

**IDENTIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA UN
ÁREA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ PERTENECIENTE AL
MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR EN EL DEPARTAMENTO DE LA
GUAJIRA**

**JAVIER IGNACIO LOPEZ MAESTRE
VICTOR HUGO RODRIGUEZ CHINCHIA**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

**IDENTIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA UN
ÁREA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ PERTENECIENTE AL
MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR EN EL DEPARTAMENTO DE LA
GUAJIRA.**

**JAVIER IGNACIO LOPEZ MAESTRE
VICTOR HUGO RODRIGUEZ CHINCHIA**

**Proyecto de investigación para optar
al título de Ingeniero Electricista**

**Director:
OSCAR ARNULFO QUIROGA QUIROGA
Ingeniero Electricista, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

Quiero dedicarle primero a Dios, nuestro padre, que me ha dado la bendición de afrontar este proyecto, la sabiduría para llevar a cabo este reto ya cumplido y el inicio de uno nuevo.

A mis padres, Ignacio López Ortiz y María José Maestre que son los motores de mi vida, ya que me impulsan a realizar las metas de mi vida con el mejor de los esfuerzos.

A mis hermanos David Andrés y Juan Sebastián que me han acompañado a lo largo de la vida, estando siempre ahí, cuando más lo necesito.

A mi familia en general que han estado apoyando en el proceso total de mi vida, pero sobre todo a Shirly, Fily, May, Adriana y Sandra. De igual forma quiero destacar a mi novia Andrea que ha estado dándome fuerza en la última etapa en mi vida.

A mis amigos de YP, PFU, Galvis y Luifer que han estado conmigo, dando ánimo con su amistad incondicional.

A mis compañeros de apartamento y amigos (Leydi, José y Samy) que me ayudaron a salir adelante en todas las labores realizadas.

Un especial agradecimiento a mi compañero de proyecto y amigo Víctor Hugo Rodríguez por su apoyo y ayuda constante a lo largo de mi carrera y proyecto.

A Doctor Oscar Quiroga por su ayuda incansable para culminar en este paso con su esfuerzo y dedicación en la elaboración del proyecto.

Javier Ignacio López.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este triunfo al todo poderoso, todo lo bueno se edifica en ti.

A San Judas Tadeo, mi patrono, siempre me rescatas de las situaciones difíciles, no me abandonas, estas ahí cuando más te necesito.

A mi papá y a mi mamá, este logro es de ustedes, gracias por ser mi modelo a seguir, los quiero mucho.

A mis hermanos María y José Luis, gracias por apoyarme siempre, darme fuerzas y no dejarme decaer cuando las cosas se pusieron difíciles.

A mi novia Diana, tu sabes todo lo que he pasado para llegar hasta acá, fuiste, eres y serás por siempre mi motivación para ser mejor cada día, estoy feliz de haber vivido todo esto junto a ti, te amo.

A todos mis familiares, especialmente a mi tía Emily por todo su apoyo y consejos a lo largo de mi vida; a Iván Mendoza por siempre estar al pendiente de mi formación académica, este triunfo también es suyo mompi.

A mi gran amigo y compañero de este proyecto Javier por acompañarme y poner todo su empeño para alcanzar la meta.

A mis profesores de la E3T, especialmente al doctor Oscar Quiroga quien con su ayuda incansable hizo esto posible.

Victor Hugo Rodriguez.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias que siempre han estado para brindarnos su apoyo incondicional.

Muchas gracias a todas las personas que durante el desarrollo de este proyecto de grado aportaron algo de su tiempo y esfuerzo para alcanzar el objetivo final, y en especial a nuestro director, el Doctor Oscar Arnulfo Quiroga quien con su paciencia y dedicación hizo posible la culminación de este proyecto de grado.

Le agradecemos a nuestros amigos de PFU, sin su apoyo y sus ánimos no fuera posible estar hoy a punto de culminar nuestra carrera; mucha fuerza muchachos, todo nuestro cariño para ustedes.

A Iván José Mendoza y a Juan Rafael Mindiola muchas gracias por su tiempo y la valiosa información brindada para poder desarrollar nuestra investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. OBJETIVOS.....	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO	21
2.1 FUENTES RENOVABLES NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DISPONIBLES EN LA ZONA.....	22
2.2 ENERGÍA SOLAR.....	25
2.3 ENERGÍA HIDRÁULICA	28
3. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	30
3.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA PARA LAS UNIDADES DE VIVIENDA	30
3.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE LA ZONA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ	32
4. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	34
4.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	34
4.2 LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	34
4.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO	36
4.3.1 Paneles fotovoltaicos	36
4.3.2 Banco de baterías	39
4.3.3 Regulador de carga	42
4.3.4 Inversor	42
4.3.5 Protecciones	43
4.4 EFICIENCIAS	44
4.4.1 Modelo del sistema fotovoltaico	44
4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	45
4.6 DATOS DE RADIACIÓN SOLAR, ORIENTACIÓN E INCLINACION ÓPTIMAS.....	46
4.6.1 Datos de radiación solar	46
4.6.2 Orientación e inclinación óptimas	48
4.7 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE PANELES SOLARES	48
4.8 AUTONOMÍA DEL SISTEMA.....	49
4.9 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS	50
4.10 CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA.....	51
4.11 CÁLCULO DEL INVERSOR	52
4.12 ELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	53
4.12.1 Elección de paneles fotovoltaico.....	53
4.12.2 Elección de regulador de carga	53
4.12.3 Elección de baterías	53
4.12.4 Elección de inversor.....	53
4.13 PROTECCIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	53
4.13.1 Dispositivos de sobretensión	53
4.13.2 Sistema de puesta a tierra	54

4.14 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN Y CÁLCULOS MEDIOAMBIENTALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	54
4.14.1 Presupuesto de inversión del sistema fotovoltaico	55
4.14.2 Análisis medio ambientales del sistema fotovoltaico	58
4.15 MATRIZ DE RIESGOS	58
5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	62
5.1 DEFINICIÓN	62
5.2 CLASIFICACIÓN	62
5.2.1 Según potencia	62
5.2.2 Según salto	62
5.2.3 Según su presa	62
5.3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA PCH.....	63
5.3.1 Estudio topográfico	64
5.3.2 Estudios de geología	64
5.3.3 Estudios hidrológicos	64
5.4 ELEMENTOS DE UNA PCH.....	64
5.5 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS.....	65
5.6 POTENCIA DE LAS TUBINAS	66
5.7 GENERADORES.....	66
5.8 TRANSFORMADOR.....	67
5.9 LINEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN	67
5.10 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	67
5.11 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UNA PCH	68
5.11.1 Caudal del agua.....	68
5.11.2 Salto geodésico	68
5.12 DISEÑO DE UNA PCH	68
5.12.1 Salto neto.....	68
5.12.2 Métodos para determinar el salto.....	69
5.12.3 Calculo del caudal.....	70
5.12.4 Métodos para calcular el caudal	70
5.13 DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES	72
5.13.1 Selección de la turbina.....	72
5.13.2 Selección del generador	72
5.13.3 Selección del transformador	72
5.13.4 Redes de distribución	72
5.14 APLICACIÓN DEL CÁLCULO Y DISEÑO A LA ZONA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ PERTENECIENTE AL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR EN LA GUAJIRA COLOMBIANA.	73
5.14.1 Determinación del salto.....	73
5.14.2 Estimación del caudal de diseño.....	74
5.14.3 Elección de la turbina.....	74
5.14.4 Elección del generador	75
5.14.5 Elección del transformador	76
5.14.5 Diseño del sistema de distribución de energía eléctrica	76
5.15 EVALUACIÓN DE COSTOS.....	76

5.16 IMPACTO AMBIENTAL	79
5.17 MATRIZ DE RIESGO DEL PROYECTO.....	80
5.18 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	83
6. ELEMENTOS PARA PRESENTAR UN PROYECTOS DE INVERSIÓN	85
6.1 CARTA DE PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	86
6.2 PLAN ANUAL DE ADQUISICIONES DE LA ADMINISTRACIÓN	87
6.3 ENTREGA DE CERTIFICADO DE COFINANCIACIÓN	87
6.4 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO EN LA METODOLOGÍA GENERAL AJUSTADA (MGA).....	88
6.5 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO TIPO A DNP	88
6.6 ELABORACION DE DOCUMENTOS Y ESTUDIOS PREVIOS.....	94
6.7 ANÁLISIS DEL SECTOR ECONÓMICO Y DE LOS OFERENTES POR PARTE DE LAS ENTIDADES ESTATALES	95
6.8 CERTIFICADO DE DISPONIBILIDAD PRESUPUESTAL (CDP).....	96
6.9 ELABORACIÓN DE PLIEGOS DE CONDICIONES	96
6.10 ELABORACIÓN DE PLIEGOS DE CONDICIONES DEFINITIVOS.....	96
6.11 PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS POR PARTE DE LOS OFERENTES.....	96
6.12 ETAPA DE EVALUACIÓN	96
6.13 ETAPA DE AUDIENCIA DE ADJUDICACIÓN	96
6.14 ACTA DE ADJUDICACIÓN.....	97
6.15 ENTREGA DEL CONTRATO AL ADJUDICANTE.....	97
6.16 PAGO DE ESTAMPILLA Y PÓLIZAS DE SEGUROS POR PARTE DEL CONTRATISTA.....	97
6.17 ACTA DE INICIO	97
6.18 ASIGNACIÓN DE SUPERVISOR	97
6.19 ASIGNACIÓN DE INTERVENTORÍA	97
6.20 EJECUCIÓN	97
6.21 ACTA DE LIQUIDACIÓN	97
7. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Imagen satelital de la zona rural.	22
Figura 2. Mapa de potencial energético con biomasa residual agrícola.	23
Figura 3. Mapa de potencial energético con biomasa residual pecuaria	24
Figura 4. Mapa de potencial energético con biomasa de residuos sólidos orgánicos urbanos	25
Figura 5. Mapa de radiación solar.....	27
Figura 6. Mapa del potencial hídrico de Colombia	29
Figura 7. Vivienda localizada en zona del proyecto	30
Figura 8. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico autónomo	34
Figura 9. Balance de energía de un módulo fotovoltaico	36
Figura 10. Curva normal I vs V	37
Figura 11. Diagrama de conexiones de un inversor.....	43
Figura 12. Diagrama de conexiones	44
Figura 13. Representación esquemática de un sistema solar fotovoltaico con sus flujos de energía a través de las diferentes etapas del sistema.	45
Figura 14. Mapa de radiación solar.....	46
Figura 15. Radiación solar mensual.....	47
Figura 16. Valoración de riesgos	59
Figura 17. Central en derivación	63
Figura 18. Central a pie de presa.....	63
Figura 19. Método del nivel con manguera.....	69
Figura 20. Método del nivel de carpintero.....	70
Figura 21. Ubicación del salto.....	73
Figura 22. Perfil de elevación.....	73
Figura 23. Estructura de la turbina-generator	75
Figura 24. Valoración de los riesgos.....	80
Figura 25. Mapa de procesos	86
Figura 26. Portada proyecto tipo de instalaciones de sistemas solares.....	88
Figura 27. Ilustración árbol de problemas.....	90
Figura 28. Proceso Constructivo.....	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Circuitos ramales	31
Tabla 2. Cuadro de distribución de cargas	31
Tabla 3. Resumen cálculo de demanda máxima	32
Tabla 4. Calculo de la demanda total.....	32
Tabla 5. Localización	35
Tabla 6. Datos de radiación solar	47
Tabla 7. Parámetros atmosféricos	48
Tabla 8. Periodos de diseño.	48
Tabla 9. Características del panel.....	49
Tabla 10. Cuadro de tensiones.....	50
Tabla 11. Características de la batería.	51
Tabla 12. Características del regulador de carga ET6415N	51
Tabla 13. Características de entrada del inversor.....	52
Tabla 14. Características de salida del inversor	53
Tabla 15. Características principales dispositivo de sobretensión.....	54
Tabla 16. Características complementarias dispositivo de sobretensión.....	54
Tabla 17. Costos sistema fotovoltaico	55
Tabla 18. Calculo de VAN y la TIR sistema fotovoltaico	57
Tabla 19. Tabla de emisión de gases.	58
Tabla 20. Matriz de riesgos del sistema fotovoltaico.....	60
Tabla 21. Clasificación de turbinas según salto en metros.	62
Tabla 22. Saltos de las turbinas.....	69
Tabla 23. Caudales medios	74
Tabla 24. Formulario de cantidades PCH	76
Tabla 25. Calculo del VAN y la TIR para la PCH	78
Tabla 26. Emisiones de la PCH	79
Tabla 27. Emisiones generador diésel.....	79
Tabla 28. Matriz de riesgos de una PCH	81
Tabla 29: tabla de normatividad de energía fotovoltaica.....	91
Tabla 30. criterio para la implementación del modelo de diseño	92

LISTA DE ANEXOS

(Ver carpeta adjunta en el cd)

- Anexo A. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana.
- Anexo B. Catálogo de paneles solares.
- Anexo C. Catálogo de regulador de carga.
- Anexo D. Catálogo de baterías.
- Anexo E. Catálogo de inversor.
- Anexo F. Catálogo de protecciones.
- Anexo G. Catálogo de puesta a tierra.
- Anexo H. Documentos y estudios previos
- Anexo I. Proyecto de pliego de condiciones
- Anexo J. Apertura de convocatoria
- Anexo K. Pliego de condiciones definitivos
- Anexo L. Acta de evaluación técnica
- Anexo M. Acta de evaluación jurídica
- Anexo N. Acta de evaluación financiera
- Anexo O. Revisión de propuesta económica y adjudicación del proponente
- Anexo P. Acta de adjudicación

GLOSARIO

En el presente glosario se toma en cuenta definiciones técnicas y palabras claves para un mejor entendimiento del proyecto a realizar. Estas definiciones fueron tomadas del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE y de la norma técnica colombiana NTC-1736.

ACOMETIDA: Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.

BATERÍA DE ACUMULADORES: Equipo que contiene una o más celdas electroquímicas recargables.

CARGA: La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.

CAPACIDAD O POTENCIA INSTALADA: Es la sumatoria de las cargas en kVA continuas y no continuas, diversificadas, previstas para una instalación de uso final. Igualmente, es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución.

CAPACIDAD O POTENCIA INSTALABLE: Se considera como capacidad instalable, la capacidad en kVA que puede soportar la acometida a tensión nominal de la red, sin que se eleve la temperatura por encima de 60 °C en cualquier punto o la carga máxima que soporta la protección de sobrecorriente de la acometida, cuando exista.

CAPACIDAD NOMINAL: El conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo o sistema eléctrico por el diseñador, para definir su funcionamiento bajo unas condiciones específicas.

CELDA FOTOVOLTAICA: Elemento que transforma energía solar en energía eléctrica.

CUENCA: Extensión de terreno más ancha y menos profunda que un valle, cuyas aguas se vierten en un río, en un lago o en el mar.

CENTRAL O PLANTA DE GENERACIÓN: Conjunto de equipos electromecánicos debidamente instalados y recursos energéticos destinados a producir energía eléctrica, cualquiera que sea el procedimiento empleado o la fuente de energía primaria utilizada.

DESCARGA DE UN ACUMULADOR: Proceso durante el cual un acumulador suministra corriente a un circuito exterior, mediante la transformación de la energía química almacenada en energía eléctrica.

DNP: Sigla de Departamento Nacional de Planeación.

EFICIENCIA DE LA ETAPA DE ACUMULACIÓN: Cociente entre la energía útil que esta etapa entrega a la carga y la que recibe de la etapa de regulación.

EFICIENCIA DE LA ETAPA DE REGULACIÓN: Cociente entre la energía útil que entrega la etapa de regulación al acumulador y la energía que recibe del campo de módulos fotovoltaicos.

EFICIENCIA DEL PANEL O DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO: Cociente entre la energía eléctrica a la salida del módulo fotovoltaico y la energía solar incidente.

EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO: Cociente entre la energía útil que proporciona el sistema fotovoltaico y la radiación solar incidente.

ENERGÍA CONSUMIDA: Energía entregada por el acumulador al usuario.

ENERGÍA POTENCIAL DEL PANEL O DEL MÓDULO: Energía eléctrica máxima que se puede extraer del panel o módulo en determinadas condiciones de irradiación.

ENERGÍA ÚTIL DE LA ETAPA DE REGULACIÓN: Energía entregada por la etapa de regulación

GENERADOR: Persona natural o jurídica que produce energía eléctrica, que tiene por lo menos una central o unidad generadora. También significa equipo de generación de energía eléctrica incluyendo los grupos electrógenos.

GEOMORFOLOGIA: Parte de la geodesia que estudia la figura del globo terráqueo y la formación de los mapas.

MÓDULO: Configuración de celdas fotovoltaicas.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC): Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el Organismo Nacional de Normalización de Colombia (ICONTEC).

RETIE O Retie: Acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.

SISTEMA DE EMERGENCIA: Un sistema de potencia y control destinado a suministrar energía de respaldo a un número limitado de funciones vitales, dirigidas a garantizar la seguridad y protección de la vida humana.

SOBRECARGA: Funcionamiento de un elemento excediendo su capacidad nominal.

SISTEMA FOTOVOLTAICO: Fuente eléctrica en la cual celdas solares transforman la energía solar en electricidad. Sus componentes pueden incluir, entre otros, un conjunto de celdas solares, módulos o paneles fotovoltaicos, regulador de carga, banco de acumulación y elementos de montaje.

TENSIÓN MÁXIMA DE CARGA: Tensión en los bornes del acumulador a una cierta temperatura a partir de la cual la corriente eléctrica proveniente del módulo se limita por el regulador.

ZONA DE SERVIDUMBRE: Es una franja de terreno que se deja sin obstáculos a lo largo de una línea de transporte de energía eléctrica, como margen de seguridad para la construcción, operación y mantenimiento de dicha línea, así como para tener una interrelación segura con el entorno.

RESUMEN

TÍTULO: IDENTIFICACIÓN DE UNA SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE PARA UN ÁREA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ PERTENECIENTE AL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR EN EL DEPARTAMENTO DE LA GUAJIRA*

AUTORES: JAVIER IGNACIO LOPEZ MAESTRE
VICTOR HUGO RODRIGUEZ CHINCHIA**

PALABRAS CLAVES: Energías renovable, energía fotovoltaica, energía hidráulica, paneles fotovoltaicos, turbina, generador.

DESCRIPCIÓN:

La electricidad es un servicio público con el que no cuentan los pobladores de muchas regiones del país, siendo una de éstas el corregimiento de Caracolí ubicada en el municipio de San Juan del Cesar en el departamento de la Guajira.

Dada la poca posibilidad para brindarle electricidad a la región mencionada mediante una red alimentada por el sistema interconectado nacional, se ha decidido buscar soluciones alternativas mediante el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles en la zona.

Partiendo de la estimación de las necesidades energéticas de la zona, se buscaron alternativas de generación a través de las fuentes no convencionales renovables de energía disponibles en la región, una vez identificadas las fuentes aprovechables, se hace necesario estimar su potencial y las diferentes alternativas para su posible explotación con lo cual se podrá determinar si es factible considerarla como opción para suplir las necesidades energéticas encontradas.

Después de elegir las alternativas más factibles, se procede a su dimensionamiento para luego mediante una comparación financiera y ambiental poder determinar cuál es la mejor opción. Finalmente se establecen los elementos necesarios para presentar una propuesta formal a los organismos competentes de tal forma que puedan intervenir y ayudar a mitigar las necesidades del corregimiento.

* Trabajo de grado

** Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director. Oscar Arnulfo Quiroga.

ABSTRACT

TITLE: IDENTIFYING A SOLUTION FOR SUSTAINABLE ENERGY FOR RURAL AREA OF CARACOLÍ IN THE MUNICIPALITY OF SAN JUAN DEL CESAR IN THE DEPARTMENT OF LA GUAJIRA*

AUTHORS: JAVIER IGNACIO LOPEZ MAESTRE
VICTOR HUGO RODRIGUEZ CHINCHIA**

KEYWORDS: Renewable energy, photovoltaic, hydropower, photovoltaic panels, turbine, generator.

DESCRIPTION:

Electricity is a public service that does not count the inhabitants of many regions of the country, being one of these the village of Caracolí located in the municipality of San Juan del Cesar in the department of the Guajira.

Given the lack of possibility to provide electricity to the region mentioned by means of a grid fed by the national interconnected system, it has been decided to seek alternative solutions through the use of available energy resources in the area.

Based on the estimation of the energy needs of the area, alternative sources of energy were sought through the non-conventional renewable sources of energy available in the region, once the sources have been identified, it is necessary to estimate their potential and the different alternatives for its possible exploitation with which it will be possible to determine if it is feasible to consider it as an option to meet the energy needs encountered.

After choosing the most feasible alternatives, we proceed to its sizing and then through a financial and environmental comparison to determine what is the best option. Finally, the elements are set to file a formal competent bodies so that they can intervene and help mitigate the needs of the township proposal.

* Work degree

** Industrial University of Santander. Faculty of Mechanical Physics. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director. Oscar Arnulfo Quiroga.

INTRODUCCIÓN

En el área rural del corregimiento de Caracolí perteneciente al municipio de San Juan del Cesar en La Guajira, como en muchas otras regiones del país, no se cuenta con el servicio de energía eléctrica, lo cual representa un gran obstáculo para el desarrollo económico y social de sus habitantes. Por lo anterior, se hace urgente la realización de un estudio que permita formular soluciones para satisfacer las necesidades básicas de energía eléctrica en esa región aprovechando los recursos renovables que allí se disponen.

