



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ESTUDIO DEL AUMENTO DE CAPACIDAD DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
EL MORAL COMO RESPALDO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN 13.8 KV
DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y VILLA LIBERTAD DEL ESTADO MÉRIDA**

Br. Angely Rayli Dorante Páez

Mérida, Septiembre, 2017

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ESTUDIO DEL AUMENTO DE CAPACIDAD DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
EL MORAL COMO RESPALDO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN 13.8 KV
DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y VILLA LIBERTAD DEL ESTADO MÉRIDA**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

Br. Angely Rayli Dorante Páez

Tutor: Pedro Omar Mora Mogollón.

Mérida, Septiembre, 2017

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ESTUDIO DEL AUMENTO DE CAPACIDAD DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA
EL MORAL COMO RESPALDO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN 13.8KV
DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y VILLA LIBERTAD DEL ESTADO MÉRIDA**

Br. Angely Rayli Dorante Páez

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente jurado.

Prof. Jean Carlos Hernández

Jurado

Prof. Ricardo Stephens

Jurado

Prof. Pedro Mora

Tutor

DEDICATORIA

A DIOS principalmente por haberme dado el regalo de la vida, permitirme llegar hasta este punto tan importante en mi formación profesional y haberme dado principalmente salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres REINA PÁEZ y ÁNGEL RAFAEL DORANTE, porque son el pilar fundamental de mi vida, por haberme apoyado en todo momento, quienes han sido ejemplo de lucha y superación, y me dieron la formación para ser la persona que soy ahora, formándome con valores, a respetar y sobre todo a apreciar todo lo que Dios nos da, más que una dedicatoria, este logro es de ustedes. ¡LOS AMO!

A mis hermanos ÁNGEL DANIEL y RAFAEL RENÉ, que siempre han estado junto a mi brindándome su apoyo, inspirándome a cumplir con esta gran meta. ¡LOS ADORO!

Este logro también va dedicado a una personita que ha llegado a mi vida a llenarla de felicidad, ese que me llama tía. Este logro te lo dedico JOSÉ ÁNGEL para que veas en mi un ejemplo a seguir. ¡DIOS TE BENDIGA!

A mi FAMILIA en general, aquellos que a pesar de la distancian han estado pendiente de mí, brindándome su apoyo, compartiendo conmigo buenos y malos momentos.

Angely Dorante

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a DIOS y a la VIRGEN SANTÍSIMA, por acompañarme en todo momento a lo largo de mi vida, por dame la fortaleza y la fe que necesitaba para seguir adelante.

A mis PADRES, por brindarme su apoyo incondicional, por estar presente en todo momento, por la confianza brindada, que sin duda alguna han demostrado su amor corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. Gracias también por enseñarnos a ser la familia unida que siempre hemos sido, apoyándonos unos con los otros.

A mis HERMANOS, que con sus consejos me han ayudado a afrontar retos que se han presentado en mi vida, por ser ante todo mis amigos, con los cuales he pasado momentos inolvidables, ustedes son una parte importante en vida.

A ALEXANDER QUINTERO, por estar presente en los momentos agradables y difíciles, por apoyarme en todo momento durante estos últimos meses de mi carrera, compartiendo conmigo los conocimientos que ha adquirido durante su formación académica. Gracias por estar allí cuando lo necesité.

A mi compañera de carrera KARELIA CONTRERAS, por ser gran amiga y con la cual compartí momentos de alegrías, tristezas y frustraciones, apoyándonos mutuamente para seguir adelante con nuestra meta. A mi gran amiga y confidente NOHELY MÉNDEZ por siempre estar ahí cuando lo necesite, brindándome su apoyo y comprensión.

A mi tutor académico, el profesor PEDRO MORA por haberme brindado su tutoría, impartíendome su conocimiento y apoyo cuando lo necesite. A los profesores JEAN CARLOS HERNÁNDEZ, RICARDO STEPHENS, MIGUEL MORALES y demás profesores por compartir su valioso conocimiento conmigo y todos mis compañeros.

A la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, por permitirme formarme profesionalmente en ella, me siento orgullosa de haber sido parte de tan prestigiosa Universidad. A si mismo, a todos y cada uno del personal de la ESCUELA DE ELÉCTRICA, porque gracias a su arduo trabajo contamos con tan buena Escuela.

A CORPOELEC por aceptarme como tesista y hacerme formar parte del maravilloso grupo de trabajo de la División de Control de Operaciones.

A los Ingenieros, Operadores y Técnicos que hicieron posible que mi trabajo se llevara a cabo, brindándome sus conocimientos. A la Ing. MAULY ESPINOSA por ser mi asesora principal, ofreciéndome su atención y disposición de trabajar. Gracias a todos por su colaboración.

A mis compañeros de clases, ya que de alguna manera nos apoyamos para lograr esta meta.

Y a todas esas personas que contribuyeron a que esta meta se materializara. ¡Muchas Gracias!

Br. Angely Rayli Dorante Páez. Estudio del aumento de capacidad de la Subestación Eléctrica El Moral como respaldo para la distribución de carga en 13.8 kV de las Subestaciones Ejido y Villa Libertad del Estado Mérida. Universidad de Los Andes. Tutor: Prof. Pedro O. Mora M. Septiembre 2017

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio de la red de distribución de la subestación El Moral con el fin de verificar si es necesario efectuar un aumento en su capacidad de modo que sirva para respaldar los circuitos en 13.8 kV que posee interconectados con las subestaciones Ejido y Villa Libertad, por tanto también fue necesario realizar un estudio de la red de distribución de la subestación Ejido, realizando el levantamiento, actualización y estudio de carga de los circuitos que poseen, con el propósito de que el personal de La Corporación Eléctrica Nacional S.A (CORPOELEC) maneje con exactitud la ubicación de cada elemento y la carga instalada que posee cada circuito de estas subestaciones, facilitando la identificación con tablas descriptivas. A partir de ello, este trabajo plantea diversas situaciones de aumento de capacidad de la subestación El Moral, de modo que la empresa decida cuál sería la más conveniente, además, a partir del estudio se encontraron deficiencias en algunos circuitos, planeando también propuestas que ayuden a la mejora del suministro eléctrico en los mismos. De igual manera se realiza un estudio de la protección actual para dar propuestas de los fusibles que deben ser instalados en cada derivación. Finalmente, el enfoque de este trabajo de grado se basa en la subestación El Moral, por ello también fue necesario realizar un estudio de la malla de puesta a tierra actual, con el fin de determinar la condición actual que posee dando solución y propuesta de mejora para disminuir los riesgos que se puedan presentar dentro y fuera de las instalaciones de la subestación.

Descriptor: Aumento de capacidad, Actualización del Sistema de Distribución, Coordinación de Protecciones, Análisis de Flujo de Carga, Malla de Puesta a Tierra.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO	pp.
-----------------	------------

1. EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 General	6
1.3.2 Específicos	6
1.4 Metodología de la Investigación	7
1.5 Alcances	7
1.6 Limitaciones	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Sistema de Potencia	9
2.2 Sistema de Distribución	10
2.2.1 Objetivos de los Sistemas de Distribución	11
2.2.2 Clasificación de los Sistemas de Distribución	11
2.3 Normas y Procedimiento para la Operación del Sistema Eléctrico.....	18
2.3.1 Nomenclatura	18
2.3.2 Máximos Valores de Funcionamiento	18
2.4 Características de las Cargas de los Sistemas de Distribución	19
2.4.1 Carga Instalada (CI).....	19
2.4.2 Capacidad Instalada (PI)	19
2.4.3 Carga Máxima (C_M).....	19

2.4.4 Demanda ($D(t)$)	19
2.4.5 Curva de Carga Anual	20
2.4.6 Demanda Promedio (D_P).....	20
2.4.7 Factor de Utilización (F_U)	20
2.4.8 Factor de Potencia (f_p).....	20
2.4.9 Factor de Carga (F_c).....	21
2.4.10 Demanda Coincidente	21
2.4.11 Demanda no Coincidente	22
2.4.12 Factor de Coincidencia (F_{CO}).....	22
2.5 Protecciones de Los Sistemas de Distribución.....	22
2.5.1 Protección de un Sistema de Protección Contra Sobrecorrientes	22
2.5.2 Protección de un Sistema de Distribución Contra Sobretensiones	25
2.6 Dispositivos de Protección en los Sistemas de Distribución.....	26
2.6.1 Fusibles	27
2.6.2 Restauradores o Reconectores.....	28
2.6.3 Relevadores o Relés	28
2.6.4 Seccionadores.....	28
2.6.5 Pararrayos.....	28
2.7 Coordinación de Dispositivos de Protección.....	28
2.8 Subestaciones Eléctricas	29
2.9 Malla de Puesta a Tierra de Subestaciones de Distribución	30
2.9.1 Funciones de la Malla de Tierra.....	31
2.9.2 Elemento de la Red de Tierra.....	31
2.9.3 Situaciones de Riesgos sobre el Cuerpo Humano.....	32
2.9.4 Principales Consideraciones de Diseño	35
2.9.5 Resistencia de un Sistema de Puesta a Tierra	41
2.10 Herramientas de Utilización para el Geo-Posicionamiento, Actualización y Estudio del Flujo de Carga de las Redes de Distribución	41
2.10.1 Programa AutoCad	41

2.10.2 Programa PADEE	41
2.10.3 Sistema de Posicionamiento Global	42
2.11 Herramienta CYMGRD Para el Análisis de Redes de Tierra en Subestaciones Eléctricas	42
2.11.1 Modulo de Análisis del Suelo	42
2.11.2 Modulo de Análisis de Malla	43
2.11.3 Modulo de Graficado	43
3. DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y EL MORAL	44
3.1 Subestación Ejido	45
3.1.1 Distribución de Carga de la Subestación Ejido	46
3.2 Subestación El Moral	48
3.2.1 Distribución de Carga de la Subestación El Moral	49
3.3 Análisis de la demanda del sistema de distribución 13.8 kV de la subestación Ejido	50
3.3.1 Análisis del circuito D-105 “Aguas caliente” para el año 2016/2017	53
3.3.2 Análisis del circuito D-205 “Centenario/El Morro” para el año 2016/2017	54
3.3.3 Análisis del circuito D-305 “El Manzano” para el año 2016/2017	55
3.3.4 Análisis del circuito D-405 “Centro” para el año 2016/2017	56
3.3.5 Análisis del circuito D-505 “El Salado” para el año 2016/2017	57
3.3.6 Análisis de demanda de los transformadores de la S/E Ejido para el año 2016/2017	58
3.4 Análisis de la demanda del Sistema de Distribución 13.8 kV de la Subestación El Moral	61
3.4.1 Análisis del circuito D-105 “La Mesa/Jaji” para el año 2016/2017	63
3.4.2 Análisis del circuito D-205 “La Antenas” para el año 2016/2017	64
3.4.3 Análisis de demanda de los transformadores de la S/E Ejido para el año 2016/2017	64
3.5 Análisis de la Malla de Puesta a Tierra de la Subestación El Moral	66
3.5.1 Malla de Puesta a Tierra de la subestación el Moral	66
3.5.2 Análisis y Medición de la Resistividad del Suelo	68
3.5.3 Análisis de la Malla	72

3.5.4 Diagramas de Contorno de Potencial de Contacto.....	75
3.5.5 Diagramas de Contorno de Potencial de Superficie.....	77
3.5.6 Diagramas de Perfil de Potencial	79
3.6 Protección actual de las Líneas de distribución.....	81
3.6.1 Protección de la Subestación Ejido	81
3.6.2 Protección de la Subestación El Moral	85
4. PROPUESTA PARA MEJORAR LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y EL MORAL.....	87
4.1 Propuestas Utilizando la Subestación Eléctrica El Moral como respaldo.....	88
4.1.1 De la Subestación Villa Libertad	88
4.1.2 De la Subestación Ejido	93
4.2 Propuestas de Aumento para Subestación El Moral.....	95
4.2.1 Aumento a 5 MVA.....	96
4.2.2 Aumento a 10 MVA.....	99
4.3 Propuestas de Mejora de los Circuitos de la Subestación Ejido.....	101
4.3.1 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-105 “Aguas Calientes”.....	101
4.3.2 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-205 “Centenario/El Morro”.....	102
4.3.3 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-305 “El Manzano”.....	104
4.4 Propuestas Para La Coordinación De Protecciones En Los Ramales De Los Circuitos De Distribución En 13.8 Kv Asociados A La Subestaciones Ejido Y El Moral.....	104
4.5 Propuestas de Mejora a la Malla de Tierra de la Subestación El Moral.....	111
CONCLUSIONES.....	123
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS	128
4.5.1 Anexo 1. Coordinación de Protecciones del Circuito Aguas Calientes de S/E Ejido	129

ÍNDICE FIGURAS

Figura	pp.
2.1 Estructura de un Sistema de Potencia (GONZALES, 2008, p.7)	9
2.2 Estructura Física de un Sistema de Distribución (GONZALES, 2008, p.54)	15
2.3 Curva característica de los fusibles (DÁVILA, 2012)	27
2.4 Localización de fusibles de protección.....	29
2.5 Situaciones de riesgos en los seres humanos dentro de una subestación	33
2.6 Método Wenner	37
2.7 Curva de la resistividad aparente	39
3.1 Ubicación de la subestación Ejido.....	46
3.2 Diagrama Unifilar de la S/E Ejido.....	47
3.3 Ubicación de la Subestación El Moral	48
3.4 Diagrama Unifilar de la S/E El Moral.....	49
3.5 Situación actual de la S/E El Moral	67
3.6 Medición de la resistencia	68
3.7 Configuración de la malla de la S/E El Moral	73
3.8 Diagrama de potenciales de contacto en 2D.....	75
3.9 Diagrama de potenciales de contacto en 3D.....	76
3.10 Reporte de Potencial de Contacto.....	76
3.11 Diagrama de Potenciales de Superficie en 2D	77
3.12 Diagrama de potenciales de superficie en 3D	78
3.13 Reporte de potencial de superficie.....	78
3.14 Dirección del Perfil de Potencial	79
4.1 Banco de regulación en el sector Las Cruces	90
4.2 Banco de regulación en el sector Boconó	91
4.3 Propuesta de incorporación de una nueva Subestación	93
4.4 Primer tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”	94

4.5 Propuesta de reubicación de la Subestación El Moral.....	96
4.6 Segundo tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”	98
4.7 Tercer tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”	100
4.8 Hoja de datos para el cálculo de los niveles de cortocircuito	106
4.9 Hoja de resultados de los niveles de cortocircuito	106
4.10 Diagrama Unifilar de la Subestación El Moral	107
4.11 Análisis de Flujo de Carga	108
4.12 Corrientes de Cortocircuito	108
4.13 Programa en Excel para elección de fusibles ramales.....	109
4.14 Propuesta de ubicación de fusibles en la derivación del circuito D-205 de la S/E Ejido	109
4.15 Propuesta para mejorar la malla de tierra de la S/E El Moral	112
4.16 Vista en 3D de la malla mejorada.....	112
4.17 Diagrama de potencial de contacto de la malla mejorada	113
4.18 Diagrama de potencial de contacto de la malla mejorada en 3D.....	114
4.19 Reporte del potencial de contacto de la malla mejorada	114
4.20 Diagrama de potencial de superficie de la malla mejorada	115
4.21 Diagrama de potencial de superficie de la malla mejorada en 3D	115
4.22 Reporte del potencial de superficie de la malla mejorada	116
4.23 Segunda propuesta para mejorar la malla de tierra de la S/E El Moral.....	119
4.24 Vista en 3D de la segunda propuesta de la malla	119
4.25 Diagrama de Potencial de Contacto en la segunda propuesta para la malla.....	120
4.26 Niveles del potencial de contacto para la segunda propuesta de malla	120
4.27 Niveles del potencial de superficie para la segunda propuesta de malla	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	pp.
2.1 Comparación entre las líneas de distribución aéreas y subterráneas	14
2.2 Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano	32
3.1 Demandas máximas en Amperios (A) por circuito en la Subestación Ejido.....	50
3.2 Demanda máxima kVA por circuito asociadas a la Subestación Ejido.....	50
3.3 Estado actual del circuito D-105 de la S/E Ejido	53
3.4 Estado actual del circuito D-205 de la S/E Ejido	54
3.5 Estado actual del circuito D-305 de la S/E Ejido	55
3.6 Estado actual del circuito D-405 de la S/E Ejido	56
3.7 Estado actual del circuito D-505 de la S/E Ejido.....	57
3.8 Demandas asociadas a los transformadores de la subestación Ejido.....	58
3.9 Estado actual de los transformadores de la S/E Ejido	60
3.10 Demandas máximas en Amperios (A) por circuito en la Subestación El Moral.....	61
3.11 Demanda máxima (kVA) por circuito asociadas a la Subestación El Moral	62
3.12 Estado actual del circuito D-105 de la S/E El Moral.....	63
3.13 Estado actual del circuito D-205 de la S/E Ejido	64
3.14 Demandas asociadas al transformador de la subestación El Moral.....	64
3.15 Estado actual del transformador de la S/E El Moral	65
3.16 Características de la malla de la Subestación El Moral.....	67
3.17 Mediciones realizadas con el Megger	69
3.18 Resistividad del terreno	69
3.19 Reporte del análisis de suelo	71
3.20 Resistividad calculada por el programa CYMGRD.....	72
3.21 Reporte de análisis de malla	73
3.22 Reporte de Perfil de Potencial	80

3.23 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-105	81
3.24 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-205	82
3.25 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-305	83
3.26 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-405	84
3.27 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-505	85
3.28 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-105	85
3.29 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-205	86
3.30 Directorio de elemento en el circuito	86
4.1 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad	89
4.2 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad con banco de regulación en el sector Las Cruces	90
4.3 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad con banco de regulación en el sector Boconó.....	91
4.4 S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido	94
4.5 Transformador de la S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido	95
4.6 Transformador de la S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad.....	97
4.7 S/E El Moral con el segundo tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido	98
4.8 Tabla 4.8 Transformador de la S/E El Moral con el segundo tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad	99
4.9 S/E El Moral con el tercer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido .	100
4.10 Transformador de la Subestación El Moral con el tercer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad	101
4.11 Propuestas para mejorar los valores del circuito	102
4.12 Propuestas de incorporación de un banco de regulación en el circuito D-205 “Centenario/El Morro”	103
4.13 Niveles de cortocircuito de la barra 115 kV	105
4.14 Características de los transformadores de las subestaciones	105
4.15 Niveles de cortocircuito de la barra 13.8 kV	107

4.16 Coordinación de protecciones propuestas para una derivación del circuito D-205 “Centenario/El Morro”	110
4.17 Reporte de análisis de la malla de la S/E El Moral mejorada.....	113
4.18 Reporte de Perfil de potencial de la malla mejorada	117
4.19 Valores de Comparación de la Malla de Puesta a Tierra de la S/E El Moral	118
4.20 Reporte de análisis de la segunda propuesta de la malla de la S/E El Moral	120
4.21 Reporte de Perfil de potencial de la segunda malla mejorada.....	121

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico	pp.
3.1 Demanda de los circuitos asociados al transformador 1 de la S/E Ejido	51
3.2 Demanda de los circuitos asociados al transformador 1 de la S/E Ejido	52
3.3 Demanda de los transformadores asociados a la S/E Ejido.....	59
3.4 Demanda de los circuitos asociados al transformador de la S/E El Moral.....	62
3.5 Demanda del transformador de la S/E El Moral.....	65
3.6 Curva de análisis del suelo, usando CYMGRD	70
3.7 Diagrama de Perfil de Potencial	79
4.1 Diagrama de Perfil de Potencial de la Malla mejorada	116
4.2 Diagrama de Perfil de la Malla actual y de la Malla mejorada	117

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCIÓN

Las redes de distribución ocupan una parte importante en el sistema de potencia, siendo su función principal el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales. La afectividad con que las redes de distribución realizan esta función se mide en términos de regulación de voltaje, continuidad del servicio, flexibilidad y eficiencia.

La División de Control de Operaciones de Distribución tiene la tarea de realizar el control y mantenimiento del sistema, además, de supervisar la operatividad del mismo para brindar un servicio eléctrico adecuado en la actualidad y en un futuro próximo. Así, las redes de distribución deben ofrecer un servicio con un mínimo de variaciones del voltaje y un mínimo de interrupciones. Las interrupciones del servicio deben ser de corta duración y afectar al menor número posible de consumidores, por lo que la empresa se ha visto en la necesidad de plantear un estudio para el aumento de capacidad de la subestación El Moral, con la finalidad de respaldar los circuitos de las subestaciones Ejido o Villa Libertad, para que al momento en que alguna de esta falle las interrupciones del servicio no sean duraderas.

Frente a esta situación existe la necesidad de realizar un diagnóstico preciso que plantean objetivos que ayudan a la realización del mismo, por esta razón es necesario efectuar la actualización de los planos de distribución de la subestaciones El Moral y Ejido, de modo que, se puedan proponer y planificar cambios en el sistema, ya sean nuevos sitios de distribución, estimación del crecimiento de la carga, nuevas localizaciones de líneas de distribución, coordinación de protecciones para las derivaciones que lo ameriten, entre otras; ya que lo que en realidad se quiere es evaluar el sistema en general.

Además, este proyecto de grado procura responder otra inquietud presentada por la empresa en cuanto a las condiciones actuales de la malla de puesta a tierra de la Subestación El Moral ya que actualmente esta subestación no cuenta con la malla perimetral. Ahora bien, debido a la

complejidad de los cálculos se debe emplear una herramienta digital que ayude al modelado de las mallas, el cual genera una solución rápida y segura, optimizando el diseño de nuevas redes de tierra y reforzando la ya existente a través de módulos de análisis. De hecho, este diagnóstico se llevará a cabo con los datos reales del sistema para obtener un estudio detallado y con los resultados obtenidos sea posible proponer alternativas que mejoren el sistema de puesta a tierra de dicha subestación.

El proceso investigativo desarrollado, fue planificado previamente tomando como punto de partida una problemática con el proceso descriptivo; por tanto, está estructurado en IV capítulos, estos son:

Capítulo I. Aquí se presentará el planteamiento del problema, haciendo una descripción de los objetivos, justificación, metodología, alcances y limitaciones.

Capítulo II. En el que se exponen las bases teóricas que fundamentan el proyecto a través de definiciones

Capítulo III. Se describe el estado actual del sistema de distribución de ambas subestaciones y los resultados obtenidos de la investigación con sus respectivos análisis

Capítulo IV. Hace referencia a las propuestas para mejorar el servicio eléctrico prestado por ambas subestaciones y propone una mejora en la malla de puesta a tierra de la subestación El Moral.

Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones arrojadas de la investigación, las referencias consultadas y anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

El presente capítulo expone el planteamiento del problema, la justificación, la metodología a utilizar y los objetivos trazados para llevar a cabo el estudio para el aumento de capacidad de la Subestación Eléctrica El Moral.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La electricidad es la energía más utilizada en el mundo, siendo esta vital para el desarrollo de un país. En la actualidad, la mayor parte de la electricidad se obtiene por generación de plantas termoeléctricas e hidroeléctricas. El sector eléctrico tiene como finalidad principal la satisfacción de los requerimientos de esta energía para el desarrollo económico y social de un país. La Corporación Eléctrica Nacional debe cubrir las siguientes etapas: generación, transmisión, y distribución del servicio eléctrico para lograr el suministro de energía de manera eficiente y confiable a todo el país.

La Red de Distribución tiene la función principal de suministrar energía desde la subestación de distribución hacia los usuarios. En Venezuela, estas están conformadas por subestaciones eléctricas, transformadores y líneas que operan en distintos niveles de tensión. Estos sistemas están ubicados a lo largo de todo el territorio nacional, permitiendo un alto porcentaje (según CORPOELEC, un 98% de todo el país) de electrificación en zonas urbanas, rurales, comerciales e industriales.

El consumo de la energía eléctrica a nivel nacional se ha incrementado considerablemente en los últimos años, generando una mayor demanda eléctrica; sin embargo, la crisis eléctrica actual no se soluciona con aumentar la generación si no es transmitida y distribuida de manera eficiente. Para que esto se cumpla es necesario contar con un sistema de distribución de energía eléctrica que permita un transporte viable.

El estado Mérida cuenta con cuatro centros de servicios (Metropolitano, Páramo, Panamericano y Mocotíes), el centro de servicio Metropolitano es el que contiene las subestaciones encargadas de suministrar la energía eléctrica a la ciudad de Mérida, posee cuatro subestaciones atendidas y cuatro no atendidas, El Páramo contiene las subestaciones Mucubají, La Mitisus, Mucuchies, Los Frailes y El Águila, de las cuales solo una de ellas es una subestación atendida. El centro de servicio Panamericano es el encargado de las subestaciones Vigía, Caño Zancudo y El Bosque, estas dos últimas no atendidas. Finalmente, Mocotíes es el centro de servicio encargado de las subestaciones pertenecientes a los pueblos restantes del estado, como lo es Tovar, Santa Cruz de Mora, Canagua, Guaraque, El Molino, Santa Teresa y Bailadores, siendo solo Tovar una subestación atendida. Para la distribución de la energía eléctrica de manera eficiente por todo el estado todas las subestaciones cuentan con un servicio de conexión entre ellas con el fin de servir de respaldo una de la otra para el momento que ocurra una falla.

La Subestación Eléctrica El Moral pertenece al centro de servicio Metropolitano y actualmente cuenta con una capacidad de 3000 kVA, los cuales son suficientes para la distribución de carga de los circuitos que alimenta. Las subestaciones Ejido y Villa Libertad, ambas pertenecientes al mismo centro de servicio, tienen una interconexión con la de El Moral por los circuitos D-105 “Aguas Calientes” y D-105 “Villa Libertad” respectivamente.

Considerando las múltiples interrupciones del servicio eléctrico que se han registrado en los últimos tiempos debido al colapso de las líneas de distribución, producto del aumento de demanda y la falta de creación de nuevas líneas que ayuden a compensar estas cargas, se han obtenido líneas sobrecargadas que sufren calentamientos excesivos causados por el aumento de la corriente circulante, ocasionando el deterioro de dichas líneas.

Al ocurrir estas fallas es necesario realizar el despeje de grandes tramos de un circuito o del circuito completo. El problema radica en la baja capacidad que posee la subestación El Moral para sustentar la carga de los circuitos interconectados con Ejido y Villa Libertad, por lo tanto, es necesario realizar la actualización y el geo-posicionamiento de estos circuitos con el fin de elaborar un estudio de carga que permita determinar el límite que puede asumir la subestación El Moral para el momento en el que algún circuito de las S/E Ejido y Villa Libertad falle. En caso de no ser capaz, es necesario realizar un aumento de capacidad en dicha subestación con el propósito de mejorar la robustez del sistema, el servicio a todos los consumidores y sustentar futuras cargas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el sistema eléctrico de potencia, se presentan fallas por distintas causas, que ocasionan deficiencias en el sistema trayendo como consecuencias daños y/o pérdidas del servicio, siendo en nuestros días la electricidad la energía más usada para lo económico, social y en definitiva para el desarrollo de un país, es necesario disminuir la expansión de dichas fallas. Actualmente el Municipio Campo Elías cuenta con dos subestaciones, la S/E Ejido, atendida de 115/34.5/13.8 kV y la S/E El Moral, no atendida de 34.5/13.8 kV que posee una capacidad de 3 MVA; La subestación El Moral podría respaldar a los circuitos en 13.8 kV de la S/E Ejido y de la S/E Villa Libertad perteneciente al Municipio Sucre, pero debido a su baja capacidad no es posible contar con esta maniobra que permite mayor flexibilidad, confiabilidad y prestación del servicio.

En el presente trabajo de grado se propone el estudio para un aumento de capacidad de la S/E El Moral, con su respectiva distribución de carga de los circuitos involucrados, mejorando de esta manera la capacidad en dicha subestación tomando en consideración el incremento de carga por los desarrollos habitacionales en dicha zona, por tal motivo se requiere realizar la actualización y el geo-posicionamiento de los circuitos involucrados en dicha subestación.

Además, este trabajo de grado plantea la coordinación de protección para las derivaciones de los circuitos asociados a las subestaciones El Moral y Ejido, con el fin de brindar un alto nivel de confiabilidad, estando preparadas para detectar y despejar rápidamente cualquier falla que

pueda ocurrir y garantizar de esta manera la continuidad y calidad del servicio eléctrico. Por ésta y muchas razones es importante asegurar el buen funcionamiento de todos los elementos que conforman una subestación eléctrica. La demanda en el sector eléctrico tiende a incrementarse con el paso del tiempo, por lo que las capacidades de las subestaciones van aumentando, elevando así las corrientes de cortocircuito, haciendo que la malla de puesta a tierra existente vaya siendo cada vez menos confiable. Asimismo, los sistemas de puesta a tierra cumplen un papel fundamental en función de evitar riesgos eléctricos en las subestaciones, especialmente en lo que respecta a la seguridad de personas y equipos en condiciones de operación o falla. En este trabajo de grado también se pretende realizar un previo estudio de la malla de puesta a tierra de la subestación El Moral con el fin de evaluar la situación actual de la malla existente y de acuerdo con el estudio realizado, establecer si es pertinente rediseñar dicha malla

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Realizar un estudio para la adecuación de carga de la S/E El Moral, para servir de respaldo a los circuitos en 13.8kV de las S/E Ejido y Villa Libertad

1.3.2 Específicos

- Actualización y geo-posicionamiento de los circuitos asociados a las subestaciones Ejido y El Moral.
- Con el uso del software PADEE realizar estudio de carga de los circuitos para determinar caída de tensión, carga de los conductores, valores de cortocircuito, flexibilidad del sistema, entre otros.
- Estudio de coordinación de protecciones en la red de distribución 13.8 kV.
- Determinar el factor de utilización del transformador de potencia de la S/E El Moral (3 MVA) con el fin de proponer posible aumento de capacidad del transformador en la subestación.

- Estudio de puesta a tierra de la S/E El Moral: verificar si la malla existente cumple con los parámetros establecidos por CORPOELEC, determinar las características de la puesta a tierra y de acuerdo con el estudio realizado, establecer si es pertinente rediseñar la malla de puesta a tierra.

1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este trabajo de grado es necesario documentar los estudios realizados en una investigación de campo por la naturaleza del proyecto. Esta investigación consiste en el recorrido por los circuitos en 13.8 kV de las subestaciones El Moral y Ejido, para geo-posicionarlos, luego se procederá a utilizar el programa AutoCAD para actualizar los planos correspondientes y finalmente, con el programa PADEE proporcionado por la empresa, se modelan dichos circuitos para obtener el análisis de distribución de energía eléctrica y calcular el flujo de carga.

1.5 ALCANCES

El alcance principal de esta investigación es proponer un aumento de capacidad de la subestación El Moral, para que sirva de respaldo de los circuitos asociados con Ejido y Villa Libertad. De esta se derivan otros alcances importantes como lo es: actualizar los circuitos pertenecientes a las subestaciones Ejido y El Moral, información detallada en una base de datos sobre la ubicación y capacidad de cada transformador, tipo de conductor, puntos de seccionamientos, puntos de derivación y carga instalada en cada derivación, además, reportar fusibles dañados y los puntos que ameritan pica y poda. Otro alcance importante en este trabajo de grado es evaluar el sistema de puesta a tierra de la subestación El Moral para determinar si presenta alguna deficiencia.

1.6 LIMITACIONES

Las limitaciones son obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del estudio. Durante el desarrollo de este trabajo se obtuvieron las siguientes limitaciones:

- Limitada disposición del vehículo del departamento para realizar los recorridos de los circuitos ya que la División de Control de Operaciones (C.O.D.) cuenta con solo uno para todas sus funciones.
- Limitada utilización del único equipo que posee instalado el programa PADEE dentro del departamento.
- Información escasa referente a las características constructivas de la malla de puesta a tierra de la subestación El Moral.
- Dificultad para coordinar la disponibilidad del personal de CORPOELEC para la utilización del Megger perteneciente a la empresa para realizar las mediciones de resistencia del terreno, limitando a realizarla solamente con el equipo facilitado por la Escuela de Eléctrica de la Universidad de Los Andes, lo cual impide comparar los resultados de ambos equipos.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se describen las bases teóricas necesarias para abordar el tema en estudio.

2.1 SISTEMAS DE POTENCIA

Un sistema eléctrico de potencia incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, y su función primordial es la de llevar esta energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y por último entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos. (RAMIREZ, 2009, p.2)

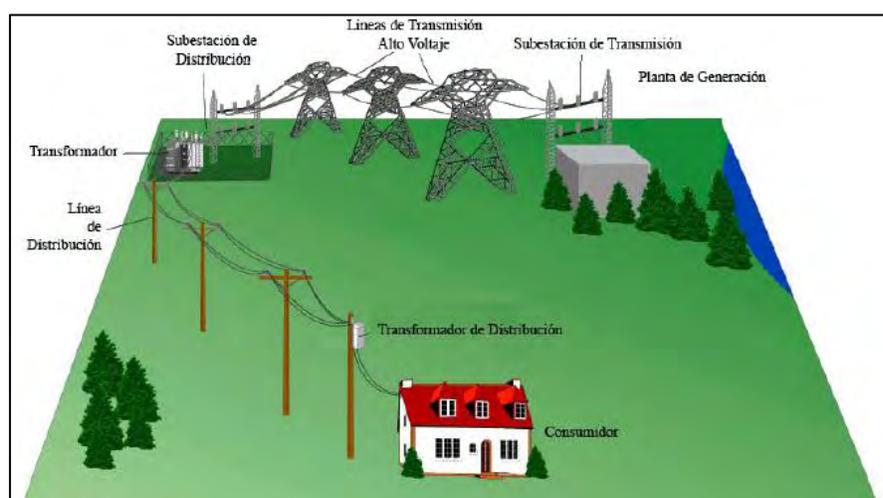


Figura 2.1 Estructura de un Sistema de Potencia (GONZALES, 2008, p.7)

Los principales elementos que componen un sistema de potencia se pueden agrupar en tres grandes grupos de acuerdo con su función: Sistemas de Generación, Sistemas de Transmisión, Sistemas de Distribución.

El sistema de generación es la parte básica del sistema de potencia, se encarga de entregar la energía eléctrica al sistema, esto a partir de la transformación de distintos tipos de energía primaria a partir de centrales o plantas generadoras, transformando una fuente de energía primaria a energía eléctrica.

La ubicación de las grandes centrales de generación eléctrica, obligan a transportar grandes bloques energéticos generados a través de grandes distancias de tal manera que lleguen a los centros de consumo. La misión de esta parte del sistema de potencia es transportar grandes bloques de energía desde los centros de generación a todos los puntos del sistema, las líneas de transmisión son los elementos más extensos del sistema de potencia.

El sistema de distribución es el último elemento del sistema de potencia antes de llegar a los consumidores.

2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las redes de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. (JUÁREZ, 1995, p.11)

Un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Básicamente, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución y las acometidas y medidores. (YEBRA, 2009, p.15)

2.2.1 Objetivos de los Sistemas de Distribución.

La distribución de energía eléctrica debe realizarse de tal manera que el cliente reciba un servicio continuo, sin interrupciones, con un valor de tensión adecuado que le permita operar sus aparatos eficientemente, y que la forma de onda sinusoidal sea pura es decir libre de armónicos. La distribución de energía eléctrica debe llevarse a cabo con redes bien diseñadas que soporten el crecimiento propio de la carga, y que además sus componentes sean de la mejor calidad para que resistan el efecto del campo eléctrico y los efectos de la intemperie a que se verán sometidas durante su vida útil. (YEBRA, 2009, p.15)

2.2.2 Clasificación de los Sistemas de Distribución.

2.2.2.1 Según Su Construcción:

- **Redes de Distribución aéreas.**

En esta modalidad, el conductor usualmente está desnudo, va soportado a través de aisladores instalados en crucetas, en postes de madera, de concreto o metálicos.

