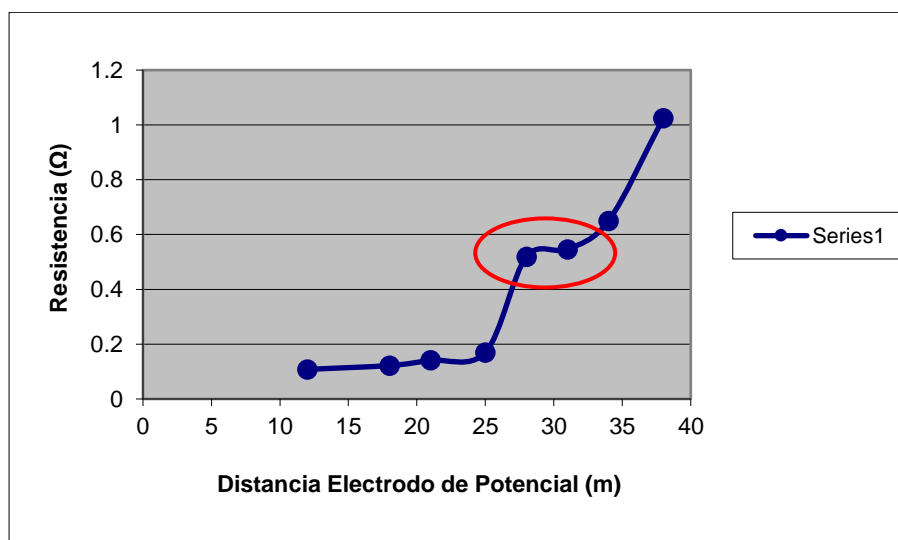


Figura 4.40. Grafica resistencia vs longitud.

#### 4.6.5 Sistema Contra Incendio (SCI).

Los resultados de las mediciones de puesta a tierra de la Sala de Bombeo Mesa se muestran en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10. Mediciones de resistencia Sistema Contra Incendio.**

Resistencia de Puesta a Tierra			
N° de mediciones	Distancia del electrodo de potencial (m)	Distancia del electrodo de corriente (m)	Resistencia medida ( $\Omega$ )
1	12	40	0,239
2	18	40	0,295
3	21	40	0,321
4	23	40	0,330
5	25	40	0,344
6	27	40	0,361
7	29	40	0,375
8	31	40	0,456
9	34	40	0,506
10	38	40	0,762

La figura 4.41 permite obtener el valor de la resistencia real de la puesta a tierra en el sistema contra incendio y valor aproximado es 0,344  $\Omega$ .

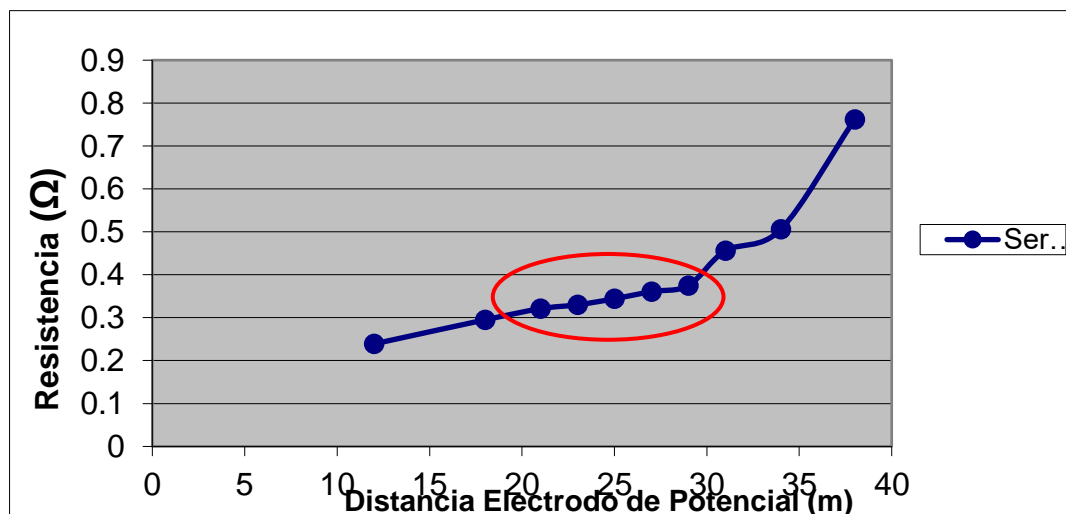


Figura 4.41. Grafica resistencia vs longitud.

Los valores medidos de resistencia de puesta a tierra en los diferentes puntos del rebombeo se encuentran dentro de los requerimientos que establece, incluso por debajo de 1 ohm, teniendo como resultado un sistema de puesta a tierra de bajo impedancia que permite el paso de corrientes de fallas de manera muy confiable y segura.

## **CAPÍTULO V**

### **CÁLCULOS TEÓRICOS Y SIMULACIONES**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN.**

El principal propósito de este capítulo se basa en realizar los cálculos de resistencia de puesta a tierra y voltajes de toque y paso, de los sistemas de mallas presentes en la Estación de Rebombeo “2”. Se hizo una evaluación completa de la malla de la subestación como lo establece la norma IEEE 80-2000 y se verificaron los valores de resistencia de los sistemas de mallas presentes en la Sala de Bombas Merrey, Sala de Bombas Mesa, Caceta de arrancadores Mesa y el Sistema Contra Incendios (SCI) teóricamente a través de la ecuación de Severat.

Es importante señalar que los cálculos se realizaron basándose en lo establecido por la Norma IEEE 80-2000 y mediante el programa ETAP, con la finalidad de establecer comparaciones con las mediciones realizadas y los valores ideales que arrojen los cálculos y simulaciones.

Para el desarrollo de este capítulo fueron tomados los datos suministrados por la empresa PDVSA y se tomó como valor de resistividad los obtenidos mediante las mediciones realizadas en campo, ya que en la información otorgada no se encuentran los criterios de resistividad tomados por la contratista que desarrolló el diseño original de puesta a tierra en la Estación de Rebombeo “2”.



## 5.2 CÁLCULOS TEÓRICOS DE LAS RESISTENCIAS DE PUESTA A TIERRA.

### 5.2.1 Malla de la Sala de Bombeo Mesa.

Los datos suministrados por la empresa correspondiente a la puesta a tierra son los siguientes:

Área;  $A = 85 \times 30 \text{ m}^2$

Espaciamiento;  $D = 5 \text{ m}$

Profundidad;  $h = 0,60 \text{ m}$

Calibre; 2/0 AWG

- **Resistencia teórica.**

Los cálculos de resistencia teórica se realizaran a través de la ecuación de Severat, tomando el valor mas critico de la resistividad del suelo y los valores geométricos de la malla:

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

Se calcula  $L_t$  (Longitud total de la malla) a través de la siguiente ecuación:

$$L_t = n \cdot A + mB$$

Donde:

$n$ : número de conductores paralelos del lado más largo (m)

$m$ : número de conductores paralelos del lado más corto (m)

A: lado más largo de la malla (m)

B: ancho de la malla (m)

$$L_t = 6 \times 85 + 17 \times 30$$

$$L_t = 1020 \text{ m}$$

Por último, tomando el valor de resistividad medido a 0,7m (distancia aproximada de enterrado de las mallas), el cual es 64,13  $\Omega$ -m, se procede a calcular el valor de la resistencia.

$$R_g = 64,13 \left[ \frac{1}{1020} + \frac{1}{\sqrt{20(2550)}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,70 \sqrt{\frac{20}{2550}}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,62 \Omega$$

Para la Sala de Bombeo Merrey, la Caseta de Arrancadores Mesa y el Sistema Contra Incendio (SCI) se realiza el mismo procedimiento y los datos obtenidos se muestran en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1. Valores Teóricos de Resistencia Eléctrica.**

Resistencias Teóricas						
Malla	Área (m <sup>2</sup> )	Espaciamiento (m)	Profundidad (m)	Calibre (AWG)	Longitud Total (m)	Resistencia ( $\Omega$ )
S.B. Merrey	42x30	6	0,60	2/0	420	0,93
SCI	70x25	5	0,60	2/0	700	0,75
C.A. Mesa	18x18	4,5	0,70	4/0	144	1,87

En tabla 5.2 se presentan los resultados obtenidos y los medidos en campo, de los cuales se resalta que los valores medidos son diferente a los valores teóricos; esto principalmente ocurre por los valores de resistividad registrados, acumulación de humedad y las conexiones entre mallas que forman un paralelo y por lo tanto la disminución de la resistencia. Se puede observar que el sistema de puesta a tierra de la Sala de Bombeo Mesa es la única que presenta una variación considerable, sin embargo, el valor todavía es tomado como excelente según lo que plantea la norma IEEE 80-2000, que es de 3  $\Omega$  para instalaciones de media tensión.

