

IDENTIFICACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE UN PROYECTO DE  
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA

OSCAR IVAN ARENAS SUAREZ  
MIGUEL ANDRÉS BAUTISTA PINZÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2014

IDENTIFICACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE UN PROYECTO DE  
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA

OSCAR IVAN ARENAS SUAREZ  
MIGUEL ANDRÉS BAUTISTA PINZÓN

Trabajo de Grado para optar el título de  
Ingeniero electricista

DIRECTOR:  
Dr. GERARDO LATORRE BAYONA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2014

## **Dedicatoria**

*A Dios gracias por haberme permitido alcanzar tan anhelada meta, dedico este triunfo a mis padres Elvira Suarez y Reynaldo Arenas por su valioso apoyo incondicional y desinteresado.*

*A mi hermano Reynaldo porque gracias a su buen ejemplo fue mi referencia, a mi querida hermana Juliana porque siempre estuvo presente creyendo en mí.*

*A mi novia Ismary por acompañarme en mis logros y sobre todo en mis dificultades durante la carrera.*

**Oscar Iván Arenas Suarez**

## **Dedicatoria**

*A mis padres Ángel Miguel Bautista Hernández y Flor María Pinzón Quiroga quienes me han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.*

*A mis hermanos y familiares por ser parte de mi proyecto de vida.*

**Miguel Andrés Bautista Pinzón**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA.....	16
1 SITUACIÓN ACTUAL DE POBLACIONES NO CONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA NACIONAL .....	18
1.1 NORMAS VIGENTES .....	18
1.2 PROBLEMA .....	19
1.3 ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES .....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	20
1.5 IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS PARA EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA.....	21
1.6 SELECCIÓN DE UN PROYECTO .....	21
1.6.1 Características del municipio .....	22
1.6.2 Características de la vereda.....	23
1.6.3 Población beneficiada .....	24
1.6.4 Estudio legal.....	24
2 MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	24
2.1.1 Aplicaciones aisladas de la red .....	24
2.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico.....	25
2.2 REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL .....	25
3 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS DEL DISEÑO FOTOVOLTAICO .....	26
3.1 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA VIVIENDAS RURALES .....	26
3.1.1 Estimación del consumo .....	27
3.1.2 Cálculos eléctricos .....	27
3.1.3 Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos.....	28
3.1.4 Inclinação y orientación de los módulos fotovoltaicos .....	30
3.1.5 Dimensionamiento del sistema de acumulación (baterías) .....	30

3.1.6 Dimensionamiento del regulador.....	31
3.1.7 Dimensionamiento del inversor .....	32
3.1.8 Especificaciones técnicas de materiales y equipos.....	33
3.1.9 Distribución por actividad para el montaje de un sistema fotovoltaico individual 34	
3.1.10 Presupuesto .....	34
3.1.11 Costo de administración, operación y mantenimiento (AOM) para el sistema fotovoltaico. 35	
3.1.12 Costo total de la inversión para sistemas fotovoltaicos .....	35
3.1.13 Precio del kWh instalado por medio de generación fotovoltaica .....	35
4 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	36
4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO .....	36
4.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	37
4.2.1 Demanda máxima .....	37
4.2.2 Curva de demanda máxima diversificada .....	37
4.2.3 Proyección de la demanda.....	38
4.3 DISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA .....	39
4.3.1 Regulación de tensión.....	40
4.3.2 Calculo de pérdidas de potencia en la red .....	42
4.3.3 Posibles configuraciones para el diseño de la red de media y baja tensión..	43
4.4 CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN .....	46
4.4.1 Regulación .....	46
4.4.2 Tensión nominal.....	46
4.4.3 Tipos y calibres de conductores .....	46
4.4.4 Tipos y localización de estructuras .....	47
4.4.5 Templetes .....	47
4.4.6 Presupuesto .....	48
4.5 CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN.....	48
4.5.1 Regulación .....	48
4.5.2 Tensión nominal.....	48
4.5.3 Tipos y calibres de conductores.....	48

4.5.4 Tipos y localización de estructuras .....	49
4.5.5 Templetes .....	49
4.5.6 Cálculos mecánicos del conductor para la red de media tensión.....	51
4.5.7 Presupuesto .....	55
4.6 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	55
4.6.1 Localización .....	56
4.6.2 Número de transformadores .....	56
4.6.3 Relación de transformación.....	56
4.6.4 Instalación de puestas a tierra para transformadores .....	56
4.6.5 Selección de protecciones .....	57
4.6.6 Presupuesto .....	58
4.7 COSTO TOTAL DE INVERSIÓN POR MEDIO DE LA EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA .....	58
4.8 PRECIO DEL kWh INSTALADO EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL POR MEDIO DE LA EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA .....	58
5 CUADRO COMPARATIVO DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR .....	58
6 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO .....	59
6.1 ESTUDIO SOCIAL .....	59
6.1.1 Situación actual.....	59
6.1.2 Situación esperada.....	61
6.2 ESTUDIO DE MERCADO .....	61
6.3 ESTUDIO AMBIENTAL .....	61
6.3.1 Etapa de planificación .....	62
6.3.2 Etapa de construcción.....	62
6.3.3 Etapa de operación .....	63
6.3.4 Etapa de abandono .....	63
6.4 FORMULACIÓN ANTE EL FONDO DE FINANCIACIÓN .....	64
6.4.1 Requisitos para la presentación de proyectos de sistemas fotovoltaicos ante el fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas –FAZNI. ....	65
BIBLIOGRAFIA.....	69
ANEXOS.....	71

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Componentes del sistema fotovoltaico .....	26
Tabla 2. Cuadros de carga .....	27
Tabla 3. Cálculos eléctricos .....	27
Tabla 4. Cálculos para dimensionar el módulo fotovoltaico .....	29
Tabla 5. Cálculos para dimensionar las baterías .....	31
Tabla 6. Cálculos para dimensionar el regulador de carga.....	32
Tabla 7. Cálculos para el dimensionar el inversor .....	32
Tabla 8. Tiempo por actividad para la Instalación de un Sistema Fotovoltaico.....	34
Tabla 9. Parámetros de diseño de redes de distribución de energía .....	36
Tabla 10. Factores de diversidad por estrato socioeconómico .....	37
Tabla 11. Demanda máxima proyectada .....	39
Tabla 12. Límites de regulación permitidos por el operador de red (ENELAR) .....	40
Tabla 13. Resistencias y radios medios geométricos de los conductores [9] .....	41
Tabla 14. Cables de Acero usados convencionalmente .....	49
Tabla 15. Características del cable a utilizar .....	51
Tabla 16. Características mecánicas del conductor N° 2 AWG [9] .....	52
Tabla 17. Variables Ambientales [9] .....	52
Tabla 18. Flecha y distancias de seguridad.....	54
Tabla 19. Capacidades normalizadas, nivel de tensión 13,2 kV en áreas rurales .	55
Tabla 20. Características fusibles .....	57
Tabla 21. Comparación de posibles tecnologías a implementar.....	59
Tabla 22. Costo de elementos utilizados para suplir necesidades energéticas por vivienda.....	60
Tabla 23. Características demográficas de la vereda Las Plumas .....	60
Tabla 24. Ingreso mensual por habitante en la vereda Las Plumas .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización de Arauca, Arauca.....	23
Figura 2. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo.....	25
Figura 3. Curva característica de factores de diversidad por estrato socioeconómico .....	38
Figura 4. Configuración conductores. ....	42
Figura 5. Diagrama de fuerzas para templetas.....	50
Figura 6. Flechas para diferentes condiciones atmosféricas .....	53
Figura 7. Distancias mínimas.....	54
Figura 8. Fusible tipo H.....	57

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Fotos de la viviendas asociadas al proyecto.....	71
Anexo B. Características del módulo fotovoltaico seleccionado.....	84
Anexo C. Características de las baterías seleccionadas.....	84
Anexo D. Características del regulador seleccionado.....	85
Anexo E. Características del inversor seleccionado.....	85
Anexo F. Características del soporte para módulos solares seleccionado.....	86
Anexo G. Presupuesto detallado y precios unitarios del sistema Fotovoltaico.....	87
Anexo H. Costos de mantenimiento y reposición de equipos el sistema Fotovoltaico.....	94
Anexo I. Costo total de inversión para sistemas fotovoltaicos.....	94
Anexo J. Plano eléctrico vereda Las Plumas Arauca, Arauca.....	94
Anexo K. Cálculos de regulación y pérdidas de potencia para la red de baja de tensión.....	95
Anexo L. Estructuras utilizadas en la red de baja tensión.....	96
Anexo M. Presupuesto detallado y precios unitarios para la red de baja tensión.....	98
Anexo N. Costo total de la red de baja tensión.....	105
Anexo O. Cálculos de regulación y pérdidas de potencia para la red de media de tensión.....	106
Anexo P. Estructuras utilizadas en la red de media tensión.....	107
Anexo Q. Presupuesto detallado y precios unitarios para la red de media tensión.....	112
Anexo R. Costo total de la red de media tensión.....	123
Anexo S. Costo total de transformadores de potencia.....	123
Anexo T. Costo total de inversión para la extensión de la red eléctrica.....	124

## RESUMEN

**TÍTULO:** IDENTIFICACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DE UN PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA.<sup>1</sup>

**AUTORES:** OSCAR IVÁN ARENAS SUAREZ MIGUEL ANDRÉS BAUTISTA PINZÓN.<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** Estructuración de proyectos, fondos de financiación, sistemas fotovoltaicos.

**DESCRIPCIÓN:** En Colombia se incrementado el uso masivo de los sistemas fotovoltaicos para uso residencial rural.

En la actualidad resulta atractiva y rentable la construcción de una instalación fotovoltaica autónoma en viviendas aisladas que necesiten más de 800 m de tendido eléctrico para abastecerse de energía. El costo de implementar sistemas Fotovoltaicos viene descendiendo rápidamente gracias a la disminución de los precios de los componentes, sobre todo de los paneles fotovoltaicos, y se estima que entre 2015-2016 será más rentable el autoconsumo fotovoltaico que la conexión a la red eléctrica.

Los programas de electrificación rural desde instituciones del gobierno central, así como los regionales han instalado docenas de miles de sistemas fotovoltaicos para pobladores que se encuentren aislados de las redes eléctricas. Con capacidades generalmente entre 50 y 500 Wp, apoyando así el desarrollo de los municipios y las regiones más desamparadas.

Para el desarrollo de este trabajo de grado se presenta un estudio de los procesos para la estructuración e implementación de proyectos de inversión que tienen como objetivo abastecer de energía eléctrica a un grupo de nuevos usuarios ubicados en la vereda Las Plumas, municipio de Arauca, Arauca. El proyecto deberá cumplir con los requisitos mínimos que establecen los fondos de financiación como lo son; el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y/o el Fondo de Apoyo financiero para la Energización de las zonas Rurales interconectadas (FAER) entre otros, y se cumplirá con los acuerdos establecidos en el contrato firmado por la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE)

---

<sup>1</sup>Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones: Director; Dr. Gerardo Latorre Bayona.

## ABSTRACT

**TITLE:** IDENTIFICATION AND STRUCTURE OF A DRAFT OF ELECTRIC INFRASTRUCTURE DEPARTMENT ARAUCA.<sup>3</sup>

**AUTHORS:** OSCAR IVÁN ARENAS SUAREZ Y MIGUEL ANDRÉS BAUTISTA PINZÓN.<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** Projects structuration, financial funds, photovoltaic systems.

**DESCRIPTION** In Colombia the use of photovoltaic systems has been increasing for rural housing usage.

Nowadays, it is attractive and profitable the construction of autonomous photovoltaic system especially in isolated houses that need more than 800m of electric Cable to supply the energetic needs. The figure is going down rapidly due to the decline in components prices, especially photovoltaic panels, it is estimated that between 2015 and 2016 it will be more profitable the photovoltaic self-consumption than the connection to the electrical grid.

The programs of rural electrification from central government institutions as well as the regional ones have installed tens of thousands of photovoltaic systems (with capacity generally between 50 and 500 Wp) for people who are isolated from electrical grids. Thus, giving support to the development of municipalities and the most helpless regions.

In this paper is presented a study of processes for structuring and implementing investment projects aimed electric power supply to a new group of users located in the vereda, Las Plumas, municipality of Arauca. This project should meet the minimum requirements established by the financial fund as it is: the Financial Support Fund for the electrification of non-interconnected areas (FAZNI), or the Financial Support Fund for the electrification of interconnected rural areas (FAER) among others. And it will comply with the established agreements set out in the contract signed by the Industrial University of Santander (UIS) and the Institute of Planning and Promotion of Energy Solutions for non-interconnected areas (IPSE).

---

<sup>3</sup> Work degree.

<sup>4</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Electric, Electronic and Telecommunications School. Director: Dr. Gerardo Latorre Bayona.

## INTRODUCCIÓN

A través de la historia de la humanidad ha sido de vital importancia para el hombre aprovechar las fuentes de energía que se tienen en nuestro planeta, de manera que le permitan desarrollar actividades que él por sí solo no podría llevar a cabo. El crecimiento de la industria ha ocasionado que el consumo de energía eléctrica aumente, esto se ve reflejado en la enorme explotación de los recursos naturales no renovables provenientes de combustibles fósiles, lo cual ha generado una dependencia de estos recursos y además una gran contaminación ambiental. [1]

Tomando conciencia de que los recursos naturales existentes en nuestro planeta son finitos se ha optado por nuevos métodos para obtener energía más limpia y a la vez renovable, manteniendo una disponibilidad inagotable y de fácil acceso ya que este es uno de los principales problemas en algunas zonas aisladas del planeta debido a las enormes inversiones necesarias para llevar las redes de distribución eléctricas a muchos de estos lugares. [1]

En Colombia, pese a la importancia de contar con el servicio en las viviendas y en los demás equipamientos de una población, aproximadamente el 66% del territorio nacional lo constituyen zonas no interconectadas. Es decir, zonas donde el sistema de interconexión eléctrica no ha sido construido aún y, por lo tanto, estas zonas no cuentan con un eficiente servicio de energía eléctrica.

Sin embargo, existen fondos de financiación como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y/o el Fondo de Apoyo financiero para la Energización de las zonas Rurales interconectadas (FAER), que posibilitan obtener recursos para el desarrollo de proyectos energéticos orientados a comunidades de estrato socioeconómico bajo que no tienen suministro de energía o tienen un deficiente servicio. Estos fondos exigen la estructuración de proyectos que cumplan con requisitos técnicos, ambientales, sociales y de formalidad en su presentación. En todo caso, es preciso alinear proyectos de ingeniería con políticas generales y programas particulares, procurando el desarrollo social sostenible en que haya igualdad para todos; enmarcados dentro de una metodología general para la programación y evaluación de proyectos de inversión. En ese contexto se ubica el desarrollo del presente trabajo de grado que se propone, en el que se hará una comparación de solución ante el problema de deficiencia energética que presenta una determinada población en Colombia, mediante la alternativa solar fotovoltaica y la red de distribución convencional, efectuando los respectivos cálculos para llegar al diseño teórico hasta determinar los costos de inversión de las dos alternativas mencionadas anteriormente.

## **ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA PARA SOLUCIONES ENERGÉTICAS A PARTIR DE LOS PROYECTOS IDENTIFICADOS EN ARAUCA**

En el municipio de Arauca del departamento de Arauca la optimización del servicio de energía eléctrica tanto en el sector urbano como en el rural ha sido muy baja, solo se han realizado expansiones en las urbanizaciones construidas en los últimos años en el sector urbano y en lo concerniente al sector rural se ha realizado en Todos Los Santos, Altamira, el Final y en el corregimiento El Caracol.

Los costos de inversión en la infraestructura eléctrica de sistemas de distribución en media tensión en el sector rural, acarrear costos muy elevados por la gran dispersión geográfica en que se encuentran las viviendas haciendo muy poco viables los proyectos de ampliación de cobertura por la alta relación beneficio – costo; es por estas razones que se busca la cofinanciación de un proyecto de energía eléctrica alternativa, por ejemplo de paneles solares, aprovechando los recursos naturales con que cuenta la región, que provea de esta manera del fluido eléctrico a la población que carece del mismo en este caso a la vereda Las Plumas.

En la vereda Las Plumas del Municipio de Arauca existe una demanda por el servicio de energía eléctrica de aproximadamente 104 personas.

Es necesario planear la inversión para lograr una distribución y optimización apropiada de los recursos del sistema de energía eléctrica para mejorar la eficiencia y la calidad del servicio. Como meta de resultado se ampliará el 3% de la infraestructura eléctrica en el municipio de Arauca partiendo de una línea base de 696 km construidos por la Empresa de Energía de Arauca ENELAR E.S.P. En cuanto a la meta de resultados respecto al proyecto para ampliar la cobertura con energía no convencional o extensión de la red eléctrica, al implementar cualquiera de las alternativas anteriormente mencionadas se deberá partir de cero puesto que en la vereda Las Plumas no cuenta con suministro de energía eléctrica.

# **1 SITUACIÓN ACTUAL DE POBLACIONES NO CONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA NACIONAL**

## **1.1 NORMAS VIGENTES**

La Constitución Política de 1991 (artículo 311), reconociendo la realidad del país, consagra al municipio como la entidad fundamental de la división política administrativa de Colombia y por lo mismo, indica que a éste le corresponde “prestar los servicios públicos que determine la ley”.

Ahora bien, dentro de los llamados servicios públicos existe una subespecie que fue creada por la Constitución de 1991 y que se conoce bajo el nombre de servicios públicos domiciliarios (artículo 367).

El municipio de Arauca tiene ante todo, la competencia de ser garante y gestor en materia de servicios públicos domiciliarios (artículo 5° de la Ley 142 de 1994, servicios públicos domiciliarios). Es garante, pues su deber primordial es el de garantizar que los servicios se presten a su comunidad. El Alcalde como representante legal del municipio es gestor, porque debe hacer que los servicios sean prestados efectiva y eficientemente a su comunidad. Cuando la prestación la hace el mismo municipio, es directa; cuando terceros particulares o las comunidades organizadas se encargan de tal actividad, es indirecta.

Cuando la prestación es indirecta y de conformidad con el artículo 74 de la Ley 143 de 1994, las empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica localizadas en las Zonas No Interconectadas podrán desarrollar en forma integrada las actividades de generación, distribución y comercialización.

En el artículo 73.11 de la Ley 142 de 1994 y 20 de la Ley 143 de 1994, se atribuyó a la Comisión de Regulación de Energía y Gas la facultad de establecer las fórmulas para la fijación de las tarifas del servicio público domiciliario de electricidad y definir la metodología para el cálculo de las tarifas aplicables a los usuarios regulados de este servicio.

En el artículo 87.9 de la Ley 142 de 1994, modificado por la Ley 1151 de 2007, establece que: “las entidades públicas podrán aportar bienes o derechos a las empresas de servicios públicos domiciliarios. En estos casos, el valor de dichos bienes y/o derechos no podrá incluirse para los efectos del cálculo de las tarifas que haya de cobrarse a los usuarios. Las Comisiones de Regulación establecerán los mecanismos para garantizar la reposición de estos bienes”.

Según lo dispuesto por el artículo 88.1 de la Ley 142 de 1994, la Comisión Reguladora podrá establecer topes máximos y mínimos tarifarios, de obligatorio cumplimiento por parte de las empresas.

De conformidad con lo establecido en el artículo 90.2 de la Ley 142 de 1994, podrá incluirse dentro de las fórmulas tarifarias un cargo fijo que refleje los costos económicos involucrados en garantizar la disponibilidad permanente del servicio para el usuario, independientemente del nivel de uso.

El artículo 65 de la Ley 1151 de 2007 estableció que “El Ministerio de Minas y Energía diseñará esquemas sostenibles de gestión para la prestación del servicio de energía eléctrica en las Zonas no Interconectadas. Para este propósito, podrá establecer áreas de servicio exclusivo para todas las actividades involucradas en el servicio de energía eléctrica”;

En la Resolución CREG 072 de 2013, la Comisión de Regulación de Energía y Gas estableció las metodologías generales para remunerar las actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, y las fórmulas tarifarias generales para determinar el costo unitario de prestación del servicio público de energía eléctrica en zonas no interconectadas - ZNI.

Las principales normas técnicas aplicables en Colombia para Componentes de Sistemas Solares Fotovoltaicos se relacionan a continuación.

NTC 2883, módulos fotovoltaicos (fv) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo (26/07/2006):

NTC 5464, módulos fotovoltaicos de lámina delgada para uso terrestre. Calificación del diseño y homologación (22/12/2006):

NTC 5549, sistemas fotovoltaicos terrestres. Generadores de potencia. Generalidades y guía (16/11/2007):

NTC 5287, celdas y baterías secundarias para sistemas de energía solar fotovoltaica. Requisitos generales y métodos de ensayo (15/07/2009):

NTC 5433, informaciones de las hojas de datos y de las placas de características para los módulos fotovoltaicos (30/08/2006):

NTC 2959, guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos (18/09/1991):

NTC 5627, componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Calificación del diseño y ensayos ambientales (29/10/2008).

## **1.2 PROBLEMA**

En el municipio de Arauca, departamento de Arauca, existe una frágil infraestructura del servicio y baja cobertura de energía eléctrica en el sector rural. Esta deficiencia ha conllevado a que la dinámica socioeconómica de los pobladores de veredas o corregimientos del municipio no se desarrolle de manera

efectiva, permanente y se afecte negativamente la calidad de vida de sus habitantes. La necesidad de la energía eléctrica se da para el manejo de herramientas, máquinas agrícolas, conservación de productos en post-cosecha, refrigeración de alimentos, alumbrado doméstico, servicios de comunicaciones y de internet, tanto en las familias como en las actividades escolares.

### **1.3 ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES**

Para dar solución al problema de la vereda Las Plumas se tuvo en cuenta la localización geográfica de la zona, para conocer los recursos naturales con que cuentan los habitantes de la vereda. La Empresa de Energía de Arauca (ENELAR) suministró el punto más cercano de la red eléctrica existente, para contemplar una posible solución con la ampliación de la red convencional.

En ese orden de ideas, para la ejecución de este trabajo de grado se contemplaron las siguientes alternativas:

- Sistemas de generación solar fotovoltaica individual.
- Sistema de distribución convencional de redes de media y baja tensión.

En el contrato UIS-IPSE se acordó realizar un estudio para llevar energía eléctrica a la vereda Las Plumas del municipio de Arauca, Arauca, por consiguiente se presentará un presupuesto estándar del valor de pre diseño de una red de distribución de media y baja tensión, y un sistema de generación solar fotovoltaica individual. Escogiendo y presentando finalmente el más económico entre las dos alternativas antes mencionadas, ante el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI). No obstante vale la pena recalcar que no se efectuará el diseño exacto de las dos alternativas de solución, puesto que el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) no contempla dentro de sus diseños, las instalaciones eléctricas internas de las viviendas.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Para llevar energía eléctrica al sector rural que se encuentra distante y disperso del SIN mediante sistemas tradicionales (red) se requieren altos costos de inversión (construcción de redes, montaje de transformadores), de operación y mantenimiento (por las distancias de recorrido, podas, apoyos, permisos ambientales, etc.). La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos es una alternativa viable económicamente, que sustituye la

forma tradicional de transportar energía con menores costos de inversión, operación y mantenimiento; siendo responsable además con el medio ambiente.