Las partes principales de un sistema aéreo son esencialmente:

a) Postes: Que pueden ser de madera, concreto o metálicos y sus características de peso, longitud y resistencia a la rotura son determinadas por el tipo de construcción de los circuitos. Son utilizados para sistemas urbanos postes de concreto de 14, 12 y 10 metros con resistencia de rotura de 1050, 750 y 510 kg respectivamente.

b) Conductores: Son utilizados para circuitos primarios el Aluminio y el ACSR desnudos y en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados y en los mismos calibres.

Estos circuitos son de 3 y 4 hilos con neutro puesto a tierra. Paralelo a estos circuitos van los conductores de alumbrado público.

c) Crucetas: Son utilizadas crucetas de madera inmunizada o de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13.2 kV. y 11.4 kV. Con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pie de amigo).

d) Aisladores: Son de tipo ANSI 55.5 para media tensión (espigo y disco) y ANSI 53.3 para baja tensión (carretes).

e) Herrajes: Todos los herrajes utilizados en redes aéreas de baja y mediana tensión son de acero galvanizado. (Grapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, uez, espigos, etc).

f) Equipos de seccionamiento: El seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores mono-polares para operar sin carga (100 A - 200 A).

g) Transformadores y protecciones: Se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 25 - 37.5 - 50 - 75 KVA y para transformadores trifásicos de 30 - 45 - 75 - 112.5 y 150 KVA protegidos por cortacircuitos, fusible y pararrayos tipo válvula de 12 kV. (RAMIREZ, 2009, p.6)

- **Redes de Distribución Subterráneas.**

Son empleadas en zonas donde por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad no es aconsejable el sistema aéreo. Actualmente el sistema subterráneo es competitivo frente al sistema aéreo en zonas urbanas céntricas.

Los conductores utilizados son aislados de acuerdo con el voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Estos cables están directamente

enterrados o instalados en bancos de ductos (dentro de las excavaciones), con cajas de inspección en intervalos regulares.

Un sistema subterráneo cuenta con los siguientes componentes:

Ductos: Que pueden ser de asbesto cemento, de PVC o conduit metálicos con diámetro mínimo de 4 pulgadas.

Cables: Pueden ser mono-polares o tripolares aislado en polietileno de cadena cruzada XLPE, de polietileno reticulado EPR, en caucho sintético y en papel impregnado en aceite APLA o aislamiento seco elastomérico en calibres de 500 - 400 - 350 - 250 MCM, 4/0 y 2/0 AWG en sistemas de 13.2 KV, 7,6 y 4,16 KV.

A pesar de que existen equipos adecuados, resulta difícil y dispendioso localizar las fallas en un cable subterráneo y su reparación puede tomar mucho tiempo, se recomienda construir estos sistemas en anillo abierto con el fin de garantizar la continuidad del servicio en caso de falla y en seccionadores entrada - salida.

Los cables por instalar en baja tensión son aislados a 600 V con polietileno termoplástico PE-THW y recubierto con una chaqueta protectora de PVC y en calibres de 400 - 350 - 297 MCM 4/0 y 2/0 AWG generalmente.

Cámaras: Que son de varios tipos siendo la más común la de inspección y de empalme que sirve para hacer conexiones, pruebas y reparaciones. Deben poder alojar a 2 operarios para realizar los trabajos. Allí llegan uno o más circuitos y pueden contener equipos de maniobra, son usados también para el tendido del cable. La distancia entre cámaras puede variar, así como su forma y tamaño.

Empalmes uniones y terminales: que permiten dar continuidad adecuada, conexiones perfectas entre cables y equipos. (RAMIREZ, 2009, p.7)

Tabla 2.1 Comparación entre las líneas de distribución aéreas y subterráneas

Líneas aéreas	Líneas subterráneas
Costo inicial más bajo	Alto costo de inversión inicial
Fácil localización de fallas	Se dificulta la localización de fallas
Menor seguridad, ya que ofrecen más peligros para los transeúntes	Son mucho más seguras
Fácil mantenimiento	El mantenimiento es más complicado con reparaciones más demoradas
Son susceptibles a fallas y cortes de energía ya que están expuestas a descargas atmosféricas, lluvia, polvo, temblores, gases contaminantes, brisa salina, vientos, contactos con cuerpos extraños, choques de vehículo y vandalismo	Mucho más confiables ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes aéreas no las afectan. Aunque están expuestas a la húmedas y a la acción de los roedores
Mal aspecto estético	Son más estéticas, puesto que no están a la vista

2.2.2.2 Según los Voltajes Nominales:

- **Redes de Distribución Primaria**

Son los que comienzan a la salida de las subestaciones de distribución, hasta alimentar los transformadores de distribución. Se caracterizan porque están conectados a un solo punto o subestación de distribución.

- **Redes de distribución Secundarias**

Los transformadores de distribución reducen el voltaje primario al voltaje secundario o de utilización hasta las acometidas individuales de cada consumidor. (GONZALES, 2008, p.51)

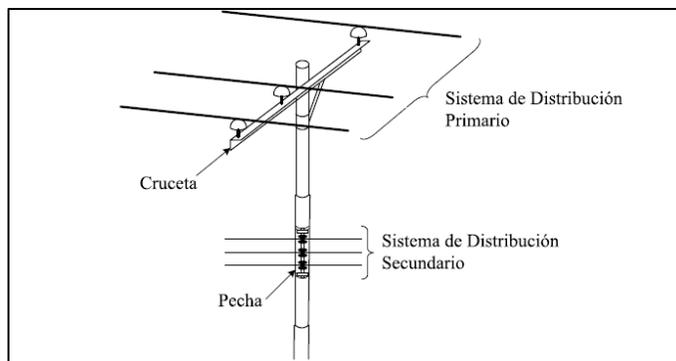


Figura 2.2 Estructura Física de un Sistema de Distribución (GONZALES, 2008, p.54)

2.2.2.3 Según su Ubicación Geográfica

- **Redes de Distribución Urbanas.**

Los programas de distribución urbana son desarrollados individualmente por cada empresa de energía y la mayoría de las veces son planes de remodelación y recuperación de pérdidas.

- **Redes de Distribución Rurales.**

Son evidentes las enormes ventajas de disponer de energía eléctrica en las zonas rurales del país. Nadie pone en cuestión la necesidad de dotar dichos núcleos de un suministro eléctrico seguro y eficiente.

- **Redes de Distribución Suburbana.**

Que tienen características intermedias donde puede existir gran concentración de usuarios que tienen bajo consumo como los suburbios.

- **Redes de Distribución Turística.**

Donde los ciclos de cargas están relacionados con las temporadas de vacaciones, y donde se impone la construcción subterránea para armonizar con el entorno. (RAMIREZ, 2009, p.8)

2.2.2.4 Según el Tipo de Carga

- **Redes de Distribución para Cargas Residenciales.**

Comprende básicamente los edificios, apartamentos, multifamiliares, condominios, urbanizaciones, entre otros. Estas cargas se caracterizan por ser eminentemente resistivas y aparatos electrodomésticos de pequeñas características reactivas. De acuerdo con el nivel de vida y hábitos de los consumidores residenciales y de acuerdo con las clases socioeconómica, las cargas residenciales se clasifican en zona clase alta, zona clase y zona clase baja

- **Redes de Distribución para Cargas Comerciales.**

Caracterizadas por ser resistivas y se localizan en áreas céntricas de las ciudades donde se realizan actividades comerciales, centros comerciales y edificios de oficinas. Tienen algún componente inductivo que baja un poco el factor de potencia. Hoy en día predominan cargas muy sensibles que introducen armónicos.

- **Redes de Distribución para Cargas Industriales.**

Que tienen un componente importante de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados. Con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia. Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado. A estas cargas se les controla el consumo de reactivos y se les realiza gestión de cargas pues tienen doble tarifa (alta y baja) para evitar que su pico máximo coincida con el de la carga residencial.

- **Redes de Distribución para Cargas de Alumbrado Público.**

Para contribuir a la seguridad ciudadana en horas nocturnas se instalan redes que alimentan lámparas de mercurio y sodio de características resistivas.

- **Redes de Distribución Para Cargas Mixtas.**

En este tipo de redes se tienen varias de estas cargas en una misma red de distribución. No muy deseables pues se dificulta el control de pérdidas. (RAMIREZ, 2009, p.11)

2.2.2.5 Según la Confiabilidad

- **Cargas de Primera Categoría.**

Son aquellas en las que una interrupción corta en el suministro de energía eléctrica causa importantes perjuicios al consumidor (riesgo de muerte, daños en procesos de fabricación en masa, daños a equipos costosos como computadores y máquinas controladas por sistemas electrónicos, centros hospitalarios, sistemas masivos de transporte, entre otros). Estas cargas deben tener sistemas alternos de alimentación con conmutación automático y plantas de emergencia (autogeneración).

- **Cargas de Segunda Categoría.**

Bajo esta categoría se clasifican todas las cargas en las que una pequeña interrupción (no mayor de 5 minutos) no causa grandes problemas al consumidor. Pertenecen a este grupo las fábricas de mediana producción, que presentan complicados y delicados procesos de fabricación, pero causan desocupación de empleados y obreros.

- **Cargas de Tercera Categoría.**

Se clasifican aquí el resto de consumidores, los cuales pueden tener un tiempo de interrupción en un intervalo de 1 a 5 horas, en un mes durante el cual no causan mayores perjuicios. Son entonces los usuarios residenciales, poblaciones rurales, pequeñas fábricas, entre otros. (RAMIREZ, 2009, p.12)

2.3 NORMAS Y PROCEDIMIENTO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.3.1 Nomenclatura.

CORPOELEC cuenta con una nomenclatura para identificar sus equipos y distinguir de manera sencilla su nombre, posición y función dentro del sistema eléctrico (Ejemplo. D-105). La importancia de dicha nomenclatura nace de la necesidad de normalizar mediante la asignación de un código alfanumérico que permita una codificación operativa a nivel nacional.

1. La primera letra permite identificar el nivel de tensión del equipo, H, B y D corresponden a los niveles 115 kV, 34.5 kV y 13.8 kV respectivamente, además, cuenta con un código de colores para identificarlos en los diagramas unifilares, para 115 kV azul, 34.5 kV amarilla y 13.8 kV marrón.

2. El primer número indica el orden correlativo de un mismo tipo de tramo, es decir, son números consecutivos en un mismo circuito.

3. El segundo número es utilizado para denominar la clase del grupo de maniobra al cual pertenece, en este estudio es utilizado el número cero (0) que pertenece a línea de transmisión.

4. El tercer número indica la función del equipo de maniobra, el número cinco (5) indica la presencia de un disyuntor de línea (reconectador).

2.3.2 Máximos Valores de Funcionamiento

A nivel nacional CORPOELEC establece parámetros máximos para una mayor confiabilidad del servicio. Los circuitos deben tener una máxima caída de tensión del 6% con el fin de garantizar un servicio continuo, y una máxima carga de los conductores para el análisis con el PADEE del 80% con el propósito de permitir un respaldo del 20% restante de la carga de otro circuito y alimentar nuevas cargas que se incorporen al sistema de distribución.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las características de las cargas expresan el comportamiento de los usuarios frente al sistema de distribución y, por lo tanto, imponen las condiciones (donde está y como establece la demanda durante el periodo de carga). Las empresas de energía pueden realizar control sobre algunas cargas para evitar que el sistema colapse. (RAMIREZ, 2009, p.18)

2.4.1 Carga Instalada (CI)

Es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o parte de él, se expresa generalmente en kVA o MVA. (RAMIREZ, 2009, p.19)

2.4.2 Capacidad Instalada (PI)

Corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos (transformadores, generadores), instalados a líneas que suministran la potencia eléctrica a las cargas o servicios conectados. Es llamada también capacidad nominal del sistema. (RAMIREZ, 2009, p.19)

2.4.3 Carga Máxima (D_M)

Conocida también como la demanda máxima y corresponde a la mayor carga presentada en un sistema en un lapso de trabajo establecido. Es importante conocer esta demanda máxima ya que puede ser aquí donde se presenta la máxima caída de tensión en el sistema

2.4.4 Demanda ($D(t)$)

Se define como la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento variable en el tiempo, es por ello que para establecer la demanda es indispensable indicar el intervalo de tiempo en la cual está establecido ya que sin él no tendría ningún sentido práctico este valor.

La demanda se puede expresar en kVA, kW, kVAR, A, etc. La variación de la demanda en el tiempo para una carga dada origina el ciclo de carga que es una CURVA DE CARGA (demanda vs tiempo). (RAMIREZ, 2009, p.21)

2.4.5 Curva de Carga Anual

Las curvas de carga anual están formadas por los valores de la demanda máxima de cada mes, está permite la visualización de los crecimientos y variaciones de las demandas a lo largo del año. El análisis de las causas de estas variaciones debe conducir a conclusiones practicas sobre el comportamiento del sistema y los factores que lo afectan

2.4.6 Demanda Promedio (D_P)

Se define como la relación entre el consumo de energía del usuario durante un intervalo dado y el intervalo mismo. Se calcula mediante: (RAMIREZ, 2009, p.26)

$$D_P = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo } T \text{ (kWh)}}{T \text{ en horas}} \quad (\text{Ecu. 2.1})$$

2.4.7 Factor de Utilización (F_U)

En un sistema eléctrico, el factor de utilización es la relación entre la demanda máxima y la capacidad instalada. Este factor indica la fracción de la capacidad del sistema que se está utilizando durante in intervalo considerado. Y se calcula mediante:

$$F_U = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Capacidad Instalada}} = \frac{D_M}{PI} \quad (\text{Ecu. 2.2})$$

2.4.8 Factor de Potencia (fp)

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, determinada en el sistema o en uno de sus componentes

$$\cos \varphi = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}} \quad (\text{Ecu. 2.3})$$

Para sistemas de distribución se fija un valor mínimo de 0.9 para el factor de potencia. En el caso de tener valores inferiores a este se deberá corregir este factor por parte de los usuarios, por parte de la empresa electrificadora o por ambos. El factor de potencia se corrige mediante la instalación de bancos de condensadores en las acometidas de los usuarios cuyas cargas así lo requieran, o en los circuitos primarios. Es muy importante calcular bien los kVAR a compensar y la ubicación de los bancos de condensadores dentro del sistema. (RAMIREZ, 2009, p.27)

2.4.9 Factor de Carga (Fc)

Se define como la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo

$$F_C = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}} = \frac{D_P}{D_M} \quad (\text{Ecu. 2.4})$$

En la determinación del factor de carga de un sistema, es necesario especificar el intervalo de la demanda en el que están considerados los valores de demanda promedio y demanda máxima.

El factor de carga indica el grado al cual el pico de la carga es sostenido durante el periodo. Es decir, si el factor de demanda es 1, la D_M se mantiene constante, si el factor de carga es alto (por ejemplo 0.9), la curva de la carga tiene muy pocas variaciones, pero si el factor de carga es bajo (por ejemplo 0.2), la curva de carga sufre muchas variaciones con picos y valles pronunciados. (RAMIREZ, 2009, p.28)

2.4.10 Demanda Coincidente

Se define como la demanda máxima del conjunto o grupo de usuarios.

2.4.11 Demanda no Coincidente

Es definida como la sumatoria de las demandas máximas individuales de un grupo de cargas.

2.4.12 Factor de Coincidencia (F_{co})

Es la relación entre la demanda máxima coincidente de un grupo de consumidores y la suma de las demandas de potencia máxima de consumidores individuales que conforman el grupo, ambos tomados en el mismo punto de alimentación para el mismo tiempo. (RAMIREZ, 2009, p.31)

$$F_{co} = \frac{\text{Demanda máxima coincidente}}{\text{Suma de demandas maximas individuales}} \quad (\text{Ecu. 2.5})$$

2.5 PROTECCIONES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Las redes de distribución deben protegerse contra fallas de cortocircuito y sobrecargas, con relevadores con interruptores de potencia, fusibles, restauradores y seccionadores automáticos, ya que se deben garantizar las características de selectividad, continuidad y confiabilidad del servicio. Los elementos para la protección deben coordinarse de tal manera que se tengan disparos selectivos para despejar las fallas.

Las fallas en los sistemas de distribución se clasifican, de acuerdo con su naturaleza, en temporales y permanentes. Una falla temporal es aquella que puede ser liberada antes de que ocurra algún daño serio en el equipo o en la instalación, sin embargo, una falla temporal puede convertirse en una falla permanente si no se despeja rápidamente. La falla permanente es aquella que continua aun cuando el circuito se ha desenergizado rápidamente.

2.5.1 Protección de un Sistema de Protección Contra Sobrecorrientes.

En un sistema de distribución se tiene un alimentador trifásico principal protegido por un interruptor de potencia o restaurador tripolar en la subestación, circuitos adyacentes trifásicos o

monofásicos conectados a la troncal por medio de seccionadores o fusibles y en muchos casos cuchillas para seccionar y conectar a alimentadores inmediatos en casos de emergencias.

Si los circuitos de distribución fueran instalados sin el equipo de protección contra sobrecorrientes, las fallas podrían causar una falta de suministro de energía a todos los consumidores desde el alimentador, trayendo como consecuencia una reducción en los niveles de confiabilidad. Estas protecciones deben ofrecer funciones principales de seguridad en cuanto a operaciones falsas, de tal manera que el sistema realice todas las funciones y selectividad en cuanto a la coordinación de los dispositivos de protección. Sin embargo, este sistema de protección tiene otras funciones como:

- ***Aislar fallas permanentes.***

Consiste principalmente en aislar fallas permanentes de componentes que aún no han fallado en el sistema de distribución, es decir, una falla en un circuito lateral debe ser aislada por el elemento de protección que este circuito tenga. Sin embargo, si se omite deberá actuar una protección central en la troncal, de ser también omitida, deberá ser despejada por la operación del interruptor de potencia en la subestación, aunque esto podría causar un apagón a los consumidores, se deberá proteger los equipos en la subestación.

- ***Minimizar el número de fallas permanentes y de salidas.***

Esta función radica en desenergizar rápidamente fallas transitorias antes de que se presente algún daño serio que pueda causar fallas permanentes. Cuando la función se realiza exitosamente, los consumidores sólo experimentan una falla de energía transitoria si el dispositivo que desenergiza la falla, ya sea un restaurador o un interruptor de potencia, es automáticamente restaurado para energizar el circuito. (RAMIREZ, 2009, p.655)

- ***Minimizar el tiempo de localización de fallas.***

Si los circuitos laterales estuvieran sólidamente conectados al alimentador principal y no se instala el restaurador central en el alimentador, una falla permanente en cualquiera de los circuitos laterales o en el alimentador principal obligaría al restaurador o al interruptor de potencia en la subestación a operar y pasar a la posición de "bloqueo" permanente, causando un "apagón" a todos los consumidores. Para reducir el tiempo requerido, los dispositivos de protección contra sobrecorriente deben ser cuidadosamente coordinados, para que sólo el dispositivo más cercano a la parte con falla permanente opere y entre a la posición del bloqueo. (RAMIREZ, 2009, p.655)

- ***Prevenir contra daño al equipo.***

Esta función consiste en prevenir daños contra el equipo no fallado, para esto es necesario conocer la curva de daño de todos los elementos, tomándola en cuenta para la aplicación de la coordinación de protección de los dispositivos con el fin de no reducir la vida útil de estos.

- ***Minimizar la probabilidad de caída de conductores.***

Las protecciones de redes de distribución contra sobrecorrientes tienen la función de minimizar la posibilidad de que los conductores se quemen o caiga a tierra debido al arqueo en el punto de falla. Es muy difícil establecer valores de corriente contra tiempo para limitar el daño en los conductores durante fallas de arqueo debido a las múltiples condiciones variables que afectan este hecho. (RAMIREZ, 2009, p.656)

- ***Minimizar las fallas internas de los equipos.***

Consiste en disminuir la posibilidad de fallas en equipos sumergidos en líquidos, como los transformadores y capacitores, debido a las grandes fallas que pueden causar, tales como, presiones altas, fuego o grandes cantidades de líquidos en la parte interna de los equipos.

- ***Minimizar accidentes mortales.***

Para minimizar los accidentes mortales es necesario que las protecciones desenergicen los conductores que se queman y caen a tierra, ya que los fusibles posiblemente no operen en aquellos casos en que la resistencia de contacto sea elevada y la corriente asociada sea menor a la corriente de carga, por lo tanto, el conductor caído seguirá energizado siendo un peligro mortal para cualquier ser vivó en contacto con este conductor.

2.5.2 Protección de un Sistema de Distribución Contra Sobretensiones

Las sobretensiones son aquellos aumentos de tensión que pueden causar graves problemas a los equipos conectados a la línea, desde su envejecimiento prematuro hasta incendios o destrucción de los mismos. Las causas de sobrevoltaje en sistemas de distribución son las descargas atmosféricas, los desplazamientos de neutro durante fallas línea-tierra, las operaciones de fusibles limitadores de corrientes y la ferrosistencia.

Las redes de distribución son muy susceptibles a la inducción de sobretensiones debido a la gran infraestructura que poseen. Un protector de sobretensión también es un dispositivo diseñado para proteger dispositivos eléctricos de picos de tensión. Estos protectores intentan regular el voltaje que se aplica a un dispositivo eléctrico bloqueando o enviando a tierra voltajes superiores a un umbral seguro.

- ***Protecciones contra sobretensiones permanentes.***

Las sobretensiones permanentes son aumentos de tensión durante un periodo de tiempo indeterminado debido a la descompensación de las fases. La rotura del neutro provoca una descompensación en las tensiones, lo que produce en los receptores la reducción de su vida útil, la destrucción inmediata e incluso incendios. La alimentación de equipos con una tensión superior a la que han sido diseñados puede generar como se mencionó anteriormente: sobrecalentamiento, reducción de la vida útil o destrucción de los equipos, incendios e interrupción del servicio.

Para la protección contra sobretensiones permanentes es necesario desconectar la instalación de la red eléctrica para evitar que llegue la sobretensión a los equipos. El uso de protectores es indispensable en áreas donde se dan fluctuaciones de valor de tensión de la red.

- ***Protecciones contra sobretensiones transitorias.***

Las sobretensiones transitorias son aumentos de tensión muy elevadas en una duración muy corta que es originado principalmente por descargas atmosféricas, provocando daños graves o destrucción de los equipos e interrupciones en el servicio.

El protector actúa como un conmutador controlado por tensión, es decir, cuando el valor de la tensión es inferior al valor de la tensión nominal, el dispositivo de protección actúa como un elemento de impedancia infinita y cuando el valor de la tensión es superior a la nominal durante un periodo muy corto de tiempo, el protector actúa como un elemento de impedancia cero, derivando la sobretensión a tierra.

2.6 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas eléctricos están diseñados para suministrar en forma continua la energía eléctrica a los equipos o dispositivos que deben ser alimentados, por lo que la confiabilidad del servicio es un aspecto que resulta muy importante. Es por eso que las redes encargadas de distribuir el servicio deben contar con medidas de seguridad y prevención para prestar un buen servicio, por lo tanto se instalan una gran cantidad de dispositivos de protección que cumplen un rol muy importante y así generan una gran confiabilidad y seguridad en la distribución del servicio eléctrico.

2.6.1. Fusibles

Son los dispositivos de protección más simple, están formados por un elemento conductor fusible, un cartucho que contiene el elemento fusible y un portafusible que soporta los cartuchos. El fusible es un dispositivo de protección con un circuito fusible de interrupción directamente calentado y destruido por el paso de la corriente de corto circuito o de sobrecarga. (JUÁREZ, 1995, p.130)

- *Curvas Características de un Fusible.*

Las curvas características de un fusible se pueden separar en las siguientes partes, tal como se muestra en la figura 2.3 (DÁVILA, 2012).

a. Curva de tiempo mínimo de fusión: Relaciona la corriente con el tiempo mínimo al cual el fusible se funde.

b. Curva de tiempo máximo de fusión o de aclaramiento: se obtiene adicionando un margen de tolerancia (en corriente) a la curva a.

c. Curva de tiempo total para la extinción del arco: se obtiene adicionando a la curva b, el tiempo necesario para la completa extinción del arco.

d. Curva tiempo-corriente de corta duración: Relaciona la corriente y el tiempo máximo permisible para que el fusible no quede debilitado en caso de sobre cargas de corta duración. Se obtiene estableciendo un margen debajo de la curva a.

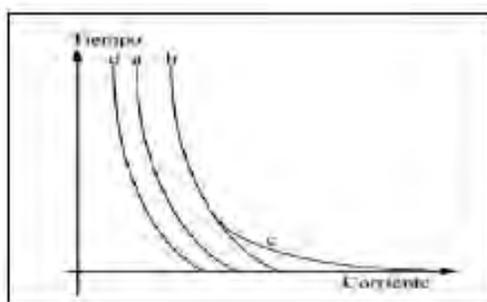


Figura 2.3 Curva características de los fusibles (DÁVILA, 2012).

2.6.2. Restauradores o Reconectores.

Son dispositivos de protección de protección de sobrecorriente que dispara y recierra automáticamente un número determinado de veces para eliminar fallas transitorias o para aislar fallas permanentes. También incluye la posibilidad de realizar operaciones de cierre y apertura de forma manual. (JUÁREZ, 1995, p.129)

2.6.3. Relevadores o Relés

En las redes de distribución se utilizan básicamente protecciones de sobrecorriente con relevadores instantáneos y con retardo, ya sea de tiempo inverso o de tiempo definido. Los de tiempo inversos son relevadores de tipo de inducción electromagnética. Los relevadores instantáneos normalmente son de atracción magnética, al igual que los de tiempo definido. (JUÁREZ, 1995, p.131)

2.6.4. Seccionadores

Los seccionadores automáticos de línea son dispositivos de protección de sobrecorriente que se instalan solo con respaldo de interruptores o restauradores. Ellos operan sobre la base de contar el número de interrupciones causadas por el dispositivo de protección de respaldo y abren durante el tiempo de circuito muerto. (JUÁREZ, 1995, p.133)

2.6.5. Pararrayos

Es un dispositivo de protección cuya función es atraer las descargas eléctricas para conducir las hacia la tierra.

2.7 COORDINACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

En los sistemas de distribución actuales, la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en serie; también se le conoce como "cascada", debido a la que la mayoría de estos

operan en forma radial. Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de alimentación es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo "respaldo" o protegido. (RAMIREZ, 2009, p.763)

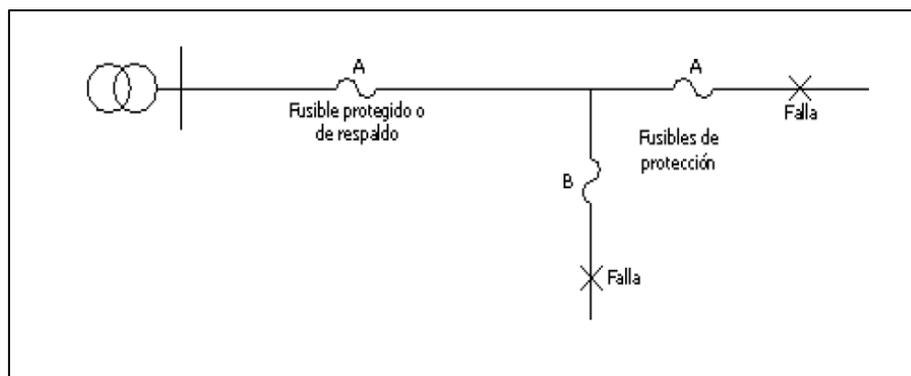


Figura 2.4 Localización de fusibles de protección.

Una regla esencial para aplicación de fusibles establece que el tiempo de despeje máximo del fusible de protección no excederá el 75% del tiempo de fusión mínimo del fusible protegido, lo que asegura que el fusible de protección despejará la falla antes de que el fusible protegido se dañe. El factor del 75% compensa los efectos de las variables de operación.

Otra regla sostiene que la corriente de carga en el punto de aplicación no debe exceder la capacidad de corriente continua del fusible. La capacidad continua de corriente es aproximadamente 150% del valor nominal para fusibles T y K con elementos fusibles de estaño y aproximadamente 100% para fusibles H y N y fusibles K de plata. (RAMIREZ, 2009, p.457)

2.8 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Son aquellas en la cual la energía es transformada a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, conectados a un punto común, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, en lo correspondiente a equipo de alta tensión, y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares.

El diseño mecánico y eléctrico integral de las subestaciones presenta una completa gama de problemas al ingeniero diseñador, quien debe tener en cuenta adecuadamente: selección de la configuración de barrajes, considerando que son muchos los tipos de configuraciones que brindan los diferentes grados de confiabilidad, flexibilidad y seguridad requeridos por las diferentes subestaciones del sistema; presencia de conductores pesados necesarios para transportar las elevadas corrientes que conllevan a la exigencia de estructuras metálicas y obras con mayores solicitaciones y a mayores pérdidas de energía; requisitos de diseño especiales para utilización de equipos en ambientes hostiles; características de aislamiento para las instalaciones y equipos de acuerdo con su nivel de tensión y ubicación; intensidad de campo eléctrico y presencia de efecto corona; conexión a tierra para la seguridad del personal, entre otros.

2.9 MALLA DE PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN

La red de conexión a tierra suministra la adecuada protección al personal y al equipo que dentro o fuera de la subestación pueden quedar expuestos a tensiones peligrosas cuando se presentan fallas a tierra en la instalación. Estas tensiones dependen básicamente de dos factores: la corriente de falla a tierra que depende del sistema de potencia al cual se conecta la subestación; y la resistencia de puesta a tierra de la malla que depende de la resistividad del suelo, del calibre de los conductores de la malla, su separación, su profundidad de enterramiento y la resistividad superficial del piso de la subestación. (RAMIREZ, 2009, p.646)

2.9.1 Funciones de la Malla de Tierra

Las principales funciones de la malla de puesta a tierra consiste en proteger a los individuos, limitando las tensiones de contactor y de superficie a valores aceptables durante condiciones de cortocircuito, proporcionar un medio para disipar la corriente eléctrica en la tierra bajo condiciones normales o de cortocircuito, asegurar el buen funcionamiento de los equipos de protección, permitir la utilización de la tierra como camino de retorno en la transmisión de energía en corriente continua, proteger la red contra los efectos de las descargas atmosféricas, minimizar la interferencia de los circuitos de distribución sobre los sistemas de control y proporcionar una mayor confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico.

2.9.2 Elementos de la Red de Tierra

El sistema de puesta a tierra está compuesto por los siguientes elementos:

- **Electrodos horizontales:** Son conductores desnudos en posición horizontal que constituyen la malla de puesta a tierra, se recomienda el uso de conductores de calibre 4/0 AWG por razones mecánicas, ya que eléctricamente pueden usarse conductores de menor calibre.
- **Electrodos de Barras:** Son varillas puestas de forma vertical, enterradas en la tierra. Las más utilizadas son las varillas Copperweld debido a su fácil instalación y bajo costo. Según el Código Eléctrico Nacional deben tener un diámetro como mínimo de 5/8" y deben llegar a una profundidad de al menos 2.40 m
- **Conectores:** Son todos aquellos elementos que sirven para unir a la malla de tierra los electrodos profundos, las estructuras y los neutros de todos los equipos dentro de la subestación. Los conductores de la malla se encuentran conectados mediante soldaduras exotérmica debido a que provee una conexión solida que soporta la corriente máxima que circulara por la malla.

- **Accesorios:** Se tienen los conductores, regletas y diferentes tipos de conectores que pueden ser atornillados, a presión y soldados, teniendo en cuenta que al igual que los conectores, todos los accesorios deben ser capaz de soportar las corrientes máximas de la red.

2.9.3 Situaciones de Riesgos sobre el Cuerpo Humano.

Una falla a tierra involucra corrientes elevadas, incluso más elevadas que las corrientes de fallas trifásicas. Es por ello, que este valor elevado de corriente representa un riesgo para las personas e instalaciones. Si una falla ocurre en el sitio donde la persona se encuentre, podría servir de puente para el arco de la falla, o en el peor caso, podría ser el causante de la falla por un contacto involuntario con un elemento energizado. Por otra parte, si la falla envuelve la parte metálica de un equipo, existe la posibilidad de que una persona sufra un choque eléctrico si establece contacto con el equipo. Es obligatorio tomar precauciones para que los desniveles eléctricos no ofrezcan peligros a los operadores o al personal en general dentro de la subestación o en sus adyacencias.

Los seres humanos son muy sensibles a corrientes eléctricas de frecuencias alrededor de 60 Hz, y las corrientes de aproximadamente a 0.1 A pueden ser mortales. Sin embargo, son muchos los factores que determinan los efectos de la corriente sobre el cuerpo humano, pero los más importantes y relevantes son: el tiempo de duración de la corriente en el cuerpo, la intensidad de la corriente, la humedad de la piel, la superficie de contacto, el camino de la circulación de la corriente y la distribución de la misma dentro del cuerpo humano.

Tabla 2.2 Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

Efecto	Corriente (mA)	
	Hombres	Mujeres
Sin ninguna sensación	0.4	0.3
Hormigueo ligero	1.1	0.7
Choque no doloroso	1.8	1.2
Choque doloroso (Sin perder el control muscular)	9.0	6.0

Efecto	Corriente (mA)	
	Hombres	Mujeres
Choque doloroso (Sin poder soltar el objeto energizado)	16.0	10.5
Choque severo con dificultad para respirar	23.0	15.0
Posible fibrilación ventricular (Duración del choque de 0.03 s)	1000	1000

Las situaciones de riesgos para las personas dentro de las subestaciones son mostradas en la figura 2.4

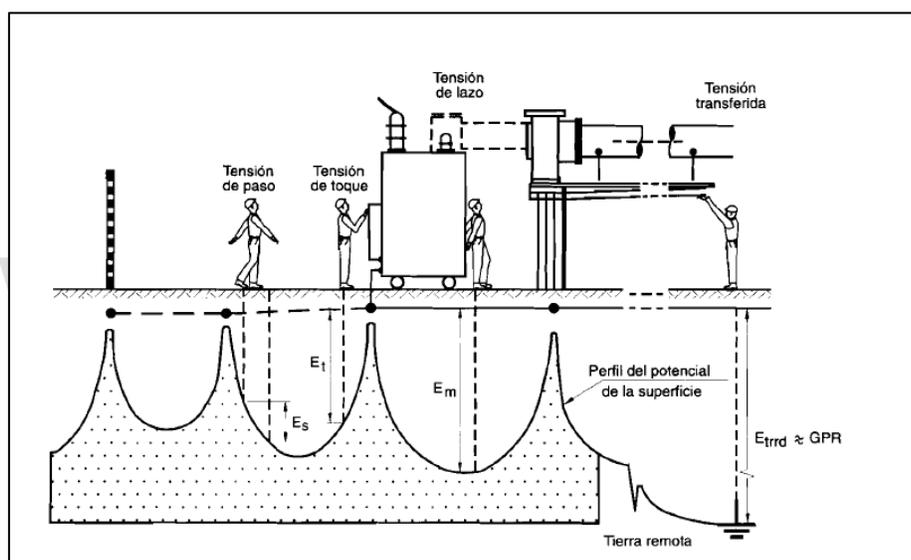


Figura 2.5 Situaciones de riesgos en los seres humanos dentro de una subestación

- **Voltaje de paso**

El voltaje de paso o de superficie es la diferencia de potencial experimentada por una persona parado sobre la superficie con una distancia de aproximadamente 1 m entre sus pies, pero sin tener contacto con cualquier objeto enterrado. En la figura 2.4 se puede observar esta situación.