**Tabla 5.2. Comparación entre valores medidos y cálculos teóricos.**

Lugar	Valor teórico calculado con 64,13 $\Omega$ -m	Valor medido en campo
Sala de Bombeo Mesa	0,62 $\Omega$	1,245 $\Omega$
Sala de Bombeo Merey	0,93 $\Omega$	0,546 $\Omega$
Sistema Contra Incendio	0,75 $\Omega$	0,344 $\Omega$
caseta de Arrancadores Mesa	1,87 $\Omega$	0,264 $\Omega$

## 5.2.2 Malla de la Subestación de Potencia.

Se realizó la evaluación completa como lo establece la norma, la cual incluye cálculo de los voltajes de toque y paso (permisibles y reales) por ser una subestación. Así mismo se calculó su resistencia de puesta a tierra en forma teórica y simulada.

### 5.2.2.1 Cálculos Teóricos.

En la subestación se presenta una capa superficial de piedra picada, de resistividad  $\rho_s = 3000 \Omega$ -m y espesor aproximado de  $h_s = 0,10$ m. Se

tomará como resistividad el valor promedio más crítico arrojado en las mediciones, es decir, un  $\rho_1 = 64,13 \Omega\text{-m}$ , a una profundidad de 0.7m.

Con estos valores se procede al cálculo del factor de reflexión K.

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_s}{\rho_1 + \rho_s}$$

$$K = -0,95$$

Ahora con las curvas de K en la gráfica Cs vs hs, figura 2.11, se puede obtener un valor aproximado del factor Cs, siendo este el siguiente:

$$C_s = 0,68$$

Con los datos obtenidos con anterioridad se puede proceder a calcular los voltajes de toque y paso permisibles.

Los voltajes de toque permisibles se obtuvieron para una persona de 50kg y 70kg.

$$E_{toque50} = (1000 + 1,5C_s\rho_s) \frac{0,116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{toque50} = (1000 + 1,5 \times 0,68 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$E_{toque50} = 666,04 \text{ Volts}$$

$$\text{Etoque70} = (1000 + 1,5C_{\text{sps}}) \frac{0,157}{\sqrt{ts}}$$

$$\text{Etoque70} = (1000 + 1,5 \times 0,68 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$\text{Etoque70} = 901,45 \text{ Volts}$$

Los voltajes de paso permisibles se obtuvieron para una persona de 50kg y 70kg.

$$\text{Epasso50} = (1000 + 6C_{\text{sps}}) \frac{0,116}{\sqrt{ts}}$$

$$\text{Epasso50} = (1000 + 6 \times 0,68 \times 3000) \frac{0,116}{\sqrt{0,5}}$$

$$\text{Epasso50} = 2172,00 \text{ Volts}$$

$$\text{Epasso70} = (1000 + 6C_{\text{sps}}) \frac{0,157}{\sqrt{ts}}$$

$$\text{Epasso70} = (1000 + 6 \times 0,68 \times 3000) \frac{0,157}{\sqrt{0,5}}$$

$$\text{Epasso70} = 2939,69 \text{ Volts}$$

Seguidamente, se calculan valores de los voltajes de paso y toque reales de la malla en estudio, con el objetivo de verificar a través de comparaciones si estos se encuentran dentro de los límites de los permisibles.

La malla de la subestación presenta las siguientes características:

Área;  $A = 65 \times 45 \text{ m}^2$

Espaciamiento;  $D = 5 \text{ m}$

Profundidad;  $h = 0,70 \text{ m}$

Calibre; 4/0 AWG

Diámetro del conductor;  $d = 0,0133 \text{ m}$

El voltaje de toque real se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$E_p = K_m K_i \frac{I_{gp}}{L}$$

Se procede al cálculo de  $K_m$  y  $K_i$ , a través de las siguientes ecuaciones:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{D^2}{16hd} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} \dots \frac{2n-3}{2n-2} \right)$$

$$K_i = 0,656 + 0,172N$$

Donde  $N$  se calcula de la siguiente manera:

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

Donde Na y Nb son:

$$Na = \frac{45}{5} + 1 = 10$$

$$Nb = \frac{65}{5} + 1 = 14$$

$$N \approx 12$$

Los valores de Km y Ki, son los siguientes:

$$Km = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{5^2}{16 * 0,70 * 0,0133} \right) + \frac{1}{\pi} \ln \left( \frac{3}{4} * \frac{5}{6} * \frac{7}{8} \dots \frac{2(12) - 3}{2(12) - 2} \right)$$

$$Km = 0,3984$$

$$Ki = 0,656 + 0,172N$$

$$Ki = 2,720$$

La empresa suministró el valor de la máxima corriente de falla a tierra:

$$If = 6,85 \text{ KA}$$

Entonces se puede calcular IG, de la siguiente manera:

$$Ig = Df * Cp * If$$

Se obtiene Df (tabla 2.2) y Cp (descrito en el capítulo II).

$$Df = 1,077$$

Cp = 1,25 (Valor recomendado según el crecimiento de la Estación)

$$I_g = 1,077 * 1,25 * 6,85$$

$$I_g = 9,22 \text{ KA}$$

Por último, se realiza el cálculo de Lt, de la siguiente manera:

$$L_t = n.A + mB$$

$$L_t = 9 \times 65 + 13 \times 45$$

$$L_t = 1170 \text{ m}$$

Con todos los parámetros calculados, se procede a la obtención del voltaje de toque real:

$$E_p = 0,3984 * 2,720 \frac{9220 * 64,13}{1170}$$

$$E_p = 589,21 \text{ Volts}$$

El voltaje de paso real se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$E_p = K_s K_i \frac{I_g \rho}{L_t}$$

Para este parámetro solo hace falta el cálculo de Ks, a través de la siguiente ecuación:



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

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 * 0,70} + \frac{1}{(5 + 0,70)} + \frac{1}{2 * 5} + \frac{1}{3 * 5} + \dots + \frac{1}{(12 - 1)5} \right]$$

$$K_s = 0,4118$$

Por lo tanto, se puede obtener el valor del voltaje de paso real:

$$E_p = 0,4118 * 2,720 \frac{9220 * 64,13}{1170}$$

$$E_p = 566,06 \text{ Volts}$$

- **Resistencia teórica.**

$$R_g = 64,13 \left[ \frac{1}{1170} + \frac{1}{\sqrt{20(2925)}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,70 \sqrt{\frac{20}{2925}}} \right) \right]$$

$$R_g = 0,571 \Omega$$

### 5.2.2.2 Simulación.

Para simular se tomaron las siguientes consideraciones:

- ▶ Persona de peso corporal: 50Kg

- ▶ Corriente de corto circuito  $I_{cc}$ : 6,85KA
- ▶ Tiempo de despeje de la falla: 0.5seg
- ▶ Temperatura ambiental: 40°C

Las características de la malla:

- ▶ Area: 65x45 m<sup>2</sup>
- ▶ Distancia del reticulado: 5x5
- ▶ Profundidad: 0,70 m
- ▶ calibre 4/0 Cu AWG

De las mediciones de resistividad se toman las siguientes consideraciones:

- ▶ Resistividad de la capa de piedra picadaps: 3000  $\Omega$ -m
- ▶ Resistividad de la primera capa del terreno  $\rho_1$ : 64,13  $\Omega$ -m
- ▶ Resistividad de la segunda capa del terreno  $\rho_2$ : 48,64  $\Omega$ -m
- ▶ Profundidad de la primera capa del terreno: 0,7 m

En la figura 5.1 se muestra la configuración del terreno evaluado, imagen obtenida del simulador ETAP. El estudio se hace en dos capas, la ubicación de la malla se observa a 0,70m en la capa numero uno.