Soluciones para esta problemática hay muchas, de hecho, algunas han funcionado a lo largo de los años, pero son soluciones que no han sido definitivas, como es el caso de la instalación de pequeños módulos fotovoltaicos para energizar luminarias y así por lo menos tener energía en las horas de oscuridad, solución que no ha servido para definitivamente disponer de energía las 24 horas del día; otra solución, la más común de todas ha sido obtener la electricidad a partir de generadores diésel ubicados en las viviendas o fincas de cada usuario, lo cual por un periodo de tiempo corto ha permitido suplir las necesidades energéticas de primera mano, pero a la vez representa un gran gasto económico y ambiental por el valor del combustible y su poder de emisión de gases perjudiciales a la atmosfera, es por eso que ha surgido la necesidad de buscar soluciones que sean perdurables, confiables y eficientes.

Este trabajo de grado, en primer lugar pretende determinar las necesidades energéticas de la zona, para luego indagar sobre las fuentes no convencionales renovables de energía disponible en la región con el fin de establecer sus potenciales energéticos y de esta forma poder encontrar una solución de generación y distribución de energía eléctrica, autosustentable, confiable y eficiente que permitan suplir las necesidades energéticas de la población de la comunidad objeto de estudio, además busca establecer los elementos necesarios al momento de presentar una propuesta formal ante las autoridades competentes que ayuden a mitigar los problemas presentes en esta zona.

En este documento se encuentra consignada la estimación de las necesidades energéticas de la zona objeto de estudio, junto con la definición y dimensionamiento de las fuentes no convencionales renovables de energía disponibles, con el fin de seleccionar la solución más conveniente teniendo en cuenta los factores económicos y ambientales, finalmente se encontraran los elementos necesarios para presentar una propuesta formal ante un ente competente que permita dar solución definitiva a la problemática.

1. OBJETIVOS

Para el proyecto se establecieron los objetivos mostrados a continuación.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio que permita la identificación de una solución de generación y distribución de energía eléctrica utilizando fuentes no convencionales de energía para el abastecimiento de una zona no interconectada del corregimiento de Caracolí perteneciente al municipio de San Juan del Cesar en el departamento de La Guajira.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para el cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado se propusieron como objetivos específicos los siguientes:

- Estimar las necesidades de energía eléctrica de la zona bajo estudio.
- Determinar las fuentes no convencionales de energía disponibles en la región bajo estudio y sus potenciales de generación.
- Plantear alternativas para la generación de electricidad a partir de las fuentes renovables de mayor potencial para la región.
- Plantear alternativas para la distribución de la energía a la población de la región.
- Identificar los elementos necesarios para presentar la propuesta a las entidades encargadas de realizar la planeación y promoción de soluciones energéticas para Zonas No Interconectadas (ZNI).

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DEL PROYECTO

El corregimiento de Caracolí está ubicado en la parte sur de San Juan del Cesar (Guajira) en el sector de la baja Guajira, pertenece a la cuenca hidrográfica del río Ranchería, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, se encuentra en las coordenadas de la latitud norte 10° 58 y la longitud Occidente de 73° a una altura de 420 metros sobre el nivel del mar.

Este corregimiento fue en sus orígenes un pueblo arahuaco llamado Marocaso, fundado por una mujer indígena llamada Isabel Manuela. Limita por el norte con el Municipio de Riohacha, por el sur con las veredas de la Mina, la Peña de los Indios, Machin, la Sierra y el Departamento del Cesar, por el Occidente con el Municipio de Fonseca y por el Oriente con el Departamento del Cesar. El corregimiento cuenta con un caserío y una zona rural, la cual es el objeto de este proyecto, el cual no cuenta con el servicio de energía eléctrica, por lo tanto, los pobladores se han visto en la obligación de utilizar plantas generadoras a base de combustibles fósiles para poder satisfacer sus necesidades energéticas.

En Caracolí se presenta dos temporadas de lluvias, la primera de abril a junio y la segunda que es la más prolongada, comienza a finales de agosto y termina en noviembre. En cuanto a la temperatura presente en la región, los sectores que se encuentran ubicados por debajo de los 500 m sobre el nivel mar, la temperatura oscila entre los 28°C y 32°C.

Caracolí es una zona en donde la principal actividad económica es la agricultura y la ganadería, destacando los cultivos de maíz, yuca, plátano y la cría de ganado vacuno y ovino.

La zona en donde se encuentran ubicados los posibles beneficiarios del proyecto está comprendida por un total de 20 fincas distribuidas a lo largo de un solo camino sin asfaltar y en condiciones que impiden el tránsito en vehículos motorizados. En ellas el factor común es la ausencia del servicio de energía eléctrica, lo cual ha mermado el desarrollo del nivel de vida de sus pobladores. En el área hay un total 70 habitantes, cerca del 70% son nativos de la zona, un 30% indígenas de la comunidad arahuaca, los cuales se dedican al cuidado de los cultivos y de los animales en cría como es el caso del ganado vacuno, ovino y porcino.

En años pasados, los pobladores de la región contaban con una pequeña central de generación a base de diésel para suplir sus necesidades energéticas, pero el llenado de embalse de la represa “El Cercado” perteneciente al proyecto río ranchería hundió dichas instalaciones en el año 2009, obligando a los pobladores a adquirir pequeñas plantas generadoras a base de diésel que les permitieran al menos desarrollar las actividades más importantes para su sustento económico.

En la Figura 1 se puede observar la zona de influencia del proyecto, en color rojo está demarcada la vía de acceso a la zona de estudio, el relieve que se puede ver es montañoso, en la parte inferior derecha se puede ver la cabecera urbana de Caracolí y el embalse de la represa “El Cercado” creado para el proyecto rio Ranchería del 2001.

Figura 1. Imagen satelital de la zona rural.



Fuente: Google Earth

La zona cuenta con recursos hídricos aprovechables para la generación de electricidad a través de la implementación de una pequeña central hidroeléctrica, además, los índices medios de radiación solar a lo largo de los meses del año abren la posibilidad de establecer una alternativa de generación de energía eléctrica por medio de un sistema de paneles fotovoltaicos.

Por ser un área cuya principal actividad económica es la agricultura, se generan productos de desecho de los diferentes cultivos que se podrían aprovechar como biomasa, pero debido a la falta de otros servicios esenciales como el gas natural, los habitantes dan utilidad a estos productos derivados de las actividades agrícolas para cocinar, así como para dar de comer a los animales.

2.1 FUENTES RENOVABLES NO CONVENCIONALES DE GENERACIÓN DISPONIBLES EN LA ZONA

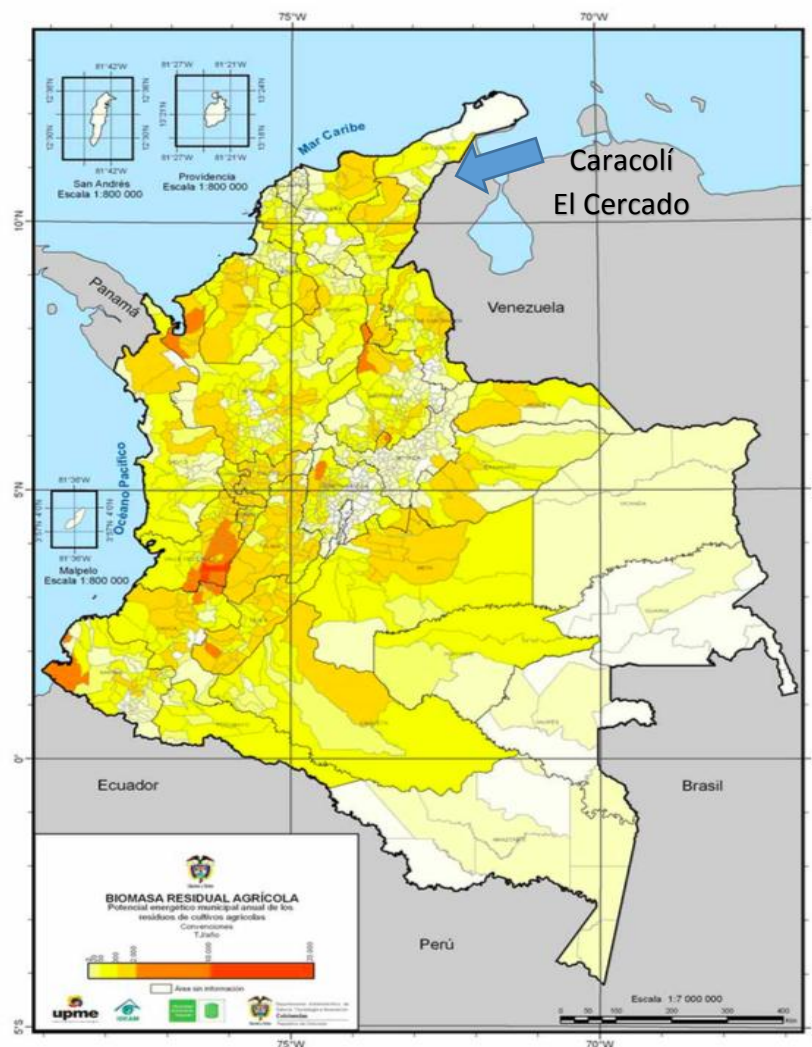
La región de Caracolí es una zona rica en fuentes no convencionales de energía como el agua, el sol, el viento y la biomasa, pero debido a ciertas limitaciones solo es posible realizar un aprovechamiento eficiente de la luz solar y del recurso hídrico.

Al ser una región montañosa, el aire que circula a través de la zona no es constante y su intensidad no alcanza a cumplir con las exigencias necesarias para pensar en establecer un sistema de generación de electricidad teniendo como principal fuente el viento.

Respecto a la biomasa, en cierto que por ser una región de una fuerte actividad agrícola hay un gran potencial de biomasa, pero mucho de ese potencial es utilizado para otras actividades consideradas por los habitantes de la zona como de primera necesidad, como es el caso la alimentación del ganado con los desechos de los cultivos, el encender fogatas que permitan cocinar los alimentos con la leña; además al ser la agricultura su principal fuente de ingreso, no es económicamente viable reservar hectáreas para plantaciones bioenergéticas.

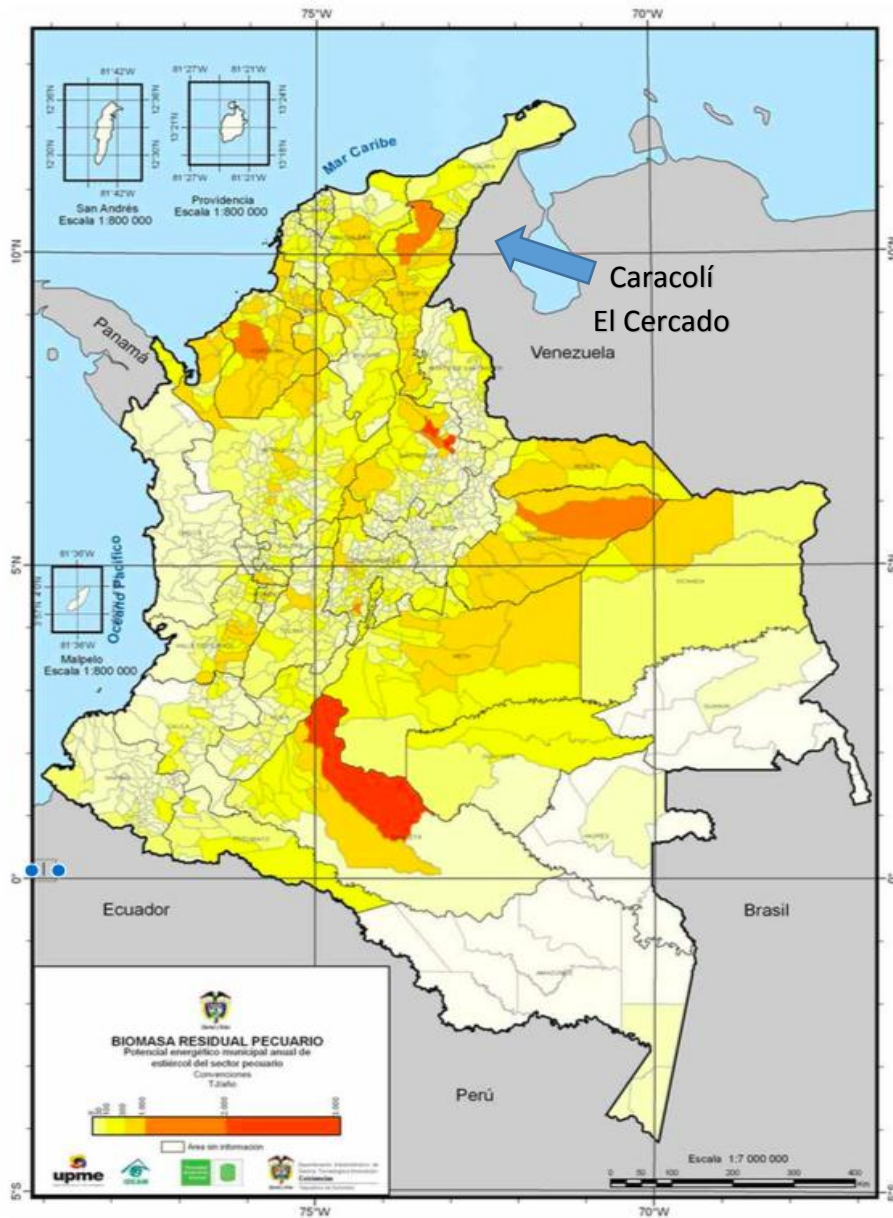
La generación de energía por medio de biomasa, tiene tres grandes fuentes de materia energética, estas son los residuos agrícolas, los residuos pecuarios y los residuos sólidos orgánicos urbanos. En los mapas de las figuras 2, 3 y 4 se muestra el potencial energético de todo el país a partir de estas materias energéticas.

Figura 2. Mapa de potencial energético con biomasa residual agrícola.



Fuente: SIMEC. Tomado de [29]

Figura 3. Mapa de potencial energético con biomasa residual pecuaria



Fuente: SIMEC. Tomado de [30]

Figura 4. Mapa de potencial energético con biomasa de residuos sólidos orgánicos urbanos



Fuente: SIMEC. Tomado de [31]

Claramente en los mapas se puede evidenciar el bajo potencial para producir energía por medio de la biomasa, por lo tanto, no se realizarán mayores análisis de esta fuente de energía en el desarrollo de este proyecto.

2.2 ENERGÍA SOLAR

El sol se concibe como la mayor fuente de energía en nuestro planeta, a lo largo del espacio, la energía que produce el sol viaja en forma de radiación

electromagnética, parte de esta energía logra penetrar la atmósfera de planeta tierra, siendo absorbida por el suelo y en parte reflejada hacia el espacio; aproximadamente la mitad de la energía recibida del sol es aprovechable para la generación de energía eléctrica.

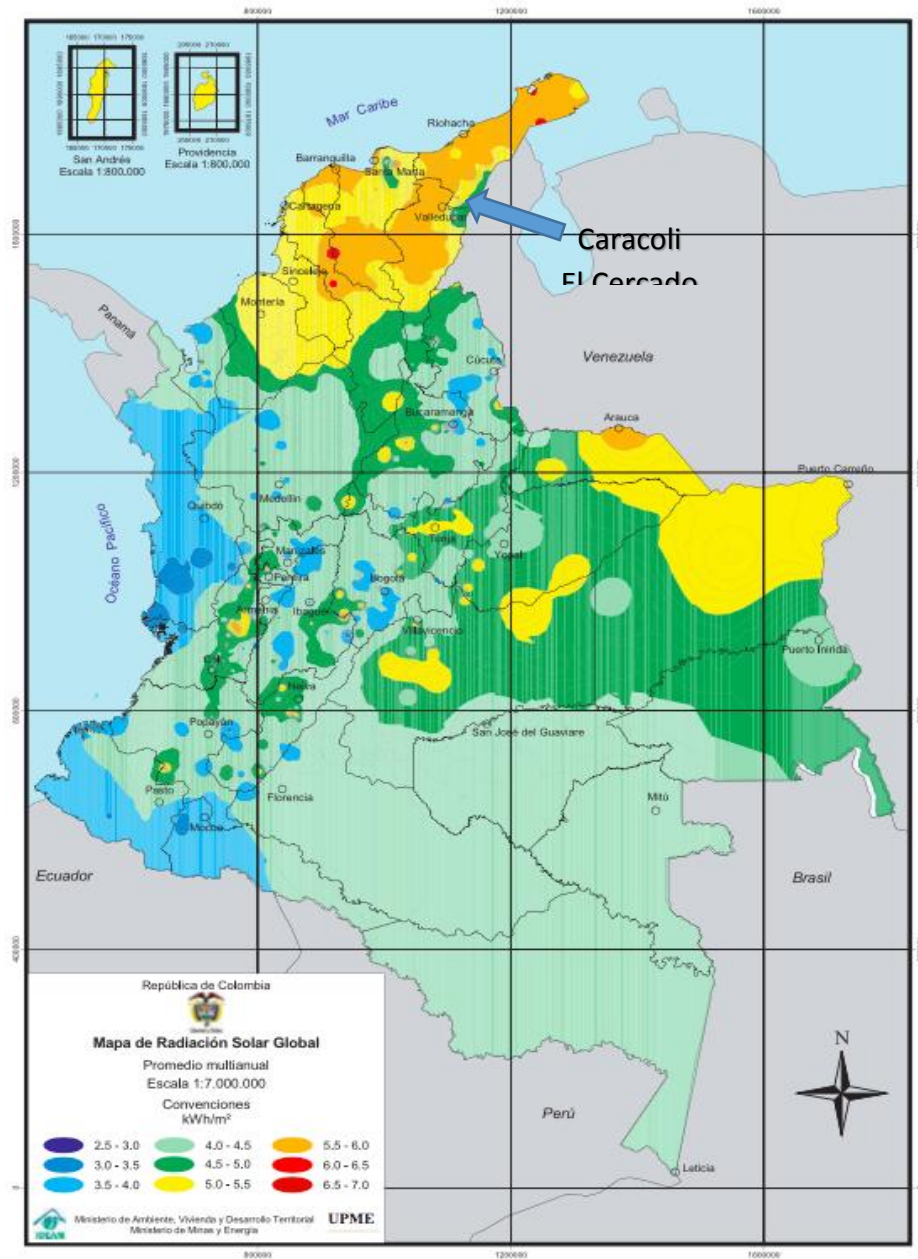
La energía del sol se ha utilizado en el planeta para diversas ocupaciones desde hace mucho tiempo, ha sido de gran utilidad para la agricultura, la industria etc. A nivel energético, el sol ha sido aprovechado como fuente productora de calor en las centrales de energía solar térmica y como una fuente de electricidad a través de la energía solar fotovoltaica.

Las centrales de energía solar térmica basan su funcionamiento en la utilización de la energía brindada por el sol para calentar fluidos, generalmente el agua. Su utilidad va desde apoyar el sistema de calefacción de las viviendas y piscinas hasta la generación de la electricidad a través del vapor generado por altas temperaturas ($>250^{\circ}\text{C}$) en el agua.

Para generar electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica es necesario el uso de células fotovoltaicas, las cuales tienen como base de funcionamiento el efecto fotovoltaico ocasionado por la luz incidente en los materiales semiconductores que componen las células, el cual produce un flujo de electrones en el material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica. Este sistema de generación de electricidad es ampliamente utilizado en zonas con difícil acceso a la red de energía, como zonas rurales, iluminación de lugares aislados, carreteras, algunos dispositivos móviles (cámaras, ordenadores) etc. [1].

La zona de Caracolí posee alta radiación solar como se ve en el Anexo 1, en el que está contenido el mapa de radiación solar promedio por mes, en este documento se especifica que no es recomendable tener en cuenta esta información en alta montaña puesto que no se tienen mediciones directas del recurso energético. Puesto que Caracolí está ubicado a una altura de 460 msnm, dicha recomendación no se tiene en cuenta, por lo tanto, se toma esta referencia para realizar estudios de radiación e insolación y estimación del potencial energético tal cual se puede observar en el capítulo 5 del presente proyecto. En la Figura 5 se puede observar el mapa de radiación solar de Colombia, claramente se observa que la zona de Caracolí tiene un gran potencial que se puede aprovechar para producir energía eléctrica.

Figura 5. Mapa de radiación solar



Fuente: SIMEC. Tomado del Anexo 1

2.3 ENERGÍA HIDRÁULICA

El agua es un recurso de gran importancia en el planeta más del 70% está cubierto por ella, ha sido utilizada en diferentes actividades del desarrollo de la humanidad como una vía de transporte a través de barcos, para impulsar los molinos etc. uno de esas utilizaciones es la generación de electricidad.

A través de embalses o represas el recurso hídrico es contenido con el fin de dejarlo caer a través de canalizaciones y otras obras civiles, a medida que el agua empieza a perder altura, gana velocidad transformándose así la energía potencial en energía cinética, al pasar hacia las turbinas el agua hace que sus ejes empiecen a girar en función de la velocidad con la que cae el agua, transformando la energía cinética en energía mecánica; el eje de la turbina está conectado a un generador el cual tiene como función transformar la energía mecánica del eje de la turbina en energía eléctrica.