En este orden de ideas, se justifica el proyecto porque al implementar esta tecnología de fuentes de energía renovables en las viviendas y centros de estudios de zonas rurales dispersas y aisladas, se llevará energía eléctrica y por ende un mejoramiento en el nivel de vida y mayor competitividad. Por otra parte, la implementación de las fuentes de energías nuevas y renovables toma especial importancia frente a problemas causados principalmente por el impacto ambiental debido al uso de combustibles fósiles y del agua para la generación de energía.

## **1.5 IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS PARA EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA**

Para la etapa de identificación de los proyectos, el grupo de trabajo encargado del departamento de Arauca realizó una visita a la Empresa de Energía de Arauca (ENELAR). En esta visita se presentó y se dio a conocer el convenio UIS-IPSE. Además, se hicieron visitas a las alcaldías de los municipios de Arauca y de Cravo Norte para identificar posibles proyectos que por diferentes motivos no se habían estructurado.

Los proyectos identificados y seleccionados para estructurar fueron los siguientes:

- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda Las Plumas, municipio Arauca, Arauca.
- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda Juriepe, municipio Cravo Norte, Arauca.
- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda El Corozo, municipio Cravo Norte, Arauca.
- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda Los Laureles, municipio Cravo Norte, Arauca.
- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda San José, municipio Cravo Norte, Arauca.
- Suministro de Energía Eléctrica en la vereda San Rafael, municipio Cravo Norte, Arauca.

## **1.6 SELECCIÓN DE UN PROYECTO**

Los proyectos anteriormente mencionados fueron estructurados y presentados para una posible ejecución ante el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE). De los cuales se asignó: Suministro de Energía Eléctrica en la vereda Las Plumas, municipio Arauca, Arauca; para el desarrollo de este trabajo de grado, que tiene como alcance la fase de preinversión de la estructuración del mismo.

### 1.6.1 Características del municipio

Arauca es la capital del departamento de Arauca en Colombia. Su nombre completo es Villa de Santa Bárbara de Arauca (actualmente no utilizado) y está localizada en las coordenadas geográficas latitud N 07° 05' 25" longitud W 70° 45' 42", sobre el margen sur del río que lleva el mismo nombre. En la Figura 1, se muestra la localización de Arauca, Arauca. Los límites son los siguientes: Al norte con Venezuela, y se conecta mediante el puente internacional José Antonio Páez, al sur con Casanare y Vichada, al occidente con Boyacá y Norte de Santander y al oriente con Venezuela.

El Municipio está ubicado en la región de la Orinoquía, caracterizado por una topografía plana típica de la llanura, con preponderancia de la sabana y con escasas apariciones de bosques de galería y matas de monte. Las alturas no superan los 125 metros sobre el nivel del mar. El paisaje geomorfológico es el de llanura. El recurso hídrico es abundante durante la época de invierno y escasea dramáticamente en tiempo del verano.

#### ➤ **Accesibilidad vial**

A continuación se presentara las vías de acceso al municipio de Arauca, Arauca.

- **Aéreas:** Existe la ruta Bucaramanga – Arauca, Arauca – Arauquita, Arauca Tame, Arauca – Cravo Norte, Arauca – Saravena, Arauca – Puerto Rondón.
- **Terrestres:** se comunica por vía terrestre hacia el centro del País mediante la Ruta de los Libertadores que une a las ciudades de Caracas y Bogotá. Arauca cuenta con una red de carreteras que conecta a las diferentes localidades entre sí. El tramo que comunica los departamentos de Casanare y Arauca hasta su capital, pasando por Tame, se encuentra en buen estado; de éste se desprende una serie de ramales que conducen a Saravena, Cravo Norte, Fortul y Puerto Rondón. Algunas vías rurales son de difícil acceso y en temporada de invierno intransitables.

- **Fluviales:** La vía fluvial es el modo de transporte entre los poblados menores o de transporte de carga mayor hacia los centros de acopio del departamento; los ríos Arauca, Casanare y Meta permiten la navegación para embarcaciones pequeñas y medianas con algunas restricciones. Esta situación refleja las dificultades existentes para la comunicación con los usuarios ubicados en el área rural del municipio.

**Figura 1. Mapa de localización de Arauca, Arauca**



**Fuente. Referencia [5]**

### 1.6.2 Características de la vereda

Extensión: La vereda de Las Plumas del Municipio de Arauca pertenece al corregimiento El Caracol y hace parte de las 582.074 ha de tierra del área rural del municipio.

### **1.6.3 Población beneficiada**

El número de familias beneficiadas es de veinte seis (26), con una población asociada de aproximadamente 104 personas (información indicativa). En el anexo A se muestran las fotos de las viviendas asociadas al proyecto.

### **1.6.4 Estudio legal**

El Plan de Desarrollo Departamental de Arauca 2012-2015, en el programa “Ciudades amables con resultados” tiene como meta; “Implementar 100 nuevas soluciones alternas de energía en las zonas no interconectadas del Departamento” [10].

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos se originan en el utilización del efecto fotovoltaico, el cual se basa en la capacidad de transmitir la energía de los fotones de la radiación solar a los electrones de valencia de los materiales semiconductores que componen un modulo solar, de manera que estos electrones rompen su enlace. Por cada enlace que se rompe queda un electrón y un hueco para circular dentro del semiconductor [6].

#### **2.1.1 Aplicaciones aisladas de la red**

Comprende aquellas instalaciones que no están conectadas a la red eléctrica, de manera que funcionan totalmente de forma autónoma. Lo cual las hace muy útiles para lugares donde la red eléctrica no llega por diversos motivos como son: La ubicación geografica, usuarios dispersos, falta de programas para la electrificación de zonas no interconectadas por parte del gobierno y presencia de grupos armados al margen de la ley.

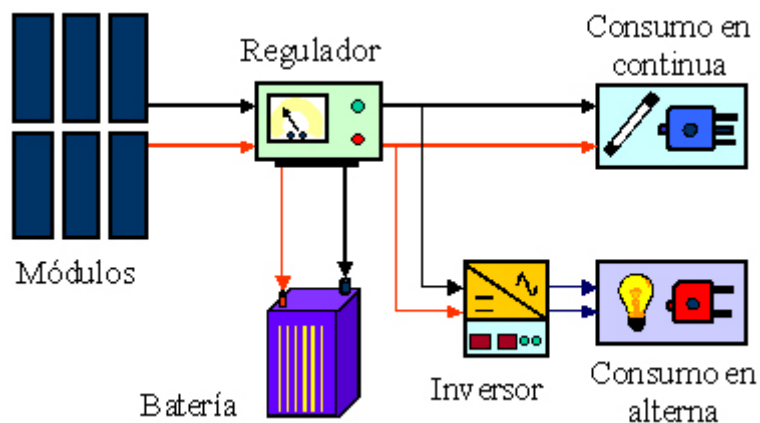
La principal diferencia de las instalaciones aisladas con las conectadas a la red es que las primeras, necesitan acumular la energía eléctrica producida durante el día, para disponer de ella en cualquier hora. Esto se consigue acumulando la energía generada por los modulos solres en un sistema de acumulacion (baterias). La

principal desventaja de este sistema es que las baterías incrementan el coste de la instalación y ocupan bastante espacio.

### 2.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que desarrollan, existen dos aplicaciones para sistemas fotovoltaicos que son: el conectado a la red y el sistema aislado o autónomo. En la Figura 2 se muestran las partes de un sistema fotovoltaico aislado o autónomo.

**Figura 2. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo**



Fuente. Referencia [7]

## 2.2 REDES DE DISTRIBUCIÓN RURAL

Para el desarrollo de una comunidad rural es necesario contar con una red de distribución de energía eléctrica. Los corregimientos y extensiones deben contar con el suministro de energía eléctrica de una forma segura y eficiente. De estas instalaciones eléctricas no se deriva una rentabilidad económica para el operador de red, puesto que los consumos de energía son muy inferiores a los correspondientes a las zonas urbanas e industriales. Por consiguiente la mejor excusa para electrificar a dichas comunidades es la de mejorar la condición social, educativa y económica. Finalmente hay que cuantificar la inversión necesaria con base en criterios políticos y sociales.

### 3 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS DEL DISEÑO FOTOVOLTAICO

Dado que el presente proyecto está orientado hacia la energización de viviendas y no para actividades industriales, ni productivas de la vereda Las Plumas del municipio de Arauca, atendiendo a las necesidades de la comunidad se diseñó el sistema fotovoltaico. En la Tabla 1 se muestran los componentes del sistema fotovoltaico a instalar en cada vivienda beneficiada.

**Tabla 1. Componentes del sistema fotovoltaico**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Paneles solares de 220 Wp	3
Baterías de 12 V, 150 Ah	5
Regulador de Carga de 60 A	1
Inversor de 800 W	1
Soporte para paneles solares	1
Sistema de Puesta a Tierra	1
Acometida	1

#### 3.1 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA VIVIENDAS RURALES

En primer lugar se debe introducir un concepto fundamental, el de las “Horas de Sol Pico” o HPS [horas]. Se puede definir como el número de horas disponibles de una hipotética irradiación solar constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Es decir, una hora solar pico “HPS” equivale a  $1 \text{ kWh/m}^2$  o, lo que es lo mismo,  $3,6 \text{ MJ/m}^2$ . Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete”  $1000 \text{ W/m}^2$  por hora. Esta variable depende del lugar en el que se va a instalar el sistema fotovoltaico.

Al cruzar la información de las ZNI con el mapa de energía solar disponible en el país, se encuentran valores promedio que varían desde  $3,75 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  para la región Grupo 2 y un máximo de  $5,75$  para la Guajira. Este potencial de energía solar tiene incidencia en la capacidad del generador ya que a mayor energía solar disponible menor es la capacidad requerida para una misma carga. En el caso de la vereda Las Plumas del Departamento de Arauca, las Horas de sol Pico o HPS [horas] son  $4,5^5$ .

---

<sup>5</sup>Mapa de radiación solar global promedio multianual mes de diciembre, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Ministerio de Minas y Energía [4].

### 3.1.1 Estimación del consumo

Con base en las visitas realizadas a las viviendas de la vereda Las Plumas se determinó cuáles son sus necesidades prioritarias a suplir por medio de un sistema fotovoltaico, arrojando un cuadro de cargas que se utilizará como base para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para una vivienda, en la Tabla 2 se presenta el cuadro de cargas mencionado anteriormente.

**Tabla 2. Cuadros de carga**

CUADRO DE CARGAS							
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POT. UNITARIA (W)	POT. TOTAL (W)	V (AC)	A (AC)	H (Uso)	AH-Día
TV	1	70	70	120	0,58	3	1,75
Cerca eléctrica	1	2,5	2,5	120	0,02	24	0,50
Bombilla ahorradora	5	11	55	120	0,46	3	1,38
Nevera	1	100	100	120	0,83	8	6,67
Salidas toma corriente	3	90	270	120	2,25	3	6,75
Ventilador	1	60	60	120	0,50	5	2,50
<b>TOTAL</b>			<b>557,5</b>				<b>19,54</b>

### 3.1.2 Cálculos eléctricos

Dadas las características de los equipos, la estandarización de los productos y el tipo de instalación eléctrica (monofásico de corriente alterna a 120 V), se realizaron los cálculos eléctricos base para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. En la Tabla 3 se presentan los resultados de los cálculos eléctricos.

**Tabla 3. Cálculos eléctricos**

CÁLCULOS ELÉCTRICOS			
Potencia Pico (W)	557,50	Tensión de trabajo en DC (V)	12
Corriente Pico AC (A)	4,65	Tensión de Alimentación AC (V)	120
Consumo Total AH-Día (AC)	19,54	Días de Autonomía	2,5
Consumo Promedio Diario Wh/día	2345,00	Radiación Solar - Horas de Sol Pico (HPS) de mes crítico	4,5
Consumo Promedio Diario Wh/día- Corregido	2579,50		
Consumo Promedio Diario Ah/día DC	195,42	Factor de Seguridad	10%
Consumo Promedio Diario Ah/día DC Corregido	214,96		

Dónde:

- Tensión de trabajo en DC (V): Tensión de la celda de generación.
- Tensión de alimentación AC (V): Tensión de trabajo de la instalación.
- Días de autonomía: En los que no se tendría trabajando el sistema independientemente con la batería exclusivamente.
- Radiación solar - Horas de Sol Pico (HPS) de mes crítico.
- Factor de seguridad: Para determinar el consumo promedio diario en corriente continua (involucra las pérdidas de energía).
- Consumo promedio diario Wh/día: Resulta del producto de la tensión de los equipos (120 VAC), por el consumo total en Ah-Día.
- Consumo Promedio Diario Wh/día-Corregido: Resulta de aplicar al anterior consumo el factor de seguridad.
- Consumo promedio diario Ah/día DC: Se debe establecer el consumo promedio en DC, por cuanto el sistema de generación ha sido concebido en corriente continua, mediante la instalación de módulos solares. El consumo promedio en Ah/día DC, se obtiene dividiendo el consumo promedio diario en Wh/día entre la tensión de generación o de trabajo en DC que es de 12 V.
- Consumo promedio diario Ah/día DC Corregido: El consumo corregido corresponde a la incorporación de un factor de seguridad correspondiente al 10% y que considera las pérdidas de conductores y las demás pérdidas comunes que se presentan en los sistemas eléctricos. Este valor es de gran importancia en el cálculo del sistema solar, por cuanto define el tamaño del equipo y con ello la proporción de los demás equipos y elementos que componen el sistema de generación.

### **3.1.3 Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos**

Para este dimensionamiento se parte del consumo promedio diario Wh/día-Corregido, que en este caso es de 893,48 Wh/Día, (generación de los módulos en paralelo multiplicado por la eficiencia del Sistema Fotovoltaico) para cada vivienda, valor que será la demanda que el generador fotovoltaico debe producir.

Producto del análisis de mercado (diferentes fabricantes) se identifica el módulo solar de mejores condiciones técnicas, de mercado y financieras que satisfaga la demanda proyectada y relacionada anteriormente. En la Tabla 4 se pueden observar los cálculos para el dimensionamiento del módulo fotovoltaico.

**Tabla 4. Cálculos para dimensionar el módulo fotovoltaico**

CARACTERÍSTICAS Y SELECCIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS			
CARACTERÍSTICAS DEL MODULO		SELECCIÓN DEL NUMERO DE MÓDULOS	
<b>Modulo</b>	<b>220 Wp</b>	Eficiencia del Sistema Fotovoltaico	90,25%
Wp (W)	220	Generación de los Módulos en Paralelo (Wh/Día)	990
Vmax (V)	30	Generación Corregida(Wh/Día)	893,48
Voc (V)	36,6	Módulos Requeridos	2,89
I Max (A)	7,4	<b>Módulos Paralelo</b>	3,00
Isc (A)	8,1	Generación de los Módulos en Paralelo (Wh/Día)	2680,425

Dónde:

- Potencia pico (Wp): Corresponde al valor de la potencia generada en condiciones de prueba estándar; dichos ensayos son realizados de acuerdo con normas internacionales.
- Corriente de corto circuito (Isc): Es la intensidad medida a condiciones estándar, cortocircuitando los terminales positivo y negativo.
- Corriente en el punto de máxima potencia (I Max): Corresponde a la corriente DC generada por el modulo en el punto de máxima potencia, de acuerdo con las condiciones de prueba normalmente a  $1 \text{ kW/m}^2$  conforme a la norma ASTM E1036 y ASTM E892.
- Tensión de circuito abierto (Voc): Es el voltaje generado por el modulo en circuito abierto.
- Tensión en el punto de máxima potencia (V Max): Corresponde a la tensión generada por el módulo en el punto de máxima potencia.
- Eficiencia del sistema fotovoltaico: Depende de la eficiencia del inversor y de la eficiencia de la batería.

Con las características del anterior módulo de 220 Wp y las locales de radiación solar - Horas de Sol Pico (HPS) de mes crítico, se determina la generación por módulo (Wh/Día). La anterior generación se debe afectar por los rendimientos de las baterías (95%) y el inversor (95%), ya que los módulos fotovoltaicos deben generar una mayor energía para compensar los rendimientos enunciados; a esta energía se le llamará generación corregida (Wh/Día).

Con el consumo promedio diario Wh/día- Corregido, que es la demanda del módulo fotovoltaico dividido por la generación corregida (Wh/Día) del mismo módulo, se determina la cantidad de módulos necesarios, producto de un análisis de mercado, de características físicas (tamaños), técnicas y financieras. En este proyecto se utilizarán tres (3) módulos fotovoltaicos de 220 W. Ver especificaciones técnicas de los módulos en el anexo B.

### **3.1.4 Inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos**

La radiación solar que incide sobre una placa variará con el ángulo que forme la misma con la radiación. La captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación.

La inclinación de los rayos del sol respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano y mínima en invierno) y por tanto, en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía sobre una base anual; es decir, conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida. En la mayoría de los casos este ángulo coincide con la latitud del lugar de la instalación. Normalmente se suele tomar un ángulo mayor, aproximadamente  $15^{\circ}$ , en beneficio de una mayor captación durante el invierno, cuando la luminosidad disminuye, a costa de una peor captación en verano, cuando hay una mayor cantidad de luz. La orientación preferida de los colectores es hacia el Sur, debido a que la trayectoria del Sol en movimiento Este a Oeste es simétrica respecto de la posición que ocupa al mediodía ya que es precisamente en este momento cuando la captación de energía solar es máxima.

### **3.1.5 Dimensionamiento del sistema de acumulación (baterías)**

Para el cálculo del sistema de acumulación se debe tener presente cuatro parámetros importantes como son:

- Consumo promedio diario Ah/día DC Corregido
- Profundidad de descarga máxima estacional: que es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma.
- Días de autonomía.
- Factor de corrección de temperatura: que dadas las condiciones en Colombia se considera igual a 1.

La capacidad nominal de la batería (Ah) será el resultado de dividir el producto de consumo promedio diario Ah/día DC Corregido por los días de autonomía, sobre el producto de profundidad de descarga máxima estacional por el factor de corrección de temperatura. En la Tabla 5 se presentan los resultados de los cálculos para el dimensionamiento del sistema de acumulación de energía para el sistema fotovoltaico.

**Tabla 5. Cálculos para dimensionar las baterías**

<b>SELECCIÓN DE BATERÍAS</b>	
<b>Batería (Ah)</b>	<b>150</b>
Consumo promedio diario Ah/día DC Corregido	214,96
Días de autonomía	2,00
Profundidad de descarga máxima estacional	70%
Factor de corrección de temperatura	1
Capacidad nominal de la batería (Ah)	614,17
<b>Número de baterías de 150 Ah</b>	<b>5</b>

Al realizar un análisis de mercado, se determinó que para este proyecto se utilizarán cinco (5) baterías de 150 Ah por vivienda beneficiada. Ver especificaciones técnicas en el Anexo C.

### **3.1.6 Dimensionamiento del regulador**

Para el dimensionamiento del regulador, se calculará la máxima corriente que debe soportar el regulador, a su entrada y salida.

Para calcular la corriente de entrada al regulador se toma el producto de la corriente de cortocircuito de un módulo (A) por el número de módulos en paralelo y por factor de seguridad del regulador (que se recomienda de 1.2).

Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador porque será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y esa corriente se tendrá en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento

Para el cálculo de la corriente de salida se valorarán las potencias de las cargas DC y las cargas AC. Se aplica la ecuación 1 para hallar la corriente de salida del regulador. En la Tabla 6 se presentan los cálculos para el dimensionamiento del regulador.

$$I_{\text{salida}} = \frac{1,2 (P_{\text{DC}} + \frac{P_{\text{AC}}}{\eta_{\text{inv}}})}{V_{\text{BAT}}} \quad (1)$$

Dónde:

- $P_{\text{DC}}$ : Potencia de las cargas en continua; que en este caso es cero (0).
- $P_{\text{AC}}$ : Potencia de las cargas en alterna; que en este caso es 557, 5 W para una vivienda.
- $\eta_{\text{inv}}$ : Rendimiento del inversor; que en este caso es del 95%.

- $V_{\text{Bat}}$ : Tensión de la Batería; que en este caso es del 12 V.

**Tabla 6. Cálculos para dimensionar el regulador de carga**

SELECCIÓN DEL REGULADOR DE CARGA	
Corriente de cortocircuito de un módulo (A)	8,1
Número de módulos en paralelo	3,00
Factor de seguridad del regulador	1,2
<b>Corriente de entrada del regulador (A)</b>	<b>29,16</b>
Rendimiento del inversor	95%
<b>Corriente de salida del regulador (A)</b>	<b>58,68</b>

Para este proyecto se seleccionó un regulador de sesenta (60 A). Ver especificaciones técnicas Anexo D.

### 3.1.7 Dimensionamiento del inversor

Únicamente se calculará la suma de las potencias de las cargas de alterna (en este caso sería de 557,5 W para una vivienda) y se le aplicará un margen de seguridad del 20%. En la Tabla 7 se presentan los cálculos para dimensionar el inversor.

**Tabla 7. Cálculos para el dimensionar el inversor**

SELECCIÓN DEL INVERSOR			
Potencias de las cargas de alterna (W)	557,5	Factor de seguridad	1,2
<b>Potencia del inversor seleccionado (W)</b>	<b>669</b>		

Para este trabajo de grado se utilizará un inversor de Ochocientos (800 W). Ver especificaciones técnicas Anexo E.

### 3.1.8 Especificaciones técnicas de materiales y equipos

- **Protecciones:** La instalación eléctrica debe protegerse mediante un interruptor termo-magnético que protegerá contra sobrecarga y contra sobrecorrientes por fallas, cuyas características son:
  - Breaker termo-magnéticos de 12 V y 1 A.
- **Instalación de puesta a tierra:** Un sistema de puesta a tierra consiste en la conexión de equipos eléctricos y electrónicos a tierra, para evitar que se dañen los equipos en caso de una corriente transitoria peligrosa.

El objetivo de un sistema de puesta a tierra es:

- Brindar seguridad a las personas.
- Proteger las instalaciones, equipos y bienes en general, al facilitar y garantizar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Establecer la permanencia, de un potencial de referencia, al estabilizar la tensión eléctrica a tierra, bajo condiciones normales de operación.

Para la puesta a tierra se debe emplear cable de cobre No. 8, varilla de cobre al 99% de pureza de 2,40 m y soldadura Cadwell, donde se debe garantizar la puesta a tierra con menor a 25  $\Omega$ .

- **Conductores**
  - El conductor para la acometida es del tipo AWG N° 10 o 12 dúplex bicolor encauchetado.
  - El conductor entre la batería y el regulador es el No.10 o 12AWG dúplex bicolor encauchetado.
  - En toda la instalación los conductores utilizados tienen la polaridad claramente identificada; en caso de utilizar el color de los forros para este propósito, el conductor positivo será rojo o blanco y el negativo de color negro.
- **Soportes:** Los soportes están hechos en perfilería estructural de aluminio anodizado. La tornillería utilizada será de acero inoxidable, ver anexo F.

- **Herrajes, conectores y demás accesorios:** Los herrajes a utilizar, como tornillería, tuercas, arandelas, etc; son de acero inoxidable o galvanizado o aluminio, según la resistencia requerida para su utilización.

### 3.1.9 Distribución por actividad para el montaje de un sistema fotovoltaico individual

En la Tabla 8 se muestran las actividades a desarrollar para la instalación de un sistema fotovoltaico.