- ***Voltaje de contacto.***

También llamada voltaje de toque como se observa en la figura 2.4, es la diferencia de potencial entre el potencial de tierra y el potencial en la superficie de contacto donde la persona tiene una mano.

- ***Voltaje de lazo.***

Representado con ese nombre en la figura 2.4, es un caso especial de voltaje de contacto encontrado dentro de una malla de puesta a tierra.

- ***Voltaje transferido.***

También es un caso especial del voltaje de contacto que involucra la diferencia de potencial que es transferido desde o hacia el exterior de la subestación.

- ***Perfiles de voltaje***

Los perfiles de voltaje indican las ciencias de potencial que aparecen en el terreno cuando circula una corriente de falla a tierra a la malla, en porcentaje de la elevación de potencial de tierra (GPR). La persona puede estar sometida a distintos valores de voltaje dependiendo de la zona del terreno donde se encuentre. La diferencia de potencial también depende de la densidad de la malla, es decir, la cantidad de conductores en el área de la malla.

Para mantener la seguridad de las personas al momento de una descarga eléctrica es importante que el manejo del voltaje máximo no exceda los límites que se indican a continuación:

$$Ep50Kg = (1000 + 6Cs * \rho s) * \frac{0.116}{\sqrt{ts}} \quad (Ecu. 2.6)$$

$$Ep70Kg = (1000 + 6Cs * \rho s) * \frac{0.157}{\sqrt{ts}} \quad (Ecu. 2.7)$$

$$Ec50Kg = (1000 + 1.5Cs * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{ts}} \quad (Ecu. 2.8)$$

$$Ec70Kg = (1000 + 1.5Cs * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{ts}} \quad (Ecu. 2.9)$$

Donde:

Ep50Kg: Voltaje de paso para una persona con un peso corporal de 50 Kg.

Ep70Kg: Voltaje de paso para una persona con un peso corporal de 70 Kg.

Ec50Kg: Voltaje de contacto para una persona con un peso corporal de 50 Kg.

Ec70Kg: Voltaje de contacto para una persona con un peso corporal de 70 Kg.

Cs: Factor de reducción de la capacidad nominal de la capa superficial.

ρ_s : Resistividad del material superficial (Ω -m).

ts: Duración del choque eléctrico

2.9.4 Principales Consideraciones de Diseño

El sistema de puesta a tierra debe ser instalado de manera tal que minimice el efecto de los desniveles de potencial a tierra a niveles de tensión y corriente para que no pongan en peligro la seguridad de las personas y de los equipos bajo condiciones normales y de falla.

La norma IEEE Standard 80 establece que la practica más común de diseño del sistema de tierra corresponde a una malla horizontal de conductores enterrados, complementada por un numero de varillas verticales conectadas a la malla. A partir de esta norma es que se toman la mayoría de los aspectos para el diseño de una malla de puesta a tierra.

Una malla típica de una subestación puede estar conformada por conductores de cobre desnudo, enterrado como mínimo entre 0.3 m y 0.5 m bajo la capa superficial. Las varillas de puesta a tierra pueden colocarse en las esquinas de la malla y en la adyacencia a los equipos de

protección. En suelos de varias capas de resistividad se pueden instalar varillas de varios metros de longitud para poder llegar a la capa de menor resistividad.

Las mallas pueden extenderse sobre la totalidad del área de la subestación y en algunas ocasiones, por fuera del cerco perimetral.

- ***Resistividad y característica del terreno***

La resistividad es una característica de los materiales que mide su oposición al flujo de la corriente eléctrica, se define como la tensión medida en los extremos (V/m) dividida por la corriente que atraviesa una sección cuadrada (I/m^2), por lo que resulta $\Omega\cdot m$.

Se considera que el suelo es un mal conductor de la electricidad comparado con materiales conductores. El diseño de un sistema de puesta a tierra requiere principalmente del conocimiento de la respuesta eléctrica del terreno donde se va a instalar o donde está instalado.

La resistividad es un parámetro del terreno y representa su capacidad para conducir electricidad, depende de la longitud del terreno (L) y del área de su sección transversal (S) y se determina mediante la expresión:

$$\rho = \frac{R * S}{L} \quad (Ecu. 2.10)$$

Donde:

ρ : Resistividad ($\Omega\cdot m$).

R: Resistencia (Ω).

L: Longitud (m).

S: Sección transversal (m^2)

La resistividad del suelo es determinada por varios factores como: el tipo de suelo, la composición química, el porcentaje de humedad, la compactación del material, la temperatura,

la estratificación del suelo y la concentración de sales disueltas en la humedad del suelo. Algunas características pueden considerarse constantes a la hora de diseñar una malla de tierra, pero existen algunas como el porcentaje de humedad, la temperatura, la composición química de las sales disueltas son factores variables a la hora de considerar el diseño. Para fines de diseño de un sistema de puesta a tierra deben tomarse las condiciones más desfavorables sobre la información obtenida del terreno.

- **Métodos de medición de la resistividad**

Es indispensable realizar las mediciones necesarias en el lugar donde se ubica la subestación para determinar sus características. La norma IEEE Standard 81 establece varios métodos para la medición de la resistividad: Información geológica mediante muestras de suelo, Método de los tres puntos y método de los cuatros puntos.

El método más utilizado para medir la resistividad del suelo es el Método de los cuatros puntos o método de Wenner, el cual consisten en instalar cuatro electrodos enterrados en la tierra, todos a una misma profundidad b y espaciados uniformemente a una distancia a , tal como se muestra en la figura 2.5 Se hace circular una corriente de prueba entre dos varillas exteriores, y la diferencia de potencial entre las dos varillas internas se mide con un potenciómetro de alta impedancia. La tensión es dividida por la corriente para dar un valor de resistencia de los electrodos internos.

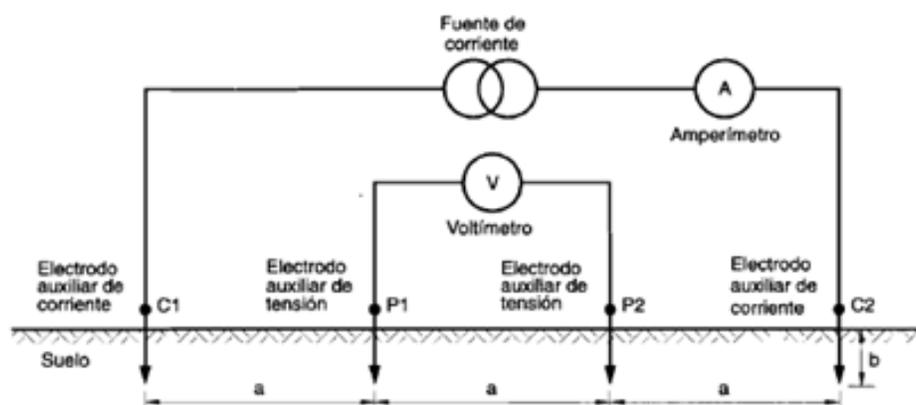


Figura 2.6 Método Wenner

La resistividad del suelo se estima con base en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4 * \pi * a * R}{1 + \frac{2 * a}{\sqrt{a^2 + 4 * b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (\text{Ecu. 2.11})$$

Donde

ρ : Resistividad del suelo (Ω -m).

R: Resistencia resultante de la medida (Ω).

a: Distancia entre los electrodos (m).

b: Profundidad de los electrodos (m).

Usualmente en la práctica la profundidad b no es superior a a . por lo tanto se puede asumir que $b \ll a$, y la ecuación se convertiría en:

$$\rho = 2 * \pi * a * R \quad (\text{Ecu. 2.12})$$

La ecuación 2.12 representa la resistividad aparente del suelo

Para esta medición se utiliza un aparato llamado Megger de Tierra, además de este aparato es necesario tener a disposición una cinta métrica de material eléctricamente aislante, un martillo, agua y conductores aislados para la conexión. Es común utilizar electrodos verticales que se entierran aproximadamente a 10 cm dentro del terreno.

- ***Representación del Suelo en Capas***

La representación más precisa de un sistema de tierra debe basarse en la variación real de la resistividad del suelo presente en el sitio de la subestación. La obtención de la curva de resistividad aparente es el principal objetivo de las mediciones de campo. A partir de la curva de la figura 2.6 es posible proponer modelos estratificados horizontalmente.

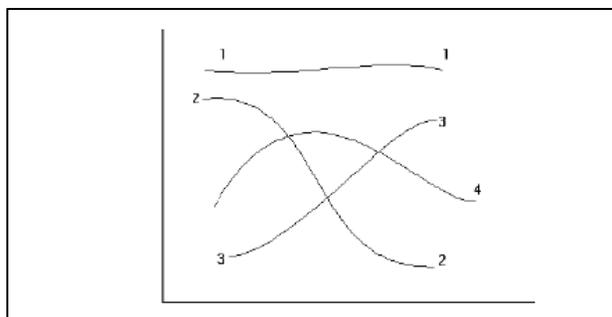


Figura 2.7 Curvas de la resistividad aparente.

De la figura anterior, en la curva 1 se observa que las variaciones de resistividad son muy pequeñas, lo que indicaría que el terreno tiene una característica homogénea, aunque no existe una regla que permita la interpretación directa de estos resultados para obtener un modelo del terreno, lo único que se puede concluir con seguridad es la característica heterogénea que presenta, con la curva 2 y 3 se puede proponer un modelado de dos capas.

- ***Resistividad y espesor de la capa superficial***

Para el diseño de la malla de puesta a tierra en una subestación es necesario la incorporación de una capa superficial que sería útil para retardar la evaporación de la humedad, es decir, limitar el secado de las capas superficiales del suelo, además proporciona una capa de material de alta resistividad que reducirían las corrientes de choque y ayudarían a que las tensiones de contacto y superficie tolerables aumenten.

Por lo general la capa superior utilizada es la piedra picada la cual presenta una resistividad 2000 Ω -m a 3000 Ω -m. El uso de la piedra picada proporciona un valor que ayudan a cuantificar las tensiones de contacto y de superficie tolerables por una persona, este valor es conocido como el factor de reducción (C_s).

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * (1 - \rho/\rho_s)}{2hs + 0.09} \quad (\text{Ecu. 2.13})$$

Donde:

Cs: factor de disminución de la capa superficial.

ρ : resistividad del terreno (Ω -m).

ρ_s : resistividad de la capa superficial (Ω -m).

hs: Espesor de la capa superficial (m).

También se tiene el factor de reflexión k , que indica la información sobre los cambios abruptos de la resistividad en la frontera de ambas capas del suelo. Y viene dado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$k = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad (\text{Ecu. 2.14})$$

- ***Determinación de la corriente máxima de la malla.***

Una de las fundamentales variables para tener en cuenta para el diseño de la malla de puesta a tierra es la corriente de falla, o la porción de ésta que se introduce y que tiene como camino de retorno la tierra. La principal falla que puede inyectar corriente al terreno es la de una fase a tierra debido a que son las más usuales de ocurrir en este tipo de sistema.

Se debe evaluar la localización de la falla y el camino de retorno que ésta tomara, ya que si se presenta una falla a tierra dentro de la subestación que tiene un camino de retorno por medio de una estructura conductiva conectada al mismo sistema de puesta a tierra, toda la corriente de falla retornara a través de este camino. Pero existe el caso en que la falla a tierra ocurra fuera de la subestación, en la primera torre de algún circuito conectado en el lado de baja tensión, la corriente de falla no tendría otra alternativa que retornar por el terreno a través del sistema de puesta a tierra de la torre y la subestación. Por lo general, ésta es la condición que genera la máxima corriente que retorna por el terreno.

2.9.5 Resistencia de un Sistema de Puesta a Tierra.

Un sistema de puesta a tierra debe proporcionar una baja resistencia con el objetivo de minimizar la elevación de potencial de tierra. En subestaciones de grandes dimensiones, la resistencia de tierra deber ser de aproximadamente 1Ω o menos. Y en subestaciones de distribución más pequeñas, el rango aceptable varía entre 1Ω a 5Ω , dependiendo de las condiciones locales.

2.10 HERRAMIENTAS DE UTILIZACIÓN PARA EL GEO-POSICIONAMIENTO, ACTUALIZACIÓN Y ESTUDIO DEL FLUJO DE CARGAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

2.10.1 Programa AutoCAD

Es un software de diseño para dibujos en 2D y modelado en 3D, este programa hace posible el dibujo digital de planos de edificios, redes o recreación de imágenes en 3D; es uno de los programas más utilizados por ingenieros, arquitectos, diseñadores industriales, entre otros.

2.10.2 Programa PADEE

El Programa de Análisis de Distribución de Energía Eléctrica (PADEE), es una herramienta que contiene un conjunto de programas de análisis, hace que los cálculos de flujo de cargas y energías se realicen en torno a los planos de las redes de distribución de energía eléctrica. Dicho programa se maneja en conjunto con los planos elaborados en AutoCAD y en ambiente Windows. (PADEE, 2012, p.21)

El programa ofrece la opción de REPARTIR la carga, el cual estima la demanda de cada uno de los bancos de transformación, cuando no se conoce la carga de cada uno de ellos.

La opción ANALIZAR, realiza los flujos de carga dando como resultado la caída de tensión, corriente de cada sección del circuito y perdida de los mismos. En los puntos donde ocurre la

máxima caída de tensión y carga en las secciones de los circuitos, el programa lo indica cambiando la línea de color.

El comando CORTO realiza los cálculos de falla de corrientes de cortocircuito, pero para ello es necesario introducir los niveles de cortocircuito trifásica y monofásica.

2.10.3 Sistema de Posicionamiento Global

Las coordenadas geográficas son aquellas que sirven para ubicar con gran precisión diversos elementos sobre la superficie del planeta tierra.

2.11 HERRAMIENTA CYMGRD PARA EL ANÁLISIS DE REDES DE TIERRA EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

CYMGRD es un programa utilizado por ingenieros para realizar análisis y diseño de las instalaciones de puesta a tierra en subestaciones, sirve para optimizar el diseño de nuevas mallas o para reforzar las que ya existen. Este programa sigue los criterios sugeridos por las normas IEEE 80-2000 y 81-1983, realizando el estudio de cualquier configuración de redes de tierra. A partir de los parámetros introducidos y de las normas por las que se rige el programa realiza el cálculo de la resistencia del sistema a tierra, genera análisis de potenciales de contacto y superficie y crea gráficos utilizados para interpretar las características del suelo y de la malla.

2.11.1 Módulo de Análisis del Suelo

El programa utiliza técnicas estadísticas para interpretar las mediciones de resistividad del suelo con el fin de definir el modelo de suelo, ofrece la opción entre el modelo de terreno uniforme o estratificado en dos capas, sin embargo, es común encontrar que el suelo consta de al menos dos capas horizontales de diferentes resistividades en donde la capa superior tiene una profundidad definida por lo tanto el programa calcula la resistividad y el espesor de las capas, la segunda capa se considera infinitamente profunda por lo que el programa solo muestra su resistividad. Para la medición de la resistividad del terreno el programa sólo admite el método Wenner,

aceptando datos de resistividad o de resistencia. En cuanto al análisis de seguridad, se estima la máxima tensión de paso y de contacto admisible bajo condiciones específicas de superficie. Para este análisis es necesario introducir el peso corporal de la víctima del choque eléctrico y la duración de este, cuyos valores típicos están dentro del rango 0.25 s a 1 s.

2.11.2 Módulo de Análisis de Malla

Permite calcular la resistencia del sistema de puesta a tierra, la elevación del potencial de tierra y los gradientes de potencial en la superficie del terreno. Estos resultados son necesarios para evaluar la ventaja del diseño de la malla y la seguridad del personal que labora en el área. Por lo general una subestación consta de dos o más barras, por lo que es necesario identificar cada una de ellas con sus respectivos parámetros. El programa es capaz de analizar los sistemas de puesta a tierra de simétrica o asimétrica configuración, se deben introducir las coordenadas (X1, Y1, Z1) y (X2, Y2, Z2) de los conductores que conforma la malla de tierra, el valor positivo de Z denota una posición por debajo de la superficie del suelo.

2.11.3 Módulo de Graficado

Sirve para calcular y visualizar los resultados del análisis de potencial de superficie, así como también evaluar los puntos de peligro en distintas zonas de la superficie de la subestación. Genera representaciones en 2D y 3D ilustrando los contornos equipotenciales de contacto y de superficie con el respectivo código de colores. Cada vez que genera un gráfico de contorno el programa produce un reporte tabular, el cual contiene el potencial máximo encontrado dentro del área, este punto es interesante ya que representa para los contornos de tensión de contacto, el gradiente más escarpado encontrado en el análisis.

El programa CYMGRD es una solución rápida y confiable, con su aplicación se optimiza una gran cantidad de cálculos

Es importante conocer todos estos conceptos para entender un poco el tema abordado en este trabajo de grado. Por tanto, las bases teóricas son primordiales en cualquier estudio ya que proporcionan los conceptos básicos para abarcar un tema

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y EL MORAL

La presente investigación de acuerdo con los objetivos planteados consiste en la propuesta de una solución a un problema de tipo práctico, con el objeto de satisfacer necesidades de entes específicos, en este caso de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC).

En función de ello, este capítulo trata del estudio de la situación actual de los sistemas de distribución de los circuitos asociados a las subestaciones en estudio y de analizar la malla de puesta a tierra actual de la subestación El Moral, con el fin de optimizar la calidad del servicio eléctrico brindado a todos los usuarios.

Para esto fue necesario realizar el levantamiento y actualización de los circuitos del sistema de distribución de ambas subestaciones, con el apoyo de todo el personal de la División de Control de Operaciones, que es el encargado de la supervisión y control del sistema eléctrico del estado. Para verificar y actualizar los planos existentes en el departamento fue necesario contar con un GPS, binoculares y con los planos en físico, todo estos proporcionados por la empresa. Realizando los recorridos a lo largo de toda la línea de distribución de cada uno de los circuitos partiendo desde la subestación, se logró obtener la ubicación exacta de nuevos puntos, además, fue necesario una detallada inspección de los elementos más relevantes del sistema, como son: puntos de seccionamientos, cortacorrientes, transformadores, tipos de

transformadores, tipos de conductores, calibres de conductores, arranque y final de las derivaciones, nombre de los sectores con ubicación referencial y deficiencias presentes en el sistema, que posteriormente fueron tabulados. Una vez terminados los recorridos, se ejecuta la actualización de los planos en el programa AutoCAD con el fin de realizar el análisis con el uso del software PADEE para estudiar y analizar las redes a través de sus herramientas de simulación, como el análisis de corrientes, el cálculo de flujo de carga, la caída de tensión y la cargabilidad de los circuitos.

CORPOELEC se ve en la necesidad de realizar este estudio cada cierto tiempo, debido al incremento poblacional que presenta la ciudad de Mérida días tras días, con el fin de mejorar la calidad del servicio eléctrico ofrecido a toda la población, este crecimiento poblacional trae como consecuencia nuevas extensiones de líneas que incrementan la demanda en los circuitos y por lo tanto requieren mayor potencia a los transformadores de la subestación, por lo cual la empresa debe tener estos datos actualizados constantemente.

3.1 SUBESTACIÓN EJIDO

Ejido es una subestación de distribución eléctrica de tipo radial, que antiguamente estaba ubicada cerca del Instituto Universitario Tecnológico de Ejido (UTPM) funcionando como una subestación no atendida, pero debido al incremento poblacional, CORPOELEC se vio en la necesidad de reubicarla y convertirla en una subestación atendida para el año 2004. Actualmente esta subestación se encuentra ubicada en el sector El Manzano Medio, con la Av Monseñor Chacón, está compuesta por tres transformadores de potencia de 36 MVA cada uno, dos de estos con una relación de transformación de 115/13.8 kV, y el otro de 115/34.5 kV. La subestación es alimentada desde las S/E Mérida II y Tovar en 115 kV, pertenece al centro de servicio Metropolitano del estado Mérida. Esta subestación es la responsable de suministrar la energía eléctrica hacia todos los sectores de Ejido, El Morro, Los Nevados, El Salado, El Manzano y parte de la vía panamericana hacia Jaji.



Figura 3.1 Ubicación de la subestación Ejido

3.1.1 Distribución de carga de la Subestación Ejido

La subestación Ejido alimenta cinco (5) circuitos de distribución de 13.8 kV y tres (3) de 34.5 kV de la siguiente manera:

Transformador 1: Marca SIEMIENS, instalado en el 2004, con una capacidad de 36 MVA tiene una relación de transformación de 115/13.8 kV y alimenta tres (3) circuitos que son: D-105 Aguas Calientes, D-205 Centenario/El Morro y D-305 El Manzano.

Trasformador 2: Marca SIEMIENS, instalado en el 2004, con una capacidad de 36 MVA tiene una relación de transformación de 115/13.8 kV y alimenta dos (2) circuitos que son: D-405 Centro y D-505 El Salado.

Transformador 3: Marca SIEMIENS, instalado en el 2004, con una capacidad de 36 MVA tiene una relación de transformación de 115/34.5 kV y alimenta tres (3) circuitos que son: B-105 Cinco Águilas. B-205 Villa Libertad/El Moral y B-305 Lagunillas.

Para este estudio se tomarán en cuenta los circuitos de distribución de 13.8 kV de los transformadores 1 y 2.

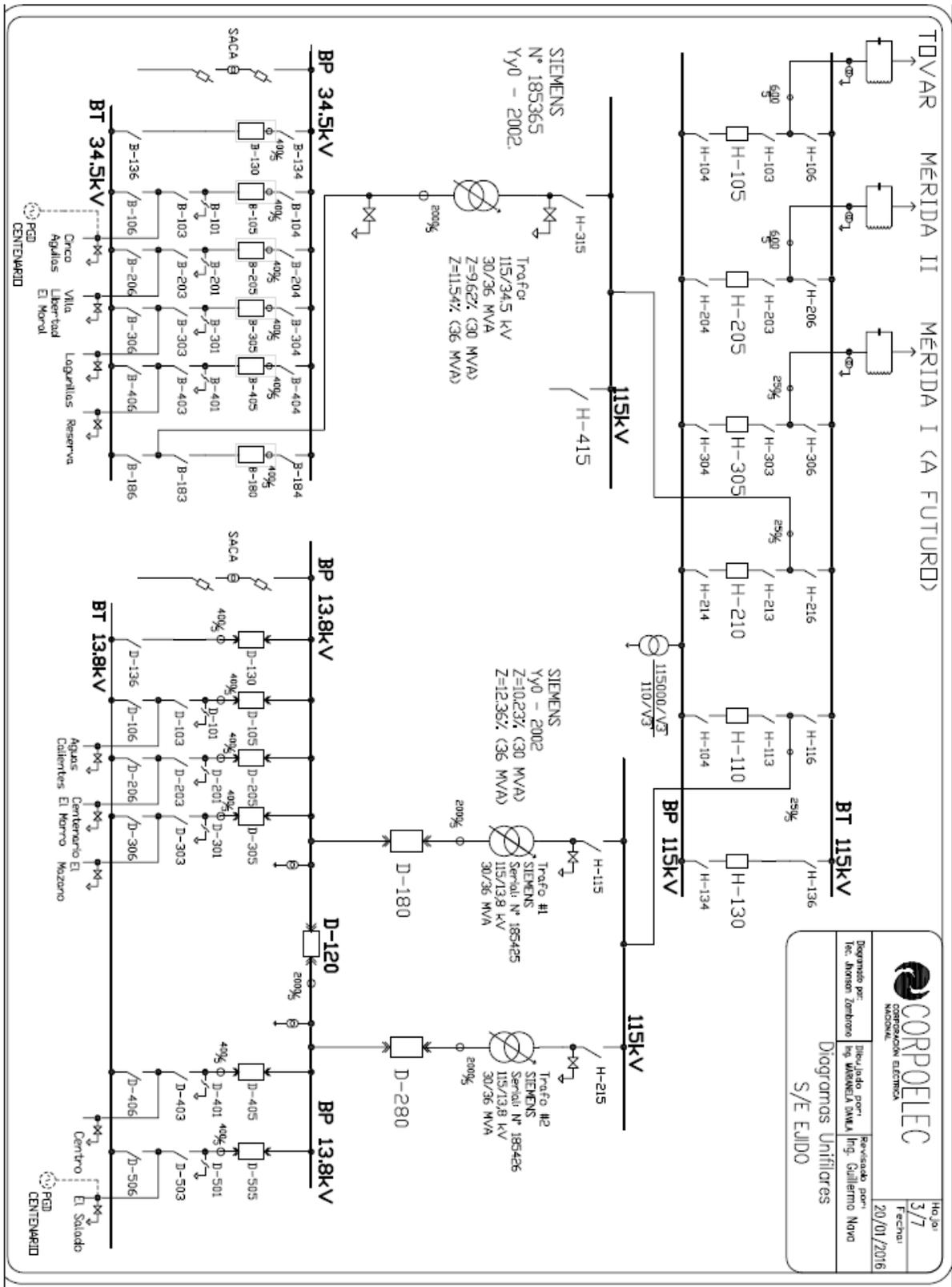


Figura 3.2 Diagrama Unifilar de la S/E Ejido

3.2 SUBESTACIÓN EL MORAL

El Moral es una subestación de distribución eléctrica de tipo radial, no atendida, con una dimensión de 169 m² y está ubicada en el sector El Moral, antiguamente cubría la demanda eléctrica del sector Jají y era alimentada por la subestación Mérida II, luego debido al aumento poblacional en zonas adyacentes, la empresa se vio en la necesidad de construir la subestación Villa Libertad, con una mayor capacidad que la de El Moral, y cubriendo la demanda que esta antes tenía, quedando El Moral solo con la carga de la Urb. José Adelmo Gutiérrez del sector Caicaguita, El Moral y las antenas de Movilnet y Digitel ubicadas en dicho sector. Actualmente la subestación es alimentada desde Ejido en 34.5 kV, el transformador que opera dentro de la subestación se encarga de reducir los niveles de tensión de 34.5 kV a 13.8 kV con una capacidad de transformación de 3 MVA.

Considerando que COROPOELEC no contaba con los planos de esta subestación, para este estudio se realizó un recorrido exhaustivo empezando desde cero.



Figura 3.3 Ubicación de la Subestación El Moral

3.2.1 Distribución de carga de la Subestación El Moral.

La subestación El Moral alimenta dos circuitos de distribución de 13.8 kV, de la siguiente manera:

Único Transformador: Marca PAUWEL S. TRAF0, con una capacidad de 3 MVA tiene una relación de transformación de 34.5/13.8 kV y alimenta dos (2) circuitos que son:

D-105 La Mesa/Jaji y D-205 Las Antenas (antiguamente de Reserva).

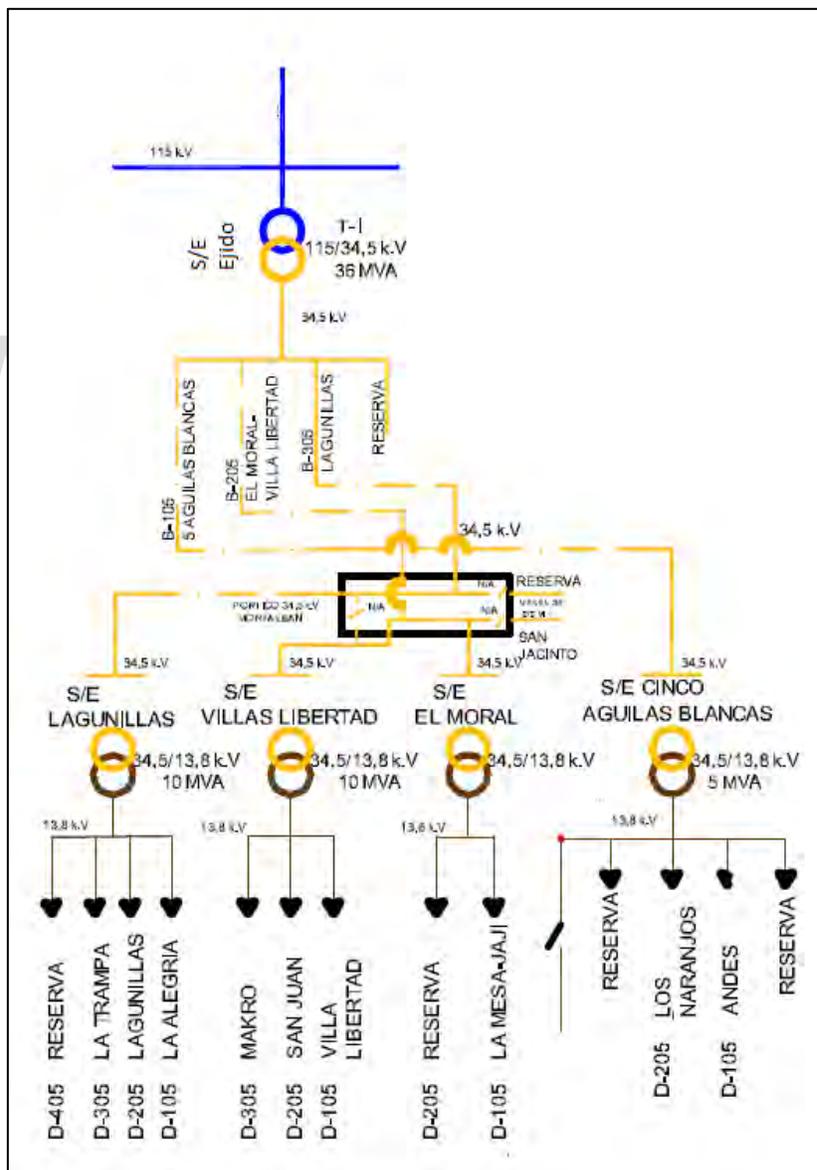


Figura 3.4 Diagrama Unifilar de la S/E Ejido

3.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 13.8 KV DE LA SUBESTACIÓN EJIDO.

La subestación Ejido cuenta con tres transformadores descritos anteriormente, de los cuales se estudiarán solo dos de ellos que corresponden al tema en estudio, ambos de 115/13.8 kV con capacidad de 36 MVA. El C.O.D., cuenta con la demanda máxima de cada circuito registrada mensualmente, en este trabajo se estudiará el comportamiento de dichas demandas desde mayo 2016 hasta abril 2017 para analizar por cada circuito y por transformador, obteniendo el factor de utilización de estos. Este estudio es requerido por la empresa debido a las diversas interrupciones presentadas en el sistema.

Tabla 3.1 Demandas máximas en Amperios (A) por circuito en la Subestación Ejido

CTO	Demanda Máxima (A)											
	2016						2017					
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
D-105	253	255	266	240	244	248	238	245	237	241	235	252
D-205	161	156	150	163	151	157	156	154	150	147	153	158
D-305	116	118	106	109	108	109	107	120	162	109	136	115
D-405	208	200	196	210	197	202	195	203	195	217	187	199
D-505	186	184	182	310	333	332	173	178	171	177	172	179

La tabla 3.1 muestra las demandas máximas mensuales registradas en corrientes (A) por los operadores dentro de la subestación. Es importante conocer estos valores en VA y para obtenerlos se aplica la siguiente ecuación:

$$Dem(kVA) = \sqrt{3} * I(A) * 13.8(kV) \quad (Ecu. 3.1)$$

Tabla 3.2 Demanda máxima kVA por circuito asociadas a la Subestación Ejido

CTO	Demanda Máxima (kVA)											
	2016						2017					
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
D-105	6047	6095	6358	5737	5832	5928	5689	5856	5665	5760	5617	6023
D-205	3848	3729	3585	3896	3609	3753	3729	3681	3585	3514	3657	3777

CTO	Demanda Máxima (kVA)											
	2016								2017			
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
D-305	2773	2820	2534	2605	2581	2605	2558	2868	3872	2605	3251	2749
D-405	4972	4780	4685	5019	4709	4828	4661	4852	4661	5187	4446	4757
D-505	4446	4398	4350	7410	7959	7936	4135	4255	4087	4231	4111	4279

En la tabla 3.2 se observa que para cada circuito se tiene la máxima demanda en diferentes meses durante el año 2016-2017, para el circuito D-105 “Aguas Calientes” la máxima demanda registrada fue para el mes de julio de 2016 siendo de 6358.01 kVA. para D-205 “Centenario/El Morro” fue en el mes de agosto de 2016 de 3896.08 kVA. El circuito D-305 “El Manzano” presentó su máxima demanda en el mes de enero de 2017 de 3872.17 kVA. para el D-405 “El Centro/Higuerones” en el mes de febrero de 2017 de 5186.80 kVA y finalmente el circuito D-505 “El Salado” registro su demanda máxima en septiembre de 2016 de 7959.47 kVA.

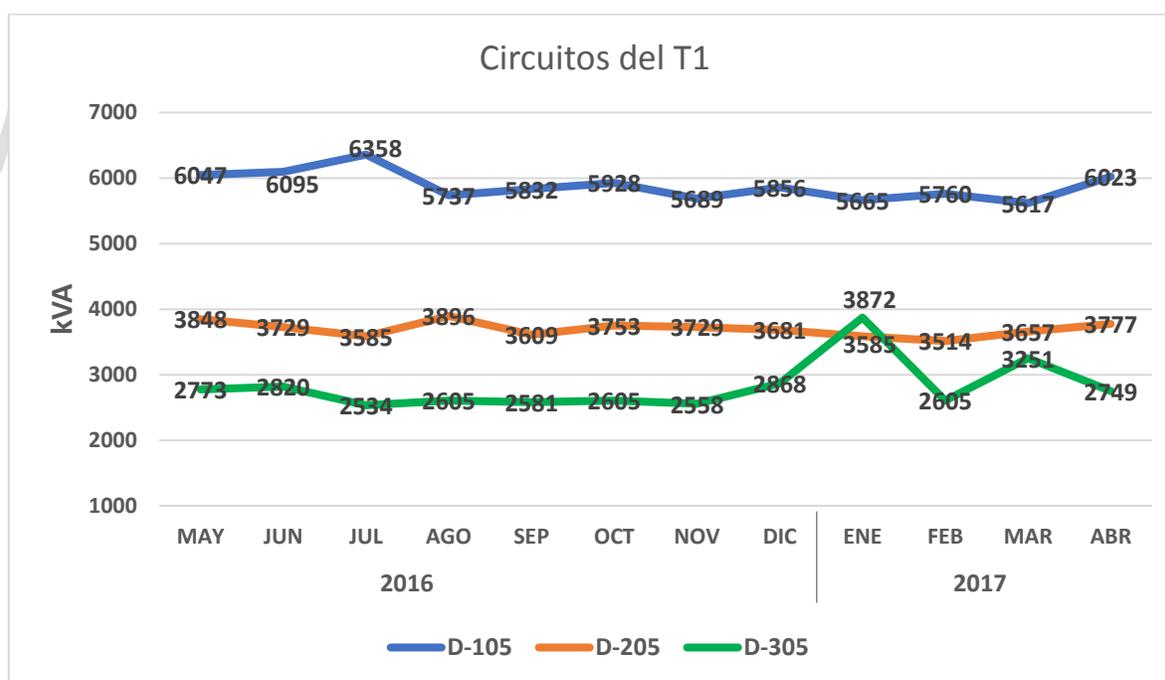


Gráfico 3.1 Demanda de los circuitos asociados al transformador 1 de la S/E Ejido

El gráfico 3.1 muestra el comportamiento de la carga instalada a los circuitos asociados al transformador 1, el circuito D-105 representado por la curva en color azul presenta un pico máximo en el mes de julio de 2016, sin embargo, dicha demanda está muy cerca de sus

parámetros normales. El circuito D-205 en color naranja presenta muy pocas variaciones a lo largo del período 2016-2017, es decir, no tuvo grandes picos de demandas, finalmente el circuito D-305 representado por curva en color verde presenta un pico alto en el mes de enero de 2017 bastante alejado de sus valores normales, sin embargo, debido a que para ese mes no existe registro de algún evento, a que el mes en que es presentada esa demanda no es un mes que generalmente presente demandas máximas y a que este circuito no tiene ninguna interconexión con ningún otro, se puede considerar que posiblemente sea una lectura mal tomada dentro de la subestación.