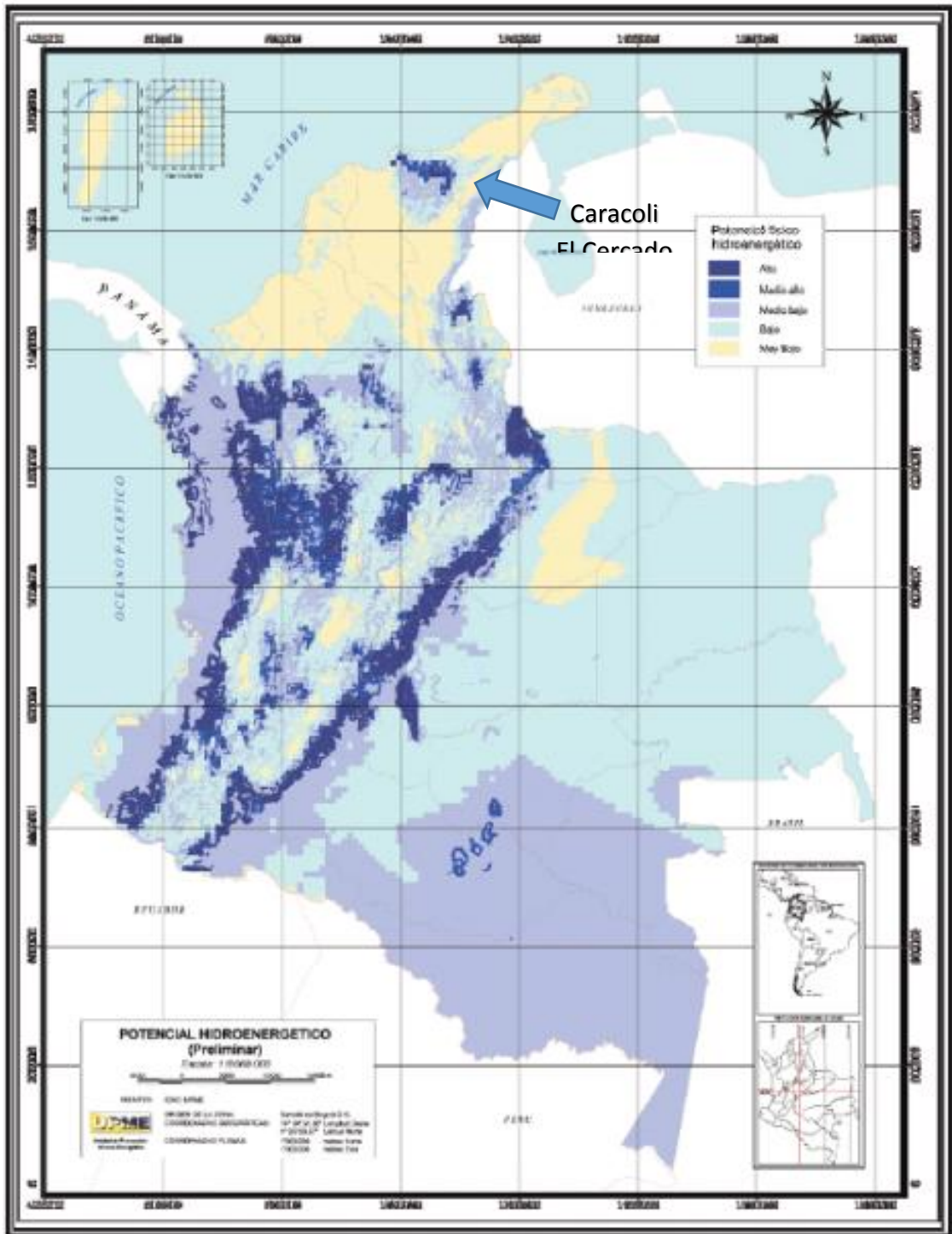
El caudal y el salto son características muy importantes para la producción de electricidad a partir del agua, a partir de estos datos es posible estimar el potencial energético de alguna zona con recursos hídricos.

Aunque en términos de emisiones de gases contaminantes los proyectos de generación de electricidad a través de centrales hidroeléctricas no producen contaminación, si afectan el ecosistema de la zona de influencia debido a la magnitud de las obras y adecuaciones necesarias para poner en marcha un proyecto, por lo tanto, al momento de la planificación, ejecución y puesta en marcha se deben seguir estrictos protocolos ambientales con el fin de causar el menor impacto posible en el ecosistema [2].

La Figura 6 muestra el mapa del potencial hídrico de Colombia, en donde es posible ver que en la zona bajo estudio hay un potencial aprovechable el cual puede ser de gran utilidad para solventar la situación problema de los habitantes de Caracolí.

En el Capítulo 6 de este proyecto se determinará la forma en que se puede explotar el potencial hídrico de la zona en la búsqueda de una solución fiable, duradera y eficiente a los problemas energéticos de la región.

Figura 6. Mapa del potencial hídrico de Colombia



Fuente: SIMEC. Tomado de [32]

3. CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este capítulo se calcularán las necesidades de energía eléctrica de la zona siguiendo los lineamientos que la norma técnica colombiana NTC-2050 y el operador de red establecen.

3.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA PARA LAS UNIDADES DE VIVIENDA

Las viviendas de los potenciales beneficiarios del proyecto son lugares que carecen de instalaciones eléctricas adecuadas, tal cual se puede ver en la Figura 7, pues al no contar con un suministro constante del servicio de electricidad los pobladores no se han visto en la necesidad u obligación de invertir dinero y tiempo en mejorar dichas instalaciones.

Figura 7. Vivienda localizada en zona del proyecto



Debido a la precaria situación de las viviendas, las cuales no poseen un dimensionamiento de las instalaciones acorde a lo que cita la norma técnica colombiana NTC-2050, se decidió dimensionar las instalaciones de las casas de acuerdo a la estipulado en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, en el artículo 28º, literal g.

“Las instalaciones eléctricas de las unidades de vivienda, de área construida

menor a 50 m² y capacidad instalable no mayor a 7 kVA, deben ser construidas mínimo con los siguientes circuitos:

- Un circuito para pequeños artefactos de cocina, despensa y comedor, de capacidad no menor a 20 A, a este circuito se le puede incorporar la carga del cuarto de baño.
- Un circuito para conexión de plancha y lavadora de ropa, de capacidad no menor a 20 A.
- Un circuito para iluminación y tomacorrientes de uso general en el resto de la vivienda, de capacidad no menor a 20 A.” [3].

Tabla 1. Circuitos ramales

DESCRIPCION	CARGA (VA)	FP	CARGA (W)	I (A)	CIRCUITOS MINIMOS
Alumbrado General	1500	0,95	1425	13,6	1
Pequeños artefactos	1500	0,95	1425	13,6	1
Lavado y planchado	1500	0,95	1425	13,6	1
Total	4500	0,95	4275	41	3

En la Tabla 1, esta resumido el número mínimo de circuitos ramales que por norma debe tener la vivienda, en donde se deben tener un circuito para pequeños artefactos, un circuito para lavado y planchado y una carga de alumbrado y tomas generales. Cada uno de estos circuitos debe tener una capacidad no menor a 20A, y acorde con la NTC 2050 se les asigna una carga no menor de 1500 VA y deben cablearse en conductor de cobre No. 12 AWG.

Tabla 2. Cuadro de distribución de cargas

DISTRIBUCION DE CIRCUITOS										
TABLERO	LUZ LED 9 (W)	TOM A	CARGA INSTALADA (W)	CARGA TOTAL (W)	FP	CARGA INST. (VA)	I (A)	CALIB (AWG)	PROTE (A)	OBSERVACIONES
	9	171								
1		5	1.425	855	0,95	1500	13,6	12	1 X 20	Tomas apartamento
2		2	1.425	1.425	0,95	1500	13,6	12	1 X 20	Pequeños artefactos
3	7		1.425	63	0,95	1500	13,6	14	1 X 20	Luces apartamento
4			0							Reserva
TOTAL	7	7	4.275	2.343		4500	42,5			

En la Tabla 2, se resume la distribución de los circuitos ramales salientes del tablero de distribución, para dicha tabla, se tuvo en consideración que cada luminaria de la vivienda tiene un consumo equivalente a 9 W, así como cada toma corriente representa 171 W, a partir de ahí se buscó distribuir en cada circuito la

carga de tal manera que se garantizó cumplir con los requerimientos del reglamento y la norma dando como resultado un total de 3 circuitos ramales más uno de reserva en el tablero general de distribución.

$$S = \frac{P}{FP} (1)$$

Donde:

S: Potencia aparente [VA]

P: Potencia activa [W]

FP: Factor de potencia

Utilizando un factor de potencia de 0,95 se calcula una carga instalada de 4500VA

Tabla 3. Resumen cálculo de demanda máxima

DEMANDA MAXIMA EN kVA	DEMANDA
Carga instalada en VA	4500
Carga al 100% en VA	3000
Carga restante con factor de demanda en VA	525
Demanda Máxima en VA	3525
DEMANDA MAX EN kVA VIVIENDA TIPO	3,525

En la Tabla 3, se encuentra un resumen de la estimación de la demanda máxima. La demanda, se calculó mediante la norma técnica colombiana NTC-2050, la cual en la Tabla 220-11 indica que al estimar la demanda máxima para una vivienda se deben tomar los primeros 3000 VA al 100% y el resto de la carga al 35%, como se observa en la Tabla 2. Por lo tanto, la demanda máxima es la misma carga instalada 3,525 [kVA].

3.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA DE LA ZONA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ

En este apartado se calcula la demanda para el conjunto de los 20 potenciales beneficiarios. Se realiza el cálculo aplicando los factores de demanda de la Tabla 220-11 de la NTC-2050.

Tabla 4. Calculo de la demanda total.

DEMANDA MAXIMA EN kVA	DEMANDA
Carga instalada en VA (20 usuarios)	90000
Carga al 100% en VA	3000
Carga restante al 35% en VA	30425
Demanda Máxima en VA	33425
DEMANDA MAX EN kVA VIVIENDA TIPO	33,425

En la Tabla 4 se encuentra el resumen del total de la demanda para todos los potenciales beneficiarios.

$$D_{\max} = \text{Carga al 100\%} + \text{Resto al 35\%} \quad (2)$$

D_{bonde} :

D_{\max} : Demanda máxima diversificada.

Lo que da una demanda máxima diversificada de 33,425 [kVA]

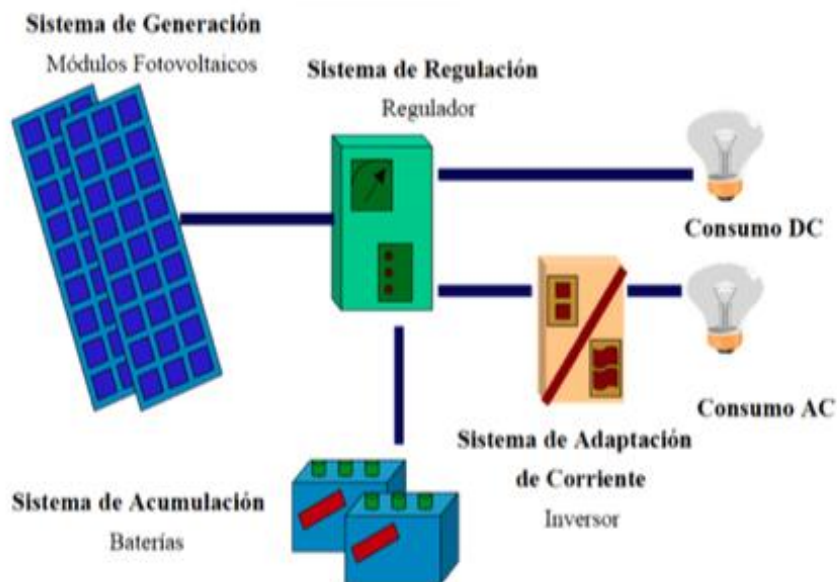
4. DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Ante la crisis energética debida al aumento de la tecnología y de la población mundial, se han estudiado diversas fuentes de energía renovables que sean amigables con el ambiente para evitar el deterioro de la capa de ozono y la contaminación mundial. Debido a que el sol es una fuente de energía infinita, en los últimos años se ha promovido el uso de la energía solar fotovoltaica. En este capítulo se elaborará una serie de pautas para el entendimiento del sistema propuesto como definiciones, gráficos y tablas, para luego establecer un dimensionamiento del mismo

4.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Un sistema autónomo debe generar energía eléctrica y acumularla en baterías para ser utilizada en el momento que se requiera. Es un sistema más complejo que el conectado a la red [4]. En la figura 8 se puede observar la composición de un sistema fotovoltaico autónomo.

Figura 8. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico autónomo



Fuente: Sunfields [5].

4.2 LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Teniendo en cuenta aspectos sociales y económicos, se decidió establecer puntos de generación en cada casa o finca, debido a que para concentrar la generación de electricidad en una única zona representa la ocupación de un área de tamaño considerable para poder suplir la demanda energética, el encontrar un lugar que

se adapte a las necesidades se convierte en un gran reto puesto que al estar sobre una zona donde la principal actividad económica es la agricultura y la ganadería, no sería posible disponer de un área útil para este propósito; por otro lado, el concentrar la generación en un solo lugar conlleva a establecer un sistema de distribución cuya infraestructura elevaría considerablemente el presupuesto de inversión.

En la Tabla 5 se establece la localización de los módulos fotovoltaico en cada una de las fincas, en un área de 9 x 1.8 metros en cercanías de la vivienda, dependiendo del área disponible en cada una de ellas, teniendo en cuenta las variables de pérdidas por sombras ocasionadas por árboles o montañas de la región.

Tabla 5. Localización

No	VEREDA	BENEFICIARIO	COORDENADAS	
			LATITUD	LONGITUD
1	COMUNIDAD MAROCAZO	ALIRIO RAFAEL DAZA MONTERO	10°58'13.1"	73°08'01.1"
2	COMUNIDAD MAROCAZO	REINALDO ENRIQUE ARMENTA	10°58'12.5"	73°07'56.8"
3	COMUNIDAD MAROCAZO	MANUEL ANTONIO ALBERTO GIL	10°58'20.2"	73°08'06.0"
4	COMUNIDAD MAROCAZO	ORANGEL RAFAEL DAZA	10°58'39.5"	73°07'13.0"
5	COMUNIDAD MAROCAZO	ARMANDO JOSE MALO MOJICA	10°58'41.4"	73°09'22.4"
6	COMUNIDAD MAROCAZO	ANGELA DEL ROSARIO MOJICA	10°58'19.8"	73°09'56.0"
7	COMUNIDAD MAROCAZO	VICTOR CAMILO MOJICA	10°58'18.9"	73°09'53.3"
8	COMUNIDAD MAROCAZO	EDILMA PASTOR GIL	10°58'17.7"	73°09'51.8"
9	COMUNIDAD MAROCAZO	JOSE DANIEL MOJICA NIEVES	10°58'16.8"	73°09'51.5"
10	COMUNIDAD MAROCAZO	JELIS YOJANA ESQUEA GUTIERREZ	10°57'41.2"	73°08'55.5"
11	COMUNIDAD MAROCAZO	JESUS MARIA GUTIERREZ	10°57'43.3"	73°08'50.0"
12	COMUNIDAD MAROCAZO	ESCUELA MAROCAZO	10°58'29.9"	73°07'55.4"
13	COMUNIDAD MAROCAZO	EVARISTO JOSE DAZA	10°58'33.7"	73°07'53.9"
14	COMUNIDAD MAROCAZO	ELIS ADABERTO MENDOZA DAZA	10°58'34.1"	73°07'55.0"
15	COMUNIDAD MAROCAZO	MAYELIS MOJICA NIEVES	10°58'55.3"	73°07'27.4"

No .	VEREDA	BENEFICIARIO	COORDENADAS	
			LATITUD	LONGITUD
16	COMUNIDAD MAROCAZO	ORLANDO DAZA	10°59'03.6"	73°07'20.5"
17	COMUNIDAD MAROCAZO	LUS MIGUEL CORZO CACERES	10°58'59.8"	73°07'15.9"
18	COMUNIDAD MAROCAZO	ROIMA JOSE MARTINEZ NIEVES	10°58'57.4"	73°07'09.2"
19	COMUNIDAD MAROCAZO	ANA FRANCISCA MOJICA	10°59'06.8"	73°07'11.6"
20	COMUNIDAD MAROCAZO	CENTRO DE ACOPIO MAROCAZO	10°59'20.4"	73°07'10.0"

4.3 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO

Se describirán los componentes y funcionamiento del sistema para un dimensionamiento correcto y elección de equipos eficientes, mostrando características propias de los elementos que componen el sistema fotovoltaico autónomo.

4.3.1 Paneles fotovoltaicos.

Figura 9. Balance de energía de un módulo fotovoltaico



Fuente: NTC 4405 pág. 12

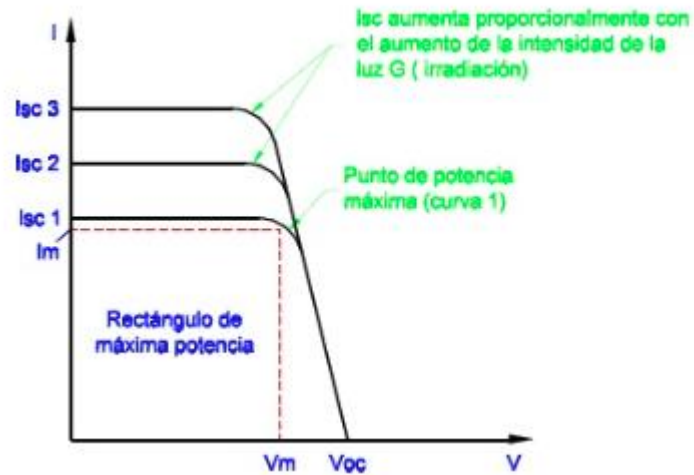
Son los encargados de convertir la energía solar en energía eléctrica a través de película delgada policristalinos o monocristalina generalmente.

El fundamento de esta tecnología se basa en incidir la luz sobre la superficie fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido donde parte de estos electrones saliendo al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica por un circuito exterior [5].

La Figura 9, muestra el balance de energía de un módulo fotovoltaico.

En la Figura 10 se puede observar la curva de funcionamiento de un panel en cuanto a la corriente y el voltaje.

Figura 10. Curva normal I vs V



Fuente: NTC 4405 pág. 14

Estos dependen del área activa del panel, de la resistividad del material y de la temperatura:

Isc: corriente en corto circuito

Voc: tensión a circuito abierto

Vm: tensión a máxima potencia

Im: corriente a máxima potencia

La tensión a máxima potencia sonda los 12-18 [Voltios] para uniones de 36 células y los de 24-34 [v] para las uniones de 72 células. Estos tienen las siguientes propiedades:

➤ DOPADO DE SILICIO Y LA UNIÓN P-N

Un átomo de silicio tiene 4 electrones de valencia y esta se enlaza a los átomos adyacentes. El proceso comienza cuando se sustituye un átomo de silicio por uno que tenga 3 electrones de valencia como el caso del boro y generar un dopado tipo P; de igual forma se hace con uno que tenga 5 electrones de valencia como el fósforo para generar un dopado N.

Este proceso de formación P-N provoca difusión de electrones de la zona de mayor a menor concentración; es decir, desde la capa tipo N de la unión hasta la capa P con menores concentraciones de electrones [6].

➤ GENERACIONES EN CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Primera Generación: consiste en una gran superficie de cristal simple una unión P-N como un diodo, capaces de generar energía eléctrica a través de energía luminosa de sol. Se fabrica mediante un proceso de difusión con obleas de silicio.

- Segunda Generación: se basa en el uso de depósitos epitaxiales muy delgadas de semiconductor sobre obleas concentradas. Se dividen en 2 grupos:
 - Espaciales: poseen eficiencias mayores de 30% como el caso de galio y arsenio, generalmente circuitos de potencia.
 - Terrestres: se basa en eficiencias que alcanzan los valores de 7% a 9%
- Tercera Generación: a diferencia de las anteriores no utilizan uniones P-N. Para aplicaciones espaciales se estudian dispositivos de huecos cuánticos y dispositivos que incorporen nanotubos de carbono, los que pueden alcanzar una eficiencia AM0 superior al 45%. Se dividen en 2 grupos:
 - Espaciales: dispositivos de huecos cuánticos y nanotubos de carbono y alcanza una eficiencia de 45%-
 - Terrestres: fabricadas con celdas electroquímica, polímeros y nano cristales.
- Cuarta Generación: es una mezcla de mono partículas con polímeros para formar una capa multispectral donde se proyecta mayor eficiencia y más económicas en un futuro [6].

➤ FORMAS DE FABRICACIÓN

- Silicio monocristalino: fabricado en base de láminas de cristal de alto porcentaje de pureza y estructura casi perfecta. Las eficiencias alcanzan el 16% en paneles comerciales.
- Silicio policristalino: son fabricadas mediante un proceso de moldeo. Cuando se seca, se corta en láminas delgadas. Son menos eficientes debido a que se presenta más imperfecciones con respecto al monocristalino. Tiene una eficiencia de 14% en paneles comerciales.
- Silicio amorfo: se fabrica depositando silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas reactivo, silano (SiH₄). Tiene una eficiencia hasta de 10% en paneles comerciales.

- Telurio de cadmio: Tiene un rendimiento hasta del 8% en paneles comerciales.
- Arseniuro de Galio: altamente eficiente llegando hasta un 20% en paneles comerciales.
- Tándem: es una combinación de semiconductores distintos.
- Paneles fotovoltaicos orgánicos: se trata de polímeros orgánicos capaces de reaccionar y liberar electrones en presencia de luz solar; se pueden elaborar mediante procesos de impresión y recubrimiento como spray.
- Paneles de película delgada: se construyen a base de CIGS (cobre-indio-galio-selenio) alojados mediante soportes [6].

➤ **MANTENIMIENTO**

El mantenimiento básico del panel solar fotovoltaico requiere de:

- Limpiar frecuentemente la frontal del vidrio del panel solar. Esta acción debe efectuarse con agua y paño suave; en dado caso usar detergente.
- Verificar que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones. En caso de detectar anomalías, llamar al personal especializado
- Verifique que la estructura de soporte esté en buenas condiciones. En caso que se encuentre a intemperie, dar tratamiento con pintura antioxidante [7].

4.3.2 Banco de baterías. Se encargan de acumular la energía generada por el sistema fotovoltaico para poder aprovechar cuando haya poca o nula radiación solar. Las más utilizadas son las estacionarias de plomo ácido por su relación de precio por energía disponible. Generalmente con vasos de 2 V cada uno. Se recomiendan usar baterías de ciclo profundo, que soportan los constantes procesos de carga y descarga en base a un proceso electroquímico de oxidación/reducción [8].

