

DISEÑO DE CIRCUITO DE MEDIA TENSIÓN PARA ALIMENTAR EL
CORREGIMIENTO DE SAN JOSÉ DE ORIENTE (CESAR)

MICHELL JOSEP QUINTERO DURAN

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA

2013

DISEÑO DE CIRCUITO DE MEDIA TENSIÓN PARA ALIMENTAR EL
CORREGIMIENTO DE SAN JOSÉ DE ORIENTE (CESAR)

MICHELL JOSEP QUINTERO DURAN

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Eléctrico

Tutor del proyecto:

ING. JORGE IVAN SILVA ORTEGA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, Marzo de 2013

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por todos los dones y talentos que me ha otorgado, su protección y cuidado para poder concluir las metas que tiene para mí.

A mis padres Noé Quintero Quintero y Ledys Durán Quintero por su colaboración y disponibilidad en todo momento, el apoyo y comprensión para llevar a cabo las labores para finalizar esta etapa de mi vida como estudiante.

A mis hermanos Cristian Andrés Quintero Durán y Noé David Quintero Durán por su apoyo y comprensión en los momentos difíciles que debí enfrentar en la elaboración del presente proyecto.

A mis amigos y hermanos en la fe por acompañarme en el crecimiento como persona y como profesional.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y permitirme un incremento intelectual en mi vida.

MICHELL JOSEP QUINTERO DURÁN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor Ing. Jorge Iván Silva Ortega quien estuvo dispuesto a impartir sus conocimientos y ayudas necesarias para poder implementarlos en la elaboración del proyecto final.

Al cuerpo de docentes de la Universidad De La Costa quienes hicieron posible la obtención de los conocimientos que hoy hacen de mi un profesional con ética y personalidad al enfrentar las circunstancias de la vida.

A la Universidad De La Costa por permitirme utilizar su base de datos bibliográficos para apoyar y sustentar los conceptos referidos en el trabajo final.

Al corregimiento de San José De Oriente por permitirme realizar una visita y verificar el estado de sus instalaciones eléctricas.

Al operador de red Electricaribe S.A. por la información brindada para la realización del proyecto.

RESUMEN

La distribución de la energía eléctrica es de vital importancia en el proceso que va desde la generación hasta la comercialización de la misma. Es en ella donde se transforma el nivel de tensión de media a baja tensión, es decir, es el escalafón que permite la utilización final de la energía por parte de los usuarios. El diseño de un circuito de media tensión se realiza para mejorar el sistema de distribución de energía o para abarcar terrenos no energizados hasta el momento. El presente trabajo de grado ofrece un diseño detallado de un circuito de media tensión para el corregimiento de San José de Oriente ubicado al norte del departamento de Cesar que ha tenido constantemente inconvenientes con la calidad del servicio de energía eléctrica debido a fluctuaciones de tensión que se generan por los largos recorridos que debe realizar el circuito que actualmente energiza toda la región. Dicho diseño se basa en la normativa vigente NTC 2050 y RETIE para construcción de líneas aéreas de distribución.

ABSTRACT

The distribution of electricity is vital in the process from the generation to commercialization of the same. That is where it becomes the voltage level from medium to low voltage, it means, allowing the transformation of energy to the last use by users. The design of a medium-voltage circuit is performed to improve the power distribution system or to encompass lands not energized nowadays. This work provides a detailed design level of a medium voltage circuit to the village of San Jose de Oriente located in the north of the department of Cesar which has consistently had problems with the quality of electricity service due to voltage fluctuations generated by the long distances required by the circuit that energizes the whole region now. This design is based on current legislation NTC 2050 and RETIE for constructions of overhead distribution lines.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO REFERENCIAL	19
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	19
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.4. MARCO TEÓRICO	22
1.4.1. Estructuras de soporte	24
1.4.2. Conductores.....	27
1.4.3. Aisladores	30
1.4.4. Elementos de protección.....	31
1.4.5. Herrajes.....	32
1.4.6. Crucetas.....	32
1.4.7. Parámetros eléctricos.....	33
1.4.8. Otros factores.....	39
1.5. MARCO CONCEPTUAL.....	40
1.6. MARCO CONTEXTUAL	41
1.6.1. Descripción y ubicación.....	41
1.6.2. Breve reseña histórica.....	42
1.7. MARCO LEGAL.....	42
2. DISEÑO METODOLÓGICO	47
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
2.2. POBLACIÓN UNIVERSO	47
2.3. MUESTRA	48
2.4. ETAPAS DEL PROYECTO.....	48
2.4.1. Etapa 1. Obtención de los datos de carga instalada en San José de Oriente 48	

2.4.2.	Etapa 2. Consulta bibliográfica.....	49
2.4.3.	Etapa 3. Visita al corregimiento San José de Oriente	49
2.4.4.	Etapa 4. Cálculos	50
2.4.5.	Etapa 5. Análisis de resultados	50
2.4.6.	Etapa 6. Realización del documento final	50
2.5.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	50
2.6.	ESTADO ACTUAL DE LAS REDES DE MEDIA TENSIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA ELÉCTRICA A SAN JOSÉ DE ORIENTE	51
2.7.	USO DEL PROGRAMA NEPLAN PARA LA SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.....	53
2.7.1.	INTERFAZ DEL USUARIO	53
2.7.2.	INSERCIÓN DE SÍMBOLOS Y DATOS	54
2.7.3.	EVALUACIÓN DE CIRCUITOS.....	55
2.7.4.	ENCABEZADOS Y TEXTOS	55
2.7.5.	CREAR, ABRIR, GUARDAR E IMPRIMIR PROYECTOS.....	56
3.	RESULTADOS.....	57
3.1.	CONDUCTOR	57
3.2.	ESTRUCTURAS DE SOPORTE	60
3.3.	AISLADORES.....	63
3.4.	CRUCETAS	64
3.5.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	65
3.6.	HERRAJES.....	66
3.7.	VALOR DE INVERSIÓN	67
3.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	68
3.9.	SIMULACIÓN	70
4.	PRESUPUESTO	71
5.	CRONOGRAMA.....	72
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
7.	BIBLIOGRAFÍA	75
	ÍNDICE.....	77
	ANEXOS.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Postes de madera	25
Tabla 2. Postes de hormigón	25
Tabla 3. Postes de acero galvanizado	25
Tabla 4. Porcentaje de conductividad, resistividad y constante de temperatura de conductores	35
Tabla 5. Transformadores instalados en San José de Oriente	49
Tabla 6. Potencia instalada en San José de Oriente	57
Tabla 7. Parámetros del conductor	59
Tabla 8. Variación de tensión del circuito diseñado	59
Tabla 9. Variación de la potencia del circuito diseñado	60
Tabla 10. Potencia total a entregar en la subestación	60
Tabla 11. Selección de estructura y distancia horizontal entre conductores.....	62
Tabla 12. Tipos de estructura según el ángulo formado entre los conductores	63
Tabla 13. Cantidad de aisladores para el circuito diseñado.....	64
Tabla 14. Cantidad de herrajes para el circuito diseñado	67
Tabla 15. Valor de inversión total del proyecto	69
Tabla 16. Presupuesto de diseño	71
Tabla 17. Cronograma de actividades	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Poste de madera	26
Figura 2. Poste de concreto	27
Figura 3. Poste de acero	27
Figura 4. Tipos de aisladores.....	31
Figura 5. Elementos de protección	32
Figura 6. Parámetros eléctricos de una línea de distribución	38
Figura 7. Vista panorámica de San José de Oriente.....	41
Figura 8. Vista google maps de San José de Oriente.....	42
Figura 9. Estado actual de las redes del circuito Manaure - Cesar.....	52
Figura 10. Distribución del circuito de media tensión en San José de Oriente	52
Figura 11. Interfaz del usuario	54
Figura 12. Circuito Manaure - Cesar.....	61

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	33
Ecuación 2	33
Ecuación 3	34
Ecuación 4	35
Ecuación 5	36
Ecuación 6	36
Ecuación 7	37
Ecuación 8	37
Ecuación 9	38
Ecuación 10	48

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de conductores cobre desnudo.....	80
Anexo 2. Tabla de conductores de aluminio ACSR	81
Anexo 3. Tabla de conductores de aluminio AAC.....	83
Anexo 4. Tabla de conductores de aluminio AAAC	85
Anexo 5. Tabla de conductores de aluminio ACAR	86
Anexo 6. Tabla de conductores de aluminio ACSR/AW	87
Anexo 7. Distancia horizontal entre conductores soportados en la misma estructura de apoyo	89
Anexo 8. Distancia vertical mínima en metros entre conductores sobre la misma estructura.....	90
Anexo 9. Carta de entrega y autorización del autor para la consulta, reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado.....	91
Anexo 10. Formulario de la descripción de la tesis de grado.....	93
Anexo 11. Material anexo	94

GLOSARIO

ALAMBRE: Cualquier tipo de hilo obtenido a partir del estiramiento de los diferentes metales por la propiedad de ductilidad que poseen los mismos.

CABLE: Conductor compuesto por varios hilos trenzados.

CARGA INSTALADA: Capacidad de potencia eléctrica instalada en un sector específico.

CIRCUITO ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN: Conjunto de elementos cuyo objetivo es distribuir la energía eléctrica de una subestación eléctrica a los puntos de transformación locales.

CONDUCTOR: Material que ofrece poca resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de él.

CORREGIMIENTO: División territorial o población dirigida por un corregidor o un representante que puede ser un municipio, ciudad o distrito.

CORRIENTE: Flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material.

DISEÑO: Proceso previo de configuración mental, “pre-figuración”, en la búsqueda de una solución en cualquier campo.

ENTIDAD GUBERNAMENTAL: Grupo de personas jurídicas cuyo fin es la administración pública del Estado y su territorio.

ESTRUCTURA: conjunto de materiales estandarizados usados para soportar una red eléctrica.

NO CONFORMIDAD: Incumplimiento de la norma.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

OPERADOR DE RED: Organización encargada de distribuir y comercializar la energía eléctrica.

POTENCIA ACTIVA: Potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo.

POTENCIA APARENTE: Suma vectorial de la potencia real (activa) y la potencia de formación de campo magnético (reactiva).

POTENCIA REACTIVA: Potencia requerida para generar campos magnéticos.

RED: Interconexión eléctrica con el fin de suministrar energía eléctrica a los consumidores.

REGULACIÓN DE TENSIÓN: Porcentaje máximo permitido de caída de tensión en un circuito eléctrico.

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL: Conjunto de redes de alta tensión cuyo objetivo es transmitir la energía eléctrica desde los generadores hasta las subestaciones de distribución.

SUMINISTRO: Energía entregada por el comercializador al consumidor.

TENSIÓN: Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

INTRODUCCIÓN

El diseño de circuitos de media tensión es utilizado para proveer el suministro eléctrico a un grupo poblacional que requiere del mismo. En muchas ocasiones se llevan a cabo para iniciar por vez primera el proceso de distribución y comercialización en una población, bien sea barrio, corregimiento, municipio, ciudad y/o región.

En el caso mencionado anteriormente se hace necesario un estudio intenso de la carga que debe alimentar el proyecto a emprender; esto se hace obligatorio para adquirir datos reales y precisos al calcular el tipo de conductor a utilizar, y por supuesto la potencia de los transformadores de distribución.

Por otro lado se puede contar con un proyecto de mejora del sector debido a no conformidades por parte del usuario o sencillamente para ampliar la capacidad del sistema eléctrico.

Las grandes firmas encargadas de generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica han percibido una oportunidad de mejora al notar que la tensión utilizada para transmitir o distribuir no se mantiene constante cuando se debe transcurrir una distancia considerable.

Teniendo en cuenta lo anterior se han planteado algunas posibles soluciones para garantizar que la tensión en un punto B sea lo más cercana posible a un punto A de donde se inicia el recorrido de transmisión y/o distribución.

Antes de analizar los métodos de control en cuanto a la caída de tensión, se hace importante llamar la atención a los valores tolerables con los que no afectamos de manera considerable los elementos de transmisión. Dichos valores se encuentran en el rango de +/- 7,5% para la fase de transmisión debido a que no existen muchos elementos interconectados que cumplan funciones de reducción, tales como los transformadores de potencia. Para el caso de la distribución no debe sobrepasarse el 3% del valor inicial, cabe resaltar que es permitido una regulación hasta del 5% para los casos más complejos, en este caso lo asociamos al proyecto, ya que se trata de un sistema de distribución en áreas rurales.

Como se mencionaba anteriormente, existen métodos para regular la tensión y garantizar una proximidad al valor inicial:

1. Conexión de potencia reactiva
2. Modificación de la reactancia

3. Regulación de voltaje adicional (variación de taps)

En Colombia se realizan estudios anuales para evaluar el plan de extensión y mejora de la calidad del servicio entregado al usuario final, tal entidad es conocida como UPME (Unidad de Planeación Minero Energética).

Los recursos existentes en la nación se distribuyen de la manera más adecuada para brindar un óptimo rendimiento al mercado energético nacional e incluso internacional con los proyectos de ventas de energía a países en Centro América y Ecuador.

La distribución nacional abarca grandes inversiones que expanden continuamente el mercado hacia zonas en las cuales en periodos anteriores no existía la disponibilidad de fluido eléctrico entregado por el Sistema de Interconexión Nacional. Hoy se espera el cubrimiento de una mayor demanda energética debida a la tasa de crecimiento existente en la nación.

Otras entidades que pueden verse interesadas en un proyecto como el propuesto en este informe son las alcaldías municipales y los operadores de red para responder ante la incesante queja de la comunidad que se beneficia directamente de la distribución de la energía, es decir, si existen inconvenientes tales como fluctuaciones de tensión, lo más conveniente es dar solución inmediata para remediar los problemas enraizados por dicha causa. Con tal solución se logra un avance tecnológico y por supuesto una mejora en el servicio brindado a los usuarios finales.

Ahora bien si se le da un vistazo al departamento del Cesar, se debe hacer mención del operador de red local Electricaribe cuyo propósito es abastecer de energía eléctrica a todo ciudadano, empresa o entidad que requiera de este servicio. La regulación juega aquí un gran papel muy importante, y de verás que se han tomado cartas en el asunto realizando una programación exhaustiva para realizar balanceo de circuitos, estudios de demanda energética, mantenimiento preventivo y correctivo cuando se amerita, con el único propósito de mantener un estándar de calidad tan alto como sea posible.

En esto se puede inferir que los recursos se están invirtiendo en los asuntos realmente necesarios para encaminarse a la meta, la cual es disminuir las interrupciones del servicio y las fluctuaciones que el mismo pueda tener inmiscuidas.

Mientras esto sucede en el marco empresarial, también se pueden observar los avances en materia de investigación aportados por la Universidad de la Costa. Los recursos bibliográficos suministran información en su gran mayoría enfatizados al uso racional de la energía y en fuentes renovables de energía.

Se identificó un proyecto de grado, en donde se presenta una propuesta de diseño para electrificar una vereda en el municipio de Pivijay Magdalena (“Proyecto de electrificación rural y vereda Bella Ena, Pivijay Magdalena.”), en dicho proyecto se plantean las cantidades de material, los costos y los cálculos necesarios para poder llevar a cabo la electrificación de la vereda en mención a partir de técnicas de generación rural de energía. Otro documento fue hallado en donde se plantea la normalización de redes para lograr así una estabilidad y mejora del servicio para los usuarios finales. Este proyecto de grado fue desarrollado en el año 2012.

Analizando el material hallado se puede afirmar que este proyecto es pionero en el diseño de un circuito de media tensión, brindando así la posibilidad de que la Universidad de la Costa (CUC) amplíe sus investigaciones en el campo de Sistemas de Potencia.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El corregimiento San José de Oriente se encuentra ubicado en el Nororiente del departamento del Cesar con una población aproximada de 3745 habitantes. Se encuentra en un pequeño valle entre las montañas de la cordillera oriental de los Andes, cuya zona se caracteriza por la alta actividad agrícola.

En dicho corregimiento se presenta un inconveniente bastante notorio: fluctuaciones de tensión reiterativas. Este inconveniente se ha presentado durante varios años causando la quema de muchos electrodomésticos y por supuesto ocasionando un corte provisional en el suministro eléctrico de los usuarios finales.

Cabe sumar a la problemática una discordia territorial entre dos municipios: La Paz y Manaure, ambos pertenecen al departamento del Cesar. Mientras el primero posee la custodia del corregimiento de San José de Oriente, el segundo la desea, por ende presenta situaciones que perjudican a los usuarios de San José. Lo anterior se ratifica cada vez que habitantes del municipio de Manaure (municipio anterior en el recorrido del circuito eléctrico que alimenta a San José de Oriente) deciden mejorar el servicio eléctrico para ellos optan por causar una interrupción en el fluido eléctrico que se dirige a San José de Oriente. Esto es realizado con la apertura de los elementos de corte (fusibles) que derivan el circuito hacia San José de Oriente dejando sin energía a los habitantes inconformes.

Además a esto el estado deteriorado de las redes eléctricas de media tensión producen fluctuaciones constantes que impiden una eficiencia necesaria para que los electrodomésticos funcionen de la manera adecuada.

Por último, el circuito alimentador llamado por el operador de red (en este caso Electricaribe) Manaure-Cesar está distribuido de manera radial, alimentando así algunos municipios y cierto número de veredas; con lo cual se observan sobrecargas en las redes impidiendo así la óptima distribución de la energía.

Desde el momento de la electrificación se ha mantenido muy similar el esquema de alimentación sin casi modificación alguna. Sin embargo, los habitantes se quejan de haber solicitado desde hace más de diez años la independización del suministro eléctrico para evitar seguir con los inconvenientes presentados hasta el momento. A pesar de ello, jamás se ha recibido una respuesta positiva por parte del operador de red ni por los entes gubernamentales. Por lo tanto se debe resaltar que este

trabajo de grado es pionero en el diseño de dicho circuito con el fin de independizar el suministro de dicho corregimiento.

Con base a la anterior problemática presentada se plantean los siguientes interrogantes:

- ¿Cómo se puede mejorar la operación del circuito de San José de Oriente para garantizar el suministro de energía por parte del operador de red focalizado en aumentar la confiabilidad, seguridad y flexibilidad?
- ¿Se considera viable la implementación de la construcción de un nuevo circuito para optimizar los procesos de transformación y distribución de la energía?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de grado nace de la necesidad de una mejora continua en el proceso de distribución de la energía eléctrica y la buena implementación de los costos a invertir. Lo anterior influye desde la etapa de estudio hasta la etapa de realización como la determinación de la viabilidad del proyecto. La presente propuesta se realiza por la necesidad expresada de un grupo social que requiere una mejora inmediata del sistema para evitar así mayores accidentes de los ya vistos hasta el momento.

Es necesario ante cualquier crisis social afrontar una solución pertinente para garantizar una conformidad de las partes inherentes, y en la rama de la Ingeniería Eléctrica se enfoca de manera contundente el diseño y la planificación de proyectos contundentes que conlleven a un mejor desempeño en el área que corresponda, para el caso se tratará de la distribución de la energía.

“Los ingenieros electricista se ocupan de cada paso del proceso de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica” [1]. Lo cual permite abordar un amplio campo de profesionalización y desempeño. Así el diseño de circuitos para distribución cabe perfectamente en la labor profesional.

Para solucionar los inconvenientes mencionados anteriormente se planteó el diseño alterno que deriva directamente de la subestación más cercana a San José de Oriente, la cual dista a 17 kilómetros de distancia que se encuentra en el municipio La Paz, Cesar. Se optó por esta vía de solución a pesar de las otras posibles soluciones.

Entre las soluciones contempladas se pueden mencionar las siguientes:

- Concientización al municipio anterior a San José de Oriente en el recorrido realizado por el circuito que alimenta al corregimiento, el pueblo en cuestión es Manaure-Cesar. Con esta solución se podría prevenir la interrupción del fluido eléctrico del corregimiento de San José de Oriente por parte de la comunidad de Manaure.
- Aumento de potencia de la subestación que alimenta el circuito de media tensión que abastece al corregimiento de San José de Oriente. Con esta solución se debería pensar en la adquisición de un nuevo transformador de potencia para poder ampliar la capacidad de entrega.
- Diseño de un nuevo circuito de media tensión que alimente el corregimiento de San José de Oriente y que a su vez se interconecte con el circuito existente.

A partir de las posibles alternativas de solución se nota claramente que la tercera opción es la óptima para solucionar el inconveniente presentado hasta la fecha. Se debe recordar que el problema no es únicamente social o por la custodia de un corregimiento, por el contrario, se debe sumar a la causa las fluctuaciones de tensión que causan el deterioro de los elementos eléctricos, electromecánicos y electrónicos.

La interconexión planteada entre el circuito existente y el circuito propuesto permitirá una tolerancia en el sistema eléctrico, es decir, si en un intervalo de tiempo existe una interrupción por mantenimiento o por algún incidente el otro circuito estará en disposición para entregar la energía a la población afectada por un lapso limitado de tiempo mientras se realizan las acciones de mantenimiento programadas o imprevistas. Dicha interconexión entregará una mayor confiabilidad, seguridad y flexibilidad en las redes de distribución eléctrica.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un circuito de media tensión para suministrar energía eléctrica al corregimiento de San José de Oriente (Cesar) desde la subestación más cercana.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la demanda de energía del municipio.
- Realizar el flujo de carga que interconectará el municipio mediante el software NEPLAN.
- Diseñar el circuito de media tensión de acuerdo a los parámetros establecidos por la normativa vigente.