**Tabla 8. Tiempo por actividad para la Instalación de un Sistema Fotovoltaico**

<b>DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD PARA UN MONTAJE DE UN SISTEMA F.V INDIVIDUAL</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>%</b>	<b>DÍAS</b>
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE PANELES SOLARES DE 220 Wp	14,0	0,42
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BANCO DE BATERÍAS 150AH 12 V	10,0	0,3
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE REGULADOR SISTEMA SOLAR 60A 12 V	10,0	0,3
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE INVERSOR DC/AC 60 Hz 800 W	10,0	0,3
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE SOPORTE PARA PANEL SOLAR	16,0	0,48
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE ACOMETIDA SISTEMA FOTOVOLTAICO VIVIENDA	20,0	0,6
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO VIVIENDA	20,0	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>3</b>

### 3.1.10 Presupuesto

El presupuesto general detallado, con los respectivos análisis de los precios unitarios se muestra en el anexo G.

### 3.1.11 Costo de administración, operación y mantenimiento (AOM) para el sistema fotovoltaico.<sup>6</sup>

- **Costos de administración:** El gasto de Administración está asociado a la gestión necesaria para lograr que los sistemas fotovoltaicos individuales dispersos suministren la energía eléctrica de manera confiable y que además sean sostenibles.
- **Costo de operación:** Los sistemas fotovoltaicos individuales NO acarrean gastos en su operación por esta razón se dice que son autónomos, el usuario es quien está a cargo de su operación, al cual hay que capacitar.
- **Costo de mantenimiento:** Los gastos de mantenimiento se derivan de las visitas a realizar por lo menos una vez al año. El personal requerido es;
  - Ingeniero que es el mismo administrador.
  - Técnico, que es el mismo operador.

Para el trabajo de inspección y mantenimiento se requiere el desplazamiento de ambos funcionarios al lugar de las respectivas instalaciones.

El costo de limpieza de cada uno de los módulos, no se tiene en cuenta ya que se asume que cada usuario lo hace, los demás costos de mantenimiento se indican en el anexo H.

### 3.1.12 Costo total de la inversión para sistemas fotovoltaicos

El costo total para llevar energía eléctrica a la vereda Las Plumas Arauca, Arauca se presenta en el anexo I.

### 3.1.13 Precio del kWh instalado por medio de generación fotovoltaica

El precio del kWh se obtiene dividiendo el valor total de la inversión por usuario en 20 años, ya que el tiempo estimado de vida útil de cada uno de los elementos que componen el sistema (a excepción de las baterías) que se estima que tienen una vida útil de 5 años.

---

<sup>6</sup>El presente análisis de gastos AOM se basa en el estudio realizado por la CORPORACIÓN EMA presentado a la CREG en diciembre de 2012 llamado: DETERMINACIÓN DE INVERSIONES Y GASTOS DE ADMINISTRACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA ACTIVIDAD DE GENERACIÓN EN ZONAS NO INTERCONECTADAS UTILIZANDO RECURSOS RENOVABLES.

$$\text{Costo total por usuario} = \frac{\$ 593.096.417}{26} = \$ 22.811.400$$

$$\text{Precio kWh} = \frac{\$ 22.811.400}{2,58 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \times 30 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} \times 20 \text{años}} = \$ 1.228 / \text{kWh}$$

## 4 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### 4.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

En relación con este diseño se ha tenido en cuenta que debe cumplir con la normatividad vigente, respecto al tipo de estructura y cada elemento a utilizar. Los códigos de las estructuras son tipo ICEL; de acuerdo con las recomendaciones dadas por las Empresas de Energía de Arauca (ENELAR) [8], y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE). Teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, se acordó fijar los parámetros que serán el punto de partida para la realización de un diseño óptimo para electrificar las viviendas beneficiadas en la vereda Las Plumas, municipio de Arauca, Arauca. En la Tabla 9 se presentan los parámetros para el dimensionamiento de la red eléctrica.

**Tabla 9. Parámetros de diseño de redes de distribución de energía**

PARÁMETRO	VALOR
Factor de potencia de la carga	0,9 inductivo
Regulación primaria en operación normal	3 % máximo
Regulación secundaria en operación normal	6 % máximo
Pérdidas de potencia secundarias	8 % máximo
Pérdidas de potencia primarias	3 % máximo
Nivel en media tensión	13200 V
Nivel en baja tensión	240/120 V
Demanda máxima	800 VA
Tipo de conductores	ACSR calibre AWG
Periodo de proyección de la demanda para redes	20 años
Rata de crecimiento anual de la demanda	3%
Número de usuarios a atender	26

En las áreas rurales se diseñarán redes tipo abierta en baja tensión, y los conductores serán desnudos tipo ACSR, o en red trenzada multiplex (dos, tres y cuatro conductores), en los calibres 4/0 AWG, 2/0 AWG, 1/0 AWG, 2 AWG y 4 AWG. (Capítulo 1 Normatividad ENELAR 2006) [8].

## 4.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

### 4.2.1 Demanda máxima

Para efecto de una mejor comparación de las dos alternativas de solución al problema energético de la vereda el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), ha propuesto que la demanda máxima por usuario sea la siguiente: Se tiene para un Usuario “Tipo” una demanda máxima de 800 VA para el año de inicio, llamado a partir de este momento año 0.

### 4.2.2 Curva de demanda máxima diversificada

Dado que los usuarios que se han de beneficiar en el proyecto, son usuarios del sector rural de estrato socioeconómico Bajo-Bajo (Estrato 1 Sector Urbano), en la Tabla 10 se presentan los factores de Diversidad por Estrato Socioeconómico; tomados del Anexo Técnico del Capítulo 3 Normatividad ENELAR del año 2006 [8].

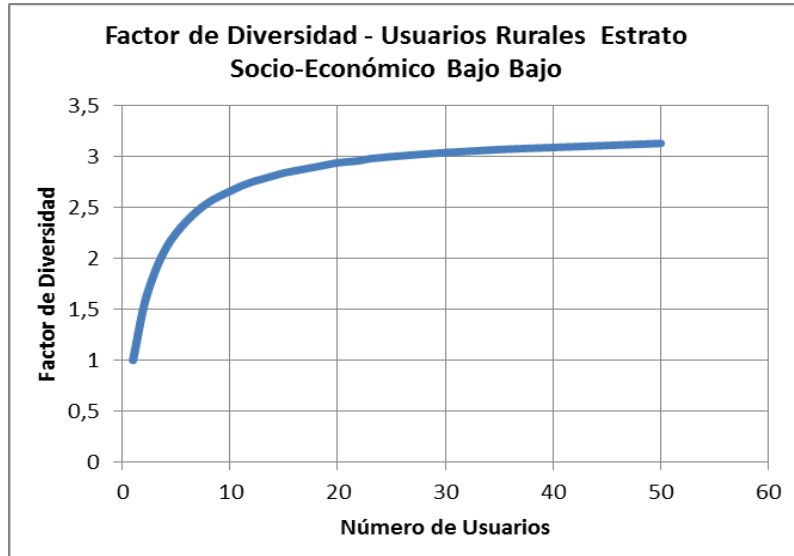
**Tabla 10. Factores de diversidad por estrato socioeconómico**

Número de Usuarios	FACTOR DE DIVERSIDAD			
	BAJO-BAJO BAJO MEDIO- BAJO	MEDIO	MEDIO - ALTO	ALTO
1	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,53	1,55	1,75	1,85
3	1,86	1,91	2,34	2,58
4	2,09	2,15	2,81	3,22
26	3,01	3,18	5,73	8,57

Fuente. Normatividad ENELAR [8]

En la Figura 3, se presenta la curva característica del factor de diversidad para los usuarios rurales de estrato socioeconómico Bajo- Bajo.

**Figura 3. Curva característica de factores de diversidad por estrato socioeconómico**



**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

#### 4.2.3 Proyección de la demanda

Se realiza el cálculo de la demanda eléctrica por usuario individual en función del tiempo, para determinar el consumo de cada vivienda al cabo de los 20 años posteriores al inicio de la prestación del servicio público domiciliario, tiempo necesario para calcular y establecer los diseños eléctricos para el dimensionamiento de las subestaciones y las redes eléctricas, respectivamente.

En relación con la normatividad ENELAR año 2006, con base en el apartado 3.4.6.1. Generalidades, la proyección de la demanda individual por usuario se determinó a partir de la Ecuación 2.

$$S = S_0 * \left[ 1 + \frac{r}{100} \right]^n \quad (2)$$

Dónde:

S = Demanda máxima en VA diversificada proyectada.

S<sub>0</sub> = Demanda maxima en VA año inicial.

r = Tasa de crecimiento.

n = Número de años proyectados.

La proyección de la demanda individual por usuario, al cabo de 20 años, con una tasa de crecimiento de la demanda definida por la compañía ENELAR  $r=3$  será de:

$$S_{\text{año } 20} = 0,8 \text{ [kVA]} * \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{20} = 1,44 \text{ kVA}$$

Finalmente, en la Tabla 11 se presenta la demanda máxima diversificada y la demanda máxima proyectada a 20 años para; uno, dos y veinte seis usuarios respectivamente.

**Tabla 11. Demanda máxima proyectada**

Número de Usuarios	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA Y PROYECTADA
	Dmax: 0,8 kVA	
	AÑO 0	AÑO 20
1	0,80	1,44
2	1,04	1,89
26	6,92	12,49

### 4.3 DISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA

Los usuarios del sector rural se caracterizan por la gran dispersión geográfica que presentan, dadas las grandes extensiones de tierra que los rodea; por lo tanto, se debe definir técnica y económicamente cuál es la mejor manera de energizar la frontera comercial del usuario. Entonces ha de establecerse por cálculos de regulación eléctrica y factores económicos si se suministra el fluido eléctrico a un usuario determinado directamente por red secundaria desde una S/E relativamente cercana, o si por el contrario es mejor prolongar el circuito primario de distribución desde el circuito más próximo, e instalarse a este usuario su propia unidad transformador. En el anexo J se muestra el plano eléctrico diseñado a partir de las coordenadas geográficas de las viviendas asociadas al proyecto, junto con el tramo más cercano de la red existente, suministrado por la empresa de energía de Arauca (ENELAR). Del cual se tomó el punto de inicio para la posible electrificación de la vereda Las Plumas Arauca, Arauca.

### 4.3.1 Regulación de tensión

Como primera medida para establecer que efectivamente pueda hacerse el tendido de una red eléctrica primaria o secundaria, para energizar un usuario, se debe cumplir con los estándares en regulación de tensión eléctrica suministrados por el Operador de Red; valores que no se deben sobrepasar, en función a la normatividad ENELAR, año 2006. En la Tabla 12 se pueden ver los límites de regulación permitidos por el operador de red (tomado del Capítulo 1, normatividad ENELAR).

**Tabla 12. Límites de regulación permitidos por el operador de red (ENELAR)**

COMPONENTE DEL SISTEMA	LÍMITES DE REGULACIÓN		REGULACIÓN MÁXIMA	
	DESDE	HASTA	RURAL	URBANO
			%	%
Red media tensión.	Barra de subestación urbana.	Último punto	3.0	3.0
Red de distribución baja tensión.	Conexión de bajantes secundarios	Poste terminal secundario	6.0	4.0

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

En este caso concreto, en que se beneficiarán 26 usuarios del sector rural, se tendrán dos (2) alternativas de redes para llegar con el fluido eléctrico al usuario determinado; siendo éstas, el tendido de una red primaria de distribución 2 hilos a 13,2 kV, o el tendido de una red abierta secundaria monofásica trifilar 240/120 V.

En media tensión el conductor seleccionado para hacer el posible tendido de la red eléctrica es un conductor N° 2 AWG del tipo ACSR; mientras que en la red de baja tensión se utilizarán dos posibles tipos de conductores, siendo estos los N° 2 AWG y N° 1/0 AWG, ambos del tipo ACSR. Los anteriores conductores deberán cumplir con los límites de regulación y pérdidas de potencia permitidos por el operador de red.

Para estimar los porcentajes de regulación que se tendrán en la instalación de un diseño concreto en función a la topología de los usuarios que estén conectados a la red de distribución, sea primaria o secundaria, se necesitará establecer el

momento eléctrico y la constante de regulación para el tipo de conductor; según la disposición física de los conductores. Es decir, el porcentaje de regulación que en todo momento deberá ser menor o igual a lo especificado en la Tabla 15 del Capítulo 1 de la norma ENELAR año 2006[8], obedecerá a la Ecuación 3.

$$\% V = M \times Kc = \text{kVA} \times L[\text{km}] \times 2 \times \left( \frac{r[\Omega/\text{km}] \times \cos \alpha + x_l[\Omega/\text{km}] \times \sin \alpha}{10 \times \text{kV}^2} \right) \quad (3)$$

Donde,

$r[\Omega/\text{km}]$  = Resistividad del conductor seleccionado.

$x_l[\Omega/\text{km}]$  = Reactancia inductiva por unidad longitudinal.

$\alpha$  = Ángulo del triángulo de potencias del sistema, estimado en 25,8419°.

$\text{kV}^2$  = Tension de línea del sistema en  $\text{kV}$ .

$L[\text{km}]$  = Longitud de la red eléctrica .

$\text{kVA}$  = Potencia de la carga proyectada a 20 años.

La resistividad del conductor es una constante a una frecuencia de red y una potencia de trabajo determinada, por lo que se atenderá lo especificado por los fabricantes para 60 Hz y un 75 % de la corriente nominal del conductor, con 50°C de temperatura de trabajo. Se escogerá el modelo eléctrico de líneas cortas, por lo que además de la resistividad propia del conductor se necesita también la reactancia inductiva por unidad longitudinal y otros parámetros de fábrica. En atención a esto se utilizarán los datos eléctricos que aparecen en la Tabla 13.

**Tabla 13. Resistencias y radios medios geométricos de los conductores [9]**

RESISTENCIAS DE CONDUCTORES			RADIO MEDIO GEOMÉTRICO
MATERIAL	CALIBRE	R ( $\Omega/\text{km}$ )	RMG(mm)
ACSR	4/0	0,3679	2,48107
	3/0	0,4493	1,8288
	2/0	0,5561	1,55448
	1/0	0,6959	1,35941
	2	1,0501	1,27406
	4	1,5969	1,33198

**Fuente. Norma IPSE [9]**

Para determinar la reactancia inductiva por unidad longitud del conductor seleccionado se utilizará la ecuación 4.

$$x_l \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] = 7,54 \times 10^{-2} \times \text{Ln} \left( \frac{\text{DME}}{\text{RMG}} \right) \quad (4)$$

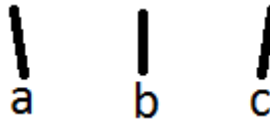
Donde,

DME = Distancia media equivalente.

RMG = Radio medio geométrico.

La distancia media equivalente es la distancia media existente entre todos los conductores del circuito de las fases, y el radio medio geométrico obedece al diámetro externo del conductor eléctrico; este último se extrae directamente de la anterior Tabla 16, mientras que el DME para tres conductores portadores de corriente se calcula con base en la ecuación 5; partiendo de la configuración que se muestra en la Figura 4.

**Figura 4. Configuración conductores.**



$$\text{DME} = (\overline{ab} \times \overline{bc} \times \overline{ac})^{1/3} \quad (5)$$

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

Donde,

a,b,c, son conductores portadores de corriente, y las distancias entre ellos son  $\overline{ab}$ ,  $\overline{bc}$  y  $\overline{ac}$

Como se puede optar entre una red aérea primaria y/o secundaria, se debe hallar la reactancia inductiva y finalmente la constante de regulación debida a la incidencia de las fases, conductores y sus disposiciones físicas.

#### **4.3.2 Calculo de pérdidas de potencia en la red**

Las pérdidas por calentamiento en un conductor vienen definidas por la ley de Joule, Ecuación 6.

$$P=I^2R \quad (6)$$

P = Pérdidas en el sistema.

I = Corriente de línea en amperios.

R= Resistencia eléctrica del conductor.

Las pérdidas se calculan en cada tramo de las redes y transformadores y se suman, para así hallar las pérdidas totales.

### 4.3.3 Posibles configuraciones para el diseño de la red de media y baja tensión

- **Circuito de media tensión de dos hilos, a 13,2 kV:** La red primaria en media tensión se diseña monofásica a 2 Hilos en disposición simétrica, con crucetas de 2,0 metros, con el fin de usar vanos máximos de 145 metros.

En las normas ENELAR 2006 [8], las unidades constructivas<sup>7</sup> serán 510 – 514 – 515- 710-731M ICEL [17].

Datos del circuito en Conductor ACSR N° 2 AWG;

$$DME = (\overline{ab} \times \overline{ba})^{1/2} = 1,8 \text{ m.}$$

$$RMG = 0,00418 \text{ pies} = 0,001274 \text{ m.}$$

$$\text{Resistividad} = 1,0501 [\Omega/\text{km}]$$

$$kV^2 = 174,24$$

$$xl [\Omega/\text{km}] = 7,54 \times 10^{-2} \times \text{Ln} \left( \frac{1,8\text{m}}{0,001274 \text{ m}} \right) = 0,5469 [\Omega/\text{km}]$$

$$\begin{aligned} Kc &= 2 \times \left( \frac{r [\Omega/\text{km}] \times \cos \alpha + xl [\Omega/\text{km}] \times \sin \alpha}{10 \times kV^2} \right) \\ &= 2 \times \left( \frac{1,0501 [\Omega/\text{km}] \times 0,9 + 0,5469 [\Omega/\text{km}] \times 0,4359}{10 \times 174,24 kV^2} \right) \\ &= 0,0013584 \left[ \frac{\%}{kVA - \text{km}} \right] \end{aligned}$$

<sup>7</sup> Unidad constructiva: Conjunto de elementos que conforman una unidad típica de un sistema eléctrico, destinada a la conexión de otros elementos de una red, al transporte o a la transformación de la energía eléctrica, o a la supervisión o al control de la operación de activos de los STR o SDL [11].

- **Circuito secundario monofásico de dos hilos, a 120 V:** Dado que el circuito secundario será un circuito monofásico de 2 Hilos, se utilizarán unidades constructivas 621 y 623 ICEL [18].

Datos del circuito en Conductor ACSR N° 2 AWG;

$$DME = (\overline{ab} \times \overline{ba})^{1/2} = 0,2 \text{ m.}$$

$$RMG = 0,00418 \text{ pies} = 0,001274 \text{ m.}$$

$$\text{Resistividad} = 1,0501 [\Omega/\text{km}]$$

$$kV^2 = 0,0576$$

$$xl [\Omega/\text{km}] = 7,54 \times 10^{-2} \times \text{Ln} \left( \frac{0,2\text{m}}{0,001274 \text{ m}} \right) = 0,381234 [\Omega/\text{km}]$$

$$\begin{aligned} Kc &= 8 \times \left( \frac{r [\Omega/\text{km}] \times \cos \alpha + xl [\Omega/\text{km}] \times \sin \alpha}{10 \times kV^2} \right) \\ &= 8 \times \left( \frac{1,0501 [\Omega/\text{km}] \times 0,9 + 0,381234 [\Omega/\text{km}] \times 0,4359}{10 \times 0,0576 kV^2} \right) \\ &= 15,4343 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right] \end{aligned}$$

- De la ecuación 7, se despeja y se evalúa la distancia máxima que ha de tener la red secundaria de distribución para energizar la acometida de un solo usuario, con una carga proyectada a 20 años de 1,44 kVA, desde la conexión de bajantes secundarios del transformador hasta el poste terminal de la red;

$$\%V = M * Kc = (S(\text{kVA}) * L(\text{km})) * Kc \quad (7)$$

Entonces, despejando para hallar la longitud:

$$L(\text{km}) = \frac{\%V}{S(\text{kVA}) * Kc} = \frac{6\%}{1,44\text{kVA} * 15,4343 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right]} = 0,2699 \text{ km}$$

- De la ecuación 8, se despeja y se evalúa la distancia máxima que ha de tener la red secundaria de distribución para energizar la acometida de dos usuarios con una carga proyectada a 20 años de 1,89 kVA, desde la conexión de bajantes secundarios del transformador hasta el poste terminal de la red;

$$\%V = M * Kc = (S(\text{kVA}) * L(\text{km})) * Kc \quad (8)$$

Entonces, despejando para hallar la longitud:

$$L(\text{km}) = \frac{\%V}{S(\text{kVA}) * Kc} = \frac{6\%}{1,89\text{kVA} * 15,4343 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right]} = 0,2056 \text{ km}$$

Datos del circuito en Conductor ACSR N° 1/0 AWG;

$$\text{DME} = (\overline{ab} * \overline{ba})^{1/2} = 0,2 \text{ m.}$$

$$\text{RMG} = 0,00446 \text{ pies} = 0,001359 \text{ m.}$$

$$\text{Resistividad} = 0,6959 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\text{kV}^2 = 0,0576$$

$$xl \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] = 7,54 * 10^{-2} * \text{Ln} \left( \frac{0,2\text{m}}{0,001359 \text{ m}} \right) = 0,3763 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$\begin{aligned} Kc &= 8x \left( \frac{r \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] * \cos \alpha + xl \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] * \sin \alpha}{10 * \text{kV}^2} \right) \\ &= 8x \left( \frac{0,6959 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] * 0,9 + 0,3763 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] * 0,4359}{10 * 0,0576 \text{kV}^2} \right) \\ &= 10,67 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right] \end{aligned}$$

- De la ecuación 9, se despeja y se evalúa la distancia máxima que ha de tener la red secundaria de distribución para energizar la acometida de un solo usuario con una carga proyectada a 20 años de 1,44 kVA, desde la conexión de bajantes secundarios del transformador hasta el poste terminal de la red;

$$\%V = M * Kc = (S(\text{kVA}) * L(\text{km})) * Kc \quad (9)$$

Entonces, despejando para hallar la longitud:

$$L(\text{km}) = \frac{\%V}{S(\text{kVA}) * Kc} = \frac{6\%}{1,44\text{kVA} * 10,67 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right]} = 0,379 \text{ km}$$

- De la ecuación 10, se despeja y se evalúa la distancia máxima que ha de tener la red secundaria de distribución para energizar la acometida de dos usuarios con una carga proyectada a 20 años de 1,89 kVA, desde la conexión de bajantes secundarios del transformador hasta el poste terminal de la red;

$$\%V = M * Kc = (S(\text{kVA}) * L(\text{km})) * Kc \quad (10)$$

Entonces, despejando para hallar la longitud:

$$L(\text{km}) = \frac{\%V}{S(\text{kVA}) * Kc} = \frac{6\%}{1,89\text{kVA} * 10,67 \left[ \frac{\%}{\text{kVA km}} \right]} = 0,2892 \text{ km}$$

Después de hallar las longitudes máximas posibles para los conductores N°2 AWG, 1/0 AWG tipo ACSR para la red de baja tensión se concluye que: una posible solución para este proyecto es utilizar el calibre N°2 AWG para llevar la energía eléctrica desde el transformador N°15, hasta los usuarios la bisagra y la envidia; ya que sólo estos dos usuarios cumplen con la distancia requerida para electrificar la red de baja tensión con calibre N°2 AWG, puesto que con el calibre 1/0 AWG tipo ACSR se eleva el presupuesto.

## 4.4 CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE BAJA TENSIÓN

### 4.4.1 Regulación

La regulación secundaria máxima permisible será del 6% para condiciones normales de operación [8].

### 4.4.2 Tensión nominal

Los niveles de tensión normalizados para los circuitos de distribución secundaria son: 120 V para circuitos monofásicos y 120/208 V para circuitos trifásicos.