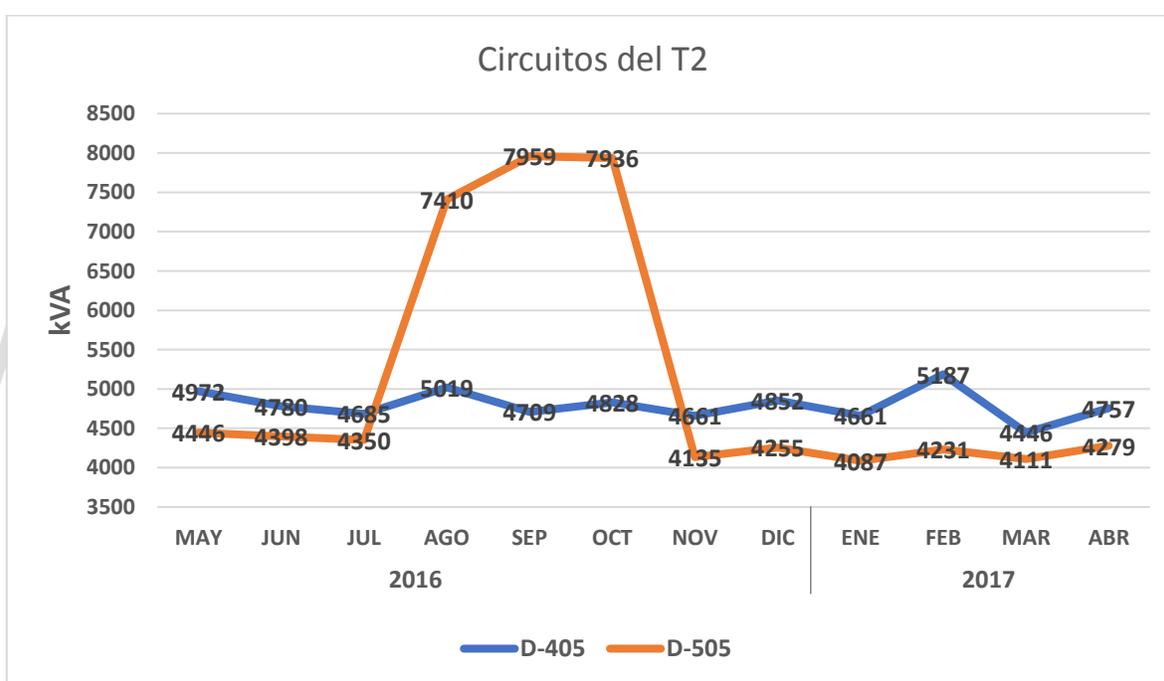


Gráfico 3.2 Demanda de los circuitos asociados al transformador 2 de la S/E Ejido

El transformador 2 alimenta los circuitos restantes D-405 y D-505, el primero representado por la curva en color azul del gráfico 3.2, muestra su mayor pico de demanda en el mes de febrero de 2017, pero sin alejarse tanto de sus valores normales y el segundo representado en color naranja presenta grandes picos de demandas en los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2016 esto debido a que adsorbió la carga del circuito D-505 “Los Curos” de la subestación Mérida I por algunas fallas presentadas en dicho circuito para estos meses.

3.3.1 Análisis del circuito D-105 “Aguas Calientes” para el año 2016/2017

Este circuito es el encargado de suministrar energía eléctrica a la parte noroeste de Ejido, específicamente a los sectores como: Aguas Calientes, El Chamicero, San Buenaventura, El Palmo, Santa Eduvigis y Los Guáimaras, teniendo interconexión con la S/E El Moral por la barra de transferencia de dicha subestación. Este circuito cuenta con ocho (8) puntos de operaciones que se encuentran en la troncal del circuito y es en los cuales los operadores pueden realizar las maniobras necesarias para despejar cualquier falla que se presente en el circuito sin interrumpir todo el sistema. La troncal de este circuito es 99% aérea con un conductor calibre # 4/0 ARV AWG, alimenta sectores urbanos y rurales con redes de distribución para cargas residenciales y comerciales, que representan cargas de segunda categoría. Con ayuda de la herramienta de simulación PADEE se obtuvo el estado actual de cada circuito.

Tabla 3.3 Estado actual del circuito D-105 de la S/E Ejido

D-105 “Aguas Calientes”	
Demanda máxima (A)	266
Demanda máxima coincidente (kVA)	6358.01
Demanda promedio total (kVA)	5883.95
Factor de carga	0.9254
Carga Instalada (kVA)	13671.0
Max caída de tensión (%)	6.07
Máxima carga (%)	75.31

Este circuito presenta una caída de voltaje de 6.07% en la Urb. Marisela Peña vía los Guáimaras, pero a pesar de que sobrepasa por tan solo 0.07% el valor preestablecido por la empresa no es alarmante, se podría decir que aún se encuentra dentro del rango. De la tabla 3.3 también se puede observar que la máxima carga para conductores presentada por el circuito es de 75.31% a la entrada de la Urb. Aguas Calientes, cumpliendo también con el parámetro establecido. Este circuito presenta un factor de carga de 0.9254 lo que indica que la curva de carga posee leves variaciones, debido a su proximidad a la unidad (1). Con ayuda de la actualización del circuito se logró conocer que la carga instalada en dicho circuito es de 13671

kVA. El diagrama unifilar de este circuito se encuentra identificado como D-105 en la carpeta análisis EJIDO en el CD.

3.3.2 Análisis del circuito D-205 “Centenario/El Morro” para el año 2016/2017

El circuito D-205 de la S/E Ejido, es el encargado de distribuir la energía eléctrica a la Av. Centenario y a la parte sur de Ejido, extendiéndose hasta el sur del estado, específicamente hasta los sectores La Vega, Urb. Don Luis, El Moqueo, Cuesta Llano Grande, Plan del Morro, Escuque, Loma los Indígenas, El Verde, Laguna Seca, Las Cuadras, Mocotoné, Miquirura, El Morro, Mucuchachay, Mosnandá, El Mocáz, Los Áticos, Loma del Toro, Los Nevados, San Antonio, entre otros pueblos aledaños. El Circuito tiene interconexión con el circuito D-505 “El Salado” en el barrio El Carmen; con el circuito D-404 “Centro” frente a Materiales El Roble, diagonal al C.C. Centenario, en la entrada a Mataca y frente al mercal de la Av. Centenario en Ejido.

Este circuito cuenta con doce (12) puntos de operaciones para las maniobras necesarias realizadas por los operadores, su troncal es aérea y poca subterránea con un conductor calibre # 4/0 ARV AWG y 350 MCM respectivamente, distribuyendo la energía a sectores urbanos y rurales con redes de distribución para cargas residenciales y comerciales, que representan cargas de segunda categoría.

Tabla 3.4 Estado actual del circuito D-205 de la S/E Ejido

D-205 “Centenario/El Morro”	
Demanda máxima (A)	163
Demanda máxima coincidente (kVA)	3896.08
Demanda promedio total (kVA)	3696.89
Factor de carga	0.9489
Carga Instalada (kVA)	15360
Max caída de tensión (%)	9.63
Máxima carga (%)	60.69

Este circuito presenta una caída de voltaje de 9.63% en el sector San Antonio, doblando el parámetro aceptado por la empresa, por lo tanto, es necesario realizar un estudio para reducir este valor. La máxima carga para conductores presentada por el circuito es de 60.69% en la Av. Bolívar con calle la Vega, cumpliendo con la norma establecida. En comparación con el circuito anterior, este circuito presenta un factor de carga más cercano a la unidad, lo que indica que presenta menos variaciones en su curva de carga, lo que puede ser comprobado por el gráfico 3.1. La carga instalada en el circuito es de 15360 kVA y el diagrama unifilar se encuentra identificado como D-205 en la carpeta análisis EJIDO en el CD.

3.3.3 Análisis del circuito D-305 “El Manzano” para el año 2016/2017

El circuito El Manzano de la S/E Ejido, se encarga de distribuir energía eléctrica al norte de Ejido, hacia: El Manzano, El Carrizal, parte del Salado, específicamente el Salado Medio y parte de la vía Panamericana hacia Jají. Este circuito no presenta interconexiones con ningún otro, su troncal es totalmente aérea con un conductor calibre # 4/0 ARV AWG, alimentando sectores urbanos y rurales con redes de distribución para cargas residenciales, que representan cargas de tercera categoría. El circuito posee 7 puntos de operaciones a lo largo de su troncal.

Tabla 3.5 Estado actual del circuito D-305 de la S/E Ejido

D-305 “El Manzano”	
Demanda máxima (A)	162
Demanda máxima coincidente (kVA)	3872.17
Demanda promedio total (kVA)	2818.48
Factor de carga	0.7279
Carga Instalada (kVA)	7707.4
Max caída de tensión (%)	2.59
Máxima carga (%)	42.62

Este circuito presenta una caída de voltaje de 2.59% en el sector Loma de los Garcia del Salado Medio, cumpliendo con el parámetro predeterminado por la empresa. La máxima carga para conductores presentada por el circuito es de 42.62% a la salida de la subestación, también

cumpliendo con la norma establecida. El factor de carga está alejado de la unidad debido a que la demanda promedio y la demanda máxima no se encuentran en el mismo intervalo de tiempo, y como se explicó anteriormente que para el mes de enero se tiene un pico pronunciado bastante alejado de los demás valores de demandas. El diagrama unifilar se encuentra identificado como D-305 en la carpeta análisis EJIDO en el CD.

3.3.4 Análisis del circuito D-405 “Centro” para el año 2016/2017

El circuito “Centro” es el encargado de suministrar energía eléctrica a lo que resta del centro de Ejido, Pozo Hondo, La Hoyada y El Trigal, teniendo interconexión con el circuito D-205 “Centenario/El Morro” anteriormente especificado. Este circuito contiene 7 puntos de operaciones, su troncal es aérea en su gran mayoría, pero también se presenta de manera subterránea, con conductores calibre # 4/0 ARV AWG y 350 MCM respectivamente. Alimenta sectores urbanos residenciales, comerciales, industriales y centros hospitalarios que representan cargas de primera categoría.

Tabla 3.6 Estado actual del circuito D-405 de la S/E Ejido

D-405 “Centro”	
Demanda máxima (A)	217
Demanda máxima coincidente (kVA)	5186.80
Demanda promedio total (kVA)	4796.40
Factor de carga	0.9247
Carga Instalada (kVA)	13212.5
Max caída de tensión (%)	2.83
Máxima carga (%)	57.09

Este circuito presenta una caída de voltaje de 2.83% al final del circuito en el sector La Hoyada y una máxima carga para conductores de 57.09% en la Av. Monseñor Duque, más arriba de la subestación, lo que indica que ambos valores cumplen con los parámetros preestablecidos. El factor de carga está muy próximo a la unidad, lo indica variaciones muy leves en el gráfico

3.2. La carga instalada en el circuito actualmente es de 13212.5 kV y se puede encontrar el diagrama unifilar en el CD en la carpeta análisis EJIDO identificado como D-405.

3.3.5 Análisis del circuito D-505 “El Salado” para el año 2016/2017

El circuito representado por la nomenclatura D-505 es el encargado de la distribución de energía eléctrica al noreste de Ejido, específicamente a los sectores: El Salado, Pan de Azúcar, Campo Claro y la Zona Industrial Los Curos, presenta interconexión con la S/E Mérida I por el circuito D-505 “Los Curos” en entrada a el sector Los Curos frente a GAMA y con la S/E Cinco Águilas por el circuito D-205 “Los Naranjos” a la salida de dicha subestación y por el juego de cortacorrientes frente a la escuela de policía en el sector Los Curos, abriendo el circuito D-505 “Los Curos” de la S/E Mérida I. También presenta interconexión con el circuito D-205 “Centenario/El Morro” anteriormente señalado. Este circuito posee 11 puntos para maniobras realizadas por el personal encargado cuando se presenta alguna falla en el sistema, su troncal es aérea y subterránea, con un conductor calibre # 4/0 ARV AWG y 350 MCM respectivamente, alimentando sectores urbanos con redes de distribución para cargas residenciales e industriales, que representan cargas de primera categoría.

Tabla 3.7 Estado actual del circuito D-505 de la S/E Ejido

D-505 “El Salado”	
Demanda máxima (A)	333
Demanda máxima coincidente (kVA)	7959.47
Demanda promedio total (kVA)	5133.02
Factor de carga	0.6449
Carga Instalada (kVA)	19357.5
Max caída de tensión (%)	6.74
Máxima carga (%)	87.68

Este circuito, posee una caída de voltaje de 6.4% en la zona industrial Los Curos y una máxima carga para conductores de 87.68% en la Av. Centenario, en la estación Pan de Azúcar del Trolebús, a pesar de que dichos valores sobrepasan la norma establecida por la empresa, se

podría considerar que aun cumple con estos, debido al poco excedente que tienen. Es importante resaltar que el factor de carga es de 0.6449 lo cual es un valor bastante alejado de la unidad, esto se debe a lo explicado en el grafico 3.2, que para los meses entre agosto y octubre de 2016, el circuito sirvió de respaldo del circuito cinco de la S/E Mérida I.

Sin embargo, es importante señalar que este circuito en condiciones normales no presenta problema alguno con sus valores máximos de caída de tensión y de carga en los conductores, ya que estos estarían en 3.77% y 48.94% respectivamente, a una demanda máxima de 186 A sin asumir carga del circuito D-505 “Los Curos” de la S/E Mérida I. En el CD se puede encontrar el diagrama unifilar de este circuito identificado como D-505 en la carpeta análisis EJIDO

3.3.6 Análisis de demanda de los transformadores de la S/E Ejido para el año 2016/2017

Los circuitos asociados a la subestación Ejido están distribuidos como se ha mencionado anteriormente, el transformador 1 alimenta los circuitos Aguas Calientes, Centenario/El Morro y El Manzano y el transformador 2 alimenta los dos circuitos restantes, es decir, Centro y El Salado.

Tabla 3.8 Demandas asociadas a los transformadores de la subestación Ejido

Transf	Demanda Máxima (kVA)											
	2016								2017			
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	12668	12644	12477	12238	12023	12286	11975	12405	13122	11879	12525	12549
2	9418	9178	9035	12429	12668	12764	8796	9107	8748	9418	8557	9035

Los datos presentados en la tabla 3.8 se obtuvieron con la suma de las demandas máximas calculadas en la tabla 3.2 de los circuitos asociados a cada transformador en todos los meses. Se observa que para el transformador 1 la máxima demanda presentada durante el período en estudio fue de 13122.36 kVA en el mes de enero de 2017 y la del transformador 2 se registró en el mes de octubre de 2016 de 12763.83 kVA. Sin embargo, la subestación presentó una demanda máxima calculada con la suma de las demandas de cada transformador en el mes de octubre de

2016 llegando a 25096.61 kVA, observándose que la demanda máxima de ambos transformadores aun no saturaría ni a uno de sus transformadores.

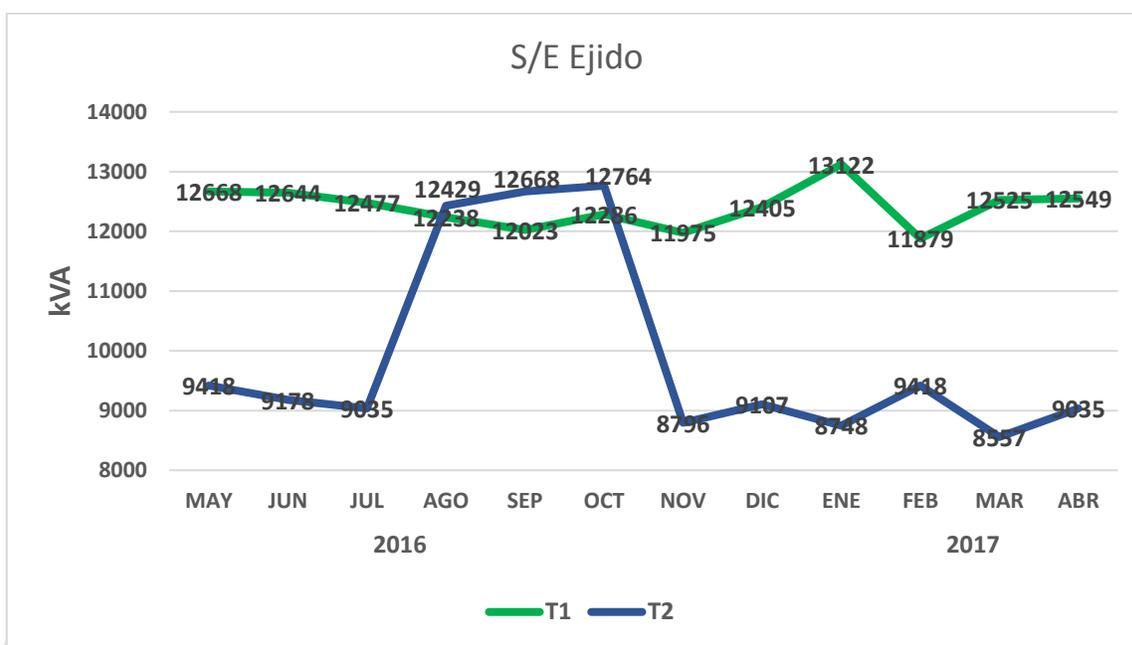


Gráfico 3.3 Demanda de los transformadores asociados a la S/E Ejido

La curva representada por el color verde muestra el comportamiento de la carga instalada en el transformador 1 (T1), se puede observar que este transformador no presenta grandes variaciones a lo largo del todo el año, solo en el mes de enero debido a la característica explicada anteriormente del circuito tres (D-305) en dicho mes. Así mismo, la curva representada por el color azul muestra el comportamiento de la carga instalada en el transformador 2 (T2), observándose de igual manera los máximos picos entre los meses de agosto, septiembre y octubre.

Finalmente, a partir de todos los valores tabulados anteriormente se obtienen las demandas y factores fundamentales para el análisis del funcionamiento de los transformadores de la subestación Ejido.

Tabla 3.9 Estado actual de los transformadores de la S/E Ejido

	Año 2016/2017	
	Transformador 1	Transformador 2
Capacidad Instalada (kVA)	36000	36000
Demanda máxima (A)	549	534
Demanda máxima coincidente (kVA)	13122.36	12763.83
Demanda promedio total (kVA)	12399.32	9929.41
Factor de carga	0.9449	0.7779
Demandas máximas por circuito (kVA)	6358.01	5186.80
	3896.08	7959.47
	3872.17	-
Demanda máxima no coincidente (kVA)	14126.26	13146.27
Factor de coincidencia	0.9289	0.9709
Carga Instalada (kVA)	36738.4	32570
Factor de utilización	0.3924	0.3652

De esta tabla se puede concluir que el transformador 1 en el periodo de mayo 2016 hasta abril de 2017 trabajó a un valor promedio 34.44% de su valor nominal, sin embargo, llegó a trabajar hasta 36.45% cuando asumió la máxima demanda, quedando un 63.55% de reserva que equivalen a 22878 kVA, es decir, mucho más que la demanda asumida actualmente. En este transformador el factor de carga y el factor de coincidencia están cerca de la unidad lo que indica que las demandas utilizadas en cada uno presentaron sus valores para un mismo intervalo de tiempo, lo cual revela que las variaciones de carga no fueron tan bruscas como es de notar en el Gráfico 3.3. La carga total instalada que posee el transformador es de 36738.4 kVA, pero a pesar de ello su máxima demanda ha sido de 13122.36 kVA

Finalmente, el factor de utilización es el cálculo más importante para este análisis, ya que indica la fracción de capacidad del transformador que se está utilizando, es decir, indica la utilización del equipo. Para el transformador 1 se obtuvo que este valor es de 0.3924 para las demandas máximas lo que indica que el transformador aún tiene capacidad de asumir carga, lo cual es importante debido a la cantidad de carga instalada que posee.

De manera similar se presentaron los resultados del transformador 2 para el periodo de estudio, indicado que dicho transformador trabajó a un valor promedio 27.58% de su valor nominal, pero llegó a asumir hasta 35.46% de su capacidad nominal cuando asumió la máxima demanda, quedando un 64.54% de reserva que equivalen a 23234.4 kVA, es decir, más de un 50% de su valor nominal. En este transformador el factor de carga es de 0.7779 que indica que presenta grandes variaciones de carga, el factor de coincidencia se encuentra cerca de la unidad lo que señala que las demandas utilizadas presentaron sus valores para un mismo intervalo de tiempo. Por último, el factor de utilización para el transformador 2 está en 0.3652 para las demandas máximas lo que muestra que el transformador aún tiene capacidad de asumir la carga que posee instalada.

3.4 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 13.8 KV DE LA SUBESTACIÓN MORAL

La subestación El Moral tiene un transformador descrito en el apartado 3.2.1 de 34.5/13.8 kV con una capacidad de 3 MVA. La empresa tabula la demanda máxima mensual de cada circuito de las subestaciones no atendidas, tomadas directamente del reconector cuando se visita la subestación, para este trabajo se estudiarán dichas demandas desde mayo 2016 hasta abril 2017, con el fin de obtener el factor de utilización del transformador y analizar el comportamiento de estas demandas.

Tabla 3.10 Demandas máximas en Amperios (A) por circuito en la Subestación El Moral

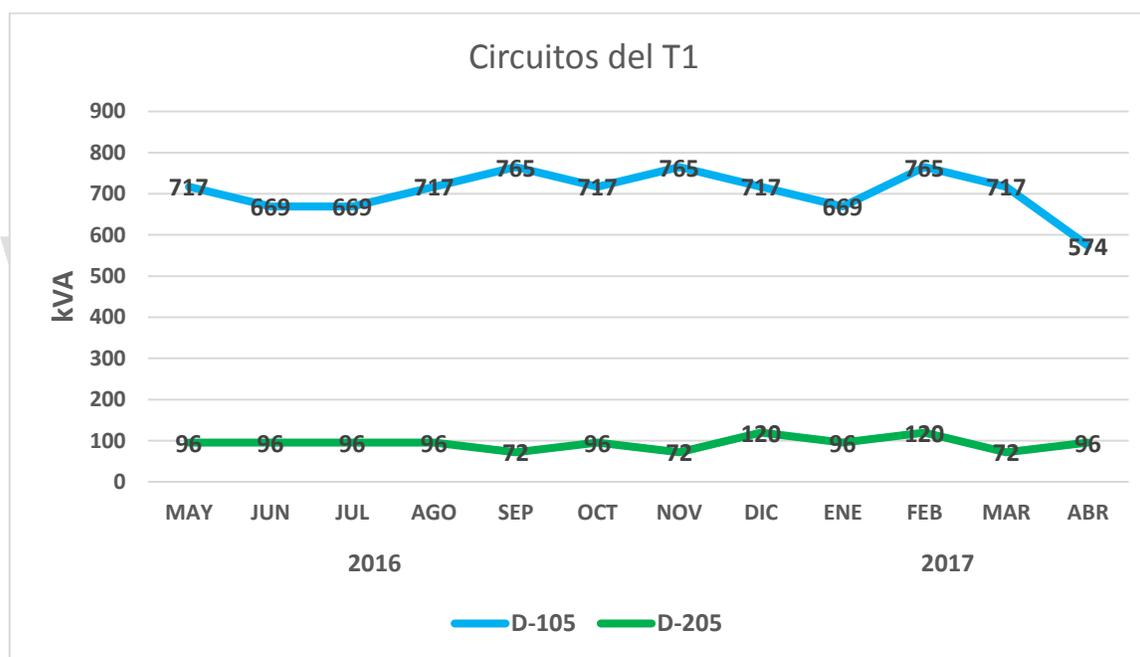
CTO	Demanda Máxima (A)											
	2016								2017			
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
D-105	30	28	28	30	32	30	32	30	28	32	30	24
D-205	4	4	4	4	3	4	3	5	4	5	3	4

La tabla 3.10 muestra las demandas mensuales registradas en corrientes, con la ecuación 3.1, se obtienen las demandas en kVA mensuales de los dos circuitos que se muestran en la tabla 3.11, para analizar los circuitos de una mejor manera.

Tabla 3.11 Demanda máxima (kVA) por circuito asociadas a la Subestación El Moral

CTO	Demanda Máxima (kVA)											
	2016								2017			
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
D-105	717	669	669	717	765	717	765	717	669	765	717	574
D-205	96	96	96	96	72	96	72	120	96	120	72	96

El circuito D-105 “La Mesa/Jaji” presenta una demanda máxima en septiembre y noviembre de 2016 y en febrero de 2017 de 32 A que equivalen a 764.87 kVA. y el circuito para D-205 “Las Antenas” en diciembre de 2016 y febrero de 2017 de 5 A equivalentes a 120 kVA.

**Gráfico 3.4 Demanda de los circuitos asociados al transformador de la S/E El Moral**

La curva correspondiente al color azul representa el comportamiento de la carga instalada en el circuito D-105, y la curva verde representa el del circuito D-202, ambos presentan variaciones de cargas muy leves, y el circuito dos podría considerarse constante a lo largo del tiempo.

3.4.1 Análisis del circuito D-105 “La Mesa/Jaji” para el año 2016/2017

Este circuito es el encargado de suministrar energía eléctrica a los sectores: El Moral, El Quebradón, El Chopo y Caicaguita, teniendo interconexión con la S/E Villa Libertad por el circuito D-101 “Villa Libertad” en el sector Caicaguita y con el circuito D-101 de la S/E Ejido a la entrada de la subestación por la barra de transferencia. Este circuito es corto, posee una troncal totalmente aérea de un conductor calibre # 2/0 ARV AWG, alimentando sectores rurales con redes de distribución para cargas residencias, que representan cargas de tercera categoría. A través de la herramienta de simulación PADEE se obtuvo el estado actual de cada circuito.

Tabla 3.12 Estado actual del circuito D-105 de la S/E El Moral

D-105 “La Masa/Jaji”	
Demanda máxima (A)	32
Demanda máxima coincidente (kVA)	764.87
Demanda promedio total (kVA)	705.12
Factor de carga	0.9219
Carga Instalada (kVA)	1407.5
Max caída de tensión (%)	0.57
Máxima carga (%)	13.26

De la tabla 3.12 se puede notar que este circuito presenta una máxima caída de tensión en el sector El Quebradón de 0.57%, lo que indica que se encuentra dentro del rango del parámetro establecido por la empresa y la máxima carga para conductores es de 13.26% a la salida de la subestación, cumpliendo también con la norma. El factor de carga se obtuvo de 0.9219, bastante cerca de la unidad, es de notar que la carga instalada en el circuito es de 1407.5 kVA. El diagrama unifilar de este circuito se puede encontrar en el CD en la carpeta análisis EL MORAL identificado como D-105.

3.4.2 Análisis del circuito D-205 “Las Antenas” para el año 2016/2017

El circuito Las Antenas es el encargado de distribuir la energía eléctrica hacia las antenas Movilnet y Digitel, no presenta interconexión con ningún circuito. Su troncal es sumamente corta, totalmente aérea con un conductor calibre # 2 ARV AWG.

Tabla 3.13 Estado actual del circuito D-205 de la S/E Ejido

D-205 “Las Antenas”	
Demanda máxima (A)	5
Demanda máxima coincidente (kVA)	119.51
Demanda promedio total (kVA)	93.62
Factor de carga	0.7833
Carga Instalada (kVA)	330
Max caída de tensión (%)	0.03
Máxima carga (%)	2.77

Este circuito presenta una caída de tensión de 0.03% en las antenas de Digitel y su máxima carga para conductores es de 2.77% a la salida de la subestación, ambos parámetros dentro del rango de la norma establecida por la empresa. La carga instalada en el circuito es de 330 kVA lo cual confirma lo pequeño del circuito. El diagrama unifilar se puede encontrar en el CD en la carpeta análisis EL MORAL identificado como D-205.

3.4.3 Análisis de demanda del transformador de la S/E El Moral para el año 2016/2017

La tabla 3.14 muestra la demanda del transformador para todos los meses del periodo en estudio, obtenido mediante suma de las demandas mensuales de ambos circuitos

Tabla 3.14 Demandas asociadas al transformador de la subestación El Moral

Transf	Demanda Máxima (kVA)											
	2016								2017			
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	813	765	765	813	789	669	837	837	765	884	789	669

Se observa que para este transformador la máxima demanda presentada durante el período en estudio fue de 883.39 kVA en el mes de febrero de 2017. A partir de estos valores se obtienen las demandas y factores fundamentales para el análisis del funcionamiento del transformador de la subestación El Moral.

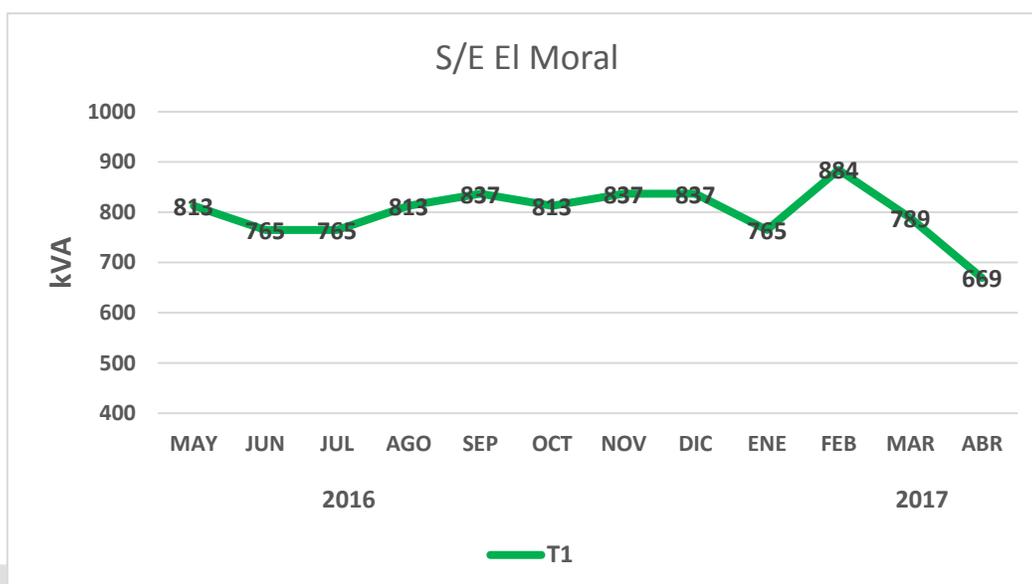


Gráfico 3.5 Demanda del transformador de la S/E El Moral

La curva presenta picos pocos pronunciados, dando como resultado leves variaciones de carga a lo largo del año, como se explicó anteriormente, la máxima demanda presentada en el transformador fue para el mes de febrero, teniendo variaciones más notorias entre los meses de enero y abril del año en curso.

Tabla 3.15 Estado actual del transformador de la S/E El Moral

	Año 2016/2017
	Transformador 1
Capacidad Instalada (kVA)	3000
Demanda máxima (A)	37
Demanda máxima coincidente (kVA)	884.39
Demanda promedio total (kVA)	798.74
Factor de carga	0.9032

	Año 2016/2017
	Transformador 1
Demandas máximas por circuito (kVA)	764.87
	119.51
Demanda máxima no coincidente (kVA)	884.39
Factor de coincidencia	1
Factor de utilización	0.2948

El transformador de esta subestación en el periodo de mayo 2016 hasta abril de 2017 trabajó a un valor promedio 26.09% de su valor nominal, sin embargo, llegó trabajar hasta 29.48% cuando asumió la máxima demanda, quedando un 70.52% de reserva que equivalen a 2115.61 kVA, es decir, mucho más de lo que tiene de demanda actualmente.

El factor de coincidencia es 1, lo que significa que ambas demandas son iguales, el factor de carga se obtuvo de 0.9032, por lo que se considera que las demandas se presentaron en intervalos de tiempos similares y las variaciones de carga no son tan bruscas. Finalmente, el factor de utilización presentado por este transformador fue de 0.2948 lo que indica que el transformador aún tiene más del 50% de capacidad para asumir carga, pudiendo asumir fácilmente el total de la carga instalada en ese circuito.

3.5 ANÁLISIS DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN EL MORAL ACTUAL

3.5.1 Malla de Puesta a Tierra de la Subestación El Moral

La subestación El Moral cuenta con una malla enterrada que abarca todo el terreno de la subestación, pero debido al deterioro en dicha subestación ya no cuenta con la malla perimetral, por lo que CORPOELEC se vio en la necesidad de realizar un estudio sobre la malla de puesta a tierra actual en esta subestación, con el fin de observar si es necesario rediseñarla o ajustarla para garantizar la seguridad del personal. La empresa no cuenta con un plano de puesta a tierra, por lo que para este estudio fue necesario la recolección de planos de subestaciones con

dimensiones similares, visitas a la subestación y una exhaustiva recopilación de información con los Ingenieros de más años de servicio en la empresa.

Tabla 3.16 Características de la malla de la Subestación El Moral

Área que cobre la malla (m ²)	169
Largo de la subestación (m)	13
Ancho de la subestación (m)	13
Número de conductores en sentido longitudinal	3
Número de conductores en sentido transversal	3
Profundidad de la malla (m)	0.5
Espesor de la capa principal de la subestación (m)	0.05
Conductor de la malla enterrada	Cobre desnudo calibre 2/0 AWG

Actualmente esta subestación presenta un gran deterioro en lo que respecta al cercado perimetral debido a los deslizamientos de tierra producto de los años de antigüedad que posee, lo cual ocasionó que la malla perimetral de ella se corriera, haciendo que estuviera en evidencia pública por lo cual facilitó que se la robaran.



Figura 3.5 Situación actual de la S/E El Moral

Además de este, existen muchos parámetros que influyen en el comportamiento de un sistema de puesta a tierra.

3.5.2 Análisis y Medición de la Resistividad del Suelo

La resistividad del terreno donde se encuentra la malla es uno de los parámetros más importantes de conocer, debido a que este permite determinar la resistencia de puesta a tierra de las subestaciones, así como las curvas de potenciales presentes al momento de una falla. En el caso en que la conductividad del terreno no sea uniforme, se hace una aproximación que consiste en considerar el terreno estratificado en un determinado número de capas horizontales de diferente espesor, cuya conductividad se obtiene a partir de mediciones experimentales, según la composición del terreno.

En este trabajo de grado para la medición de la resistividad del suelo fue empleado el método de Wenner (método de los cuatros puntos) explicado en el apartado 2.8.4. Estas mediciones fueron realizadas en horas de la mañana al lado izquierdo de la subestación, utilizando un Megger digital perteneciente a la escuela de Eléctrica de la Universidad de los Andes, tomando distancias desde 0.5m a 5m.



Figura 3.6 Medición de la resistencia

Las mediciones fueron realizadas en las adyacencias de la subestación, debido a que esta se encontraba en funcionamiento.

Tabla 3.17 Mediciones realizadas con el Megger

a(m)	Resistencia (Ω)
0.5	49.3
1.0	21.7
1.5	15.7
2.0	12
2.5	9.7
3.0	7.41
3.5	6.97
4.0	4.26
4.5	3.28
5.0	2.4

El instrumento utilizado solo muestra medidas en resistencias como es de notar en la figura 3.5, por lo que es necesario aplicar la ecuación 2.12 del capítulo II para obtener la resistividad del suelo.