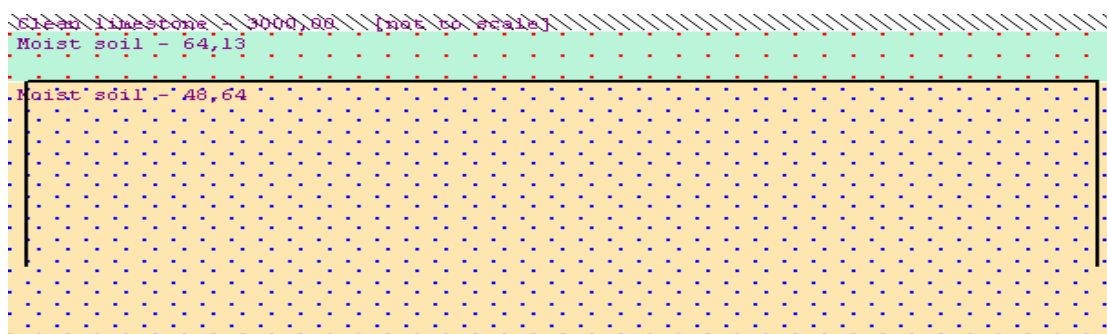


Figura 5.1 Imagen del estudio de los suelos simulador ETAP.

En la figura 5.2 se muestra la imagen en 3D de la malla ubicada en La Subestación del Rebombeco "2".

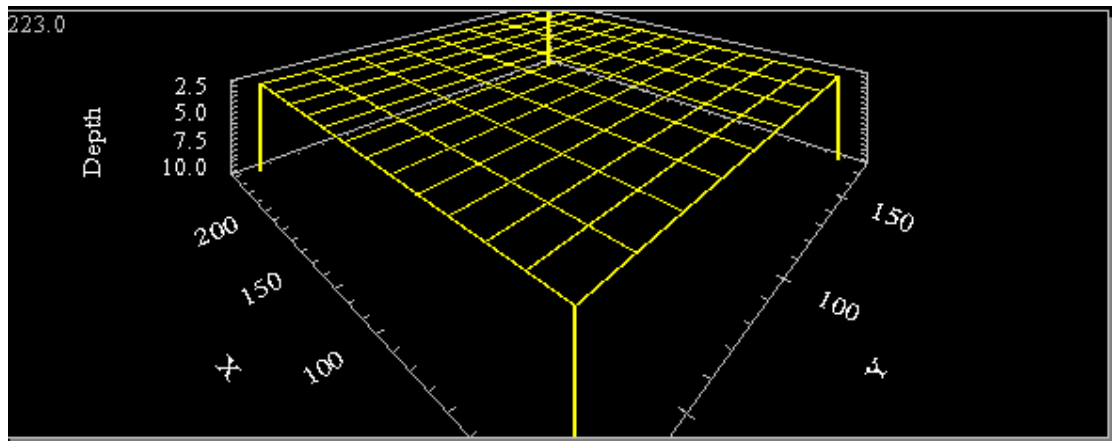


Figura 5.2 Vista 3D de la malla Subestación Rebombeco "2".

Una vez registrados los datos en el programa se simuló, obteniéndose los valores que se muestran en la figura 5.3.

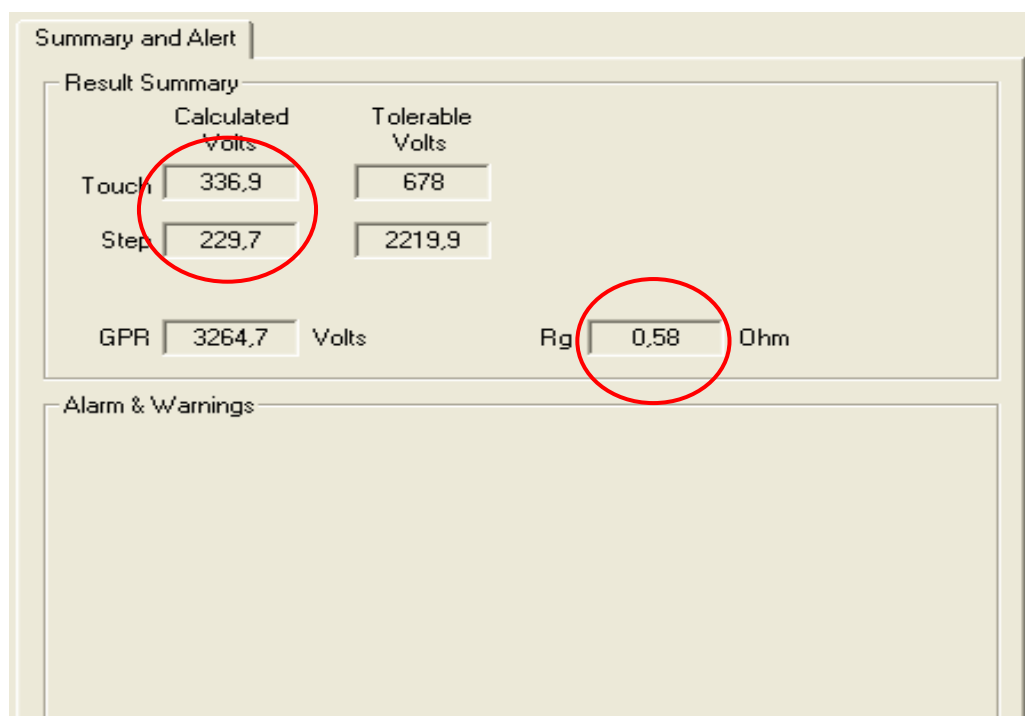


Figura 5.3 Resultados de la simulación.

En las tablas 5.3 y 5.4 se muestran los valores teóricos y simulados de la resistencia de puesta a tierra y los voltajes de toque y paso de la estación en comparación con el valor medido en campo.

**Tabla 5.3 Valores de resistencia.**

Lugar	Valor teórico calculado con 64,13 $\Omega$ -m	Valor Simulado ETAP	Valor medido en campo
S/E de la Estación de Rebombeo	0,571 $\Omega$	0,580 $\Omega$	0,207 $\Omega$

Puede parecer ilógico observar que el valor medido después de 20 años puede ser menor que el obtenido en el diseño original teóricamente, sin embargo hay una serie de factores que influyen en este caso. Como principal factor la resistividad medida en terrenos aleñados no es la misma que se uso en este diseño original, la malla de la subestación se encuentra unida a través de cable de cobre 4/0 AWG a la malla de la Caseta de Arrancadores Mesa lo que tiende a disminuir la resistencia (paralelo); y por último, pero no menos importante el nivel freático en la zona en estudio es muy elevado y con mayor humedad tiende al mejoramiento del terreno para la conducción de corriente, es decir, menos resistividad.

En la tabla 5.4 se presenta la comparación de los voltajes de toque y paso y si exceden o no los valores permisibles tanto simulados como teóricos. Se observa que los valores reales cáculados a través de bases teóricas y el simulador ETAP son menores a los valores permisibles para personas de 50kg y 70kg, cumpliendo con lo establecido en la Norma IEEE 80-2000.