### 4.4.3 Tipos y calibres de conductores

La selección del conductor debe ser el resultado de una comparación entre una gama preseleccionada de conductores, el calibre mínimo normalizado en B.T. es el N° 2 AWG ACSR. Los cálculos para seleccionar el conductor se pueden ver en el Anexo K. Después de realizar los cálculos de regulación y pérdidas de potencia el conductor que satisface las anteriores exigencias es el N°2 AWG tipo ACSR.

#### 4.4.4 Tipos y localización de estructuras

En el presente proyecto el terreno donde se construirán las redes de baja tensión es totalmente llano; por tanto los postes de baja tensión se ubican a interdistancia de 50 m en promedio. Para las estructuras se utilizarán postes de cemento de 8 m de longitud, capacidad de ruptura 510 kg, con una profundidad de empotramiento de 1,40 m; de acuerdo con las normas IPSE para redes de distribución secundarias.

- Tipos de estructuras que se utilizarán para la red de baja tensión [17], ver Anexo L.
- **ICEL 621** Estructura de alineamiento apoyo con percha de dos puestos.
- **ICEL 623** Estructura de retención apoyo con percha de dos puestos.

#### 4.4.5 Templetes

Para los templetes de baja tensión se utilizarán varillas de anclaje de 5/8" x 1,80 m de longitud, y la retenida será de acero galvanizado extra resistente, con un diámetro de 1/4". La varilla de anclaje con respecto a la línea vertical tendrá un ángulo mínimo de 30°. Teniendo en cuenta la longitud de la varilla de 1,80 m, entonces la profundidad mínima (h) del hueco será de 1,70 m. La cimentación se hará en concreto ciclópe y si es requerido, los templetes de baja tensión deberán llevar aislador tensor ref. ANSI 53-2 de las siguientes características.

- Longitud: 3½".
- Diámetro: 2½".
- Tensión de acero: Seco 25 kV. Húmedo 12 kV.
- Resistencia mecánica: 10.000 Lb.

#### **4.4.6 Presupuesto**

El presupuesto general detallado, con los respectivos análisis de los precios unitarios se muestra en el anexo M, y el costo total de la red de baja tensión se presenta en el anexo N.

### **4.5 CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

La red de distribución primaria que actualmente existe entre Arauca y Cravo Norte es de dos hilos, al igual que el tramo para los usuarios que se pretenden energizar a través de este proyecto; que se realizó en dos hilos, utilizando estructuras norma IPSE, ubicada en posteria de concreto de 12 metros de 510 kg (alineamiento y retención).

#### **4.5.1 Regulación**

La regulación primaria máxima permisible será del 3% para condiciones normales de operación [8].

#### **4.5.2 Tensión nominal**

El nivel de tensión normalizado para los circuitos de distribución primaria es de 13,2 kV.

#### **4.5.3 Tipos y calibres de conductores**

Después de realizar los cálculos de regulación de tensión y pérdidas de potencia se seleccionó el conductor N° 2 AWG tipo ACSR, el cual cumplió con la regulación de tensión y las pérdidas de potencia. Los resultados de estos valores se pueden ver en el Anexo O, cálculos de regulación y pérdidas de potencia en media tensión.

#### 4.5.4 Tipos y localización de estructuras

En el presente proyecto el terreno donde se construirán las redes de Media Tensión, es totalmente llano; por tanto los postes de Media Tensión se ubican a interdistancia de 145 m máximo. Para las estructuras se utilizarán postes de cemento de 12 m de longitud, capacidad de ruptura 710 kg, con una profundidad de empotramiento de 1,80 m, de acuerdo con las normas IPSE para redes de distribución secundarias.

- Tipos de estructuras que se utilizarán para la red de Media Tensión. Ver anexo P.
- **ICEL 710** Montaje de transformador monofásico
- **ICEL 510** Circuito bifásico disposición horizontal.
- **ICEL 514** Estructura terminal circuito bifásico.
- **ICEL 515** Estructura de retención circuito bifásico.
- **ICEL 731** Estructura de cambio de ángulo circuito bifásico.

#### 4.5.5 Templetes

De acuerdo al manejo del O.R, el cable de acero galvanizado utilizado en retenidas o templetes en MT para estructuras de 13,2 kV, es cable de acero galvanizado tipo súper resistente de 5/16" de diámetro, en relación a la Tabla 14 de cables de acero galvanizado extra resistente extraída de la normatividad ENELAR.

**Tabla 14. Cables de Acero usados convencionalmente**

DIÁMETRO		CARGA RUPTURA kg
mm	Pulg.	
3,2	1/8"	830
4,8	3/16"	1.810
6,2	1/4"	3.020
7,9	5/16"	5.090
9,5	3/8"	6.980

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

### ➤ Factores de seguridad y sobrecarga

Según la normativa ENELAR 2006 se consideran cargas normales las cargas de ángulo, las cargas de viento (con velocidad de viento promedio de la zona donde se desarrollará el proyecto) y las cargas longitudinales de las estructuras terminales. Los factores de sobrecarga utilizados son:

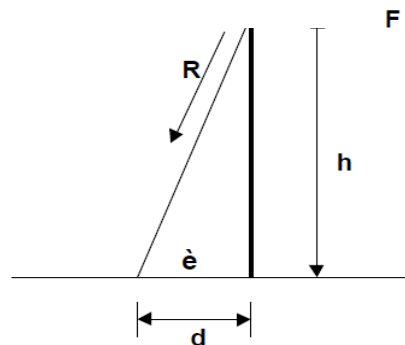
Para cargas de ángulo: 1,5

Para cargas de viento: 2,0

Factor de seguridad del templete: 2,0

Los templetes a montar, en el caso de una estructura final del circuito en MT tendrán el siguiente diagrama de fuerzas, como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5. Diagrama de fuerzas para templetes**



Donde se determina que la fuerza a soportar por un templete con relación a la tensión de la red primaria obedecerá a la ecuación 11, donde:

$$F = R * \cos \phi \quad (11)$$

Pero como la fuerza  $F$  en este caso obedecerá a la tensión realizada por los dos conductores del circuito primario, más un factor de seguridad del 1,1 en p.u, la fuerza  $F$  debida al circuito primario Bifásico a soportar en la punta del poste de 12 m de altura se obtiene por medio de la ecuación 12.

$$F = 2 \text{ Conductores} * \text{Tensión del Vano regulador Máximo} * \text{Factor de Seguridad} \quad (12)$$

$$F = 2 \times 350 \text{ kg} \times 1,1 = 770 \text{ kg}$$

Para una estructura final del circuito, la tensión a soportar por el templete o retenida, con un ángulo de inclinación con relación al suelo de no más de 71,56 ° (Normatividad ENELAR Capítulo 3), se obtiene de la Ecuación 13.

$$R = \frac{F}{\cos 71.56^\circ} = \frac{770 \text{ kg}}{0,3163} = 2.434 \text{ kg} \quad (13)$$

Como ya se calculó que R (Tensión admisible del templete es de 2.540 kg), se concluye que un solo templete de cable de acero galvanizado tipo súper resistente será suficiente para contrarrestar la fuerza ejercida por la red eléctrica en la estructura final del circuito que es de 2434 kg, la carga de ruptura viene dada por la Ecuación 14.

$$Tr = R * Fs \quad (14)$$

Así, la ficha técnica del cable de acero a utilizar se resume en la Tabla 15.

**Tabla 15. Características del cable a utilizar**

<b>Cable tipo súper resistente – seleccionado para el templete en MT</b>	<b>5/16"</b>
Tr=Carga de Ruptura en kg	5.090
Fs=Factor de seguridad del templete	2
R = Tensión admisible del templete en kg	2.540

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

#### 4.5.6 Cálculos mecánicos del conductor para la red de media tensión

Para realizar el correcto montaje y tendido de la red de media tensión Bifásica de Distribución con conductor N° 2 AWG ACSR, se deben estimar las tensiones mecánicas del conductor, los vanos permitidos y otras características propias de la línea que determinen valores límites con ciertos factores de seguridad, como patrones estándar máximos permitidos para la integridad de las redes en el momento de la instalación y en todo su ciclo de vida.

Para el cálculo mecánico del conductor eléctrico se contemplan los diferentes valores físicos implícitos en el montaje y selección de las unidades constructivas relacionadas al tensionado mismo del conductor eléctrico, así como los factores externos al montaje y tensionado de la red, siendo éstos los efectos medioambientales que inciden en diferentes “cambios de estado” del sistema electromecánico a montar. Para empezar con el análisis se debe conocer la ficha técnico-mecánica del conductor seleccionado, en la Tabla 16 se observa la ficha técnica del conductor N° 2 AWG ACSR.

**Tabla 16. Características mecánicas del conductor N° 2 AWG [9]**

<b>CONDUCTOR N° 2 AWG ACSR</b>	
Tensión de Rotura. (kg)	1266
T1. 25% de Tensión de ruptura = Tensión de trabajo diario. (kg)	316
Coeficiente de dilatación del conductor (°C) [ e ]	0,0000191667
Módulo de elasticidad del conductor (kg/mm <sup>2</sup> ) [ E ]	9000
Área del conductor en mm <sup>2</sup> [ a ]	39,2
Peso del conductor en kg/m [ W <sub>1</sub> ]	0,13627
Peso del conductor en kg/m [ W <sub>2</sub> ]	0,25518
Relación de hilos de aluminio y acero del conductor	6-1
Área en mm <sup>2</sup> de un hilo conductor/acero.	5,6

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

En la Tabla 16, el peso del conductor ya tiene implícito el valor adicional de la carga agregada a la masa propia del conductor por efecto de la fuerza del viento en función a su velocidad (se determina como  $W_2$  ya que será la condición final con viento). Como segunda medida se deben conocer las variables medioambientales que inciden en el cambio de estado de la red eléctrica, que se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17. Variables Ambientales [9]**

<b>Variables del conductor debido a condiciones medioambientales</b>	
EDS, Temperatura Promedio °C	25
Temperatura Mínima Esperada °C	13
Máxima Temperatura Esperada °C	75
Velocidad máxima del viento km/h	80

Con los datos consignados en las dos tablas anteriores se procede a desarrollar la ecuación de tercer grado de cambio de estado para determinar la tensión final en kg del conductor, con relación a vanos reguladores “S”, desde 100 hasta 500 metros de longitud y se evalúa en la Ecuación 15:

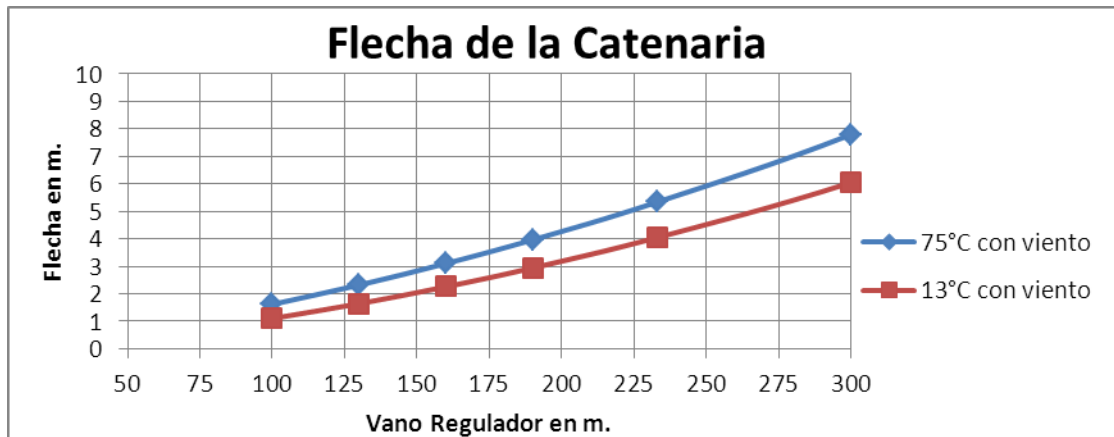
$$T_2^3 + T_2^2 \left[ \frac{W_1^2 * S^2 * E * a}{24 * T_1^2} + (E * a * e * t) - T_1 \right] = \frac{W_2^2 * S^2 * E * a}{24} \quad (15)$$

Donde  $T_2$  equivale la solución de la ecuación, siendo la tensión en kg final del conductor con las condiciones dadas, para las otras variables y constantes ver las dos tablas superiores.

En función a la longitud del vano determinado, la temperatura y la velocidad del viento, la catenaria que se ha de formar puede llegar a variar sustancialmente, lo que implicaría una mayor o menor flecha dependiendo de las condiciones atmosféricas circundantes del conductor, así como el cambio de la magnitud de la tensión ejercida en el conductor y que ha de soportar la unidad constructiva entre vanos. Se deben evaluar por separado las limitantes del tendido del conductor que se describen a continuación:

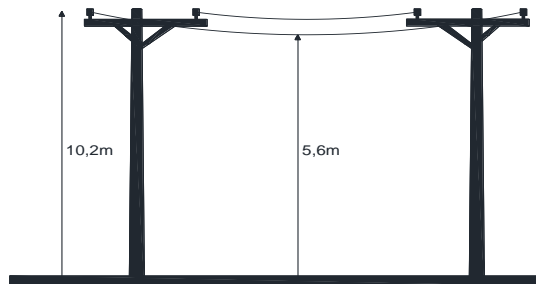
No se puede sobrepasar una flecha máxima determinada en función a las mínimas distancias de seguridad exigidas por el RETIE [11]: Lo que implica analizar la flecha máxima y la flecha mínima probables en relación a las condiciones ambientales más fuertes (máximo viento incidente y máxima temperatura) y las condiciones ambientales más suaves (mínimo temperatura) respectivamente. En la Figura 6, se presenta la flecha máxima y flecha mínima para el conductor seleccionado en relación a diferentes longitudes de vano regulador y dos diferentes condiciones atmosféricas.

**Figura 6. Flechas para diferentes condiciones atmosféricas**



De la anterior imagen debe tomarse como línea de referencia la curva azul superior (75° con viento de 80 km/h), se observa que la flecha máxima será de 3 m para vanos aproximados de 150 m. La indicación del RETIE con base a la distancia mínima de seguridad de la parte más baja de la línea al suelo es de 5,6 m, como se puede ver en la Figura 7.

**Figura 7. Distancias mínimas**



Para determinar la flecha máxima se tiene en cuenta la distancia de seguridad mínima de 5,6 por el 1,3 en p.u como factor de seguridad exigido por la norma ENELAR (Este valor solo se determinó para vanos reguladores en los que los dos puntos extremos de amarre del conductor se encuentren a la misma altura, lo que significa que todos los postes estarán cimentados en terreno completamente plano, sin elevaciones del terreno entre postes), en la Tabla 18 se muestra la flecha máxima admisible y las distancias de seguridad a utilizar.

**Tabla 18. Flecha y distancias de seguridad**

<b>Flecha máxima admisible</b>	
Altura del Poste en m.	12
Enterramiento del poste en m.	1,8
Altura del Poste desde el suelo hasta el extremo superior en m.	10,2
FS. Factor de Seguridad de la Distancia de seguridad Mínima	1,3
Distancia de Seguridad obtenida en m. ( 5,6 m*F.S)	7,28
Flecha máxima admisible m	2,92

Se concluye, que en la parte del llano el vano máximo recomendado a tender para la red de media tensión de los proyectos es de 150 m de longitud contemplando un factor de seguridad del 1,3 como holgura sobre los 5,6 m como altura mínima exigida por la norma.

#### 4.5.7 Presupuesto

El presupuesto general detallado, con los respectivos análisis de los precios unitarios se muestra en el anexo Q, y el costo total de la red de media tensión se presenta en el anexo R.

#### 4.6 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

De acuerdo con la normatividad de la Empresa de Energía de Arauca ENELAR año 2006 [8], para seleccionar el transformador de distribución se tiene en cuenta la carga máxima y proyectada por usuario; en el caso de este proyecto la carga se proyectará a un periodo de veinte años (20) como lo exige el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), teniendo en cuenta el factor de diversidad.

En la Tabla 19 se presentan las capacidades normalizadas para transformadores monofásicos a nivel de 13,2 kV, áreas Rurales (Normatividad ENELAR Capítulo 1) [8].

**Tabla 19. Capacidades normalizadas, nivel de tensión 13,2 kV en áreas rurales**

<b>NIVEL DE TENSIÓN: 13200/240-120 V</b>
<b>kVA</b>
5
10
15
25

**Fuente. Normatividad ENELAR [8]**

Para la determinación de la capacidad y localización de los transformadores de distribución, se tuvo en cuenta la ubicación de los usuarios, el tipo de carga a alimentar y las limitaciones técnicas para suministrar un buen servicio.

#### **4.6.1 Localización**

Se ubican en el sitio más cercano al centro de carga de los usuarios a servir, de tal forma que los ramales a alimentar tengan una regulación máxima de 6% y unas pérdidas de potencia máxima del 8% [8].

#### **4.6.2 Número de transformadores**

Veinticinco (25) transformadores monofásicos de 5 kVA, a 13,2 kV-240/120 V.

#### **4.6.3 Relación de transformación**

La tensión nominal en el lado de alta tensión (entrada) para transformadores monofásicos, serán de 13.200 V y de 240/120V en el lado de baja tensión (salida).

#### **4.6.4 Instalación de puestas a tierra para transformadores**

Los pararrayos, el neutro y la carcasa del transformador se deben conectar a tierra por medio de un conductor desnudo de cobre No. 4 AWG y con una varilla Cooper-weld de 5/8" \* 2,4 m de longitud; con gel tenso activo y soldadura Cadweld de 115 gr para lo conexiones entre las varillas y el cable de cobre desnudo enterrada al pie del poste.

#### 4.6.5 Selección de protecciones

- **Sobrecorriente:** Se utilizarán cortacircuitos tipo abierto, con hilo fusible tipo H, como se muestra en la Figura 8, que se seleccionará de acuerdo con la Tabla 20, en función a lo consignado en la norma MN256-MN257-MN258-MN259, Capítulo 10 ENELAR.

Figura 8. Fusible tipo H

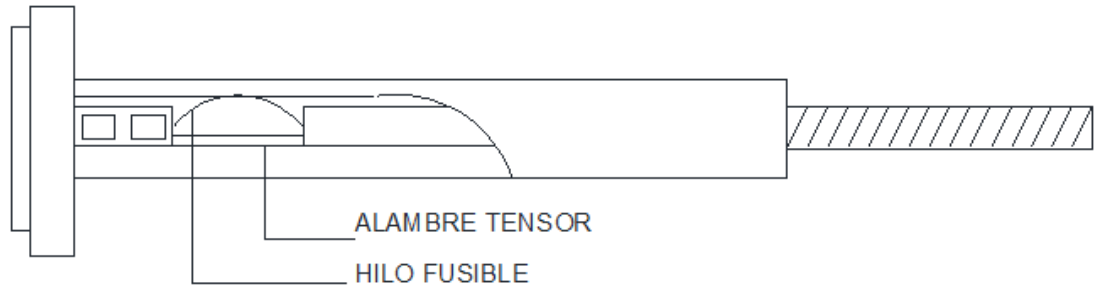


Tabla 20. Características fusibles

REFERENCIA	CAPACIDAD NOMINAL DEL TRANSFORMADOR A PROTEGER EN KVA		
	*MONOFÁSICO A 7.600 V	MONOFÁSICO A 11400 Y 13.200 V	TRIFÁSICO A 11.400 Y 13.200 V
2H	5	5	
3H	10	oct-15	15
5H	15	25	30-45
25K	PROTECCIÓN CONDENSADORES 3*2000 kVar		
10T	PARA PROTECCIÓN DE DERIVACIONES MENORES DE 1000 kVA		
20T			
40T			

Fuente. Normatividad ENELAR [8]

- **Sobretensiones:** Se usarán DPS tipo distribución, seleccionados con base en los criterios establecidos en las normas para tal fin. En su ubicación se debe tener en cuenta que eléctricamente queden lo más próximo posible al transformador y “aguas abajo” de los cortacircuitos. Para la selección del DPS se utilizará la Ecuación 15.

$$V_{\text{pararrayo}} = 0,8 * V_{\text{maximo}} \quad (15)$$

El nivel de tensión máximo presente es:

$$V_{\text{maximo}} = 15 \text{ kV}$$

$$V_{\text{pararrayo}} = 0,8 * 15 \text{ kV} = 12 \text{ kV}$$

Se selecciona DPS de óxido de zinc, tipo distribución de 12 kV de tensión nominal y corriente nominal de descarga de 10 kA, para un impulso de corriente tipo rayo, onda 8/20  $\mu$ s.

#### **4.6.6 Presupuesto**

El presupuesto general detallado, con los respectivos análisis de los precios unitarios se muestra en el anexo S.

#### **4.7 COSTO TOTAL DE INVERSIÓN POR MEDIO DE LA EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA**

El costo total de la inversión para llevar energía eléctrica a la vereda Las Plumas Arauca, Arauca se presenta en el anexo T.

#### **4.8 PRECIO DEL kWh INSTALADO EN LA ELECTRIFICACIÓN RURAL POR MEDIO DE LA EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA**

El precio del kWh es de \$ 220,52 (Tarifa suministrada por la Empresa de Energía de Arauca (ENELAR), para zona rural estrato 1).

### **5 CUADRO COMPARATIVO DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR**

En la Tabla 21 se presenta la comparación de las posibles alternativas a implementar, detallando el costo inicial y el costo final de cada una.

**Tabla 21. Comparación de posibles tecnologías a implementar**

TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA	GASTOS		VENTAJAS	DESVENTAJAS
	INVERSIÓN INICIAL AÑO 0	INVERSIÓN FINAL AÑO 20		
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA \$ 1228 /KWh	\$ 413.462.417,00	\$ 593.096.417,00	NO USA COMBUSTIBLES, EL IMPACTO AMBIENTAL ES NULO Y EL CONSUMO DE ENERGÍA ES TOTALMENTE GRATUITO.	EL COSTO DE COMPRA ES ELEVADO, NO PUEDE UTILIZARSE MAS ENERGÍA DE LA ACUMULADA EN BATERÍAS, ESTÉTICA.
EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA \$ 220,52 /KWh	\$ 1.824.505.322,00	\$ 1.949.612.937,00	SOPORTA CUALQUIER TIPO DE CARGA, CONFIABILIDAD, POSIBILIDAD DE ACCEDER A MAS DE UN NIVEL DE TENSIÓN.	ELEVADOS COSTOS DE INVERSIÓN Y DE A.O.M, CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, SUFREN DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

De la Tabla 21 se concluye que la alternativa más viable económicamente es la generación fotovoltaica con un costo total de inversión de \$ 593.096.417,00. Por esta razón el proyecto será presentado al fondo de financiación FAZNI.

## 6 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO

La estructuración del proyecto de identificación rural para la vereda Las Plumas municipio de Arauca, Arauca se desarrollará teniendo en cuenta los siguientes estudios:

### 6.1 ESTUDIO SOCIAL

#### 6.1.1 Situación actual

Actualmente los pobladores de la vereda Las Plumas no cuentan con el suministro de energía eléctrica, ya que se encuentran muy retirados de la red que tiene la Empresa de Energía de Arauca (ENELAR). Además, estas viviendas están localizadas en zonas de difícil acceso debido a las malas condiciones en que se encuentran las carreteras. Hoy por hoy estas personas utilizan velas de cera,

linternas y lámparas a base de combustible como fuente de iluminación y dependen de la leña para cocinar. En la Tabla 22 se muestra el costo para suplir las necesidades energéticas.