➤ **BATERIAS DE PLOMO**

En sistemas solares y eólicas las baterías tienen que dar la energía sobre un tiempo relativamente largo y frecuentemente se descargan a niveles más bajos. Estas baterías de tipo ciclo profundo tienen capas de plomo gruesas que además brindan la ventaja de significativamente prolongar su vida. Estas baterías son relativamente grandes y pesadas por el plomo. Son compuestas

de celdas de 2 V nominales que se juntan en serie para lograr baterías de 6, 12 o más voltios para aplicaciones especiales [8].

➤ **FUNCIONAMIENTO**

Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el electrodo negativo de plomo. En la descarga se produce la disociación del ácido sulfúrico de manera que el dióxido de plomo y el plomo se transforman gradualmente en sulfato de plomo. También se forma agua, con lo cual el electrolito va disminuyendo su densidad y quedando menos ácido. De esta manera, cuando el acumulador está descargado, la masa activa de las placas es en gran parte sulfato de plomo y el electrolito está constituido por una disolución de ácido sulfúrico, cuya densidad ha disminuido aproximadamente desde $1,28 \text{ g/cm}^3$ a $1,10 \text{ g/cm}^3$.

Durante la carga, el paso de la corriente hace que en las placas se produzca la disociación del sulfato de plomo, mientras que en el electrolito se produce la electrólisis del agua conduciendo a la liberación de hidrógeno y oxígeno, y la consiguiente disminución del volumen de agua. En esta situación el sulfato de plomo de la placa positiva se transforma en dióxido de plomo y el de la placa negativa en plomo; además se forma ácido sulfúrico nuevamente y aumenta la densidad del electrolito [8].

• **TIPOS DE BATERIAS DE PLOMO**

Usualmente se utilizan en instalaciones fotovoltaicas baterías de plomo por la capacidad de ciclos profundos de carga y descarga, las cuales se dividen en dos tipos:

- **BATERÍAS LIQUIDAS.** Existen las versiones abiertas y la versión cerrada o “libre de mantenimiento”. Sus principales ventajas como su bajo costo y comportamiento en caso de sobrecarga, de igual forma su hándicap es que tiene escapes de hidrogeno (explosivos), tiene que tener un buen control del nivel de agua y tiene poca vida útil (alrededor de 400 ciclos).
- **BATERÍAS VRLA (VALVE REGULATED LEAD ACID BATTERY).** Estas baterías modernas tampoco son completamente selladas, pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno e hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Se clasifican en 2 grupos que a continuación se describen.

- **BATERÍAS DE GEL.** Son baterías selladas en el cual el ácido esta en forma de gel.

Ventajas:

1. No hay líquido que se pueda perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición.
2. Corrosión reducida y más resistente a bajas temperaturas.
3. Menor afectación en casos de descargas profundas.

Desventajas:

1. Tienen una resistencia interna alta en el cual reduce el flujo de corriente.
2. Elevada inversión inicial.

- **BATERÍAS AGM**

Estas baterías llamadas baterías secas porque tienen una reducida cantidad de ácido, son utilizadas en aviación, pero últimamente incursionadas en sistemas fotovoltaico y eólico.

Ventajas:

1. Tiene la eficiencia más alta del mercado (hasta del 95%).
2. Baja resistencia que permite mayor flujo de corriente.

Desventajas:

1. Vulnerabilidad más alta a descargas profundas.
2. Elevada inversión inicial.

- **MANTENIMIENTO**

Las rutinas de mantenimiento para las baterías varían ampliamente dependiendo del tipo de batería y su uso. Una batería estacionaria de una subestación de transformación no requerirá mantenimiento por varios meses. De igual forma se efectúan mantenimientos preventivos como:

- ✓ Limpiar y mantener ajustadas las conexiones de los cables. Los terminales deberán mantenerse libre de corrosión. De existir, los terminales se podrán limpiar con la solución de bicarbonato de sodio seguido por agua limpia y luego por un trapo seco.
- ✓ De resultar necesario, y si corresponde (las baterías VRLA no necesitan la reposición de agua), se deberá ajustar el nivel del electrolito utilizando agua desmineralizada o destilada (el agua potable tiene impurezas que contribuyen al envejecimiento de la batería). Bajo condiciones difíciles,

alta temperatura ambiente por ejemplo, el nivel del electrolito deberá comprobarse con tanta frecuencia como resulte necesario.

4.3.3 Regulador de carga. La misión del regulador se centra, pues, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo. En definitiva, el regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías.

- **REGULADOR SHUNT**

Se coloca en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectando la tensión en los bornes de la batería cuando se alcanza el valor nominal, creando una vía de baja resistencia a través de los paneles, derivando la corriente y sacándola de la batería.

- **REGULADOR SERIE**

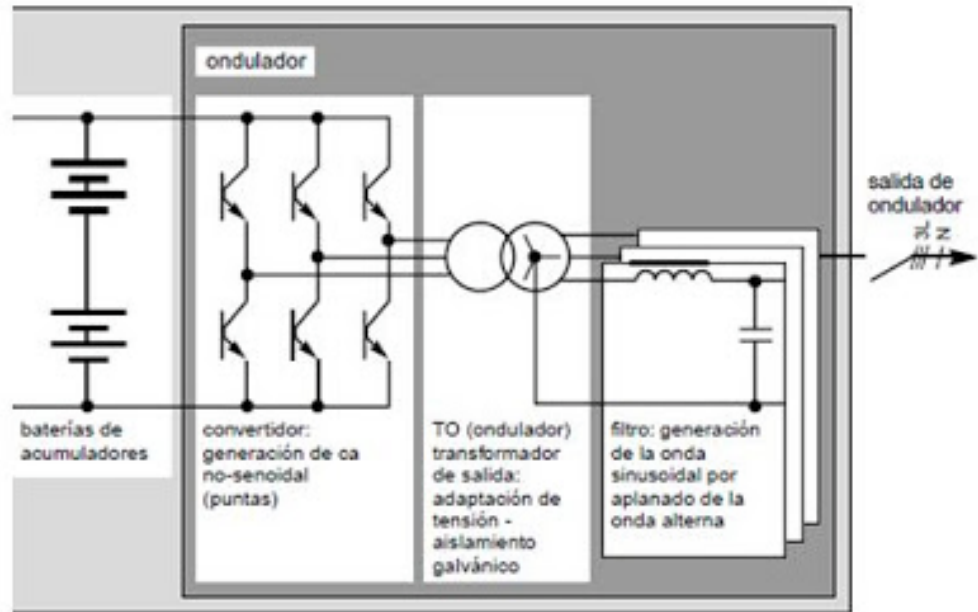
Se basan en el concepto de regulación en serie, en la que el grupo solar se desconecta del sistema de baterías cuando se logra un estado de plena carga, por lo que es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre el grupo y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada.

4.3.4 Inversor. La selección del inversor viene determinada por el suministro de la potencia de consumo AC que opera de modo continuo y por el suministro de la demanda máxima. Las cargas inductivas que tienen bobinas y compresores que se deben cargar; durante el arranque, la corriente demandada puede aumentar 4 a 6 veces la corriente nominal.

Consta de un circuito electrónico, realizado con transistores o tiristores, que trocea la corriente continua, alternándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser ya utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, obteniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien, si se filtra, obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica [9].

En la Figura 11 se aprecia el diagrama de conexiones de un inversor.

Figura 11. Diagrama de conexiones de un inversor



Fuente: Tomado de [9].

4.3.5 Protecciones. Las protecciones que se instalarán en el sistema consta de dispositivos de sobretensión (DPS) y un sistema puesta a tierra en la parte DC de la instalación.

- **DISPOSITIVOS DE SOBRETENSIÓN**

La sobretensión produce daños no solo costosas reparaciones, sino que también puede provocar la interrupción del funcionamiento de máquinas o de la instalación completa.

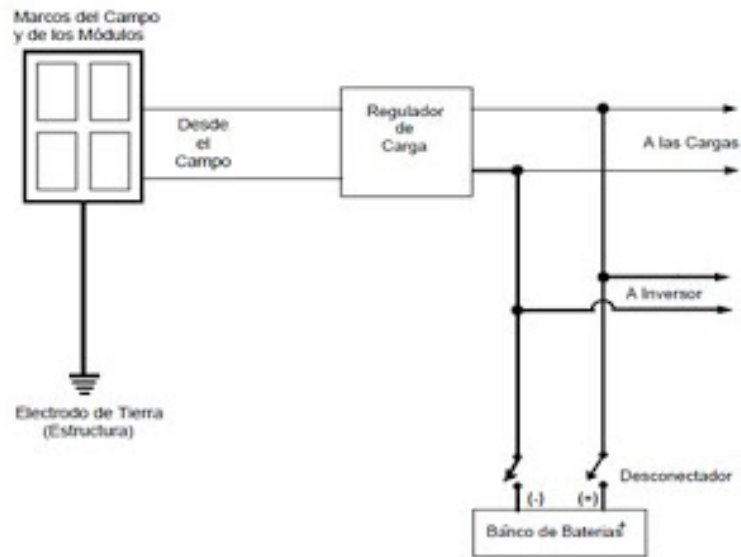
Al instalar un dispositivo de protección de sobre corriente (DPS) en sistemas fotovoltaico no se debe pasar por alto que cada una cuenta con varias características especiales, a diferencia de circuitos de AC que tienen las mismas características.

El diseño del sistema debe considerar estas características y adecuar la instalación del DPS en consecuencia. Por ejemplo, las especificaciones de los sistemas DPS para sistemas fotovoltaico deben diseñarse tanto para soportar la tensión sin carga máxima del generador (V_{oc} = tensión en circuito abierto en condiciones normales) como para asegurar la máxima disponibilidad y seguridad del sistema [22].

- **SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA**

En una instalación fotovoltaica la fuente de energía de la parte continua son placas fotovoltaicas. Estas placas, suelen ir enmarcadas en bastidores metálicas, apoyadas a su vez en soportes metálicos. Estas partes metálicas deben de conectarse todas entre sí para que sean equipotenciales y, además, se conecta a tierra como medida de seguridad para la instalación, frente a descargas atmosféricas [9].

Figura 12. Diagrama de conexiones



Fuente: Tomado de [9].

En la Figura 12 se puede observar el diagrama de conexiones para el sistema de puesta a tierra.

4.4 EFICIENCIAS

En el presente ítem se establece el modelo optado por la NTC 4405 sobre la eficiencia total de los sistemas fotovoltaicos en Colombia.

4.4.1 Modelo del sistema fotovoltaico [7]. Este es el modelo adoptado por la NTC 4405 para los ensayos de energías solares fotovoltaico:

Figura 13. Representación esquemática de un sistema solar fotovoltaico con sus flujos de energía a través de las diferentes etapas del sistema.



Fuente: tomado de [23].

En la Figura 13 se observa la representación esquemática de un sistema solar fotovoltaico con sus flujos de energía a través de las diferentes etapas del sistema.

La eficiencia total del sistema se debe calcular de la siguiente manera:

$$\eta = \eta_p * \eta_r * \eta_a * \eta_c$$

$$\eta_p = \frac{E_p}{G_a} = \frac{\text{Energía útil que entrega el campo de paneles o de módulos}}{\text{Energía solar incidente en el campo de paneles o módulos}} \quad (3)$$

$$\eta_r = \frac{E_r}{E_p} = \frac{\text{Energía útil que entrega la etapa de regulación}}{\text{Energía útil que entrega el campo de paneles o módulos}} \quad (4)$$

$$\eta_a = \frac{E_a}{E_r} = \frac{\text{Energía útil entregada para el consumo}}{\text{Energía entregada por restitución}} \quad (5)$$

$$\eta_c = \frac{E_c}{E_a} = \frac{\text{Energía que el acumulador entrega a la carga}}{\text{Energía útil entregada para el consumo}} \quad (6)$$

4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

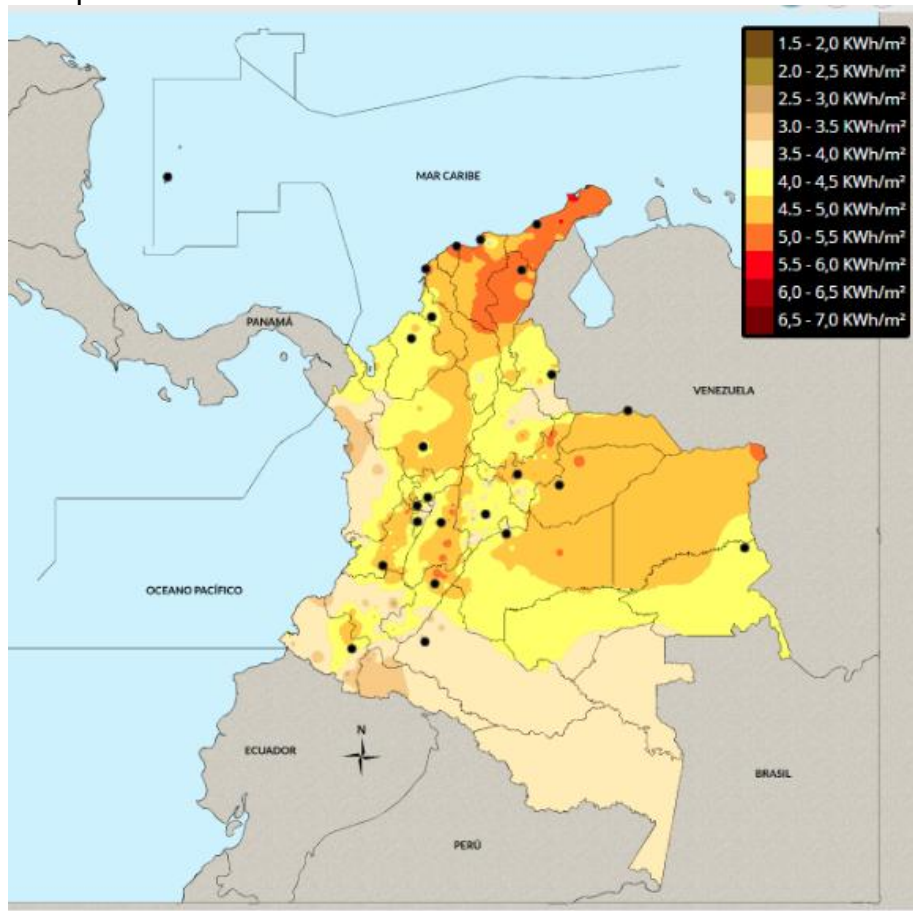
En esta sección se hará el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a elaborar en este trabajo de grado, luego se realizará la selección de equipos para finalmente elaborar un estudio económico y ambiental que permita realizar la mejor elección de la alternativa de generación.

4.6 DATOS DE RADIACIÓN SOLAR, ORIENTACIÓN E INCLINACION ÓPTIMAS

Para realizar un diseño de sistemas fotovoltaicos se debe tener en cuenta la radiación en la zona indicada, orientación de los paneles y obtener las perdidas por sombras de acuerdo al lugar que se realizará el proyecto y establecer la viabilidad.

4.6.1 Datos de radiación solar.

Figura 14. Mapa de radiación solar



Fuente: tomado de [25].

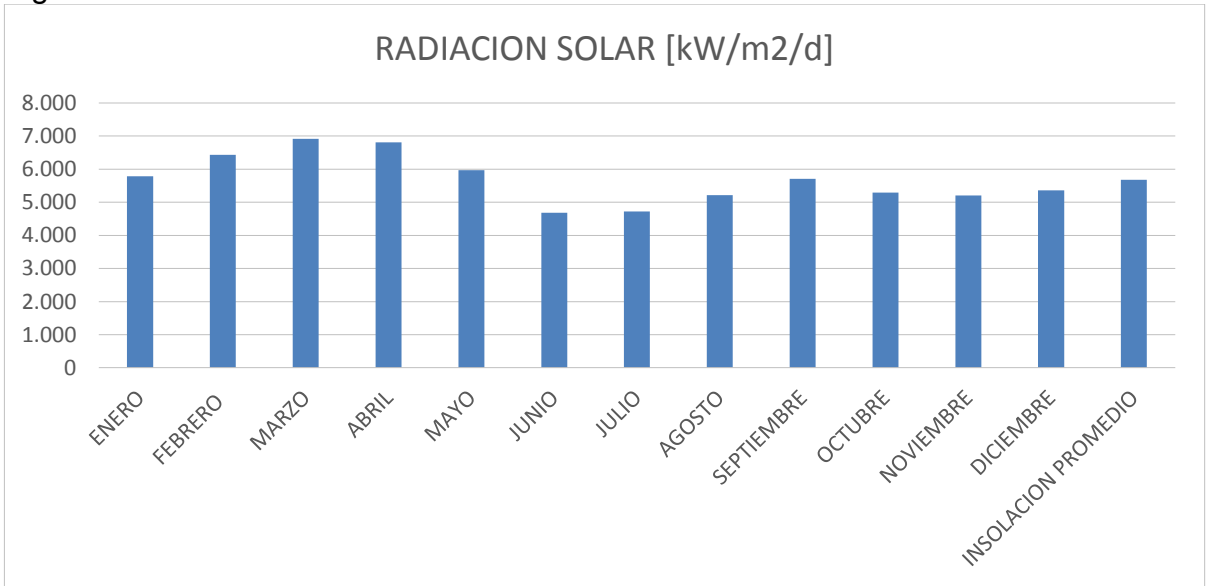
La Figura 14 muestra el mapa de radiación solar de Colombia, observando una potencia mayor en el área de Guajira, Cesar y Magdalena. En la Tabla 6 se tiene un resumen de los datos de radiación de la zona.

Tabla 6. Datos de radiación solar

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	27.3	67.3%	5.79	101.1	3.6	28.3	0	535
February	26.9	70.4%	6.43	101.1	3.0	28.5	0	477
March	27.3	73.3%	6.92	101.0	3.3	29.2	0	535
April	27.7	76.4%	6.81	100.9	3.6	30.0	0	531
May	28.1	76.7%	5.97	100.8	4.4	30.1	0	562
June	27.9	77.4%	4.68	100.8	7.6	28.8	0	536
July	27.0	79.7%	4.72	100.9	6.8	27.7	0	525
August	26.6	80.6%	5.22	101.0	6.5	27.3	0	515
September	26.7	79.8%	5.71	101.0	5.2	27.8	0	499
October	26.8	79.5%	5.29	101.0	3.7	28.5	0	520
November	27.4	74.3%	5.21	101.0	3.4	28.9	0	520
December	27.8	66.8%	5.36	101.1	4.2	28.6	0	551
Annual	27.3	75.2%	5.68	101.0	4.6	28.6	0	6306
Measured at (m)					10.0	0.0		

Fuente: NASA

Figura 15. Radiación solar mensual



De la Figura 15 se obtiene los datos de radiación solar horizontal por mes en la latitud 10,95442 con longitud -73,05082 del municipio de San Juan del Cesar (Guajira), en el cual se establece que el número de horas picos solares (HPS) está dado por:

$$HPS = \frac{5680 \frac{Wh/m^2}{dia}}{1000 \frac{W/m^2}{dia}} = 5,680 \text{ horas} \quad (7)$$

El coeficiente de pérdidas se toma con un factor de 0,85 debido a sombras generadas por los árboles o diferentes tipos de basura (hojas de árboles, polvo y suciedades) que puedan presentar los paneles solares al estar en la intemperie. En la Tabla 7 se encuentran resumidos estos valores.

Tabla 7. Parámetros atmosféricos

HPS	5,68
IRRADIANCIA	5.249
FACTOR DE PERDIDAS	0,85

4.6.2 Orientación e inclinación óptimas. Se determinará la orientación e inclinación optima ($\alpha=0^\circ$; $\beta_{\text{óptimo}}$) para el periodo de diseño elegido. En la tabla 8 se presentan los periodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del panel fotovoltaico que genera la energía requerida.

Tabla 8. Periodos de diseño.

Periodo de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G(\alpha = 0, \beta_{\text{opt}})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\beta+10$	1,7
Julio	$\beta-20$	1
Anual	$\beta-10$	1,15

Fuente: IDAE [28]

Se toma el periodo de diseño anual, debido a que según el grafico de radiación solar mensual, no existe una gran variación en la cantidad de radiación solar de lugar.

$$\beta = 10,9544^\circ - 10^\circ = 0,9544 \approx 1^\circ \quad (8)$$

Los paneles se instalarán con una inclinación de 0° .
Tomando el factor de irradiación está dado por:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ \quad (9)$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (0 - 1)^2] = 0,9998 \approx 1$$

4.7 DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE PANELES SOLARES

Se realiza el procedimiento con el panel ampa ASM150P con las características mostradas en la Tabla 9 a 1000W/m^2 , 25°C .

Tabla 9. Características del panel.

Potencia nominal [W]	150
Tensión máxima sistema [V]	1000
Tensión a máxima potencia [V]	17,5
Corriente a máxima potencia [A]	8
Tensión circuito abierto [V]	21,6
Corriente de Coci [A]	8,99
Nivel de eficiencia [%]	-

Cálculo del número total de paneles por balance energético:

$$Nt = \frac{Et}{HPS * Pp * Pg} \quad (10)$$

$$Nt = \frac{8368,42 [Wh]}{5,249[h] * 0,85 * 150[W]} = 11,5554 \cong 12$$

HPS = $G_d(\beta)$ = irradiación global en plano inclinado β

Pp = Potencia pico del panel

Pg = Factor global de pérdidas (usualmente entre 0,65 y 0,9)

- Cálculo del número de paneles en serie

$$Nserie = \frac{Vbat}{Vp} \quad (11)$$

$$Nserie = \frac{24[V]}{17,5[V]} = 1,3714 \cong 2$$

V_{BAT} = tensión nominal de la batería

V_p = tensión nominal del panel

- Cálculo del número de ramas de paneles en paralelo:

$$Nparalelo = \frac{Nt}{Ns} \quad (12)$$

$$Nparalelo = \frac{12}{2} \cong 6$$

4.8 AUTONOMÍA DEL SISTEMA

La autonomía del sistema está dada por la siguiente expresión:

$$A = \frac{C_{20} PD_{max}}{L_D} \eta_{inv} \eta_{rb} \quad (13)$$

$$A = \frac{30 * 70 * 0,7}{483,06} * 0,97 * 0,9 = 2,65$$

Donde:

C_{20} = capacidad de la batería a 20 horas

PD_{max} =potencia de descarga máxima de la batería

L_D = carga total de la vivienda

η_{inv} = eficiencia inversor

η_{rb} = eficiencia batería

4.9 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS

Una vez evaluada la energía en Wh de la batería y los días de autonomía, simplemente dividimos entre la tensión del sistema de acuerdo a la que establece el cuadro de tensiones de la Tabla 10 con la que ya se tiene la capacidad mínima que necesita el sistema de acumulación en función de la descarga máxima diaria.