1.4. MARCO TEÓRICO

El trabajo de grado abordado se ha enfocado en el diseño de redes de media tensión para suministro eléctrico de una población específica. Para ser desarrollado se requieren conocimientos en áreas relacionadas a sistemas de potencia y redes eléctricas de media tensión para poder establecer si lo propuesto se encamina dentro del margen permitido por entes legales y reconocer si el diseño es seguro, viable, confiable y flexible.

Las redes de distribución cumplen una función vital en el sistema de interconexión nacional (SIN) debido a que permiten llevar la energía eléctrica desde una subestación eléctrica hasta los puntos de transformación finales en donde se reducirá el nivel de tensión para poder entregarla a un nivel apropiado para los usuarios finales.

Dichas redes se encuentran clasificadas bajo estándares internacionales y nacionales dentro de especificaciones de tensión. Pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a. Extra alta tensión (EAT): Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
- b. Alta tensión (AT): Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
- c. Media tensión (MT): Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
- d. Baja tensión (BT): Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
- e. Muy baja tensión (MBT): Tensiones menores de 25 V. [2]

Para el caso de la distribución urbana o rural suele utilizarse la media tensión en valores tales como 7,6 kV; 13,2 kV; 13,8 kV; 34,5 kV y 44 kV. Dichos valores son los establecidos por el operador de red vigente en la zona, a saber Electricaribe.

En este punto se pueden mencionar algunos elementos que hacen parte de la distribución de energía:

- a. Subestaciones de distribución, que deben cumplir los requisitos que le apliquen, del Capítulo V del presente Reglamento.
- b. Circuitos primarios o “alimentadores”, que suelen operar en el rango de 7,6 kV a 44 kV y que alimentan a la carga en una zona geográfica bien definida.
- c. Transformadores de distribución, en las capacidades nominales superiores a 3 kVA los cuales pueden instalarse en postes, sobre emplazamientos a nivel del suelo o en bóvedas, en la cercanía de los consumidores y que llevan la media tensión hasta el consumidor.
- d. Celdas de maniobra, medida y protección para los transformadores de distribución secundaria en el caso de subestaciones de potencia.
- e. Circuitos de baja tensión, que llevan la energía desde el transformador de distribución, a lo largo de las vías, espacios públicos o terrenos de particulares.
- f. Ramales de acometida que entregan la energía al equipo de entrada de servicio del usuario. [2]

Los elementos mencionados anteriormente hacen parte crucial del proceso pues cada uno posee una función específica para poder completar la distribución.

Desde el interruptor de salida en la subestación hasta el usuario final debe existir un diseño estipulado que permita mantener una regulación apropiada no mayor al 5% para casos rurales como el tratado en este proyecto. Para tal diseño debe tenerse en cuenta muchos factores que influyen en la materialización del mismo, elementos mecánicos, eléctricos y electromagnéticos. Ya que juntos pueden presentar una eficiencia adecuada.

Los elementos utilizados para la construcción de circuitos de media tensión van desde la selección de las estructuras metálicas hasta los conductores. Para el objeto de este proyecto se tendrá en cuenta los siguientes elementos: estructuras de soporte (apoyos o postes), conductores, aislamiento, elementos de protección (fusibles e interruptores), y herrajes.

Se abordarán uno a uno los componentes que integran una red de distribución de media tensión.

1.4.1. Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte o de apoyo son la base mecánica de la red. Estas pueden ser retículas auto soportadas para los casos de alta tensión, acero tubular, hierro, madera, concreto o incluso acrílicos. Para la selección del material se debe realizar un estudio del terreno, el derecho de paso

(DDP) permitido, el impacto visual y ambiental. A través del tiempo se ha notado un creciente rechazo por la invasión de terrenos privados, por lo que los propietarios de los terrenos por donde deben instalarse las estructuras solicitan un tipo en particular para evitar un gran impacto visual y según sus propias palabras “prevención de riesgo por electrocución” vociferadas en entrevistas personales con los mismos. Esto contribuye una presión al grupo de diseño pues se enfrentan a un obstáculo presente y que debe ser solucionado de la mejor manera posible; es por ello que entra en juego la creatividad para responder a las necesidades básicas del proyecto.

En el ámbito de normativa y cálculos se debe prever que existen límites de torsión mecánicas que no pueden excederse, y es por ello que el RETIE enuncia en su literal 32.1 lo siguiente:

“Los postes, torres o torrecillas usados como soportes de redes de distribución deberán tener una tensión de rotura de al menos 2,5 veces la suma de las tensiones mecánicas resultantes de la interacción de los diferentes esfuerzos a que esté sometida la estructura, para lo cual se debe tener en cuenta los esfuerzos de los cables de la red eléctrica y los demás cables y elementos que actúen sobre la estructura” [2]

Teniendo en cuenta el calibre del conductor y los elementos mecánicos que debe soportar la estructura, más las tensiones por ángulos formados en el terreno se puede obtener un resultado favorable y aprovechar al máximo el diseño establecido en un número de años en servicio considerable.

Tabla 1. Postes de madera

Altura total (m)	Altura libre (m)	Empotramiento (m)	Resistencia (kg)
10	8,40	1,60	500
10	8,40	1,60	650
10	8,40	1,60	800
12	10,20	1,80	500
12	10,20	1,80	650
12	10,20	1,80	800

Fuente. [3]

Los tipos de postes más comunes para una distribución rural son los de concreto, madera y acero. En las tablas 1, 2 y 3 se aprecian los valores de altura y resistencia mecánica estandarizados.

Tabla 2. Postes de hormigón

Altura total (m)	Altura libre (m)	Empotramiento (m)	Resistencia (kg)
10	9,00	1,00	150
10	9,00	1,00	300
10	9,00	1,00	600
10	9,00	1,00	1000
12	10,80	1,20	300
12	10,80	1,20	600
12	10,80	1,20	1000

Fuente. [3]

Tabla 3. Postes de acero galvanizado

Altura total (m)	Altura libre (m)	Empotramiento (m)	Resistencia (kg)
6,50	5,30	1,20	300
8,00	6,50	1,50	500
10,60	8,90	1,70	500
12,00	10,20	1,80	750
13,50	11,50	2,00	1000
15,00	12,80	2,20	1000

Fuente. [4]

Las estructuras diseñadas en madera pueden ser encoladas para prevenir el deterioro por hongos o por aves. Son oportunas para ambientes en los cuales se prefiera un estilo campero o sencillamente por indisposición de propietarios de

terrenos. Tienden a ser pesadas y puede ser necesaria la contratación de grúas adicionales para la instalación en terreno de las mismas, además puede requerir un aumento en costos de mantenimiento para evitar deterioros prematuros.

El hormigón o concreto brinda resistencia al deterioro en zonas pantanosas o de alto índice de salinidad permitiendo una larga duración y bajos costos en cuanto a mantenimiento, pues en muchos casos suele permanecer instalada una estructura por casi 30 años o más sin mantenimiento alguno y solo requerirlo cuando sea necesario el cambio por una estructura totalmente nueva. La adquisición es más económica que las estructuras de madera y la instalación puede ser similar por el peso del concreto.

Por otro lado se aprecia un material muy utilizado por los operadores de red para alumbrado público, sin embargo, suele implementarse en instalaciones que requieran un alto par de torsión tales como transformadores de distribución de 100 kVA o más de un transformador instalado en la estructura; dicho material es el acero tubular galvanizado. Permite dar un acabado libre de corrosión siempre que exista el tiempo suficiente para secarse totalmente luego de una lluvia o humedad presente. Lo anterior se confirma con una capa que desarrolla de óxido que impide el ingreso indeseado de corrosión. Por ser un material metálico es preferible realizar un sistema de puesta a tierra poste a poste cuando se requiera.

En las figuras 1, 2 y 3 puede observarse un ejemplar de cada tipo de estructura o poste mencionado anteriormente.



Figura 1. Poste de madera

Fuente. [5]

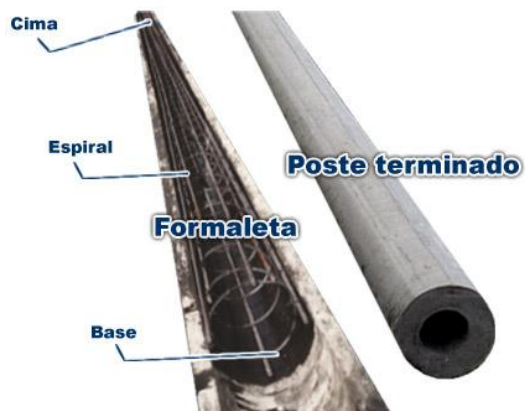


Figura 2. Poste de concreto

Fuente. [6]



Figura 3. Poste de acero

Fuente. [7]

1.4.2. Conductores

El medio físico por el cual se distribuye la energía lleva crucial importancia en el diseño de las redes eléctricas. La función básica de un conductor es transportar la energía de un punto A hacia un punto B manteniendo el nivel de tensión lo más cercano posible en su punto final con respecto del punto inicial (dicha temática se aborda en el aparte 4.1.7 literal c).

En el mercado nacional e internacional existe una gama de conductores para cada clasificación de tensión en donde se presta importante atención al campo magnético y la resistencia de torsión del conductor. El conductor puede fabricarse totalmente

sólido (alambre) o en una serie de hilos en forma de espiral (cable); el último se hace favorable cuando se debe maniobrar un calibre bastante significativo debido a la flexibilidad que ofrece, mientras el sólido brinda una mayor rigidez a la hora de juzgar la resistencia mecánica de los conductores.

Ante la división para los niveles de tensión, se centrará el estudio en conductores diseñados para distribución y transmisión de energía aérea por ser el motivo de estudio de este proyecto.

Existe una clasificación de conductores comerciales, y la primera se hace notoria al observar los materiales utilizados en su construcción. Por un lado se cuenta con el cobre y por el otro lado con el aluminio. Se dará una explicación de cada tipo de conductor.

En los conductores de cobre se aprecian dos clases: conductores de temple suave y conductores de temple duro. Los conductores de temple suave son utilizados en diseños de sistemas de puesta a tierra mientras que los de temple duro son implementados en redes aéreas de distribución y transmisión debido a que requieren una mayor carga de rotura por la tensión que deben soportar. Los beneficios de utilizar conductores de cobre son notorios, su conductividad es mayor que la del aluminio, y este último solo alcanza un 63% de la apreciada por el cobre; sin embargo debe resaltarse la problemática cultural existente en la comunidad representada en el hurto constante de materiales fabricados con cobre, además de eso, los costos de inversión son mayores que los del aluminio pero se puede soportar un nivel de corriente mayor con un calibre menor que su contrincante el aluminio. En el anexo 1 se aprecia la tabla que ofrece CENTELSA para conductores desnudos de cobre para distribución y transmisión.

Se mencionó la condición de cable desnudo en el párrafo anterior. Este conductor no contiene capa protectora de aislante alguno, por lo que asegura una refrigeración natural aprovechando la temperatura ambiente que se mantendrá por debajo de la temperatura en la superficie del conductor.

En el grupo de los conductores de aluminio se percibe una clasificación dependiendo de la aleación de los materiales componentes o de los elementos que se añaden para reforzar la resistencia de carga mecánica.

Entre los conductores de aluminio se destaca uno que ha llegado a ser muy utilizado en los diseños actuales por su resistencia y bajo costo, este es el ACSR (Aluminium conductor steel reinforced). Un conductor de aluminio reforzado con acero. Duncan ratifica su uso en las siguientes palabras: “Uno de los tipos más comunes de conductores es el conductor de aluminio reforzado con acero (ACSR), el cual consta de capas de hilos de aluminio que rodean un núcleo central de hilos de acero” [1].

Este cable se refuerza con acero brindado una alta resistencia a posibles deformaciones causadas por la carga de su propio peso más la corriente eléctrica soportada. En comparación con el cobre se requiere un área transversal mayor por los niveles más bajos de conductividad que presenta el aluminio. Este material es muy utilizado por el simple hecho de su bajo costo y rendimiento aceptable para distribuir la energía eléctrica.

Los otros tipos de conductores existentes son los representados por las siglas AAC (All aluminium conductor) cable todo de aluminio. Son utilizados en líneas de transmisión y distribución preferiblemente en vanos cortos. “Los cables tipo AAC, están formados a partir de aluminio obtenido por refinación electrolítica con pureza de 99,5 % y conductividad mínima de 61,0 %, de la conductividad del cobre a 20°C. Todos los cables están formados por hilos de aluminio duro cableados concéntricamente” [8]. Como se mencionó anteriormente no es recomendable usarse para trayectos de vanos largos pues no se cuenta con el refuerzo del acero que permite mayor resistencia, pero por otro lado sí brinda una mejor conductividad al tratarse de aluminio puro. El conductor AAAC (All aluminium alloy conductor) cable de aleación de aluminio. Este conductor permite encontrar un equilibrio entre una mayor resistencia mecánica que los AAC y una mayor resistencia ante cualquier corrosión que los ACSR. “El cable de Aleación de Aluminio es un conductor cableado concéntrico que se compone de una o de varias capas de alambres de aleación de aluminio 6201-T81” [9]. Se debe mencionar entonces su gran utilidad en ambientes bastante exigentes por la corrosión. Un gran beneficio que poseen los cables de aluminio ante los de cobre es su peso; los mismos pueden pesar aproximadamente la mitad de uno con las mismas características en su ejemplar de cobre, claro está, estas características se refieren a la capacidad de corriente que soporta y no exactamente de su sección transversal.

Los cables ACAR (All aluminium conductor alloy reinforced) cable de aluminio con alma de liga de aluminio, son cables formados por hilos de aluminio trenzados con un centro de hilos de aluminio. Poseen una buena relación entre carga de rotura y peso, permitiendo así utilizarse para vanos de transmisión y distribución largos.

Por otro lado se cuenta con los cables ACSR/AW (Aluminium conductor Steel reinforced/alumoweld) conductor de aluminio revestido con acero. Este conductor está conformado por hilos de aluminio con un centro de acero recubierto con una aleación de aluminio para brindar una mayor conductividad que los ACSR sencillos. Teniendo en cuenta lo anterior, el conductor ACSR/AW ofrece las mismas características que el ACSR con un adicional, la corriente máxima que puede soportar el cable, es decir, se le da la posibilidad de soportar mayores corrientes y una mayor resistencia ante la corrosión por su recubrimiento de aluminio en el núcleo.

En las líneas de transmisión y distribución se prefiere el uso de cables trenzados antes que los alambres sólidos por su fácil maniobrabilidad a la hora de trabajar con calibres demasiado grandes por razones de flexibilidad.

La selección del conductor depende demasiado del ingenio del diseño y las condiciones con las que se enfrente el proyecto tanto sociales, económicas y ambientales.

En los anexos 2 al 6 se presentan las tablas de conductores de aluminio desnudo ofrecidos por la empresa CENTELSA.

1.4.3. Aisladores

Llegó el momento de hablar del aislamiento que debe tener un sistema de distribución. “Los aisladores son piezas de material aislante empleadas para soportar los conductores eléctricos de las líneas eléctricas de transmisión y distribución” [10]. Su función primordial es impedir el paso de la corriente eléctrica desde los conductores hacia la estructura de soporte, así de esta forma puede apreciarse el objetivo que cada elemento de una red posee para mantener en un óptimo funcionamiento.

Los aisladores suelen encontrarse de distintos materiales. Existen de porcelana, fibra de vidrio, cerámicos y poliméricos. Los más utilizados a través de la historia han sido los de vidrio y porcelana por su resistencia a las cargas mecánicas que soportan, sin embargo existen inconvenientes con la rigidez propia del material, pues se hace notorio que una fractura puede ocasionar el daño definitivo del elemento. Esto puede contraer un inconveniente aún mayor con el aislamiento de la estructura de soporte: corrientes de fuga. Los arcos pueden producirse por las distancias cortas que quedan entre el conductor y la cruceta.

Los otros materiales introducidos en los últimos años se han realizado para reducir el tamaño y los costos de fabricación; además de eso, brindan un aislamiento aún mejor que los anteriores por las aleaciones utilizadas para formar los poliméricos, y por supuesto no tienen inconvenientes con la rotura de los mismos pues su textura los hace ser muy flexibles.

El diseño de estos elementos ofrece algunas formas en particular.

Aisladores de campana o de disco. Se utilizan para formar cadenas suspendidas entre la estructura y el conductor. La cantidad de discos a utilizar lo determina el nivel de tensión al cual se opere. Suelen realizarse de porcelana y vidrio.

Aislador tipo poste (line post). Se utilizan sobre la cruceta y sostiene el conductor en su parte más elevada. Generalmente se los fabrica de porcelana, cerámica o poliméricos. El tamaño del aislador depende de la tensión del conductor.

Las variaciones existentes son diseños especiales para un tipo específico de instalación y de condiciones presentadas.

La selección de los aisladores depende en gran medida de los costos de inversión, el nivel de tensión y la resistencia a cargas mecánicas, por lo tanto se hacen más flexible la decisión de diseño en comparación con otros parámetros de diseño. En la figura 4 se ilustran algunos tipos de aisladores existentes y estandarizados para su uso comercial.



Figura 4. Tipos de aisladores

Fuente. [11]

1.4.4. Elementos de protección

Un elemento de protección o de corte permite la apertura del circuito bajo anomalías presentadas en un intervalo de tiempo relativamente pequeño para así proteger la instalación superior. En un sistema de distribución de media tensión es muy familiar encontrar corta circuitos que realizan precisamente lo que indica su nombre.

Un corta circuito contiene un fusible interno con una capacidad de corriente específica, un tubo porta fusible y una caja protectora generalmente fabricada de porcelana y dos extremos que se conectan con las dos secciones del circuito.

El uso de estos elementos se remonta al seccionamiento de un circuito para facilidad de mantenimiento, es decir, realizar particiones en un circuito con el fin de evitar la suspensión total del circuito alimentador mientras se realizan operaciones de mantenimiento en un área específica. También se utilizan para la conexión de transformadores de distribución protegiéndolos de un estado que pueda contribuir al daño severo de los mismos, y para protección de subestaciones eléctricas.

1.4.5. Herrajes

Se considera herraje todo accesorio de hierro o acero implementado para sostener los elementos de la instalación eléctrica. Se puede clasificar en tornillería, pernos, soportes, grapas, entre otros que mantienen unida la estructura de soporte al conductor, aislador, y demás componentes. En el mercado puede vérselos de muchas representaciones físicas y diversas dimensiones y resistencias mecánicas entre otras especificaciones técnicas.



Figura 5. Elementos de protección

Fuente. [12]

1.4.6. Crucetas

Las crucetas son elementos diseñados para instalarse en el extremo superior de la estructura de soporte con el fin de sostener los aisladores y a su vez los conductores. Cabe resaltar que bajo ninguna circunstancia el conductor puede hacer contacto con la cruceta por riesgo de energización del poste causando grave peligro a la comunidad circundante.

Comercialmente se pueden hallar con dimensiones variables y para usos múltiples. Estos elementos pueden ser de madera o metálicas. En casos donde la zona de instalación del poste sea muy próximo al tejado y pared de una casa o edificio se opta por una cruceta “en bandera”, se le llama de esa forma por su aspecto, ya que un extremo de la cruceta se sujeta al poste, mientras el otro es sostenido por una diagonal que a su vez se encuentra asegurada en el poste.

En la mayoría de los casos estas crucetas se encuentran centradas en el poste para impedir balanceos hacia los lados.

Se han mencionado los elementos necesarios para la construcción de una red eléctrica. Ahora se abordarán las especificaciones de diseño tales como los factores eléctricos, mecánicos, ambientales y económicos.

1.4.7. Parámetros eléctricos

Al adentrarse en el diseño del circuito de distribución deben tenerse varios aspectos en cuenta.

1.4.7.1. Resistencia eléctrica

Se define como “la mayor o menor dificultad que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica” [13]. Este concepto es uno de los principales de talles a tratar en el diseño de redes, ya que modificará notablemente el diseño si no se le trata convenientemente. Esta oposición a la corriente es la causante de las caídas de tensiones presentadas en los circuitos eléctricos.

La resistencia en corriente continua (DC) a una temperatura específica puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$R_{dc, T} = \frac{\rho_t l}{A} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

ρ_T : resistividad del conductor a la temperatura T

l : longitud del conductor

A : área de la sección transversal del conductor

Para el caso de la corriente alterna debe tenerse en cuenta la siguiente ecuación:

$$R_{ac} = \frac{P_{pérdida}}{|I|^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$P_{pérdida}$: pérdida real de potencia del conductor

$|I|$: Magnitud de la corriente eléctrica que pasa por el conductor

El hecho de que la expresión para calcular la resistencia en corriente alterna (AC) sea diferente de la DC es por la simple razón de que en DC la corriente circula de manera uniforme por el conductor, mientras que en AC la corriente circula de manera no uniforme por la superficie del conductor generando un fenómeno conocido como efecto piel. Cabe decir que a mayores frecuencias la corriente se retira cada vez más al exterior del conductor disminuyendo así el área por la que se circula, y por defecto aumenta la resistencia del material.