**Tabla 22<sup>8</sup>. Costo de elementos utilizados para suplir necesidades energéticas por vivienda**

DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	COSTO UNITARIO	COSTO MENSUAL
VELAS DE CERA	U	65	\$ 300,00	\$ 19.500,00
LINTERNA	U	0,5	\$ 6.000,00	\$ 3.000,00
BATERÍAS PARA LINTERNA	U	6	\$ 2.000,00	\$ 12.000,00
LÁMPARAS A BASE DE COMBUSTIBLE	U	0,16	\$ 20.000,00	\$ 3.200,00
COMBUSTIBLE PARA LÁMPARA	Litro	8	\$ 2.000,00	\$ 16.000,00
LEÑA	Carga	8	\$ 10.000,00	\$ 80.000,00
<b>COSTO TOTAL MENSUAL</b>				<b>\$ 133.700,00</b>

El número de viviendas a atender es de 26; con un total de 104 personas, cuyas características demográficas se presentan en la Tabla 23.

**Tabla 23. Características demográficas de la vereda Las Plumas**

DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN		TOTAL	FUENTE
EDAD	0 A 14 años	40	ESTUDIO SOCIO-ECONÓMICO
	15 A 19 años	15	
	20 A 59 años	22	
	Mayor de 60 años	27	
	Población Total	104	

El nivel socioeconómico actual de la mayoría de las familias de la vereda Las Plumas es: nivel I; y algunas familias que poseen una cantidad considerable de tierra la cual las ubican en el nivel II, en la zona es notoria la presencia de fuerzas armadas al margen de la ley. Por consiguiente los ingresos por familia son mínimos en comparación con zonas sin influencia de grupos armados ilegales. En la Tabla 24 se presenta el ingreso promedio mensual recibido por persona en las anteriores condiciones.

<sup>8</sup> Datos tomados de las visitas realizadas a la vereda Las Plumas Arauca, Arauca

**Tabla 24. Ingreso mensual por habitante en la vereda Las Plumas**

DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	COSTO UNITARIO	COSTO MENSUAL
JORNAL	U	20	\$ 25.000,00	\$ 500.000,00
<b>COSTO TOTAL MENSUAL</b>				<b>\$ 500.000,00</b>

### **6.1.2 Situación esperada**

Con la ejecución del proyecto se suplirá la necesidad de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos individuales, por medio de esta tecnología se procura:

- Cambiar la forma de iluminación; velas por electrones.
- Mejorar las condiciones de la vereda en cuanto a salud y educación.
- Contar con disponibilidad para la instalación de cercas eléctricas en esta zona ganadera, optimiza el uso de pastos e incrementa la productividad ganadera.

## **6.2 ESTUDIO DE MERCADO**

El consumo proyectado de la demanda por usuario es a 20 años. El costo que un usuario estaría dispuesto a pagar por el servicio de energía eléctrica es de \$ 15 000 pesos mensuales, dicho valor fue pactado con la comunidad en las visitas realizadas a la vereda Las Plumas. La información anterior fue extraída del estudio social que se realizó con las familias seleccionadas para ejecutar el proyecto.

## **6.3 ESTUDIO AMBIENTAL<sup>9</sup>**

El estudio ambiental es la herramienta básica a la hora de tomar decisiones que tienen que ver con los proyectos, actividades y obras que requieran de licencia ambiental. De acuerdo con los reglamentos establecidos por ley el estudio ambiental se desarrollará en base en las siguientes etapas:

---

<sup>9</sup> SUAREZ DELGADO, CLAUDIA LORENA. Documento de Gestión Ambiental para la Electrificación de Comunidades Rurales con Generación Fotovoltaica Individual en la Vereda Las Plumas del Municipio de Arauca-Departamento de Arauca.

### 6.3.1 Etapa de planificación

Está constituida por las actividades de selección del sitio y ubicación de predios, así como la elaboración de la guía de gestión ambiental.

En esta etapa será de vital importancia las estrategias de relacionamiento comunitario, para minimizar los conflictos potenciales que podrían generarse por la implementación del proyecto propuesto.

### 6.3.2 Etapa de construcción

En la etapa de construcción se preparará el área, se instalará la estructura de soporte para los paneles solares, se continuara la plataforma e instalarán los inversores.

- **Preparación del terreno:** Se retira del área a intervenir la capa vegetal, la cual será almacenada adecuadamente para su uso posterior en los procesos de rehabilitación de los terrenos o en la capa de cierre o retiro. Será reemplazado el suelo no apto para construcción, nivelado del terreno, para posteriormente colocar una capa de grava con un sistema de drenaje adecuado en los accesos y caminos interiores.
- **Traslado de equipos:** El equipo será entregado vía terrestre por las vías de acceso y las vías internas.
- **Instalación del sistema de estanterías:** El sistema matriz consistirá en estructuras para alojar los módulos solares fijos. La matriz es conectada a tierra por los pilotes. Independientemente del método de conexión, los pilotes serán enterrados.
- **Montaje e instalación de paneles solares:** Es realizado de forma manual, con la excepción de los camiones grúas ligeros y remolques de plataforma (módulo de almacenamiento y plataforma).  
La instalación y proceso de marrado consiste en el montaje de los componentes (módulos) a los bastidores de las estructuras de soporte.
- **Limpieza y recuperación:** Los residuos sólidos y los escombros generados durante las actividades de construcción serán recolectados y dispuestos en un almacenamiento temporal para su posterior envío a un gestor ambiental (acorde al tipo de desecho).  
Existirá un proceso de cierre concurrente, el cual basa su principio en recuperar y rehabilitar las áreas intervenidas en el menor tiempo posible, con el objeto de evitar procesos erosivos.

- **Puesta en marcha:** La puesta en marcha de las instalaciones se producirá una vez que los módulos solares y el sistema eléctrico están completamente instalados. Las actividades de puesta a tierra en marcha consistirán en la prueba de inspección de las instalaciones eléctricas, mecánicas y de los demás sistemas de comunicación.

### 6.3.3 Etapa de operación

Una tercera etapa, que es la más larga en términos de tiempo es la operación, que es básicamente la generación, transformación y transmisión de la energía fotovoltaica así como el mantenimiento predictivo y correctivo de la facilidad.

- **General:** El proyecto requiere personal técnico y administrativo para mantener la instalación.  
Se espera que un equipo de trabajadores sea requerido para mantener el proyecto funcionando de manera apropiada y a cargo de un mantenimiento preventivo periódico y correctivo cuando fuese necesario.
- **Mantenimiento de rutina:** El mantenimiento de rutina se programa usualmente cada 6 meses con las tareas específicas para cada intervalo. El mantenimiento se realiza generalmente mediante la remoción de un bloque de 100Wp del servicio e inspeccionando sus sistemas eléctricos, de control y de mecánica en la matriz. Pueden utilizarse grasas para los componentes mecánicos del sistema, también se limpia el área de maleza y repara el cercamiento.
- **Mantenimiento no planificado de las instalaciones:** Los paneles solares a utilizarse son muy confiables y la mayoría de sus componentes son diseñados para operar por más de 20 años. Sin embargo debido al número de módulos son inevitables fallas en algún panel, usualmente, estas reparaciones pueden ser llevadas por un solo grupo técnico.

### 6.3.4 Etapa de abandono

Finalmente la cuarta etapa será la de abandono, una vez finalizada la vida útil del proyecto que será de 20 años.

- **Procedimiento para la clausura:** El proceso de retiro del proyecto será similar a lo descrito en la fase de construcción pero en orden inverso<sup>10</sup>. La creación de área de trabajo temporal para proporcionar espacio suficiente para el área de nivelación de los paneles y estanterías desmontadas, así para la carga en los camiones. La capa superior del suelo será removido y podría ser necesario añadir material de sustentación; El equipo puede incluir, como mínimo: uso de grúas para retirar los componentes pesados, como los paneles (posiblemente), estanterías e inversores y el uso de los camiones para la remoción de los mismos. El material usado para la adecuación de los caminos de acceso y los caminos internos serán retirados y remplazados con suelo y subsuelo limpio, para su utilización con fines agrícolas o de otro tipo, utilizando para ello el suelo orgánico removido y guardado en la fase de construcción; Se consideran que las instalaciones físicas como campamentos pueden tener un uso social, por lo que no se incluyen medidas para su cierre o retiro; Los estándares ambientales a considerar serán los vigentes a la fecha de ejecución de esta fase, cumpliendo con los requisitos técnicos-administrativos de la obtención de permisos que permitan desarrollar bajo la supervisión de la Autoridad Ambiental competente.
  
- **Eliminación de los residuos:** Serán remitidos a un gestor ambiental calificado para su tratamiento y disposición final ex –situ.

#### 6.4 FORMULACIÓN ANTE EL FONDO DE FINANCIACIÓN

A continuación se describen los requisitos exigidos para la financiación de un proyecto ante El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas –FAZNI.

El FAZNI fue creado en los artículos 81 al 83 de la Ley 633 de 2000 con una vigencia a 31 de diciembre de 2007; posteriormente la Ley 1099 de 2006 prolonga su vigencia hasta 31 de diciembre de 2014 y es reglamentado medio del Decreto Reglamentario 1124 de 2008. Su objetivo es financiar los planes, programas y proyectos de inversión en infraestructura energética en las zonas no interconectadas para la reposición o la rehabilitación de la red existente, con el propósito de ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las Zonas No Interconectadas (ZNI) [16].

---

<sup>10</sup> Será decisión del operador final del proyecto la implementación total o parcial de las acciones de cierre o retiro de ser necesario consultando y tomando en cuenta el criterio de las comunidades circundantes.

#### **6.4.1 Requisitos para la presentación de proyectos de sistemas fotovoltaicos ante el fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas –FAZNI.**

1. **Carta de presentación y solicitud de recursos por el representante legal de la entidad territorial:** Especificando claramente la entidad ejecutora del proyecto, el valor y tipo de recursos solicitados, el valor del proyecto, certificar que los documentos adjuntos son auténticos y que la información presentada sea veraz. Además, debe incluir el domicilio para el envío de la correspondencia e indicar el correo electrónico para facilitar la comunicación.
2. **Certificado de la entidad territorial:** En que conste que el proyecto se encuentra incluido en el Plan de Desarrollo Territorial y esté acorde con el Plan de Ordenamiento Territorial.
3. **Ficha estadística básica de inversión (EBI):** Sale de la metodología general ajustada MGA.
4. **Licencia ambiental, según lo requiera la legislación vigente:** En caso de no requerirse lo anterior, se debe incluir el pronunciamiento de la autoridad ambiental sobre el impacto y viabilidad ambiental del proyecto.
5. **Presupuesto con las cantidades de obra:** Incluyendo los análisis de costos globales y unitarios estimados para la ejecución de cada actividad del proyecto, los costos de contratación de la Interventoría técnica y financiera, auditoría y administración a que haya lugar y las actividades requeridas para la puesta en servicio del proyecto.
6. **Acta de concertación con la comunidad:** En la cual deberá quedar consignado los compromisos asumidos entre la comunidad, la entidad territorial y el Operador de Red o la empresa prestadora del servicio de suministro de energía eléctrica, en el área de influencia. Asimismo, se deberá consignar información sobre el número de familias beneficiadas con el proyecto, especificando cuales corresponden a suscriptores potenciales

(nuevos) y cuáles son usuarios que cuentan con el servicio de energía eléctrica.

7. **Diseños técnicos completos:** Incluye mínimo: localización, plantas, detalles y conexiones, firmados por el ingeniero diseñador y aprobados por la entidad competente y las respectivas memorias de cálculo.
  
8. **Cronograma de actividades y flujo de fondos del proyecto.** Comunicación en la cual se informe de manera escrita si el proyecto ha sido presentado a consideración de otro Fondo de Apoyo Financiero o si le han sido asignado recursos para la ejecución del mismo, detallando cuanto le ha sido aprobado, así como el alcance que le permitirá desarrollarlo.

## OBSERVACIONES

- En la visita técnica realizada a las veintiséis (26) viviendas ubicadas en la vereda Las Plumas del Departamento de Arauca se observó que estas familias presentan ausencia del suministro de energía eléctrica, por esta razón los habitantes presentan deficiencias en el desarrollo intelectual, cultural y académico. Adicionalmente la falta de fluido eléctrico deja espacios para que grupos armados al margen de la ley generen focos de inseguridad y por ende el atraso en el desarrollo socioeconómico de la comunidad de la vereda.
  
- Para efecto de una mejor comparación de las dos alternativas se trató en lo posible de que cada una de ellas estuviera afectada por los mismos factores que podrían intervenir de alguna manera en el presupuesto, a lo largo del trabajo de grado como lo son; el factor de localización y mantenimiento o reposición de equipos durante los 20 años de servicio.
  
- La guía de requisitos para la presentación de proyectos ante El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) está estructurada también para proyectos de ampliación de redes eléctricas donde interviene el Operador de Red. Para el desarrollo del presente trabajo de grado estos requisitos no se tienen en cuenta ya que este se desarrolló para un Sistema Fotovoltaico aislado.

## CONCLUSIONES

- En el desarrollo del presente trabajo de grado se aplicaron los conocimientos aprendidos durante el transcurso del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Eléctrica, en donde se plantea una solución desde el punto de vista técnico y económico para satisfacer las necesidades energéticas y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la vereda Las Plumas en el Departamento de Arauca.
- Es posible cuantificar las necesidades de una población determinada con el propósito de satisfacerlas, por esta razón se formulan proyectos de inversión que sean técnica y económicamente viables para su efectiva ejecución.
- En cada una de las posibles alternativas a implementar, se busca encontrar la más viable económicamente y que satisfaga las necesidades de la comunidad, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos, bajo los anteriores criterios se elegirá la alternativa a implementar en la vereda Las Plumas.
- Al hallar el precio del kWh del Sistema Fotovoltaico una vez finalizado el análisis económico y comparándolo con el precio del kWh de la red eléctrica, se concluye que es más económico el precio del kWh de la red convencional debido a que la tarifa la establece la entidad prestadora del servicio en este caso la Empresa de Energía de Arauca (ENELAR) y no por el costo total de la inversión.
- Al realizar el análisis comparativo entre la solución por medio de un Sistema Fotovoltaico y la Red de distribución eléctrica se obtuvo que la inversión de la instalación del Sistema Fotovoltaico es de \$ 593.096.417,25 y la inversión de la Red de distribución eléctrica es de \$1949.912.937,58 lo cual quiere decir que la solución más económica es la electrificación con sistemas fotovoltaicos, con un 69,59 % menos con respecto a la inversión que tendría que hacerse para la Red de distribución eléctrica.

## BIBLIOGRAFIA

[5] ALCALDÍA DE ARAUCA-ARAUCA. Características del municipio [en línea]. <<http://arauca-arauca.gov.co/index.shtml>>.

[10] ALCALDÍA DE ARAUCA-ARAUCA. Plan de Desarrollo Departamental de Arauca 2012-2015 “ES HORA DE RESULTADOS”. 206p.

[6] ALCOR CABRERIZO, Enrique. Instalaciones solares fotovoltaicas: 4 ed. Sevilla, España: Progensa, 2008. 384p.

[2] CASTAÑO RAMÍREZ, José Samuel. Redes de distribución de energía: 3 ed. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2009. 881p.

[9] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Criterios de planificación y diseño de sistemas de distribución de las zonas no interconectadas (ZNI) del país. Norma IPSE. 2002. 2261p.

[8] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG). Norma de diseño y construcción de instalaciones eléctricas (ENELAR E.S.P). 2ed. Arauca, 2006. 1279p.

[1] GREENPEACE. Cómo salvar el clima [en línea]. <[http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio\\_climatico/informe-c-mo-salvar-el-clima.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/informe-c-mo-salvar-el-clima.pdf)> [2009].

[3] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá D.C.: Seguridad eléctrica Ltda. 2008. 204p.

[11] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Comisión de regulación de energía y gas (CREG).

[16] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas (FAZNI) [en línea]. <<http://www.minminas.gov.co/mme/>>.

[17] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Instituto colombiano de energía eléctrica (ICEI).

[14] OUTBACK POWER SYSTEMS. Catálogo del regulador [en línea]. <<http://www.technosun.com/es/productos/regulador-de-carga-OUTBACK-FM60-MPPT.php>>.

[13] SAITE POWER SOURCE & TECHNOLOGY. Catálogo de batería [en línea]. <<http://www.baote-battery.com/saite/PV-HSE-GEL/BT-HSE-150-12.html>>.

[15] SOLARTRONIC. Catálogo del inversor [en línea]. <[http://www.solartronic.com/download/Catalogo\\_Solartronic.pdf](http://www.solartronic.com/download/Catalogo_Solartronic.pdf)>. [2010].

[4] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Mapas de brillo solar [en línea]. <[http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/3-Mapas\\_Brillo\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/3-Mapas_Brillo_Solar.pdf)> [2005].

[7] UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA. Introducción a los sistemas fotovoltaicos [en línea]. <<http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/diseño-de-sistemas-fotovoltaicos/materiales-de-estudio/1/tema1/skinless-view>> [2010].

[12] YINGLI SOLAR (NYSE: YGE). Catálogo del panel solar [en línea]. <<http://www.yinglisolar.com/al/products/>>.

**Anexo A. Fotos de las viviendas asociadas al proyecto (Fuente: Autores)**

**Anexo A1. La Visagra**



**Anexo A2. La Envidia**



**Anexo A3. La Caseta**



**Anexo A4. Corocito**



**Anexo A5. Los Cubarritos**



**Anexo A6. El Jobo**



**Anexo A7. Los Casanares**



**Anexo A8. El Mauriciero**



**Anexo A9. Los Iguanitos**



**Anexo A10. El Futuro**



**Anexo A11. Campo Lindo**



**Anexo A12. El Toro**



**Anexo A13. La Quinta**



**Anexo A14. Buena Vista**



**Anexo A15. La Sonrisa**



**Anexo A16. Las Piñas**



**Anexo A17. La Prevencion**



**Anexo A18. Los Paisajes**



**Anexo A19. Costa Rica**



**Anexo A20. Las Plumas**



**Anexo A21. Las Plumitas**



**Anexo A22. Santa Barbara**



**Anexo A23. El Guacimo**



**Anexo A24. La Cochina**



**Anexo A25. El Nevado**



**Anexo A26. Caño Rico**



## Anexo B. Características del Módulo Fotovoltaico seleccionado

	<b>Modelo</b>	220
	<b>Celda</b>	Monocrystalino de silicio
	<b>N° de celdas y conexiones</b>	60 en serie
	<b>Potencia Máxima (Pm)</b>	220 W
	<b>Tensión en el punto de máxima potencia (Vpm)</b>	30 V
	<b>Corriente en el punto de máxima potencia (Ipm)</b>	7,4 A
	<b>Tensión de circuito abierto</b>	36,6 V
	<b>Corriente de corto circuito</b>	8,1 A
	<b>Eficiencia</b>	13,50%
	<b>Dimensiones (A,L,A)</b>	1650*990*50 mm
	<b>Peso</b>	18,7 kg

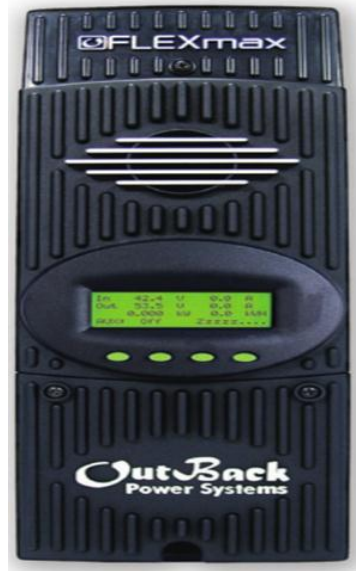
Fuente. Tomado [12]

## Anexo C. Características de las Baterías seleccionadas

	<b>Modelo</b>	BT-HSE-150-12
	<b>Tensión</b>	12 V
	<b>Capacidad</b>	150 Ah
	<b>Dimensiones (A,L,A)</b>	240*482*171 mm
	<b>Tipo</b>	Gel
	<b>Peso</b>	45,8 kg

Fuente. Tomado [13]

## Anexo D. Características del Regulador seleccionado



Modelo	FLEXmax
Tensión	12 V
Corriente máxima de salida	60 A
Peso	5,3 kg

Fuente. Tomado [14]

## Anexo E. Características del Inversor seleccionado



Modelo	PI-800
Eficiencia	>85%
Voltaje de entrada CD	10-15 V
Voltaje de salida AC	110 V
Potencia Continua	800 W
Potencia Pico < 1 S	1600 W
Peso	1,36 kg

Fuente. Tomado [15]

**Anexo F. Características del soporte para módulos solares**



**Anexo G. Presupuesto detallado y precios unitarios del sistema fotovoltaico  
(Fuente: Autores)**

**Anexo G1. Costo sistema de generación fotovoltaico**

ÍTEM	SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso sistema de paneles (TN)	0,0561		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
MODULO FOTOVOLTAICO 220 Wp	U	3	\$ 1.200.000,00	\$ 3.600.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 3.600.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 21.000,00	\$ 21.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 21.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 75.600,00	\$ 75.600,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,0561	\$ 1.000,00	\$ 34.277,10
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,0561	\$ 800,00	\$ 3.321,12
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 113.198,22</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 38.181,82	\$ 38.181,82
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 28.636,36	\$ 28.636,36
AYUDANTE	U	1	\$ 22.909,09	\$ 22.909,09
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 89.727,27</b>
<b>TOTAL: INSTALACIÓN SISTEMA GENERACIÓN FOTOVOLTAICO</b>				<b>\$ 3.823.925,49</b>

## Anexo G2. Costo del sistema de acumulación

ÍTEM	BANCO DE BATERÍAS			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso banco de baterías (TN)	0,229		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
BATERÍAS 150 AH -12 V	U	5	\$ 600.000,00	\$ 3.000.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 3.000.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 15.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 54.000,00	\$ 54.000,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,229	\$ 1.000,00	\$ 139.919,00
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,229	\$ 800,00	\$ 13.556,80
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 207.475,80</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 27.272,73	\$ 27.272,73
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 20.454,55	\$ 20.454,55
AYUDANTE	U	1	\$ 16.363,64	\$ 16.363,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 64.090,91</b>
<b>TOTAL: INSTALACIÓN BANCO DE BATERÍAS</b>				<b>\$ 3.286.566,71</b>

**Anexo G3. Costo regulador de carga**

ÍTEM	REGULADOR DE CARGA SISTEMA FOTOVOLTAICO			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso regulador (TN)	0,0053		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
REGULADOR DE CARGA 60 A	U	1	\$ 1.500.000,00	\$ 1.500.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 1.500.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 15.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 54.000,00	\$ 54.000,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,0053	\$ 1.000,00	\$ 3.238,30
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,0053	\$ 800,00	\$ 313,76
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 57.552,06</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 27.272,73	\$ 27.272,73
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 20.454,55	\$ 20.454,55
AYUDANTE	U	1	\$ 16.363,64	\$ 16.363,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 64.090,91</b>
<b>TOTAL: INSTALACIÓN REGULADOR DE CARGA</b>				<b>\$ 1.636.642,97</b>