**Tabla 5.4. Valores simulados y teóricos de los voltajes de toque y paso.**

	Voltajes de la malla mediante cálculos teóricos		Voltajes de la malla mediante el simulador ETAP	
	Reales	Permisibles	Reales	Permisibles
Voltaje de Toque (Volts)	589,21Volts	666,04Volts	336,90Volts	678Volts
Voltaje de Paso (Volts)	566,06Volts	2172,00Volts	229,70Volts	2219,90Volts

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE MEJORAS**

#### **6.1 INTRODUCCIÓN.**

Anteriormente se siguieron los pasos para realizarla evaluación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de la zona en estudio. Se obtuvieron los valores de resistividad del suelo (estudio del terreno) y la resistencia de puesta a tierra. Todo esto con la finalidadde realizar el estudio y generar propuestas que pueden resultar como mejoras a las instalaciones de la Estación de Rebombeo “2”.

El problema más relevante se debe a la unión en una misma red de puesta a tierra de los equipos de comunicación, instrumentación y potencia; la ocurrencia de fallas se relacionan con los equipos de baja tensión, debido a altas corrientes provocadas por fallas y la incidencia de rayos.

A pesar de que los resultados obtenidos en las mediciones de puesta a tierra son aceptables y hace parecer que no se requiere establecer ninguna mejora en el sistema, la puesta a tierra del rebombeo cuenta con más de 20 años de operación; por lo tanto, hay pequeños detalles que deben ser afinados para el sistema actual. Es por eso que se generan propuestas que pueden ser necesarias y útiles para la empresa, enfocadas hacia planes de mantenimiento que permitan mantener en buen estado el sistema.

Así mismo, se planteó una solución para mejorar o sustituir la protección contra descargas atmosféricas actual (tipo erizo o multipuntas),

la cual cuenta con un conjunto de reportes negativos que avalan su mal funcionamiento desde el 2001, año de su instalación.

## **6.2 MEJORAS EN EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.**

### **6.2.1 Bobinas de Choque.**

Tal vez, sea esta la propuesta más razonable a aplicar en las instalaciones del rebombado, ya que los problemas que mayormente se presentan en cuanto a fallas o rayos están ocurriendo principalmente en los equipos de bajo nivel de voltaje (equipos sensibles), por lo que requieren un cuidado más intenso en su puesta tierra.

#### **6.2.1.1 Objetivos de las bobinas de choque.**

1. Disminuir la tasa de cambio ( $di/dt$ ) de las corrientes en modo común originadas por rayos para reducir la magnitud de las sobretensiones en modo diferencial en los cableados de los equipos sensibles.
2. Reducir las sobretensiones conducidas (originadas por la corriente de un rayo) en una instalación eléctrica.
3. Mantener la equipotencialidad entre puestas a tierras en condiciones de funcionamiento normal.
4. Optimizar el funcionamiento de la puesta a tierra de sistemas de protección contra rayos.

### 6.2.1.2 Análisis del circuito.

En la figura 6.1 se presenta un circuito simplificado de la puesta a tierra de protección contra rayos interconectada con otra puesta a tierra a través de una bobina de choque.

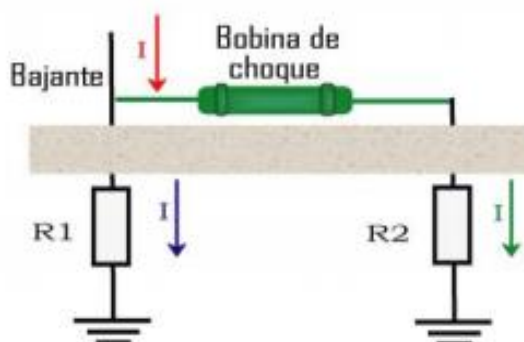


Figura 6.1 Circuito simplificado de una bobina de choque

Si se analiza lo que sucede cuando una corriente de rayo es interceptada y conducida a tierra por medio de un bajante, la respuesta del sistema es muy simple: un divisor de corriente. Pero si se instala una bobina de choque entre las dos puestas a tierra se obtienen las siguientes ventajas:

- Reducción de las corrientes en modo común.
- Menor tensión en modo diferencial de los cableados cercanos a los puntos por donde circulan las corrientes en modo común.
- Menor intensidad de campo magnético dentro de la instalación.
- La bobina actúa como filtro paso-bajo, bloqueando las corrientes con origen en las tensiones inducidas en los bajantes por ondas electromagnéticas de altas frecuencias.



### 6.2.1.3 Montaje sugerido.

Como una bobina de choque esta destinada a acoplar dos o más sistemas de puesta a tierra, el montaje más práctico es cerca de un barraje equipotencial como se muestra en la figura 6.2.

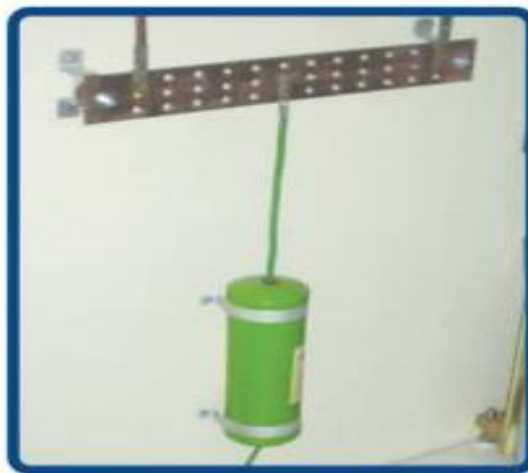


Figura 6.2. Montaje sugerido de la bobina de choque.

### 6.2.1.4 Desventajas de las bobinas de choques.

La única objeción que se plantea a la bobina es la posible sobretensión entre los dos extremos de la misma. Sin embargo, el tiempo de duración de la sobretensión es muy corto para permitir el proceso de falla de aislamiento y por lo tanto la formación de un arco entre los extremos.

### 6.2.2 Sustitución de Conexiones Típicas.

En las inspecciones visuales se observó que muchas de las conexiones típicas de los equipos, estructuras, rejillas y barras se encuentran en deterioro. Por lo tanto, es necesario que estos puntos de conexión (descritos en el capítulo IV) sean cambiados con la mayor

prontitud posible, es importante tener en cuenta que cumplir con conexiones típicas en buen estado significa contar con un sistema de puesta a tierra que brinde mayor confiabilidad y seguridad.

Por otra parte, se vieron algunos puntos de conexión faltantes, seguramente hurtados; los cuales deben ser instalados o colocados con la mayor prontitud posible. En cuanto a las barras equipotenciales de puesta a tierra se recomienda que se hagan cambios por desgaste en la Caseta de Arrancadores Mesa, Caseta de Arrancadores Merey, Sala de Comunicación y La Caseta del Generador de Emergencia debido al tiempo de uso o si es posible aplicar mantenimiento de limpieza. Las barras ubicadas en la Sala de Control se encuentran en óptimo estado.

En la tabla 6.1 se muestran las conexiones necesarias de los equipos que arrojaron valores fuera de norma en las mediciones de continuidad para verificar su conexión a la malla de puesta a tierra.

**Tabla 6.1. Conexiones de Puesta a Tierra a instalar.**

<b>Equipo</b>	<b>Conductor</b>	<b>Tipo de Conexión</b>
Transformador Mesa (TPA-03)	2/0 Cu AWG	Apernada
Arrancador E5-05	2/0 Cu AWG	Apernada
Reja Entrada	2/0 Cu AWG	Apernada
Transformador (TPA-09)	2/0 Cu AWG	Apernada
Motor 7 Mesa	2/0 Cu AWG	Apernada
Patín Generador de Emergencia	1/0 Cu AWG	Apernada
Sistema de Aire Acondicionado	2/0 Cu AWG	Apernada

### **6.3 MEJORAS DE LA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.**

El verdadero y grave problema que está presentando la empresa se debe principalmente a este punto, la protección contra descargas atmosféricas. Dado que se midieron valores dentro de la normativa hasta por debajo de 1 ohm en la puesta a tierra y sus puntos de continuidad fueron verificados, es posible, que la PCDA sea el sistema que falla en las instalaciones. De hecho desde 2001 cuando se hizo este experimento de instalar puntas tipo erizo o multipunta Franklin en el rebombear se intensificaron la caída de rayos y no hay reportes de ninguno absorbido por la protección actual.