Otros factores que pueden variar la resistencia de los materiales son la temperatura y el diseño trenzado o de espiral que poseen los conductores. Este último porque la longitud real de cada hilo trenzado es mayor a la del conjunto total del conductor, por lo tanto se puede afirmar que la resistencia real de un conductor trenzado sea aproximadamente el 2% mayor a la calculada con la ecuación 2 [1]. Y se conoce que la temperatura produce una dilatación en el material haciéndolo de mayor o menor longitud provocando un cambio en la resistencia del mismo.

Por lo general los fabricantes proporcionan el valor resistivo de los conductores para una temperatura específica. Si se desea conocer el valor de resistencia a una temperatura específica se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$\rho_{T2} = \rho_{T1} \left(\frac{T2+T}{T1+T} \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

ρ_{T1} : Resistividad del conductor a temperatura nominal (75°C)

ρ_{T2} : Resistividad del conductor a la temperatura final

T : constante de temperatura que depende del material del conductor

Dicha constante se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de conductividad, resistividad y constante de temperatura de conductores

		Resistividad a 20°C	Constante de temperatura
Materiales	% de conductividad	Ωm X 10-8	°C
Cobre:			
Recocido	100%	1,72	234,5
Estirado en frío	97,3%	1,77	241,5
Aluminio:			
Estirado en frío	61%	2,83	228,1
Latón	20-27%	6,4-8,4	480
Hierro	17,2%	10	180
Plata	108%	1,59	243
Sodio	40%	4,3	207
Acero	2-14%	12-88,	180-980

Fuente. [1]

1.4.7.2. Reactancia

La reactancia, al igual que la resistencia es la oposición en un conductor hacia el paso de la corriente, sin embargo existe una diferencia notable, esta oposición es generada por inductores y capacitores. Para los casos mencionados se les llama reactancia inductiva y reactancia capacitiva.

En redes de distribución suele prestarse especial atención a la inductancia por tratarse de conductores que generan campos magnéticos. Por el contrario al no tener capacitores en una red, se desprecia el valor de la capacitancia que se pueda generar entre los conductores y la tierra.

Para poder calcular el valor de la inductancia en un circuito se deben conocer valores tales como el RMG (Radio Medio Geométrico) que es el radio del conductor. Además a ello se hace necesario la distancia equivalente comprendida entre los tres conductores que forman una línea trifásica, y para calcular dicho valor se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$D_{eq} = (D1 * D2 * D3)^{1/3} \text{ Ecuación 4}$$

Donde:

D_{eq} : distancia equivalente entre conductores

D_1 : distancia entre conductor fase a y fase b

D_2 : distancia entre conductor fase b y fase c

D_3 : distancia entre conductor fase a y fase c

Adicional a lo anterior se debe anexar la expresión matemática que permite el cálculo de la inductancia por fase de un circuito:

$$L = 2 * 10^{-7} * \ln \frac{D_{eq}}{r'} \text{ H/m} \text{ Ecuación 5}$$

Donde:

L : inductancia

r' : radio del conductor, para el caso de red trifásica se usa el RMG

Finalmente la reactancia inductiva puede obtenerse de la siguiente manera:

Ecuación 6. Reactancia inductiva de un conductor

$$XL = 2\pi fL \ \Omega \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

f : frecuencia de la red

1.4.7.3. Regulación de tensión

Un punto crucial a tener en cuenta en el diseño de una red de distribución de energía es la caída de tensión que se produzca entre el punto A hasta el punto B. Teniendo como punto A la subestación de distribución y como punto B el final del trayecto del

circuito; para el caso el corregimiento San José de Oriente. El porcentaje de regulación permitido para zonas rurales se encuentra en $\pm 3\%$, sin embargo existe un límite máximo de $\pm 5\%$ para el punto más crítico de la instalación.

Mantener estos valores permisibles se hace un reto para los diseñadores de redes, sobre todo si el diseño es para grandes distancias. Los métodos más populares para mantener un porcentaje de regulación bajo son la disminución de la potencia reactiva existente en el sistema con la instalación de bancos de condensadores, y por otro lado está la selección algo sobredimensionada del conductor que puede ofrecer una mejor regulación.

Mantener la tensión dentro de valores permisibles garantiza que el usuario final pueda utilizar cualquier maquinaria dependiente de la energía eléctrica con la seguridad de que ésta no sufrirá daños por mala calidad en el servicio.

La ecuación para calcular la regulación de tensión depende de factores tales como la resistencia por kilómetro y la reactancia por kilómetro para los casos en que la línea de distribución sea inferior a los 80 km o como bien es llamada "línea corta". Para casos mayores debe tenerse en cuenta factores tales como la conductancia y la capacitancia. La expresión para calcular el porcentaje de regulación es la siguiente:

$$\%reg = \frac{\Delta v}{V} \text{ Ecuación 7}$$

Donde:

Δv : caída de tensión a través del trayecto de la línea

V : tensión entregada en el punto de inicio de la línea

Ahora bien, se hace necesario el cálculo de Δv para llegar al valor requerido de regulación. La variación de tensión se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta v = \frac{P''R + Q''X_L}{V_{out}} + j \left[\frac{P''X_L - Q''R}{V_{out}} \right] \text{ Ecuación 8}$$

Donde:

P'' : potencia activa entregada a la carga

Q'' : potencia reactiva entregada a la carga

R : resistencia del conductor

X_L : reactancia del conductor

V_{out} : tensión entregada a la carga

Para comprender el concepto se hace necesario observar la situación a través de la siguiente ilustración:

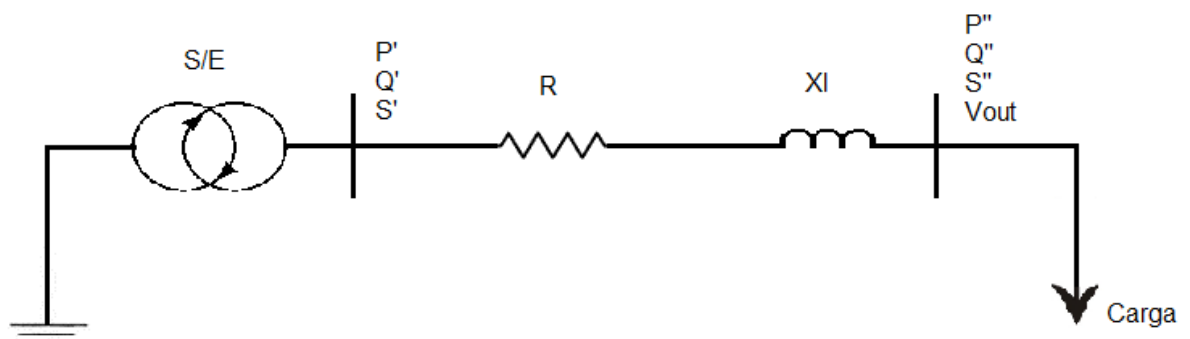


Figura 6. Parámetros eléctricos de una línea de distribución

Como puede apreciarse en el diagrama anterior, se tiene un valor inicial para la tensión y la potencia cualquiera sea su estado (activa, reactiva o aparente) y uno distinto en la barra de salida debido a las pérdidas existentes causadas por la resistencia y la reactancia del conductor dadas por calentamiento del mismo y particularidades de la corriente eléctrica tales como la ley de Joule, que dice que las pérdidas en el conductor se deducen de la ecuación:

$$P = IR^2 \text{ Ecuación 9}$$

Donde se aprecia claramente que las pérdidas son directamente proporcional al valor resistivo del conductor, y por supuesto al nivel de corriente que circule por el mismo.

Lo anterior es una base sólida para la selección de una tensión de distribución alta para evitar corrientes muy elevadas en el conductor.

1.4.8. Otros factores

Además de la parte eléctrica se deben tener en cuenta otros ítems que pueden limitar el proyecto.

1.4.8.1. Factores mecánicos

Estos factores se enfocan primordialmente en la resistencia mecánica que debe soportar la instalación, desde sus estructuras de soporte, herrajes y por supuesto los conductores, para evitar así una ruptura inapropiada en el circuito. La NTC 2050 enuncia lo siguiente:

“Los conductores deben tener una capacidad de corriente suficiente para transportar la corriente para la que se ha calculado la carga, y deben poseer una resistencia mecánica adecuada” [14]. Por lo anterior se deduce que cada conductor incluido en un proyecto de distribución debe estar en la capacidad para soportar las tensiones mecánicas en las peores circunstancias presentadas.

Al igual que los conductores, las estructuras deben soportar la carga mecánica de todos los elementos instalados en ellas. Los herrajes a su vez requieren de la misma resistencia mecánica de los conductores para poder fijarlos en las estructuras sin riesgo de rotura prematura.

Para los casos en los que las instalaciones se encuentran deterioradas se hace totalmente necesario el cambio urgente de los elementos que lo requieran.

1.4.8.2. Factores económicos

En la ingeniería existe un campo bastante importante, y es la evaluación de proyectos. A menudo el estudio de viabilidad de un proyecto se realiza mediante un software sofisticado que permite optar por la opción más oportuna o en definitiva descartar algún proyecto que no presente una viabilidad permitida por el valor neto de inversión y de mantenimiento. Ante esto, el ingeniero de diseño puede presentar varias alternativas para ser evaluadas y seleccionar así la opción que definitivamente será implementada en la ejecución del proyecto.

1.4.8.3. Factores ambientales

En este punto deben evaluarse factores tales como el uso del terreno y el impacto visual que el proyecto generará. Con la observación del tipo de terreno al cual se enfrenta el proyecto se deben seleccionar las estructuras con la mejor resistencia al mismo. Como ejemplo se puede mencionar un terreno en el que la corrosión por salinidad del ambiente es muy elevado y cualquier material no sería recomendable. Para el caso se preferirían conductores aislados, y estructuras de concreto que ofrecen una buena resistencia ante la corrosión.

Además está el impacto ambiental. Generalmente no es muy estudiado cuando se trata de espacios abiertos que no se encuentren bajo propiedad privada. Para el caso de proyectos en los que el circuito pasa por una ruta que une dos municipios

es necesario mantener una distancia mínima entre la vía y la estructura de apoyo con el fin de evitar campos electromagnéticos elevados indeseados en los automóviles que pasan justo al lado de la base de la estructura, y además evitar al máximo el contacto de una posible red fisurada con algún automóvil transitando por la vía.

En ocasiones en los que el terreno posee un tipo de paisaje específico, es preferible trabajar con estructuras que puedan mezclarse en la mayor parte posible con el mismo.

1.5. MARCO CONCEPTUAL

Para la correcta utilización de los conceptos de redes y sistemas de potencia se revisó el código eléctrico colombiano mayormente conocido como la NTC 2050 y el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), en los cuales se estandariza y regula la implementación de proyectos de transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Las normativas mencionadas anteriormente brindan los límites permitidos para los parámetros que debe cumplir toda instalación eléctrica de media tensión. Se hizo necesario basarse en dichos valores para que el proyecto fuera viable, lo cual es estudio concerniente al operador de red de la zona, para el caso Electricaribe S.A. y para los entes gubernamentales de la región.

Fue necesario la obtención de los planos del circuito eléctrico existente actualmente que alimenta el corregimiento San José de Oriente. Dichos planos fueron otorgados por el departamento de mantenimiento de Electricaribe S.A. zona norte de Barranquilla. En dichos planos se aprecia la ubicación de los transformadores de distribución y la ubicación de las redes desde la subestación La Paz (Cesar) hasta finalmente llegar a San José de Oriente. Los planos fueron de gran ayuda para inspeccionar presencialmente el circuito Manaure (Cesar) en el tramo ubicado en San José.

Los datos obtenidos por parte del operador de red fueron tabulados en Microsoft Excel para realizar las memorias de cálculo más ágil y con posibilidades de cambios. Los resultados que se obtuvieron se compararon con las normativas vigentes para determinar si existía o no el cumplimiento de la norma en el proyecto final.

Se diseñó el formato de inspección de los transformadores para mejorar el proceso y obtener datos importantes de mejora.

Los resultados del proyecto fueron simulados en el programa Neplan que permitió observar el comportamiento que tendría el circuito cuando se ejecutase en terreno. Finalmente se observó que el diseño se encuentra soportado con las normas establecidas por el instituto colombiano de normas técnicas y su simulación fue correcta.

1.6. MARCO CONTEXTUAL

1.6.1. Descripción y ubicación

San José de Oriente es un corregimiento del Cesar ubicado al nororiente del departamento. Se encuentra a 17 kilómetros al oriente del municipio de La Paz, Cesar. Su relieve es bastante montañoso debido a su ubicación en la cordillera oriental de los Andes (Serranía del Perijá), su altura es de 3093 metros. Posee una población de aproximadamente 3745 habitantes y su actividad económica es básicamente la agricultura; entre sus productos se destacan el café, tomate y cebolla.



Figura 7. Vista panorámica de San José de Oriente

FUENTE. [15]

1.6.2. Breve reseña histórica

El siglo pasado marcó una violencia terrible que abarcó gran parte de las zonas agrícolas de los departamentos de Norte de Santander y Santander, obligando a sus habitantes a emigrar a otros sitios. Así fue como se retiraron a las montañas del Cesar estableciendo pequeñas veredas que llegaron a verse como un caserío. Hacia la década de 1960 ya tenía aspecto de un pequeño pueblo colonial debido al empedrado de sus calles.

El pequeño corregimiento sufrió una época llena de violencia por acción de los grupos al margen de la ley. Con el inicio del siglo XXI pudo observarse una mejora en la situación de sus habitantes, quienes afirman que ya no poseen los inconvenientes de desplazamiento ni de violencia que afrontaban el siglo pasado. Hoy tiende a ser un lugar muy acogedor para sus visitantes, debido a su agradable clima y el carisma de su gente.



Figura 8. Vista google maps de San José de Oriente

FUENTE. [16]

1.7. MARCO LEGAL

Este proyecto está basado en las normas colombianas ya mencionadas: a saber la Norma Técnica Colombiana, código eléctrico (NTC 2050) primera actualización y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en su quinta actualización.

Citando las palabras del código eléctrico en su presentación se puede apreciar la magnitud del diseño en cualquier ámbito que se lo requiera.

Cualquier análisis que pretenda realizarse en el campo científico y tecnológico, debe obligatoriamente enmarcarse en los parámetros de la globalización establecidos a nivel mundial.

Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas

Requisitos específicos para el proceso de distribución. Para los efectos del presente Reglamento se calificará como instalación eléctrica de distribución todo conjunto de aparatos y de circuitos asociados para transporte y transformación de la energía eléctrica, cuyas tensiones nominales sean iguales o superiores a 110 V y menores a 57,5 kV. Los requisitos de este Capítulo son de obligatorio cumplimiento y deben ser tomados como complementarios de los contenidos en los demás Capítulos del presente Reglamento Técnico. Las disposiciones contenidas en este Reglamento, son de aplicación en todo el territorio colombiano y deben ser cumplidas por las empresas de distribución de energía que operen en el país y demás propietarios de redes eléctricas comprendidas dentro de esta categoría.

- **Anexo general, capítulo VI, artículo 32.1 Estructuras de soporte**

Las redes de distribución se soportarán sobre estructuras tales como torres, torrecillas, postes de concreto en cualquiera de sus técnicas de construcción (armado o pretensado); postes de hierro, postes de madera, acrílicos u otros materiales; siempre que cumplan con los siguientes requisitos y los establecidos en el numeral 17.15 del presente anexo, que les aplique.

a) Los postes, torres o torrecillas usados como soportes de redes de distribución deberán tener una tensión de rotura de al menos 2,5 veces la suma de las tensiones mecánicas resultantes de la interacción de los diferentes esfuerzos a que este sometida la estructura, para lo cual se debe tener en cuenta los esfuerzos de los cables de la red eléctrica y los demás cables y elementos que actúen sobre la estructura.

b) Deben utilizarse postes o estructuras con dimensiones y tensión de rotura estandarizadas.

c) Los postes de madera y todos los elementos de madera usados en las redes de distribución deberán estar debidamente tratados para la protección contra hongos y demás agentes que aceleran su deterioro.

d) Las torrecillas o postes metálicos deberán estar protegidas contra la corrosión, para soportar una vida útil no menor a 25 años y los que soporten redes de media tensión deben estar sólidamente puestos a tierra.

e) Los postes que presenten fisuras u otros deterioros que comprometan las condiciones mecánicas y la seguridad de la estructura, deberán ser cambiados.

f) Los postes, torrecillas o en general las estructuras de soporte de redes de distribución deberán demostrar el cumplimiento del RETIE mediante certificado de producto expedido por un organismo de certificación de producto acreditado por la SIC.

- **Anexo general, capítulo VI, artículo 32.2 HERRAJES**

Se consideran bajo esta denominación todos los elementos utilizados para la fijación de los aisladores a la estructura, los de fijación de conductor es a los aisladores, los de fijación de cable de tierra a la estructura, los elementos de protección eléctrica de los aisladores y los accesorios del conductor, como, conectores, empalmes, separadores y amortiguadores, deberán cumplir los siguientes requisitos:

a) Los herrajes empleados en los circuitos de media tensión serán de diseño adecuado a su función mecánica y eléctrica y deben resistir la acción corrosiva durante su vida útil, para estos efectos se tendrán en cuenta las características predominantes del ambiente en la zona donde se requieran instalar.

b) Los herrajes sometidos a tensión mecánica por los conductores y cables de guarda o por los aisladores, deben tener un coeficiente de seguridad mecánica no inferior a tres respecto a su carga de trabajo. Cuando la carga mínima de rotura se compruebe mediante ensayos, el coeficiente de seguridad podrá reducirse a 2,5.

c) Las grapas de retención del conductor deben soportar un esfuerzo mecánico en el cable del 80% de la carga de rotura del mismo, sin que se produzca deslizamiento.

d) Los herrajes, usados en distribución deberán demostrar la conformidad con el presente Reglamento mediante un certificado de producto, expedido por un organismo de certificación acreditado.

- **Anexo general, capítulo VI, artículo 33.2 Aisladores**

Deben cumplir los siguientes requisitos:

a) Los aisladores usados en redes de distribución deberán tener como mínimo las siguientes cargas de rotura:

- Los de suspensión tipo disco, por lo menos el 80% de la tensión de rotura del conductor utilizado.
- Tipo carrete mínima equivalente al 50% de la carga de rotura del conductor utilizado.
- Tipo espigo (o los equivalentes a Line Post) mínima equivalente al 10% de la carga de rotura del conductor utilizado.
- Tipo tensor deberá verificarse que la carga de rotura sea superior a los esfuerzos mecánicos a que será sometido por parte de la estructura y del templete en las condiciones ambientales más desfavorables.

b) Los aisladores deben someterse a mantenimiento. El criterio para determinar la pérdida de su función, será la rotura o pérdida de sus cualidades aislantes, al ser sometidos simultáneamente a tensión eléctrica y esfuerzo mecánico del tipo al que vaya a encontrarse sometido.

c) Los aisladores, usados en distribución deberán demostrar la conformidad con el presente Reglamento mediante un certificado de producto, expedido por un organismo de certificación acreditado por la SIC.

- **Anexo general, capítulo VI, artículo 34.1 Conductores aéreos**

a) En ningún momento los conductores deben ser sometidos a tensiones mecánicas por encima de las especificadas como de rotura y el tendido en redes aéreas no debe pasar el 25% de la tensión de rotura.

b) Deben instalarse con los herrajes apropiados al tipo y propiedades de material y calibre del conductor.

c) En el diseño debe tenerse en cuenta el criterio de pérdidas técnicas en la selección del conductor económico.

d) En áreas donde no se puedan garantizar las distancias de seguridad, deberá utilizarse conductores aislados o semiaislados.

e) Los empalmes de conductores aéreos deben garantizar operar por lo menos al 90% de la tensión de rotura sin que el conductor se deslice.

f) Los conectores o uniones con otros conductores deberán ser de materiales apropiados que no produzcan par galvánicos, que pongan en riesgo de rotura el conductor.

g) Cuando se observe deterioro del conductor por la pérdida de hilos, afectaciones por arcos o cortocircuitos que disminuyan la disminución de su tensión de rotura, deberá cambiarse o tomarse las acciones correctivas.

- **Anexo general, capítulo II, artículo 13.3 Distancias mínimas entre conductores en la misma estructura**

Los conductores sobre apoyos fijos, deben tener distancias horizontales y verticales entre cada uno, no menores que el valor requerido en los anexos 7 y 8.

Todos los valores son válidos hasta 1000 metros sobre el nivel del mar; para mayores alturas, debe aplicarse el factor de corrección por altura.

Cuando se tienen conductores de diferentes circuitos, la tensión considerada debe ser la de fase-tierra del circuito de más alta tensión o la diferencia fasorial entre los conductores considerados.

Cuando se utilicen aisladores de suspensión y su movimiento no esté limitado, la distancia horizontal de seguridad entre los conductores debe incrementarse de tal forma que la cadena de aisladores pueda moverse transversalmente hasta su máximo ángulo de balanceo de diseño, sin reducir los valores indicados en el anexo 7. El desplazamiento de los conductores debe incluir la deflexión de estructuras flexibles y accesorios, cuando dicha deflexión pueda reducir la distancia horizontal de seguridad entre los conductores.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación se concretó teniendo en cuenta los conceptos de una investigación Descriptiva, pues se caracterizó una problemática establecida en una población y sitio en particular. Se implementó la cuantificación de los resultados, ya que no únicamente se obtuvieron los datos y se plasmaron en una tabla, gráfico o cualquier elemento que pudiera contenerlos. Por el contrario se analizaron los datos de manera numérica para abordar soluciones exactas que fuesen cuantitativas como se demostró en la selección de los materiales a utilizar a base de cálculos previamente diligenciados.