**Anexo G4. Costo de inversor DC/AC**

ÍTEM	INVERSOR DC/AC			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso inversor (TN)	0,00059		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
Inversor DC/AC 800 W	U	1	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 1.000.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 15.000,00
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 54.000,00	\$ 54.000,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,00059	\$ 1.000,00	\$ 360,49
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,00059	\$ 800,00	\$ 34,93
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 54.395,42
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 27.272,73	\$ 27.272,73
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 20.454,55	\$ 20.454,55
AYUDANTE	U	1	\$ 16.363,64	\$ 16.363,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 64.090,91
<b>TOTAL: INSTALACIÓN INVERSOR</b>				\$ 1.133.486,33

**Anexo G5. Costo soporte para sistema de generación fotovoltaico**

ÍTEM	<b>SOPORTE SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO</b>			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso soporte solar (TN)	0,009		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
SOPORTE	U	3	\$ 120.000,00	\$ 360.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 360.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 24.000,00	\$ 24.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 24.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 86.400,00	\$ 86.400,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,009	\$ 1.000,00	\$ 5.499,00
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,009	\$ 800,00	\$ 532,80
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 92.431,80</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 43.636,36	\$ 43.636,36
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 32.727,27	\$ 32.727,27
AYUDANTE	U	1	\$ 26.181,82	\$ 26.181,82
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 102.545,45</b>
<b>TOTAL: INSTALACIÓN SOPORTE SISTEMA GENERACIÓN FOTOVOLTAICO</b>				<b>\$ 578.977,25</b>

**Anexo G6. Costo acometida**

ÍTEM	ACOMETIDA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso acometida (TN)	0,01		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
TUBO PVC 3/4" PESADO	U	8	\$ 3.335,00	\$ 26.680,00
ALAMBRE DE COBRE NO 10 AWG THHN	m	50	\$ 1.161,00	\$ 58.050,00
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE 6 CIRCUITOS	U	1	\$ 15.499,00	\$ 15.499,00
AUTOMÁTICO DE 1*15 AMP SOBREPONER	U	2	\$ 5.500,00	\$ 11.000,00
TERMINAL DE PVC 3/4"	U	2	\$ 150,00	\$ 300,00
CURVA PVC DE 3/4"	U	2	\$ 300,00	\$ 600,00
CAJA CUADRADA PARA CONEXIONADO	U	1	\$ 2.450,00	\$ 2.450,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 114.579,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 30.000,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 108.000,00	\$ 108.000,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,01	\$ 1.000,00	\$ 6.110,00
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,01	\$ 800,00	\$ 592,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 114.702,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 54.545,45	\$ 54.545,45
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 40.909,09	\$ 40.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 32.727,27	\$ 32.727,27
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 128.181,82
<b>TOTAL: INSTALACIÓN ACOMETIDA</b>				\$ 387.462,82

**Anexo G7. Costo puesta a tierra**

ÍTEM	<b>PUESTA A TIERRA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>			
	Incluye (suministro, transporte e instalación)			
	Peso puesta a tierra (TN)	0,00527		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TUBO METÁLICO CONDUIT IMC DE 1/2"	U	0,7	\$ 16.050,00	\$ 11.235,00
ALAMBRE DE COBRE NO 8 AWG THHN	m	10	\$ 1.929,00	\$ 19.290,00
VARILLA COOPER WELD 5/8" * 1,8 M	U	1	\$ 63.300,00	\$ 63.300,00
CONECTOR PARA PUESTA A TIERRA TIPO SGC CABLE 2	U	1	\$ 55.148,00	\$ 55.148,00
CONECTOR PARA PUESTA A TIERRA TIPO TGC 8-10 AWG	U	1	\$ 12.550,00	\$ 12.550,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 161.523,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 30.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 108.000,00	\$ 108.000,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,00527	\$ 1.000,00	\$ 3.219,97
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,00527	\$ 800,00	\$ 311,98
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 111.531,95</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TÉCNICO ELECTRICISTA	U	1	\$ 54.545,45	\$ 54.545,45
JEFE DE TRABAJO	U	1	\$ 40.909,09	\$ 40.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 32.727,27	\$ 32.727,27
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 128.181,82</b>
<b>TOTAL: INSTALACIÓN PUESTA A TIERRA</b>				<b>\$ 431.236,77</b>

## Anexo H Costos de mantenimiento y reposición de equipos el sistema fotovoltaico

COSTOS DE MANTENIMIENTO	COSTO UNITARIO	ACTIVIDAD A REALIZAR CADA	COSTO A VEINTE AÑOS PARA 1 USUARIO	COSTO A VEINTE AÑOS PARA 26 USUARIOS
REEMPLAZO DE LA BATERÍA-SOLO SUMINISTRO	\$ 600.000,00	5 AÑOS	\$ 1.800.000,00	\$ 46.800.000,00
REEMPLAZO DE REGULADOR-SOLO SUMINISTRO	\$ 1.500.000,00	10 AÑOS	\$ 1.500.000,00	\$ 39.000.000,00
REEMPLAZO DE INVERSOR-SOLO SUMINISTRO	\$ 1.000.000,00	10 AÑOS	\$ 1.000.000,00	\$ 26.000.000,00
COSTO DE VIÁTICOS Y TRANSPORTE	\$ 100.000,00	Cambio	\$ 600.000,00	\$ 15.600.000,00
<b>TOTAL</b>			\$ 4.900.000,00	\$ 127.400.000,00

## Anexo I. Costo total de inversión para sistemas fotovoltaicos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
SISTEMA GENERACIÓN FOTOVOLTAICO	U	26	\$ 3.823.925,49	\$ 99.422.062,81
BANCO DE BATERÍAS	U	26	\$ 3.286.566,71	\$ 85.450.734,44
REGULADOR DE CARGA SISTEMA FOTOVOLTAICO	U	26	\$ 1.636.642,97	\$ 42.552.717,20
INVERSOR DC/AC	U	26	\$ 1.133.486,33	\$ 29.470.644,50
SOPORTE SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO	U	26	\$ 578.977,25	\$ 15.053.408,62
ACOMETIDA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO	U	26	\$ 387.462,82	\$ 10.074.033,27
PUESTA A TIERRA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO	U	26	\$ 431.236,77	\$ 11.212.156,08
<b>MANTENIMIENTO Y REPOSICIÓN DE EQUIPOS</b>				\$ 127.400.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 420.635.756,92
Factor de localización*			0,2	\$ 84.127.151,38
<b>COSTOS DIRECTOS</b>				
Administración			4%	\$ 16.825.430,28
Utilidad			10%	\$ 42.063.575,69
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
Interventoría			6%	\$ 25.238.145,41
Certificación Retie			1%	\$ 4.206.357,57
<b>COSTO TOTAL</b>				\$ 593.096.417,25
* Corresponde a la dificultad para ingresar a la vereda, teniendo en cuenta factores ambientales y de orden publico				

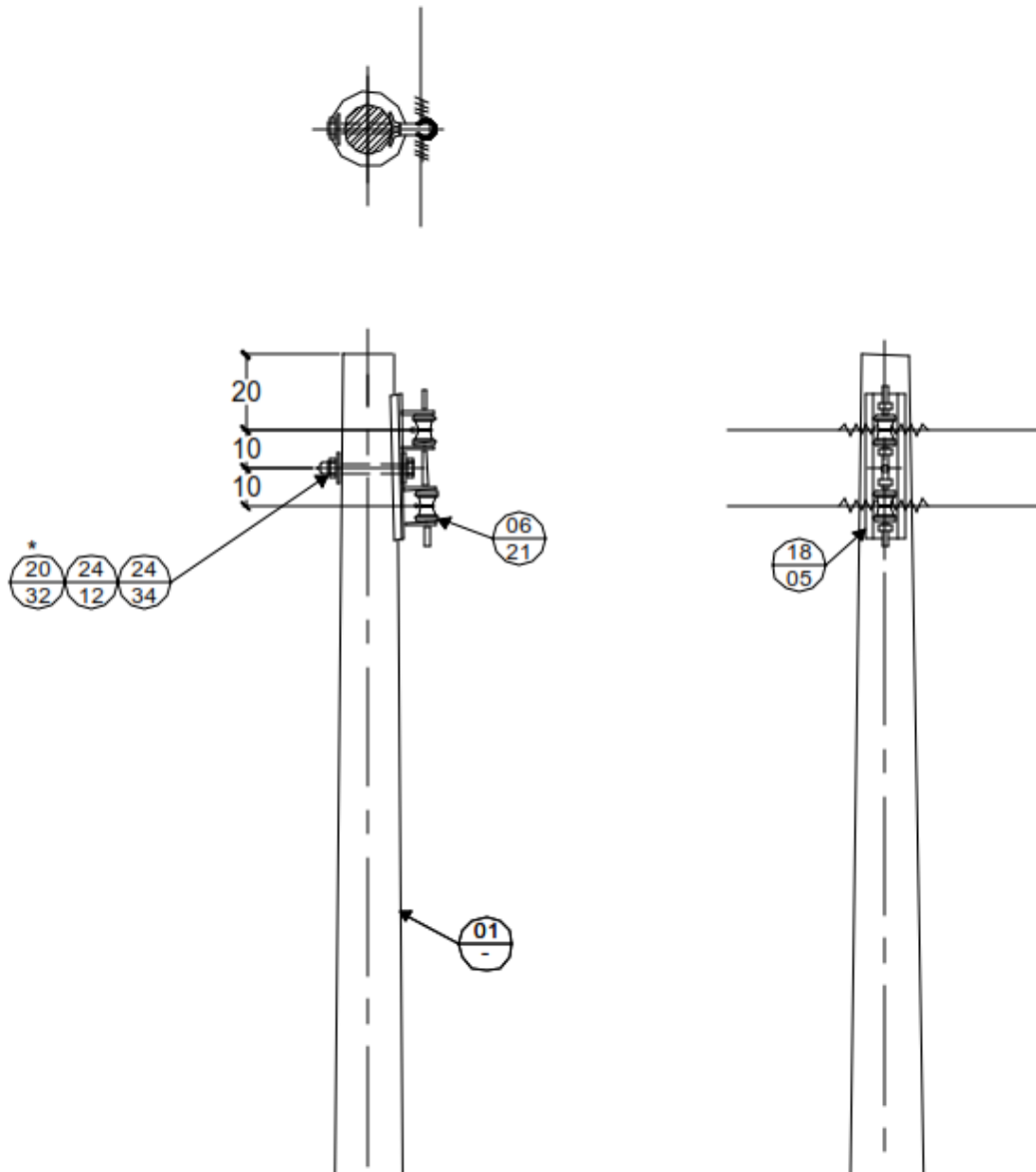
## Anexo J. Plano Eléctrico de la vereda Las Plumas Arauca, Arauca

**Anexo K. Cálculos de regulación y pérdidas de potencia para la red de baja tensión**

<p align="center"><b>calculo de regulación y perdidas de potencia en baja tensión</b></p> <p align="center"><b>TRF # 15 (La Visagra (B15) - La Envidia (A15))</b></p>												Distribución de Red		
AMPLIACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA RURAL EN LA VEREDA LAS PLUMAS, MUNICIPIO DE ARAUCA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA			Transformadores Monofásicos			1					CONDUCTOR N° 2 AWG, ASCR  0,20 m 0,20 m 0,20 m			
			Capacidad kVA			5								
			Factor de Potencia		0.9		Tensión V	120	Tipo	Aérea				
			Tipo de Circuito			Monofásico Bifilar								
TRAMO		LONGITUD METROS	N° DE USUARIOS	CARGA PROYECTAD A KVA	MOMENTO ELÉCTRICO KVA-m	CONSTANTE REGULACIÓN K (%/KVA-Km)	REGULACIÓN (%)				CORRI- ENTE A	PERDIDAS DE POTENCIA (W)		
DE	A						FASE	NEUTRO	PARCIAL	ACUMULADA		%	Parcial	Acumulada
TFR(15)	A15	94,93	1	1,44	136,6992	0,015434304	2	1	2,110	2,110	6	0,5538	7,177	7,177
TFR(15)	B15	244,89	1	1,44	352,6416	0,015434304	2	1	5,443	5,443	6	1,4287	18,52	25,693

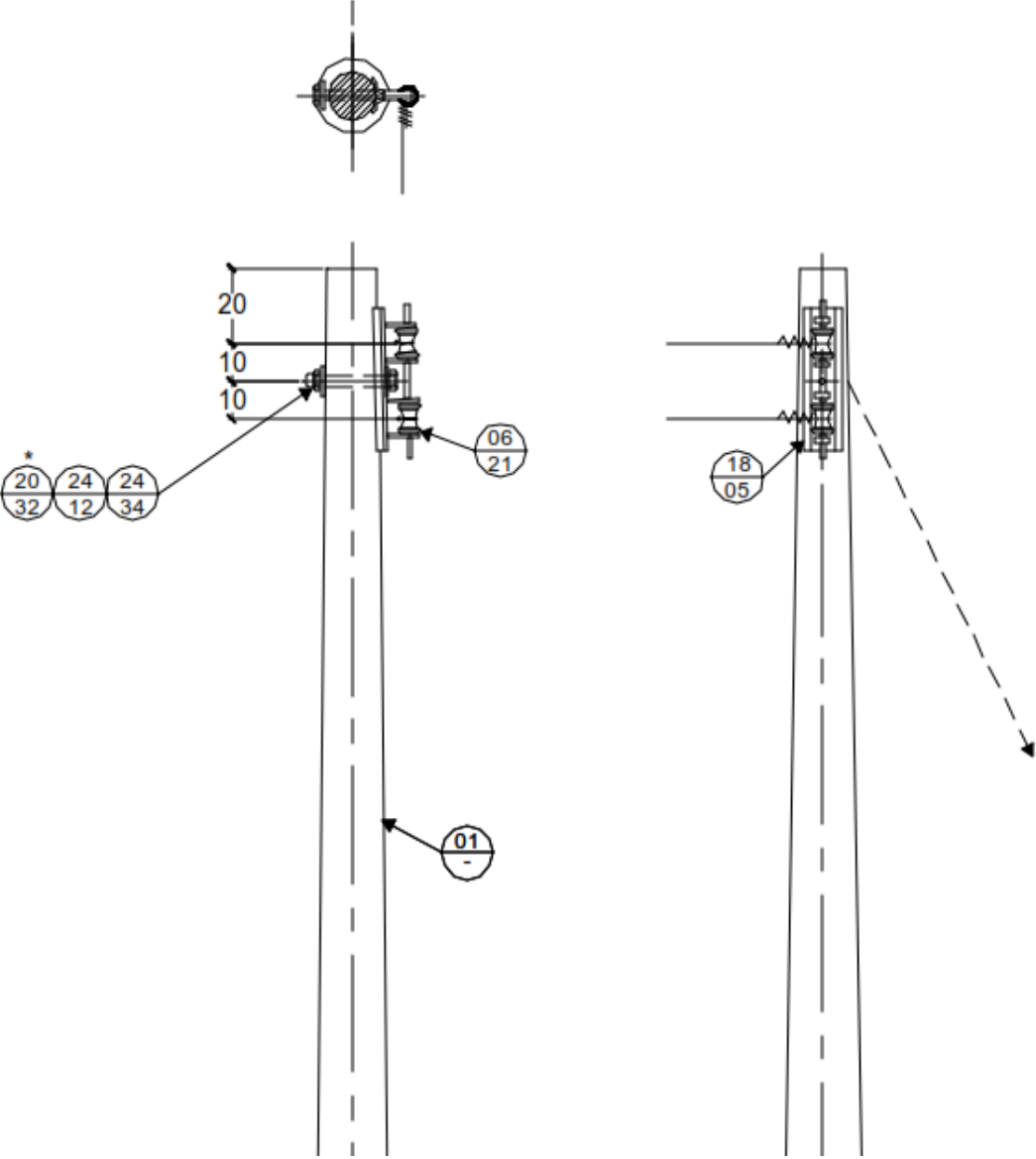
## Anexo L. Estructuras utilizadas en la red de baja tensión

### Anexo L1. Estructura 621



Fuente. Referencia [17]

Anexo L2. Estructura 623



Fuente. Referencia [17]

**Anexo M. Presupuesto detallado y precios unitarios para la red de baja tensión (Fuente: Autores)**

**Anexo M1. Costo levantamiento topográfico**

ÍTEM	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA			
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
MOTOSIERRA	U	1	\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 120.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA PODAS Y/O ROCERÍA	U	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 30.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 180.000,00	\$ 180.000,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 180.000,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 95.454,55	\$ 95.454,55
AYUDANTE	U	4	\$ 40.909,09	\$ 163.636,36
TOPÓGRAFO	U	1	\$ 118.181,82	\$ 118.181,82
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 377.272,73</b>
<b>TOTAL: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA</b>				<b>\$ 707.272,73</b>

## Anexo M2. Costo cimentación para poste

ÍTEM	CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 8m 510Kg			
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CEMENTO	bulto	2	\$ 22.000,00	\$ 44.000,00
TRITURADO	m3	0,4	\$ 40.000,00	\$ 16.000,00
ARENA	m3	0,2	\$ 25.000,00	\$ 5.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 65.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNID-AD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 5.625,00	\$ 5.625,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 5.625,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 33.750,00	\$ 33.750,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	1,5	\$ 800,00	\$ 88.800,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 122.550,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 17.897,73	\$ 17.897,73
LINIERO	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
AYUDANTE	U	2	\$ 7.670,45	\$ 15.340,91
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 45.170,45
<b>TOTAL: CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 8m 510Kg</b>				\$ 238.345,45

**Anexo M3. Costo poste de 8 m 510 Kg**

ÍTEM	POSTE EN CONCRETO 8 m - 510 kg (INCLUYE SUMINISTRO,TRANSPORTE,PROCESO DE HINCADA Y APLOMADA)			
	PESO POSTE DE 8 m (TN)	0,38		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
POSTE 8 m - 510 kg	U	1	\$ 534.500,00	\$ 534.500,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 534.500,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 5.625,00	\$ 5.625,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 5.625,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 33.750,00	\$ 33.750,00
GRÚA TELESCÓPICA	U	1	\$ 46.875,00	\$ 46.875,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,38	\$ 800,00	\$ 22.496,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 103.121,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
INGENIERO ELECTRICISTA	U	1	\$ 29.829,55	\$ 29.829,55
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 17.897,73	\$ 17.897,73
LINIERO	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
AYUDANTE	U	2	\$ 7.670,45	\$ 15.340,91
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 75.000,00</b>
<b>TOTAL: POSTE EN CONCRETO 8 m - 510 Kg</b>				<b>\$ 718.246,00</b>

**Anexo M4. Costo templete directo a tierra**

ÍTEM	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TEMPLETE DIRECTO A TIERRA EN B.T			
	PESO ACCESORIOS TEMPLETE (TN)			0,02647
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CABLE DE ACERO EXTRARREFORZADO DE	m	12	\$ 1.200,00	\$ 14.400,00
PRENSAHILO 3 PERNOS 6" X 1/4	U	2	\$ 4.500,00	\$ 9.000,00
GUARDACABO	U	1	\$ 1.983,00	\$ 1.983,00
VARILLA DE ANCLAJE DE 5/8" X 1,8 m	U	1	\$ 8.651,00	\$ 8.651,00
VIGUETA DE CONCRETO	U	1	\$ 3.244,00	\$ 3.244,00
ARANDELA CUADRADA PLANA DE 4*4*5/8"	U	1	\$ 3.100,00	\$ 3.100,00
ALAMBRE GALVANIZADO NO 10	Kg	1	\$ 3.640,00	\$ 3.640,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 44.018,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 3.750,00	\$ 3.750,00
EQUIPO DE TENDIDO	U	1	\$ 875,00	\$ 875,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 4.625,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 22.500,00	\$ 22.500,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,02647	\$ 1.000,00	\$ 16.173,17
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74Km)	TN	0,02647	\$ 800,00	\$ 1.567,02
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 40.240,19
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	0,25	\$ 11.931,82	\$ 2.982,95
LINIERO	U	2	\$ 7.954,55	\$ 15.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 5.113,64	\$ 5.113,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 24.005,68
<b>TOTAL: INSTALACIÓN DE TEMPLETE</b>				\$ 112.888,88

**Anexo M5. Costo Tendido de Conductor**

<b>ÍTEM</b>	<b>TENDIDO Y TENSIONADO POR METRO DE RED BIFILAR N° 2 AWG ACSR</b>			
	PESO POR METRO DE RED BIFILAR (TN)	0,000124		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CABLE N° 2 AWG ACSR	m	2	\$ 3.000,00	\$ 6.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 6.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 37,50	\$ 37,50
EQUIPO DE TENDIDO	U	1	\$ 8,75	\$ 8,75
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 46,25
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 225,00	\$ 225,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,000124	\$ 1.000,00	\$ 75,76
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,000124	\$ 800,00	\$ 7,34
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 308,10
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 119,32	\$ 119,32
LINIERO	U	2	\$ 79,55	\$ 159,09
AYUDANTE	U	1	\$ 51,14	\$ 51,14
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 329,55
<b>TOTAL: TENDIDO Y TENSIONADO POR METRO DE RED BIFILAR</b>				\$ 6.683,90

**Anexo M6. Costo estructura 621**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL		ESTRUCTURA 621	
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)		0,00613	
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
AISLADOR TIPO CARRETE ANSI 53-3	U	2	\$ 2.900,00	\$ 5.800,00
PERCHA DE HIERRO GALVANIZADA	U	1	\$ 17.500,00	\$ 17.500,00
PERNO DE MÁQUINA DE 5/8 X 8"	U	1	\$ 6.849,00	\$ 6.849,00
ARANDELA CUADRADA PLANA DE 5/8"	U	1	\$ 700,00	\$ 700,00
ARANDELA DE PRESIÓN CON PERNO 1"X5/8	U	1	\$ 361,00	\$ 361,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 31.210,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 1.875,00	\$ 1.875,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 1.875,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 11.250,00	\$ 11.250,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,00613	\$ 1.000,00	\$ 3.745,43
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,00613	\$ 800,00	\$ 362,90
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 15.358,33</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 5.965,91	\$ 5.965,91
LINIERO	U	2	\$ 3.977,27	\$ 7.954,55
AYUDANTE	U	1	\$ 2.556,82	\$ 2.556,82
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 16.477,27</b>
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 621</b>				<b>\$ 64.920,60</b>

**Anexo M7. Costo estructura 623**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL		ESTRUCTURA 623	
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)		0,00613	
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
AISLADOR TIPO CARRETE ANSI 53-3	U	2	\$ 2.900,00	\$ 5.800,00
PERCHA DE HIERRO GALVANIZADA	U	1	\$ 17.500,00	\$ 17.500,00
PERNO DE MÁQUINA DE 5/8 X 8"	U	1	\$ 6.849,00	\$ 6.849,00
ARANDELA CUADRADA PLANA DE 5/8"	U	1	\$ 700,00	\$ 700,00
ARANDELA DE PRESIÓN CON PERNO 1"X5/8	U	1	\$ 361,00	\$ 361,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 31.210,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 1.875,00	\$ 1.875,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 1.875,00
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 11.250,00	\$ 11.250,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,00613	\$ 1.000,00	\$ 3.745,43
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,00613	\$ 800,00	\$ 362,90
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 15.358,33
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 5.965,91	\$ 5.965,91
LINIERO	U	2	\$ 3.977,27	\$ 7.954,55
AYUDANTE	U	1	\$ 2.556,82	\$ 2.556,82
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 16.477,27
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 623</b>				\$ 64.920,60