Este grave error simplemente se debe a que este tipo de protección no cuenta con ninguna norma establecida ni en el Código Eléctrico Nacional y ni en normas internacionales como la IEEE. Por lo tanto, la protección contra descargas atmosféricas tipo Franklin Multipuntas no se ajusta a las normativas o reglamentos de la empresa (PDVSA).

Las normas PDVSA establecen como base principal son las normas europeas, la IEC 62305 y la NFPA-780 por nombrar algunas y ellas solo hacen mención a la punta de Franklin convencional de 24" (explicada en el capítulo II) para la protección contra descargas atmosféricas.

También se cuenta con los reportes de daños descritos en capítulo IV que simplemente avalan que la protección contra descargas atmosféricas actuales se encuentran en un estado inoperable; además, no hay indicio alguno ni histórica ni visualmente de que alguna punta de Franklin multipuntas allá sido alcanzada por un rayo. Por lo tanto, en estas mejoras se propondrán diseños basados en normas, donde se

tomaran en cuenta las distancias de la estructuras, análisis de riesgo, entre otros factores.

### 6.3.1 Diseño de las Salas de Bombas Mesa y Merey.

- **Selección del nivel de protección.**

El primer paso a seguir es definir el nivel de protección para los sistemas de pararrayos.

Frecuencia aceptada de descargas a estructuras (Nc): el valor de Nc puede ser estimado del análisis de riesgo tomando en cuenta factores apropiados, tales como:

- Tipo de construcción.
- Presencia de sustancias explosivas e inflamables.
- Medidas adoptadas para reducir los efectos derivados de impactos de rayos.
- Cantidad de personas relacionadas con el daño.
- Tipo e importancia de los servicios públicos relacionados.
- Valores de bienes susceptibles a daños.

A través de la siguiente ecuación se calcula el factor Nc:

$$N_c = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{C} \quad (6.1)$$

Donde:

$$C = C_2 * C_3 * C_4 * C_5 \quad (6.2)$$

- **Determinación de los coeficientes C1, C2, C3, C4 y C5.**

De la tabla 6.2 se obtiene el valor de  $C1 = 0,75$ ; la estructura se encuentra localizada dentro de un espaciamiento con tanques y otras estructuras más pequeñas.

**Tabla 6.2. Coeficiente entorno de la construcción C1.(UNE 21 185)**

<b>Coeficiente situación relativa a la estructura C1</b>	
Estructura situada en un espacio donde hay otras estructuras o árboles de la misma altura o más altos.	0,5
Estructura rodeada de estructuras más bajas.	0,75
Estructura aislada.	1
Estructura aislada situada sobre una colina o promontorio.	2

De la tabla 6.3 se determina el coeficiente  $C2 = 0,5$ ; estructura metálica con techo de metal.

**Tabla 6.3. Coeficiente de estructura C2. (UNE 21 185)**

<b>Coeficiente de estructura C2</b>			
Estructura Tejado	Metal	Común	Inflamable
Metal	0,5	1	2
Común	1	1	2,5
Inflamable	2	2,5	3

De la tabla 6.4 se obtiene el coeficiente  $C3 = 5$ , relacionado con el contenido interno de la estructura (bombas, motores, paso de petróleo, equipos electrónicos).

**Tabla 6.4. Coeficiente contenido de la estructura C3. (UNE 21 185)**

<b>Coeficiente contenido de la estructura C3</b>	
Sin valor o no inflamable	0,5
Valor común o normalmente inflamable	2
Gran valor o particularmente inflamable	5
Valor excepcional, irremplazable o muy inflamable, explosivo	10

De la tabla 6.5 se obtiene el valor de  $C4 = 3$ , estructura que se encuentra normalmente ocupado por trabajadores.

**Tabla 6.5. Coeficiente ocupación de la estructura C4. (UNE 21 185)**

<b>Coeficiente ocupación de la estructura C4</b>	
No ocupada	0,5
Ocupada normalmente	3
De difícil evacuación o riesgo de pánico	7

Por último, de la tabla 6.6 se consigue el valor de  $C5 = 5$ , se requiere de la continuidad del servicio y se puede presentar serias consecuencias sobre el entorno.

**Tabla 6.6. Coeficiente de consecuencia sobre el entorno C5. (UNE 21 185)**

<b>Coeficiente consecuencia sobre el entorno C5</b>	
Sin necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	1
Necesidad de continuidad en el servicio y alguna consecuencia sobre el entorno	5
Consecuencias para el entorno.	10

Con el análisis concluido se puede calcular el factor C por medio de la ecuación 6.2.

$$C = 0,5 * 5 * 3 * 5 = 37,5$$

Por lo tanto, se procede al cálculo de Nc:

$$N_c = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{37,5} = 4 \times 10^{-5}$$

Para aplicar la norma es necesario el cálculo de la frecuencia de descargas esperadas, factor Nd.

$$N_d = N_g * 1,1 * A_e * C_1 * 10^{-6} \quad (6.3)$$

Donde:

$$N_g = 0,04 \times (T_d)^{1,25} \quad (6.4)$$

Ng: Número total de descarga a tierra (descarga/ km<sup>2</sup>-año).

Td: Nivel Ceraúnico (días de tormenta al año).

Ae: Área colectora equivalente de la estructura (m<sup>2</sup>).

C1: Coeficiente entorno de la construcción (estructura rodeada de otras más bajas).

1,1: Coeficiente de seguridad ligado a la evolución de los rayos.

Según el estudio realizado por la Universidad Simón Rodríguez, "Actividad de Rayos en Venezuela, utilizando la data del sensor óptico (LIS) del proyecto TRMM de la NASA", se tomó un valor aproximado de 50 tormentas anuales en la zona de estudio para el nivel cerámico, ver figura 6.3, se calcula  $N_g$ :

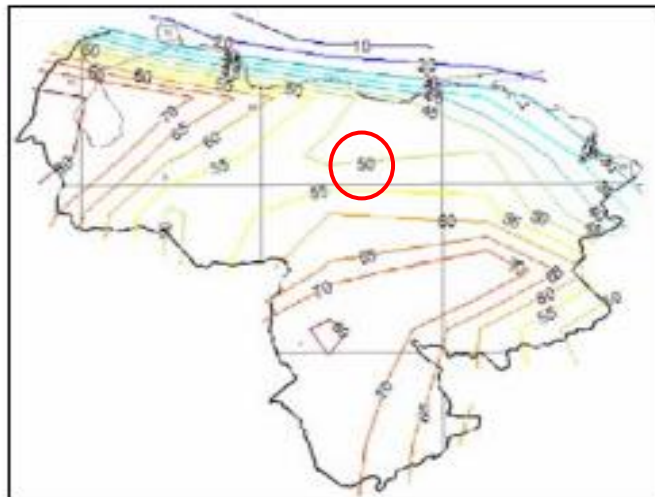


Figura 6.3. Días de tormentas al año en Venezuela.

$$N_g = 0,04 \times (50)^{1,25}$$

$$N_g = 5,32(\text{descar./ Km}^2 - \text{año})$$

Una vez calculado  $N_g$  y contando con el área de las dos estructuras, las cuales son Amesa= 1034,38 m<sup>2</sup> y Amerrey= 495,28 m<sup>2</sup>, se realiza el cálculo de  $N_d$  para Mesa y Merrey respectivamente.