De igual forma se tuvo presente una documentación cualitativa de la problemática en la descripción del estado de las redes eléctricas en la zona estudiada y el constante deterioro de la situación interna de la población tal como se ilustró en la relación que existe con el municipio más cercano.

2.2. POBLACIÓN UNIVERSO

Para esta investigación se manejó una población aproximada de 3745 habitantes que a su vez demandan una potencia eléctrica de 765 KVA (kilo voltamperio) entregada por parte del operador de red con 19 transformadores de distribución instalados en sitios estratégicos en el corregimiento San José de Oriente como lo tabulados en la tabla 5.

Se debe mencionar que las siglas CT y MT hacen referencia a matrículas instaladas en las estructuras de apoyo que poseen los transformadores de distribución. Donde CT significa Centro de Transformación (placa blanca) y MT significa Medio de Transformación (placa amarilla).

El transformador cuya propiedad es particular pertenece a la antena de telefonía celular Claro ubicada en la vía de acceso al corregimiento.

2.3. MUESTRA

Para la investigación presente se visitó transformador por transformador para notificar el estado de los mismos y sus protecciones, verificar la capacidad de cada transformador y recorrer el circuito alimentador desde el punto de conexión fuera del corregimiento hasta la totalidad de la población en San José de Oriente.

Además a ello se obtuvieron datos directos de la facturación en cuanto a la potencia vendida por el operador de red a los usuarios finales. Se pudo constar dicha potencia en 287 viviendas de las 800 estimadas, por lo cual se puede decir que la muestra fue:

$$m = \frac{287}{800} * 100\% = 35.875\% \text{ Ecuación 10}$$

Sin embargo los datos otorgados por el operador de red son confiables debido a la inspección realizada en terreno.

2.4. ETAPAS DEL PROYECTO

El proyecto atravesó por puntos críticos que permitieron la obtención total de los datos y el desarrollo completo del diseño. A continuación se presentan las etapas por las cuales transcurrió el proyecto.

2.4.1. Etapa 1. Obtención de los datos de carga instalada en San José de Oriente.

En el inicio del proyecto se consultó al operador de red para constatar la capacidad instalada en San José de Oriente. Teniendo una grata atención se logró no sólo acceder a la carga instalada en general, sino a la descripción transformador por transformador y capacidad vendida a 287 viviendas de detalladamente. Al ver la inquietud planteada se accedió a otorgar un valor adicional muy importante, la corriente de cortocircuito monofásica y trifásica en el barraje de la subestación de La Paz, Cesar.

Tabla 5. Transformadores instalados en San José de Oriente

CODIGO	CT	MT	POTENCIA (KVA)	FASES	PROPIEDAD
1	6485S	6485U	30	3	PARTICULAR
2	6742L	6574M	50	2	ELECTRICARIBE
3	6741L	6573M	37,5	2	ELECTRICARIBE
4	28560	29490	37,5	2	ELECTRICARIBE
5	28561	29491	37,5	2	ELECTRICARIBE
6	6743L	6575M	25	2	ELECTRICARIBE
7	28562	29492	75	3	ELECTRICARIBE
8	28563	29493	50	2	ELECTRICARIBE
9	28564	29494	50	2	ELECTRICARIBE
10	28552	29482	50	2	ELECTRICARIBE
11	28553	29483	37,5	2	ELECTRICARIBE
12	28554	29484	30	3	ELECTRICARIBE
13	28555	29485	50	2	ELECTRICARIBE
14	28556	29486	50	2	ELECTRICARIBE
15	28557	29487	25	2	ELECTRICARIBE
16	X17	X71	25	2	ELECTRICARIBE
17	X18	X72	15	3	ELECTRICARIBE
18	X20	X74	45	3	ELECTRICARIBE
19	X19	X73	45	3	ELECTRICARIBE
TOTAL			765		

2.4.2. Etapa 2. Consulta bibliográfica

Al avanzar en el proyecto se notó la necesidad adquirir una amplia bibliografía con la cual se pudiese sustentar los conceptos básicos que se implementaron el proyecto. Entre dicha bibliografía se contó con textos de sistemas de potencia, redes eléctricas, documentos jurídicos de la NTC e ICONTEC para vislumbrar la normativa que rige actualmente la distribución de energía eléctrica en Colombia.

2.4.3. Etapa 3. Visita al corregimiento San José de Oriente

Como era de esperar se realizó una visita a la zona afectada del proyecto con el fin de corroborar la información brindada por el operador de red y por supuesto observar el estado de las redes de media tensión que actualmente suministran la energía eléctrica, y el estado de los transformadores de distribución instalados junto con sus respectivas protecciones. Se notificó que la información obtenida

previamente era totalmente cierta, así que se pudo seguir con el transcurso natural del proyecto sin mayores dificultades.

2.4.4. Etapa 4. Cálculos

En esta etapa se procedió a realizar la memoria de cálculos en donde se definieron datos como calibres de conductor, estructuras y demás materiales a recomendar para la ejecución del proyecto.

2.4.5. Etapa 5. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos de la etapa anterior se evaluaron y se obtuvieron así las conclusiones finales del proyecto para mantener los parámetros eléctricos mínimos para la construcción de un circuito de distribución en media tensión.

2.4.6. Etapa 6. Realización del documento final

En esta última etapa se finaliza el presente documento junto con su evaluación por parte del comité de evaluación.

2.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La técnica de recolección de información secundaria o documental fue la implementada en este proyecto. Esto se debe a la recolección de datos existentes en la base de datos del operador de red tabulados en programas especializados en distribución y comercialización de la energía eléctrica. También se hizo necesaria la indagación en documentos jurídicos que situaran un marco legislativo para basar cualquier tipo de proyectos de distribución.

Además se pudo constatar la información brindada a través de la visualización personal de las condiciones del terreno y unas visitas aleatorias a algunas viviendas para poder consultar con la facturación de los usuarios. Lo anterior pudo realizarse por ser en su momento funcionario del operador de red (Electricaribe S.A.), lo que facilitó el trabajo con el hecho de presentar la debida documentación y carnet demostrando la vinculación con dicha empresa.

Finalmente se optó por utilizar los datos generales pues se constató que la información es veraz.

2.6. ESTADO ACTUAL DE LAS REDES DE MEDIA TENSIÓN QUE SUMINISTRAN ENERGÍA ELÉCTRICA A SAN JOSÉ DE ORIENTE

Mediante la visita realizada se realizó una inspección teniendo como formato el presentado en la tabla 5. Con dicho formato se pudo verificar el estado de cada transformador instalado y sus respectivas protecciones.

Con la observación se pudo constatar la deficiencia del sistema, debido a la ausencia de las protecciones mínimas requeridas en los transformadores. Sólo los transformadores 1, 12, 13 y 15 de la tabla 5 contaban con todas las protecciones, mientras la constante en los demás era la ausencia del sistema de puesta a tierra compuesto por los DPS (descargadores de sobretensión), el conductor a tierra y el electrodo aterrizado.

La distribución de la red de media tensión dentro de San José de Oriente es mayormente trifásica, sin embargo existen pequeñas secciones o ramales que al ser fin de línea y no requerir carga trifásica, se encuentra equipado con dos únicas fases.

Por los aspectos observados se hace necesaria una optimización de la red, es decir, la instalación de los elementos de protección de los transformadores de distribución y una solución directa al inconveniente de las fluctuaciones de tensión con la implementación del proyecto planteado.

Actualmente existe un tramo de red de media tensión (circuito Manaure, Cesar) desde el municipio de La Paz hasta el cruce entre Manaure y San José de Oriente. Dicha distancia es de 5 kilómetros dejando así un recorrido de 12 kilómetros que no cuentan con estructuras de apoyo, lo cual brinda la oportunidad de la instalación de las mismas.

Finalmente, la distribución secundaria o de baja tensión (220 y 110 voltios) en el corregimiento de San José de Oriente se encuentra en un estado aceptable.

En la figura 9 se aprecia el tipo de estructura utilizada en el circuito Manaure, Cesar existente actualmente para suministrar energía eléctrica a la zona en mención de este proyecto.

La figura 10 ofrece un vistazo a la distribución del circuito Manaure dentro de San José de Oriente.



Figura 9. Estado actual de las redes del circuito Manaure - Cesar

FUENTE. [17]

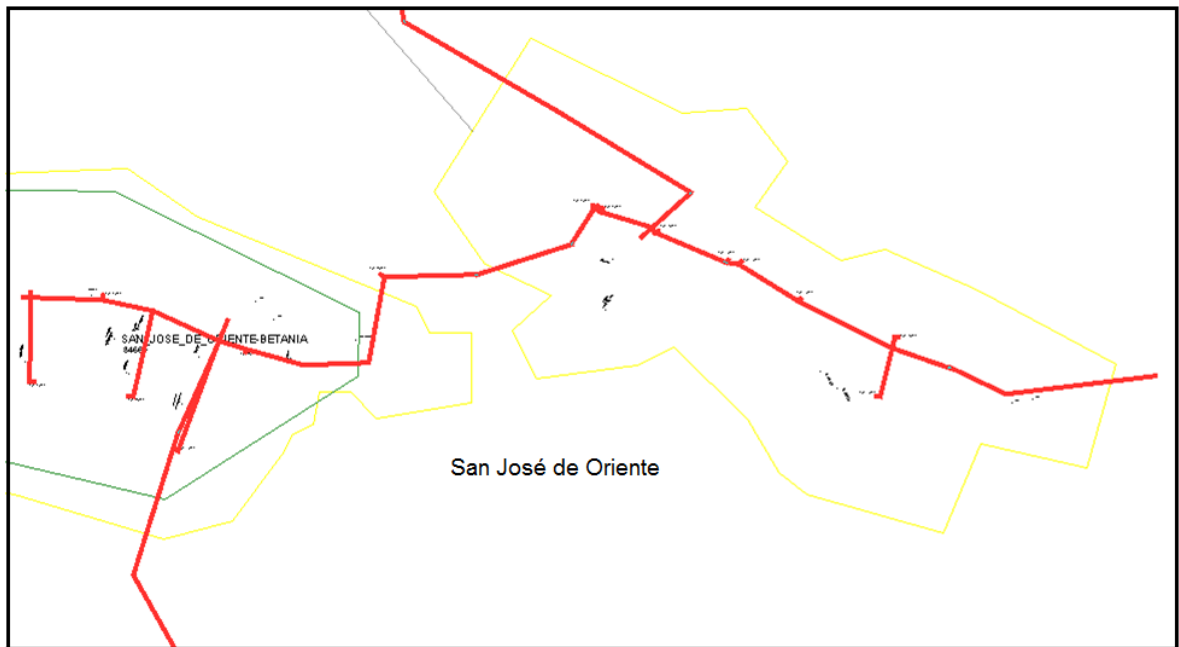


Figura 10. Distribución del circuito de media tensión en San José de Oriente

FUENTE. [17]

2.7.USO DEL PROGRAMA NEPLAN PARA LA SIMULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

La versión de NEPLAN 5.3.51 ha sido la seleccionada para realizar la simulación del diseño del circuito propuesto, para adentrarse en el programa se da una breve explicación del uso que se le puede dar a NEPLAN. Con este programa se hace posible la simulación de cualquier circuito diseñado y a su vez calcular los parámetros de operación de los mismos.

2.7.1.INTERFAZ DEL USUARIO

El usuario posee una interfaz con la cual puede ingresar y verificar los datos y cálculos que el programa realiza para cada proyecto planteado. La figura 11 muestra un pantallazo general de la interfaz del programa.

De la figura se pueden obtener 8 partes importantes del programa.

- 1) Barra de título: En esta barra se muestra el nombre del proyecto.
- 2) Barra de opciones de menú: Como su nombre lo indica, en esta barra se encuentran los distintos menús con los que cuenta el programa.
- 3) Barra de herramientas: La barra de herramientas proporciona los comandos que pueden ejecutarse en el diseño y simulación del proyecto.
- 4) Área de trabajo con diagramas y tablas de datos: En el área de trabajo se pueden abrir los proyectos en forma de diagrama o de tabla. Igualmente se puede iniciar el modelamiento del trabajo.
- 5) Administrador de variantes: Esta sección proporciona la información de los proyectos abiertos, y los diagramas que se han utilizado.
- 6) Ventana de símbolos: La ventana de símbolos posee todos los símbolos que pueden utilizarse en el programa. Además NEPLAN cuenta con una librería donde se pueden crear o modificar símbolos.
- 7) Ventana de mensajes: Esta ventana es la comunicación con el usuario, pues se muestra información acerca de los procesos ejecutados, errores y otra información.
- 8) Barra de estado: La barra de estado proporciona la información del estado de proyecto, es decir, zoom, coordenadas e información básica para el usuario de NEPLAN.

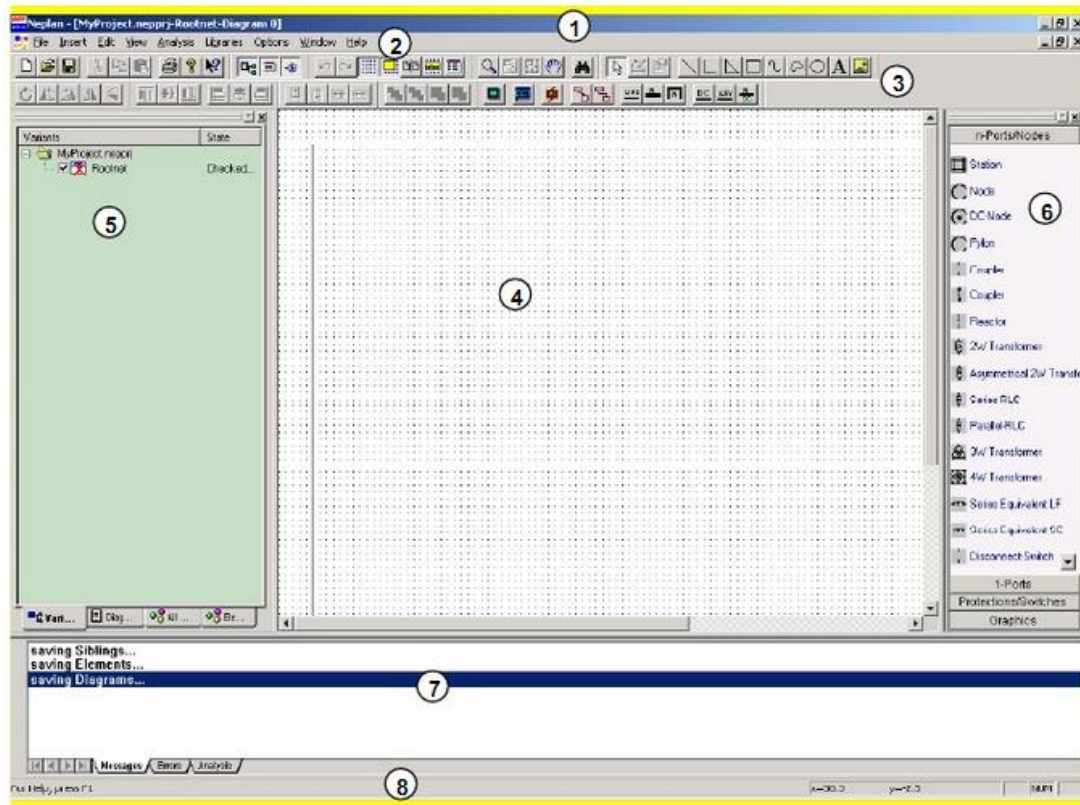


Figura 11. Interfaz del usuario

FUENTE. [19]

2.7.2. INSERCIÓN DE SÍMBOLOS Y DATOS

Cuando se va a proceder a la estructuración del circuito se debe utilizar la ventana de símbolos, en dicha ventana se cuenta con los símbolos de los elementos a conectar en el diseño. Entre los elementos más comunes de un circuito eléctrico se encuentran los generadores, transformadores, cargas, switches, entre otros. Luego de encontrar el símbolo deseado sólo es necesario arrastrarlo hasta el área de trabajo para que aparezca en el diseño. Para ingresar los datos de cada elemento basta con dar doble clic al elemento y ubicar cada dato en la tabla correspondiente.

Para insertar nodos (barrajes) o líneas, se debe identificar sus respectivos comandos en la barra de herramientas seleccionarlos y dibujarlos en el área de trabajo. Cabe hacer una aclaración. Cualquier elemento puede ser insertado en el área de trabajo y conectarlo posteriormente a algún otro elemento con excepción de las líneas. Para el caso de las líneas deben existir en el área de trabajo los dos puntos que interconectará la línea. Para los demás elementos sencillamente se los

puede unir con “uniones” cuyo símbolo también puede hallarse en la barra de herramientas.

2.7.3. EVALUACIÓN DE CIRCUITOS

Cuando ya se ha planteado el(los) circuito(s) se corrobora que todos los elementos estén interconectados entre sí y se verifica que los datos de entrada estén en su debido espacio.

Posteriormente se debe dirigir al menú “Análisis – Flujo de carga - Calcular”. Si en la ventana de mensajes aparece algún error obligatoriamente la tarea es buscar el error para corregirlo. Para buscar dicho error se dirige esta vez al menú “Editar - Buscar” y se selecciona para el caso “ID”, pues la ventana de mensajes muestra un código ID para el error encontrado.

Luego de seleccionar la opción “Buscar siguiente” el programa muestra la zona errada en un recuadro. Si se selecciona el comando “Mostrar diálogo” en el cuadro de diálogo aparecerá la ventana de datos de entrada. Sencillamente se modifican los datos equivocados y se da clic en Aceptar.

Si se desea buscar otro ID ingresamos el nuevo código, por el contrario si ya se desea salir de la búsqueda se presiona el botón “Finalizar”.

Una vez corregidos los errores el programa realizará los cálculos para el flujo de carga que mostrará las condiciones de funcionamiento que tiene el circuito planteado.

2.7.4. ENCABEZADOS Y TEXTOS

Para añadir un cuadro de texto se selecciona el símbolo de cuadro de texto “A” ubicado en la barra de herramientas. Este aparecerá en el área de trabajo. Si se desea cambiar las propiedades de la escritura es necesario dar doble clic sobre el cuadro de texto.

Para ingresar encabezados se direcciona al menú “Insertar - Encabezado”. Dar clic en el diagrama para pegar el encabezado.

Si se dirige al menú “Opciones - Encabezado” aparece una caja de diálogo con las respectivas líneas de texto del encabezado, por supuesto se pueden modificar las líneas del proyecto. En el menú “Opciones – Ajustes del proyecto” se despliega una caja de diálogo donde se puede modificar la descripción del proyecto.

2.7.5. CREAR, ABRIR, GUARDAR E IMPRIMIR PROYECTOS

En el menú “Archivo” existe un submenú con las opciones para crear, abrir, guardar e imprimir proyectos. Se debe mencionar que en la barra de herramientas también se pueden encontrar estas opciones con los símbolos respectivos.

Para crear un proyecto se selecciona la opción “Crear” y se otorga un nombre al proyecto.

Para abrir un proyecto se selecciona la opción “Abrir” y se busca la carpeta en la cual se encuentra el proyecto que se desea abrir.

Para guardar por primera vez un proyecto se selecciona la opción “Guardar como” y se podrá dar el destino que se desee. Cuando el proyecto se encuentra guardado previamente se debe seleccionar la opción “Guardar” para que sólo se guarden las modificaciones.

Para imprimir proyectos se selecciona la opción “Imprimir” donde se permitirá escoger el tipo de hoja y las propiedades de la impresión. Se debe mencionar que existe una opción llamada “Vista previa” que permite observar el estado en el cual quedará la impresión del proyecto.

3. RESULTADOS

En la selección de los materiales juega un papel muy importante los cálculos realizados, la disposición de materiales en el mercado y las características de los mismos.

Para aclarar la metodología de selección se procede a especificar uno a uno los componentes seleccionados para este proyecto.

3.1. CONDUCTOR

La selección del conductor es un punto crucial en todo diseño de circuito sin importar el nivel de tensión que se requiera, ya que cualquier fallo matemático puede conllevar a no conformidades con la normativa vigente y problemas adicionales como fluctuaciones, interrupciones constantes y aún otros inconvenientes.

Para el presente proyecto se estableció como base la capacidad de potencia aparente instalada en terreno, es decir, la sumatoria de los 19 transformadores existentes. Dicha capacidad es de 765 kVA con un factor de potencia de 0,91 y una corriente de cortocircuito trifásica de 5,47 kA y monofásica de 2,59 kA en el barraje de la subestación ubicada en La Paz, Cesar.

Con estos datos se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6. Potencia instalada en San José de Oriente

Datos iniciales:	
Tensión de alimentación (kV)	13,2
Potencia instalada aparente (kVA)	765
Factor de potencia	0,91
Potencia activa (kW)	696,150
Potencia reactiva (kVAR)	317,175
Corriente (A)	33,460
Corriente de corto circuito (kA)	5,47

Con los resultados obtenidos se selecciona el conductor y se comprueba que efectivamente mantenga un porcentaje de regulación adecuado para no causar

distorsiones en el sistema de distribución y así no se repita la problemática que hasta el momento ha existido en el circuito existente.