### Anexo N. Costo total de la Red de Baja Tensión

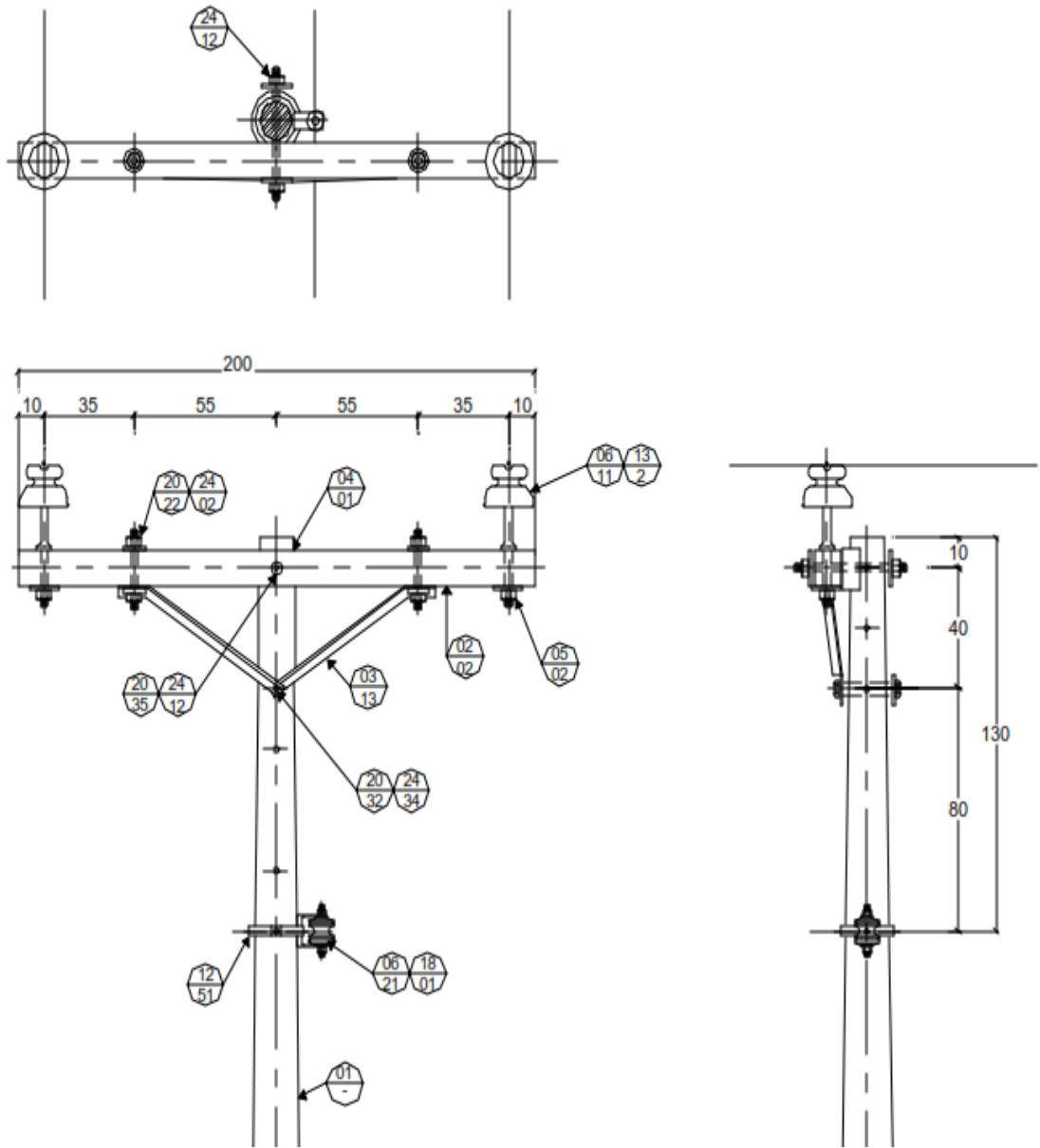
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA	Día	0,2	\$ 707.272,73	\$ 141.454,55
CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 8 m 510 kg	U	4	\$ 238.345,45	\$ 953.381,82
SUMINISTRO, TRANSPORTE, PROCESO DE HINCADA Y APLOMADA)	U	4	\$ 718.246,00	\$ 2.872.984,00
ESTRUCTURA 621 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	4	\$ 64.920,60	\$ 259.682,39
ESTRUCTURA 623 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	28	\$ 64.920,60	\$ 1.817.776,76
TENDIDO Y TENSIONADO METRO DE RED BIFILAR N° 2 AWG ACSR	m	340	\$ 6.683,90	\$ 2.272.526,09
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TEMPLETE DIRECTO A TIERRA EN B.T	U	1	\$ 112.888,88	\$ 112.888,88
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 8.430.694,49

## Anexo O. Cálculos de regulación y pérdidas de potencia para la red de media de tensión (Fuente: Autores)

Cálculo de regulación y perdidas de potencia en la red de media tensión																
AMPLIACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA RURAL EN LA VEREDA LAS PLUMAS, MUNICIPIO DE ARAUCA, DEPARTAMENTO DE ARAUCA				Transformadores Monofásicos			25	Distribución de Red				CONDUCTOR N° 2 AWG, ASCR				
				Capacidad kVA			5	1,80 m	REACTANCIA INDUCTIVA [Ω/m]			0,0005469				
				Factor de Potencia			0.9	Tensión kV	13,2	Tipo	Aérea	RESISTENCIA R [Ω/m]			0,0010501	
				Tipo de Circuito			Monofásico Bifilar				CORRIENTE		PERDIDAS DE POTENCIA (W)			
TRAMO		LONGITUD METROS	N° DE USUARIOS	CARGA PROYECTADA KVA	MOMENTO ELÉCTRICO KVA-m	CONSTANTE REGULACIÓN K (%/kVA-km)	FASE	NEUTRO	REGULACIÓN (%)		CORRIENTE A	PERDIDAS DE POTENCIA (W)				
DE	A								PARCIAL	ACUMULADA %		%	Parcial	Acumulada		
											0,236		298,896			
RAMAL DE MEDIA TENSIÓN N°1 - (P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15)																
24,31895188																
Po	P1(TRF1)	2907,65	26	12,49	36316,55	1,35845E-06	2	-	0,049	0,049	0,946	0,049	5,467	5,467		
P1	P2	346,05	10	5,42	1875,59	1,35845E-06	2	-	0,003	0,052	0,411	0,003	0,123	5,590		
P2	P3(TFR4)	2470,81	1	1,44	3557,97	1,35845E-06	2	-	0,005	0,057	0,109	0,005	0,062	5,652		
P2	P4(TFR2)	2239,66	9	4,98	11153,51	1,35845E-06	2	-	0,015	0,072	0,377	0,015	0,670	6,321		
P4	P5	1170,72	8	4,54	5315,07	1,35845E-06	2	-	0,007	0,079	0,344	0,007	0,291	6,612		
P5	P6(TFR5)	555,5	2	1,89	1049,90	1,35845E-06	2	-	0,001	0,081	0,143	0,001	0,024	6,636		
P6	P7(TFR6)	1042,46	1	1,44	1501,14	1,35845E-06	2	-	0,002	0,083	0,109	0,002	0,026	6,662		
P5	P8	1560,6	6	3,65	5696,19	1,35845E-06	2	-	0,008	0,090	0,277	0,008	0,251	6,913		
P8	P9(TFR7)	2115,32	2	1,89	3997,95	1,35845E-06	2	-	0,005	0,096	0,143	0,005	0,091	7,004		
P9	P18(TFR12)	1205	1	1,44	1735,20	1,35845E-06	2	-	0,002	0,098	0,109	0,002	0,030	7,034		
P8	P10	2339,46	4	2,77	6480,30	1,35845E-06	2	-	0,009	0,107	0,210	0,009	0,216	7,250		
P10	P11(TFR8)	1644,88	1	1,44	2368,63	1,35845E-06	2	-	0,003	0,110	0,109	0,003	0,041	7,291		
P10	P12	1170,27	3	2,33	2726,73	1,35845E-06	2	-	0,004	0,114	0,177	0,004	0,077	7,368		
P12	P12(TFR9)	1747,68	2	1,89	3303,12	1,35845E-06	2	-	0,004	0,118	0,143	0,004	0,075	7,443		
P13	P14(TFR10)	1075,31	1	1,44	1548,45	1,35845E-06	2	-	0,002	0,120	0,109	0,002	0,027	7,470		
P12	P15(TFR3)	1057,88	1	1,44	1523,35	1,35845E-06	2	-	0,002	0,122	0,109	0,002	0,026	7,496		
RAMAL DE MEDIA TENSIÓN N°2 - (P1, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34)																
P1	P16(TFR11)	2460	15	7,63	18769,80	1,35845E-06	2	-	0,025	0,075	0,578	0,025	1,726	7,194		
P16	P17	1604,81	14	7,19	11538,58	1,35845E-06	2	-	0,016	0,091	0,545	0,015	1,000	8,194		
P17	P19(TFR13)	301,99	2	1,89	570,76	1,35845E-06	2	-	0,001	0,091	0,143	0,001	0,013	8,207		
P19	P20(TFR14)	2041,48	1	1,44	2939,73	1,35845E-06	2	-	0,004	0,095	0,109	0,004	0,051	8,258		
P17	P21(TFR15)	1973,13	12	6,31	12450,45	1,35845E-06	2	-	0,017	0,112	0,478	0,017	0,947	9,205		
P21	P22	488,22	10	5,42	2646,15	1,35845E-06	2	-	0,004	0,116	0,411	0,004	0,173	9,377		
P22	P35(TFR17)	2048,24	2	1,89	3871,17	1,35845E-06	2	-	0,005	0,121	0,143	0,005	0,088	9,466		
P35	P36(TFR18)	926,88	1	1,44	1334,71	1,35845E-06	2	-	0,002	0,123	0,109	0,002	0,023	9,489		
P22	P23(TFR16)	122,89	8	4,54	557,92	1,35845E-06	2	-	0,001	0,124	0,344	0,001	0,031	9,519		
P23	P24	953,58	7	4,1	3909,68	1,35845E-06	2	-	0,005	0,129	0,311	0,005	0,193	9,713		
P24	P25(TFR15)	601,26	1	1,44	865,81	1,35845E-06	2	-	0,001	0,130	0,109	0,001	0,015	9,728		
P24	P26	1980	6	3,65	7227,00	1,35845E-06	2	-	0,010	0,140	0,277	0,010	0,318	10,046		
P26	P27	1447,41	1	1,44	2084,27	1,35845E-06	2	-	0,003	0,143	0,109	0,003	0,036	10,082		
P26	P28	659,95	5	3,21	2118,44	1,35845E-06	2	-	0,003	0,146	0,243	0,003	0,082	10,164		
P28	P29(TFR21)	1707,65	2	1,89	3227,46	1,35845E-06	2	-	0,004	0,150	0,143	0,004	0,074	10,237		
P29	P30(TFR32)	1027	1	1,44	1478,88	1,35845E-06	2	-	0,002	0,152	0,109	0,002	0,026	10,263		
P28	P31	791,69	3	2,33	1844,64	1,35845E-06	2	-	0,003	0,155	0,177	0,002	0,052	10,315		
P31	P32(TFR23)	543,26	1	1,44	782,29	1,35845E-06	2	-	0,001	0,156	0,109	0,001	0,014	10,328		
P31	P33(TFR24)	2112,45	2	1,89	3992,53	1,35845E-06	2	-	0,005	0,161	0,143	0,005	0,091	10,419		
P33	P34(TFR25)	2669,48	1	1,44	3844,05	1,35845E-06	2	-	0,005	0,166	0,109	0,005	0,067	10,486		

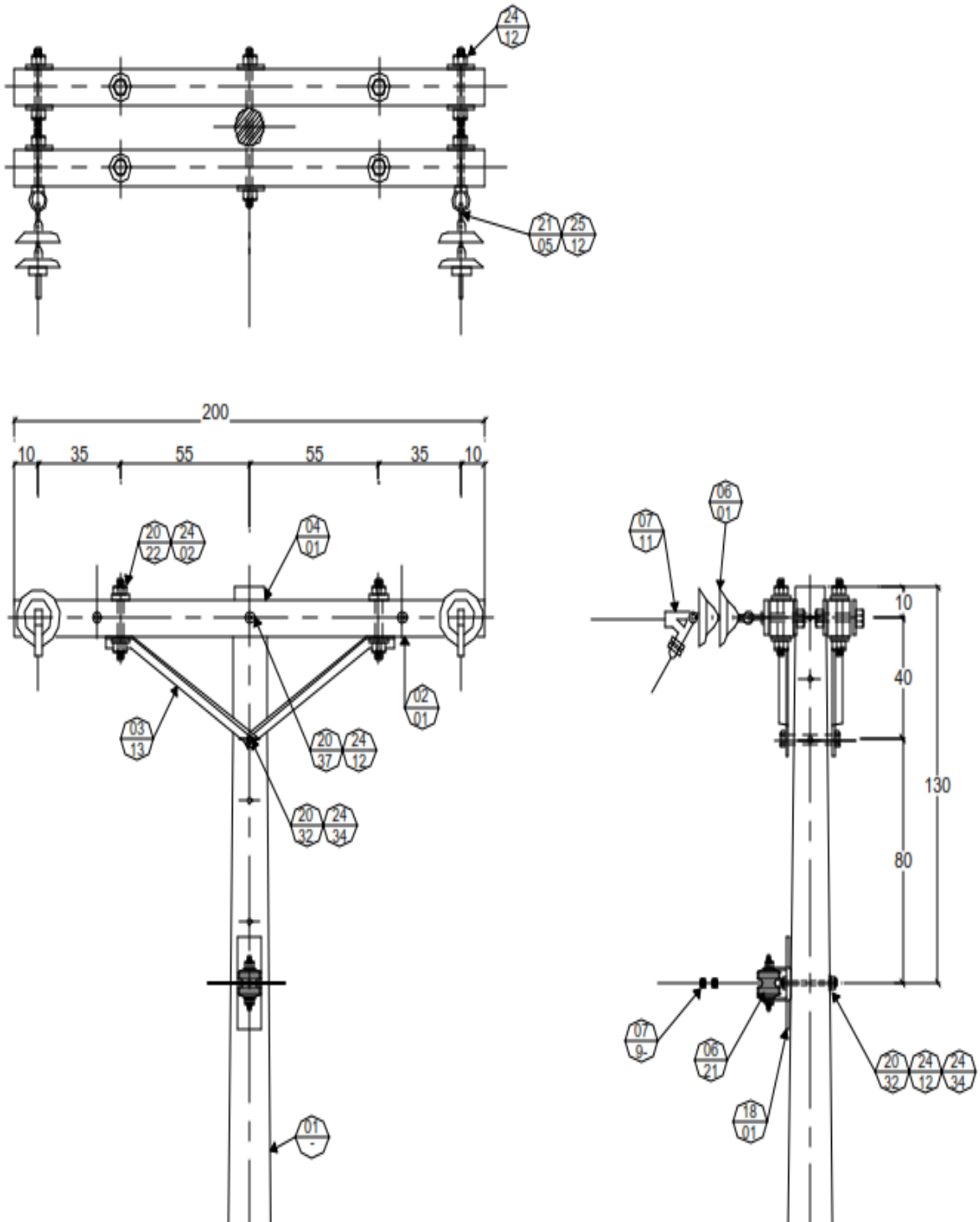
**Anexo P. Estructuras utilizadas en la red de media tensión**

**Anexo P1. Estructura 510**



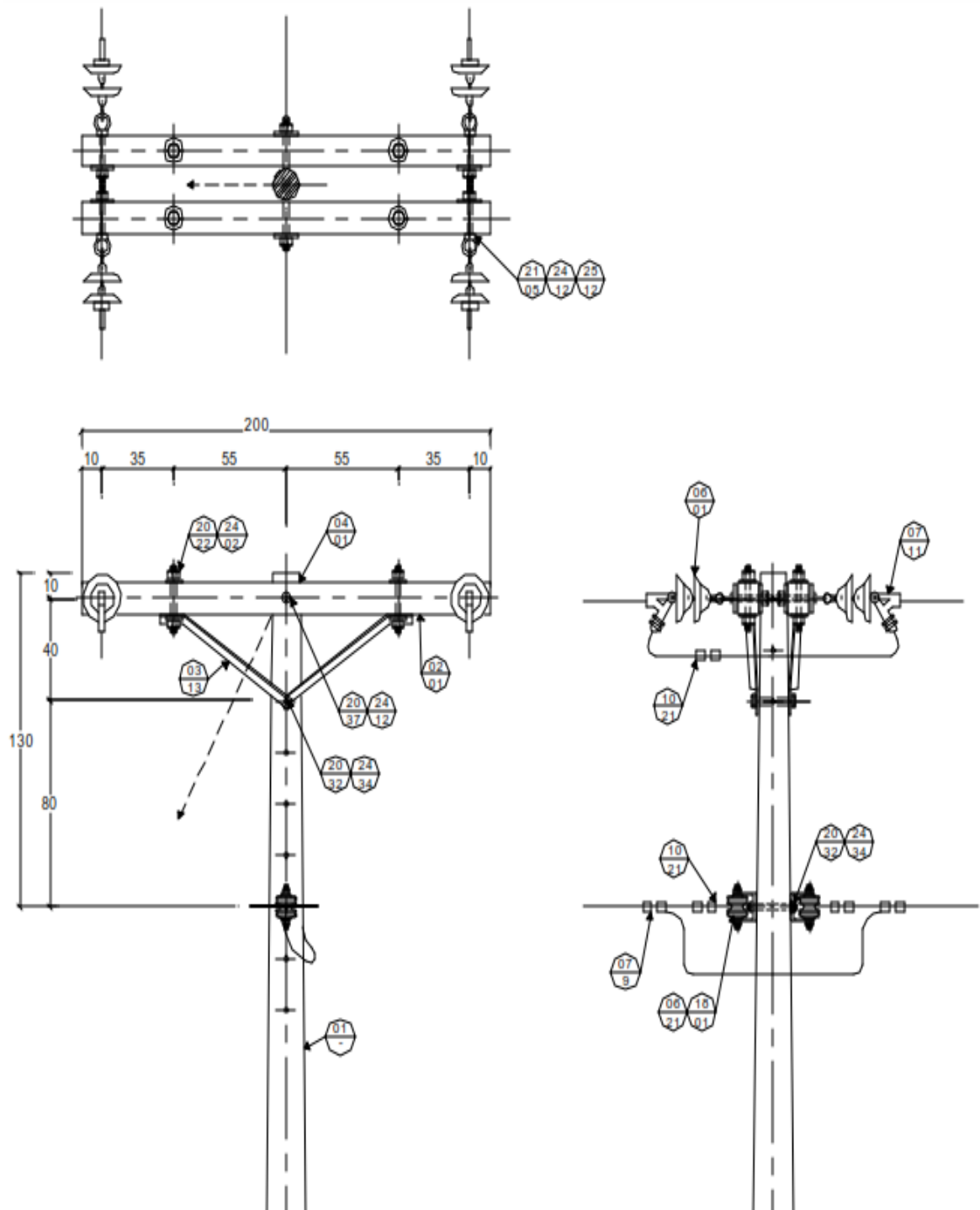
**Fuente. Referencia [17]**

Anexo P2. Estructura 514



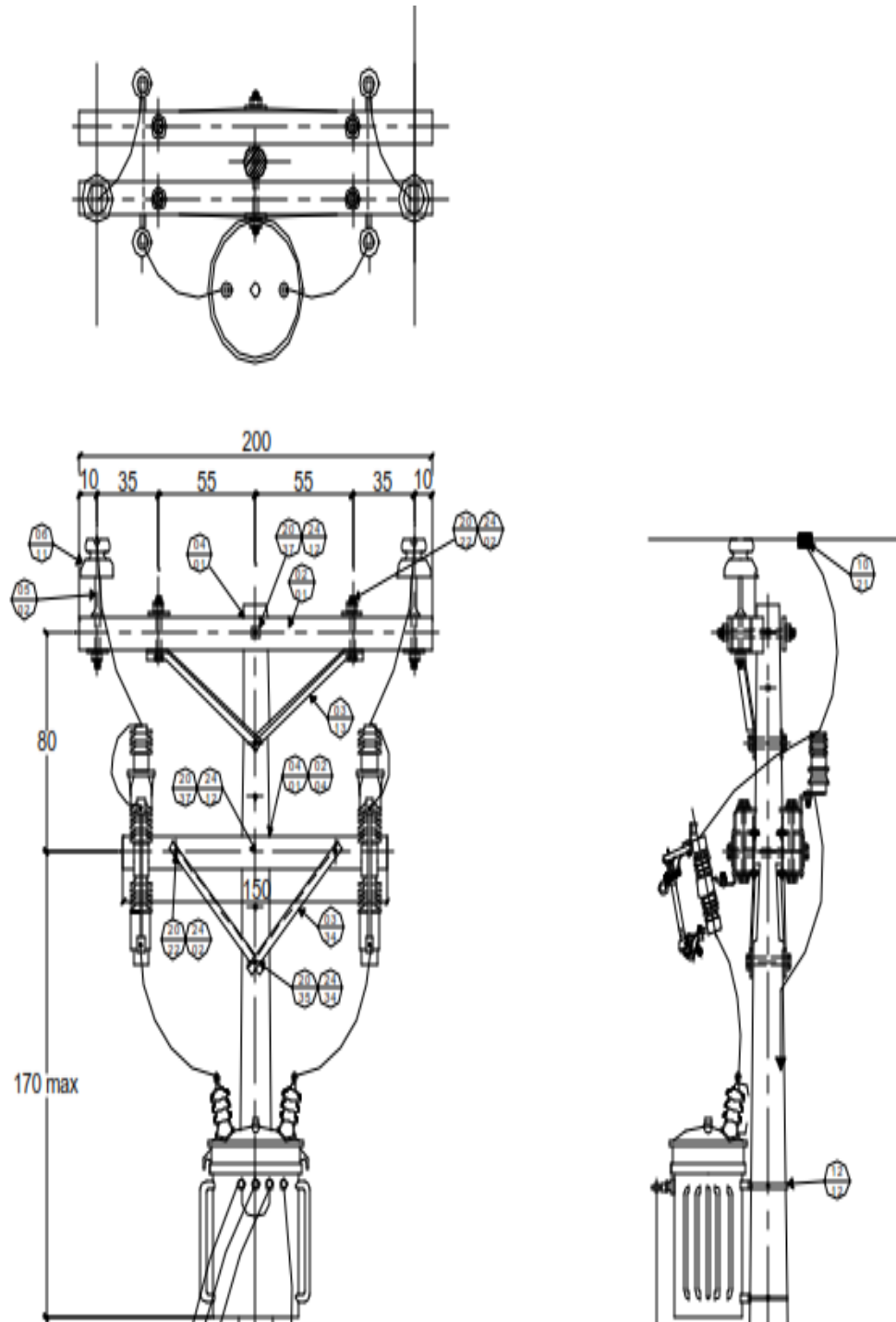
Fuente. Referencia [17]