Tabla 3.18 Resistividad del terreno

a(m)	Resistividad ($\Omega\text{-m}$) *	Resistividad ($\Omega\text{-m}$) **	Error (%)
0.5	154.88	167.07	7.30
1.0	136.34	139.17	2.04
1.5	147.97	149.35	0.92
2.0	150.79	151.59	0.52
2.5	152.36	152.88	0.34
3.0	139.67	140.00	0.23
3.5	153.27	153.54	0.17
4.0	107.06	107.20	0.13
4.5	92.74	92.83	0.10
5.0	75.40	75.46	0.08

La primera (*) es calculada con la ecuación 2.12 debido a que se cumplía la condición de que la distancia entre los electrodos (a) es menor a la profundidad de estos en suelo (b), en este caso de 11 cm. Y el segundo (***) corresponde a la resistividad calculada con la ecuación 2.11. Se observa que las diferencias entre las dos mediciones son mínimas por lo tanto dan un error menor a 1%, para las distancias 0.5 m y 1 m se tienen errores más grandes debido a la condición entre a y b.

Una vez obtenidos los valores de resistividad se puede determinar un modelo de terreno que aproxime la resistividad mediante estratos horizontales a través de un análisis de suelo en el programa CYMGRD, el cual se encarga de utilizar técnicas de gradiente reducido para calcular un modelo optimo que se adapte a las características reales del suelo en estudio. El siguiente grafico representa una relación entre las distancias de los electrodos y la resistividad

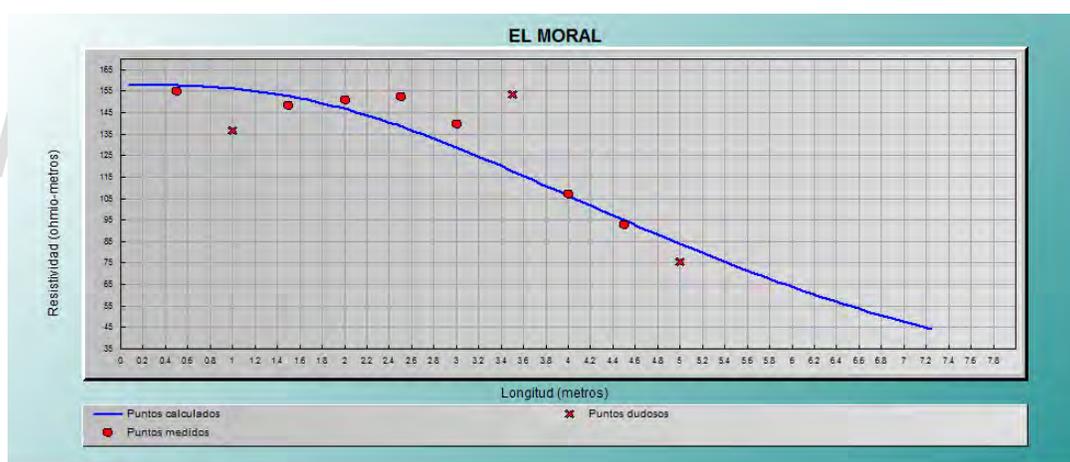


Gráfico 3.6 Curva de análisis del suelo, usando CYMGRD

Los puntos calculados están representados por la curva azul y los medidos por círculos rojos, el programa reconoce los puntos dudosos como aquellos valores que se desvían de los valores promedios, denotados con una equis, sin embargo, para este estudio se tomaran todos en cuenta. De acuerdo con la característica del gráfico 3.6, se puede asumir que el suelo presenta un modelo de dos capas.

Tabla 3.19 Reporte del análisis de suelo

Parámetros	
Título	EL MORAL
Modelo de suelo	Estratificado en 2 capas
Modelo securitario	IEEE Std. 80-2000
Espesor de la capa superficial	0.05 metros
Resistividad de la capa superficial	2500 ohm-m
Duración del choque eléctrico	0.5 secs
Peso corporal	50 kg
Resultados de salida	
Espesor de la capa superior	3.94 metros
Resistividad de la capa superior	157.8 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	0.01 ohm-m
Tensión máxima de contacto	506.22 voltios
Tensión máxima de paso	1532.74 voltios
Factor Cs de reducción	0.556215
Valores puestos en tabla	
Error RMS	10.19%

En el reporte del análisis del suelo arrojado por el programa CYMGRD muestra los datos de entradas presentados por el usuario, se consideró un valor promedio de la capa superficial de 0.05 metros, debido a la poca piedra picada presente en la subestación, una duración del choque eléctrico de 0.5 segundos, sugeridos por la norma y un peso corporal de 50 Kg, a partir de estos valores y los de la tabla 3.17 el programa da como resultados de salida los datos correspondientes al modelo del suelo en estudio como el espesor de la capa superior, el valor de resistividad de ambas capas, los valores máximos admisibles de las tensiones de paso y de contacto y el factor Cs dependiente de los datos de la capa superficial y las tensiones máximas de contacto y paso.

Tabla 3.20 Resistividad calculada por el programa CYMGRD

Distancia sondas (metros)	Resistividad medida (ohm-m)	Resistividad calculada (ohm-m)	Error (%)
0.5	154.88051518	157.59	1.75
1	136.34511884	156.16	14.53
1.5	147.96901146	152.66	3.17
2	150.7964448	146.77	-2.67
2.5	152.3672411	138.64	-9.01
3	139.675206996	128.78	-7.8
3.5	153.278302954	117.81	-23.14
4	107.065475808	106.33	-0.68
4.5	92.739813552	94.87	2.3
5	75.3982224	83.81	11.16

En la tabla 3.20 se observan las resistividades medidas y calculadas, espaciamiento de los electrodos y la lista de errores asociados a cada medición, resaltando los errores que superan el 10%.

3.5.3 Análisis de la Malla

Para este análisis es necesario conocer los parámetros de cortocircuito de la subestación los cuales fueron proporcionados por la empresa y por estudios anteriores a este. Luego se introducen las coordenadas (X1, Y1, Z1 y X2, Y2 y Z2) de los conductores en el programa, considerando el diámetro del conductor calibre N° 2/0 AWG que es 10.64 mm. De esta manera se construye la malla como se muestra en la figura 3.6 en sus vistas 2D y 3D

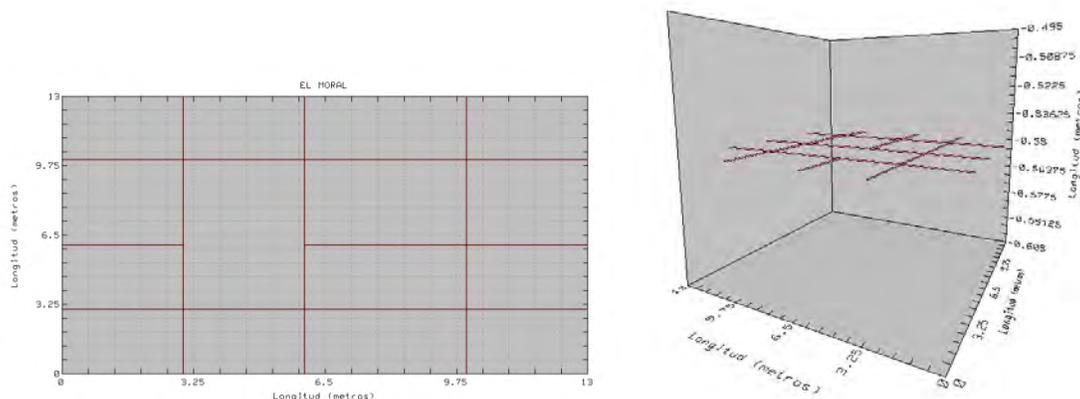


Figura 3.7 Configuración de la malla de la S/E El Moral

La malla de puesta a tierra existente en la subestación El Moral no posee la malla perimetral ni varillas verticales, como es de apreciar en la figura 3.6 en su vista 3D, sin embargo, posee una configuración uniforme a pesar de que no cuenta con los conductores perimetrales.

Tabla 3.21 Reporte de análisis de malla

Parámetros								
Spec. Z paralelo equivalente					Z infinito			
Frecuencia nominal					60 Hz			
Nombre de la barra					13.8 kV			
Corriente de falla LG					1500 Amps			
Contribución a distancia					100 %			
Espesor de la capa superior					3.94 metros			
Resistividad de la capa superior					157.8 ohm-m			
Resistividad de la capa inferior					0.01 ohm-m			
X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio	Corriente
(metros)							(mm)	(A)
0	3	0.55	3	3	0.55	3	5.3	71.7848
3	3	0.55	6	3	0.55	3	5.3	44.7913
6	3	0.55	10	3	0.55	4	5.3	66.8364
10	3	0.55	13	3	0.55	3	5.3	71.9606

X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Longitud	Radio	Corriente
(metros)							(mm)	(A)
0	6	0.55	3	6	0.55	3	5.3	71.7623
6	6	0.55	10	6	0.55	4	5.3	65.8474
10	6	0.55	13	6	0.55	3	5.3	69.0957
0	10	0.55	3	10	0.55	3	5.3	73.0509
3	10	0.55	6	10	0.55	3	5.3	45.0487
6	10	0.55	10	10	0.55	4	5.3	68.2576
10	10	0.55	13	10	0.55	3	5.3	73.4716
3	0	0.55	3	3	0.55	3	5.3	71.708
3	3	0.55	3	6	0.55	3	5.3	49.0569
3	6	0.55	3	10	0.55	4	5.3	71.6832
6	0	0.55	6	3	0.55	3	5.3	68.9103
6	3	0.55	6	6	0.55	3	5.3	47.2709
6	6	0.55	6	10	0.55	4	5.3	67.9755
10	0	0.55	10	3	0.55	3	5.3	73.0903
10	3	0.55	10	6	0.55	3	5.3	45.023
10	6	0.55	10	10	0.55	4	5.3	68.2549
10	10	0.55	10	13	0.55	3	5.3	73.4762
3	10	0.55	3	13	0.55	3	5.3	71.9118
6	10	0.55	6	13	0.55	3	5.3	69.1214
Resultados								
Longitud total de los conductores primarios						75 metros		
Número total de elementos						23		
Elevación del potencial de tierra						6136.87 voltios		
Resistencia de tierra calculada						4.07137 ohmios		
Impedancia equivalente						4.06971 ohmios		

La tabla 3.21 es el reporte que genera el programa al realizar el análisis de la malla, mostrando los parámetros considerados para el cálculo, donde la frecuencia y la corriente de falla son ingresadas por el usuario al programa para sus respectivos cálculos, así como también las

coordenadas para la construcción de la malla mostrada en figura 3.6 y la corriente que cada uno difunde a tierra. Al final del reporte se indica el valor de la resistencia a tierra calculada, la cual presenta un valor menor al sugerido por la norma, como se explicó en el Capítulo II.

$$R_{malla} = 4.07137 \, \Omega < 5 \, \Omega$$

3.5.4 Diagramas de Contorno de Potencial de Contacto

El programa realiza el levantamiento del diagrama de potencial de contacto tomando en cuenta la corriente de cortocircuito existente en la barra, con dicho diagrama se puede estudiar y visualizar el punto de máximo potencial dentro de la subestación. Es importante conocer que este punto representa el gradiente más alto encontrado en el análisis bajo las condiciones de corrientes máximas, característica del suelo y configuración de la malla.

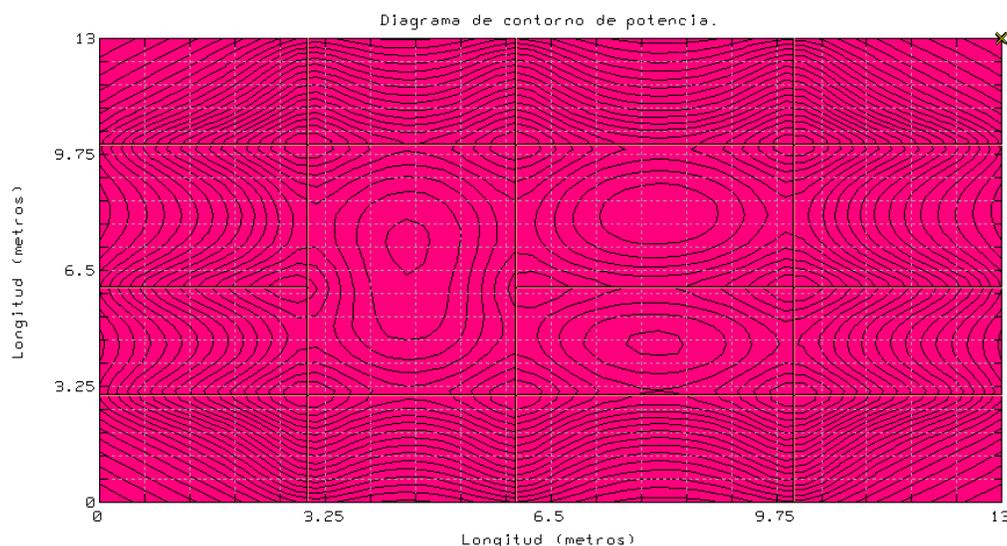


Figura 3.8 Diagrama de potenciales de contacto en 2D

El punto de máximo potencial en la figura 3.7 es representado con una equis amarilla, ubicada en la esquina superior derecha, es decir, cerca de la barra de 13.8 kV

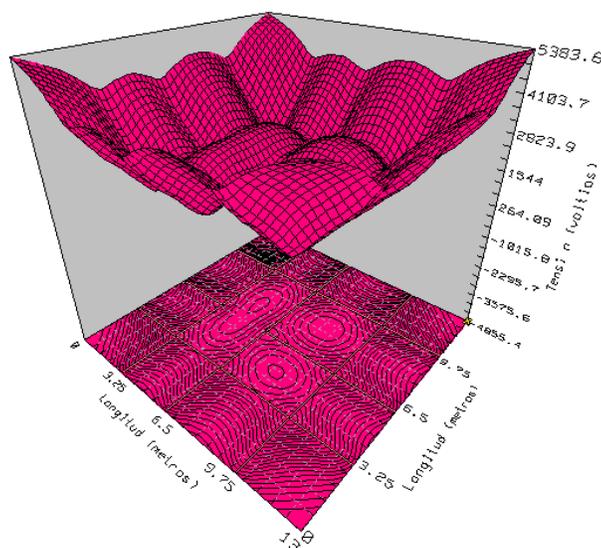


Figura 3.9 Diagrama de potenciales de contacto en 3D

En la figura 3.8 con visualización 3D se puede apreciar que el punto de máximo potencial alcanzado es de 5383.6 V.

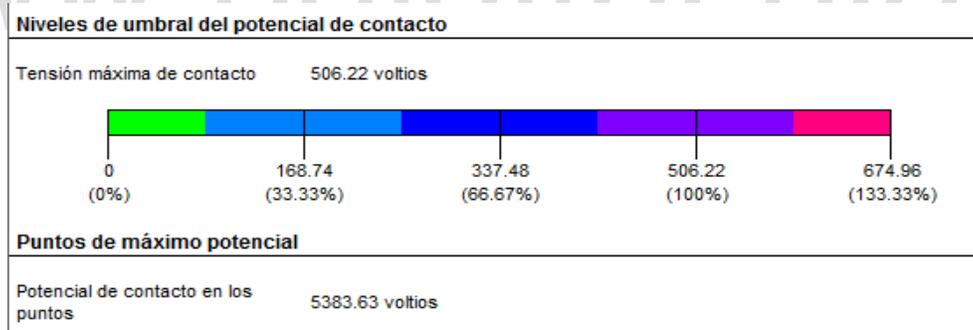


Figura 3.10 Reporte de potencial de contacto

El reporte de potencial de contorno muestra la tensión máxima de contacto bajo las condiciones preestablecidas de 506.22 V, el código de colores que indican a cuanto porcentaje de esta tensión se encuentra la malla y el punto de máximo potencial que corresponde con el de la figura 3.8 de 5383.63 V.

En la figura 3.7 se puede observar el color uniformemente rosado en la malla que de acuerdo con el código de colores se determina que la malla de la subestación El Moral presenta una

elevación significativa en cuanto a los potenciales de contacto admisibles al cuerpo humano. Sin embargo, con la figura 3.8 se tienen una visualización más amplia de cuan alto son los potenciales dentro de la malla, observándose que para ciertas zonas centrales el voltaje supera su valor máximo, pero no tan elevados como en la periferia, justamente ocurre en esta zona debido a que no se cuenta con la malla perimetral. Por lo cual, es importante realizar un rediseño de esta malla a la brevedad posible, ya que presenta un riesgo elevado para las personas dentro de la subestación y cerca de ella. Es importante señalar que la subestación no se encuentra alejada de las casas y además se localiza en toda la vía, presentando un alto riesgo para toda la comunidad.

3.5.5 Diagramas de Contorno de Potencial de Superficie

Los diagramas de contorno de superficie representan la elevación de potencial de tierra de la malla cuando inyecta la máxima corriente de falla que pueda existir en la subestación.

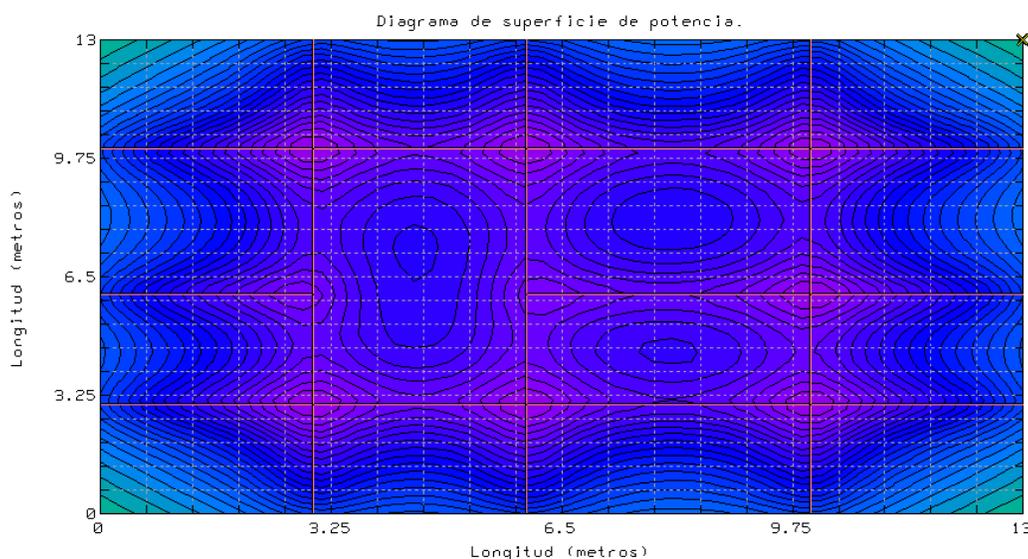


Figura 3.11 Diagrama de potenciales de superficie en 2D

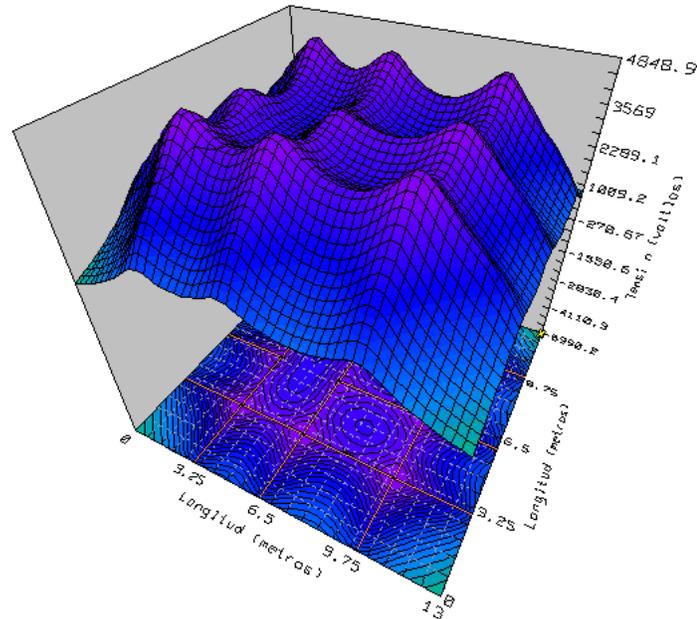


Figura 3.12 Diagrama de potenciales de superficie en 3D.

El diagrama de potencial de superficie en 2D de la figura 3.10 se presenta en casi toda su superficie un constante color azul, solo en los conductores de la malla se presenta un color rojo donde es posible encontrar potenciales de malla elevados. En el diagrama de superficie en 3D (figura 3.11) se observa una irregularidad en la densidad de los conductores lo que indica peligrosidad debido a las diferencias de potenciales.

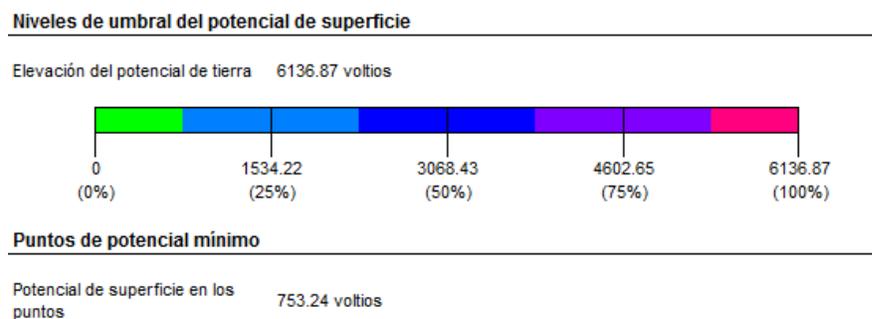


Figura 3.13 Reporte de potencial de superficie

Al momento de presentarse una falla, este sistema de puesta a tierra elevara su potencial de tierra a 6136.87 V como se muestra en el reporte de salida de la figura 3.9. De acuerdo con el código de colores y la figura 3.11 los potenciales de elevación no son tan altos, debido al color

azul que se presenta, sin embargo, con la figura 3.11 se observa que esta subestación presenta diferencias de potenciales en toda su superficie, existiendo diferencias considerables en la periferia de la malla debido a la poca densidad de conductores en esta zona, representando un alto riesgo para las personas dentro de las instalaciones.

3.5.6 Diagrama de Perfil de Potencial

El diagrama de perfil de potencial genera curvas que muestra los niveles de potencial de contacto, de superficie a lo largo de diferentes ejes de una mejor manera. Crea un máximo de seis curvas de perfil de potencial (3 pares). Es importante resaltar que, para generar estos gráficos, el programa toma la dirección que supone como el perfil que presenta mayores deficiencias en cuanto a mantener controlados los parámetros de contacto y superficie.

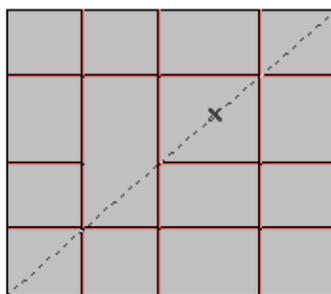


Figura 3.14 Dirección del Perfil de Potencial

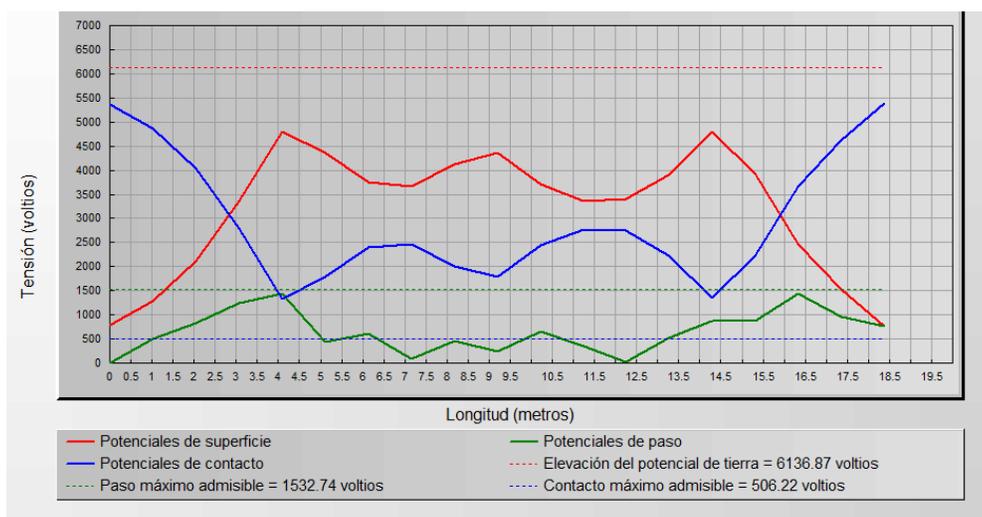


Gráfico 3.7 Diagrama de Perfil de Potencial

El gráfico muestra en azul la curva de potencial de contacto y tensión máxima admisible de contacto, en verde el potencial de paso y la tensión máxima admisible de paso y las curvas en rojo representan el potencial de superficie y la elevación del potencial de tierra. Se puede observar que los valores de potenciales de contacto se encuentran por encima de del valor máximo tolerable, así mismo se nota que los valores de potenciales de paso y de superficie si se encuentran por debajo de los valores admisibles, sin embargo, en el de paso se observa que en dos puntos de la superficie la curva casi llega a su máximo.

Tabla 3.22 Reporte de Perfil de Potencial

Niveles de umbral del potencial de contacto	
Elevación del potencial de tierra	6136.87 voltios
Tensión máxima de paso	1532.74 voltios
Tensión máxima de contacto	506.22 voltios
Puntos de máximo potencial	
Potenciales de superficie	4796.72 voltios
Potenciales de paso	1447.66 voltios
Potenciales de contacto	5383.63 voltios

Se verifica que la malla de puesta a tierra mantiene controlados los potenciales peligrosos de paso y de superficie, pero el de contacto se escapa bastante de su tensión admisible. Es importante resaltar que para este análisis se destacan los niveles de potencia de contacto y paso para un metro de diferencia entre los pies de una persona como sugiere la norma.

El procedimiento de diseño aplicado anteriormente corresponde a la Standard 80-2000 de la IEEE y permite obtener niveles seguros de tensiones de paso y de toque dentro de la subestación (área cercada) y en sus proximidades. En cualquier caso, las tensiones de paso y de toque calculadas deben ser menores que las tensiones de paso y de toque tolerables por el cuerpo humano.

3.6 PROTECCIÓN ACTUAL DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de protección son utilizados para evitar la destrucción de equipo o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse de forma desencadenada. Las protecciones deben ser capaces de despejar la parte donde ha producido la falla, con el fin de perturbar lo menos posible la red, limitar el daño al equipo fallado, minimizar el peligro para las personas, entre otros. Además de garantizar un servicio confiable y seguro.

Actualmente los circuitos pertenecientes a las subestaciones en estudio cuentan con protecciones en casi toda su extensión, en su troncal poseen seccionadores y en unos casos cortacorrientes y en algunas derivaciones tiene instalado cortacorrientes, es importante resaltar que para un buen funcionamiento del sistema sería ideal que los circuitos en todas sus derivaciones cuente con la protección ajustada a su carga instalada, pero debido a la carencia de dotación dichos fusibles, el personal de la empresa se ha visto en la necesidad de sustituir fusibles de capacidades de corrientes diferentes al valor ideal que debería tener cada derivación y en otros casos, instalar derivaciones sin ninguna protección, lo que trae como consecuencia que la falla se extienda hasta el fusible más cercano que sea capaz de despejar la falla.

3.6.1 Protecciones en la Subestación Ejido

- *Circuito D-105 “Aguas Calientes”*

Posee 4 puntos de seccionamientos, a lo largo de toda su troncal, identificados por la letra S en la tabla 3.23, aparte de los que tiene normalmente abierto en común con otros circuitos o subestaciones cuando es necesario realizar una interconexión para adsorber carga de otro circuito por un intervalo de tiempo. Además, contiene 3 cortacorrientes (CC) en su troncal

Tabla 3.23 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-105

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	266	Calle Urdaneta, Res. Alto Ejido
S2	220.8	El Palmo, Urb. Campo Elías

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S3	180.8	Pasos Abajo Del CC Aguas Caliente
S4	75.5	Frente al CC Aguas Calientes
CC1	41.4	Calle 5, Urb. Carlos Sánchez
CC2	94	Conj. Residencial Aguas Calientes
CC3	77.1	Frente a E/S La Portuguesa

Es de notar que el CC1 tiene una corriente menor al CC2 y CC3, esto pasa debido a la carga instalada que todos poseen, la del CC1 es de 2125 kVA, la del CC2 es 4785.5 kVA y en el CC3 es de 3917.5 kVA, lo que indica que a mayor carga mayor corriente. Es importante realizar la coordinación de protección para verificar si con estos cortacorrientes son suficientes para proteger la carga instalada que poseen. Este circuito contiene también 39 derivaciones, de las cuales no todas están protegidas en su arranque.

- **Circuito D-205 “Centenario/El Morro”**

Este circuito contiene 7 puntos de seccionamientos esparcidos en toda su troncal, además de los que tiene normalmente abiertos utilizados únicamente para la interconexión entre otros circuitos o subestaciones. También, posee en su troncal 6 juegos de cortacorrientes.

Tabla 3.24 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-205

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	140.7	Av. Bolívar, después de calle La Vega
S2	0	Av. Bolívar, frente a Materiales El Roble
S3	117.3	Av. Bolívar, hacia calle Herminia Rosa
S4	88.1	Urb. Los Sulbarán, final de calle Omar Sulbarán
S5	56.8	Urb. Don Luis, etapa I, calle 3
CC1	22.5	Via Al Guayabal, frente al Club La Vega
CC2	23.5	Plan Del Morro, frente a la U.E. Plan Del Morro
S6	21.4	Sector Los Camachos, Aldea Miquirura
CC3	20	Sector El Mirador

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S7	18.6	Entrada Al Morro
CC4	15.4	Liceo Juan De Dios Dávila I, sector El Morro
CC5	7.8	Vía a Los Nevados, El Mocaz
CC6	5.8	Vía Los Nevados

En la tabla 3.24 los cortacorrientes y los seccionadores están arreglados de manera cómo son encontrados al recorrer su troncal, es decir, el CC1 y CC2 contiene más carga instalada y se encuentran más cerca de la subestación que S6. Se observa que los seccionadores S6 y S7 abarcan menos carga instalada que los cortacorrientes CC1 y CC2, y S7 que CC3, es por ello que registran menos corriente los primeros que los segundos, sin embargo, el calibre del conductor también afectan estas corrientes, acá se puede notar que a pesar de que CC1 contiene más carga instalada que CC2, la corriente en CC1 es menor debido a que en este punto la troncal posee un calibre ARV # 1/0, y en CC2 el calibre cambia a ARV # 2. Así mismo de la tabla 3.24 se observa que por S2 no circula corriente, esto se debe a que el seccionador se encuentra abierto ya que es un punto de interconexión con el circuito D-405

Este circuito contiene también 47 derivaciones, de la cuales no todas están protegidas con cortacorrientes en su arranque.

- ***Circuito D-305 “El Manzano”***

El circuito El Manzano posee 3 puntos de seccionamientos a lo largo de toda su troncal, además de poseer 6 cortacorrientes (CC).

Tabla 3.25 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-305

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	162	Av Monseñor Chacón, a la Salida de la S/E
S2	70.2	Acueducto, Hacia El Salado
S3	76.9	Av. Monseñor Duque, Cerca De Acueducto
CC1	33.8	En la Vía a La Plazuela

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
CC2	66.2	El Salado sector La Capilla
CC3	37.4	Salado Medio, Sector La Batea
CC4	29.3	Salado Alto
CC5	5.5	En la Vía a la Venezuela De Antier
CC6	4	Hacia la Venezuela De Antier

En la tabla anterior se puede observar que en CC1 la corriente es menor que en CC2, esto ocurre debido a la carga instalada que el circuito posee hasta esos cortacorrientes. Este circuito contiene 37 derivaciones, de los cuales no todas tienen sus respectivas protecciones.

- ***Circuito D-405 “Centro”***

Este circuito contiene 3 puntos de seccionamientos esparcidos en toda su troncal, además de aquellos que tiene para la interconexión con otros circuitos que se encuentran normalmente abiertos, al mismo tiempo posee en su troncal 2 cortacorrientes. Con ayuda del recorrido realizado por este circuito se encontró que contiene 34 derivaciones, de la cuales no todas cuentan con protección en su arranque.

Tabla 3.26 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-405

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	163.9	Calle Urdaneta, cerca de la E.B Mons. Duque
S2	158.6	Av. Bolívar, frente al Banco Del Sur
S3	109.1	Calle Uzcátegui, entrada a Las Piedras
CC1	43.1	Calle El Molino
CC2	6.5	Pozo Hondo

- ***Circuito D-505 “El Salado”***

Este circuito contiene 6 puntos de seccionamientos a lo largo de toda su troncal. Y 42 derivaciones, de las cuales pocas son las que poseen protección en su arranque.

Tabla 3.27 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-505

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	305	Mas abajo de Villa María Eugenia en Ejido
S2	277.7	Res. Los Cedros
S3	260.5	Final de Calle El Carmen
S4	257.8	Final de Calle Rondón, calle ciega
S5	54.1	Zona Industrial Los Curos, Av. Alfredo Briceño
S6	0	Vía A La Urb. La Mata y Los Curos

Es de notar que no circula corriente por el S6 debido a que no posee carga instalada, ya que es un juego de seccionadores que sirve para la interconexión de este circuito con el D-505 “Los Curos” de Mérida I.

3.6.2 Protecciones en la Subestación El Moral

- *Circuito D-105 “La Mesa/Jají”*

Este circuito solo contiene 1 punto de seccionamiento y 2 cortacorrientes (CC) en su troncal. Además, cuenta con 9 derivaciones de las cuales 3 de ellas no tienen la protección correspondiente en su arranque

Tabla 3.28 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-105

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	32	Salida de la S/E El Moral
CC1	6.1	Vía a Caicaguita
CC2	0.9	Caicaguita, Sector La Entrada, Calle Bolívar

En la tabla 3.28 se observa que la corriente a la salida de la subestación es de 32 A, esta corriente fue la máxima corriente registrada en la subestación en un lapso de un año.

- **Circuito D-205 “Las Antenas”**

Este circuito es sumamente corto, por lo que apenas presenta 1 punto de seccionamiento y 1 punto con cortacorriente a lo largo de toda su troncal. Además, posee 3 derivaciones que cuentan con sus respectivas protecciones.

Tabla 3.29 Dispositivos de protección en la troncal del circuito D-205

Elemento	Corriente PADEE (A)	Dirección
S1	5	Salida de la S/E El Moral
CC1	3.5	Carretera de tierra, parte alta de la S/E

Se observa como facilita la ubicación de los seccionadores y los cortacorriente estas tablas, por ello, también se realizó una tabla informativa que identifica la ubicación de cada transformador y derivación, indicando las coordenadas UTM, la ubicación con puntos de referencias, la distancia que posee con respecto a la subestación, el tipo de conductor y la carga instalada, para cada uno de los circuitos, facilitando de esta manera la pronta ubicación de los operadores en el circuito al momento que se desee, como se muestra en la tabla siguiente con un ejemplo del primer seccionador en el circuito Aguas Calientes de Ejido.

Tabla 3.30 Directorio de elementos en el circuito

ELEMENTO	Nº DE POSTE	UBICACIÓN	COORD. UTM		DISTANCIA (M)	TIPO DE CONDUCTOR	CARGA KVA INSTALADOS	KVA
								NETO
S1	EJ1 -S1	1º PTO. SECCIONAMIENTO TRONCAL	HACIA RES. ALTO EJIDO CON CALLE URDANETA	253837,00	946042,00	1.550	3 # 4/0 ARVIDAL	13671

Al momento de realizar el recorrido por las líneas, también se iban visualizando las fallas presentes en ellas, de tal manera que al final se pudiese llenar una tabla indicando en ellas la ubicación precisa con referencias y con coordenadas, el tipo de mantenimiento requerido como: pica y poda, retesar líneas, cambiar fusibles, pararrayos, aisladores, crucetas, transformadores para que, de la misma forma los técnicos u operadores puedan llegar con mayor facilidad a realizar el mantenimiento.