Se mencionó que el porcentaje de regulación permitido se encuentra entre dos valores: 5% y 3%. Para el caso de distribución en zonas rurales y para el peor caso de la instalación se permite un máximo de variación del 5% entre el nivel de tensión (voltios) en el barraje de la subestación y el punto final. No es recomendable trabajar en el límite del 5% para evitar futuras caídas de tensión por aumento de carga en el corregimiento.

Ahora bien, se hace necesario evaluar los distintos tipos de conductores con los cuales se cuenta en el mercado.

Para el presente proyecto se debe mencionar que el operador de red no realiza grandes inversiones en trabajos que no proporcionan una recuperación de la inversión en un corto o mediano plazo por ser una entidad no gubernamental. Cuando los proyectos de mejora involucran altos costos y la carga consumida no proporciona una cifra adecuada para el sostenimiento del proyecto se opta por dar una solución alternativa. En este caso se puede observar que se optó por un circuito radial que alimentase varios territorios que sí pudieran sustentar el costo de inversión.

Con tal objetivo en mente es necesario aminorar en cuanto sean posible los gastos de inversión y mantenimiento del proyecto propuesto. Es por eso que descarta la posibilidad de la utilización de conductores de cobre, pues su valor en el mercado supera bastante a los conductores de aluminio.

Dentro de los conductores de aluminio se cuenta con un grupo considerable. Ya se han mencionado anteriormente las características de los conductores AAC, AAAC, ACAR, ACSR y ACSR/AW. Todos poseen una aplicabilidad específica. Para este proyecto se requiere un cable conductor que soporte tensiones por curvatura y ascensión del terreno, es decir, no se trata de una vía recta, por el contrario posee varias curvas a derecha y a izquierda que condiciona el diseño a conductores reforzados que pueden soportar esas desviaciones del terreno sin sufrir ningún tipo de rotura; adicional a eso, se debe tener en cuenta que desde La Paz a San José existe una elevación de terreno de 165 a 3093 metros sobre el nivel del mar, existiendo así un ascenso de 2928 metros.

Por las condiciones de terreno mencionadas se descartan las opciones de solo aluminio para pensar en las que se encuentran reforzadas con acero, o por sus siglas ACSR y ACSR/AW. Ambas son buenas opciones para el proyecto, sin embargo aquí entra un factor de diseño: el factor económico.

El cable ACSR sencillo cumple las condiciones de diseño y posee valores de compra por debajo del ACSR/AW, por lo tanto se define el cable ACSR como el propuesto para este proyecto.

Ahora se identifica el calibre del conductor del circuito. Para la corriente que se espera circule por los conductores se puede seleccionar un calibre relativamente bajo como lo es el cable 4 AWG. Ocurre un inconveniente con este calibre, su alta resistividad que hace que el porcentaje de regulación sea de casi el 11%. Este valor excede más del doble del 5% permitido en zonas rurales.

Tabla 7. Parámetros del conductor

Conductor	
Longitud del circuito (km)	17
Código	Penguin
Calibre AWG	4/0
Diámetro (mm)	14,31
RMG (mm)	4,61
Resistencia AC a 75°C (Ω /km)	0,396
Capacidad de corriente (A)	355
Resistencia a 50°C (Ω /km)	0,363
Resistencia total (Ω)	6,177
Inductancia (H/m)	9,093E-07
Reactancia inductiva XL (Ω /m)	3,428E-04
Reactancia inductiva XL (Ω /km)	0,343
Reactancia total XL (Ω)	5,827
Impedancia Z	
Magnitud (Ω)	8,492
Angulo ($^{\circ}$)	43,333

Tabla 8. Variación de tensión del circuito diseñado

Variación de tensión ΔV (v)	
Resultado rectangular	
Componente real (v)	465,776
Componente imaginaria j(v)	158,911
Resultado polar	
Magnitud (v)	492,138
Angulo ($^{\circ}$)	18,838
Porcentaje de regulación (%)	3,566

Por tal motivo se designó un cable 4/0 AWG que aminora las pérdidas por resistencia ofreciendo una regulación del 3,566% que permite tener un margen mayor ante el peor punto de la instalación. Las tablas 7, 8, 9 y 10 ilustran los resultados obtenidos desde valores como resistividad del conductor hasta la potencia a entregar desde la subestación de La Paz.

Tabla 9. Variación de la potencia del circuito diseñado

Variación de la potencia ΔS (kVA)	
Resultado rectangular	
Componente real (kW)	20,746
Componente imaginaria (kVAR)	19,573
Resultado polar	
Magnitud (kVA)	28,522
Angulo (°)	43,333

Tabla 10. Potencia total a entregar en la subestación

Potencia a entregar en S/E (kVA)	
Resultado rectangular	
Componente real (kW)	716,896
Componente imaginaria (kVAR)	336,748
Resultado polar	
Magnitud (kVA)	792,047
Angulo (°)	25,161
Porcentaje de variación (%)	3,728

3.2. ESTRUCTURAS DE SOPORTE

El operador de red ha planteado en el circuito existente estructuras de ferro concreto troncóticos con una resistencia de rotura de 750 kg. Este aspecto ha sido tenido en cuenta por la durabilidad del material y por su bajo costo en mantenimiento post instalación.

Como ya se mencionó anteriormente, la distancia que separa la subestación de La Paz hasta la interconexión eléctrica de San José de Oriente es de 17 km. Sin

embargo existe un tramo vial de 5 km desde la subestación hasta el sitio en donde se encuentra el cruce para dirigirse a San José de Oriente. A lo largo de esos 5 km existen estructuras de soporte de concreto cuya función es soportar la red existente de distribución del circuito de Manaure (Cesar) que se dirige hacia el municipio de Manaure y a su vez termina suministrando energía a San José en su final del circuito.

En la figura 12 se aprecia de color azul el recorrido del circuito Manaure-Cesar. Es notable que dicho circuito no suministra energía únicamente a Manaure y San José de Oriente, por el contrario distribuye energía a otros municipios cercanos tales como Urumita y Palo Negro junto con algunas veredas, entre las que destacan las veredas El Canadá, San Martín, El Cielo, La Sobola, La Planada, entre otras. Esto ocasiona los inconvenientes que hasta el momento se vislumbran en San José por encontrarse al final del circuito.

La línea de color rojo presenta la ruta de acceso a San José, y por donde se pretende construir el circuito propuesto en este proyecto. Teniendo en cuenta las estructuras de soporte existentes, se propone la instalación de un segundo circuito en las estructuras existentes en esos primeros 5 kilómetros.

Para los 12 kilómetros restantes se propone la instalación de estructuras de soporte también de ferro concreto troncótico por su durabilidad, resistencia ante la corrosión, y por supuesto los bajos costos de mantenimiento.



Figura 12. Circuito Manaure - Cesar

FUENTE. [16]

Debido a que sólo se va a soportar los conductores, crucetas, fusibles y herrajes no se requerirá una resistencia muy alta a la rotura, pues la mayor carga la soportará del conductor seleccionado que no supera los 433 kg por cada kilómetro, dejando así una carga de aproximadamente 21,65 kg cada 50 metros (distancia de separación entre postes de media tensión), las cargas ejercidas por la curvatura del terreno y el peso de los materiales instalados sobre la estructura.

La distancia de separación entre postes recomendada por el operador de red en distribución eléctrica en zonas rurales es de 50 metros, esto se hace con la intención de evitar roturas indeseadas a corto plazo en las estructuras de soporte, y a su vez evitar la interrupción inesperada del suministro eléctrico por fallas como esta. Además existe la precaución contra accidentes catastróficos que puedan causar pérdidas no sólo de materiales sino también humanas.

Teniendo en cuenta dicha distancia entre las estructuras y la longitud del terreno que se pretende abarcar con la instalación de las mismas, se hace necesaria la instalación de 240 estructuras para suplir las necesidades de diseño.

La distancia entre los conductores sobre la estructura está dada según el anexo 7 donde se plantea que para tensiones inferiores a 57,5 kV no varía dicha distancia. Para obtenerla sencillamente se tiene un valor inicial de 30 centímetros adicionando por cada kV mayor a los 8,7 kV un centímetro. Para el caso, como 13,2 kV excede en 4,5 kV la distancia de separación mínima entre un conductor y otro será de 34,5 cm (Véase la tabla 11).

Tabla 11. Selección de estructura y distancia horizontal entre conductores

Estructura seleccionada: poste de ferro concreto troncocónicos	
Altura (m)	12
Profundidad de empotramiento (m)	1,8
Distancia horizontal fase a fase(m)	0,345
Distancia horizontal extremos (m)	0,690
Distancia equivalente (m)	0,435
Carga de ruptura (kg)	750
Longitud del terreno para instalar postes (km)	12
Distancia poste a poste (km)	0,05
Cantidad de postes a instalar	240
Postes instalados actualmente	100

3.3. AISLADORES

Para seleccionar los tipos y la cantidad de aisladores en el circuito alimentador se debe tener en cuenta dos aspectos importantes. El primero es el seccionamiento del circuito para facilidades de mantenimiento, y el otro es la condición física del terreno, en pocas palabras los ángulos que debe soportar el circuito en sus 17 kilómetros.

Inicialmente se recuerda que fuera de las 240 estructuras de concreto que se requieren, ya existen 5 kilómetros de estructuras cimentadas, lo que da un total de 100 estructuras instaladas. Este dato es importante porque influye en la cantidad de aisladores. En la tabla 12 se tabularon los resultados obtenidos mediante la observación para determinar la cantidad de curvas y ángulos que requieren características especiales en el diseño del proyecto.

Tabla 12. Tipos de estructura según el ángulo formado entre los conductores

Tipo de estructura	Cantidad
Angulo fuerte (mayor o igual a 90°)	8
Angulo simple (de 5 a 30°)	28
Alineación (de 0 a 5°)	285
Anclaje (Cada 1000 metros)	17
Seccionamiento de circuito	2
Total	340

Para las estructuras en alineación se prefiere el aislador de paso o line post, pues sólo se requiere de un único aislador por conductor que pase sobre la estructura y no requiere una carga de rotura demasiado alta debido a que no soportará la tensión total de la línea como lo es en el caso de los aisladores en suspensión. El material recomendado es el polimérico por su resistencia a los golpes y al efecto corona. Ante tales condiciones se propone la instalación de 3 aisladores por cada estructura en alineación.

Las estructuras con ángulo simple requieren una mayor resistencia mecánica por la tensión ejercida hacia uno de los lados de la estructura. Por lo tanto se necesitan 6 aisladores line post poliméricos que a su vez deben estar soportados sobre dos crucetas.

Para el caso de las estructuras con ángulo fuerte existe un mayor cambio en la cantidad y tipo de aisladores por la tensión mecánica a la que se somete el conductor y la disposición física del circuito en este tipo de estructuras, es decir, se

requiere dividir el circuito en dos partes: una superior y otra inferior unidas por segmentos de conductor denominados puentes. Por tal razón se recomienda el uso de 6 aisladores de suspensión poliméricos, 3 para cada lado de la red soportados sobre dos pares de crucetas. Los aisladores en suspensión poliméricos ofrecen protección ante posibles roturas y soportan una tensión de 70 kilo Newtons brindando así una seguridad frente al movimiento de los conductores. Además a los aisladores en suspensión se requieren 3 aisladores line post poliméricos para evitar así la suspensión del conductor por debajo de la cruceta superior y causar inconvenientes en futuros mantenimientos en tensión. Finalmente se debe anexar 1 aislador tensor de porcelana para aislar el cable de retenida de la estructura eléctrica superior.

Las estructuras de anclaje se establecen con el objetivo de unir los conductores en las estructuras donde se termina el tramo del conductor, para el caso se tienen carretes de 1000 metros de longitud, por lo tanto se requieren 17 estructuras en anclaje. Para este tipo de estructuras se necesitan 6 aisladores en suspensión poliméricos para cada extremo de la estructura y 3 aisladores line post poliméricos para evitar el contacto con la cruceta.

En las estructuras donde se secciona el circuito se requieren 6 aisladores en suspensión poliméricos. En cada lado de la estructura se ubican 3 aisladores, uno por conductor.

En la tabla 13 se aprecia la cantidad de aisladores propuestos para el proyecto.

Tabla 13. Cantidad de aisladores para el circuito diseñado

Tipo de aislador	Cantidad
Line post	1098
Suspensión	162
Tensor	8

3.4. CRUCETAS

Las crucetas, encargadas de soportar los conductores y los aisladores, deben seleccionarse de acuerdo a los mismos aspectos de los aisladores, es decir, seccionamiento del circuito y condición física del terreno.

Para cumplir con lo anterior se tiene en cuenta lo descrito en la tabla 12.

Antes de mencionar la cantidad de crucetas para cada tipo de estructura, se llama la atención a la distancia mínima de separación entre conductores. En la tabla 11 se aprecia que la distancia entre los conductores extremos (fases R y T) es de 69 cm. Con el fin de evitar tener los conductores justo en el extremo de la cruceta se seleccionan crucetas de 1 metro de longitud, dejando así 15,5 cm libres en cada extremo. Las crucetas se seleccionan de material metálico por su resistencia a la corrosión.

Para las estructuras en alineación es necesaria solo 1 cruceta por estructura, mientras que para las estructuras en ángulo simple se emplean 2 crucetas para soportar los 6 aisladores.

Para los seccionamientos se requieren 3 crucetas. Dos de ellas para soportar los aisladores y una auxiliar para instalar los elementos de protección.

Para las estructuras de ángulo fuerte se necesitan 4 crucetas para sostener los aisladores de ambos extremos.

A partir de los requerimientos según el tipo de estructura se propone un total de 396 crucetas angulares metálicas de 1 metro de longitud para el proyecto.

3.5. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Toda instalación eléctrica debe constar de elementos de protección en donde se los necesite. Para el presente proyecto sólo existen dos puntos en los cuales se seccionará el circuito. El primero se ubica en el cruce entre Manaure y San José de Oriente a 5 km de La Paz para ofrecer comodidades en el trabajo de mantenimiento futuro al estar cerca de La Paz y justo en el punto en el cual se separan los circuitos Manaure-Cesar y el circuito propuesto. En este punto se hace necesaria la instalación de 3 corta circuitos con sus respectivos fusibles de 40 amperios por la corriente calculada que circula por el circuito de 33,46 A.

En el segundo punto se propone la instalación de un interruptor trifásico (Switch) que cumpla la función de interconectar el circuito Manaure con el propuesto en caso de que se necesite suministrar energía de un circuito a otro por causas como catástrofes naturales, caídas de líneas a tierra, mantenimiento preventivo, entre otras causas posibles.

Con lo anterior tenemos 3 corta circuitos y 1 interruptor (Switch tripolar) en SF6 para disminuir su tamaño.

3.6. HERRAJES

Como ya se definió, un herraje es un elemento metálico cuya única función es mantener todo en el sitio que le corresponde.

Para la instalación de una red de media tensión se necesitan los siguientes tipos de herrajes:

- Soporte diagonal para cruceta: Cada cruceta necesita 2 soportes diagonales que a su vez se encuentran asegurados a la estructura de soporte.
- Perno de acero galvanizado de 5/8" x 14" con tuerca: Estos pernos se utilizan para instalar los soportes diagonales (2 por soporte), las crucetas (1 por cruceta o par de crucetas unidas).
- Banda de 7" a 6": Se utiliza para sostener al interruptor (2 por interruptor)
- Tornillo de acero galvanizado de 5/8" x 6" con tuerca: Estos tornillos se utilizan para asegurar los aisladores de suspensión junto con sus grilletes y grapas a la cruceta (2 por grupo), para soportes en L para corta circuito (2 por soporte), para banda de cable de retenida (2 por banda), para grapa de retenida (2 por grapa).
- Cable acerado para retenida: Se requieren 10 metros por cada estructura en ángulo fuerte.
- Ancla acerada para cable de retenida: Para cada estructura en ángulo fuerte se necesita 1.
- Pletina de sujeción para cable de retenida: Se encarga de soportar el cable acerado para retenida a la estructura de soporte o poste (1 por estructura en ángulo fuerte).
- Soporte en L para corta circuito: 1 por corta circuito
- Grapa bimetálica de suspensión aluminio 4/0: Se utiliza para unir el conductor al aislador en suspensión (1 por aislador en suspensión).
- Grapa de acero para ancla de retenida: Une el cable de retenida al ancla (1 por estructura en ángulo fuerte).
- Grillete de acero inoxidable de 5/8" para aislador de suspensión: Se utiliza para asegurar el aislador en suspensión al perno que lo une a la cruceta (1 por aislador en suspensión).
- Conector bimetálico AWG 4/0 a 4/0: Se utiliza para unir el circuito en las estructuras en la que finaliza un tramo de línea (3 por anclaje).

Con los herrajes mencionados anteriormente es posible erigir las estructuras diseñadas para el circuito propuesto. En la tabla 14 se aprecia la cantidad de cada herraje necesario.

Tabla 14. Cantidad de herrajes para el circuito diseñado

Nombre de herraje	Cantidad
Soporte diagonal para cruceta	826
Perno de acero galvanizado de 5/8" x 14" con tuerca	1977
Soporte circular banda 6" a 7"	2
Tornillo de acero galvanizado de 5/8" x 6" con tuerca	362
Cable acerado para retenida (m)	80
Ancla acerada para cable de retenida	8
Pletina de sujeción para cable de retenida	8
Soporte en L para corta circuito	3
Grapa bimetálica de suspensión de Aluminio 4/0	162
Grapa de acero para ancla de retenida	8
Grillete de acero inoxidable de 5/8" para aislador de suspensión	162
Conector bimetálico AWG 4/0 a 4/0	51

3.7. VALOR DE INVERSIÓN

Hasta el momento se han descrito los materiales propuestos. A continuación se evalúa el factor económico del proyecto para dar un valor estimado de los materiales para ejecutar el proyecto. Además se adiciona el valor del personal contratista requerido (1 grúa, 2 canastas en tensión livianas, 2 brigadas mixtas) para lograr que el proyecto sea ejecutado correctamente. Disponiendo de un promedio de 8 estructuras cimentadas por día junto con su conducción e instalación de todos los elementos y herrajes, teniendo en cuenta que se deben cimentar 240 estructuras se estima un lapso de 30 para esta sección.

Para las otras 100 estructuras sólo se requiere el personal de las canastas en tensión livianas, debido a que únicamente se va a instalar el armado, es decir, todos los elementos y herrajes excluyendo el poste. Estimando un rendimiento de 10 armados junto con los conductores diarios se puede prolongar la instalación por 10 días más.

Resumiendo acciones se tienen dos partes:

- a. 30 días para los 240 postes nuevos. Se requiere 1 grúa, 2 canastas en tensión livianas y 2 brigadas mixtas sin tensión.
- b. 10 días para los 100 postes existentes. Se requieren únicamente las 2 canastas en tensión livianas.

En la tabla 15 se observa detalladamente el costo por inversión en materiales y mano de obra. Es necesario mencionar que los datos estimados anteriormente al igual que los valores presentados en la tabla de valor de inversión fueron proporcionados por entrevistas realizadas a brigadas pertenecientes a la empresa contratista UTSEI para el caso de la mano de obra, y consulta directa al operador de red para el caso de los materiales.

Se propone la instalación de los elementos de protección que no existen actualmente en los transformadores de distribución para contribuir a la seguridad de los usuarios finales. Actualmente existen 15 transformadores que no cuentan con dichas protecciones.

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

El análisis de los resultados obtenidos cumple una etapa importante en todo proyecto, ya que permite definir si se cumple o no con las normas establecidas. El punto crítico a evaluar es el porcentaje de regulación por la solidificación que ofrece al circuito.

El valor obtenido con el diseño propuesto es del 3,566% que se encuentra inmerso en los rangos permitidos, a saber 3% y 5% para zonas rurales. Además a ello se seleccionó un conductor calibre AWG 4/0 que soporta aproximadamente 10 veces la corriente calculada para el circuito por dos sencillas razones. La primera, contribuye a la mejora del porcentaje de regulación de tensión pues un calibre menor empeora dicho valor por su alta impedancia. La segunda razón es la adecuación para unir dos circuitos eléctricos de media tensión cuando alguno de los dos falle, es decir, si en algún momento futuro la zona que depende del circuito Manaure-Cesar requiere energía del circuito de San José de Oriente por cualquier circunstancia, éste tenga la capacidad de entregarla sin riesgo a la sobrecarga o recalentamiento en el conductor. Ante esto se debe mencionar que la potencia entregada para ambos circuitos depende de la subestación de La Paz, lo cual no alteraría en absoluto el cambio de dos circuitos por uno, ya que la potencia a entregar por la subestación sigue siendo la misma.

Con la instalación del interruptor o Switch se soluciona lo expuesto en el párrafo anterior. Dicho interruptor se instala justo en la estructura donde se unen finalmente los dos circuitos.

Finalmente se observa que la potencia de entrega por parte de la subestación supera en un 3,728% los 765 kVA instalados en San José de Oriente, o lo que es mejor, se entregan 792 kVA con un ángulo de desfase de 25,2° que se puede

descomponer en 716,9 kW y 336,7 kVAR. Con lo cual se mantiene una pérdida porcentual controlada y no afecta de ninguna manera a los usuarios finales.