Anexo P3. Estructura 515



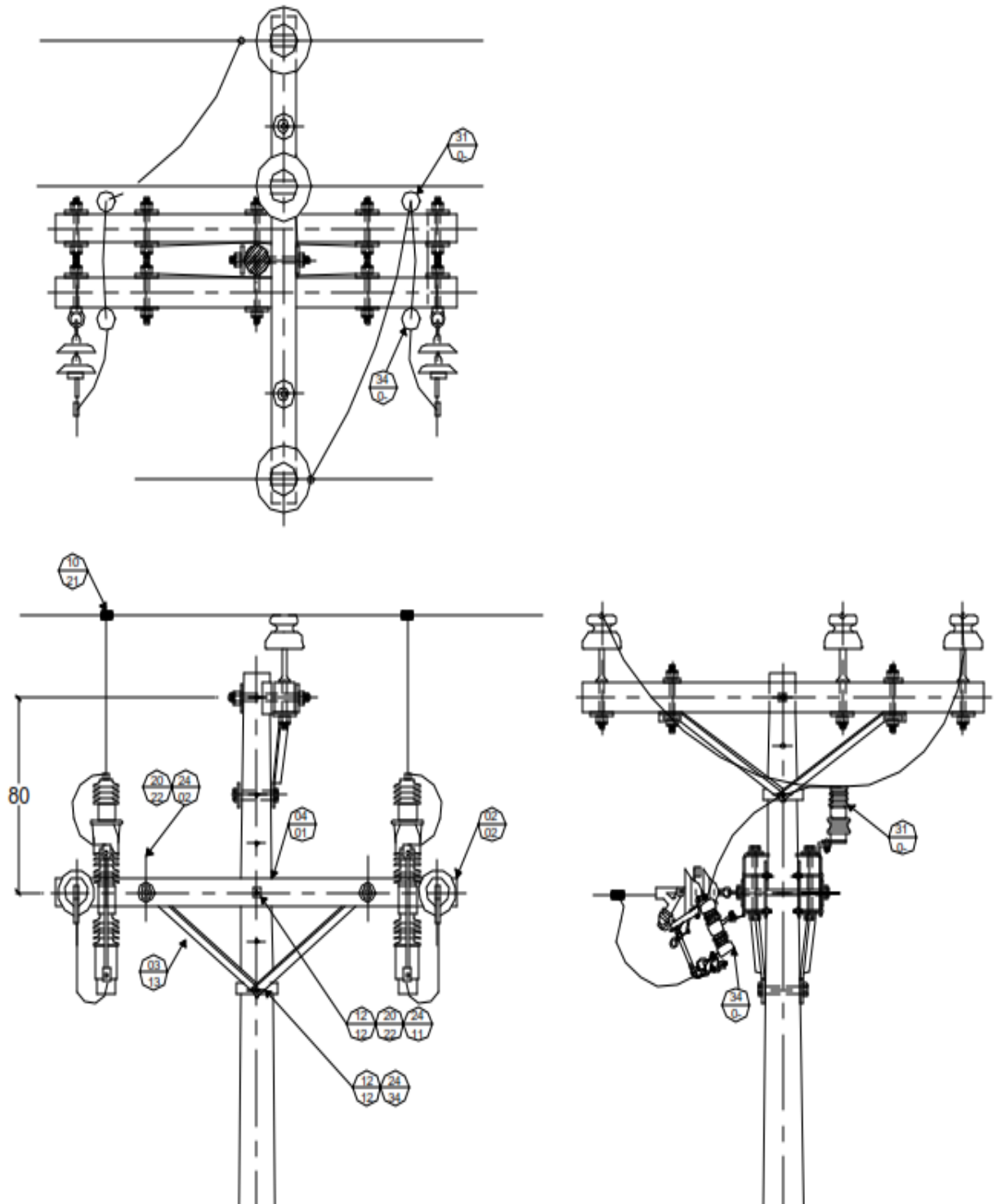
Fuente. Referencia [17]

## Anexo P4. Estructura 710



Fuente. Referencia [17]

Anexo P5. Estructura 731



Fuente. Referencia [17]

**Anexo Q. Presupuesto detallado y precios unitarios para la red de media tensión (Fuente: Autores)**

**Anexo Q1. Costo Levantamiento Topográfico**

ÍTEM	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA			
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
MOTOSIERRA	U	1	\$ 120.000,00	\$ 120.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				<b>\$ 120.000,00</b>
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA PODAS Y/O ROCERÍA	U	1	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				<b>\$ 30.000,00</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 180.000,00	\$ 180.000,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				<b>\$ 180.000,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 95.454,55	\$ 95.454,55
AYUDANTE	U	4	\$ 40.909,09	\$ 163.636,36
TOPÓGRAFO	U	1	\$ 118.181,82	\$ 118.181,82
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 377.272,73</b>
<b>TOTAL: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA</b>				<b>\$ 707.272,73</b>

## Anexo Q2. Costo Cimentación para poste

ÍTEM	CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 12 m 510 kg			
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CEMENTO	bulto	4	\$ 22.000,00	\$ 88.000,00
TRITURADO	m3	0,8	\$ 40.000,00	\$ 32.000,00
ARENA	m3	0,4	\$ 25.000,00	\$ 10.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 130.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 5.625,00	\$ 5.625,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 5.625,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 33.750,00	\$ 33.750,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	1,5	\$ 800,00	\$ 88.800,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 122.550,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 17.897,73	\$ 17.897,73
LINIERO	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
AYUDANTE	U	2	\$ 7.670,45	\$ 15.340,91
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 45.170,45
<b>TOTAL: CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 12 m 510 kg</b>				\$ 303.345,45

**Anexo Q3. Costo Poste de 8 m-510 kg**

ÍTEM	POSTE EN CONCRETO 12 m - 510 kg (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, PROCESO DE HINCADA Y APLOMADA)			
	PESO POSTE DE 12 m (TN)	0,935		
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
POSTE 12 m - 510 kg	U	1	\$ 1.100.000,00	\$ 1.100.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 1.100.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 5.625,00	\$ 5.625,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 5.625,00
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 33.750,00	\$ 33.750,00
GRÚA TELESCÓPICA	U	1	\$ 46.875,00	\$ 46.875,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,935	\$ 800,00	\$ 55.352,00
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 135.977,00
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
INGENIERO ELECTRICISTA	U	1	\$ 29.829,55	\$ 29.829,55
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 17.897,73	\$ 17.897,73
LINIERO	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
AYUDANTE	U	2	\$ 7.670,45	\$ 15.340,91
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 75.000,00
<b>TOTAL: POSTE EN CONCRETO 12 m - 510 kg</b>				\$ 1.316.602,00

**Anexo Q4. Costo tendido de conductor**

ÍTEM	<b>TENDIDO Y TENSIONADO KILOMETRO DE RED BIFILAR N° 2 AWG ACSR</b>			
	PESO KILOMETRO DE RED BIFILAR (TN)		0,186	
<b>MATERIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CABLE N° 2 AWG ACSR	km	2	\$ 3.000.000,00	\$ 6.000.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 6.000.000,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
HERRAMIENTA	U	1	\$ 37.500,00	\$ 37.500,00
EQUIPO DE TENDIDO	U	1	\$ 8.750,00	\$ 8.750,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 46.250,00
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 225.000,00	\$ 225.000,00
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>V: Km/TN</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,186	\$ 1.000,00	\$ 113.646,00
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,186	\$ 800,00	\$ 11.011,20
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 349.657,20
<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNI-DAD</b>	<b>CANTI-DAD</b>	<b>VALOR DÍA</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 119.318,18	\$ 119.318,18
LINIERO	U	2	\$ 79.545,45	\$ 159.090,91
AYUDANTE	U	1	\$ 51.136,36	\$ 51.136,36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 329.545,45
<b>TOTAL: TENDIDO Y TENSIONADO KILOMETRO DE RED BIFILAR</b>				\$ 6.725.452,65

**Anexo Q5. Costo templete directo a tierra**

ÍTEM	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TEMPLETE DIRECTO A TIERRA EN M.T			
	PESO ACCESORIOS TEMPLETE (TN)		0,02647	
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CABLE DE ACERO EXTRARREFORZADO DE 5/16"	m	20	\$ 1.200,00	\$ 24.000,00
AISLADOR TENSOR PARA 15 kV	u	1	\$ 7.101,00	\$ 7.101,00
PRENSAHILO 3 PERNOS 6" X 5/16	u	4	\$ 4.500,00	\$ 18.000,00
GUARDACABO	u	1	\$ 1.983,00	\$ 1.983,00
VARILLA DE ANCLAJE DE 5/8" X 1,8 M	u	1	\$ 8.651,00	\$ 8.651,00
VIGUETA DE CONCRETO	u	1	\$ 3.244,00	\$ 3.244,00
ARANDELA CUADRADA PLANA DE 4*4*5/8"	u	1	\$ 3.100,00	\$ 3.100,00
ALAMBRE GALVANIZADO N° 10	Kg	1	\$ 3.640,00	\$ 3.640,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 69.719,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 3.750,00	\$ 3.750,00
EQUIPO DE TENDIDO	U	1	\$ 875,00	\$ 875,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 4.625,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 22.500,00	\$ 22.500,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,02647	\$ 1.000,00	\$ 16.173,17
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,02647	\$ 800,00	\$ 1.567,02
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 40.240,19
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	0,25	\$ 11.931,82	\$ 2.982,95
LINIERO	U	2	\$ 7.954,55	\$ 15.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 5.113,64	\$ 5.113,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 24.005,68
<b>TOTAL: INSTALACIÓN DE TEMPLETE</b>				\$ 138.589,88

**Anexo Q6. Costo puesta a tierra**

ÍTEM	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA EN M.T			
	PESO ACCESORIOS PUESTA A TIERRA (TN)	0,018523		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
CABLE DE COBRE DESNUDO N° 4 AWG	m	15	\$ 2.253,00	\$ 33.795,00
PARARRAYOS DE 10 kA 12 kV	u	2	\$ 90.000,00	\$ 180.000,00
TUBO CONDUIT DE 1/2"	u	1	\$ 12.976,00	\$ 12.976,00
CINTA DE ACERO BAND-IT 5/8"	m	1	\$ 4.025,00	\$ 4.025,00
HEBILLAS PARA CINTA DE ACERO BAND-IT 5/8"	u	1	\$ 1.046,00	\$ 1.046,00
VARILLA COOPER WELD 5/8" * 2,4 m	u	1	\$ 105.000,00	\$ 105.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 336.842,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 3.750,00	\$ 3.750,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 3.750,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 22.500,00	\$ 22.500,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,018523	\$ 1.000,00	\$ 11.317,55
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,018523	\$ 800,00	\$ 1.096,56
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 34.914,11
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	0,25	\$ 11.931,82	\$ 2.982,95
LINIERO	U	2	\$ 7.954,55	\$ 15.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 5.113,64	\$ 5.113,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 24.005,68
<b>TOTAL: INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</b>				\$ 399.511,80

**Anexo Q7. Costo estructura 510**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL	ESTRUCTURA 510		
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)	0,0634		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
AISLADOR PIN TIPO CAMPANA 15 KV	U	2	\$ 16.000,00	\$ 32.000,00
AISLADOR TIPO PIN CORTO CRUCETA METÁLICA	U	2	\$ 5.594,00	\$ 11.188,00
CRUCETA METÁLICA DE 3 * 3 * 1/4" X 2 m	U	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
PERNO DE MÁQUINA DE 5/8 X 10"	U	2	\$ 6.849,00	\$ 13.698,00
ARANDELA PLANA DE 5/8"	U	2	\$ 700,00	\$ 1.400,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 5/8"	U	4	\$ 361,00	\$ 1.444,00
DIAGONAL METÁLICA DE 0,68 m	U	2	\$ 11.715,00	\$ 23.430,00
PERNO DE MÁQUINA DE 1/2 X 1 1/2"	U	2	\$ 2.163,00	\$ 4.326,00
ARANDELA PLANA DE 1/2"	U	2	\$ 650,00	\$ 1.300,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 1/2"	U	2	\$ 271,00	\$ 542,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 169.328,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 3.750,00	\$ 3.750,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 3.750,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 22.500,00	\$ 22.500,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,0634	\$ 1.000,00	\$ 38.737,40
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,0634	\$ 800,00	\$ 3.753,28
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 64.990,68
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
LINIERO	U	2	\$ 7.954,55	\$ 15.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 5.113,64	\$ 5.113,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 32.954,55
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 510</b>				\$ 271.023,23

**Anexo Q8. Costo estructura 514**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL		ESTRUCTURA 514	
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)		0,12486	
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
AISLADOR DE SUSPENSIÓN 6" ANSI 52-1	U	4	\$ 17.500,00	\$ 70.000,00
TUERCA DE OJO DE 5/8"	U	2	\$ 6.308,00	\$ 12.616,00
GRAPA DE RETENCIÓN 6 A 2/0 AWG	U	2	\$ 14.500,00	\$ 29.000,00
CRUCETA METÁLICA DE 3 * 3 * 1/4" X 2 m	U	2	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00
ESPARRAGO DE 5/8" X 10"	U	2	\$ 3.605,00	\$ 7.210,00
PERNO DE MÁQUINA DE 5/8 X 10"	U	2	\$ 6.849,00	\$ 13.698,00
ARANDELA PLANA DE 5/8"	U	8	\$ 700,00	\$ 5.600,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 5/8"	U	8	\$ 361,00	\$ 2.888,00
DIAGONAL METÁLICA DE 0,68 m	U	4	\$ 11.715,00	\$ 46.860,00
PERNO DE MÁQUINA DE 1/2 X 1 1/2"	U	4	\$ 2.163,00	\$ 8.652,00
ARANDELA PLANA DE 1/2"	U	4	\$ 650,00	\$ 2.600,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 1/2"	U	4	\$ 271,00	\$ 1.084,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 360.208,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 3.750,00	\$ 3.750,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 3.750,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 22.500,00	\$ 22.500,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,12486	\$ 1.000,00	\$ 76.289,46
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,12486	\$ 800,00	\$ 7.391,71
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 106.181,17
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 11.931,82	\$ 11.931,82
LINIERO	U	2	\$ 7.954,55	\$ 15.909,09
AYUDANTE	U	1	\$ 5.113,64	\$ 5.113,64
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 32.954,55
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 514</b>				\$ 503.093,72

**Anexo Q9. Costo estructura 515**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL	ESTRUCTURA 515		
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)	0,14686		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
AISLADOR DE SUSPENSIÓN 6" ANSI 52-1	U	8	\$ 17.500,00	\$ 140.000,00
TUERCA DE OJO DE 5/8"	U	4	\$ 6.308,00	\$ 25.232,00
GRAPA DE RETENCIÓN 6 A 2/0 AWG	U	4	\$ 14.500,00	\$ 58.000,00
CRUCETA METÁLICA DE 3 * 3 * 1/4" X 2 m	U	2	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00
ESPARRAGO DE 5/8" X 10"	U	2	\$ 3.605,00	\$ 7.210,00
PERNO DE MÁQUINA DE 5/8 X 10"	U	2	\$ 6.849,00	\$ 13.698,00
ARANDELA PLANA DE 5/8"	U	8	\$ 700,00	\$ 5.600,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 5/8"	U	8	\$ 361,00	\$ 2.888,00
DIAGONAL METÁLICA DE 0,68 m	U	4	\$ 11.715,00	\$ 46.860,00
PERNO DE MÁQUINA DE 1/2 X 1 1/2"	U	4	\$ 2.163,00	\$ 8.652,00
ARANDELA PLANA DE 1/2"	U	4	\$ 650,00	\$ 2.600,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 1/2"	U	4	\$ 271,00	\$ 1.084,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 471.824,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 4.500,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL (611 km)	TN	0,14686	\$ 1.000,00	\$ 89.731,46
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,14686	\$ 800,00	\$ 8.694,11
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 125.425,57
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 14.318,18	\$ 14.318,18
LINIERO	U	2	\$ 9.545,45	\$ 19.090,91
AYUDANTE	U	1	\$ 6.136,36	\$ 6.136,36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 39.545,45
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 515</b>				\$ 641.295,03

## Anexo Q10. Costo estructura 710

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL	ESTRUCTURA 710		
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)	0,16686		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Cruceta metálica de 64x64x6xmm x 2 m ret.	U	2	\$ 62.500,00	\$ 125.000,00
Diagonal recta cruceta metálica de 68 cm	U	4	\$ 9.600,00	\$ 38.400,00
Conector Al ranuras para 2 pernos 2/0-6	U	4	\$ 6.200,00	\$ 24.800,00
Collarín una salida 12 a 17 Cm	U	2	\$ 10.360,00	\$ 20.720,00
Collarín para transformador	U	3	\$ 23.850,00	\$ 71.550,00
Cinta inoxidable 5/8" acero	U	5	\$ 2.450,00	\$ 12.250,00
Hebilla acero inoxidable 5/8"	U	5	\$ 560,00	\$ 2.800,00
Varilla copper weld 5/8" x 2,40 m	U	2	\$ 85.400,00	\$ 170.800,00
Perno de máquina de 1/2" x 6"	U	2	\$ 1.610,00	\$ 3.220,00
Espárrago roscado 4 tuercas de 5/8" x 12"	U	2	\$ 7.500,00	\$ 15.000,00
Arandela de presión de 1/2"	U	4	\$ 110,00	\$ 440,00
Arandela cuadrada plana de 5/8"	U	10	\$ 650,00	\$ 6.500,00
Arandela de presión de 5/8"	U	10	\$ 140,00	\$ 1.400,00
Pararrayos tipo distribución 12 kV 10 kA	U	2	\$ 75.800,00	\$ 151.600,00
Cortacircuitos monopolares 15 kV	U	2	\$ 75.800,00	\$ 151.600,00
Hilo fusible tipo H 13,2 kV 2 A	U	2	\$ 4.500,00	\$ 9.000,00
Soldadura cadweld 115 g	U	2	\$ 19.500,00	\$ 39.000,00
Tubo conduit 1/2" x 3 m	U	1	\$ 21.900,00	\$ 21.900,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 865.980,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 4.500,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,16686	\$ 1.000,00	\$ 101.951,46
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,16686	\$ 800,00	\$ 9.878,11
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 138.829,57
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 14.318,18	\$ 14.318,18
LINIERO	U	2	\$ 9.545,45	\$ 19.090,91
AYUDANTE	U	1	\$ 6.136,36	\$ 6.136,36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 39.545,45
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 710</b>				\$ 1.048.855,03

**Anexo Q11. Costo estructura 731**

ÍTEM	ESTRUCTURA NORMA ICEL	ESTRUCTURA 731		
	Incluye (suministro, transporte y montaje de la estructura)			
	Peso estructura (TN)	0,15686		
<b>MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ARANDELA CUADRADA PLANA DE 5/8"	U	2	\$ 2.600,00	\$ 5.200,00
ARANDELA DE PRESIÓN DE 1/2"	U	4	\$ 200,00	\$ 800,00
ARANDELA DE REDONDA DE 1/2"	U	4	\$ 200,00	\$ 800,00
CORTACIRCUITOS MONOPOLARES	U	2	\$ 120.000,00	\$ 240.000,00
CRUCETA METÁLICA 64 x 64 x 5 mm x 2 m	U	2	\$ 62.500,00	\$ 125.000,00
DIAGONAL RECTA DE 68 cm.	U	4	\$ 12.800,00	\$ 51.200,00
ESPARRAGO 5/8" x 12"	U	2	\$ 5.400,00	\$ 10.800,00
FUSIBLES	U	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
PERNO MAQUINA 1/2" x 11/2"	U	4	\$ 850,00	\$ 3.400,00
PERNO MAQUINA 5/8" x 12"	U	2	\$ 4.150,00	\$ 8.300,00
AISLADOR DE SUSPENSIÓN 6"	U	4	\$ 22.000,00	\$ 88.000,00
COLLARÍN DOS SALIDAS 7" - 8"	U	1	\$ 18.300,00	\$ 18.300,00
TUERCA DE OJO ALARGADA DE 5/8"	U	2	\$ 6.700,00	\$ 13.400,00
GRAPA DE RETENCIÓN ALUMINIO CABLE 6 - 2	U	2	\$ 20.000,00	\$ 40.000,00
<b>SUBTOTAL MATERIALES</b>				\$ 615.200,00
<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
HERRAMIENTA	U	1	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
<b>SUBTOTAL EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b>				\$ 4.500,00
<b>TRANSPORTE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
CAMIONETA DOBLE CABINA 4*4	U	1	\$ 27.000,00	\$ 27.000,00
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	V: Km/TN	VALOR TOTAL
TRANSPORTE DE MATERIAL(611 km)	TN	0,15686	\$ 1.000,00	\$ 95.841,46
TRANSPORTE DE MATERIALES A SITIO DE OBRA (74 km)	TN	0,15686	\$ 800,00	\$ 9.286,11
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE</b>				\$ 132.127,57
<b>MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCIÓN	UNI-DAD	CANTI-DAD	VALOR DÍA	VALOR TOTAL
JEFE CUADRILLA	U	1	\$ 14.318,18	\$ 14.318,18
LINIERO	U	2	\$ 9.545,45	\$ 19.090,91
AYUDANTE	U	1	\$ 6.136,36	\$ 6.136,36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>				\$ 39.545,45
<b>TOTAL: ESTRUCTURA 731</b>				\$ 791.373,03

### Anexo R. Costo total de la red de media tensión

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, PODA Y/O ROCERÍA	Día	60	\$ 707.272,73	\$ 42.436.363,64
CIMENTACIÓN, AHOYADA E INSTALACIÓN POSTE DE 12 m - 510 kg	U	408	\$ 303.345,45	\$ 123.764.945,45
POSTE EN CONCRETO 12 m - 510 kg (INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, PROCESO DE HINCADA Y APLOMADA)	U	408	\$ 1.316.602,00	\$ 537.173.616,00
ESTRUCTURA 510 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	350	\$ 271.023,23	\$ 94.858.128,91
ESTRUCTURA 514 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	31	\$ 503.093,72	\$ 15.595.905,24
ESTRUCTURA 515 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	36	\$ 641.295,03	\$ 23.086.620,96
ESTRUCTURA 731 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	12	\$ 791.373,03	\$ 9.496.476,32
ESTRUCTURA 710 NORMA ICEL, INCLUYE (SUMINISTRO, TRANSPORTE Y MONTAJE)	U	25	\$ 1.048.855,03	\$ 26.221.375,66
TENDIDO Y TENSIONADO KILOMETRO DE RED BIFILAR N° 2 AWG ACSR	km	51,1	\$ 6.725.452,65	\$ 343.670.630,65
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TEMPLETE DIRECTO A TIERRA EN M.T	U	118	\$ 138.589,88	\$ 16.353.605,35
SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA EN M.T	U	25	\$ 399.511,80	\$ 9.987.794,91
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1.242.645.463,08</b>

### Anexo S. Costo total de transformadores de potencia

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
(INCLUYE SUMINISTRO, TRANSPORTE, PROCESO APLOMADA)	U	25	\$ 1.602.329,53	\$ 40.058.238,18

## Anexo T. Costo total de inversión para la extensión de la red eléctrica

DESCRIPCIÓN		VALOR TOTAL
Costo transformadores		\$ 40.058.238,18
Costo de la red de media tensión		\$ 1.242.645.463,08
Costo de la red de baja tensión		\$ 8.430.694,49
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 1.291.134.395,75</b>
Factor de Localización*	0,2	\$ 258.226.879,15
Mantenimiento y reposición de equipos	10%	\$ 129.113.439,58
<b>COSTOS DIRECTOS</b>		
Administración	4%	\$ 51.645.375,83
Utilidad	10%	\$ 129.113.439,58
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
Interventoría	6%	\$ 77.468.063,75
Certificación Retie	1%	\$ 12.911.343,96
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 1.949.612.937,58</b>
* Corresponde a la dificultad para ingresar a la vereda, teniendo en cuenta factores ambientales y de orden publico		