CAPÍTULO IV

PROPUESTAS PARA MEJORAR LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES EJIDO Y EL MORAL

Las pérdidas que se generan durante la distribución de la energía acarrear consigo el desaprovechamiento de una parte de la energía que se genera en las centrales, para mejorar el sistema y reducir las pérdidas es necesario realizar trabajos de mantenimiento de redes y subestaciones como: sustitución de cables, crucetas, soportes, entre otros; disminuir la longitud de las líneas entre el punto de alimentación y los puntos de suministro, mediante la construcción de nuevas subestaciones; construir líneas nuevas y reconfigurar líneas de distribución existentes.

El estudio de cargas es elemental en la planificación de ampliaciones de un sistema eléctrico, así como en la determinación del funcionamiento óptimo de los sistemas existentes. De tal manera que con los resultados obtenidos se pueda proponer un cambio para que el sistema sea confiable y seguro. Por ello este capítulo plantea propuesta de mejoramiento del servicio eléctrico a lo largo de las redes de distribución, de acuerdo con los resultados obtenidos en el Capítulo III

4.1 PROPUESTAS UTILIZANDO LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA EL MORAL COMO RESPALDO

El transformador de la Subestación El Moral actualmente posee una capacidad de 3 MVA de los cuales se ha utilizado un máximo de 884.39 kVA, que representan un factor de utilización de 29.48%, quedando inutilizado más del 70% del mismo.

Como se ha mencionado anteriormente la S/E El Moral puede servir de respaldo de las subestaciones Ejido y Villa Libertad, asumiendo la carga de algunas de las dos sin que se sature su transformador, hoy en día debido a las múltiples interrupciones que se puede presentar en el servicio eléctrico es necesario contar con este tipo de respaldo entre subestaciones. Por ello, este estudio trata de dar propuestas de solución a esta problemática, analizando cómo se comportaría el transformador de la subestación El Moral cuando asume alguna de estas cargas.

4.1.1 De la Subestación Villa Libertad

Ambas subestaciones se encuentran interconectadas a través de un juego de seccionadores en la vía hacia el Sector Caicaguita. La S/E El Moral antiguamente poseía instalada esta carga, pero con la inauguración de la S/E Villa Libertad se le fue traspasada a ella debido a su mayor capacidad, hoy en día la subestación Villa Libertad debido a las expansiones de línea que han surgido, posee un factor de utilización de 85.8% en su transformador de 10MVA, se conoce que lo ideal sería dejar un 20% de reserva para este tipo de transformadores, por lo que se podría decir que dicho transformador estaría llegando a su potencia nominal y debido al aumento poblacional esto podría ocurrir en poco tiempo. Esta propuesta se basa en aliviar la carga de esta subestación con ayuda de la subestación El Moral, la cual podría asumir dicha carga de nuevo, ya que con ella el factor de utilización del transformador quedaría en 0.779 lo que indica que funcionaría sin ningún inconveniente.

Por lo tanto, la Subestación El Moral quedaría asumiendo la carga de los sectores Mesa de los Indios, Boconó, Las Cruces, Las Quebraditas, Las Maseitas, Loma de la Moras, El Chorrotal, San Rafael del Macho, Capaz, San Antonio, entre otros, además de Caicaguita. Sin embargo, al

realizar la corrida en el PADEE se observa que este circuito tendrá las siguientes características.

Tabla 4.1 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad

D-105 “La Mesa/Jaji”	
Demanda máxima (A)	92.8
Demanda máxima (kVA)	2218.13
Max caída de tensión (%)	12.85
Máxima carga (%)	41.24

De la tabla 4.1 se observa que la máxima caída de tensión es de 12.85% presentada al final del circuito, esto se debe a que la línea es sumamente larga, además de la distribución de carga que posee. Para disminuir dicha caída de tensión se pueden realizar algunos de las siguientes propuestas:

- **INSTALACIÓN DE UN BANCO DE REGULACIÓN**

Un regulador de tensión es básicamente un autotransformador de distribución equipado con un cambiador de derivaciones, que permite variar el voltaje entregado y que puede ser operado bajo carga. El dispositivo común es un regulador monofásico, el cual se puede aplicar a sistemas monofásicos o puede ser conectado junto con otras unidades para formar un banco trifásico. La metodología desarrollada considera para la instalación de reguladores de tensión, tanto unidades monofásicas como bancos trifásicos con conexión en estrella. Tienen la función de cambiar su relación de transformación de manera automática para mantener un valor de voltaje constante en el lado de carga independientemente del valor de voltaje que recibe en el lado de la fuente, por lo cual sirve para regular la caída del voltaje del sistema eléctrico.

Teniendo en cuenta que para la instalación de un banco de regulación se debe contar con un terreno plano de aproximadamente 3m x 3m, se realizó un estudio a lo largo de todo este circuito para encontrar el lugar más óptimo para la instalación de dichos bancos, debido a que la mayor parte del terreno es desigual; finalmente se determinó que existen dos puntos estratégicos para

la instalación de banco de regulación, que son:

- **En el Sector Las Cruces**

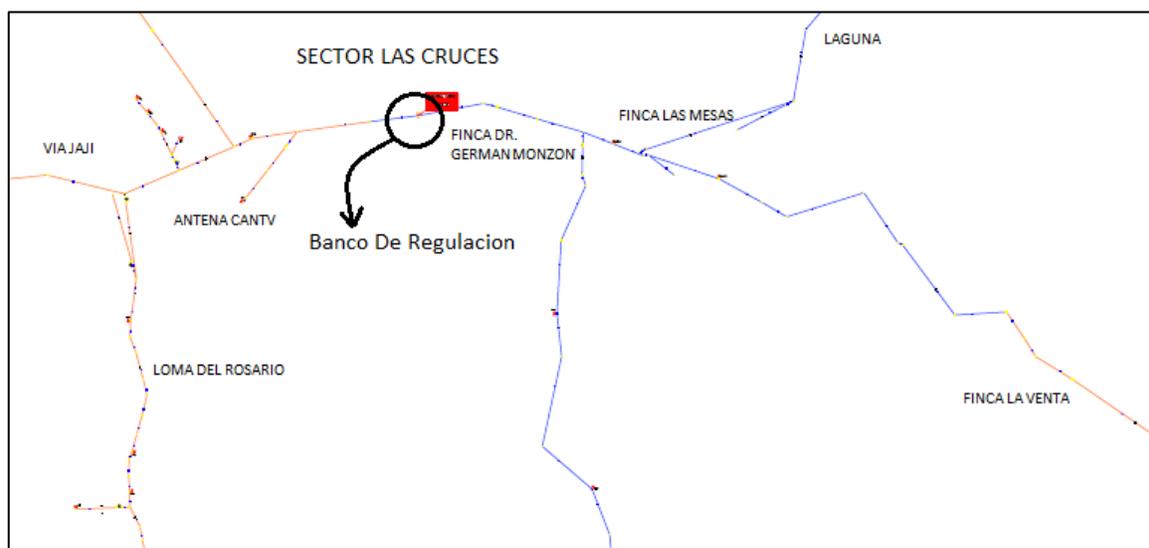


Figura 4.1 Banco de regulación en el sector Las Cruces

Con el banco de regulación al 10% ubicado en el sector Las Cruces como se observa en la figura 4.1, se logra reducir la máxima caída de tensión de 12.85% al final del circuito a un 7.44% en un tramo de línea del sector las cruces marcado en la figura 4.1 en color azul.

Tabla 4.2 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad con banco de regulación en el sector Las Cruces

D-105 “La Mesa/Jaji”	
Demanda máxima (A)	92.8
Demanda máxima (kVA)	2218.13
Max caída de tensión (%)	7.44
Máxima carga (%)	41.14

Esta máxima caída de tensión sobrepasa el máximo establecido por la empresa, sin embargo, es importante señalar que actualmente este circuito conectado con la subestación Villa Libertad presenta una máxima caída de voltaje de 11.81%. Por lo tanto, esta sería una solución viable ya

que disminuiría las pérdidas de energía y reduciría la posibilidad de cortes parciales en la línea.

- **En el Sector Boconó**

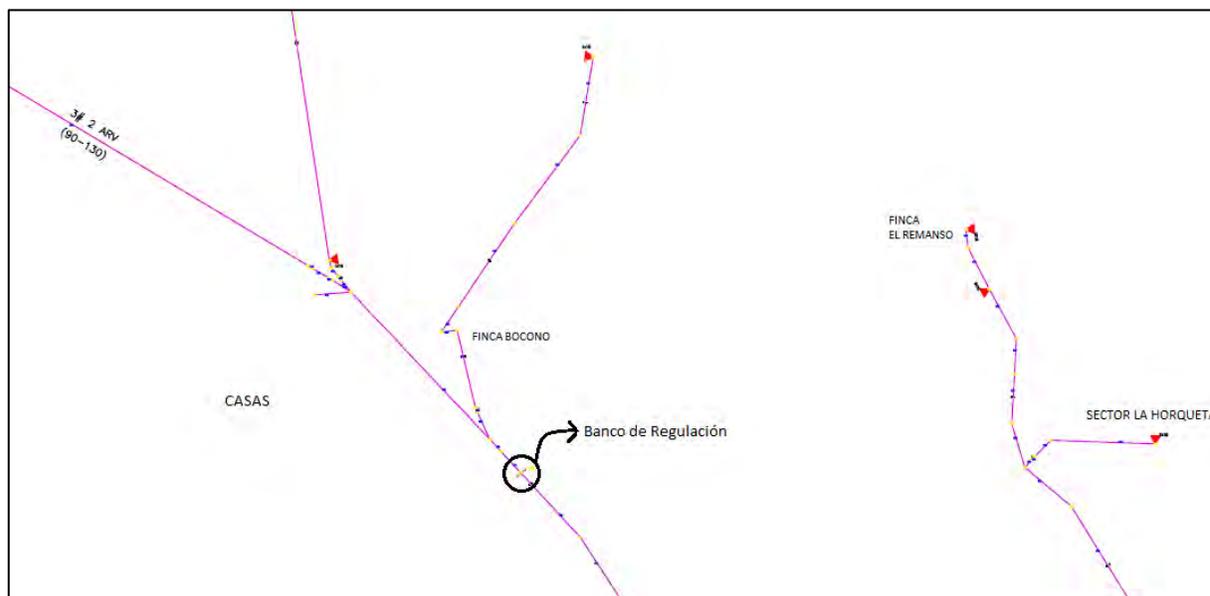


Figura 4.2 Banco de regulación en el sector Boconó

Con el banco de regulación conectado en el sector Boconó como se resalta en la figura 4.2 con un círculo negro, a una regulación del 10 %, se logra reducir la máxima caída de tensión del 12.85% a 7.86% presentada al final del circuito, pero sobrepasando el límite establecido por la empresa desde la finca El Merigal.

Tabla 4.3 Circuito D-105 de la S/E El Moral con el tramo del circuito D-105 de S/E Villa Libertad con banco de regulación en el sector Boconó

D-105 “La Mesa/Jaji”	
Demanda máxima (A)	92.8
Demanda máxima (kVA)	2218.13
Max caída de tensión (%)	7.86
Máxima carga (%)	41.14

De igual manera que en la propuesta anterior este valor supera el máximo permitido por la

empresa, sin embargo, es más factible tener 7.86% de máxima caída de tensión que un 11.81% que posee actualmente. Es importante realizar una comparación de ambas propuestas para determinar la más optima, es de notar que ambas reducen la caída de tensión a un 7%, sin embargo, la opción que propone el banco de regulación en el sector Las Cruces sería la opción más viable, debido a que si se detalla la figura 4.1 se observa que el tramo que presenta la máxima caída de tensión es pequeño comparado con el tramo que sobrepasa la norma establecida por la empresa con el banco de regulación en el sector Boconó, por lo tanto afectaría a menos usuarios.

- ***CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA SUBESTACIÓN***

Se conoce que la causa más frecuente que provoca una caída de voltaje es la distancia considerable de conexión desde el transformador eléctrico de alimentación hasta la carga alimentada, por lo tanto, este problema se resolvería con la construcción de una nueva subestación que pueda tomar parte de la carga de este circuito.

Tras una exhaustiva investigación sobre la mejor ubicación de dicha subestación se encontró que estudios anteriores tienen propuestas de una subestación en el pueblo de La Azulita, que según el estudio ya establecido serviría para formar un anillo entre las subestaciones La Azulita, Caño Zancudo, Villa Libertad, Santa Teresa y Lagunillas, además de mejorar los niveles de tensión que presenta actualmente el pueblo de La Azulita debido a que se encuentra a aproximadamente 8 Km de la subestación Caño Zancudo que actualmente lo alimenta. Sin embargo, alcanzaría para asumir parte de la carga de este circuito, además de la carga del circuito D-305 “La Trampa” de la subestación Lagunillas, lo cual proporcionaría flexibilidad al sistema, es importante señalar que la interconexión entre el pueblo de la Azulita con el circuito La Trampa existe actualmente, por lo tanto, solo quedaría construir el tramo de línea entre La Azulita y el circuito Villa Libertad, de aproximadamente 2 Km de línea.

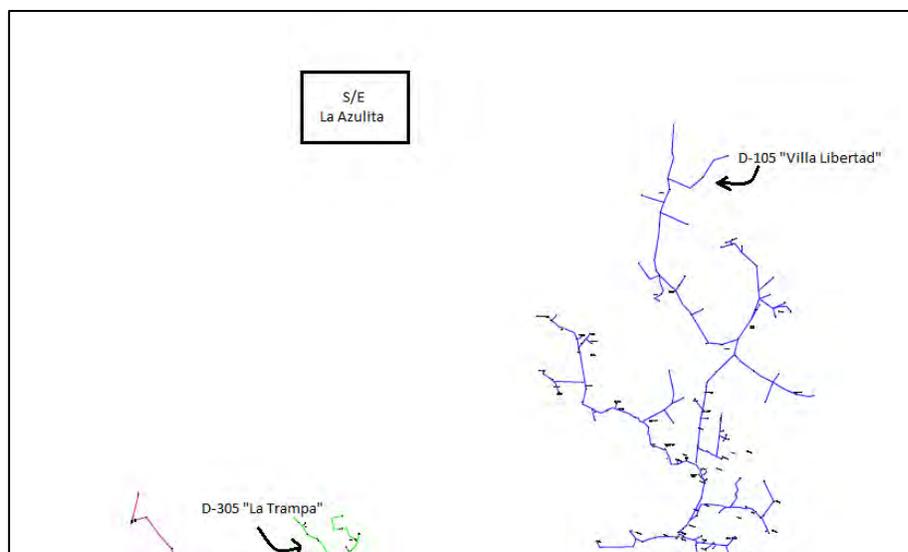


Figura 4.3 Propuesta de incorporación de una nueva Subestación

Con la incorporación de esta nueva subestación se disminuiría considerablemente la caída de tensión del circuito en cuestión ya que se conoce que mientras más cerca la carga se encuentre de la fuente mejor será el rendimiento de la línea.

Al comparar ambas propuestas mediante el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se podría decidir con mayor facilidad cual propuesta implementar. Por tanto, la instalación de un banco de reguladores tiene la fortaleza de reducir considerablemente la caída de tensión en los circuitos, dando la oportunidad de que más usuarios gocen con la tensión ideal, sin embargo, tiene la debilidad de necesitar un mantenimiento continuo y la amenaza de que pueda ser robado. Por otro lado, la construcción de una nueva subestación posee la gran fortaleza de permitir la interconexión entre cinco subestaciones, dando la oportunidad de permitir flexibilidad al sistema, sin embargo, posee la debilidad de requerir la construcción de nuevas extensiones de líneas por lo que presenta la amenaza de tener elevados costos.

4.1.2 De la Subestación Ejido

Estas subestaciones se encuentran interconectadas a través de la barra de transferencia de la subestación El Moral. Es importante resaltar que la subestación El Moral no posee la capacidad

para respaldar todo el circuito D-105 de Ejido, por lo que es necesario realizar un estudio para determinar el límite hasta donde es capaz de respaldarlo, dando como mejor opción la siguiente:

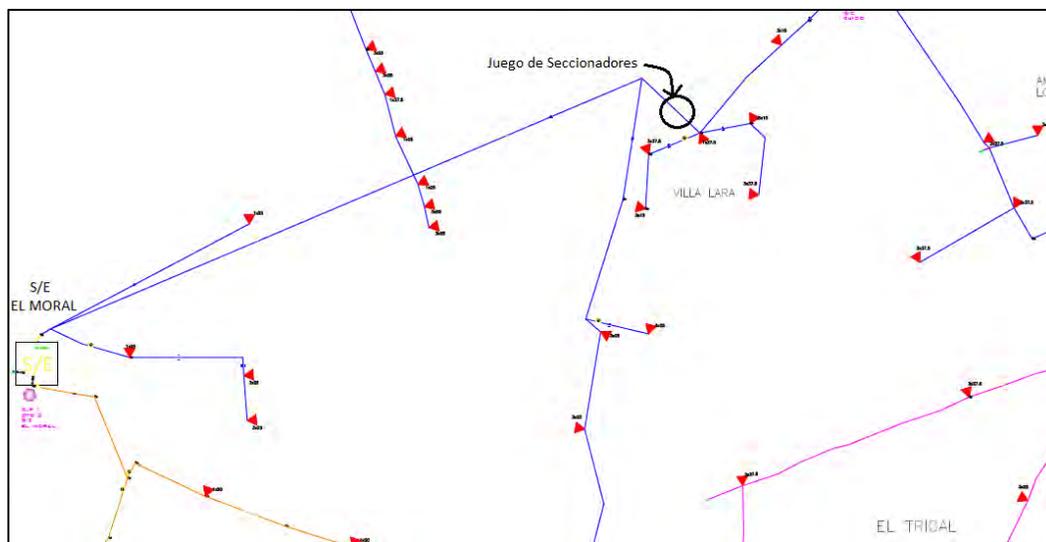


Figura 4.4 Primer tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”

Para que la subestación El Moral pueda asumir esta carga es necesario instalar un juego de seccionadores o de cortacorrientes en la Urb. Villa Lara como se muestra en el círculo negro resaltado en la figura 4.4, quedando el circuito por la barra de transferencia con las siguientes características:

Tabla 4.4 S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido

“Barra de transferencia”	
Demanda máxima (A)	85,3
Demanda máxima (kVA)	2038,86
Max caída de tensión (%)	1.71
Máxima carga (%)	47.88

La máxima caída de tensión de 1.71% se presenta en las Residencias Marisela Peña y máxima carga en los conductores en el Hotel San Buenaventura cerca a la E/S Portuguesa. Quedando el transformador de la subestación El Moral de la siguiente manera:

Tabla 4.5 Transformador de la S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido

	Transformador 1
Capacidad Instalada (kVA)	3000
Demanda máxima (A)	122.3
Demanda máxima (kVA)	2923.25
Factor de utilización	0.97

Como se observa en la tabla 4.5, el factor de utilización con el cual queda el transformador de la subestación El Moral es de 0.97, casi llegando a su límite de saturación, lo cual indica que esta subestación podrá asumir este tramo del circuito de forma temporal.

Cuando este tramo de línea se le es incorporado a la subestación El Moral, el resto de este circuito, alimentado por la subestación Ejido presentaría una máxima caída de tensión de 3.51% en la Urb. San Rafael y una máxima carga de 47.54% cerca de las Residencias Alto de Ejido, por lo tanto, se aliviaría tanto en caída de voltaje como en la carga de los conductores, cumpliendo ambos con la norma establecida por la corporación de 6% y 80% respectivamente.

4.2 PROPUESTAS DE AUMENTO PARA LA SUBESTACIÓN EL MORAL

Los transformadores son la parte fundamental de una subestación eléctrica, ya que según la capacidad de estos se conoce que tanta carga puede abastecer la subestación. Debido al incremento excesivo de la población, es necesario realizar aumento en las subestaciones, esto se logra sustituyendo los transformadores actuales por unos de mayor capacidad o agregando nuevos transformadores, con el fin de suministrar energía a cargas que han ocasionado la saturación de los transformadores actuales.

Como se observa en las propuestas anteriores, la subestación El Moral es capaz de respaldar cualquiera de las subestaciones, pero por separado, ya que su capacidad no da para abastecer tanta carga. Por ello, es necesario realizar un aumento de la subestación para respaldar ambas cargas al mismo tiempo.

4.2.1 Aumento a 5 MVA

Esta propuesta plantea el aumento de capacidad de la subestación El Moral, sustituyendo el transformador de 3 MVA por uno de 5 MVA, con el fin de mejorar el servicio eléctrico prestado a los usuarios, contando con una subestación capaz de asumir toda la carga que sea necesaria para no dejar a los consumidores con cortes por tiempos prolongados según sea la falla en las subestaciones Ejido y Villa Libertad. Sin embargo, se debe considerar el reajuste de dicha subestación en la zona, debido a que el área que actualmente abarca la cerca perimetral es sumamente pequeña para que, entre un transformador de esta capacidad, por lo que es necesario correr la subestación más abajo, o rellenar el lote de terreno donde se encuentra para no sustituirla en su totalidad.



Figura 4.5 Propuesta de reubicación de la Subestación El Moral

La zona cuenta con un gran lote de terreno desocupado como se observa en la figura 4.5, la cual es una vista aérea proporcionada por el programa Google Earth, por lo tanto, la reubicación no sería un problema de gran relevancia para llevar a cabo esta propuesta.

4.2.1.1 Asumiendo al mismo tiempo las cargas de las subestaciones Villa Libertad y Ejido.

Con la subestación El Moral asumiendo la carga desde Caicaguita hasta El Capaz del circuito D-105 “Villa Libertad” de la subestación Villa Libertad, podría servir de respaldo de un tramo

del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la subestación Ejido hasta el límite señalado en la figura 4.4 sin que su transformador se sobrecargue, quedando de esta manera:

Tabla 4.6 Transformador de la S/E El Moral con el primer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad

	Transformador 1
Capacidad Instalada (kVA)	5000
Demanda máxima (A)	183.1
Demanda máxima (kVA)	4376.5
Factor de utilización	0.87

Se observa que el factor de utilización del transformador quedaría a 0.87 por lo que funcionaría sin ningún inconveniente, teniendo en cuenta que pronto podría alcanzar su potencia nominal.

Sin embargo, la finalidad de esta propuesta consiste en obtener el límite de carga que podría asumir la subestación El Moral con su nuevo aumento y abasteciendo la carga del circuito D-105 “Villa Libertad” de forma permanente; haciendo un recorrido por el circuito D-105 “Aguas Calientes” se encuentra otro punto que ya cuenta con un juego de cortacorrientes identificado como CC2 en el capítulo III, ubicado el en el conjunto Residencial Aguas Calientes, como se observa en el círculo negro de la figura 4.6, por lo tanto, solo se abriría en ese punto y la subestación El Moral estaría abasteciendo la carga de este circuito hasta este punto.

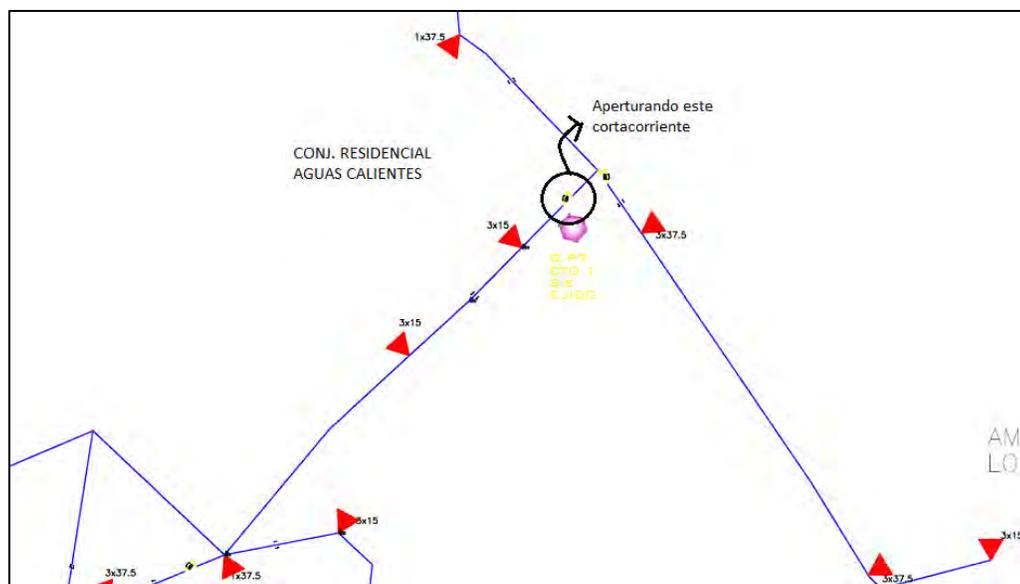


Figura 4.6 Segundo tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”

Es importante simular este tramo de circuito con la subestación El Moral para obtener el valor de la máxima caída de tensión y la máxima carga en los conductores y comprobar que funcione normalmente. En la tabla 4.7 se muestran dichos valores

Tabla 4.7 S/E El Moral con el segundo tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E

Ejido

“Barra de transferencia”	
Demanda máxima (A)	94
Demanda máxima (kVA)	2246.81
Max caída de tensión (%)	1.76
Máxima carga (%)	47.93

En la tabla 4.7 se observa que los valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la norma de la empresa, sin embargo, es necesario analizar el comportamiento del transformador para observar su factor de utilización.

El circuito Aguas Calientes restante, alimentado por la S/E Ejido presentaría una máxima caída de tensión de 3.35% y una máxima carga en los conductores de 45.25%, ambos cumpliendo con los parámetros máximos establecidos.

Tabla 4.8 Transformador de la S/E El Moral con el segundo tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad

	Transformador 1
Capacidad Instalada (kVA)	5000
Demanda máxima (A)	191,8
Demanda máxima no coincidente (kVA)	4584.46
Factor de utilización	0.916

Con la incorporación de la carga de ambas subestaciones el transformador estaría llegando a su máximo. Por lo tanto, podría servir para respaldar a este circuito en casos de emergencia, por periodos transitorios.

4.2.2 Aumento a 10 MVA

Si de la barra de transferencia se desea instalar un circuito de forma permanente es necesario aumentar la subestación El Moral, sustituyendo su transformador por uno de 10 MVA, por lo tanto, serviría para aliviar la carga en los conductores del circuito D-105 de la subestación Ejido, ya que está llegando a su máximo permisible de 80%, actualmente se encuentra en 75.31%. Con esta capacidad de transformación, podría asumir la carga hasta el seccionador que se encuentra en las cercanías del C.C. Aguas Calientes, abriendo dicho seccionador.

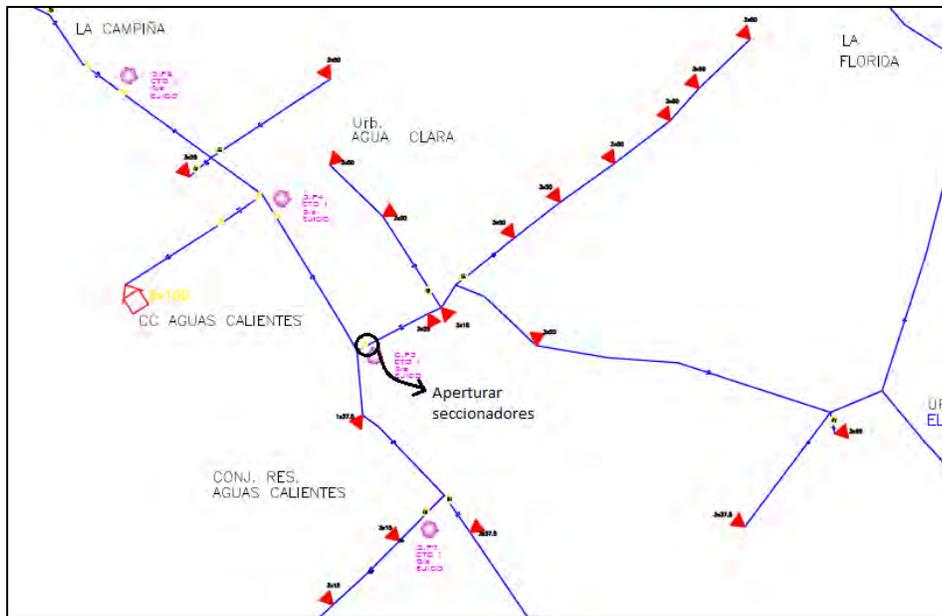


Figura 4.7 Tercer tramo como propuesta con D-105 “Aguas Calientes”

Este seccionador es identificado por S3 en el capítulo III; para que la subestación El Moral asuma este tramo de línea bastaría con dar apertura a este juego de seccionadores. Por lo tanto, el circuito Aguas Calientes restante alimentado desde la subestación Ejido presentaría una máxima caída de tensión de 1.25% en la Urb. Asoprieto, y una máxima carga en los conductores de 22.42% cerca de las Res. Alto de Ejido, ambos cumpliendo con los estándares establecidos, y bajados considerablemente de sus valores actuales. Se observa que, con la incorporación de este tramo de circuito a la subestación El Moral, el circuito Aguas Calientes mejoraría bastante sus valores, pasando su máxima caída de tensión de 6.07% a 1.25% y la máxima carga en los conductores de 75.31% a 22.42%, lo cual estaría preparado para asumir nueva carga cuando esta aumente.

Tabla 4.9 S/E El Moral con el tercer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido

“Barra de transferencia”	
Demanda máxima (A)	180.8
Demanda máxima coincidente (kVA)	4312.53
Max caída de tensión (%)	2.24
Máxima carga (%)	75.30

Con la subestación el Moral asumiendo este tramo de línea del circuito Aguas Calientes, presentaría una máxima caída de tensión de 2.24% en las Res. Marisela Peña y una máxima carga en los conductores de 75.30% a la salida de la barra de transferencia en la subestación.

Tabla 4.10 Transformador de la Subestación El Moral con el tercer tramo del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la S/E Ejido y D-105 “Villa Libertad” de la S/E Villa Libertad

	Transformador 1
Capacidad Instalada (kVA)	10000
Demanda máxima (A)	278.6
Demanda máxima no coincidente (kVA)	6652.01
Factor de utilización	0.6652

Con un transformador con capacidad de 10 MVA, la subestación El Moral podría asumir carga de ambas subestaciones al mismo tiempo trabajando perfectamente, lo que mejoraría el servicio eléctrico prestando a toda esa comunidad, ya que ayuda a mejorar el rendimiento de los transformadores de las subestaciones Ejido y Villa Libertad.

4.3 PROPUESTAS DE MEJORA DE LOS CIRCUITOS DE LA SUBESTACIÓN EJIDO

La Subestación Ejido actualmente se encuentra ubicada en el sector El Manzano Medio, pero debido a dicha ubicación y a la capacidad del espacio que posee, no es posible incorporar un nuevo circuito que serviría para aliviar los circuitos que actualmente poseen problemas. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio para mejorar cada uno de los circuitos que presentan problemas.

4.3.1 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-105 “Aguas Calientes”

El circuito Aguas Calientes actualmente presenta una máxima carga en los conductores de 75.31%, siendo el límite establecido por la norma de la empresa de 80%, se sabe que el crecimiento desproporcionado de la población podría conllevar a que tal valor alcance su

máximo rápidamente. Como este circuito no cuenta con ninguna interconexión con algún otro circuito, solo esta interconectado con la subestación El Moral por la barra de transferencia, aplicando algunas de las propuestas presentadas en el apartado 4.1 y 4.2 se podría aliviar la carga en los conductores.

Tabla 4.11 Propuestas para mejorar los valores del circuito

Propuesta	Máx. Caída de tensión	Máx. Carga en los conductores
Primer tramo	3.51%	47.54%
Segundo tramo	3.35%	45.25%
Tercer tramo	1.25%	22.42%

Si los conductores llegasen a su máxima carga, traerían como consecuencia sobrecarga en la troncal que producirán recalentamiento en los conductores que genera incendios. Por lo tanto, es importante reducir la máxima carga en los conductores que actualmente posee, aplicando algunas de estas propuestas

4.3.2 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-205 “Centenario/El Morro”

El circuito D-205 actualmente presenta un alto porcentaje de máxima caída de tensión (9.63%), por lo que es necesario mejorar dicho valor. Se conoce que la caída de tensión es la diferencia de potencial que existe entre los dos extremos de una línea eléctrica, siendo esta una de las fallas más comunes en una red de distribución que trae grandes efectos negativos. Para disminuir la caída de tensión en un circuito es necesario aumentar considerablemente el tamaño del conductor. Sin embargo, en este circuito cambiar el conductor de la troncal no es factible, ya que para lograr que disminuya dicha caída de tensión es necesario cambiar el conductor de más de 30 Km de línea, siendo esto demasiado costoso, e implicaría dejar sin suministro eléctrico a los usuarios por un tiempo prolongado. Además, cambiando el conductor de dicha línea, la máxima caída de tensión bajaría a 6.70%, sobrepasando de igual manera la norma.

Por lo tanto, la mejor manera de corregir esta caída de tensión es con la instalación de un banco de regulación en la troncal del circuito, pero para ello es necesario estudiar el punto

óptimo para la operatividad de dichos bancos. Haciendo un análisis a lo largo del circuito, se encontraron tres puntos a considerar para la ubicación de los bancos, que son:

Tabla 4.12 Propuestas de incorporación de un banco de regulación en el circuito D-205 “Centenario/El Morro”

Propuesta	Ubicación	Máx. Caída de tensión	Máx. Carga en los conductores
1	Plan del Morro	4.92%	60.67%
2	Mocotoné	5.58%	60.67%
3	La Picadora	5.83%	60.67%

Se observa de la tabla 4.12 que, para cualquiera de las tres propuestas, la máxima caída de tensión baja considerablemente, además, de cumplir con el rango establecido por la norma de CORPOELEC. Así mismo, la máxima carga en los conductores se encuentra dentro del parámetro. Es importante detallar donde se presenta la caída de tensión en los tres puntos.

En la primera propuesta, donde los bancos de regulación se ubican en el sector Plan del Morro, la máxima caída de tensión se presenta en el sector El Verde de 4.92%. Cuando el banco de regulación es ubicado en el sector Mocotoné, la máxima caída de tensión se presenta justo antes de dicho banco. Finalmente, si se desea ubicar el banco de regulación en La Picadora en Ejido, la máxima caída de tensión se presenta al final del circuito, en el sector San Antonio, de 5.83%, es decir, casi llagando a su máximo parámetro.

Lo presentado anteriormente sirve para evaluar la mejor ubicación de los bancos de regulación, siendo la propuesta más óptima la primera, la cual ubica el banco de regulación en el sector Plan del Morro. Ya que la máxima caída de tensión que presenta actualmente el circuito empieza a partir del sector Los Camachos que se encuentra justo después del Sector Mocotoné, por lo que esta propuesta da como caída máxima un valor cercano a la norma. Además, que el sector El Verde pertenece a una de las derivaciones del circuito, es decir, no se saturaría el conductor de la troncal rápidamente.