Tabla 10. Cuadro de tensiones

Potencia demandada por las cargas (W)	Tensión de Trabajo (V)
Menor de 1500	12
1500-5000	24 o 48
Mayor de 5000	120 o 300

Fuente: SunFields Europe [5].

$$Cne = \frac{Et * N}{Pd.max * Fct} [Wh] \quad (14)$$

$$Cne = \frac{8368,42 * 3}{0,7 * 1} = 35864,65 [Wh]$$

$$Cna = \frac{Cne(Wh)}{Vbat} [Ah] \quad (15)$$

$$Cna = \frac{35864,65(Wh)}{24(V)} = 1494,36 [Ah]$$

Cne =capacidad de carga en (Wh)

Cna =capacidad de carga en (Ah)

$PD.max$ = máxima profundidad de descarga

Et = Energía consumida

N = número de días de autonomía

Fct = factor de corrección de temperatura

$Vbat$ = tensión de la batería

Tomando la referencia de la batería monoblock UP-SOP70 se obtiene las características presentadas en la Tabla 11

Tabla 11. Características de la batería.

REFERENCIA	TENSIÓN [V]	CAPACIDAD [AH]
Monoblock sop70	12	70

$$B_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{bateria}} \quad (16)$$

$$B_{serie} = \frac{24[V]}{12[V]} = 2$$

$$B_{paralelo} = \frac{C_{na}(Ah)}{capacidad\ bateria} \quad (17)$$

$$B_{paralelo} = \frac{1494,36[Ah]}{70[Ah]} = 21,34 \cong 22$$

4.10 CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA

Para el dimensionamiento del regulador de carga, se realiza el cálculo de las corrientes de generación del panel y de carga; el cual debe ser la mayor de estas dos asegurando el buen funcionamiento del sistema. Con referencia EP solar etracer ET6415N, con características mostradas en la Tabla 12.

Tabla 12. Características del regulador de carga ET6415N

Variable	Especificaciones
Tensión nominal sistema [V]	24
corriente de batería nominal [A]	60
Máx. PV Tensión circuito abierto [V]	150
Rango Tensión [V]	8-72V
Max. PV potencia entrada [W]	2400
Autoconsumo [W]	1.4-2.2

$$I_{regulador} = \max(I_g, I_c) \quad (18)$$

$$I_{pmp} = \frac{P_p}{V_{pmp}} [A] \quad (19)$$

$$I_{pmp} = \frac{200}{30} = 6,666 [A]$$

$$I_g = I_{pmp} * N_p [A] \quad (20)$$

$$I_g = 6,666 * 6 = 25,2937 [A]$$

$$I_c = \frac{P_{dc}}{V_{bat}} + \frac{P_{ac}}{110} [A] \quad (21)$$

$$I_c = \frac{0}{24[V]} + \frac{2068 * (1,25/0,95)[w]}{110[V]} = 53,94 [A]$$

I_{pmp} = corriente generada por cada panel en paralelo

N_p = Numero de paneles en paralelo

P_p = Potencia pico del panel.

V_{pmp} =tensión nominal del panel a potencia máxima

4.11 CÁLCULO DEL INVERSOR

Para el dimensionamiento del inversor se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Potencia Nominal (kW)= 3,725
- Tensión Nominal de entrada (V)=24
- Tensión Nominal de Salida (V)=110
- Frecuencia de operación (Hz)=60
- Eficiencia del inversor (η)=97%

En las Tablas 13 y 14 se encuentran resumidas las principales características del inversor seleccionado.

Tabla 13. Características de entrada del inversor

Entrada	
Rango de tensión MPPT, plena potencia	180-500 V
Tensión de funcionamiento	90-550 V
A partir de voltaje	100 V
Max. voltaje de entrada, circuito abierto	550 V
Número de MPPT	2
Max. corriente de entrada por MPPT	12 [A]
Max. corriente de cortocircuito por cada MPPT	16,7 [A]
Potencia de entrada nominal	4,2 kW
Max. la potencia de entrada DC por MPPT	3,2 kW
Tipo de conexión de CC	MC4, 2 pares
Interruptor de CC	integrado (opcional)

Tabla 14. Características de salida del inversor

Salida	
Potencia nominal de salida	4 kVA
Tensión nominal de salida	120 V, single-phase
Aislamiento	Transformerless
rango de tensión de AC	184 V - 276 V
Frecuencia	50 / 60 Hz
Rango de frecuencia	50 / 60 Hz +/- 5 Hz
Max. corriente de salida	18.2 A
Distorsión armónica total	<3%
El factor de potencia (ajustable)	0.8 lead to 0.8 lag
Tipo de conexión de CA.	IP67 connector

4.12 ELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

Se realizará la elección de equipo teniendo en cuenta los valores nominales de los dimensionamientos elaborados en el ítem anterior.

4.12.1 Elección de paneles fotovoltaico. Se hizo la elección de un panel fotovoltaico con referencia ampa ASM150P con las siguientes características a 1000W/m²; 25°C. Tabla 9. Ver Catalogo en Anexo 2.

4.12.2 Elección de regulador de carga. La referencia EP solar etracer ET6415N. Tabla 12. Ver Catalogo en Anexo 3.

4.12.3 Elección de baterías. Tomando la referencia de la batería monoblock UP-SOP70 obtenemos la Tabla 11. Ver Catalogo en Anexo 4.

4.12.4 Elección de inversor. Se toma un modelo de un grid tie de Schneider Electric con referencia de RL 3000E. Se obtienen de las Tablas 13 y 14. Ver Catalogo en Anexo 5.

4.13 PROTECCIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En el presente ítem se dimensionará las protecciones mínimas de los sistemas fotovoltaicos para obtener confiabilidad en el mismo.

4.13.1 Dispositivos de sobretensión. Se toma un dispositivo de sobretensión marca Schneider Electric con las especificaciones mostradas en las Tablas 15 y 16. Catalogo en Anexo 6.

Tabla 15. Características principales dispositivo de sobretensión

Principal	
Rango de producto	IPRD-DC
Producto tipo de componente	Descargador de sobretensiones con el cartucho enchufable
Nombre corto del dispositivo	IPRD-DC 40r 600PV
Descripción de polos	2P
Señalización remota	incluido
Señal composición de contactos	1SD

Tabla 16. Características complementarias dispositivo de sobretensión

Complementario	
Sobretensiones tipo de clase descargador	tipo 2
La tecnología descargador de sobretensión	MOV+GDT
Tensión de servicio [UE]	600 V (+/- 10%)DC
Corriente de descarga nominal [A]	15kA
Corriente de descarga máxima	40kA
	modo diferencial: 840 V L+/L
	modo común: 600 V L/PE
Nivel de protección contra sobretensiones	2.8 kV tipo 2 modo común L-/PE
	2.8 kV tipo 2 modo común L-/PE
	2.8 kV tipo 2 modo diferencial L-/PE

4.13.2 Sistema de puesta a tierra. Se realizará una malla puesta a tierra con cable de cobre No. 8 con 115 gr soldadura exotérmica en las bases metálicas de los paneles solares. Enterrado a tierra con varilla de 2,4 m cooperweld. Catalogo en Anexo 7.

4.14 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN Y CÁLCULOS MEDIOAMBIENTALES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se realiza el presupuesto de inversión del sistema fotovoltaico dimensionado teniendo en cuenta la selección de equipos, mano de obra y materiales para la instalación a realizar.

4.14.1 Presupuesto de inversión del sistema fotovoltaico.

Tabla 17. Costos sistema fotovoltaico

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS						
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
1,00		Elementos del sistema fotovoltaico				
1.01	C	Configuración de Bases Paneles solares	UND	3.806.610	20	76.132.200
1.02	C	Regulador de carga EP SOLAR 60 A 24V	UND	496.257	20	9.925.140
1.03	C	Inversor Schneider Electric 3.2 kVA	UND	2.449.615	20	48.992.300
1.04	C	Banco de Batería U-POWER 12 V C100 70 Ah	UND	10.338.240	20	206.764.800
1.05	C	Cableado 4 mm2	UND	287.463	20	5.749.260
1.06	C	Puesta a tierra	UND	440.419	20	8.808.380
1.07	C	DPS Schbeider Electric 15 kA	UND	411.008	20	8.220.160
1-ST		Subtotal				364.592.240
		TOTAL, COSTO DIRECTO				364.592.240
		A.I.U (15%)				54.688.836
		VALOR TOTAL				419.281.076
		IVA (16% SOBRE UTILIDAD)				2.916.738
		SUBTOTAL				422.197.814

En la Tabla 17 se encuentra un presupuesto global de los principales componentes del sistema de generación fotovoltaico.

La ley 1715 del 2014 enmarca dentro de su definición de las fuentes no convencionales de energía renovables FNCER a la solar, a través de la mencionada ley se ordena la creación del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge), cuya finalidad es el financiamiento de los programas que surjan en pro de la promoción y ejecución de proyectos que involucren la generación de energía por medio de FNCER, dichos proyectos deben estar dirigidos hacia los sectores residenciales de los estratos 1, 2 y 3; los recursos del fondo provienen de la Nación, entidades públicas y privadas.

Además de la ayuda brindada por Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, el Ministerio de Minas y Energía, por medio del decreto 2143 de 2015, reglamentó los incentivos que benefician a las personas naturales y jurídicas que ejecuten un proyecto de inversión para la generación de energía mediante el uso de FNCER, estos son:

- Deducción especial sobre el impuesto de renta: Se tendrá el derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones hechas en el proyecto.

- Exclusión del IVA: La compra de equipos, elementos y maquinaria ya sean nacionales o importados que estén destinadas para la generación de energía a partir de FNCER, están excluidos del IVA.
- Exención del gravamen arancelario

Para determinar la viabilidad económica del proyecto, se recurre al Valor Actual Neto (VAN) y a la Tasa Interna de Retorno (TIR), dos herramientas financieras que ayudan a evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión.

El VAN como tal es un indicador financiero que permita medir los futuros flujos de ingresos y egresos que tendrá un proyecto con la finalidad de determinar si una vez descontada la inversión inicial el proyecto dejará ganancias; por lo tanto, con un VAN positivo se puede concluir que entre manos está un proyecto económicamente rentable. [40]

El VAN se calcula como la diferencia entre el beneficio neto actualizado a la fecha de inversión y la inversión inicial del proyecto, es decir, para determinar el VAN es necesario actualizar los flujos netos a la fecha inicial de inversión.

Para realizar dicha actualización es necesario determinar una tasa de descuento (TD) que sirva como base para establecer los flujos actualizados.

$$VAN = BNA - Inversion \quad (22)$$

en donde:

VAN: Valor Actual Neto

BNA: Beneficio Actual Neto o flujo neto actualizado.

$$BNA = \frac{Vt}{(1 + TD\%)^t} \quad (23)$$

en donde:

BNA: Beneficio Actual Neto o flujo neto actualizado.

Vt: Valor en un periodo t.

TD: Tasa de descuento.

La TIR se define como la tasa de descuento TD, que permite que el VAN sea cero, es decir, el BNA es igual a la inversión inicial, por lo tanto, la TIR indica la cual es la mayor tasa de descuento que puede tener un proyecto para que sea rentable.

El proyecto de generación de energía por medio de paneles fotovoltaico por ser un proyecto de inversión social, en el cual la finalidad es mejorar la calidad de vida de los habitantes de una región, y no un negocio como tal para producir dividendos,

no se produce un BNA como tal, pero si se puede tomar el ahorro que se está produciendo al cambiar un generador a base de diésel por un sistema cuya principal fuente de energía es gratuita como es el caso del sol.

En este orden de ideas, se hace una estimación del costo anual de producir la energía de la comunidad por medio de un generador diésel así:

Para generar la potencia que demanda un usuario mensualmente, el generador diésel requiere de por lo menos 180 galones de combustible, lo que al año representa 2160 galones; en la guajira por ser un departamento que tiene fronteras cercanas los precios del combustible son un poco más bajo que en el interior del país, el galón de diésel tiene un costo de aproximadamente 4500 COP, lo que da un total de 9'720.000 COP anuales por usuario para poder satisfacer sus necesidades, es decir, se tiene un aproximado de 194'400.000 COP anuales para poder suplir la necesidad energética de los 20 beneficiarios; teniendo en cuenta este estimado y una tasa de descuento del 10% se procede al cálculo del VAN y el TIR para este proyecto.

Tabla 18. Calculo de VAN y la TIR sistema fotovoltaico

Año de operación	Costos totales (\$)	Beneficios totales (\$)	Factor de actualización 10,0%	Costos actualizados (\$)	Beneficios actualizados (\$)	Flujo neto de Efectivo act. (\$)
0	422.197.814	194.400.000	1,000	422.197.814	194.400.000	-227.797.814
1	0	194.400.000	0,909	0	176.727.273	176.727.273
2	0	194.400.000	0,826	0	160.661.157	160.661.157
3	0	194.400.000	0,751	0	146.055.597	146.055.597
4	0	194.400.000	0,683	0	132.777.816	132.777.816
5	0	194.400.000	0,621	0	120.707.105	120.707.105
6	0	194.400.000	0,564	0	109.733.732	109.733.732
7	0	194.400.000	0,513	0	99.757.938	99.757.938
8	0	194.400.000	0,467	0	90.689.035	90.689.035
9	0	194.400.000	0,424	0	82.444.577	82.444.577
10	0	194.400.000	0,386	0	74.949.615	74.949.615
11	0	194.400.000	0,350	0	68.136.014	68.136.014
12	0	194.400.000	0,319	0	61.941.831	61.941.831
13	0	194.400.000	0,290	0	56.310.755	56.310.755
14	0	194.400.000	0,263	0	51.191.596	51.191.596
15	0	194.400.000	0,239	0	46.537.814	46.537.814
16	0	194.400.000	0,218	0	42.307.104	42.307.104
17	0	194.400.000	0,198	0	38.461.004	38.461.004
18	0	194.400.000	0,180	0	34.964.549	34.964.549
19	0	194.400.000	0,164	0	31.785.953	31.785.953
20	0	194.400.000	0,149	0	28.896.321	28.896.321
Total	422.197.814	4.082.400.000		422.197.814	1.849.436.787	1.427.238.973
Los indicadores financieros que arroja el proyecto son:						
VAN=		1.427.238.973,12		Se acepta		
TIR =		85,34%		Se acepta		

De la Tabla 18, se puede extraer que una vez pasados 20 años, el periodo promedio de vida de las instalaciones solares fotovoltaicas, se tiene un valor del VAN positivo, lo cual es indicativo de que es viable económicamente la ejecución del proyecto. De acuerdo a la información brindada por el dato de la TIR, se tiene un margen de hasta el 85.34% en la tasa de descuento para que el proyecto siga siendo viable.

4.14.2 Análisis medio ambientales del sistema fotovoltaico.

Tabla 19. Tabla de emisión de gases.

Contaminante	Emisión (kg/año)
Dióxido de carbono	0
Monóxido de Carbono	0
Hidrocarburos sin quemar	0
Partículas importadas	0
Dióxido de sulfuro	0
Óxido de nitrógeno	0

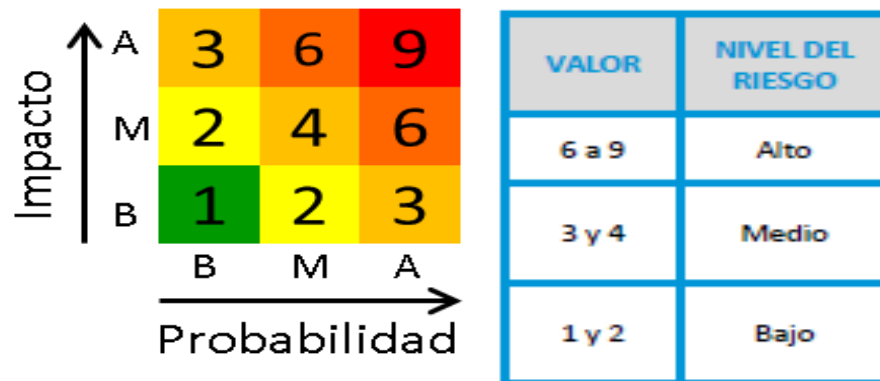
La Tabla 19 es una simulación del software HOMER, que muestra que la emisión medio ambiental de gases es cero mientras esté en funcionamiento, pero hay que tener un especial cuidado con las baterías en el momento que se vayan reemplazar. Hay que recordar que el principal elemento es plomo-acido, el cual es altamente contaminante.

4.15 MATRIZ DE RIESGOS

En la Figura 16, se enumeran los potenciales errores a los que es posible enfrentarse durante la planificación, ejecución y posterior funcionamiento de un proyecto inversión para sistemas solares fotovoltaicos.

Estos riesgos se clasifican cuantitativamente es una escala del 1 al 9, siendo el 1 el riesgo más bajo y siendo el 9 el riesgo más alto; dando así una idea de la probabilidad de que suceda y el impacto que tiene ese riesgo sobre el cronograma y las finanzas del proyecto.

Figura 16. Valoración de riesgos



Fuente: Tomado de [39].

En la Tabla 20, se pueden observar los potenciales errores a los que se puede enfrentar un proyecto de este tipo, es de destacar que el impacto de la mayoría de los riesgos es medio, por lo que, a pesar de no ser tan graves para el desarrollo del proyecto, si se debe crear alternativas que ayuden a mermar el nivel de cada riesgo, de esta manera no se estará desprevenido ante las adversidades. De la tabla se ve que el riesgo que más afecta al proyecto es el mal estado de las vías de acceso, lo cual invita a incrementar los esfuerzo para adecuar correctamente estos caminos y así evitar un impacto alto sobre el cronograma de trabajo.

Tabla 20. Matriz de riesgos del sistema fotovoltaico

Nº	Tipo de riesgo	Riesgo		Impacto (A/M/B)	Probabilidad (A/M/B)	Evaluación		Respuesta
		Fuente	Consecuencia			Valor (1 al 9)	Nivel (A/M/B)	
1	Gestión	<i>La dificultad de reclutar personal de calidad para la Unidad Ejecutora.</i>	<i>Puede producir retrasos en el inicio del proyecto</i>	M	M	4	M	<i>Desarrollar perfiles y un listado de por lo menos 3 candidatos por cada posición de la Unidad Ejecutora. Iniciar el proceso de reclutamiento y selección por lo menos 1 mes antes del inicio del proyecto.</i>
2	Técnico	<i>Inexperiencia con el manejo de la tecnología</i>	<i>Puede producir en la puesta en funcionamiento de los equipos</i>	B	B	1	1	<i>Identificar los profesionales idóneos una vez contratada la obra.</i>
3	Gestión	<i>Lentitud en la toma de decisiones</i>	<i>Puede producir pérdidas considerables en el proyecto</i>	A	M	6	A	<i>Seleccionar personal altamente capacitado en la toma de decisiones en situaciones de alta complejidad</i>
4	Cronograma	<i>La falta de proveedores confiables</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	M	6	A	<i>Desarrollar un listado de por lo menos 3 posibles proveedores.</i>
5	Gestión	<i>Crisis económica</i>	<i>Puede truncar el avance del proyecto</i>	A	B	5	M	<i>Preservar los fondos destinados al proyecto bajo estricta supervisión con el fin de dar buen uso a estos.</i>
6	Gestión	<i>Recorte de presupuesto</i>	<i>Puede truncar el avance del proyecto</i>	A	B	5	M	<i>Preservar los fondos destinados al proyecto bajo estricta supervisión con el fin de dar buen uso a estos.</i>
7	Cronograma	<i>Cambios en el proyecto</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto y sobrecostos.</i>	A	B	4	M	<i>Plantear alternativas para posibles contingencias y cambio no programados.</i>
8	Técnico	<i>Mal funcionamiento de los equipos</i>	<i>Puede producir en la puesta en funcionamiento del proyecto</i>	A	B	6	M	<i>Realizar una adecuada selección de los equipos.</i>
9	Ambientales	<i>Encontrar especies en vía de extinción en la zona</i>	<i>Puede detener la ejecución del proyecto</i>	A	B	5	M	<i>Realizar un estudio de flora y fauna a detalle antes de seleccionar el lugar de ejecución del proyecto.</i>
10	Ambientales	<i>El lugar de ejecución es vía migratoria de alguna especie.</i>	<i>Puede detener la ejecución del proyecto</i>	A	M	6	M	<i>Realizar un estudio de flora y fauna a detalle antes de seleccionar el lugar de ejecución del proyecto.</i>

Nº	Tipo de riesgo	Riesgo		Impacto (A/M/B)	Probabilidad (A/M/B)	Evaluación		Respuesta
		Fuente	Consecuencia			Valor (1 al 9)	Nivel (A/M/B)	
11	Orden publico	<i>Ataques terroristas a las instalaciones y el personal del proyecto</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	B	5	M	<i>Pedir acompañamiento de las fuerzas públicas y contratar seguridad privada para preservar el orden en la zona de trabajo.</i>
12	Ambientales	<i>Huracanes, Terremotos, sequias, inundaciones</i>	<i>Puede dañar y mermar el funcionamiento de los equipos del proyecto</i>	A	B	4	M	<i>Diseñar las estructuras para soportar condiciones extremas, comprar pólizas que protejan la inversión realizada.</i>
13	Cronograma	<i>Las vías de acceso impiden la llegada de los equipos y el personal</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	A	8	A	<i>Realizar mantenimiento a las vías de acceso con frecuencia</i>

5. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Debido a la envergadura del proyecto, para satisfacer la demanda mediante el recurso hídrico disponible se requiere la implementación de una pequeña central hidroeléctrica o PCH.