- Sala de Bombeo Mesa, factor Nd.

$$Nd = 5,32 * 1,1 * 1034,38 * 0,75 * 10^{-6}$$

$$Nd = 0,00454$$

- Sala de Bombeo Merrey, factor Nd.

$$Nd = 5,32 * 1,1 * 495,28 * 0,75 * 10^{-6}$$

$$Nd = 0,00217$$

La norma NFPA-780 en su cláusula H.6.1 indica lo siguiente:

- Si  $Nd \leq Nc$  el sistema de protección es opcional.
- Si  $Nd > Nc$  el sistema de protección es necesario.

En el casode las dos salas de bombas se cumple que  $Nd > Nc$ , por lo tanto se debe rediseñar el sistema de protección contra descargas atmosféricas, con un nivel de protección adecuado, de eficiencia (E):

$$E \geq 1 - \frac{Nc}{Nd} \quad (6.5)$$

- Sala de Bombeo Mesa.

$$E \geq 1 - \frac{0.00004}{0,00454} \geq 0,99$$

$$E_{min} = 0,99$$

- Sala de Bombeo Merey.

$$E \geq 1 - \frac{0.00004}{0,00217} \geq 0,98$$

$$E_{\min} = 0,98$$

De acuerdo a la figura 6.4, la IEC 1024-1, en su Tabla 3, se tiene que el nivel de protección requerido es de Clase I, de eficiencia 99% y 98%.

<b><i>Nivel de Protección</i></b>	<b><i>Eficiencia del SPR</i></b>
I	0.98
II	0.95
III	0.90
IV	0.80

Figura 6.4. Tabla 3, IEC 1024-1.

El diseño del sistema de protección contra impacto directo de rayos está basado en modelos electrogeométricos, como los señalados en las normas IEEE Std. 998-1996 (R2002), NFPA 780 e IEC-62305-1.

El método que se usa para determinar la disposición de los pararrayos, será el de la “esfera rodante”. De acuerdo con este método, los elementos captadores de rayos generan zonas de protección equivalentes a esferas que se rotan respecto de dichas puntas y la superficie del suelo, de forma que existen zonas cubiertas por éstos, que permiten asegurar con una alta probabilidad, que si un rayo ingresa a la zona de protección, la descarga se producirá en los pararrayos y no en las estructuras protegidas.

Según la figura 6.5, la Tabla VII. UNE 21 185 Tabla I. Colocación del dispositivo captador, se tiene que se empleará el método de la esfera rodante con un ángulo  $\alpha=25$  (por ser nivel de protección I).

Tabla VII. UNE 21 185 Tabla I. Colocación del dispositivo captador							
Nivel de protección	d(m)	H(m)	20 $\alpha$	30 $\alpha$	45 $\alpha$	60 $\alpha$	Dimensión de las mallas (m)
I	20		25	*	*	*	5
II	30		35	25	*	*	10
III	45		45	35	25	*	10
IV	60		55	45	35	25	15

(\*) Se emplea la esfera rodante y la malla en estos casos.

Figura 6.5. Tabla VII. UNE 21 185 Tabla I.

El diámetro de la esfera rodante se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Sen } \alpha = 1 - \frac{h}{d}$$

$$d = \frac{h}{1 - \text{Sen } \alpha}$$

$$d = \frac{9,507}{1 - \text{Sen}(25)} = 16,47 \text{ m}$$

Para el diseño se usaran puntas Franklin de 24" (0,60mts) de longitud. Las puntas Franklin se unen por cable 2/0 Cu AWG, estarán separadas a 8 m entre ellas y a 0,6 m de las orillas del techo como lo

indica la norma NFPA-780 y los bajantes se ubican cada 5 m del lado más largo partiendo de referencia "0" por las esquinas, como requerimiento del Sistema de Protección contra Rayos con nivel I.

En la figura 6.6 se muestra el ancho (11,936 m) de las estructuras de la Sala de Bombeo Mesa y Merrey, con su respectiva protección contra descargas atmosféricas, se colocaron tres puntas Franklin y se procedió a través del método de la esfera rodante a demostrar que la estructura se encuentra dentro de la zona de protección.

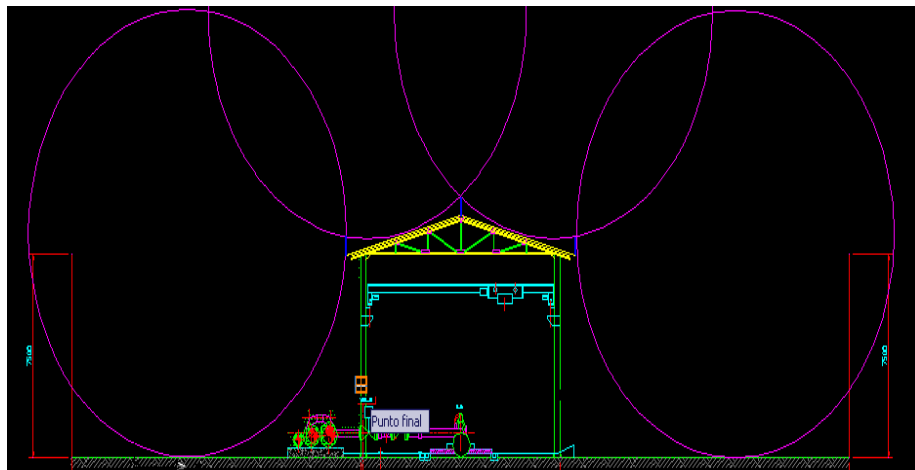


Figura 6.6. Estructuras Mesa y Merrey protegidas de ancho.

En la figura 6.7 se presenta el arreglo a lo largo de la Sala de Bombeo Mesa, el diseño en 80 metros de largo requirió el uso de nueve (9) puntas de Franklin para que la estructura quede protegida.

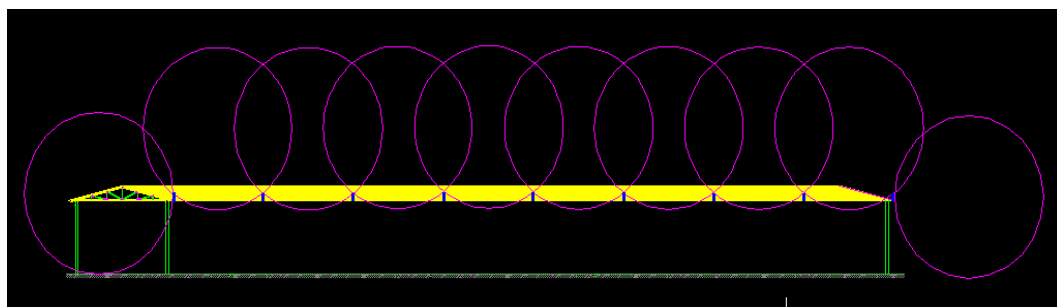


Figura 6.7. Estructura Mesa lado mas largo.

En el diseño final de la estructura de la Sala de Bombeo Mesa se utilizó un total de 27 puntas Franklin de 24"; las puntas se encuentran unidas a través de cable desnudo de cobre 2/0 AWG y separadas a 10m, dándole confiabilidad al sistema a lo hora de una descarga. Los bajantes deben colocarse a no más de 5 metros. De esta forma se cumplió protegiendo toda la estructura basando el diseño en análisis de riesgo y lo establecido por las normas.

Por último, en la figura 6.8 se presenta el lado más largo de la estructura de la Sala de Bombeo Merey (40m), se observa que la estructura se encuentra totalmente protegida. Se utilizaron para el diseño 5 puntas de Franklin para el lado más largo. En total se colocaron 15 Puntas Franklin de 24".