4.3.3 Propuesta para el mejoramiento del circuito D-305 “El Manzano”

Actualmente el circuito El Manzano no presenta problema alguno con su operatividad, sin embargo, tampoco presenta interconexión con ningún otro circuito. Existe una propuesta de interconexión de este circuito con el circuito D-505 “Los Curos” de la subestación Mérida I por la vía Panamericana, en el sector El Claret o por el deposito del Gas Comunal. No obstante, para ello se debe evaluar el conductor que posee este circuito, ya que presenta tramos de línea de cobre. Por lo tanto, para llevar a cabo dicha interconexión se debe realizar un cambio de conductor desde el arranque del seccionador (S2) del acueducto hacia el sector El Salado, hasta el deposito del Gas Comunal (aproximadamente 4 Km de línea), a un calibre de conductor # 2/0 ARV. Además, con este cambio de conductor el circuito actualmente pasaría de presentar una máxima caída de tensión de 2.59%, a una de 2.19% en el sector Loma de los Garcia. Este cambio de conductor mejoraría la operatividad futura de este circuito cuando este respaldando el circuito Los Curos, ya que contaría con más capacidad de corriente en su troncal.

4.4 PROPUESTAS PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN LOS RAMALES DE LOS CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN EN 13.8 KV ASOCIADOS A LA SUBESTACIONES EJIDO Y EL MORAL

Esta propuesta se basa en la optimización del sistema de protección de los circuitos ramales de las líneas de distribución de las subestaciones en estudio, para ello es necesario realizar un análisis a cada uno de los circuitos de las dos subestaciones para determinar si la protección que poseen actualmente cumple con la protección que le corresponde, de no serlo, proponer el cambio, además, de proponer la instalación de nuevos fusibles a aquellos circuitos ramales que no los posean. La importancia de la coordinación de protecciones radica en que al momento que ocurra una falla, opere más rápido el dispositivo de protección más cercano con el fin de que los consumidores afectados sean la menor cantidad posible, en el caso que el fusible más cercano no despeje la falla, actué la protección de respaldo más cercana.

Para llevar a cabo la coordinación de protecciones es necesario conocer los niveles de cortocircuitos de las barras en 13.8 kV y para ello se deben conocer los de las barras 115 kV los cuales son suministrados por CORPOELEC.

Tabla 4.13 Niveles de cortocircuito de la barra 115 kV

Subestación	Trifásicos		Monofásicos	
	Ik (kA)	Sk (MVA)	Ik (kA)	Sk (MVA)
Ejido	4.711	938.462	4.167	276.673

Con un programa proporcionado por CORPOELEC en Excel para efectuar los cálculos de los niveles de cortocircuitos de las barras de 34.5 kV y 13.8 kV, se realiza el análisis para obtener los niveles de cortocircuito de las barras 13.8 kV de ambas subestaciones, pero para ello es necesario conocer las características de los transformadores, las cuales son facilitadas por la empresa.

Tabla 4.14 Características de los Transformadores de las Subestaciones

	El Moral	Ejido
Capacidad (MVA)	3	36
Relación (kV)	34/13.8	115/13.8
Impedancia (%)	7.09	12.23

Con los datos anteriores se realizó el análisis de los niveles de cortocircuito para cada uno de los transformadores de las dos subestaciones, insertándolos en el programa en Excel como se muestra en la figura 4.8

ESTACION	EL MORAL	NOMBRE	Movil de 3MVA
Datos de Trasmision			
Rt trasmision p.u.			
Xt trasmision p.u.			
Ubase	115,00		
P Base (MVA)	100		
Pcc 3f	938,46		
Pcc 1f	276,67		
N Aterrado Trasmision s/n	S		
R trasmision Ohms	0		
X Reactor Trifasico Ohms	0		
loc % Zi 115 kV	80,0%		
Transformador 115 kV			
Ed Trafos 115 kV	115,00		
P (MVA)	36,00		
Trafos en Paralelo	1		
Zcc %	11,54		
Trafo Intensidad I primaria	200		
Factor sobrecarga TP	1,5		
Neutro Aterrado S/N 31,5 kV	S		
Resistencia de Trafo (Ohm)	0,0		
X Reactor Trifasico Ohms	0		
loc % Zi 34,5 kV	80,0%		
Transformador 34,5 kV			
Ed Trafos 34,5 kV	34,50		
P (MVA)	3,00		
Trafos en Paralelo	1		
Zcc %	7,08		
Trafo Intensidad I primaria			
Factor sobrecarga TP	1,5		
3 Arrollamientos			
LÍNEAS 115 kV			
	Conductor	Kmts	
Línea 1			
Línea 2			
Línea 3			
Línea 4			
Línea 5			
Línea 6			
Línea 7			
Línea 8			
Línea 9			
Línea 10			
Total:			
LÍNEAS 34,5 kV			
	Conductor	Kmts	
Línea 1	4/0 ARV	6,000	
Línea 2			
Línea 3			
Línea 4			
Línea 5			
Línea 6			
Línea 7			
Línea 8			
Línea 9			
Línea 10			
Total:		6,000	
Barras U Compuesta			
			13,80
Resistencia de Trafo (Ohm)			0
Neutro Aterrado s/n o Tr			S
R de falla			40
k Inrush TP			10
k Inrush SE			4
SALIDAS MT			
	Pot Inst (kVA)	I Pico (A)	
A	3500	55	
B	1500	12	
C	2000	8	
D	500	15	
E	750	6	
F	600	10	
Total:	8850	108	
CABLES 34,5 kV			
	Conductor	Kmts	
Cable 1			
Cable 2			
Cable 3			
Cable 4			
Cable 5			
Cable 6			
Cable 7			
Cable 8			
Cable 9			
Cable 10			
Total:			
Transformador de Aterramiento			
U Compuesta Transf.			
P (MVA)			
Zcc %			

Figura 4.8 Hoja de datos para el cálculo de los niveles de cortocircuito

Los demás datos son estándares que utiliza la empresa para el uso del programa. Una vez insertados los datos se obtienen los resultados como se muestra en la figura 4.9

ESTACION	EL MORAL	Cortocircuitos Transformadores $\Phi-\Phi-\Phi$		Resumen Impedancias Zd	
	Movil de 3MVA	Tension Base Seccion del Trafo		Tension Base kV	
Impedancias en la Barra de MT		Seccion Trafo		XI Fuente	
Impedancias Base	13,80	ρ (A)	$\angle\alpha$	R1 Línea 115 kV	
R Fuente (Ω)	0,27072	115 kV	4711	-90,00	XI Línea 115 kV
jX Fuente (Ω)	5,71789	34,5 kV	2556	-77,46	R1 Línea 34,5 kV
Ro Fuente (Ω)	0	Ajuste Trafo		XI Línea 34,5 kV	
jXo Fuente (Ω)	4,50073	115,000	34,500	R1 Cable 34,5 kV	
Rfalla (Ω)	40,00000	I> (A)	240,00	XI Cable 34,5 kV	
Cortocircuitos en la Seccion de Red MT		Cortocircuitos 1 Φ T Barra MT		XI Trafos 115 kV	
Cortocircuitos $\Phi-\Phi-\Phi$ Barra MT		Corto Ubase kV		XI Trafos 34,5 kV	
Corto Ubase kV	13,8	13,8		j P-S	
ρ (A)	1391,9	sin 3Rfalla (A)	1498,98	j P-T	
$\angle\alpha$	-87,29	con 3Rfalla (A)	196,58	j S-T	
PCC3f	33,27 MVA	PCC1f	11,94 MVA		

Figura 4.9 Hoja de resultados de los niveles de cortocircuito

Además, el programa es capaz de dibujar un diagrama unifilar mostrando las corrientes de cortocircuito en cada una de las barras

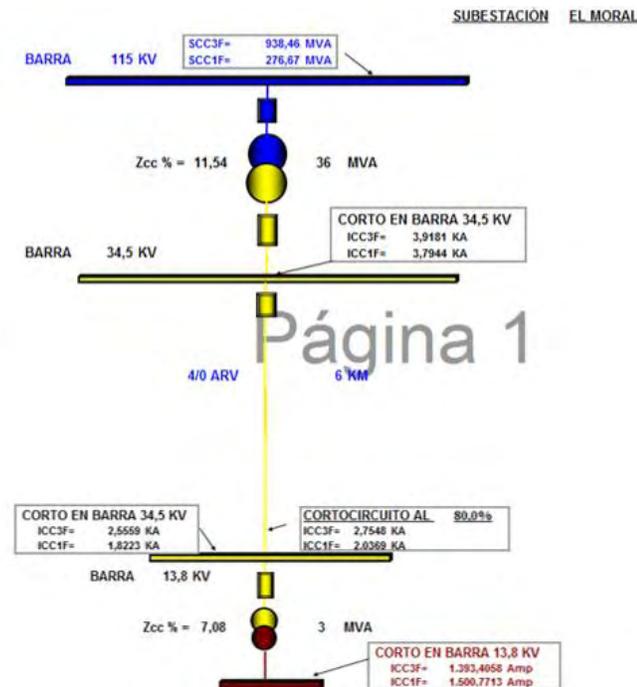


Figura 4.10 Diagrama Unifilar de la Subestación El Moral

De igual manera se realiza el análisis para el cálculo de los niveles de cortocircuito de la subestación Ejido que posee dos transformadores, ambos de 36 MVA. En la tabla 4.15 se muestran las potencias de cortocircuito trifásicas y monofásicas.

Tabla 4.15 Niveles de cortocircuito de la barra 13.8 kV

	Trifásicos	Monofásicos
Transformador	Sk (MVA)	Sk (MVA)
3MVA	33.31	11.96
36 MVA	224.07	72.43

Luego con ayuda del PADEE se analizan los circuitos individualmente obteniendo el análisis de flujo de carga y los cálculos de las corrientes de cortocircuito para cada tramo de los circuitos.

CIUDAD : MERIDA		AÑO : 2017		ALTERNATIVA : 1		FECHA : 18-MAY-17										
PAG: 1						HORA : 10:32										
CIRCUITO NO. 1		EL MORAL	EL MORAL													
TENSION FASE A FASE		13.80	KV													
FACTOR DE POTENCIA		0.90	%													
% DE TENSION EN BARRA		105.	%													
DEMANDA		805. KVA	724. KW	352. KVAR												
TRAM / CARGA	KVA CONECS PRESENT	C A R G A S KW	KVAR	LONGIT KM	C O N D U C T O R TIPO	% CARGA	IMPEDANCIA RESIS REACT	CARGA/TRAMO KW	KVAR	PCT DE TRAM.	CAIDA ACUM.	% KVLL	PERD. KW	SECC. KVAR	CORRIENTE KW	AMPS
1.....3	FASE	0.00	0.00	0.002	1/0 ARV	13.36	0.001 0.001	724.	352.	0.00	0.00	105.00	0.0	0.0	32.1	
2.....3	FASE	0.00	0.00	0.002	1/0 ARV	13.36	0.001 0.001	724.	352.	0.00	0.00	105.00	0.0	0.0	32.1	
3.....3	FASE	0.00	0.00	0.005	1/0 ARV	13.36	0.003 0.002	724.	352.	0.00	0.00	105.00	0.0	0.0	32.1	
4.....3	FASE	15.00	8.4	0.151	1/0 ARV	13.36	0.085 0.067	724.	352.	0.04	0.05	104.95	0.3	0.2	32.1	
5.....3	FASE	37.50	21.10	0.041	1/0 ARV	13.21	0.023 0.018	715.	348.	0.01	0.06	104.94	0.1	0.1	31.7	
6.....3	FASE	0.00	0.00	0.085	1/0 ARV	13.21	0.049 0.038	715.	348.	0.02	0.08	104.92	0.1	0.1	31.7	
7.....3	FASE	0.00	0.00	0.034	1/0 ARV	13.21	0.019 0.015	715.	348.	0.01	0.09	104.91	0.1	0.0	31.7	
10.....2	FASE	0.00	0.00	0.001	2 ARV	2.54	0.001 0.001	69.	33.	0.00	0.09	104.91	0.0	0.0	4.6	
13.....2	FASE	0.00	0.00	0.005	2 ARV	2.54	0.004 0.002	69.	33.	0.00	0.09	104.91	0.0	0.0	4.6	
14.....2	FASE	0.00	0.00	0.002	2 ARV	2.54	0.003 0.001	69.	33.	0.00	0.09	104.91	0.0	0.0	4.6	
18.....2	FASE	37.50	21.10	0.067	2 ARV	1.78	0.061 0.033	48.	23.	0.00	0.10	104.90	0.0	0.0	3.2	
18.....0	FASE	0.00	0.00	0.225	2 ARV	1.78	0.203 0.110	48.	23.	0.01	0.11	104.89	0.0	0.0	3.2	
22.....2	FASE	37.50	21.10	0.083	2 ARV	1.02	0.075 0.041	28.	13.	0.00	0.11	104.89	0.0	0.0	1.8	
26.....2	FASE	50.00	28.13	0.083	2 ARV	1.02	0.075 0.041	28.	13.	0.00	0.11	104.89	0.0	0.0	1.8	
INICIANDO RAMA EN 7																
9.....3	FASE	0.00	0.00	0.072	1/0 ARV	10.89	0.041 0.032	589.	287.	0.02	0.11	104.89	0.1	0.1	26.1	
12.....3	FASE	0.00	0.00	0.943	2/0 ARV	9.34	0.424 0.413	589.	287.	0.18	0.29	104.71	0.9	0.8	26.1	
17.....3	FASE	0.00	0.00	0.063	2/0 ARV	9.34	0.028 0.028	589.	286.	0.01	0.30	104.70	0.1	0.1	26.1	
21.....3	FASE	0.00	0.00	0.272	2/0 ARV	9.03	0.122 0.119	569.	277.	0.05	0.36	104.64	0.2	0.2	25.3	

Figura 4.11 Análisis de Flujo de Carga

CIUDAD : MERIDA		AÑO : 2017		ALTERNATIVA : 1		FECHA : 18-MAY-17	
PAG: 1						HORA : 10:32	
PROGRAMA DE CORTOCIRCUITO							
ALIMENTADOR NO. 1		EL MORAL	EL MORAL				
VOLTAJE LINEA A LINEA		13.80	KV				
TENSION EN LA BARRA		105	%				
NEUTRO		SI					
MVA DE CORTOCIRCUITO EN LA S/E :		33.31	11.96				
IMPEDANCIA DE FALLA		:CERO					
IMPEDANCIAS DEL SISTEMA (CALC) :		5.7172	4.4887				
SECC/NODO	FASES	LONGITUD	C O N D U C T O R	IMPED.(+/-) R X	IMPED.(0) R X	C O R R I E N T E S D E F A L L A S E N (K A)	
						3 FASES	2F.-TIERRA 1F.-TIERRA
1.....3		0.002	1/0 ARV	0.001 0.001	0.003 0.003	1.4628	1.2668 1.3547
2.....3		0.002	1/0 ARV	0.001 0.001	0.003 0.003	1.4624	1.2665 1.3543
3.....3		0.005	1/0 ARV	0.003 0.002	0.009 0.008	1.4615	1.2657 1.3534
4.....3		0.151	1/0 ARV	0.085 0.067	0.263 0.233	1.4342	1.2421 1.3262
5.....3		0.041	1/0 ARV	0.023 0.018	0.071 0.063	1.4270	1.2358 1.3190
6.....3		0.085	1/0 ARV	0.049 0.038	0.148 0.131	1.4121	1.2229 1.3043
7.....3		0.034	1/0 ARV	0.019 0.015	0.059 0.053	1.4062	1.2178 1.2984
10.....2		0.001	2 ARV	0.001 0.001	0.002 0.002		1.2984 1.4644
13.....2		0.005	2 ARV	0.004 0.002	0.009 0.008		1.2984 1.4625
14.....2		0.002	2 ARV	0.003 0.001	0.003 0.003		1.2984 1.4617
18.....2		0.067	2 ARV	0.061 0.033	0.116 0.102		1.2984 1.4373
22.....2		0.225	2 ARV	0.203 0.110	0.389 0.343		1.2984 1.3611
26.....2		0.083	2 ARV	0.075 0.041	0.143 0.126		1.2984 1.3350
COMENZANDO EN EL NODO 7							
9.....3		0.072	1/0 ARV	0.041 0.032	0.126 0.111		

Figura 4.12 Corrientes de Cortocircuito

Finalmente, el cálculo y la selección de los fusibles a proponer se realiza con un programa en Excel proporcionado por CORPOELEC, al que se le debe proveer el valor de la corriente pico ramal, la de cortocircuito mostradas en de las figuras 4.11 y 4.12 y la carga instalada en

cada ramal del circuito, luego el programa suministra una lista de fusibles de la cual se elige el fusible óptimo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1								Tensión	13,8	kV	
2	Tabla para elección de fusibles en ramales							Pot instalada	225	kVA	
3								I pico ramal	2,9		
4								Pot pico	62,4	kW	
5								cos fi	0,9		
6	Criterio 1	In fus > k*I deriv	k= factor de crecimiento	1,2				lcc min=	1432,90	358,23	
7	Criterio 2	In fus < lccmin/fs	fs= factor de seguridad	4				I deriv=	2,90	3,480	
8	Criterio 3	I fus (0,1seg) > 12*k*I _n deriv		12				In deriv=	9,41	11,296	
9										135,55	
10		Tipo K	0,1 seg				C1	C2	C3	min. Fus.	
11		6K		72,8497	6K	6 6K	6K	6K		0	0
12		8K		101,73	8K	8 8K	8K	8K		0	0
13		10K		134,6	10K	10 10K	10K	10K		0	0
14		12K		172,816	12K	12 12K	12K	12K	12K	12K	12K
15		15K		225,009	15K	15 15K	15K	15K	15K	15K	15K
16		20K		292,581	20K	20 20K	20K	20K	20K	20K	20K
17		25K		373,482	25K	25 25K	25K	25K	25K	25K	25K
18		30K		460,624	30K	30 30K	30K	30K	30K	30K	30K
19		40K		596,66	40K	40 40K	40K	40K	40K	40K	40K
20		50K		770,113	50K	50 50K	50K	50K	50K	50K	50K
21		65K		932,942	65K	65 65K	65K	65K	65K	65K	65K
22		80K		1300	80K	80 80K	80K	80K	80K	80K	80K
23		100K		1558,71	100K	100 100K	100K	100K	100K	100K	100K
24		140K		2496,14	140K	140 140K	140K	140K	140K	140K	140K
25		200K		3887,91	200K	200 200K	200K	200K	200K	200K	200K
26											

Figura 4.13 Programa en Excel para elección de fusibles ramales

Los valores presentados en las celdas de color amarillos son los datos que se le deben suministrar al programa, y las celdas en verdes corresponden a los resultados arrojados por el mismo, el rango de fusibles propuestos varía entre 6K y 200K, por ello se debe elegir el indicado para cada rama según la configuración del circuito.

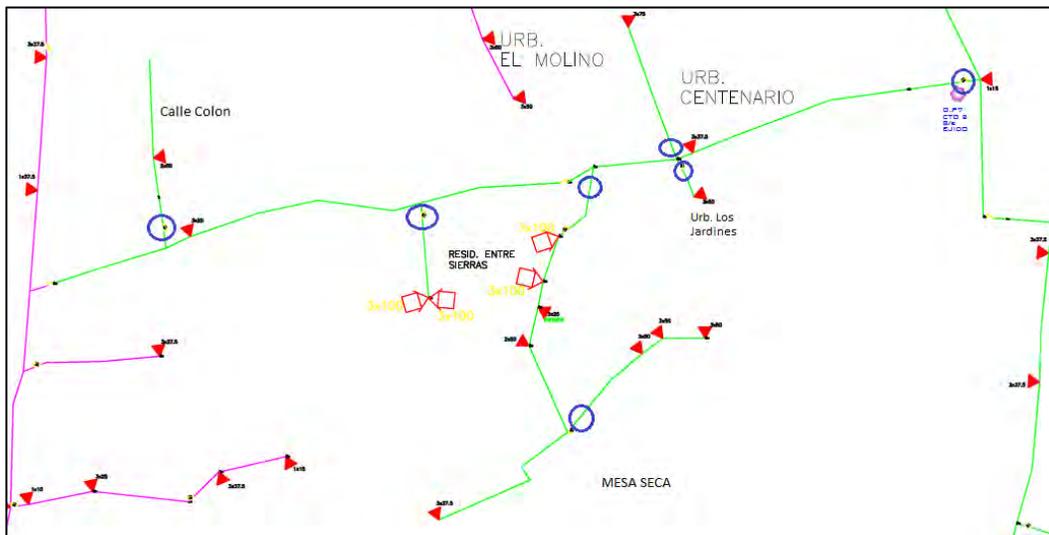


Figura 4.14 Propuesta de ubicación de fusibles en la derivación del circuito D-205 de la S/E Ejido

Las líneas en color verde de la figura 4.14 representan un circuito ramal del circuito D-205 “Centenario/El Morro” de la subestación Ejido, con el cual se muestra en que se basa la coordinación de protecciones aplicadas en este estudio; las ubicaciones para los fusibles propuestos en este tramo están identificados por un círculo en color azul.

La tabla 4.15 muestra la coordinación de protecciones para el circuito ramal representado por la figura 4.14, la cual contiene el número de derivación que representa en el circuito, la ubicación, el tramo de línea que representa según el programa PADEE, la carga instalada que contiene, la corriente pico ramal proporcionada por el análisis del flujo de carga, la corriente de cortocircuito también proporcionado por el análisis de corriente en PADEE, además indica si actualmente posee protección, el rango de fusible recomendado por el programa en Excel para la elección de este y el fusible propuesto.

Tabla 4.16 Coordinación de protecciones propuestas para una derivación del circuito D-205 “Centenario/El Morro”

Nº	Ubicación	Tramo	Carga Instalada (kVA)	Ipico Ramal (A)	Icc min (A)	Protección actual	Rango	Fusible propuesto
13.0	Vía a Don Luis, cerca al módulo policial, hacia calle La Vega	179-388	2600	34,0	551,8	SI	-	S
13.1	Calle La Vega, entre Urb. Centenario y El Molino	206-215	225	2,9	1.432,9	NO	12K-200K	12K
13.2	Calle La Vega, hacia Urb. Los Jardines	205-222	150	2,0	1.457,0	SI	8K-200K	8K
13.3.0	Calle La Vega, frente a la policía vial Ejido, hacia Mesa Seca	211-299	1337,5	17,5	1.342,8	SI	65K-200K	65K

N°	Ubicación	Tramo	Carga Instalada (kVA)	Ipico Ramal (A)	Icc min (A)	Protección actual	Rango	Fusible propuesto
13.3.1	Hacia Res. Villa Escondida	293-315	450	5,9	1.342,2	SI	20K-200K	20K
13.4	Calle La Vega, hacia Res. Entre Sierras	251-263	600	7,8	1.383,5	SI	25K-200K	25K
13.5	Calle La Vega, hacia calle Colon	302-316	100	1,3	1.304,6	SI	6K-200K	6K

Es de notar que la para la derivación 13.0 el programa no indico el rango de fusible recomendado, en este caso, se debe instalar un juego de seccionadores. En el anexo A1 se muestra la tabla de la coordinación de protección propuesta para los circuitos de las subestaciones en estudio.

4.5 PROPUESTA DE MEJORA A LA MALLA DE TIERRA DE LA SUBESTACIÓN EL MORAL

Precisar el modelo de la malla de puesta a tierra es de vital importancia en un sistema para garantizar la operatividad del sistema, se debe verificar que esté funcionando correctamente para que proteja al personal y al sistema en general. Al evaluar los diagramas de contorno de potencial de la malla de puesta a tierra de la subestación El Moral se encontró que existe un gran riesgo para el personal dentro de la subestación al presentarse una falla. Esta propuesta se basa en proponer un modelo de malla mejorado, agregando conductores e incorporando varillas en la periferia de la malla y alrededor del transformador con el fin de hacer que penetren en el suelo, para disminuir el voltaje de contacto; además, reforzar la capa superficial de piedra picada aplicando las recomendaciones de la norma de aproximadamente 20 cm de grosor.

Para la mejora de la malla, es necesario añadir tramos de conductores como se muestra en la figura 4.15 en color amarillo, los puntos verdes representan varillas verticales

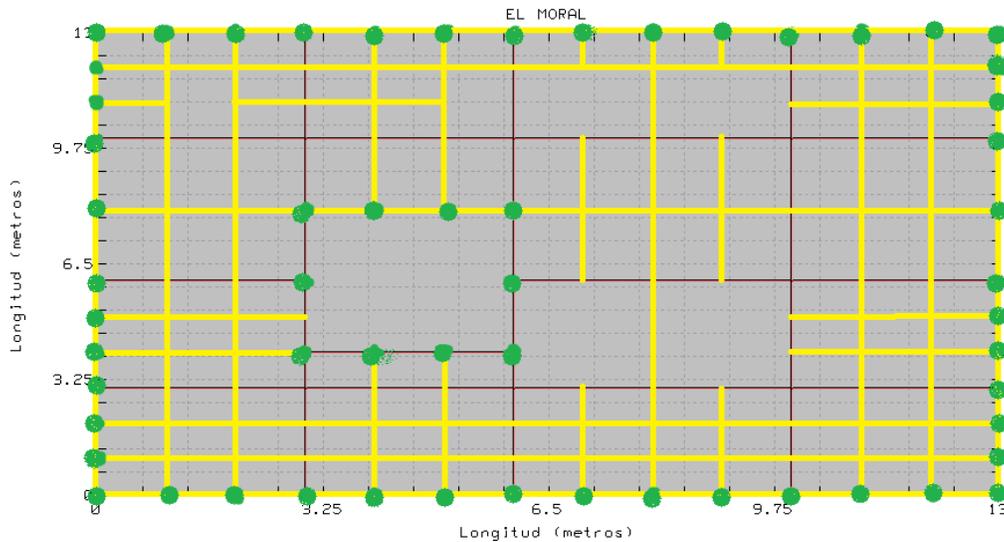


Figura 4.15 Propuesta para mejorar la malla de tierra de la S/E El Moral

Para la instalación de las barras Copperweld se consideran las recomendaciones de las normas IEEE 80-2000, que indican que se entierren de manera vertical barras de 2.4 m y 5/8" en las esquinas de la malla y a lo largo de la periferia de forma intercaladas, sin embargo, esta malla con las varillas intercaladas aún sigue sobrepasando los límites de voltaje de contacto, por lo tanto, se consideró colocarlas a lo largo de toda la periferia, en la figura 4.16 se visualizan de mejor manera.

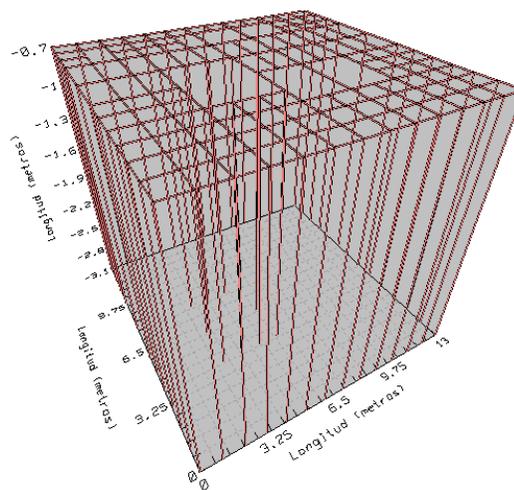


Figura 4.16 Vista en 3D de la malla mejorada

Es importante señalar que se consideró el mismo modelo del terreno y las máximas corrientes de cortocircuito para este análisis, los nuevos tramos de conductores se plantearon del mismo calibre de los que posee actualmente N° 2/0 AWG cuyo diámetro es de 10.64 mm.

Tabla 4.17 Reporte de análisis de la malla de la S/E El Moral mejorada

Resultados	
Longitud total de los conductores primarios	300 metros
Longitud total de las varillas primarias	139.2 metros
Número total de elementos	200
Elevación del potencial de tierra	2118.77 voltios
Resistencia de tierra calculada	1.40528 ohmios
Impedancia equivalente	1.40508 ohmios

En la tabla 4.17 se puede notar que se agregaron una cantidad considerable de tramos de conductores y varillas, los cuales lograron disminuir considerablemente la resistencia de puesta a tierra de 4.06971 Ω a 1.40508 Ω , además de la elevación de potencial de tierra de 6136.87 V a 2118.77 V.

Es necesario analizar los diagramas de contorno de potencial de contacto y de superficie para realizar una comparación con respecto a los que presenta actualmente.

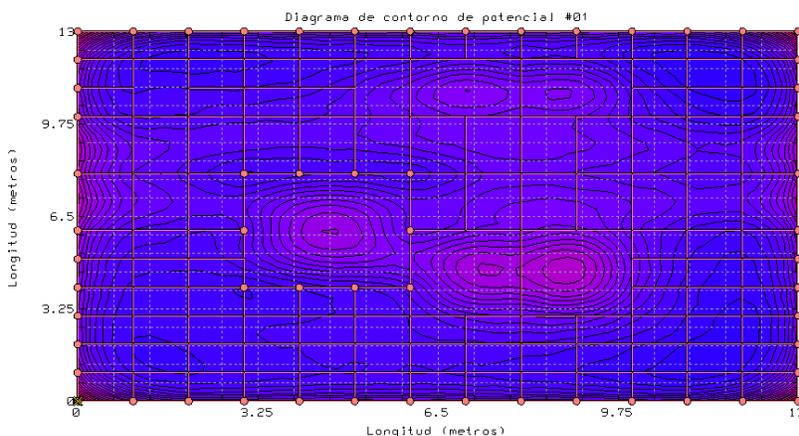


Figura 4.17 Diagrama de Potencial de Contacto de la malla mejorada

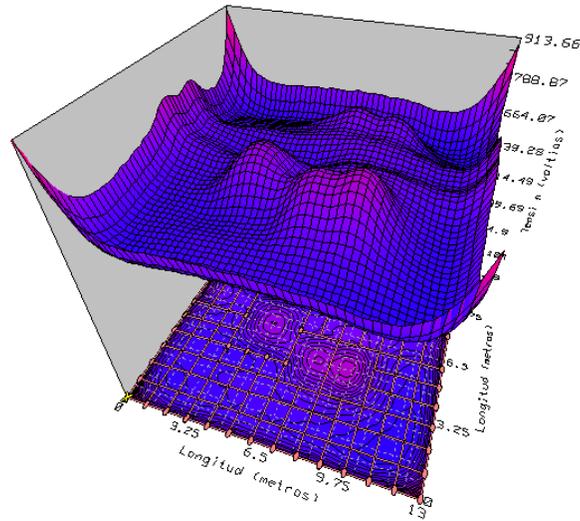


Figura 4.18 Diagrama de Potencial de Contacto de la malla mejorada en 3D

En las figuras 4.17 y 4.18 se muestra como el modelo mejorado de la malla de puesta a tierra logra disminuir considerablemente el riesgo que presenta en toda el área del terreno de la malla los potenciales de contacto. Con el código de colores presentado en la figura 4.19 se puede comprobar cuanto disminuye el peligro que presenta actualmente la malla con este nuevo modelo.

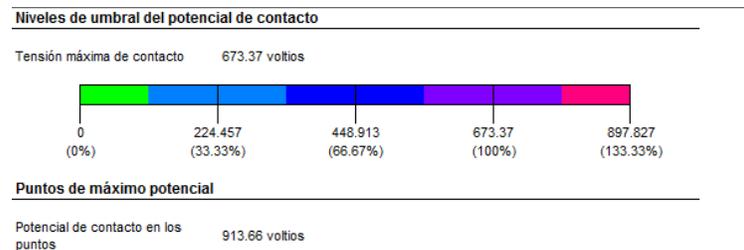


Figura 4.19 Reporte del potencial de contacto de la malla mejorada

Del mismo modo, con la nueva configuración de la malla, se logra estabilizar un poco más la característica del potencial de superficie, es decir, se logra disminuir la diferencia de potencial de superficie al momento de una falla.

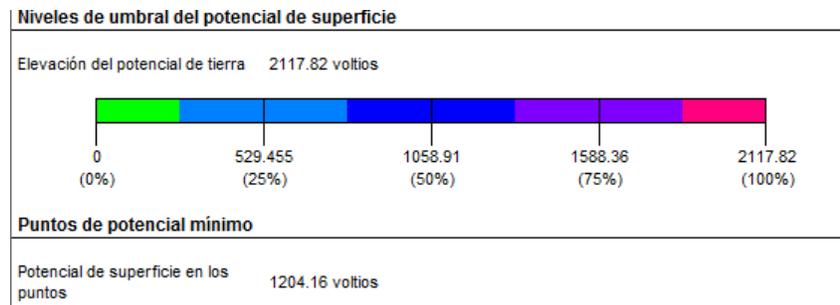


Figura 4.22 Reporte del potencial de superficie de la malla mejorada

El reporte del potencial de superficie muestra los niveles de umbral del potencial que se presentan en la superficie de la malla cuando se dispara la corriente máxima de cortocircuito.

Para el análisis del diagrama de perfil de potencial, el programa considera la misma dirección de estudio que con la malla actual, ya que supone que es el perfil que presenta mayores deficiencias para mantener controlados los parámetros de contacto y superficie. El gráfico 4.1 muestra dicho diagrama.

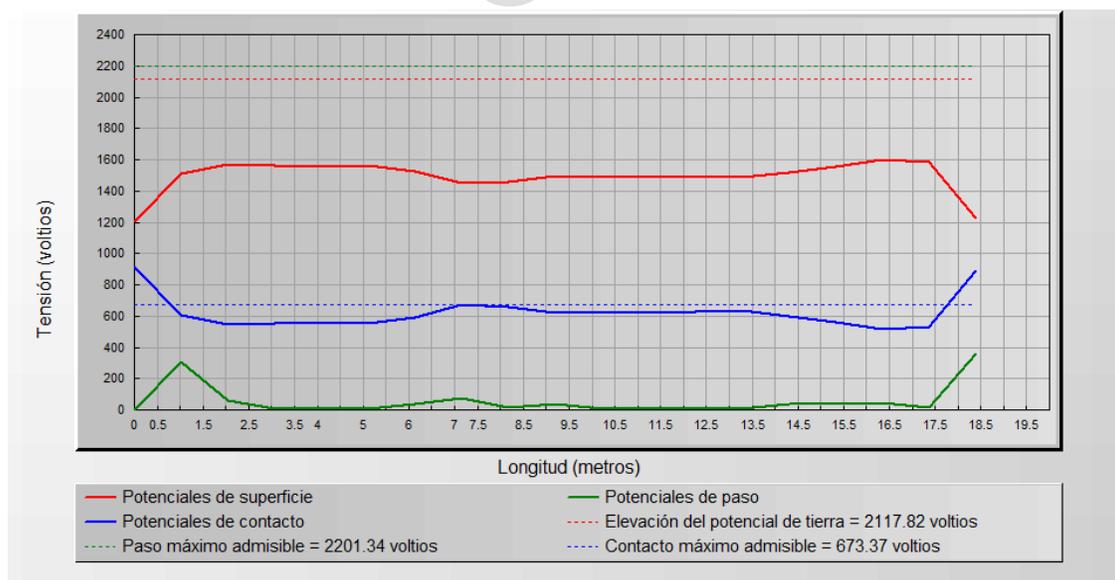


Gráfico 4.1 Diagrama de Perfil de Potencial de la Malla mejorada

Las curvas punteadas representan los valores máximos permisibles, y las de color intenso el potencial que genera la configuración de la malla. Finalmente, el reporte mostrado en la tabla 4.18 indica estos valores en forma numérica.

Tabla 4.18 Reporte de Perfil de potencial de la malla mejorada

Niveles de umbral del potencial de contacto	
Elevación del potencial de tierra	2117.82 voltios
Tensión máxima de paso	2201.34 voltios
Tensión máxima de contacto	673.37 voltios
Puntos de máximo potencial	
Potenciales de superficie	1598.7 voltios
Potenciales de paso	360.99 voltios
Potenciales de contacto	913.659 voltios

Es importante realizar una comparación entre ambos resultados, es decir, entre el comportamiento de la malla actual en la subestación El Moral y la propuesta que plantea este estudio ante una falla.