5.1 DEFINICIÓN

Según la Organización Latinoamericana de Energía OLADE, una PCH es una instalación en la cual se utiliza la energía hidráulica para producir cantidades de energía menores a 5000 kW mediante una o más turbinas [10].

5.2 CLASIFICACIÓN

Dentro de esta definición las PCH pueden clasificarse de acuerdo a su potencia o salto.

5.2.1 Según potencia.

- Picocentrales: 0,5 – 5 kW.
- Microcentrales: 5 – 50 kW.
- Minicentrales: 50 – 500 kW.
- Pequeñas centrales: 500 – 5000 kW.

5.2.2 Según salto. En la Tabla 21, se encuentra la clasificación de las PCH de acuerdo al salto.

Tabla 21. Clasificación de turbinas según salto en metros.

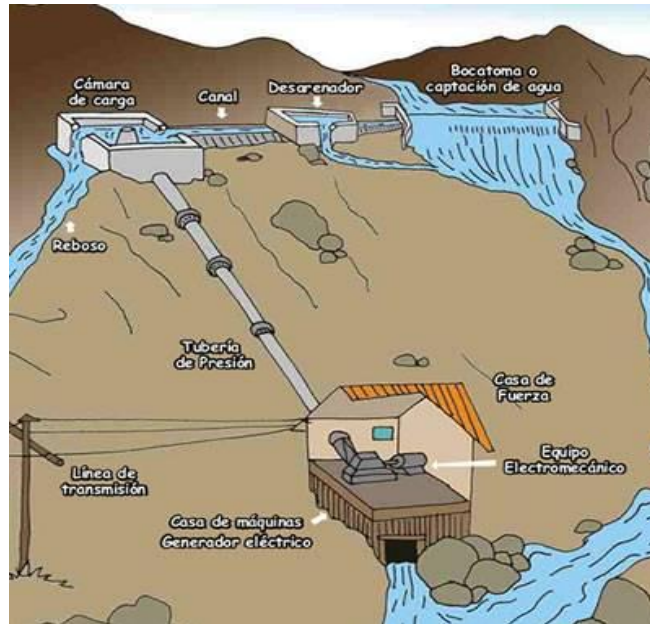
Tipos	Bajo	Medio	Alto
Microcentral	< 15	15-50	>50
Minicentral	< 20	20-100	>100
PCH	< 25	25-130	>130

Fuente: Guía de diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas [10].

5.2.3 Según su presa. Conforme al tipo de presa presente en la central se pueden encontrar dos tipos.

- **Central de agua fluyente o en derivación:** Se caracteriza por captar el agua del cauce del río a través de una obra civil que permite llevar el agua por medio de conductos hacia la turbina, una vez se realiza el ciclo de generación, el agua es regresada al río en un lugar diferente al de captación como se aprecia en la Figura 17 [11].

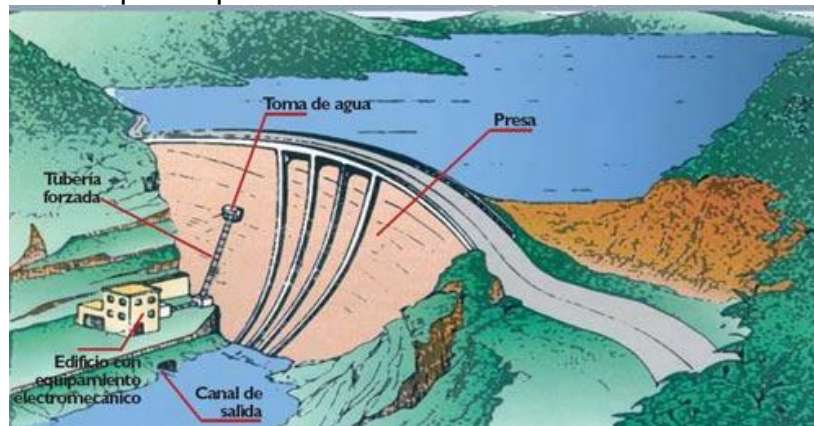
Figura 17. Central en derivación



Fuente: Tomado de [26]

- **Central a pie de presa:** es una central en donde el agua es almacenada en una presa por lo cual es necesaria la realización de obras civiles de gran impacto para poder adecuar el terreno en donde reposará el agua que se lleva a las turbinas de la central como se aprecia en la Figura 18 [11].

Figura 18. Central a pie de presa



Fuente: Tomado de [27]

5.3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA PCH

Para llevar a cabo el diseño de una PCH, en primer lugar, se debe tener un conocimiento sólido sobre la capacidad hidroeléctrica de las cuencas hidrográficas, el cual se obtiene de diferentes estudios topográficos, geológicos e

hidrológicos que finalmente son los que permitirán saber si es viable o no el desarrollo del proyecto.

5.3.1 Estudio topográfico. A través de las bases de datos disponibles en Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, se pueden encontrar mapas topográficos de la zona de influencia del proyecto, estos mapas brindan información de utilidad crucial para determinar la ubicación de los sitios de obras, teniendo en cuenta las vías de acceso existentes y las proyectadas [12].

5.3.2 Estudios de geología. La geología juega un papel importante en el proyecto debido a que a través de este estudio se pueden determinar las características del material rocoso de la zona, ya que estos afectan las condiciones de trabajo y la construcción de las obras civiles del proyecto [12].

5.3.3 Estudios hidrológicos. Dentro de los criterios de pre factibilidad de este tipo de proyectos, los estudios hidrológicos podrían considerarse los de mayor importancia, el comportamiento de la cuenca depende de sus características climatológicas, su vegetación, su geomorfología, ésta se estudia con el fin de determinar los caudales en el lugar seleccionado como lugar de captación, conociendo así el caudal máximo, mínimo y medio.

5.4 ELEMENTOS DE UNA PCH

Una PCH cuenta con los siguientes elementos que ayudan a garantizar que se desarrolle bajo las mejores condiciones el proceso de transformación de la energía hidráulica en energía eléctrica [13].

- **OBRA DE TOMA O BOCATOMA:** obras de embalse, presa o captación de paso.
- **CONDUCCIÓN:** Túnel o canal que transporta el agua de la bocatoma a la cámara.
- **CÁMARA:** Estructura utilizada para recibir el agua antes de ingresar a la tubería.
- **DESARENADOR:** Estructura cuya función es permitir el asentamiento de las partículas sólidas en el agua, evitando que estas puedan causar algún daño a los componentes de la PCH.
- **COMPUERTAS:** Elementos que permiten regular el flujo de agua en las tomas, canales y cámaras.
- **REJILLA O MALLA:** Estas evitan el paso de sólidos de determinado tamaño que puedan causar daño a los elementos de la PCH.

- **TUBERÍA DE PRESIÓN:** Transporta el agua desde la cámara hasta la turbina.
- **SALTO:** Altura vertical que va desde la cámara hasta el nivel de máximo aprovechamiento de la turbina, este varía de conforme a las necesidades y magnitud del proyecto.
- **VÁLVULA PRINCIPAL:** Dispositivo que permite aislar la turbina de la tubería de presión.
- **TURBINA:** Es el motor hidráulico que se utiliza para convertir la energía hidráulica en energía mecánica. Existen varios tipos de turbinas.

5.5 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS

De acuerdo al diseño, se encuentran dos grandes grupos de turbinas, éstas son las turbinas de acción y las turbinas de reacción:

- **Turbinas de acción:** en estas el fluido no sufre cambios en la presión cuando pasa por el rodete. Algunas turbinas de acción son las Pelton y las Michell-Banki.
 - **Turbinas Pelton:** Es una turbina de acción, de flujo tangencial que posee un rodete conformado por varias cucharas. Estas son utilizadas principalmente para proyectos con grandes caídas y caudales bajos, dando un rendimiento de aproximadamente el 85%.
 - **Turbinas Michell-Banki:** Turbina de acción con flujo transversal cuya principal característica es adaptarse a cualquier tipo de caudal mediante la modificación de su rodete en forma de tambor.
- **Turbinas de reacción:** son las turbinas en las que el paso del fluido por el rodete ocasiona un cambio de presión. Algunas turbinas de reacción son: Kaplan, Francis y la Axial.
 - **Turbinas Francis:** Se puede definir como una turbina de reacción. Son turbinas diseñadas a velocidades específicas medias, en saltos y caudales medianos ofreciendo una eficiencia que ronda entre el 83% y 90%.
 - **Turbina Axial:** Es una turbina de reacción con un flujo axial diseñada para ser utilizada en proyectos que posean un salto bajo y un caudal grande, esta puede ofrecer un rendimiento de hasta el 90%.
 - **Turbina Kaplan:** Turbina de reacción que posee un flujo axial, diseñada para saltos bajos y grandes caudales, debido a que posee alabes orientables en el rotor puede operar a muy buena eficiencia para diferentes rangos de caudal.

5.6 POTENCIA DE LAS TUBINAS

La potencia generada en una turbina se puede calcular a través de la siguiente ecuación.

$$P_e = P \cdot n_T \cdot n_g \quad (24)$$

Donde:

P_e : Potencia eléctrica generada.

P : Potencia en el eje de la turbina.

n_T : Rendimiento de la transmisión.

n_g : Rendimiento del generador.

Además, la potencia (P) en el eje de la turbina se puede calcular así:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot n \quad (25)$$

Donde:

P : Potencia en el eje de la turbina.

g : Gravedad de la tierra de 9.8 m/s²

ρ : Densidad del agua de 1000 kg/m³

Q : Caudal de la turbina en m³/s

H : Salto neto en m.

n : Rendimiento de la turbina.

Por último, el rendimiento del sistema se puede calcular como.

$$n_{gr} = n \cdot n_T \cdot n_g \quad (26)$$

Donde:

n_{gr} : Rendimiento del sistema.

n : Rendimiento de la turbina.

n_T : Rendimiento de la transmisión.

n_g : Rendimiento del generador.

5.7 GENERADORES

Es una máquina que sirve para convertir la energía mecánica generada en la turbina en energía eléctrica. Se clasifican en generadores síncronos y asíncronos [14].

- **GENERADOR SÍNCRONO:** Este tiene como base de funcionamiento el campo magnético generado por una fuente de corriente continua externa, al hacer girar el rotor se produce un campo en las bobinas del estator generando la energía eléctrica. Estos generadores se emplean generalmente en centrales con una producción de energía superior a los 2 MVA conectados a la red, o también en pequeñas centrales que funcionan aisladas de la red.

- **GENERADOR ASÍNCRONO:** Este generador se caracteriza por tener la necesidad de estar siempre conectado a la red, pues de ésta toma la energía necesaria para producir el campo magnético, generalmente es empleado en centrales menores de 500 kVA.

5.8 TRANSFORMADOR

El transformador se constituye como uno de los elementos más importantes de la central al ser este el encargado de elevar el nivel de tensión para poder transportar la energía generada en la central hacia los centros de consumo con la menor cantidad de pérdidas posibles [14].

En el mercado hay una gran variedad de transformadores, estos pueden clasificarse de acuerdo a su uso, su operación, lugar de instalación, condiciones de uso, número de fases etc.

- **CLASIFICACIÓN SEGÚN SU POTENCIA DE OPERACIÓN**
 - Transformadores de distribución: manejan tensiones entre 5 y 500 kV.
 - Transformadores de potencia: manejan tensiones superiores a 500 kV.
- **CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FUNCIÓN**
 - Transformador para generador: es un transformador de potencia ubicado a la salida de un generador.
 - Transformador de subestación: estos se conectan al final de una línea de transmisión cuya finalidad es reducir la tensión al nivel de sub-transmisión.
 - Transformador de distribución: este transformador reduce el nivel de tensión hasta el nivel de consumo 120 V
 - Transformadores de medida: Son aquellos utilizados en el proceso de medición.

5.9 LINEAS DE TRANSMISIÓN Y REDES DE DISTRIBUCIÓN

Junto con los transformadores, las líneas de transmisión y las redes de distribución conforman la red eléctrica, las cuales tienen como función llevar la energía a los diferentes centros de consumo.

5.10 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Una vez definido los elementos que componen una PCH, se encuentra la necesidad de establecer un adecuado procedimiento para realizar el dimensionamiento de todos los componentes que permita satisfacer la demanda energética de la población.

En el diseño de una PCH se deben tener en cuenta muchos factores, entre esos están las condiciones físicas del lugar en donde se planea implementar el proyecto, pues de eso dependerá la potencia y la confiabilidad de la central.

Es necesario llevar a cabo una investigación preliminar en donde se estime el potencial teórico del área a través del cálculo del caudal y del salto geodésico además se deben estimar las necesidades energéticas del área de incidencia de central.

5.11 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE UNA PCH

Para el diseño de una PCH, básicamente es necesario conocer dos cosas:

- El caudal del agua
- Salto geodésico

5.11.1 Caudal del agua. El agua es la fuente no convencional renovable de energía utilizada en una PCH, pues es la que provee la energía para el movimiento de la turbina, por lo cual es importante conocer su caudal, pues esta información permite determinar la disponibilidad de la central, la confiabilidad, la viabilidad del proyecto, establecer rangos seguros de funcionamiento para la planta y caracterizarla de acuerdo a los niveles del caudal que maneje el río.

5.11.2 Salto geodésico. El salto geodésico se define como el desnivel que hay en el cauce del agua, gracias a este desnivel se produce la energía cinética que es aprovechada por las turbinas para producir el movimiento en los generadores y así generar energía eléctrica.

5.12 DISEÑO DE UNA PCH

El diseño de una PCH debe tener en cuenta los parámetros que a continuación se mencionan.

5.12.1 Salto neto. Se define como la distancia vertical que se mide entre la superficie de la toma de agua y el canal de descarga. Como se ha mencionado con anterioridad, existen turbinas diseñadas para adaptarse a ciertos saltos y caudales, en la Tabla 22 se muestra un resumen de las turbinas y sus saltos nominales.

Tabla 22. Saltos de las turbinas

Turbina	Salto H en metros
Kaplan	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michel-Banki	$3 < H < 200$

Fuente: Guía de diseño PCH [16].

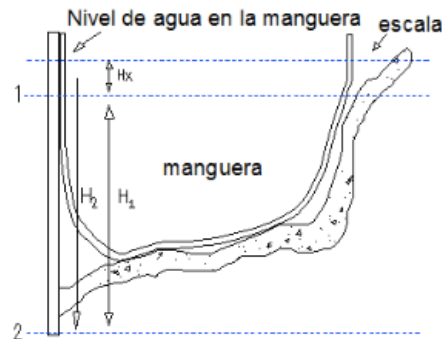
5.12.2 Métodos para determinar el salto. Existen varias metodologías para realizar el cálculo del salto, entre las más conocidas están:

- **MÉTODO DEL NIVEL CON MANGUERA:** Es un método especialmente recomendado para realizar medidas en lugares en donde se encuentren saltos pequeños brindando una precisión razonable, ya que su margen de error es de menos del 3%. El equipo necesario para esta prueba está compuesto por una manguera de nylon de 4 a 10 [mm] de diámetro transparente llena de agua, varillas graduadas. En la Figura 19 se puede observar la representación del método.

Para este método se necesitan dos personas para realizar las medidas, así:

- Partiendo de la que sería la futura cámara de carga el asistente 1 debe sostener la manguera mientras el asistente 2 desciende hasta que sus ojos queden al nivel de los pies del primer asistente.
- A continuación, el asistente 2 debe mantener el extremo de la manguera lleno de agua levantada a la altura de su cabeza. El asistente 1 tiene como tarea nivelar la manguera con lo que podría ser el nivel del agua en la futura cámara de carga. Con ayuda de las varillas graduadas es posible registrar las alturas H_1 y H_2 con las cuales es posible calcular el salto. [15].

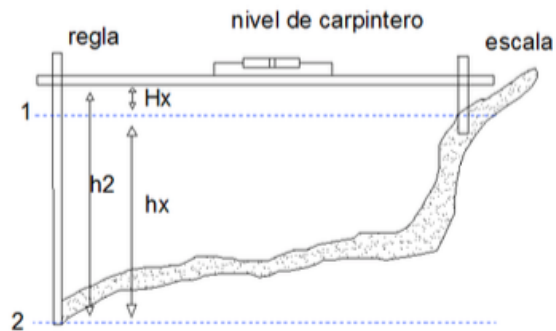
Figura 19. Método del nivel con manguera



Fuente: Guía de diseño PCH's [16].

- **MÉTODO DEL NIVEL DE CARPINTERO:** Es un método prácticamente idéntico al del nivel con manguera, se diferencian en que es este la horizontalidad no está definida por el nivel del agua, sino por un nivel de carpintero o de burbuja colocado en una tabla recta fijada. En la Figura 20 se puede observar la representación del método.

Figura 20. Método del nivel de carpintero



Fuente: Guía de diseño PCH's [16].

- **MÉTODO DEL NIVEL DEL INGENIERO:** Mediante la utilización de este dispositivo se pueden realizar medidas muy precisas, este equipo requiere un operador altamente capacitado para su uso, representa una gran inversión económica y su elevado peso puede representar inconvenientes para trabajar en zonas remotas [15].
- **MÉTODO DEL GPS:** Mediante la utilización de un GPS y la ayuda de la triangulación satelital, es posible encontrar la elevación de cualquier punto de coordenadas, se hace necesario la realización de varias medidas con el fin del reducir el margen de error [14].

5.12.3 Cálculo del caudal. El caudal es definido como la cantidad de un fluido que atraviesa un área determinada en una unidad de tiempo, matemáticamente es expresado a través de la siguiente ecuación.

$$Q = V * S \quad (27)$$

Ecuación del caudal

donde:

Q: Caudal en m³/s

V: Velocidad del fluido en m/s

S: Sección de tubería en m²

5.12.4 Métodos para calcular el caudal. Existen algunos métodos s muy útiles para estimar el caudal, entre ellos se tienen:

- **MÉTODO EMPÍRICO DEL RECIPIENTE:** Es un método sencillo para la medición del caudal, útil para medir caudales pequeños, consiste en realizar una desviación del caudal a medir hacia un recipiente de volumen conocido, se debe tomar el tiempo que tarde el caudal en llenar el recipiente, a continuación, se divide el volumen del recipiente por el tiempo de llenado obteniendo así el caudal [16].
- **CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO CUANDO EXISTE INFORMACIÓN:** En las instituciones gubernamentales que velan por el cuidado y preservación de los recursos hidrológicos se encuentra información detallada sobre los caudales a lo largo de los años, en Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es el encargado de monitorear cada río, a través del instituto es posible obtener información de los caudales a lo largo de los años para de esta manera determinar los valores máximos y mínimos que se pueden presentar y son de gran utilidad para el dimensionamiento de la PCH.
- **CAUDAL PICO:** Es el caudal máximo que se logra medir en un punto determinado del río.
- **CAUDAL MÍNIMO:** Es el caudal más bajo que se registra en el río durante un periodo de tiempo determinado.
- **CAUDAL MEDIO:** Es un promedio que se obtiene de los caudales medidos durante un periodo de tiempo en el río.

5.12.5 Potencial teórico de las PCH. El potencial teórico es la potencia probable que se puede obtener del aprovechamiento del recurso hídrico, este se estima una vez determinados el salto y el caudal de diseño; el potencial teórico sirve básicamente para la selección de los elementos que conformaran las instalaciones de la central, tales como la turbina, el generador y el transformador [17].

El cálculo del potencial teórico se obtiene a partir de:

$$P = d * g * H * Q \quad (28)$$

en donde:

- P: Potencia en W
- d: densidad del agua (1000 kg/m³)
- g: aceleración de la gravedad de la tierra 9,8 m/s²
- H: salto en metros
- Q: Caudal de diseño en m³/s

5.13 DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES

Una vez se tienen los datos del salto y del caudal de diseño, es posible realizar el dimensionamiento de los componentes de la central, pues con estos datos como se vio anteriormente es posible estimar la potencia aprovechable en la futura central.

5.13.1 Selección de la turbina. En el proceso de selección se deben tener en cuenta ciertos criterios, pues para cada configuración (salto, caudal) hay diseñada una turbina específica que permita aprovechar eficientemente el recurso hídrico. Los parámetros a tener en cuenta son:

- Salto, en la Tabla 21 se encuentran resumidos los saltos para los que son diseñados nominalmente las diferentes turbinas.
- El caudal
- Velocidad de rotación
- Costo de compra
- Costos de mantenimiento
- Rendimiento

5.13.2 Selección del generador. Una vez seleccionada la turbina, el paso a seguir es seleccionar el generador, para tal fin es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

- Potencia a generar
- Velocidad de rotación
- Disponibilidad de la red eléctrica del SIN
- Costos

5.13.3 Selección del transformador. Para el proceso de selección del transformador el diseñador debe tener en cuenta:

- Potencia instalada
- Condiciones ambientales y de orden público en el lugar del proyecto, en este apartado es fundamental decidir si se elige un transformador para exteriores, encapsulado, etc.
- Niveles de tensión primaria y secundaria
- Tipo de conexión (monofásica, trifásica, ...)
- Costos

5.13.4 Redes de distribución. Para seleccionar los conductores a utilizar se debe tener en cuenta:

- El nivel de tensión

- La corriente que deben transportar los conductores
- El tipo de distribución (área, subterránea)
- Los costos.