Tabla 15. Valor de inversión total del proyecto

Materiales	Valor unitario	Valor real
Conductor ACSR 4/0 AWG (PENGUIN)	\$3.129	\$159.579.000
Poste de concreto 12m y 750kg	\$936.912	\$224.858.880
Aislador Line post polimérico 13,2kV	\$158.539	\$174.075.822
Aislador de suspensión polimérico 13,2kV	\$23.894	\$3.870.828
Aislador tensor porcelana de 1/2"	\$13.337	\$106.696
Cruceta angular metálica de 1m	\$62.419	\$25.779.047
Corta circuito 13,2kV	\$183.558	\$550.674
Fusible de expulsión tipo K 40 Amp	\$2.627	\$7.881
Switch telecontrolado tripolar 13,2kV	\$30.844.840	\$30.844.840
Soporte diagonal para cruceta	\$14.384	\$11.881.184
Perno galvanizado de 5/8" x 14" con tuerca	\$3.143	\$6.213.711
Soporte circular banda 6" a 7"	\$40.279	\$80.558
Tornillo de acero galvanizado de 5/8" x 6" con tuerca	\$2.553	\$924.186
Cable acerado para retenida (m)	\$3.317	\$265.360
Ancla acerada para cable de retenida	\$49.233	\$393.864
Pletina de sujeción para cable de retenida	\$38.097	\$304.776
Soporte en L para corta circuito	\$12.056	\$36.168
Grapa bimetálica de suspensión de Aluminio 4/0	\$38.222	\$6.191.964
Grapa de acero para ancla de retenida	\$73.652	\$589.216
Grillete de acero inoxidable de 5/8" para aislador de suspensión	\$95.474	\$15.466.788
Conector bimetálico AWG 4/0 a 4/0	\$9.805	\$500.055
TOTAL MATERIALES		\$662.021.443
Mano de obra		
Jornada brigada de grúa	\$824.000	\$24.720.000
Jornada brigada mixta diurna	\$281.931	\$16.915.860
Jornada brigada en tensión con canasta	\$924.550	\$73.964.000
TOTAL MANO DE OBRA		\$115.599.860
Materiales para transformadores de distribución		
Soporte para descargador de sobretensión de 13,2kV	\$5.216	\$177.344
Descargador de sobretensión auto válvula de 13,2kV	\$101.854	\$3.463.036
Sistema de puesta a tierra para 13,2kV	\$164.364	\$2.465.460
TOTAL MATERIALES PARA TRANSFORMADORES		\$6.105.840
TOTAL		\$783.727.143

El factor de potencia se reporta con 0,91 y se sabe que para que sea aceptado debe ser como mínimo 0,9. Esto quiere decir que el proyecto cumple con los valores regulados y estandarizados para cualquier diseño de distribución de energía eléctrica.

3.9. SIMULACIÓN

La simulación en el programa seleccionado NEPLAN muestra el comportamiento natural del flujo de carga establecido para el diseño de este proyecto. Además a ello, se observan los niveles de corriente de corto circuito que se pueden alcanzar ante cualquier falla presentada en cualquier extremo del circuito. Estos resultados son los ya descritos anteriormente en el proceso de diseño.

4. PRESUPUESTO

Para el diseño del circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar) se requiere del presupuesto presentado en la tabla 16.

Tabla 16. Presupuesto de diseño

DESCRIPCION	TAREAS	VALOR
	Diseños cálculos regulación	\$ 179.000
	Impresión Planos	\$ 30.000
	Tramites	\$ 297.000
	Aprobación	\$ 1.636.000
	Consultoría	\$ 1.000.000
Mano de obra	Ingeniero de diseño	\$ 2.800.000
VALOR TOTAL		\$ 5.942.000

5. CRONOGRAMA

Para cumplir con los objetivos de este proyecto se planteó el cronograma de trabajo relacionado en la tabla 17.

Tabla 17. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES		DISTRIBUCION TEMPORAL															
		MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Desarrollo de la etapa exploratoria	■															
2	Determinación del problema de investigación		■														
3	Formulación de los objetivos		■														
4	Selección de los elementos para el marco teórico			■													
5	Definición de la metodología de desarrollo			■													
6	Elaboración de la propuesta				■												
7	Toma de datos presenciales					■	■										
8	Elaboración de la memoria de cálculos							■									
9	Elaboración de recomendaciones								■								
10	Elaboración de conclusiones									■	■						
11	Elaboración del borrador final de la tesis									■	■	■	■	■	■	■	
13	Correcciones																■
14	Entrega de la versión final de la tesis																■

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la elaboración de este proyecto se puede afirmar que el estado deplorable en el que se encuentran las redes de media tensión del circuito Manaure (Cesar) causan una gran cantidad de inconvenientes a los usuarios finales. Además a ello se constató que dicho circuito radial alimenta una carga muy dispersa territorialmente, lo que hace que el nivel de tensión no sea el deseado en las zonas más retiradas de la matriz principal del circuito.

La ruta de acceso al corregimiento de San José de Oriente posee una zona de servidumbre en ambos lados de la vía lo suficientemente espaciosa que puede ser aprovechada con la instalación de un circuito de media tensión independiente para mejorar la calidad del servicio energético que se presta a la zona.

Los habitantes del corregimiento de San José de Oriente afirman necesitar una reestructuración del sistema eléctrico para mejorar su eficiencia en las actividades cotidianas, agrónomas y comerciales.

La población afectada necesita una solución eficaz e instantánea para evitar disturbios con el municipio de Manaure por cuestiones políticas o sociales que se generan por presunción, o por un intento de mejorar el sistema eléctrico en Manaure sin importar que se genere una interrupción prolongada de energía en San José de Oriente.

En caso de existir una respuesta positiva a las necesidades expresadas de los usuarios finales en el corregimiento de San José de Oriente, ésta debe mantener un costo de inversión no muy elevado para así no tener inconvenientes mayores con el retorno de la inversión.

Si dicho circuito se construye la interconexión entre los dos circuitos debe ser tenida en cuenta para los casos en los que exista una interrupción del servicio eléctrico en cualquier parte de alguno de los circuitos alimentadores.

Luego de obtener un diseño conciso en este proyecto, se pueden realizar las siguientes recomendaciones.

Se debe instalar un segundo circuito para suministrar energía eléctrica al corregimiento de San José de Oriente que en la actualidad es la zona con mayores fluctuaciones y problemáticas en el ámbito eléctrico. Además se ofrece una solución viable para dar por finalizados los conflictos sociopolíticos presentes entre San José de Oriente y Manaure, evitando así la interrupción indeseada del suministro energético a cualquiera de las poblaciones.

La instalación del circuito contribuye a la mejora de la calidad del servicio energético ofrecido a San José de Oriente otorgando así la oportunidad de que sus habitantes cuenten con una mejora continua en sus actividades cotidianas, agrónomas y comerciales.

El circuito propuesto debe ser trazado por la vía que une al municipio de La Paz (lugar donde se encuentra la subestación eléctrica más cercana) con el corregimiento de San José de Oriente aprovechando una zona de servidumbre junto a la vía de acceso que supera los 2 metros en su 17 km de longitud.

Los materiales necesarios para la instalación del circuito propuesto deben estar seleccionados de acuerdo a lo expuesto en este proyecto o en caso de no conformidades por parte del ente que se encargue de ejecutar el proyecto, que se seleccionen elementos cuyos valores se encuentren cercanos a los propuestos en el mercado nacional o internacional para garantizar así un valor de inversión que no exceda en sobremanera lo requerido para un proyecto de esta índole.

La interconexión de los dos circuitos a través de un interruptor de media tensión (Switch) para suplir las necesidades de cualquiera de los circuitos en caso de que exista falla o algún tipo de mantenimiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. D. GLOVER, «Sistemas de potencia: Análisis y diseño,» Tercera ed., Mexico, Thomson, 2004.
- [2] COLOMBIA MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, «Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas,» Bogotá, 2008.
- [3] M. PIZPIRETA, «Emagister,» 3 Junio 2009. [En línea]. Available: <http://www.emagister.com/curso-transmision-distribucion-energia-electrica/estructuras-postes-tipos-mensulas-crucetas-espaciadores>. [Último acceso: 8 Marzo 2013].
- [4] NORMAS Y ESTANDARES CAESS, «El Salvador C.A.,» Enero 2002. [En línea]. Available: <http://www.aeselsalvador.com/portal/LinkClick.aspx?fileticket=RjiQMytBc9g%3D&tabid=490&mid=1228>. [Último acceso: 5 Marzo 2013].
- [5] BLOQUE DE SENADORES DEL PARTIDO GEN, «Bloque de senadores del partido GEN,» 22 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://www.senadoresgen.com.ar/noticia.php?id=473>. [Último acceso: 25 Febrero 2013].
- [6] MENOTTI & CIA LTDA, «Menotti & Cia LTDA,» [En línea]. Available: <http://www.menotticia.com/productos.php>. [Último acceso: 25 02 2013].
- [7] DREAMSTIME, «Dreamstime,» [En línea]. Available: <http://es.dreamstime.com/fotograf%C3%ADa-de-archivo-libre-de-regal%C3%ADas-poste-el%C3%A9ctrico-horizontalmente-image20478627>. [Último acceso: 25 Febrero 2013].
- [8] CONDUCTORES DEL NORTE, «Conductores del norte,» [En línea]. Available: <http://www.cdeln.com/index.php?q=producto/cable-aac>. [Último acceso: 1 Marzo 2013].
- [9] PD WIRE & CABLE CONAL, «Promelsa,» [En línea]. Available: <http://www.promelsa.com.pe/pdf/02104268.pdf>. [Último acceso: 1 Marzo 2013].

- [10] ENCICLOPEDIA LIBRE UNIVERSAL EN ESPAÑOL, «Enciclopedia libre universal en español,» 2008. [En línea]. Available: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Aislador>. [Último acceso: 3 Marzo 2013].
- [11] INVERSIONES SANTELY C.A., «Inversiones Santely C.A.,» [En línea]. Available: <http://www.inversionessantely.com/Productos%20-%20Aisladores.php>. [Último acceso: 2 Marzo 2013].
- [12] M. E. HERNANDEZ, «Blogspot,» [En línea]. Available: <http://grupo2tecnologiasenacodensa.blogspot.com/p/cortacircuitos.html>. [Último acceso: 2 Marzo 2013].
- [13] J. MANZANO, Electricidad I, teoría básica y prácticas, Barcelona: Marcombo, 2008.
- [14] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, Código eléctrico colombiano, Primera actualización ed., Bogotá: ICONTEC, 1998.
- [15] J. JACOME, «Blogspot,» 21 Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://sanjosedeorientecesar.blogspot.com/>. [Último acceso: 2 Marzo 2013].
- [16] GOOGLE, «Google maps,» Enero 2013. [En línea]. Available: <http://maps.google.es/>. [Último acceso: 3 Marzo 2013].
- [17] M. QUINTERO, Artist, *Circuito Manaure - Cesar*. [Art]. Universidad de la Costa, 2012.
- [18] SCRIBD_api_user_11797_Jhusel, «Scribd,» 17 Octubre 2008. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/6982162/Tutorial-Neplan>. [Último acceso: 5 Marzo 2013].
- [19] CENTELSA, «CENTELSA,» 2004. [En línea]. Available: <http://www.centelsa.com.co/index.php?idioma=es>. [Último acceso: 5 Marzo 2013].

ÍNDICE

ALAMBRE: 13, 29, 31

CABLE: 13, 26, 29, 30, 31, 46, 47, 48, 57, 58, 59, 63, 65, 66, 68

CARGA INSTALADA: 13, 15, 52

CIRCUITO ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN: 13, 15, 16, 18, 19, 21-25, 33, 43, 47, 52-55, 60, 61, 65, 69, 74, 76, 77

CONDUCTOR: 13, 16, 23, 25, 26, 29-42, 47-49, 52, 54, 56-59, 61-65, 67-69

CORREGIMIENTO: 13, 15, 16, 19-23, 38, 43, 44, 50-52, 54, 55, 57, 60, 74, 76, 77

CORRIENTE: 13, 24, 30-35, 37, 40, 41, 52, 56, 58, 64, 69

DISEÑO: 13, 15, 16, 18, 20-22, 24-26, 29-32, 34-36, 38, 39, 41, 43, 46, 47, 49, 50, 52, 56, 57, 60-62, 69-71, 74, 77

ENTIDAD GUBERNAMENTAL: 13, 20, 43, 57

ESTRUCTURA: 13, 23, 25-27, 41, 42, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 59-65, 67

NO CONFORMIDAD: 13, 16, 56, 77

NTC: 13, 41, 46, 52

OPERADOR DE RED: 13, 17, 19, 20, 24, 43, 50-53, 57, 59, 61, 67

POTENCIA ACTIVA: 13, 40, 56

POTENCIA APARENTE: 13, 56

POTENCIA REACTIVA: 13, 16, 39, 40, 56

RED: 13, 14, 16-20, 22, 24-26, 28, 29, 32, 34, 37-39, 42-44, 46-55, 57, 59-61, 63, 65, 67, 76

REGULACIÓN DE TENSIÓN: 14, 15, 38, 39, 53, 69

RETIE: 14, 15, 26, 43, 46, 47


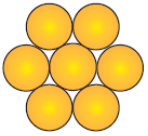
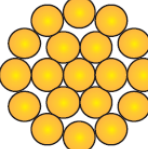
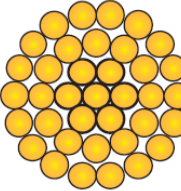
SISTEMA DE INTERCONEXIÓN NACIONAL: 14, 17, 24

SUMINISTRO: 14-16, 19, 20, 24, 61, 77

TENSIÓN: 13-77

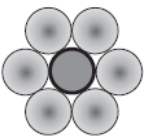
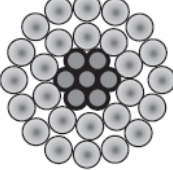
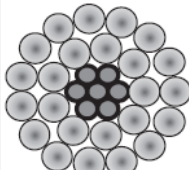
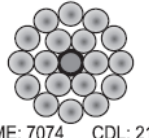
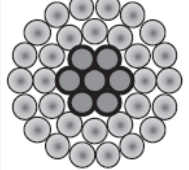
ANEXOS

Anexo 1. Tabla de conductores cobre desnudo

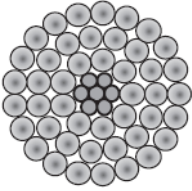
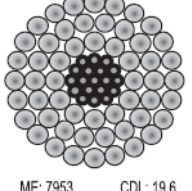
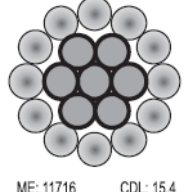
Cableado	Calibre	Diámetros (mm)			Peso Total Aprox. (kg/km)	Cobre Duro (4)			Cobre Suave (4)			Capacidad de Corriente	
		Hilos	Cable	RMG		Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/km)		Carga de Rotura(1) kg	Resistencia (Ohm/km)		(2) A	CC(3) kA
							DC a 20°C	AC a 75°C		DC a 20°C	AC a 75°C		
Cableado 1 Hilo 	14 AWG	1,63	1,63	0,63	18,5	-	-	-	42	8,29	10,08	40	0,46
	12 AWG	2,05	2,05	0,80	29,4	-	-	-	67	5,21	6,34	55	0,72
	10 AWG	2,59	2,59	1,01	46,8	-	-	-	106	3,28	3,99	70	1,15
Cableado 7 Hilos 	8 AWG	1,23	3,70	1,34	75,9	353	2,19	2,64	169	2,10	2,56	100	1,83
	6 AWG	1,56	4,67	1,69	120,6	557	1,37	1,66	269	1,32	1,61	130	2,9
	4 AWG	1,96	5,88	2,14	191,8	879	0,865	1,044	427	0,831	1,011	175	4,5
	2 AWG	2,47	7,42	2,69	305,0	1381	0,544	0,657	679	0,523	0,636	235	7,2
Cableado 19 Hilos 	1/0 AWG	1,89	9,47	3,59	484,9	2223	0,342	0,413	1080	0,329	0,400	315	11,7
	2/0 AWG	2,13	10,63	4,03	611,4	2790	0,271	0,328	1362	0,261	0,317	365	14,8
	3/0 AWG	2,39	11,94	4,52	771,0	3492	0,215	0,260	1718	0,207	0,252	420	18,6
	4/0 AWG	2,68	13,40	5,08	972,2	4362	0,171	0,206	2166	0,164	0,199	490	23,5
Cableado 37 Hilos 	250 kcmil	2,09	14,62	5,61	1149	5242	0,144	0,174	2559	0,139	0,169	540	27,2
	300 kcmil	2,29	16,01	6,15	1378	6291	0,120	0,145	3071	0,116	0,141	610	32,7
	350 kcmil	2,47	17,29	6,64	1608	7283	0,103	0,125	3583	0,0992	0,121	670	38,1
	400 kcmil	2,64	18,49	7,10	1838	8311	0,0902	0,109	4095	0,0868	0,106	730	43,5
	500 kcmil	2,95	20,67	7,94	2297	10212	0,0722	0,0872	5119	0,0694	0,0844	840	54,4
Cableado 61 Hilos	750 kcmil	2,82	25,35	9,78	3446	15462	0,0481	0,0581	7678	0,0463	0,0563	1085	81,6
	1000 kcmil	3,25	29,27	11,30	4595	20424	0,0361	0,0436	10238	0,0347	0,6359	1300	108,8

Fuente. [20]

Anexo 2. Tabla de conductores de aluminio ACSR


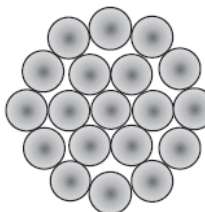
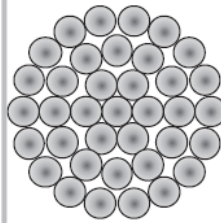
Cableado Aluminio/Acero	Código	Calibre AWG/ Kcmil	Diámetros (mm)					Peso Total Aprox (kg/km)			Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/ km)		Capacidad de Corriente		
			Hilos Individuales		Núcleo	Total	RMG	Al	Acero	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(2) A	CC(3) kA	
			Acero	Al												
Cableado 6/1  ME: 8400 CDL: 18,9	Swan	4	2,12	2,12	2,12	6,36	2,05	58,1	27,4	85,5	845	1,32	1,70	139	3,2	
	Sparrow	2	2,67	2,67	2,67	8,01	2,58	92,3	43,6	136	1290	0,83	1,10	184	5,1	
	Robin	1	3,00	3,00	3,00	9,00	2,90	116,4	55,0	171	1612	0,658	0,884	211	6,4	
	Raven	1/0	3,37	3,37	3,37	10,11	3,25	146,8	69,3	216	1985	0,522	0,717	241	8,0	
	Quail	2/0	3,78	3,78	3,78	11,35	3,65	185,1	87,4	273	2405	0,414	0,584	275	10,1	
	Pigeon	3/0	4,25	4,25	4,25	12,74	4,10	233,5	110,3	344	3003	0,328	0,479	313	12,8	
	Penguin	4/0	4,77	4,77	4,77	14,31	4,61	294,4	139,0	433	3787	0,260	0,396	355	16,1	
Cableado 26/7  ME: 8358 CDL: 19,0	Partridge	266,8	2,00	2,57	6,00	16,29	6,62	374,8	171,9	547	5120	0,209	0,255	458	20,3	
	Ostrich	300	2,12	2,73	6,36	17,28	7,01	421,5	193,3	615	5757	0,185	0,226	493	22,8	
	Linnet	336,4	2,25	2,89	6,74	18,30	7,43	472,6	216,7	689	6400	0,165	0,202	530	25,6	
	Ibis	397,5	2,44	3,14	7,33	19,89	8,07	558,5	256,1	815	7386	0,140	0,171	589	30,2	
	Hawk	477	2,67	3,44	8,02	21,79	8,85	670,1	307,3	977	8863	0,117	0,142	661	36,3	
	Dove	556,5	2,89	3,72	8,67	23,53	9,55	781,8	358,5	1140	10248	0,100	0,122	728	42,3	
	Squab	605	3,01	3,87	9,04	24,54	9,96	850,0	389,7	1240	11041	0,0919	0,112	767	46,0	
	Grosbeak	636	3,09	3,97	9,27	25,16	10,21	893,5	409,7	1303	11429	0,0875	0,107	792	48,4	
	Gannet	666,6	3,16	4,07	9,49	25,75	10,46	936,5	429,4	1366	11979	0,0835	0,102	816	50,7	
	Starling	715,5	3,28	4,21	9,83	26,68	10,83	1005,2	460,9	1466	12858	0,0777	0,0949	853	54,4	
	Drake	795	3,45	4,44	10,36	28,13	11,42	1116,9	512,1	1629	14287	0,0700	0,0854	912	60,5	
	Cableado 24/7  ME: 7987 CDL: 19,5	Brant	397,5	2,18	3,27	6,54	19,61	7,87	558,5	203,9	762	6641	0,141	0,172	585	30,2
		Flicker	477	2,39	3,58	7,16	21,49	8,63	670,1	244,7	915	7784	0,117	0,143	657	36,3
Parakeet		556,5	2,58	3,87	7,74	23,21	9,32	781,8	285,5	1067	8989	0,100	0,123	724	42,3	
Peacock		605	2,69	4,03	8,07	24,20	9,71	850,0	310,4	1160	9773	0,0924	0,113	763	46,0	
Rook		636	2,76	4,13	8,27	24,81	9,96	893,5	326,3	1220	10273	0,0879	0,107	787	48,4	
Flamingo		666,6	2,82	4,23	8,47	25,40	10,20	936,5	342,0	1279	10768	0,0839	0,102	811	50,7	
Stilt		715,5	2,92	4,39	8,77	26,31	10,57	1005,2	367,1	1372	11558	0,0781	0,0954	848	54,4	
Cukoo		795	3,08	4,62	9,25	27,74	11,14	1116,9	407,9	1525	12666	0,0703	0,0859	906	60,5	
Cableado 18/1  ME: 7074 CDL: 21,2	Waxwing	266,8	3,09	3,09	3,09	15,46	6,00	374,8	58,4	433	3122	0,212	0,259	448	20,3	
	Widgeon (Merlin)	336,4	3,47	3,47	3,47	17,36	6,74	472,6	73,7	546	3937	0,168	0,205	519	25,6	
	Chicadee	397,5	3,77	3,77	3,77	18,87	7,32	558,5	87,1	646	4511	0,142	0,174	576	30,2	
	Pelican	477	4,13	4,13	4,13	20,67	8,02	670,1	104,5	775	5334	0,118	0,145	646	36,3	
	Osprey	556,5	4,47	4,47	4,47	22,33	8,66	781,8	121,9	904	6223	0,102	0,124	712	42,3	
Cableado 30/7  ME: 9081 CDL: 18,0	Kingbird	636	4,77	4,77	4,77	23,87	9,26	893,5	139,3	1033	7111	0,0889	0,109	775	48,4	
	Piper	300	2,54	2,54	7,62	17,78	7,34	423,5	277,1	701	7013	0,184	0,225	498	22,8	
	Oriole	336,4	2,69	2,69	8,07	18,83	7,78	474,9	310,7	786	7864	0,164	0,201	536	25,6	
	Lark	397,5	2,92	2,92	8,77	20,47	8,45	561,2	367,1	928	9227	0,139	0,170	595	30,2	
	Hen	477	3,20	3,20	9,61	22,42	9,26	673,4	440,5	1114	10803	0,116	0,142	668	36,3	
	Eagle	556,5	3,46	3,46	10,38	24,22	10,00	785,6	513,9	1300	12603	0,0994	0,121	736	42,3	
	Wood Duck	605	3,61	3,61	10,82	25,25	10,43	854,1	558,7	1413	13118	0,0914	0,112	776	46,0	
	Scoter	636	3,70	3,70	11,09	25,89	10,69	897,9	587,4	1485	13791	0,0870	0,106	800	48,4	
Skimmer	795	4,13	4,13	12,40	28,94	11,95	1122,4	734,2	1857	17106	0,0696	0,0849	922	60,5		