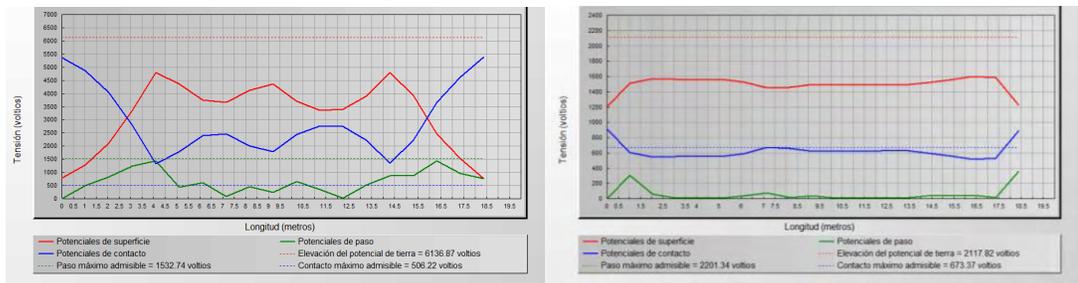


Gráfico 4.2 Diagrama de Perfil de la Malla actual y de la Malla mejorada

El grafico 4.2 muestra los diagramas de perfil de contacto de la malla de puesta a tierra que posee actualmente la subestación El Moral y de la malla propuesta para mejorar los perfiles de tensión respectivamente, se observa en ellas la reducción considerable en los potenciales de

contorno, especialmente en el de contacto. Además de ello, la curva en rojo representa el potencial de superficie, observándose como se reducen las grandes diferencias de potencial.

Tabla 4.19 Valores de Comparación de la Malla de Puesta a Tierra de la S/E El Moral

	Malla Existente		Propuesta de Malla	
	Valores máximos	Puntos máximos	Valores máximos	Puntos máximos
Tensión Máxima de Paso (V)	1532.74	1447.66	2201.34	360.99
Tensión Máxima de Contacto (V)	506.22	5383.63	673.37	913.659
Elevación de Potencial de Tierra (V)	6136.87	4796.72	2117.82	1598.7

En la tabla 4.19 se hace una comparación entre ambas mallas, observándose que al agregarse la capa superficial los valores máximos permisibles por el cuerpo humano aumentan un poco, en el caso de la Elevación de Potencial de Tierra disminuye con esta modificación, así mismo, es de notar como los puntos máximos disminuyen considerablemente; en el caso de la tensión de paso, el máximo punto presentado en la malla modificada está muy por debajo de lo permitido, el punto Máximo de la Tensión de Contacto sobrepasa muy poco el máximo permitido, caso contrario lo que ocurre con la malla existente que sobrepasa exageradamente la Tensión Máxima de Contacto permisible por el cuerpo humano. Finalmente, la elevación de voltaje estaría por debajo de la máxima que pueda presentar.

Es importante señalar que las tensiones de contacto presentan todavía un peligro para las personas con este nuevo modelado de la malla, a pesar de que bajo considerablemente. Sin embargo, esto se debe a las condiciones del terreno donde se encuentra instalada esta malla, ya que es un terreno sumamente seco, y según la estratificación del terreno calculada por el programa, se conoce que la primera capa del suelo tiene un espesor de 3.94 m, lo que implica que a pesar de que el nuevo modelado posee las varillas verticales de 2.4 m, estas no penetran a la capa de menor resistividad, por lo tanto, se propone otro modelo de malla que serviría para disminuir las tensiones de contacto.

Esta propuesta se basa en la misma configuración de la malla ya modelada, solo que agregando en las esquinas de la malla varillas de 10 m que puedan penetrar en la capa más profunda del terreno, a pesar de que estas varillas ya no son muy usadas, se podría considerar su instalación para disminuir los riesgos presentes.

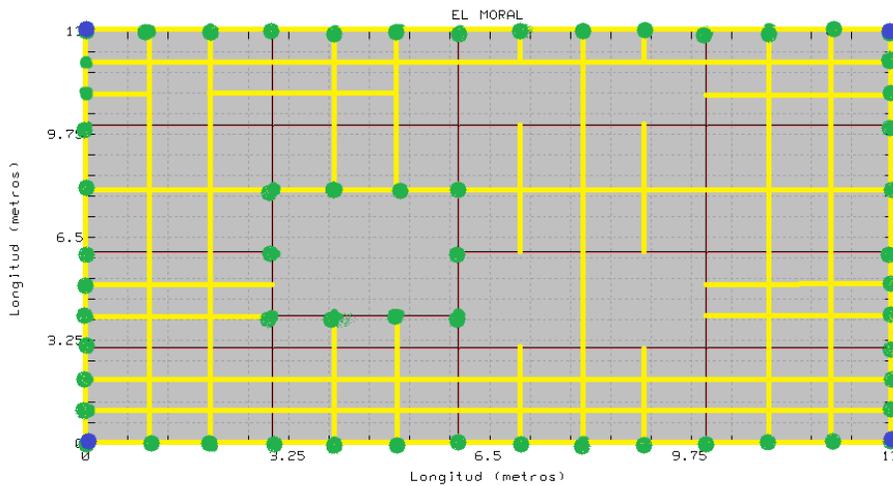


Figura 4.23 Segunda propuesta para mejorar la malla de tierra de la S/E El Moral

Observándose en la figura anterior, que los puntos azules ubicados a las esquinas de la subestación representan las varillas de 10 m. Una mejor visualización de ellos se muestra en la figura 4.24

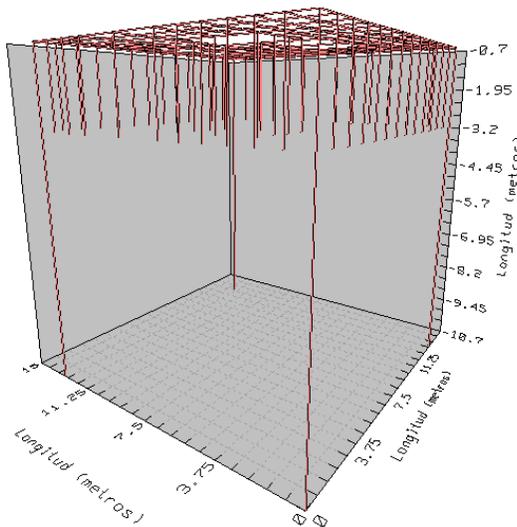


Figura 4.24 Vista en 3D de la segunda propuesta de la malla

Tabla 4.20 Reporte de análisis de la segunda propuesta de la malla de la S/E El Moral

Resultados	
Longitud total de los conductores primarios	300 metros
Longitud total de las varillas primarias	169.6 metros
Número total de elementos	204
Elevación del potencial de tierra	0.749586 voltios
Resistencia de tierra calculada	0.000497094 ohmios
Impedancia equivalente	0.000497094 ohmios

Al realizar el análisis de la malla se observa que los valores disminuyen considerablemente, puesto que las varillas cuando penetran a la capa más profunda producen una gran mejora en cuanto a las condiciones de la malla.

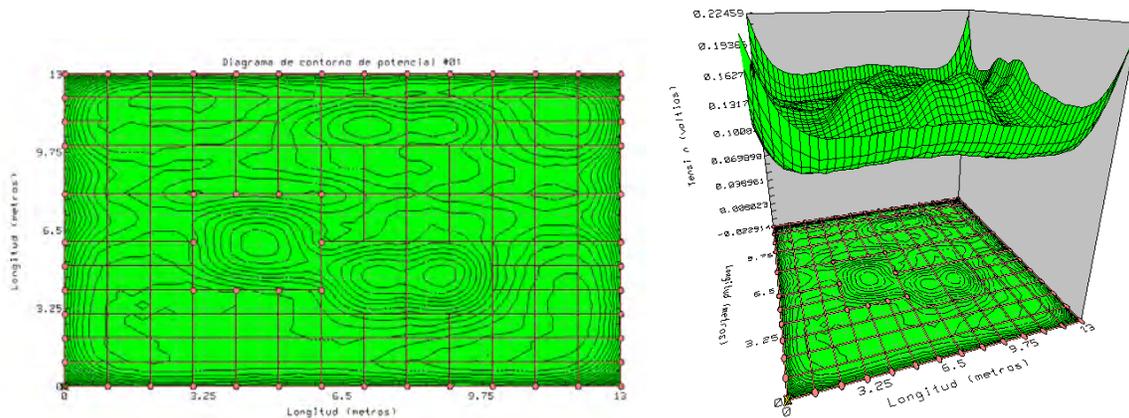


Figura 4.25 Diagrama de Potencial de Contacto en la segunda propuesta para la malla

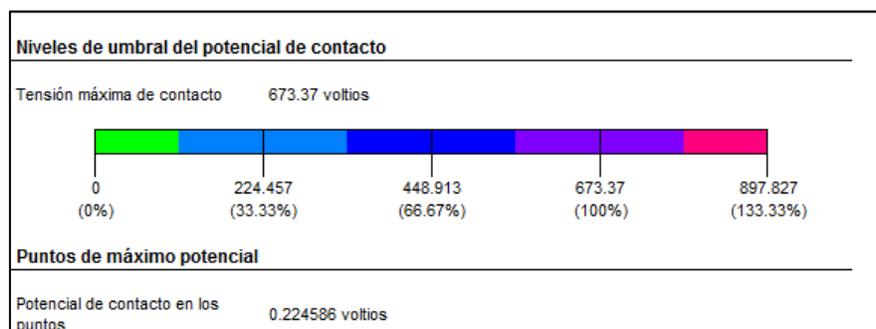


Figura 4.26 Niveles del potencial de contacto para la segunda propuesta de malla

Con el análisis del Diagrama de Potencial de Contacto se observa de las figuras 4.25 y 4.26 como baja considerablemente el punto máximo de este valor presentándose de 0.224586 V, siendo el máximo permisible de 673.3 V. Por tanto, no presentaría peligro alguno con la instalación de las varillas de 10 m. El diagrama de potencia de superficie no varía con este agregado, presentando la misma variación de potencial, pero presentando su elevación de potencial de tierra de 0.749586 V, siendo el potencial de superficie en el punto mínimo de 0.525V, como se muestra en la figura 4.26.

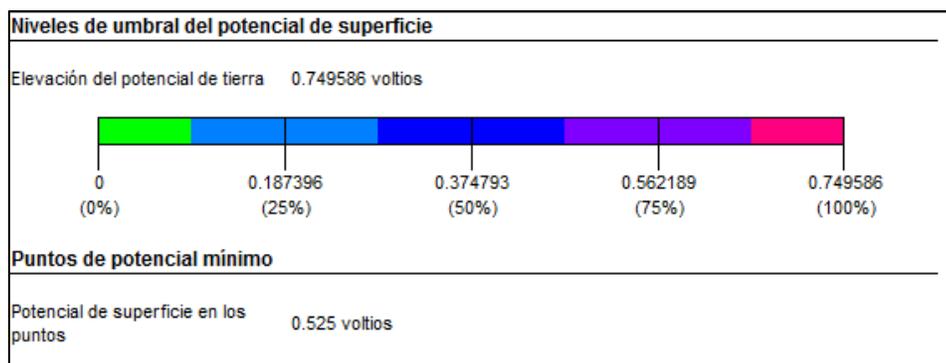


Figura 4.27 Niveles del potencial de superficie para la segunda propuesta de malla

El diagrama de perfil de potencial es difícil de distinguir, debido a los bajos valores que se presenta con este nuevo cambio. Sin embargo, la tabla 4.21, hace una comparación entre dichos valores.

Tabla 4.21 Reporte de Perfil de potencial de la segunda malla mejorada

Niveles de umbral del potencial de contacto	
Elevación del potencial de tierra	0.749586 voltios
Tensión máxima de paso	2201.34 voltios
Tensión máxima de contacto	673.37 voltios
Puntos de máximo potencial	
Potenciales de superficie	0.62 voltios
Potenciales de paso	0.09 voltios
Potenciales de contacto	0.219586 voltios

Finalmente, es importante señalar que la resistencia de puesta a tierra calculada por el programa con esta nueva modificación es de 0.000497094 ohmios, siendo mucho menor que 5 ohmios

Esta propuesta posee la fortaleza de mantener los niveles de tensión controlados, dando la oportunidad de reducir considerablemente las tensiones de contactos que aun para la propuesta anterior sobrepasaba su valor máximo permisible, sin embargo, tiene la debilidad de instalar varillas de 10m que actualmente no es común usarla para lograr que penetren a la capa más profunda del suelo y dando la amenaza que aun con dichas varillas las diferencias de potenciales dentro de la malla no disminuyen.

En conclusión, es importante implementar algunas de estas propuestas para prestar un servicio eléctrico continuo a los consumidores.

www.bdigital.ula.ve

CONCLUSIONES

Sin duda alguna, una de las creaciones que más han beneficiado al ser humano es la de los sistemas de potencia y es que gracias a ellos ciudades enteras han podido disfrutar de los servicios eléctricos. En la actualidad parece imposible una convivencia sin energía eléctrica, pues ésta se usa en todo lo que imaginamos, desde la iluminación de nuestros hogares, hasta las maquinarias utilizadas en todas las industrias. Por ello es importante mantenerlos en buen estado, por lo que se deben estar constantemente actualizando los planos de los circuitos de las líneas de distribución, ya que con ellos se conoce el estado real de los circuitos pudiendo dar respuesta y solución a fallas que se estén presentando en el sistema.

Con este estudio se pudo constatar de manera precisa el comportamiento actual de las redes de distribución de las subestaciones Ejido y El Moral, además de verificar si la subestación El Moral es capaz de respaldar los circuitos que posee interconectados con las subestaciones Ejido y Villa Libertad de forma permanente o en caso de emergencia.

La subestación El Moral actualmente no presenta ningún problema, siendo capaz de respaldar parte de los circuitos de las subestaciones Villa Libertad y Ejido en emergencia por separado. Sin embargo, debido al estado actual de la subestación Villa Libertad es necesario incorporar la carga del circuito D-105 “Villa Libertad” a la subestación El Moral de manera permanente. No obstante, si esto se aplica es indispensable aumentar la capacidad de dicha subestación, reemplazando su transformador por uno de mayor capacidad para poder realizar el respaldo en emergencia del circuito D-105 “Aguas Calientes” de la subestación Ejido.

De la subestación Ejido, el circuito D-105 “Aguas Calientes” se encuentra por encima de su máxima caída de tensión, además de que la máxima carga en los conductores que presenta esta próxima a llegar a su límite, por lo que es necesario pasar parte de esta carga a la subestación El Moral. Así mismo, el circuito D-205 “Centenario/El Morro” si sobrepasa considerablemente su valor permitido, siendo necesario la incorporación de un banco de regulación. Por último, el circuito D-505 “El Salado” se encuentra estable en operación normal, sin embargo, en

emergencia sobrepasa sus límites permitidos tanto en máxima caída de tensión, como en la máxima carga en los conductores.

Finalmente, la actualización de los planos permite también marcar con exactitud la ubicación de los seccionadores y cortacorrientes a lo largo de la troncal de cada circuito, además, la de los circuitos ramales que al tabularlos facilitan el manejo a los operadores e ingenieros ante cualquier eventualidad. Así mismo, estas tablas sirven para coordinar las protecciones de manera precisa, ubicando e instalando los fusibles correspondientes a cada circuito ramal según la carga conectada que posee, sin exceder su rango de protección puesto que si sucede solo serviría para propagar la falla, ya que se sabe que la finalidad de realizar la coordinación de protecciones consiste en afectar la menos cantidad posible de consumidores ante una falla en el sistema.

Por otro lado, es importante conocer cada parámetro perteneciente a una malla de puesta a tierra, ya que a partir de ellos el programa CYMGRD facilita sus cálculos, ayudando a encontrar el modelo preciso de dicha malla. La subestación El Moral actualmente posee un alto grado de peligrosidad para cualquier persona dentro o en las adyacencias de la subestación al momento de presentarse una falla, ya que no cuenta con la malla perimetral ni con la capa superior de ella. Por lo tanto, es necesario aplicar la propuesta presentada en este trabajo de grado en cuanto a dicha malla, la cual mejoraría considerablemente situaciones peligrosas dentro y fuera de ella.

RECOMENDACIONES

Luego de una larga permanencia en el departamento de la División de Control de Operaciones, se pudo constatar que cuenta con un personal altamente calificado, sin embargo, se encontraron múltiples deficiencias en cuanto a la dotación de equipos que son necesarios para el departamento. Aplicando una serie de recomendaciones podría facilitar el control y la operación de los sistemas por los operadores, ingenieros, técnicos y demás personal, además de brindar una mejor operatividad y servicio del sistema, para ello es importante que:

- Se cuente con los planos de las líneas de distribución constantemente actualizados, indicando para todos los circuitos la carga instalada, que puedan ser visualizados por los operadores para que ellos los mantengan monitoreados.
- Suministrar a todo el personal y en especial a los operadores de C.O.D, las tablas que muestran la ubicación, carga, calibre del conductor, coordenadas UTM, de cada elemento del sistema de distribución proporcionados por este trabajo de grado, además, elaborar dichas tablas de todos los circuitos con el fin de que puedan ubicar de manera exacta cualquier eventualidad que se presente en el sistema con mayor facilidad.
- Realizar mantenimiento preventivo a la mayor brevedad posible a aquellos tramos de líneas que poseen vegetación que puedan provocar interrupción al servicio, además, reemplazar fusibles, crucetas y aisladores que ya están en deterioro.
- Instalar los fusibles propuestos para cada circuito ramas del sistema con la finalidad de proveer un alto grado de confiabilidad del sistema, sin realizar el reemplazo o instalación de otros fuera de rango que no actúen inmediatamente, ocasionando que funcione el fusible de respaldo. Es importante garantizar la actuación de la protección principal.

- Aplicar algunas de las propuestas sugeridas para disminuir la caída de tensión presente en varios circuitos para brindar un buen suministro de energía.
- Contar con más equipos de GPS para realizar la actualización futura de los planos o implementar un sistema tecnológico que sirva para ello, ya que el existente se encuentra deteriorado.
- La subestación Ejido cuenta con dos transformadores con un factor de utilización al 30% de su capacidad, por tanto, se recomienda utilizar uno para distribuir la carga de todos los circuitos, y conservar el otro de reserva, ya que por la ubicación de la subestación se es imposible incorporar otro circuito.
- Manejar el programa CYMGRD para el modelado de futuras mallas de puesta a tierra o verificar el estado actual de las ya existentes, dado que este programa permite la visualización que resulta de los diagramas de potenciales de paso y contacto facilitando su análisis
- Aplicar la propuesta presentada para el modelado de la malla de puesta a tierra que permite disminuir considerablemente la tensión de contacto.
- Si se aumenta la capacidad de subestación El Moral es necesario reubicarla, por lo que es recomendable realizar el diseño de puesta a tierra con el fin de garantizar cumplimiento de todos sus parámetros.
- Debido al suelo tan seco en el que se encuentra la subestación El Moral, se recomienda realizar un tratamiento químico al terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RAMÍREZ CASTAÑO, S (s.f). *Protección de Sistemas de Eléctricos*. Manizales – Colombia.
- RAMÍREZ CASTAÑO, S (2009). *Redes de Distribución de Eléctricos*.
- DÁVILA, M. (2012). Curso de actualización en sistemas de potencia.
- YEBRA MORON, J. (2009). *Sistemas Eléctricos de Distribución*. REVERTÉ.
- M.C. OBED JIMÉNEZ, M.C. VICENTE CANTU, DR. ARTURO CONDE. (2006). *Líneas de Transmisión y Distribución*.
- GONZALES-LOANGTT FRANCISCO M. (2008). *Introducción a los Sistemas de Potencia*.
- JUÁREZ CERVANTES JOSÉ DOLORES. (1995). *Sistemas de distribución de Energía Eléctrica*.
- CYMGRD PARA WINDOWS. (2000). *Guía de Referencia y Manual del Usuario*.
- PADEE. (2012). *Programa de análisis de las Redes de Distribución de Energía Eléctrica*.
- IEEE STD 80- 2000. *IEEE Guide for Safety In AC Substation Grounding*
- MEJIAS VILLEGAS S.A. (s.f). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*
- ZERPA E. ELIS R. (2013). *Impacto en El Sistema de Transmisión a 115 kV debido Al Cambio de Los Transformadores de Potencia en La Subestación Mérida I*. Trabajo de Grado
- CARRILLO D. PEDRO E. (2017). *Estudio y Evaluación de la Malla de Puesta a Tierra Existente en La Subestación Mérida I 115/13.8 kV y Subestación Trolebús 115/13.8 kV*. Trabajo de Grado
- VALDERRAMA R, G. (s.f). *Protección y Coordinación de Sistemas Eléctricos de Distribución*.

www.bcdigital.ula.ve

ANEXOS

CRESTACION	CIRCUITO	DERIVACION	UBICACION	COORDENADAS UTM	TRAMO	CARGA PUNTO INSTALADOS	CARGA TOTAL INSTALADA (KW)	IPFIC (A)	ICC (A)	TIENE PROTECCION ACTUALMENTE	RANGO DE LA PROTECCION	PROFUNDIDAD DE FUSIBLE	
		81	HACIA RES. ALTO EJIDO CON CALLE URDANETA	253837,0	946042,0	20 -- 516	1 PTO. SECCIONAMIENTO	13.671,0	266,0	935,0	SI	S	S
		1	EJIDO, HACIA RES STA MORIZ	253633,0	946039,0	35 -- 40	1x50	50,0	1,0	2.554,0	SI	6K - 200K	6K
		2.0	HACIA EL CENTRO MEDICO SANTA TRINIDAD	253485,0	945844,0	44 -- 101	3x37,5+3x25+3x25+3x25+3x50+3x25	750,0	14,4	2.093,7	NO	30K - 200K	30K
		2.1	HACIA EL CENTRO MEDICO SANTA TRINIDAD	253531,0	945834,0	57	3x37,5	112,5	2,2	2.345,6	NO	6K - 200K	6K
		2.2	HACIA EL CENTRO MEDICO SANTA TRINIDAD	253534,0	945474,0	82	3x25	75,0	1,4	2.212,3	NO	6K - 200K	6K
		3.0	HACIA LAS ANTENAS, CALLE CEIBAL	252467,0	945853,0	46 -- 80	3x25+3x15+1x25+3x15	215,0	4,1	2.281,8	SI	10K - 200K	10K
		3.1	FRENTE A RES ROQUES	253453,0	945774,0	63 -- 72	1x25	25,0	0,5	2.280,8	SI	6K - 200K	6K
		4	ENTRADA AL PALMO, PASOS DELANTE DE LA CALLE CEIBAL	253429,0	945889,0	43 -- 61	3x25	75,0	1,4	2.247,8	SI	6K - 200K	6K
		5	EL PALMO, AV 1	253352,0	945940,0	53 -- 74	3x50	150,0	2,9	2.196,0	SI	8K - 200K	8K
		6.0	EL PALMO, AV 2 CON AV 5 DE JULIO, DIAGONAL A FESTIVOS MARCE	253312,0	945964,0	63 -- 101	3x50+3x25+1x15	285,0	5,3	2.098,3	SI	12K - 200K	12K
		6.1	EL PALMO, CALLE 2, HACIA EL GIMNASIO	253236,0	945887,0	100 -- 110	3x15	45,0	0,9	2.041,9	SI	6K - 200K	6K
		7	EL PALMO, HACIA DETIL CRAMA	253312,0	945964,0	67 -- 112	3x50+3x25+3x25+3x37,5	412,5	7,9	1.922,1	SI	20K - 200K	20K

		8	EL PALMO, AV 5, FRENTE A ABASTOS SOL Y MAR	253241,0	946042,0	86	1x50	50,0	1,0	2.150,4	NO	6K - 200K	6K
		82	EL PALMO, URB. CAMPO ELIAS	253095,0	945805,0	103 -- 516	2° PTO. SECCIONAMIENTO	11.314,0	228,8	935,0	SI	S	S
		9	EL PALMO, AV 5, FRENTE A ABASTOS SOL Y MAR	253241,0	946042,0	84	3x25	75,0	1,4	2.129,4	NO	6K - 200K	6K
		10.0	HACIA SAN BUENAVENTURA	253014,0	945887,0	113 -- 188	1x50+1x37,5+1x50+2x50+1x50	412,5	8,0	1.524,0	NO	20K - 200K	20K
		10.1	LA FLORIDA	253077,0	946193,0	123 -- 136	2x50	100,0	1,9	1.701,2	NO	6K - 200K	6K
		10.2	SAN BUENAVENTURA	253164,0	946262,0	153 -- 160	1x25	25,0	0,5	1.655,4	SI	6K - 200K	6K
		11	COMPLEJO EMPRESARIAL TITANIUM	252978,0	945872,0	120 - 125	3x50	150,0	2,9	1.862,8	SI	8K - 200K	8K
		12	CERCA AL COMPLEJO EMPRESARIAL TITANIUM, HACIA AGUAS CALIENTES	252978,0	945872,0	122	3x37,5	112,5	2,2	1.819,3	NO	6K - 200K	6K
		13	HACIA URB ASOPRIETO	252716,0	945961,0	141 - 172	3x50+3x50+3x50+3x50+3x50	800,0	17,4	1.611,3	SI	40K - 200K	40K
		14	URB. AGUA CLARA	252706,0	945945,0	143 - 154	3x50+3x50	300,0	5,8	1.666,3	SI	15K - 200K	15K
		83	PASOS ABAJO DEL CC AGUAS CALIENTE	252647,0	945915,0	150 -- 516	3° PTO. SECCIONAMIENTO	5.368,0	108,8	935,0	SI	S	S
		84	FRENTE AL CC AGUAS CALIENTE	252581,0	946024,0	165 -- 514	4° PTO. SECCIONAMIENTO	3.875,0	75,5	365,8	SI	140K - 200K	S

		15	CC AGUAS CALIENTES	252581,0	946024,0	174 - 198	3x100	300,0	5,8	1.690,9	SI	15K - 200K	15K
		16	URB. AGUA CLARA	252545,0	946050,0	182 - 192	3x50	150,0	2,9	1.585,9	SI	8K - 200K	8K
		17	PASOS ARRIBA DEL CC AGUAS CALIENTES	252545,0	946050	183 - 194	3x25	75,0	1,5	1.620,1	SI	6K - 200K	6K
		18	LA CAMPIÑA	252432,0	946150,0	213 -- 229	3x37,5	112,5	2,2	1.536,8	SI	6K - 200K	6K
		19.0	HACIA URB. SAN MIGUEL	252360,0	946215,0	230 -- 310	2x50+2x50	350,0	6,8	1.369,6	NO	15K - 200K	15K
		19.1	URB. SAN MIGUEL	252437,0	946266,0	245 - 256	2x50	100,0	1,9	1.476,5	NO	6K - 200K	6K
		19.2	URB. SAN MIGUEL	252490,0	946271,0	266 -- 275	1x50	50,0	1,0	1.457,3	NO	6K - 200K	6K
		20.0	HACIA AGUAS CALIENTES	252323,0	946278,0	240 - 430	1x37,5+1x25+1x50+1x50+1x50+1x25+1x50+1x50	762,5	14,9	301,3	NO	30K - 200K	30K
		20.1	SECTOR AGUAS CALIENTES	252299,0	946325,0	250 -- 283	2x50	100,0	1,9	1.440,0	SI	6K - 200K	6K
		20.2	SECTOR AGUAS CALIENTES	252277,0	946586,0	280 -- 290	1x25	25,0	0,5	1.288,4	NO	6K - 200K	6K
		20.3	AGUAS CALIENTES SECTOR SAN MARTIN	252007,0	946866,0	355 - 419	2x37,5+1x50+1x25	150,0	2,9	1.133,0	SI	8K - 200K	8K
		20.4	AGUAS CALIENTES SECTOR SAN MARTIN	251937,0	946876,0	391 - 402	1x37,5	37,5	0,7	1.172,6	SI	6K - 200K	6K

	D-101 "AGUAS CALIENTES"	20.5	AGUAS CALIENTES ALTO	251736,0	947210,0	445 -- 463	1x50	50,0	1,0	1.050,3	SI	6K - 200K	6K
		20.6	AGUAS CALIENTES ALTO	251623,0	947412,0	482 -- 497	1x37,5	37,5	0,7	999,2	SI	6K - 200K	6K
		20.7	AGUAS CALIENTES ALTO	251937,0	947434,0	490 -- 505	1x25	25,0	0,5	904,4	NO	6K - 200K	6K
		CC	CALLE 5, URB. CARLOS SANCHEZ	252323,0	946278,0	233 -- 514	CC EN TRONCAL	2.125,0	41,4	365,8	SI	80K - 200K	S
		21.0	URB. CARLOS SANCHEZ	252245,0	946329,0	253 -- 311	3x25+1x50+1x37,5+1x25+3x25	400,0	7,8	1.340,1	NO	20K - 200K	20K
		21.1	SAN MARTIN, CERCA DE LA U.E JUAN FELIZ SANCHEZ	252125,0	946515,0	303 -- 314	3x37,5	112,5	2,2	1.375,4	SI	6K - 200K	6K
		21.2	SAN MARTIN, U.E JUAN FELIZ SANCHEZ	252107,0	946517,0	312 -- 322	1x25	25,0	0,5	1.359,7	SI	6K - 200K	6K
		22	URB. CARLOS SANCHEZ CALLE 7	252295,0	946222,0	288 -- 296	3x37,5	112,5	2,2	1.380,0	NO	6K - 200K	6K
		23.0	URB. CARLOS SANCHEZ CALLE 8 Y HACIA CHAMICERO	252307,0	946175,0	297 -- 514	3x37,5+1x37,5+1x15+1x25+1x37,5+1x15+1x15	312,5	6,1	915,2	SI	15K - 200K	15K
		23.1	EL CHAMICERO	251958,0	946030,0	351 -- 362	1x25	25,0	0,5	1.242,0	NO	6K - 200K	6K
		23.2	EL CHAMICERO	251857,0	946010,0	387 -- 406	1x15	15,0	0,3	1.199,9	NO	6K - 200K	6K
		23.3	EL CHAMICERO	250837,0	946752,0	435	1x15	15,0	0,3	365,8	NO	6K - 200K	6K

24	URB. CARLOS SANCHEZ CALLE 3	252326,0	346138,0	306 -- 316	3x37,5	112,5	2,2	1.343,6	NO	6K - 200K	6K
25	URB. SAN RAFAEL	252143,0	345386,0	344	1x50	50,0	1,0	1.297,3	NO	6K - 200K	6K
26	URB. SAN RAFAEL	252143,0	345386,0	345	1x50	50,0	1,0	1.291,9	NO	6K - 200K	6K
27	URB. SAN RAFAEL	252161,0	345832,0	364	1x50	50,0	1,0	1.262,1	NO	6K - 200K	6K
28	URB. SAN RAFAEL	252161,0	345832,0	365	1x25	25,0	0,5	1.262,0	NO	6K - 200K	6K
29.0	HACIA BELLA VISTA	252708,0	345814,0	177 -- 228	3x37,5+3x37,5+3x37,5+1x50	545,0	10,6	1.488,1	SI	25K - 200K	25K
29.1	AMBULATORIO LOS CEDROS	252825,0	345641,0	212	3x15	45,0	0,3	1.540,0	NO	6K - 200K	6K
29.2	FRENTE A BELLA VISTA	252848,0	345585,0	219	3x37,5	112,5	2,2	1.495,9	NO	6K - 200K	6K
CC	CONJ. RES. AGUAS CALIENTES	252708,0	345814,0	176 -- 516	CC EN TRONCAL	4.785,5	94,0	935,0	SI	200K	S
30	A LA SALIDA DE URB. VILLA LARA	252554,0	345655,0	215 -- 232	3x15+3x37,5	151,5	3,1	1.520,5	NO	8K - 200K	8K
31	URB. VILLA LARA	252554,0	345655,0	217 -- 237	3x15+3x37,5	151,5	3,1	1.526,7	SI	8K - 200K	8K
32.0	CERCA DEL HOTEL SANBUENAVENTURA, HACIA EL MORAL	252439,0	345706,0	225 -- 285	INTERCONEXION CON EL MORAL	200,0	3,3	1.286,5	NO	10K - 200K	15K

32.1	MAS DEBAJO DE LA S/E EL MORAL	251946	345471	236	1x25	25,0	0,5	1.286,9	NO	6K - 200K	6K
32.2	RES. ALTAMIRA MAS DEBAJO DE LA S/E EL MORAL	251946	345471	234 -- 285	1x25+3x25+3x25	115,0	3,4	1.286,5	SI	10K - 200K	10K
33	ABAJO DEL HOTEL SAN BUENAVENTURA	252447,0	345481,0	241 -- 252	3x25	75,0	1,5	1.427,5	SI	6K - 200K	6K
CC	FRENTE A EZE LA PORTUGUESA	252447	345241	284 -- 516	CC EN TRONCAL	3.318,0	77,1	935,0	SI	140K - 200K	S
34.0	FRENTE A LA CRIVERA VIA LOS GUAMAROS	252428,0	345088,0	319 -- 372	3x25+1x37,5+3x25+1x25+1x50	1.625,0	31,3	1.193,6	SI	80K - 200K	80K(S)
34.1	HACIA GARZON	252702,0	344335,0	370 -- 382	1x1000	1.000,0	19,6	1.172,5	SI	50K - 200K	50K
34.2	URB. JARDIN DEL TRAPICHE	252687,0	345015,0	384	3x37,5	112,5	2,2	1.190,4	NO	6K - 200K	6K
34.3	ENTRADA A JARDIN DEL TRAPICHE	252687,0	345015,0	383 -- 334	3x50	150,0	2,9	1.201,7	SI	8K - 200K	6K
35	HACIA EDIF. CHAVEZ VIVE	252437,0	344829,0	334 -- 342	3x75	225,0	4,4	1.229,2	SI	12K - 200K	12K
36.0	SANTA EDUVIGUEZ	252313,0	344552,0	361 -- 466	1x10+3x25+1x37,5+3x37,5+1x15+3x37,5	475,0	9,4	1.007,1	SI	20K - 200K	20K
36.1	URB. STA EDUVIGUEZ	251721,0	344563,0	456 -- 434	1x25+1x25+1x25	75,0	1,5	342,1	SI	6K - 200K	6K
36.2	STA EDUVIGUEZ SECTOR EL RINCON DE MI ESPERANZA	251721,0	344563,0	457 -- 486	1x37,5	37,5	0,7	344,3	NO	6K - 200K	6K

37	RES. RIVERA DE LA MILAGROSA	251985,0	344273,0	420 -- 427	3x50	150,0	3,0	1.045,0	SI	8K - 200K	8K
38	HACIA TRAPICHE DEL DR. DINI	251900,0	344211,0	429	3x50	150,0	3,0	1.013,0	NO	8K - 200K	8K
39.0	HACIA RES. MARISELA PEÑA	251612,0	344151,0	446 -- 516	1x10+1x15+3x37,5	475,0	3,4	928,0	SI	20K - 200K	20K
39.1	RESIDENCIA MARISELA PEÑA CALLE 1	251462,0	343396,0	493 -- 503	3x37,5	112,5	2,2	943,1	SI	6K - 200K	6K
39.2	RESIDENCIA MARISELA PEÑA CALLE 2	251434,0	343366,0	501 -- 509	3x37,5	112,5	2,2	936,7	SI	6K - 200K	6K
39.3	RESIDENCIA MARISELA PEÑA CALLE 3	251504,0	343339,0	506 -- 512	3x37,5	112,5	2,2	931,6	SI	6K - 200K	6K

Anexo 1. Coordinación de protecciones del circuito Aguas Calientes de la S/E Ejido