5.14 APLICACIÓN DEL CÁLCULO Y DISEÑO A LA ZONA RURAL DEL CORREGIMIENTO DE CARACOLÍ PERTENECIENTE AL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL CESAR EN LA GUAJIRA COLOMBIANA.

Esta zona rural, como se ha descrito con anterioridad se encuentra desconectado del Sistema de Interconexión Nacional SIN, por lo cual a falta de gestiones que permitan tener el suministro la energía eléctrica que se requiere para suplir las necesidades energéticas desde el SIN, se ve la necesidad de implementar soluciones energéticas auto sostenibles que mitiguen los problemas de los pobladores de esta área.

5.14.1 Determinación del salto. Utilizando el método del GPS se determinó que el salto en la zona seleccionado es de 4 metros.

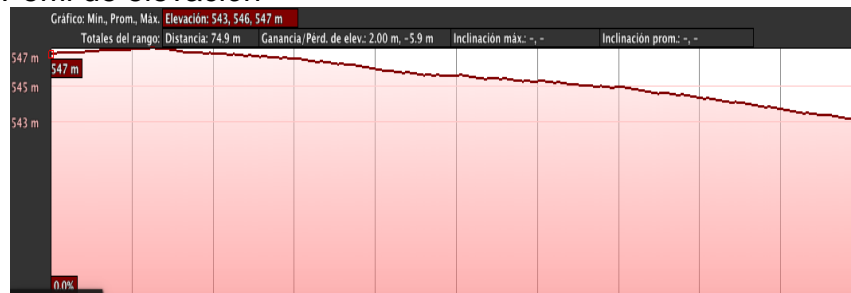
En la Figura 21 se puede apreciar la posible zona de salto.

Mientras que en la Figura 22 es posible observar el perfil de elevación en donde se confirmar el salto de 4 metros que se presenta en la zona.

Figura 21. Ubicación del salto.



Figura 22. Perfil de elevación



Fuente: Google Earth

5.14.2 Estimación del caudal de diseño. Para la selección del caudal de diseño, se recurrió a las bases de datos disponibles en el IDEAM, mostrados en la Tabla 23.

Tabla 23. Caudales medios

VALORES MEDIOS MENSUALES DE CAUDALES (m3/s)			
LATITUD 1057 N	TIPO EST LG	DEPTO LA	FECHA-INSTALACION 2011-DIC
LONGITUD 7303 W	ENTIDAD 01 IDEAM SAN JUAN DEL CESAR	MUNICIPIO	FECHA-SUSPENSION
2012		2014	
Enero	2,432	Enero	2,092
Febrero	2,123	Febrero	2,072
Marzo	2,098	Marzo	1,896
Abril	1,693	Abril	2,109
Mayo	1,557	Mayo	2,072
Junio	1,165	Junio	1,192
Julio	1,544	Julio	1,342
Agosto	1,421	Agosto	1,623
Septiembre	1,130	Septiembre	1,231
Octubre	1,133	Octubre	1,192
Noviembre	1,234	Noviembre	1,729
Diciembre	1,543	Diciembre	1,101
Promedio Anual	1,589	Promedio Anual	1,638

Fuente: IDEAM

En la Tabla 23 se encuentran resumidos los caudales medios anuales para los años 2012 y 2014, a partir de estos datos se determina que el caudal medio del río Ranchería es de 1580 Litros/s, es decir, 1,58 m³/s por lo tanto este será el caudal de diseño.

Con los datos de caudal y salto, se tiene una idea en cuanto a la manera de la construcción como tal del mecanismo de captación, para este proyecto con el fin de reducir en la mayor escala posible los cambios drásticos del ecosistema, se propone realizar las obras de captación para un que la PCH funcione como una central por derivación, en donde el agua llegue a la turbina a través de un canal de conducción y tuberías, de esta forma no será necesario la construcción de un embalse que representaría una inversión mayor.

5.14.3 Elección de la turbina. Una vez conocido el salto y determinado el caudal de diseño, es posible determinar el potencial energético teórico mediante la Ecuación 29, de esta manera la potencia teórica es:

$$P = d * g * H * Q \quad (29)$$

Reemplazando los valores se tiene que el potencial teórico es $P = 61,99 \text{ kW}$; aplicándole a este valor un rendimiento de la turbina que generalmente esta por el orden del 75%, la potencia que se puede aprovechar es de $46,49 \text{ kW}$, con esta información ya se puede recurrir a los catálogos de turbinas y seleccionar la turbina que tenga una potencia nominal superior al potencial teórico.

5.14.4 Elección del generador. Una vez seleccionada la turbina ya se conoce cuál será potencia que el generador tiene que producir, por lo tanto, de los catálogos de los distribuidores se procede a elegir uno.

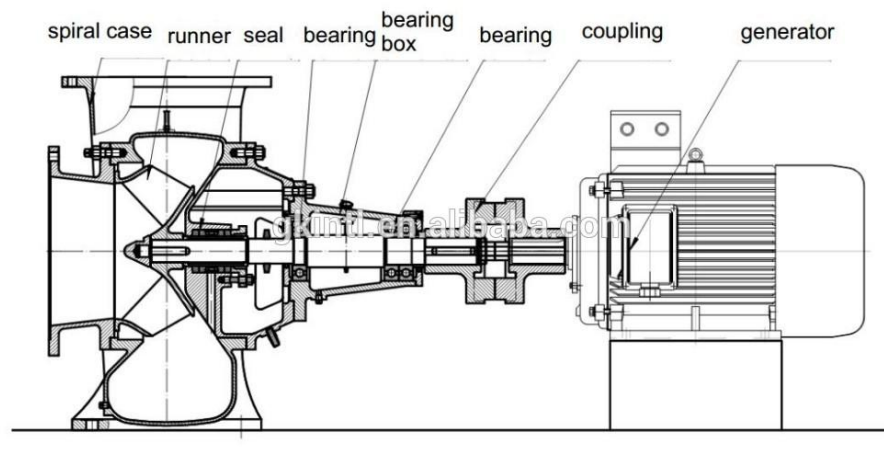
Para la selección del generador de este proyecto, se debe tener en cuenta que debe ser un generador síncrono, debido a que la zona de influencia del proyecto se encuentra aislada del SIN, por lo que se hace inviable la adquisición de un generador asíncrono. La potencia a generar es de 50 kVA .

En la actualidad para una PCH, los constructores están fabricando en conjunto turbina-generador, con lo que, en caso de decantarse por esta opción, al elegir la turbina, ya se estaría seleccionando el generador.

Para este proyecto se selecciona un conjunto turbina-generador, marca GK, modelo GK-NYM, especialmente diseñado para áreas rurales.

- Principales parámetros:
 - Potencia de salida: $0,6 \text{ a } 100 \text{ [kW]}$
 - Salto: $3 \text{ a } 40 \text{ [m]}$
 - Caudal: $0,05 \text{ a } 2 \text{ [m}^3\text{/s]}$
 - Tensión de salida: $220 \text{ a } 380 \text{ V}$ (configurables)
 - Frecuencia: $50/60 \text{ Hz}$

Figura 23. Estructura de la turbina-generador



Fuente: Catalogo GK

5.14.5 Elección del transformador. Después de seleccionar el generador, el paso siguiente es la elección del transformador, debido a la magnitud del proyecto, un transformador trifásico de distribución de 75 kVA es más que suficiente para suplir la demanda, con niveles de tensión de 220V/7,5 KV

5.14.5 Diseño del sistema de distribución de energía eléctrica. Para distribuir la energía hacia las distintas ubicaciones de consumo, se siguen las recomendaciones de la norma técnica de EPM RA8025 “Criterios de diseño de la red de electrificación rural” [Norma EPM]; en estas situaciones la norma considera viable transmitir a través de una red monofásica en la que viajen el neutro y la fase a un nivel de tensión de 13,2kV o 7,5 kV, para luego bajar la tensión al nivel de consumo con un transformador monofásico 7,5kV/120 V ubicado en cada finca.

De acuerdo a lo estipulado en la norma, para la línea de la fase a 7,5 kV el calibre que debe ser utilizado es ACSR N° 2, mientras que para los ramales secundarios el conductor debe ser N° 4 AWG.

Realizando un cálculo estimado, para las redes de distribución se necesitarán aproximadamente:

- Conductor ACSR N°2= 5 km.
- Conductor N°4 AWG= 4 km.
- 20 transformadores monofásicos de 3 kVA 7,5KV/120V con sus respectivas protecciones.
- 1 Transformador trifásico 75 kVA 220V/7,5kV con sus respectivas protecciones.
- 25 postes de 10 metros para las líneas primarias (7,5 KV)
- 20 postes de 8 metros para las líneas secundarias

5.15 EVALUACIÓN DE COSTOS

Tabla 24. Formulario de cantidades PCH

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS						
OBRA	Diseño PCH Caracolí				CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
1,00		Elementos PCH Caracolí				
1.01	C	Turbina-Generador GK 0.6 a 100 [kW] / 3 a 40 [m] / 220 a 380 [V]	UND	145.400.000	1	145.400.000
1.02	C	Transformador WEG 75 kVA 220V/7.5 [KV]	UND	65.000.000	1	65.000.000
1.03	C	Transformador WEG 3 kVA 7.5 [kV]/120 [V]	UND	1.200.000	20	24.000.000
1.04	C	Conductor ACSR N°2	MT	2.625	5.000	13.125.000
1.05	C	Conductor N°4 AWG	MT	4.725	4.000	18.900.000
1.06	C	Postes de madera 8 m 350 kgf	UND	520.000	20	10.400.000
1.07	C	Postes de madera 10 m 350	UND	614.000	25	15.350.000

FORMULARIO DE CANTIDADES Y PRECIOS UNITARIOS						
OBRA	Diseño PCH Caracolí				CONTRATO	
ITEM	TIPO	DESCRIPCION	UND	VALOR UNITARIO	CANT	SUBTOTAL
		kgf				
1.08	C	Válvula VAG RIKO	UND	1.500.000	1	1.500.000
1-ST		Subtotal				293.675.000
2,00		Obras civiles				
2.01	C	Canalización del río	UND	25.000.000	1	25.000.000
2.02	C	Cercado	UND	2.000.000	1	2.000.000
2.03	C	Compra de terrenos	UND	200.000.000	1	200.000.000
2.04	C	Casa de maquinas	UND	20.000.000	1	20.000.000
2.05	C	Desarenador	UND	18.000.000	1	18.000.000
2.06	C	Obras de bocatoma	UND	800.000	1	800.000
2.07	C	Tubería de conducción	UND	34.000.000	1	34.000.000
2-ST		Subtotal				299.800.000
		TOTAL, COSTO DIRECTO				593.475.000
		A.I.U (15%)				89.021.250
		VALOR TOTAL				682.496.250
		IVA (16% SOBRE UTILIDAD)				4.747.800
		SUBTOTAL				687.244.050

En la Tabla 24 se encuentra un presupuesto global de los principales componentes y obras necesarias para la construcción de una PCH.

Para los gastos que se presentan en las obras civiles, se tomó en cuenta la información suministrada en la Tabla 11.1 de la guía de diseño para pequeñas centrales [16], en la cual se da un estimado a los precios de las obras en civiles en base a la información recogida de algunos proyectos.

La ley 1715 del 2014 enmarca dentro de su definición de las fuentes no convencionales de energía renovables FNCER a los pequeños aprovechamientos hídricos, que al igual que la solar, recibe ayuda del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge) para la financiación de los proyectos y también goza de los siguientes beneficios:

- Deducción especial sobre el impuesto de renta: Se tendrá el derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones hechas en el proyecto.
- Exclusión del IVA: La compra de equipos, elementos y maquinaria ya sean nacionales o importados que estén destinadas para la generación de energía a partir de FNCER, están excluidos del IVA.
- Exención del gravamen arancelario.

Al igual que el proyecto de generación de energía por medio de paneles fotovoltaico, el proyecto para construir una PCH por ser un proyecto de inversión social, en el cual la finalidad es mejorar la calidad de vida de los habitantes de una región, y no un negocio como tal para producir dividendos, no se produce un BNA

por tal motivo se hace necesario tomar el ahorro que se está produciendo al cambiar un generador a base de diésel por un sistema cuya principal fuente de energía es gratuita.

Siguiendo con lo propuesto para el sistema fotovoltaico, se hace una estimación del costo anual de producir la energía que genera la PCH (50 kVA) por medio de un generador diésel, por los altos costos del combustible, de la maquinaria y de la infraestructura se tiene un aproximado de 194'400.000 COP anuales para poder cumplir con esta demanda energética, teniendo en cuenta este estimado y una tasa de descuento del 10% se procede al cálculo del VAN y el TIR para este proyecto.

Tabla 25. Calculo del VAN y la TIR para la PCH

Año de operación	Costos totales (\$)	Beneficios totales (\$)	Factor de actualización 10,0%	Costos actualizados (\$)	Beneficios Actualizados (\$)	Flujo neto de efectivo act. (\$)
0	687.244.050	194.400.000	1,000	687.244.050	194.400.000	-492.844.050
1	0	194.400.000	0,909	0	176.727.273	176.727.273
2	0	194.400.000	0,826	0	160.661.157	160.661.157
3	0	194.400.000	0,751	0	146.055.597	146.055.597
4	0	194.400.000	0,683	0	132.777.816	132.777.816
5	0	194.400.000	0,621	0	120.707.105	120.707.105
6	0	194.400.000	0,564	0	109.733.732	109.733.732
7	0	194.400.000	0,513	0	99.757.938	99.757.938
8	0	194.400.000	0,467	0	90.689.035	90.689.035
9	0	194.400.000	0,424	0	82.444.577	82.444.577
10	0	194.400.000	0,386	0	74.949.615	74.949.615
11	0	194.400.000	0,350	0	68.136.014	68.136.014
12	0	194.400.000	0,319	0	61.941.831	61.941.831
13	0	194.400.000	0,290	0	56.310.755	56.310.755
14	0	194.400.000	0,263	0	51.191.596	51.191.596
15	0	194.400.000	0,239	0	46.537.814	46.537.814
16	0	194.400.000	0,218	0	42.307.104	42.307.104
17	0	194.400.000	0,198	0	38.461.004	38.461.004
18	0	194.400.000	0,180	0	34.964.549	34.964.549
19	0	194.400.000	0,164	0	31.785.953	31.785.953
20	0	194.400.000	0,149	0	28.896.321	28.896.321
Total	687.244.050	4.082.400.000		687.244.050	1.849.436.787	1.162.192.737
Los indicadores financieros que arroja el proyecto son:						
	VAN=	1.162.192.737,12	Se acepta			
	TIR =	39,39%	Se acepta			

Evidenciado en la Tabla 25 queda el VAN transcurridos 20 años del proyecto para la construcción y puesta en marcha de la PCH, el VAN es positivo lo que indica claramente que es factible implementar esta solución como respuesta a los problemas energéticos de la zona. La TIR indica que el proyecto puede ser viable en este periodo de tiempo, con una tasa de retorno máxima del 39.39%.

5.16 IMPACTO AMBIENTAL

Mediante el software de simulación HOMER se realiza una simulación de emisiones de gases nocivos a la atmosfera cuando se implementa este tipo de central de generación, haciendo una comparación con un sistema de generación a base de diésel para cubrir la misma tasa de producción.

Tabla 26. Emisiones de la PCH

Contaminante	Emisión (kg/año)
Dióxido de carbono	0
Monóxido de Carbono	0
Hidrocarburos sin quemar	0
Partículas importadas	0
Dióxido de sulfuro	0
Óxido de nitrógeno	0

Tabla 27. Emisiones generador diésel

Contaminante	Emisión (kg/año)
Dióxido de carbono	452,958
Monóxido de Carbono	1,118
Hidrocarburos sin quemar	124
Partículas importadas	84,3
Dióxido de sulfuro	910
Óxido de nitrógeno	9,977

Como podemos observar en la Tabla 26, este sistema es amigable en cuanto al emisión de gases que causan daño al planeta, en comparación con el sistema a diésel de la Tabla 27, la producción de toneladas de gases contaminantes se reduce a cero, esto representa una gran ventaja, pues la contribución que hace la implementación de este sistema a la preservación del medio ambiente es muy buena.

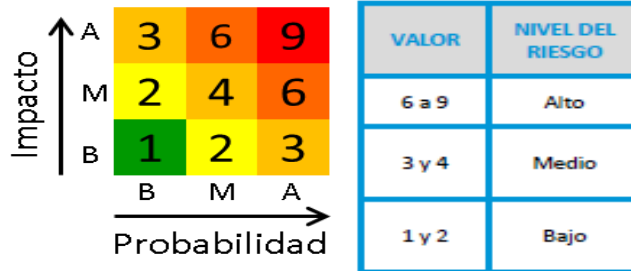
Por otro lado, la transformación que sufre el ecosistema alrededor de la obra si es de mucho cuidado, ya que el proceso de instalación de una PCH puede generar un gran cambio a la flora y fauna de la zona, así como en la cotidianidad de los habitantes de la región.

5.17 MATRIZ DE RIESGO DEL PROYECTO.

En la tabla 28, se enumeran los potenciales errores a los que es posible enfrentarse durante la planificación, ejecución y posterior funcionamiento de un proyecto inversión para los pequeños aprovechamientos hídricos, en este caso la puesta en marcha de una PCH.

Tal cual se hizo con el sistema fotovoltaico, estos riesgos se clasifican cuantitativamente es una escala del 1 al 9, siendo el 1 el riesgo más bajo y siendo el 9 el riesgo más alto; como se puede observar en la Figura 24, dando así una idea de la probabilidad de que suceda y el impacto que tiene ese riesgo sobre el cronograma y las finanzas del proyecto.

Figura 24. Valoración de los riesgos.



Fuente: Tomado de [39].

En la Tabla 28, se pueden observar los potenciales errores a los que se puede enfrentar un proyecto de este tipo, es de destacar que se presentan riesgos de todos los niveles posibles (Bajo, Medio, Alto), lo cual es un indicativo que invita a realizar una gestión de riesgos muy detallada, buscando idear e implementar los mecanismos de acción a seguir ante cualquier adversidad que se pueda presentar durante todas las etapas del proyecto.

Tabla 28. Matriz de riesgos de una PCH

N	Tipo de riesgo	Riesgo		Impacto (A/M/B)	Probabilidad (A/M/B)	Evaluación		Respuesta
		Fuente	Consecuencia			Valor (1 al 9)	Nivel (A/M/B)	
1	Gestión	La dificultad de reclutar personal de calidad para la Unidad Ejecutora.	Puede producir retrasos en el inicio del proyecto	M	M	4	M	Desarrollar perfiles y un listado de por lo menos 3 candidatos por cada posición de la Unidad Ejecutora. Iniciar el proceso de reclutamiento y selección por lo menos 1 mes antes del inicio del proyecto.
2	Técnico	Inexperiencia con el manejo de la tecnología	Puede producir en la puesta en funcionamiento de los equipos	B	B	1	1	Identificar los profesionales idóneos una vez contratada la obra.
3	Gestión	Lentitud en la toma de decisiones	Puede producir pérdidas considerables en el proyecto	A	M	6	A	Seleccionar personal altamente capacitado en la toma de decisiones en situaciones de alta complejidad
4	Cronograma	La falta de proveedores confiables	Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.	A	M	6	A	Desarrollar un listado de por lo menos 3 posibles proveedores.
5	Gestión	Crisis económica	Puede truncar el avance del proyecto	A	B	5	M	Preservar los fondos destinados al proyecto bajo estricta supervisión con el fin de dar buen uso a estos.
6	Social	Oposición comunitaria	Puede producir retrasos en el inicio del proyecto	A	A	9	A	Realizar un programa de socialización del proyecto con varios meses de anticipación.
7	Cronograma	Trabajos no programados	Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.	M	B	3	M	Estructurar adecuadamente el desarrollo del proyecto, visualizando cada uno de los trabajos necesarios antes de la ejecución.
8	Gestión	Recorte de presupuesto	Puede truncar el avance del proyecto	A	B	5	M	Preservar los fondos destinados al proyecto bajo estricta supervisión con el fin de dar buen uso a estos.
9	Cronograma	Cambios en el proyecto	Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto y sobrecostos.	A	B	4	M	Plantear alternativas para posibles contingencias y cambio no programados.
10	Gestión	Baja motivación	Puede truncar el avance del proyecto	M	B	3	M	Contratar personal con experiencia en la motivación y gestión del talento humano
11	Técnico	Mal funcionamiento de los equipos	Puede producir en la puesta en funcionamiento del proyecto	A	B	6	M	Realizar una adecuada selección de los equipos.
12	Logística	No tener a tiempo la disposición los terrenos	Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.	A	B	5	M	Establecer claramente el tiempo de entrega de los predios.
13	Logística	Problemas para la adquisición de terrenos	Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.	A	A	9	A	Identificar los terrenos necesarios y entablar negociaciones con mucho tiempo de anticipación.