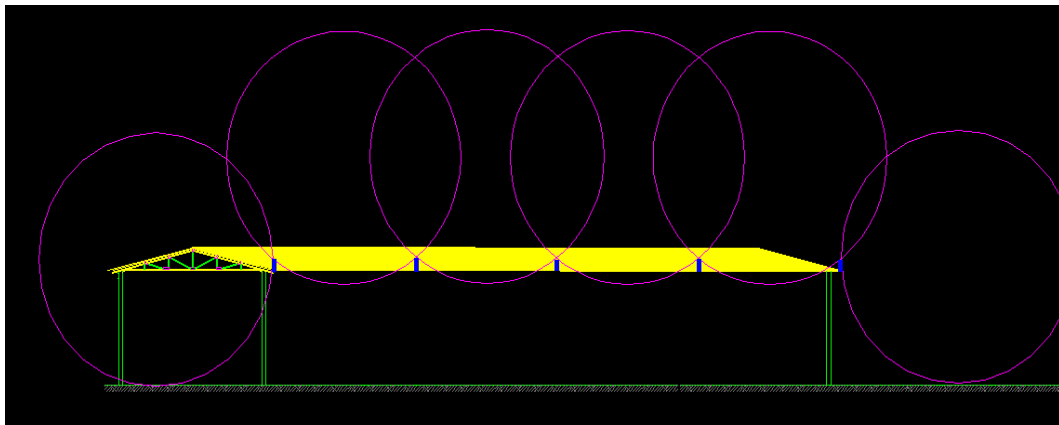


Figura 6.8. Estructura Merey protegida lado más largo.

Este diseño estará anillado, es decir, unido a través de cable 2/0 desnudo y las puntas están separadas a 10m, con la finalidad de darle mayor confiabilidad al sistema de protección. Los bajantes estarán ubicados a no más de 5 metros como requerimiento del nivel de protección I.

## **6.4 PLANES DE INSPECCIÓN.**

Se basan en programas de mantenimiento preventivos y deben ser ejecutados por la Gerencia de Coordinación Operacional Faja (COF), como su palabra lo indica consiste en detectar posibles fallas antes de que sucedan de ahí lo preventivo y así poder corregirlas. Estas inspecciones deben ejecutar por lo menos dos (2) veces al mes según la Norma ANSI/NETA y aplicarse en los equipos relevantes de la Estación de Rebombear: motores, transformadores, Centro de Control de Motores, Centro de Distribución de Potencia, arrancadores, tableros, entre otros equipos.

### **6.4.1 Inspecciones Visuales.**

Consiste en realizar visitas técnicas a las instalaciones con la finalidad de detectar por medio de la observación directa y a través de registros fotográficos las conexiones de los equipos de potencia, control y comunicación que forman parte de la Estación de Rebombear "2". De esta forma, se harán registros tanto cualitativos como cuantitativos de las anomalías que puedan observarse.

Es recomendable realizar estas inspecciones por lo menos de forma quincenal (15 días), es decir, dos (2) veces mensualmente.

### **6.4.2 Mantenimiento Predictivo (Inspección Instrumental).**

Es aquel que se realiza con la ayuda de instrumentos como el termovisor o el osciloscopio digital. A continuación se presenta la explicación del uso y funcionamiento de estos equipos:

### 6.4.2.1 Termografía.

Es un aparato el cual permite detectar, sin necesidad de contacto físico o mecánico, los focos que se sobrecalientan y que eventualmente representan zonas de posibles interrupciones, presentes en los puntos de conexión de los equipos de potencia. Este equipo permite obtener imágenes instantáneas, que faciliten la toma de decisiones.

Este tipo de inspección debe ser realizada en horas de mayor carga y cuando la luz solar sea más débil, con el fin de evitar lecturas erróneas. Hay algunos componentes críticos que deben ser considerados en el momento de llevar a cabo la inspección. En la tabla 6.7 se presentan los criterios de evaluación a la hora de analizar los resultados obtenidos de la inspección termográfica.

**Tabla 6.7. Criterios de Evaluación Termográfica**

<b>Aumento de Temperatura</b>	<b>Evaluación</b>
1 - 5 °C	No indica problema. La inspección se considera normal
5 -10 °C	Mantener en observación el equipo bajo estudio y esperar una próxima inspección
10 - 35 °C	Se debe reparar el equipo lo antes posible
>35°C	Se debe reparar el equipo de inmediato

### 6.4.2.2 Osciloscopio digital.

El osciloscopio o también llamado oscilógrafo, es un instrumento el cual permite la medición de señales de voltajes con el cual es posible realizar el diagnóstico para la presencia de descargas parciales en

máquinas eléctrica, en la Estación de Rebombéo sería usado para transformadores de potencia, motores, entre otros. Con esta prueba es posible determinar la forma y ubicación del fenómeno de descargas parciales internas en los equipos de potencia sin necesidad de ser desenergizados. En la tabla 6.8 se muestra el criterio para la aceptación y estado de la descarga parcial.

**Tabla 6.8. Criterios de Aceptación de Descargas Parciales.**

<b>Clasificación</b>	<b>Magnitud de la Señal</b>
Normal	20.00 - 200.00 mV
Normal con desviaciones	200.00 - 500.00 mV
Normal con desviaciones significativas	500.00 - 1000.00 mV
Grave	1000.00 - 5000.00 mV
Ante Avería	>5000.00 mV

Estas dos evaluaciones deben realizarse en un periodo de dos (2) veces anual, es decir, cada seis (6) meses.

## **6.5. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTOS.**

Este programa de mantenimiento preventivo se realiza en los equipos, como motores, transformadores, celdas, arrancadores, entre otros; para mantenerlos en condiciones operativas, antes que presenten fallas o aparezcan indicios de ellas. Consiste en la realización de pruebas exhaustivas, como de sobretensión, rigidez dieléctrica o aislamiento, verificación de conexiones, limpieza general, entre otros; en cada uno de los equipos.



Se recomienda realizar este mantenimiento preventivo una vez  
anualmente según Norma ANSI/NETA.

## CONCLUSIONES

Una vez culminadas las visitas a campos y terminada la evaluación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de La Estación de Rebombéo "2" (Km-52), se puede concluir lo siguiente:

1. Las inspecciones visuales permitieron verificar las conexiones típicas de puesta a tierra de los equipos y estructuras, la mayoría se encontraban conectadas a excepción de la estructura del sistema de aire acondicionado de la Sala de Control, el patín del Generador de Emergencia, la reja de entrada de la subestación. Se certificó que algunas conexiones y barras equipotenciales se encuentran deterioradas y deben ser cambiadas por el personal de la empresa. Así mismo, se inspeccionó el sistema de Protección Contra Descargas Atmosféricas consiguiendo irregularidades como la desconexión de bajantes y la conexión de los mismos directamente a las estructuras a proteger.
2. Los valores obtenidos en las mediciones de continuidad realizadas en La Estación de Rebombéo "2" mostraron que la conexión a tierra del transformador Mesa (TPA-03), Arrancador E5-05, la reja de la entrada, transformador (TPA-09), Motor 7 Mesa dieron por encima de lo establecido por la norma ANSI/NETA MTS, superando los 0,5  $\Omega$ .
3. Se obtuvo el perfil de resistividad mediante el método de Wenner de los terrenos aledaños a la Estación de Rebombéo "2", dando como valor más crítico 64,13  $\Omega$ -m e indicando un perfil descendente. Los valores de resistencia eléctrica obtenidos por el método de caída de potencial fueron los siguientes: subestación 0,207 $\Omega$ , Caseta de Arrancadores Mesa 0,264 $\Omega$ , Sala de Bombeo Mesa 1,245 $\Omega$ , Sala de

Bombeo Merey  $0,546\Omega$  y Sistema Contra Incendio  $0,344\Omega$ ; los valores se encuentran dentro de lo establecido por la norma IEEE 80-2000, se determinó entonces que el sistema de puesta a tierra en general se encuentra en óptimas condiciones de operación.