Continúa en la siguiente página

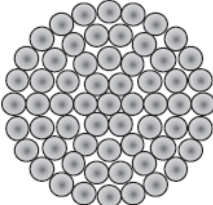
Cableado Aluminio/Acero	Código	Calibre AWG/ Kcmil	Diámetros (mm)					Peso Total Aprox. (kg/km)			Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/ km)		Capacidad de Corriente			
			Hilos Individuales		Núcleo	Total	RMG	Al	Acero	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(2)			
			Acero	Al										A	kA		
	Tern	795	2,25	3,38	6,75	27,01	10,72	1119,6	217,5	1337	10015	0,071	0,088	888	60,5		
	Ruddy	900	2,39	3,59	7,18	28,74	11,41	1267,5	246,3	1514	11085	0,063	0,078	958	68,5		
	Rail	954	2,47	3,70	7,40	29,59	11,75	1343,6	261,0	1605	11750	0,059	0,074	993	72,6		
	Ortolan	1033,5	2,57	3,85	7,70	30,79	12,23	1455,5	282,8	1738	12562	0,055	0,069	1042	78,6		
	Bluejay	1113	2,66	3,99	7,99	31,96	12,69	1567,5	304,6	1872	13528	0,051	0,064	1090	84,7		
	Bunting	1192,5	2,76	4,13	8,27	33,08	13,13	1679,4	326,3	2006	14495	0,047	0,060	1137	90,7		
	Bittern	1272	2,85	4,27	8,54	34,16	13,56	1791,4	348,1	2139	15461	0,044	0,056	1183	96,8		
	Dipper	1351,5	2,93	4,40	8,80	35,21	13,98	1903,4	369,8	2273	16427	0,042	0,053	1227	102,8		
	Bobolink	1431	3,02	4,53	9,06	36,24	14,39	2015,3	391,6	2407	17393	0,040	0,050	1270	108,9		
	Nuthatch	1510,5	3,10	4,65	9,31	37,23	14,78	2127,3	413,3	2541	18181	0,037	0,048	1312	114,9		
	ME: 7251 CDL: 20,8	Lapwing	1590	3,18	4,77	9,55	38,20	15,16	2239,3	435,1	2674	19138	0,036	0,046	1353	121,0	
ME: 7987 CDL: 19,5	Cableado 54/7	Condor	795	3,08	3,08	9,25	27,74	11,23	1122,4	407,9	1530	12787	0,071	0,089	889	60,5	
	Canary	900	3,28	3,28	9,84	29,51	11,95	1270,6	461,8	1732	14476	0,062	0,079	959	68,5		
	Cardinal	954	3,38	3,38	10,13	30,38	12,31	1346,8	489,5	1836	15345	0,059	0,075	994	72,6		
	Curlew	1033,5	3,51	3,51	10,54	31,63	12,81	1459,1	530,3	1989	16624	0,054	0,069	1044	78,6		
ME: 7953 CDL: 19,6		Cableado 54/19	Finch	1113	2,19	3,65	10,94	32,82	13,29	1571,3	559,3	2131	17718	0,050	0,065	1093	84,7
		Grackle	1192,5	2,27	3,77	11,33	33,97	13,76	1683,5	599,3	2283	18984	0,047	0,060	1140	90,7	
		Pheasant	1272	2,34	3,90	11,70	35,09	14,21	1795,8	639,2	2435	19776	0,044	0,057	1185	96,8	
		Martin	1351,5	2,41	4,02	12,06	36,17	14,65	1908,0	679,2	2587	21012	0,042	0,054	1230	102,8	
		Plover	1431	2,48	4,13	12,41	37,22	15,07	2020,2	719,1	2739	22248	0,039	0,051	1274	108,9	
		Parrot	1510,5	2,55	4,25	12,75	38,24	15,49	2132,5	759,1	2892	23484	0,037	0,048	1316	114,9	
		Falcon	1590	2,62	4,36	13,08	39,23	15,89	2244,7	799,0	3044	24720	0,035	0,046	1357	121,0	
		ME: 7407 CDL: 20,5	Cableado 84/19	Chuckar	1780	2,22	3,70	11,09	40,67	16,27	2458,0	580,2	3038	23110	0,031	0,038	1508
Bluebird	2156	2,44	4,07	12,21	44,76	17,91	2977,3	702,8	3680	27355	0,026	0,031	1702	164,0			
Cab. 72/7 ME: 7059 CDL: 21,2	Kiwi	2167	2,94	4,41	8,81	44,07	17,36	3005,8	374,7	3380	22599	0,026	0,032	1691	164,9		
ME: 7059 CDL: 21,2	Cableado 76/19	Thrasher	2312	2,07	4,43	10,34	45,78	18,24	3216,5	501,8	3718	25717	0,024	0,030	1763	175,9	
		Joree	2515	2,16	4,62	10,78	47,75	19,03	3498,9	545,9	4045	27975	0,022	0,027	1860	191,4	
ME: 11716 CDL: 15,4		Cableado 12/7	Petrel	101,8	2,34	2,34	7,02	11,70	4,54	143,4	235,0	378	4697	0,516	0,824	234	7,7
			Minorca	110,8	2,44	2,44	7,32	12,20	4,73	156,0	255,8	412	5112	0,474	0,772	244	8,4
			Legthorn	134,6	2,69	2,69	8,07	13,45	5,22	189,6	310,8	500	6165	0,390	0,669	269	10,2
			Guinea	159	2,92	2,92	8,77	14,62	5,67	223,9	367,1	591	7255	0,330	0,595	291	12,1
			Dotterel	176,9	3,08	3,08	9,25	15,42	5,98	249,1	408,4	658	7865	0,297	0,554	306	13,5
			Dorking	190,8	3,20	3,20	9,61	16,01	6,21	268,7	440,5	709	8483	0,275	0,527	317	14,5
			Cochin	211,3	3,37	3,37	10,11	16,85	6,54	297,6	487,9	785	9394	0,249	0,494	332	16,1
			Cab. 16/19 ME: 11939 CDL: 16,9	Brahma	203,2	2,48	2,86	12,41	18,13	7,43	285,5	719,2	1005	12887	0,247	0,568	315

Fuente. [20]

Anexo 3. Tabla de conductores de aluminio AAC



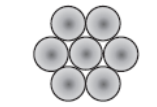

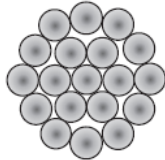

Cableado	Calibre AWG/Kcmil	Código	Diámetros (mm)			Peso Aprox. (kg/km)	Carga de Rotura	Resistencia (Ohm/km)		Capacidad de Corriente	
			Hilos	Cable	RMG			kg	DC a 20°C	AC a 75°C	(1) A
Cableado 7 	4	Rose	1,96	5,88	2,14	58,4	400	1,36	1,66	138	2,4
	2	Iris	2,47	7,42	2,69	92,8	613	0,854	1,04	185	3,9
	1	Pansy	2,78	8,33	3,02	117,0	744	0,678	0,828	214	4,9
	1/0	Poppy	3,12	9,36	3,40	147,5	902	0,537	0,657	247	6,2
	2/0	Aster	3,50	10,51	3,81	186,0	1138	0,426	0,521	286	7,8
	3/0	Phlox	3,93	11,80	4,28	234,6	1377	0,338	0,413	331	9,8
	4/0	Oxlip	4,42	13,25	4,81	295,8	1737	0,268	0,328	383	12,4
	266,8	Daisy	4,96	14,88	5,40	373,0	2190	0,213	0,260	443	15,6
Cableado 19 	300	Peony	3,19	15,96	6,05	419,4	2485	0,189	0,231	478	17,6
	336,4	Tulip	3,38	16,90	6,40	470,3	2786	0,169	0,206	514	19,7
	250	Valerian	2,91	14,57	5,52	349,5	2112	0,227	0,277	426	14,7
	350	Daffodil	3,45	17,24	6,53	489,3	2899	0,162	0,198	527	20,5
	397,5	Canna	3,67	18,37	6,96	555,7	3227	0,143	0,174	571	23,3
	450	Goldentuft	3,91	19,54	7,41	629,1	3578	0,126	0,154	617	26,4
	477	Cosmos	4,02	20,12	7,63	666,9	3793	0,119	0,145	641	28,0
	500	Zinnia	4,12	20,60	7,81	699,0	3976	0,113	0,139	660	29,3
	556,5	Dahlia	4,35	21,73	8,24	778,0	4425	0,102	0,125	706	32,6
	Cableado 37 	500	Hyacinth	2,95	20,67	7,94	699,0	4133	0,113	0,139	660
556,5		Mistletoe	3,12	21,81	8,37	778,0	4510	0,102	0,125	707	32,6
600		Meadowsweet	3,23	22,64	8,69	838,8	4863	0,0945	0,116	741	35,2
636		Orchid	3,33	23,31	8,95	889,2	5155	0,0892	0,109	769	37,3
650		Heuchera	3,37	23,57	9,05	908,7	5268	0,0872	0,107	779	38,1
700		Verbena	3,49	24,46	9,39	978,6	5673	0,0810	0,0990	817	41,0
750		Petunia	3,62	25,31	9,72	1048,5	5957	0,0756	0,0924	853	44,0
795		Arbutus	3,72	26,06	10,01	1111,5	6314	0,0713	0,0872	885	46,6
900		Cockscomb	3,96	27,73	10,65	1258,3	7002	0,0630	0,0770	957	52,8
1000		Hawkweed	4,18	29,23	11,22	1398,1	7781	0,0567	0,0693	1023	58,6
1033,5		Bluebell	4,25	29,72	11,41	1444,9	8041	0,0549	0,0671	1044	60,6

Continúa en la siguiente página

Cableado	Calibre AWG/Kcmil	Código	Diámetros (mm)			Peso Total Aprox kg/km	Carga de Rotura	Resistencia (Ohm/km)		Capacidad de Corriente	
			Hilos	Cable	RMG			kg	DC a 20°C	AC a 75°C	(1) A
Cableado 61 	700	Flag	2,72	24,49	9,45	978,6	5835	0,0810	0,0990	817	41,0
	715,5	Nasturtium	2,75	24,76	9,56	1000,3	5965	0,0793	0,0969	828	42,0
	750	Cattail	2,82	25,35	9,78	1048,5	6132	0,0756	0,0924	853	44,0
	795	Lilac	2,90	26,10	10,07	1111,5	6500	0,0713	0,0872	885	46,6
	900	Snapdragon	3,09	27,77	10,72	1258,3	7214	0,0630	0,0770	957	52,8
	1000	Camellia	3,25	29,27	11,30	1398,1	8016	0,0567	0,0693	1023	58,6
	1033,5	Larkspur	3,31	29,76	11,49	1444,9	8284	0,0549	0,0671	1045	60,6
	1113	Marigold	3,43	30,88	11,92	1556,0	8921	0,0510	0,0623	1095	65,3
	1192,5	Hawthorn	3,55	31,96	12,34	1667,2	9559	0,0476	0,0581	1144	69,9
	1272	Narcissus	3,67	33,01	12,74	1778,3	9992	0,0446	0,0545	1191	74,6
	1351	Columbine	3,78	34,02	13,13	1888,8	10613	0,0420	0,0513	1237	79,2
	1510,5	Gladiolus	4,00	35,97	13,89	2111,8	11623	0,0375	0,0459	1328	88,6
	1590	Coreopsis	4,10	36,91	14,25	2222,9	12235	0,0357	0,0436	1372	93,2
	1750	Jessamine	4,30	38,72	14,95	2446,6	13466	0,0324	0,0396	1458	102,6
Cableado 91	2000	Cowslip	3,77	41,42	16,03	2796,1	15536	0,0284	0,0347	1586	117,3

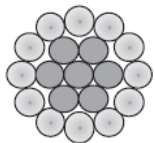
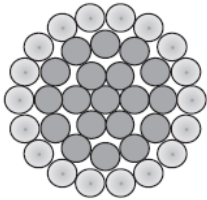
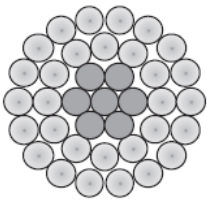
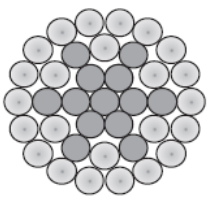
Fuente. [20]

Anexo 4. Tabla de conductores de aluminio AAAC

Cableado	Código/ Calibre	Área	ACSR equivalente del mismo diámetro	Diámetros (mm)			Peso Total Aprox (kg/km)	Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/ km)		Capacidad de Corriente	
				Hilos	Cable	RMG			DC a 20°C	AC a 75°C	(1)	CC(2)
											A	kA
Cableado 7 	Akron	30,58 Kcmil	6 (6/1) AWG Turkey	1,68	5,04	1,83	42,5	502	2,16	2,57	107	1,7
	Alton	48,69 Kcmil	4 (6/1) AWG Swan	2,12	6,36	2,31	67,7	799	1,36	1,62	143	2,6
	Ames	77,47 Kcmil	2 (6/1) AWG Sparrow	2,67	8,02	2,91	107,7	1272	0,853	1,02	191	4,2
	Astoria	97,63 Kcmil	1 (6/1) AWG Robin	3,00	9,00	3,27	135,7	1603	0,677	0,806	221	5,3
	Azusa	123,3 Kcmil	1/0 (6/1) AWG Raven	3,37	10,11	3,67	171,4	1940	0,536	0,638	256	6,7
	Anaheim	155,4 Kcmil	2/0 (6/1) AWG Quail	3,78	11,35	4,12	216,1	2445	0,425	0,507	296	8,4
	Amherst	195,7 Kcmil	3/0 (6/1) AWG Pigeon	4,25	12,74	4,62	272,1	3079	0,338	0,402	342	10,6
	Alliance	246,9 Kcmil	4/0 (6/1) AWG Penguin	4,77	14,31	5,19	343,3	3884	0,268	0,319	396	13,3
Cableado 19 	Butte	312,8 Kcmil	266,8 (26/7) kcmil Partridge	3,26	16,30	6,18	434,9	4767	0,211	0,252	461	16,9
	Canton	394,5 Kcmil	336,4 (26/7) kcmil Linnet	3,66	18,30	6,94	548,5	6012	0,168	0,200	533	21,3
	Cairo	465,4 Kcmil	397,5 (26/7) kcmil Ibis	3,98	19,88	7,53	647,0	7093	0,142	0,169	592	25,1
	Darien	559,5 Kcmil	477 (26/7) kcmil Hawk	4,36	21,79	8,26	777,9	8527	0,118	0,141	665	30,2
	Elgin	652,4 Kcmil	556,5 (26/7) kcmil Dove	4,71	23,53	8,92	907,0	9943	0,101	0,121	732	35,2
Cableado 37 	Flint	740,8 Kcmil	636 (26/7) kcmil Grosbeak	3,59	25,16	9,66	1029,9	11047	0,0892	0,106	794	40,0
	Greeley	927,2 Kcmil	795 (26/7) kcmil Drake	4,02	28,15	10,81	1289,1	13827	0,0713	0,0849	915	50,1
Cableado 7 	16 mm ²	18,6 mm ²	-	1,84	5,52	2,00	51,0	603	1,80	2,14	120	2,0
	25 mm ²	29,0 mm ²	-	2,30	6,89	2,50	79,6	940	1,16	1,38	158	3,1
	40 mm ²	46,5 mm ²	-	2,91	8,72	3,17	127,6	1506	0,720	0,858	212	5,0
	63 mm ²	73,2 mm ²	-	3,65	10,95	3,97	200,8	2273	0,458	0,545	283	7,8
Cableado 19 	100 mm ²	116 mm ²	-	2,79	13,94	5,28	318,3	3641	0,289	0,344	379	12,4
	160 mm ²	186 mm ²	-	3,53	17,65	6,69	510,3	5594	0,180	0,214	510	19,8
	200 mm ²	232 mm ²	-	3,94	19,71	7,47	636,6	6978	0,144	0,172	586	24,7
	250 mm ²	290 mm ²	-	4,41	22,04	8,35	795,7	8722	0,116	0,138	674	30,9
Cableado 37 	315 mm ²	366 mm ²	-	3,55	24,84	9,54	1004,2	10772	0,0915	0,109	782	39,0
	400 mm ²	465 mm ²	-	4,00	28,00	10,75	1275,9	13685	0,0720	0,0858	909	49,6
	500 mm ²	581 mm ²	-	4,47	31,30	12,02	1594,1	17099	0,0577	0,0687	1046	62,0

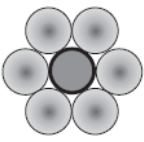
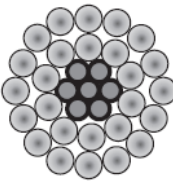
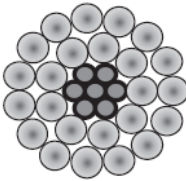
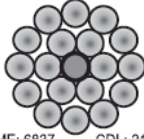
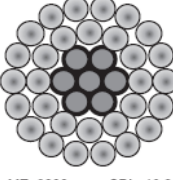
Fuente. [20]

Anexo 5. Tabla de conductores de aluminio ACAR

Cableado Aluminio/Aleación	Calibre Kcmil	Diámetros (mm)			Peso Total Aprox. (kg/km)			Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/ km)		Capacidad de Corriente	
		Hilos de Aleación y de Aluminio	Total	RMG	Al	AAAC	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(1)	CC(2)
											A	kA
Cableado 12/7  ME: 6374 CDL: 23,0	250	2,91	14,57	6,77	220,7	128,1	349	2813	0,239	0,290	417	14,7
	300	3,19	15,96	7,42	264,9	153,7	419	3344	0,199	0,242	468	17,6
	350	3,45	17,24	8,02	309,0	179,3	488	3817	0,171	0,207	515	20,5
	400	3,69	18,43	8,57	353,2	204,9	558	4319	0,150	0,181	560	23,5
	450	3,91	19,54	9,09	397,3	230,5	628	4811	0,133	0,161	604	26,4
	500	4,12	20,60	9,58	441,5	256,1	698	5345	0,120	0,145	645	29,3
	550	4,32	21,61	10,05	485,6	281,7	767	5880	0,109	0,132	685	32,2
600	4,51	22,57	10,49	529,8	307,3	837	6414	0,100	0,121	724	35,2	
Cableado 18/19  ME: 6403 CDL: 23,0	500	2,95	20,67	9,40	340,1	357,0	697	6000	0,122	0,148	640	29,3
	550	3,10	21,68	9,86	374,1	392,7	767	6555	0,111	0,134	679	32,2
	600	3,23	22,64	10,30	408,1	428,4	836	7151	0,102	0,123	718	35,2
	650	3,37	23,57	10,72	442,1	464,1	906	7536	0,0941	0,114	755	38,1
	700	3,49	24,46	11,13	476,1	499,8	976	8116	0,0874	0,105	791	41,0
	750	3,62	25,31	11,52	510,1	535,5	1046	8633	0,0816	0,0985	826	44,0
	800	3,73	26,14	11,90	544,1	571,2	1115	9209	0,0765	0,0923	861	46,9
	850	3,85	26,95	12,26	578,1	606,8	1185	9714	0,0720	0,0869	894	49,8
	900	3,96	27,73	12,62	612,1	642,5	1255	10285	0,0680	0,0820	927	52,8
	950	4,07	28,49	12,96	646,1	678,2	1324	10857	0,0644	0,0777	959	55,7
	1000	4,18	29,23	13,30	680,1	713,9	1394	11428	0,0612	0,0738	991	58,6
	1050	4,28	29,95	13,63	714,1	749,6	1464	11999	0,0583	0,0703	1022	61,6
	1100	4,38	30,66	13,95	748,1	785,3	1533	12571	0,0556	0,0671	1052	64,5
1200	4,57	32,02	14,57	816,2	856,7	1673	13714	0,0510	0,0615	1112	70,4	
Cableado 30/7  ME: 6338 CDL: 23,0	500	2,95	20,67	9,40	566,8	131,5	698	4900	0,117	0,142	653	29,3
	550	3,10	21,68	9,86	623,5	144,7	768	5316	0,106	0,129	693	32,2
	600	3,23	22,64	10,30	680,1	157,8	838	5800	0,0971	0,118	732	35,2
	650	3,37	23,57	10,72	736,8	171,0	908	6203	0,0897	0,109	770	38,1
	700	3,49	24,46	11,13	793,5	184,1	978	6680	0,0833	0,101	807	41,0
	750	3,62	25,31	11,52	850,2	197,3	1047	7057	0,0777	0,0946	843	44,0
	800	3,73	26,14	11,90	906,8	210,4	1117	7527	0,0728	0,0886	878	46,9
	850	3,85	26,95	12,26	963,5	223,6	1187	7883	0,0686	0,0834	913	49,8
	900	3,96	27,73	12,62	1020	236,7	1257	8347	0,0648	0,0788	946	52,8
	950	4,07	28,49	12,96	1076,9	249,9	1327	8811	0,0613	0,0746	979	55,7
	1000	4,18	29,23	13,30	1134	263,0	1397	9275	0,0583	0,0709	1011	58,6
	1050	4,28	29,95	13,63	1190,2	276,2	1466	9738	0,0555	0,0675	1043	61,6
	1100	4,38	30,66	13,95	1247	289,3	1536	10202	0,0530	0,0645	1074	64,5
1200	4,57	32,02	14,57	1360	315,6	1676	11130	0,0486	0,0591	1135	70,4	
Cableado 24/13  ME: 6370 CDL: 23,0	500	2,95	20,67	9,40	453,4	244,2	698	5394	0,119	0,145	646	29,3
	550	3,10	21,68	9,86	498,8	268,7	767	5874	0,109	0,132	686	32,2
	600	3,23	22,64	10,30	544,1	293,1	837	6408	0,0995	0,121	725	35,2
	650	3,37	23,57	10,72	736,8	171,0	908	6203	0,0897	0,109	770	38,1
	700	3,49	24,46	11,13	634,8	341,9	977	7322	0,0853	0,103	799	41,0
	750	3,62	25,31	11,52	680,1	366,4	1046	7764	0,0796	0,0965	835	44,0
	800	3,73	26,14	11,90	725,5	390,8	1116	8282	0,0746	0,0904	870	46,9
	850	3,85	26,95	12,26	770,8	415,2	1186	8708	0,0702	0,0851	903	49,8
	900	3,96	27,73	12,62	816,2	439,6	1256	9220	0,0663	0,0804	937	52,8
	950	4,07	28,49	12,96	861,5	464,1	1326	9733	0,0628	0,0762	969	55,7
	1000	4,18	29,23	13,30	906,8	488,5	1395	10245	0,0597	0,0724	1001	58,6
	1050	4,28	29,95	13,63	952,2	512,9	1465	10757	0,0568	0,0689	1032	61,6
	1100	4,38	30,66	13,95	997,5	537,3	1535	11269	0,0543	0,0658	1063	64,5
1200	4,57	32,02	14,57	1088,2	586,2	1674	12294	0,0497	0,0603	1123	70,4	

Fuente. [20]

Anexo 6. Tabla de conductores de aluminio ACSR/AW

Cableado Aluminio/Acero	Código	Calibre AWG/ Kcmil	Diámetros (mm)					Peso Total Aprox. (kg/km)			Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/ km)		Capacidad de Corriente	
			Hilos Individuales		Núcleo	Total	RMG	Al	Acero	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(2) A	CC(3) kA
			Acero	Al											
 ME: 7757 CDL: 20,0	Swan/AW	4	2,12	2,12	2,12	6,36	2,05	58,1	23,2	81,3	109	1,280	1,563	145	3,2
	Sparrow/AW	2	2,67	2,67	2,67	8,01	2,58	92,3	36,9	129,3	1252	0,805	0,983	194	5,1
	Robin/AW	1	3,00	3,00	3,00	9,00	2,90	116,4	46,6	163,0	1565	0,638	0,779	225	6,4
	Raven/AW	1/0	3,37	3,37	3,37	10,11	3,25	146,8	58,7	205,6	1925	0,506	0,618	260	8,0
	Quail/AW	2/0	3,78	3,78	3,78	11,35	3,65	185,1	74,1	259,2	2329	0,401	0,490	301	10,1
	Pigeon/AW	3/0	4,25	4,25	4,25	12,74	4,10	233,5	93,4	326,8	2860	0,318	0,389	348	12,8
	Penguin/AW	4/0	4,77	4,77	4,77	14,31	4,61	294,4	117,8	412,1	3486	0,253	0,308	402	16,1
 ME: 7728 CDL: 20,0	Partridge/AW	266,8	2,00	2,57	6,00	16,29	6,62	374,8	145,6	520	4897	0,202	0,247	465	20,3
	Ostrich/AW	300	2,12	2,73	6,36	17,28	7,01	421,5	163,7	585	5507	0,180	0,220	501	22,8
	Linnet/AW	336,4	2,25	2,89	6,74	18,30	7,43	472,6	183,6	656	6119	0,161	0,196	538	25,6
	Ibis/AW	397,5	2,44	3,14	7,33	19,89	8,07	558,5	216,9	775	7164	0,136	0,166	598	30,2
	Hawk/AW	477	2,67	3,44	8,02	21,79	8,85	670,1	260,3	930	8597	0,113	0,138	670	36,3
	Dove/AW	556,5	2,89	3,72	8,67	23,53	9,55	781,8	303,7	1085	9938	0,097	0,118	739	42,3
	Squab/AW	605	3,01	3,87	9,04	24,54	9,96	850,0	330,1	1180	10704	0,089	0,109	779	46,0
	Grosbeack/AW	636	3,09	3,97	9,27	25,16	10,21	893,5	347,0	1241	11252	0,085	0,104	804	48,4
	Gannet/AW	666,6	3,16	4,07	9,49	25,75	10,46	936,5	363,7	1300	11794	0,081	0,099	828	50,7
	Starling/AW	715,5	3,28	4,21	9,83	26,68	10,83	1005,2	390,4	1396	12659	0,075	0,092	866	54,4
	Drake/AW	795	3,45	4,44	10,36	28,13	11,42	1116,9	433,8	1551	13844	0,068	0,083	926	60,5
 ME: 7470 CDL: 20,5	Brant/AW	397,5	2,18	3,27	6,54	19,61	7,87	558,5	172,7	731	6376	0,137	0,168	592	30,2
	Flicker/AW	477	2,39	3,58	7,16	21,49	8,63	670,1	207,3	877	7573	0,114	0,140	664	36,3
	Parakeet/AW	556,5	2,58	3,87	7,74	23,21	9,32	781,8	241,8	1024	8743	0,098	0,120	732	42,3
	Peacock/AW	605	2,69	4,03	8,07	24,20	9,71	850,0	262,9	1113	9504	0,090	0,110	772	46,0
	Rook/AW	636	2,76	4,13	8,27	24,81	9,96	893,5	276,4	1170	9991	0,086	0,105	797	48,4
	Flamingo/AW	666,6	2,82	4,23	8,47	25,40	10,20	936,5	289,7	1226	10472	0,082	0,100	821	50,7
	Stilt/AW	715,5	2,92	4,39	8,77	26,31	10,57	1005,2	310,9	1316	11240	0,076	0,093	858	54,4
	Cukoo/AW	795	3,08	4,62	9,25	27,74	11,14	1116,9	345,5	1462	12489	0,069	0,084	917	60,5
 ME: 6837 CDL: 21,7	Waxwing/AW	266,8	3,09	3,09	3,09	15,46	6,00	374,8	49,5	424	3097	0,210	0,256	451	20,3
	Widgeon (Merlin)/AW	336,4	3,47	3,47	3,47	17,36	6,74	472,6	62,4	535	3873	0,166	0,203	521	25,6
	Chicadee/AW	397,5	3,77	3,77	3,77	18,87	7,32	558,5	73,7	632	4435	0,141	0,172	579	30,2
	Pelican/AW	477	4,13	4,13	4,13	20,67	8,02	670,1	88,5	759	5198	0,117	0,143	650	36,3
	Osprey/AW	556,5	4,47	4,47	4,47	22,33	8,66	781,8	103,2	885	6011	0,101	0,123	716	42,3
	Kingbird/AW	636	4,77	4,77	4,77	23,87	9,26	893,5	118,0	1012	6809	0,088	0,107	779	48,4
 ME: 8230 CDL: 19,2	Piper/AW	300	2,54	2,54	7,62	17,78	7,34	423,5	234,7	658	6774	0,177	0,216	509	22,8
	Oriole/AW	336,4	2,69	2,69	8,07	18,83	7,78	474,9	263,2	738	7596	0,158	0,192	547	25,6
	Lark/AW	397,5	2,92	2,92	8,77	20,47	8,45	561,2	310,9	872	8909	0,133	0,163	608	30,2
	Hen/AW	477	3,20	3,20	9,61	22,42	9,26	673,4	373,1	1047	10612	0,111	0,136	682	36,3
	Eagle/AW	556,5	3,46	3,46	10,38	24,22	10,00	785,6	435,3	1221	12159	0,095	0,116	751	42,3
	Wood Duck/AW	605	3,61	3,61	10,82	25,25	10,43	854,1	473,3	1327	12877	0,088	0,107	792	46,0
	Scoter/AW	636	3,70	3,70	11,09	25,89	10,69	897,9	497,5	1395	13283	0,083	0,102	818	48,4
	Skimmer/AW	795	4,13	4,13	12,40	28,94	11,95	1122,4	621,9	1744	16155	0,067	0,081	941	60,5

Continúa en la siguiente página

Cableado Aluminio/Acero	Código	Calibre AWG/ Kcmil	Diámetros (mm)					Peso Total Aprox. (kg/km)			Carga de Rotura kg	Resistencia (Ohm/km)		Capacidad de Corriente	
			Hilos Individuales		Núcleo	Total	RMG	Al	Acero	Total		DC a 20°C(1)	AC a 75°C	(2) A	CC(3) kA
			Acero	Al											
	Tern/AW	795	2,25	3,38	6,75	27,01	10,72	1119,6	184,3	1304	9733	0,070	0,086	901	60,5
	Ruddy/AW	900	2,39	3,59	7,18	28,74	11,41	1267,5	208,6	1476	10872	0,062	0,076	974	68,5
	Rail/AW	954	2,47	3,70	7,40	29,59	11,75	1343,6	221,1	1565	11525	0,059	0,071	1010	72,6
	Ortolan/AW	1033,5	2,57	3,85	7,70	30,79	12,23	1455,5	239,5	1695	12318	0,054	0,066	1063	78,6
	Bluejay/AW	1113	2,66	3,99	7,99	31,96	12,69	1567,5	258,0	1825	13265	0,050	0,061	1114	84,7
	Bunting/AW	1192,5	2,76	4,13	8,27	33,08	13,13	1679,4	276,4	1956	14213	0,047	0,057	1164	90,7
	Bittern/AW	1272	2,85	4,27	8,54	34,16	13,56	1791,4	294,8	2086	15160	0,044	0,054	1212	96,8
	Dipper/AW	1351,5	2,93	4,40	8,80	35,21	13,98	1903,4	313,3	2217	16108	0,041	0,050	1259	102,8
	Bobolink/AW	1431	3,02	4,53	9,06	36,24	14,39	2015,3	331,7	2347	17055	0,039	0,048	1306	108,9
	Nuthatch/AW	1510,5	3,10	4,65	9,31	37,23	14,78	2127,3	350,1	2477	18003	0,037	0,045	1351	114,9
ME: 6960 CDL: 21,5	Lapwing/AW	1590	3,18	4,77	9,55	38,20	15,16	2239,3	368,5	2608	18950	0,035	0,043	1396	121,0
Cableado 54/7	Condor/AW	795	3,08	3,08	9,25	27,74	11,23	1122,4	345,5	1468	12611	0,069	0,084	915	60,5
	Canary/AW	900	3,28	3,28	9,84	29,51	11,95	1270,6	391,1	1662	14077	0,061	0,074	990	68,5
	Cardinal/AW	954	3,38	3,38	10,13	30,38	12,31	1346,8	414,6	1761	14922	0,057	0,070	1027	72,6
	ME: 7470 CDL: 20,5	Curlew/AW	1033,5	3,51	3,51	10,54	31,63	12,81	1459,1	449,1	1908	15936	0,053	0,065	1080
Cableado 54/19	Finch/AW	1113	2,19	3,65	10,94	32,82	13,29	1571,3	473,8	2045	17017	0,049	0,060	1131	84,7
	Grackle/AW	1192,5	2,27	3,77	11,33	33,97	13,76	1683,5	507,6	2191	18233	0,046	0,056	1182	90,7
	Pheasant/AW	1272	2,34	3,90	11,70	35,09	14,21	1795,8	541,5	2337	19242	0,043	0,053	1231	96,8
	Martin/AW	1351,5	2,41	4,02	12,06	36,17	14,65	1908,0	575,3	2483	20445	0,041	0,050	1279	102,8
	Plover/AW	1431	2,48	4,13	12,41	37,22	15,07	2020,2	609,1	2629	21648	0,038	0,047	1326	108,9
	Parrot/AW	1510,5	2,55	4,25	12,75	38,24	15,49	2132,5	643,0	2775	22850	0,036	0,044	1372	114,9
	ME: 7447 CDL: 20,5	Falcon/AW	1590	2,62	4,36	13,08	39,23	15,89	2244,7	676,8	2922	24053	0,035	0,042	1418
Cableado 84/19	Chuckar/AW	1780	2,22	3,70	11,09	40,67	16,27	2458,0	491,5	2949	22390	0,031	0,037	1519	135,4
	ME: 7068 CDL: 21,2	Bluebird/AW	2156	2,44	4,07	12,21	44,76	17,91	2977,3	595,3	3573	26774	0,025	0,031	1715
Cab.72/7 ME: 6827 CDL: 21,8	Kiwi/AW	2167	2,94	4,41	8,81	44,07	17,36	3005,8	317,4	3323	22279	0,026	0,031	1698	164,9
Cableado 76/19	Thrasher/AW	2312	2,07	4,43	10,34	45,78	18,24	3216,5	425,1	3642	25092	0,024	0,029	1772	175,9
	ME: 6827 CDL: 21,8	Joree/AW	2515	2,16	4,62	10,78	47,75	19,03	3498,9	462,4	3961	27295	0,022	0,027	1869
Cableado 12/7	Petrel/AW	101,8	2,34	2,34	7,02	11,70	4,54	143,4	199,1	342	4494	0,468	0,570	281	7,7
	Minorca/AW	110,8	2,44	2,44	7,32	12,20	4,73	156,0	216,7	373	4891	0,430	0,524	296	8,4
	Leghorn/AW	134,6	2,69	2,69	8,07	13,45	5,22	189,6	263,2	453	5896	0,354	0,431	335	10,2
	Guinea/AW	159	2,92	2,92	8,77	14,62	5,67	223,9	310,9	535	6938	0,300	0,365	372	12,1
	Dotterel/AW	176,9	3,08	3,08	9,25	15,42	5,98	249,1	346,0	595	7689	0,269	0,328	398	13,5
	Dorking/AW	190,8	3,20	3,20	9,61	16,01	6,21	268,7	373,1	642	8293	0,250	0,304	417	14,5
	ME: 10058 CDL: 17,0	Cochin/AW	211,3	3,37	3,37	10,11	16,85	6,54	297,6	413,2	711	8973	0,226	0,275	445
Cab.16/19 ME: 11939 CDL: 16,9	Brahma/AW	203,2	2,48	2,86	12,41	18,13	7,43	285,5	609,2	895	12286	0,215	0,262	464	15,5

Fuente. [20]

Anexo 7. Distancia horizontal entre conductores soportados en la misma estructura de apoyo

CLASE DE CIRCUITO Y TENSIÓN ENTRE LOS CONDUCTORES CONSIDERADOS	DISTANCIAS HORIZONTALES DE SEGURIDAD (cm)
Conductores de comunicación expuestos	15 ⁽¹⁾ 7,5 ⁽²⁾
Alimentadores de vías férreas 0 a 750 V No. 4/0 AWG o mayor calibre. 0 a 750 V calibre menor de No. 4/0 AWG Entre 750 V y 8,7 kV.	15 30 30
Conductores de suministro del mismo circuito. 0 a 8,7 kV Entre 8,7 y 50 kV Más de 50 kV	30 30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV Ningún valor especificado
Conductores de suministro de diferente circuito ⁽³⁾ 0 a 8,7 kV Entre 8,7 y 50 kV Entre 50 kV y 814 kV	30 30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV 72,5 más 1 cm por kV sobre 50 kV

FUENTE. [2]

Notas:

(1) No se aplica en los puntos de transposición de conductores.

(2) Permitido donde se ha usado regularmente espaciamiento entre pines, menor a 15 cm. No se aplica en los puntos de transposición de conductores.

(3) Para las tensiones que excedan los 57,5 kV, la distancia de seguridad debe ser incrementada en un 3% por cada 300 m en exceso de 1000 metros sobre el nivel del mar. Todas las distancias de seguridad para tensiones mayores de 50 kV se basarán en la máxima tensión de operación.

Anexo 8. Distancia vertical mínima en metros entre conductores sobre la misma estructura

		CONDUCTORES A MAYOR ALTURA		
		CONDUCTORES DE SUMINISTRO A LA INTEMPERIE (TENSIÓN EN kV)		
		HASTA 1 kV	ENTRE 7,6 Y 66 kV	
CONDUCTORES Y CABLES A MENOR ALTURA	Conductores y cables de comunicación. a. Localizados en el apoyo de empresa de comunicaciones. b. Localizados en el apoyo de empresa de energía.		0,4 0,4	0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV. 0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV.
	Conductores de suministro eléctrico a la intemperie	Hasta 1 kV	0,4	0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV
		Entre 1 kV y 7,6 kV	No permitido	0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV
		Entre 11,4 kV y 34,5 kV	No permitido	0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV
		Entre 44 kV y 66 kV	No permitido	0,4 más 0,01 m por kV sobre 7,6 kV

FUENTE. [2]

Anexo 9. Carta de entrega y autorización del autor para la consulta, reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado

Barranquilla, 15 de Marzo de 2013

Trabajo de grado

Yo **Michell Josep Quintero Durán**, identificado con C.C. No. **1143129853**, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado “Diseño de circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar)” aprobado en el año 2013 como requisito para optar al título de Ingeniero Eléctrico; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 22 días del mes de Marzo de Dos Mil Trece 2013.

EL AUTOR - ESTUDIANTE. _____

FIRMA

Anexo 10. Formulario de la descripción de la tesis de grado

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

DISEÑO DE CIRCUITO DE MEDIA TENSIÓN PARA ALIMENTAR EL CORREGIMIENTO DE SAN JOSÉ DE ORIENTE (CESAR)

AUTOR AUTORES

Apellidos completos	Nombres completos
Quintero Durán	Michell Josep

DIRECTOR (ES)

Apellidos completos	Nombres completos

JURADO (S)

Apellidos completos	Nombres completos

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos completos	Nombres completos

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELÉCTRICO

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA: Pregrado

NOMBRE DEL PROGRAMA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Anexo 11. Material anexo

CIUDAD: Barranquilla

AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO: 2013

NÚMERO DE PÁGINAS: 94

TIPO DE ILUSTRACIONES:

Ilustraciones Planos

Láminas Mapas

Retratos Fotografías

Tablas, gráficos y diagramas

MATERIAL ANEXO (Vídeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ minutos.

Número de casetes de vídeo: _____ Formato: VHS ___ Beta Max ___ ¾ ___
Beta Cam _____

Mini DV ___ DV Cam ___ DVC Pro ___ Vídeo 8 ___ Hi 8 ___

Otro. ¿Cuál? _____

Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____

Número de casetes de audio: _____

Número de archivos dentro del DVD (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado):

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientará).

ESPAÑOL

INGLÉS

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS:(Máximo 250 palabras-1530 caracteres):