4. Los valores obtenidos de resistencia de puesta a tierra mediante los cálculos teóricos de las salas de bombas, sistema contra incendio y caseta de arrancadores Mesa se encuentran bajo lo establecido en la normativa IEEE Std. 80-2000. Las diferencias entre los valores del diseño original y los medidos se debe a factores como la resistividad del terreno, humedad, conexión entre sistemas de puesta a tierra. La puesta a tierra de la subestación, pese al tiempo de operación, presenta un funcionamiento excelente, con un valor de resistencia obtenido en cálculos teóricos y simulación inferior a 1 ohm, los voltajes de toque y paso se encuentran dentro de los rangos permisibles para personas de 50kg y 70kg, cumpliendo con los requerimientos de la normativa.
5. En el sistema de puesta a tierra se identificó que los electrodos presentan una resistencia eléctrica menor de lo establecido por la norma, sin embargo, la conexión de los equipos y el electrodo no está adecuada según la norma NETA, y dado que un sistema de puesta a tierra es el conjunto de conexiones entre electrodos y todas las partes metálicas de los equipos y componentes, esa unión es la que permite tener un sistema de puesta a tierra seguro.
6. Se propusieron los diseños de protección contra descargas atmosféricas de las Salas de Bombas Mesa y Merey tomando como base las normas CEI 61024-1 (1990), UNE 21 185, NFPA-780 e IEC 62305 que establecen la punta Franklin convencional de 24" para diseños. Se ubicaron tres (3) puntas de ancho por nueve (9) de largo

en la Sala de Bombeo Mesa y tres (3) de ancho por cinco (5) de largo en la Sala de Bombeo Merey, la separación entre puntas es de 10 m. Las estructuras quedaron totalmente protegidas ya que se utilizó el método de la esfera rodante con un diámetro de 16,47m, nivel de protección I obtenido por eficiencia.

## RECOMENDACIONES

1. Implementar el nuevo diseño de la Protección Contra Descargas Atmosféricas.
2. Se recomienda realizar un registro de fallas para calcular posteriormente la confiabilidad del sistema de la Protección Contra Descargas Atmosféricas y los sistemas de Puesta a Tierra.
3. Se recomienda elaborar un plan de mantenimiento basado en técnicas modernas basadas en el mantenimiento productivo total.
4. Finalmente se recomienda de manera general para toda La Estación de Rebombéo "2", llevar a cabo evaluaciones al sistema de puesta a tierra por lo menos cada dos (2) años según lo establecido por la norma ANSI/NETA.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Betancourt, M. (2010)**, Evaluación del Sistema de Puesta a Tierra de las subestaciones Eléctricas Morichal, Temblador y Jobo Norte 115/34,5 Kv de PDVSA-Distrito Morichal, Estado Monagas. Universidad de Oriente, Barcelona Edo, Anzoátegui.
- **Peña, J. (2006)**, Evaluación de los Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas en el Sistema Eléctrico de un Taladro de Perforación de Petróleo.
- **Golindano, W. (2003)**, Evaluación de Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas en la las Subestaciones del Distrito Anaco PDVSA GAS, Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui.
- **Harper, G.**“Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de mediana y alta tensión”. Segunda edición, editorial LIMUSA, México, Año (2002).
- **Mejías, R. (2007)**, Diseño de un Sistema de Protección contra Descargas Atmosféricas para el Edificio Sede PDVSA Guaraguao Estado Anzoátegui. Universidad de Oriente, Barcelona Edo, Anzoátegui.
- **Rivas, G. (2006)**, “Elaboración de un Estudio y Plan de Mantenimiento de los Sistemas de Puesta a Tierra de Equipos Eléctricos y Electrónicos de los Pozos Bare 5 y Bare 10 PDVSA”.
- **Mercado, V. (2008)**, Diseño de Sistema de Puesta a Tierra, Postgrado de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oriente (UDO), Anzoátegui.

- Manual de ingeniería de diseño, Obras Eléctricas, Sistema de Puesta a Tierra, Volumen 4-I, PDVSA (2010).
- Manual de INELECTRA, Curso Básico de Diseño Eléctrico para Proyectista y Dibujantes.
- Manual de Ingeniería de Diseño. Puesta a Tierra y Protección Contra Sobretensiones, Volumen 4–II, PDVSA (1993).
- Diseño de Sistema de Puesta a Tierra, Postgrado de Ingeniería Eléctrica. UDO, Anzoátegui (2008).
- De la Vega, M. (2002). “Problemas de Ingeniería de Puesta a Tierra”. Editorial Limusa, México, D.F.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). IEEE Std80 IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding.
- Norma IEC 60305. Protección contra descargas atmosféricas
- Norma NFPA-780. Protección contra descargas atmosféricas.
- Norma española CEI 61024-1 (1990) y complemento UNE 21 185.
- [http://www.energytel.info/portal\\_telecom/images/stories/aterramiento\\_antenas/01.jpg&imgrefurl](http://www.energytel.info/portal_telecom/images/stories/aterramiento_antenas/01.jpg&imgrefurl)
- Martínez M., Ramírez J., Montaña R. (2002), “Actividad de Rayos en Venezuela, utilizando la data del sensor óptico (LIS) del proyecto TRMM de la NASA”. Universidad Simón Bolívar.

# ANEXOS



## ANEXOS A

### Anexo A.1. Equipo de Medición.



### Anexo A.2. Mediciones de Puesta a Tierra



Anexo A.3. Valor arrojado en medición de Puesta a Tierra.



Anexo A.4. Pozo de medición.



### Anexo A.5. Mediciones de Resistividad.



### Anexo A.6. Valor arrojado.



## Anexo A.7. Mediciones de continuidad.



## Anexo A.8. Valores Arrojados.



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>TÍTULO</b>	“Evaluación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de La Estación de Rebombeo “2” (km-52) de PDVSA”
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Germán Alexis Rodríguez Silva	<b>CVLAC:</b> 18679808 <b>E MAIL:</b> german.ars.1989@gmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Sistemas de Puesta a Tierra

Protección Contra Descargas Atmosféricas

Mallas

Sala de Bombas

Estación de Rebombeo “2”

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Eléctrica

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

En este trabajo se realizó la evaluación de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas de La Estación de Rebombéo "2" (Km-52); esta Estación representa una instalación de suma importancia para la llegada de crudo a la industria petrolera. Para el desarrollo de este trabajo se realizó un levantamiento y recolección de información del sistema eléctrico, con la finalidad de conocer las características y el estado actual de los sistemas de puesta a tierra y; protección contra descargas atmosféricas, identificando también, la situación del sistema eléctrico actual.

Se realizaron mediciones de resistividad del suelo, resistencia de puesta a tierra y continuidad entra la carcasa y el sistema de puesta a tierra, basados en los lineamientos de la Norma IEEE 80-2000 y de la Norma ANSI/NETA MTS. La resistividad del suelo es descendente con valores desde 64,13  $\Omega$ .m a 48,64  $\Omega$ .m entre la capa superior e inferior respectivamente. Los valores medidos de resistencia están por debajo del exigido por la Norma IEEE 80-2000 para este tipo de instalación, el cual es menor de 1  $\Omega$ . Las mediciones de continuidad arrojaron valores satisfactorios por debajo de 0,5  $\Omega$ , según Norma ANSI/NETA MTS.

Luego de la evaluación se definió que la protección contra descargas atmosféricas actual, multipuntas Franklin, deben ser reemplazadas; debido a no existir normas para su basamento y que no cumplen con su función de protección. Por lo que, se plantearon diseños de puntas Franklin convencionales de 24" en anillo basados en las normas CEI 61024-1 (1990), UNE 21 185, NFPA-780 y IEC 62305.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO****CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Verena Mercado	CVLAC:	82.235.587			
	E_MAIL	verenamercado@yahoo.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Adriana Méndez	CVLAC:	16.064.183			
	E_MAIL	adrimendez@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Santiago Escalante	CVLAC:	3.198.012			
	E_MAIL	sescalante@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2012	06	21
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis2012_corregida_final.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:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**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 Anzoátegui



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO****DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la universidad de oriente:

“Los trabajos especiales de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrían ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario”.

Germán Alexis Rodríguez Silva

**AUTOR**

Ing. Verena Mercado

**TUTOR**

Ing. Santiago Escalante

**JURADO**

Ing. Adriana Méndez

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**