N	Tipo de riesgo	Riesgo		Impacto (A/M/B)	Probabilidad (A/M/B)	Evaluación		Respuesta
		Fuente	Consecuencia			Valor (1 al 9)	Nivel (A/M/B)	
14	Legal	<i>Falta de licencias y permisos.</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	M	8	A	<i>Gestionar la aprobación de las licencias y respectivos permisos mucho antes de la ejecución del proyecto.</i>
15	Patrimonial	<i>Encontrar un yacimiento arqueológico en la zona de ejecución.</i>	<i>Puede detener la ejecución del proyecto</i>	A	B	5	M	<i>Realizar estudios arqueológicos previos</i>
16	Ambientales	<i>Encontrar especies en vía de extinción en la zona</i>	<i>Puede detener la ejecución del proyecto</i>	A	B	5	M	<i>Realizar un estudio de flora y fauna a detalle antes de seleccionar el lugar de ejecución del proyecto.</i>
17	Ambientales	<i>El lugar de ejecución es vía migratoria de alguna especie.</i>	<i>Puede detener la ejecución del proyecto</i>	A	M	6	M	<i>Realizar un estudio de flora y fauna a detalle antes de seleccionar el lugar de ejecución del proyecto.</i>
18	Orden publico	<i>Ataques terroristas a las instalaciones y el personal del proyecto</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	B	5	M	<i>Pedir acompañamiento de las fuerzas públicas y contratar seguridad privada para preservar el orden en la zona de trabajo.</i>
19	Ambientales	<i>Huracanes, Terremotos, sequias, inundaciones</i>	<i>Puede dañar y mermar el funcionamiento de los equipos del proyecto</i>	A	B	4	M	<i>Diseñar las estructuras para soportar condiciones extremas, comprar pólizas que protejan la inversión realizada.</i>
20	Cronograma	<i>Las vías de acceso impiden la llegada de los equipos y el personal</i>	<i>Puede producir retrasos en la ejecución del proyecto.</i>	A	A	8	A	<i>Realizar mantenimiento a las vías de acceso con frecuencia</i>

5.18 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Una vez definidos y dimensionados los dos sistemas propuestos para suplir la demanda del corregimiento, es posible establecer una comparación entre ambos y decantarse por la opción más viable en cuanto a economía e impacto ambiental.

Si comparamos los presupuestos de inversión estimados para cada propuesta, claramente y por una diferencia considerable, es más factible elegir el sistema de generación fotovoltaico, ya que hay una diferencia cercana a los 300 millones de pesos respecto a implementar una PCH.

De acuerdo a la información tomada de las Tablas 18 y 25, al implementar los proyectos, pasados los 20 años del tiempo de vida útil de las instalaciones, el VAN es positivo, por lo tanto, se habrá alcanzado a recuperar la inversión inicial e incluso a producir ganancias, lo cual es un claro indicativo para decir que es factible implementar esta solución propuesta.

El VAN de la solución fotovoltaica, así como la TIR, son mucho más grandes que los de la solución con una PCH, lo cual está indicando que económicamente es mucho más rentable la solución fotovoltaica, por lo cual se pueden obtener mayores beneficios una vez su cumpla con su periodo de vida útil.

Como se indicó en el Capítulo 5, la implementación del sistema fotovoltaico autónomo es una solución más económica con respecto a un centro de generación de energía solar concentrado en un solo lugar debido a que se ahorran costos de diseño, materiales, equipos e instalación de las redes de distribución tales como cableado, postes, herrajes y transformadores. La distancia entre una casa y otra es en promedio de 700 m, lo que supone mayor número de materiales y se dificulta mantener la regulación del sistema.

Mirando los aspectos ambientales, en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero ambos sistemas son excelentes, pues ninguno de los dos sistemas utiliza combustibles fósiles y ninguno como se puede ver en las tablas obtenidas a través del software HOMER produce emisiones.

Respecto a la afectación del ecosistema de la región, una PCH podría afectar significativamente la flora y fauna de la región, ya que una obra de esta envergadura trae consigo grandes cambios tal cual se ha evidenciado a lo largo de la historia con los diferentes proyectos de este tipo, mientras que la implementación de los sistemas fotovoltaicos no genera un cambio evidente en la zona de influencia.

En cuanto a los riesgos, ambos proyectos mantienen un perfil similar de la matriz de riesgo, por ello la diferencia por muy pequeña que sea puede ayudar a la toma de decisiones, en este caso es posible ver que el hecho de no producir cambios significativos a la zona de impacto, el sistema solar fotovoltaico puede demandar menos esfuerzo al momento de la socialización y aprobación del proyecto por parte de los pobladores, por este motivo puede considerarse que la solución fotovoltaica es menos riesgosa que las implementación de una PCH.

Teniendo en cuenta las consideraciones enunciadas anteriormente, es evidente que el método de generación más viable para implementar en la zona es la generación solar fotovoltaica.

6. ELEMENTOS PARA PRESENTAR UN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Los proyectos pensados para la solución de una problemática social, como el que se plantea en este trabajo de grado, y que requieren inversiones que la misma comunidad beneficiaria no está en capacidad de asumir, pueden ser financiados o ejecutados por el estado.

Estos proyectos de inversión pueden ser formulados por las entidades territoriales (Alcaldías, Gobernaciones, etc.), el IPSE o una Empresa de Servicios Públicos quienes deben presentar el proyecto ante la Dirección Nacional de Planeación (DNP) siguiendo la Metodología General Ajustada (MGA).

La UPME ha desarrollado guías para la preparación de dichos proyectos con el fin de que los entes interesados en el proyecto puedan incrementar la probabilidad de éxito de acceder a los recursos que tiene disponible el Gobierno Nacional a través de los diferentes fondos como el FAER (Fondo de Apoyo Financiero para Electrificación Rural), el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Electrificación de las Zona no Interconectadas), el FNR (Fondo Nacional de Regalías), el Fondo Especial Cuota de Fomento (para redes de Gas Natural) o el PRONE (Programa de Normalización de Redes) [41].

Los pasos generales que se deben seguir durante todas las etapas del proyecto, se resumen en el siguiente esquema.

Figura 25. Mapa de procesos



Las tareas específicas a desarrollar en cada una de las etapas del proceso se describen con más detalle a continuación:

6.1 CARTA DE PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Documento que debe contener como mínimo la siguiente información:

- Destinatario del proyecto
- Referencia de la solicitud
- Norma que se aplica a la solicitud
- Características generales del proyecto
- Documentación de anexa a la carta
- Registro que la información contenida en el documento del proyecto es veraz y autentica.

6.2 PLAN ANUAL DE ADQUISICIONES DE LA ADMINISTRACIÓN

En el decreto 1082 de 2015 en el artículo 4 establece que las Entidades Estatales deben elaborar un Plan Anual de Adquisiciones, en el cual debe tener una lista de bienes, obras y servicios que se piensan ejecutar a lo largo del año.

Se entrega un certificado de inclusión del proyecto en el plan de desarrollo: certificado avalado por la secretaría de planeación o quien haga sus veces y en donde el representante legal de la entidad territorial certifica que el proyecto se encuentra incluido en el plan de desarrollo. Se debe precisar el nombre del plan, periodo de ejecución y sitio ubicado del proyecto en el plan [41].

6.3 ENTREGA DE CERTIFICADO DE COFINANCIACIÓN

Si llegase a presentar el caso en que la Entidad territorial aporte recursos para el desarrollo del proyecto y/o para garantizar su sostenibilidad, se debe anexar un certificado de disponibilidad presupuestal de la vigencia del año de presentación del proyecto ante el fondo. Este debe contener:

- Nombre del proyecto
- Rubro
- Valor
- Ubicación en el presupuesto del plan Anual de Adquisiciones.

Este documento debe estar firmado por el encargado de la Secretaría o quien haga sus veces y además debe estar firmado por el representante legal de la Entidad Territorial.

En tal caso que un tercero desee aportar recursos para la construcción del proyecto deberán entregarlos como aportes a la Entidad Territorial y realizar los trámites para dejarlos inscritos como una adición presupuestal en las fuentes de financiación de dicho proyecto.

6.4 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO EN LA METODOLOGÍA GENERAL AJUSTADA (MGA).

Se debe diligenciar el formato de la metodología a partir de la información suministrada por el estudio del mercado, presupuesto general de obra, flujo de caja y cronograma, etc.

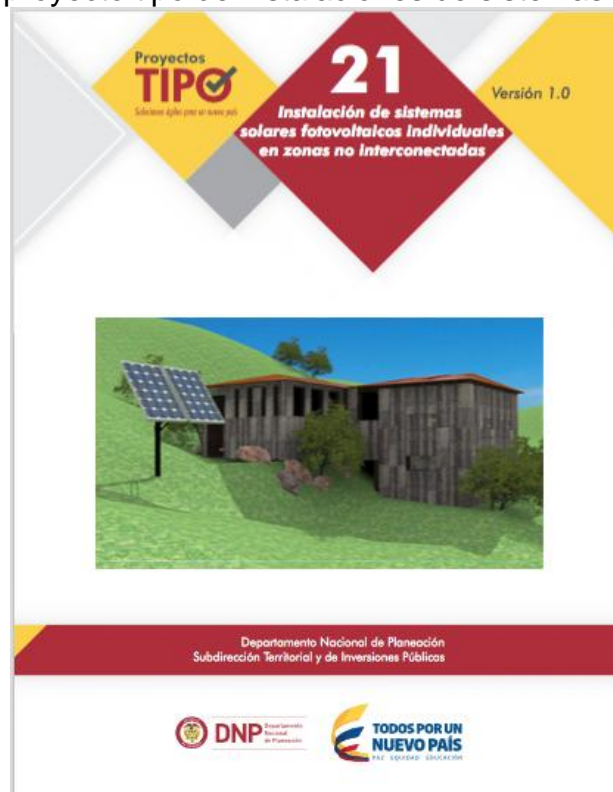
6.5 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO TIPO A DNP

Para mitigar la necesidad se emplea un estudio de pre factibilidad de dicha área, este estudio debe cumplir los lineamientos que permitan garantizar que al finalizar la ejecución del proyecto se haya logrado el objetivo de resolver la problemática propuesta inicialmente.

Se toma de referencia el proyecto tipo del departamento nacional de planeación (DNP), el cual propone unas pautas para la elaboración de proyectos, entre los cuales presentan un modelo de “instalaciones fotovoltaicas individuales en zonas no interconectadas” de la siguiente forma.

En la Figura 26 se observa la portada del proyecto tipo.

Figura 26. Portada proyecto tipo de instalaciones de sistemas solares



Fuente: Tomado de [24].

Este “documento tipo” se genera para la facilitación de la formulación de proyectos en zonas rurales donde haya viviendas aisladas en Zonas No Interconectadas (ZNI), y que según la viabilidad del proyecto pueden ser aceptadas o no.

Se asegura la veracidad de diferentes variables tales como radiación solar, caracterización de carga de usuarios, uso del material energético y variables económicas; de igual forma, plantear alternativas para la solución de dicha problemática en la región.

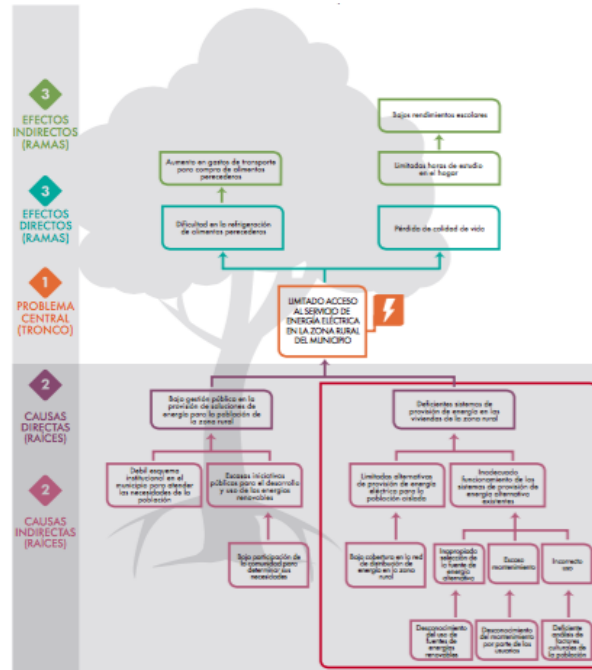
El documento incluye:

- **Objetivos del documento.** El objetivo principal de este documento es realizar una presentación de un proyecto tipo al Departamento Nacional de Planeación (DPN) con el fin de identificar la falta de algún servicio para la zona o región, en este caso, el acceso de energía eléctrica para plantear mediante resultados de análisis una solución óptima para el mejoramiento de dicha problemática.

Se realiza un estudio teniendo en cuenta pre-factibilidad de la zona, como localización del proyecto, entes gubernamentales que están relacionado, la cultura de las personas, actividades económicas de la zona, condiciones que se deben cumplir y el análisis de la alternativa a proponer.

- **Problema por resolver.** En este ítem se identifica la problemática de la zona, realizando algunas preguntas que ayudan al entendimiento de lo que se está enfrentando para poder plantear soluciones en el desarrollo de inversión. Sugieren realizar un árbol de problemas como el de la Figura 27 el cual se divide en tres partes:
 - a) Tronco: establece cual es el problema principal.
 - b) Raíces: describe cuales son las causas o “raíces” de esta problemática, el por qué se ha generado de acuerdo a las falencias del ente gubernamental.
 - c) Hojas: contiene la descripción de los efectos en la población que ha generado la ausencia de dicho servicio en la zona y con el proyecto se quiere mejorar.

Figura 27. Ilustración árbol de problemas



Fuente: Tomado de [24].

- Lo que dicen los entes Gubernamentales

En el presente ítem se presenta el marco normativo relevante para cada clase de proyectos, en este proyecto se debe tener en cuenta algunas leyes, decretos, resoluciones y normas técnicas mostradas a continuación:

- Leyes:** se establece la ley 697 de 2001 el cual indica *“Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”* [33]. De igual forma el texto de la ley de reforma tributaria 863 de 2003 dice lo siguiente *“por el cual se establece normas tributarias, aduaneras, fiscales y de control para estimular el crecimiento económico y saneamiento de las finanzas públicas”* [34].
- Decretos:** se relaciona el decreto número 3683 de 2003 donde se *“reglamenta la ley 697 de 2001 y se crea una comisión intersectorial.”* Esta considera una gestión de Ministerio de Minas y Energía, Comisión intersectorial para el uso racional y eficiente de la Energía y Fuentes No convencionales de la energía, CIURE [35].
- Resoluciones:** se establece la resolución No. 0447 de 14 de abril de 2003 en el cual se modifica parcialmente la resolución 898 de 23 de agosto de

1995 que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores [36], dando paso a esta resolución donde se contribuye y promueve el desarrollo sostenible a través de la formulación y adopción de políticas, planes, programas, proyectos y regulación en materia ambiental de energía; de igual forma, se relaciona la resolución No 18-909 de 2010 “*por el cual se adopta el Plan de Acción indicativo de 2010-2015 para desarrollar el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de Energía No convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto*” [37].

d) Normas técnicas: se elabora la Tabla 29 donde se menciona la normatividad tratada en sistemas fotovoltaico.

Tabla 29: tabla de normatividad de energía fotovoltaica

Energía	Componente	Nº de norma	Entidad	título	Tipo de documento	Comentarios
Solar térmica	sistema	NTC 1736	ICONTEC	Mecánica, energía solar. Definiciones y nomenclatura	Terminología	Antecedente ASTM e722; está disponible en Icontec; www.icontec.org.co
Solar fotovoltaica	sistema	NTC 2775	ICONTEC	Energía fotovoltaica. Terminología y definiciones	Terminología	Se encuentra disponible en Icontec; www.icontec.org.co
Solar fotovoltaica	sistema	NTC 4405	ICONTEC	Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y sus componentes	Método ensayo	Se encuentra disponible en Icontec; www.icontec.org.co

Fuente: tomado de [38].

- Recursos necesarios para la construcción

Teniendo en cuenta la problemática y las normas, se establece la sostenibilidad del proyecto y si este cuenta con la financiación adecuada mediante entes gubernamentales del sector, como planes de desarrollo de alcaldías, gobernación o con presupuesto General de la Nación (PGN), sistema general de regalías (SGR), etc.

1. Sostenibilidad del proyecto “tipo” solar fotovoltaico. Se establece que se debe garantizar la calidad de los del sistema, asegurando que los equipos tengan un tiempo de vida útil promedio.

2. Medidas para garantizar sostenibilidad. Aparte de tener la sostenibilidad tecnológica se debe garantizar la sostenibilidad social, ambiental y económica en la zona de elaboración del proyecto.
3. ¿Qué se debe conocer o hacer para cumplir con los criterios?. En primer lugar, se debe conocer el costo y financiamiento de dichos procesos a través de organismos de financiación por entidades privadas como del estado. De igual forma, la ejecución del proyecto se debe socializar aspectos técnicos, ambientales y sociales con la comunidad para conocer sus opiniones acerca de la viabilidad del proyecto a elaborar.
4. Prestador del servicio – (quien o quienes son). Al estar presente un servicio, debe haber quien preste ese servicio de tal manera que se pueda sostener por sí mismo, para el siguiente proyecto; se busca encontrar una persona natural o jurídica el cual pueda hacer mantenimiento, solucionar fallas, y atender quejas y reclamos por parte de los usuarios, así como generar facturación para la sostenibilidad del servicio. Para cumplir los anteriores parámetros se debe tener escenarios de prestación del servicio, comunidad organizada y un operador del servicio.
5. ¿se cumplen las condiciones de implementación?. Se debe tener una capacitación técnica, puesto que debe haber un responsable que sea capaz de velar y mantener los equipos a instalar, se sugiere una empresa que sea prestadora del servicio o una comunidad organizada para el mantenimiento básico del proyecto y por ende se prolongue el servicio a largo plazo.
6. Condiciones a cumplir para implementar el proyecto. Para que se implemente un proyecto de energía fotovoltaica se debe tener en cuenta condiciones mínimas ambientales, atmosférica y sociales en la región a implementar. En la Tabla 30 se elabora un criterio para la implementación del modelo de diseño propuesto por la DNP.

Tabla 30. criterio para la implementación del modelo de diseño

Criterio	Descripción	Condición
Ubicación	Zona no interconectada o aislada	Se deberá verificar que no se encuentre en planes de interconexión en los próximos 5 años
Dispersión	Distancia entre los hogares a atender	Se debe verificar mediante georreferenciación que los hogares no se encuentran agrupados o concentrados
Usuarios	# Viviendas mínimas para ejecución del proyecto	Se deberá contar al menos con 20 usuarios sin servicio
Recurso	Radiación solar	Utilización del mapa de radiación solar del IDEAM
Piso térmico	Se tendrán variaciones dependiendo del piso térmico	Menor a 1000 msnm Mayor a 1000 msnm
Solución Solar Aislada SSA	Sistema que se instalará para cada usuario	Relacionar los criterios de piso térmico y recurso solar

Fuente: tomada de [24].

¿Qué se debe conocer o hacer para cumplir con los criterios? Los requisitos para realizar el proyecto fotovoltaico son:

- i. Ubicación del predio para cada solución individual
- ii. Dispersión en cuanto a la ubicación de cada hogar al que se va a beneficiar como el mostrado en la Tabla 5.
- iii. Calificar el número de usuarios que serán beneficiarios del proyecto, el mínimo debe ser de 20 hogares.
- iv. Ubicación del municipio en el mapa de radiación del IDEAM para determinar el recurso disponible en kW/m². Mostrada en la Figura 5.
- v. Identificación de pisos térmicos.

7. Alternativa propuesta.

- a. Cargas. Se debe estimar el consumo promedio de energía mensual en la zona a realizar el proyecto, de acuerdo a la norma NTC 2050 en su capítulo 4, indicado en el RETIE o en la norma del operador de red de la región. Se debe establecer para el sistema fotovoltaico un día y medio continuo (36 horas) de autonomía.
- b. Proceso constructivo. Realizar un proceso constructivo del proyecto a elaborar, un conjunto de fases sucesivas o simultáneas para establecer el tiempo para llevar a cabo la terminación de la puesta en servicio. La grafica propuesta por el DNP es la mostrada en la Figura 28.

Figura 28. Proceso Constructivo



Fuente: tomado de [24].

- a. Realizar obras preliminares. Se realizan obras preliminares como localización y replanteo del lugar y luego proceder con la nivelación, adecuación, limpieza y demás actividades para proceder con la instalación de equipos eléctricos y mecánicos en el proyecto.
 - b. Localización y replanteo. Se realiza la localización del terreno a instalar el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta variables como sombras o longitud de la instalación generadora a la instalación final para evitar caídas de tensión o mayor costo de cableado.
 - c. Instalación de equipos. Se deben instalar los equipos de la forma más óptimas, comenzando por los paneles orientados que de acuerdo al azimut y elevación se deben instalar al norte (en Colombia) para mayor optimización de energía, seguido del regulador de cargas, baterías en disposición de serie o paralelo de acuerdo al diseño elaborado, por último, el inversor para llevar la energía al panel parcial de la instalación final.
 - d. Interventoría y supervisión del proyecto.
 - i. Interventoría. Se establece una interventoría que hará seguimiento técnico sobre el cumplimiento de la instalación que realizará la persona natural o jurídica contratada para la ejecución.
 - ii. Supervisión. La supervisión consistirá en el seguimiento técnico, administrativo, financiero, contable y jurídico que sobre el cumplimiento del objeto del contrato, es ejercida por la misma entidad estatal cuando no se requieren conocimientos o apertura de la instalación [24].
8. Presupuesto y cronograma. Se realiza un presupuesto general para establecer la viabilidad con los recursos presupuestados en el sistema de inversión para el proyecto. De igual forma un cronograma de actividades donde se realice una ruta crítica en el desarrollo del proyecto.
9. Operación y mantenimiento. Se realizarán las operaciones de mantenimiento y cambio de equipos de acuerdo como lo dicte la UPME.
- a) Paneles solares: se deberán reemplazar una vez cumpla su vida útil.
 - b) Baterías: se deberán reemplazar cada 7 años
 - c) Reguladores: se deberán reemplazar cada 10 años.
 - d) Inversores: se deberán reemplazar cada 12 años.

6.6 ELABORACION DE DOCUMENTOS Y ESTUDIOS PREVIOS

Una vez es aprobado el proyecto por la Secretaría de Planeación, e inscrito en el BANCO DE PROYECTOS bajo el radicado (asignado por la misma dependencia) la Secretaría generadora de la necesidad (cuando es una obra es la Secretaría de obra o de Infraestructura) elabora los siguientes documentos [42], Ejemplo de documento en Anexo 8.

“Estudios y documentos previos. Los estudios y documentos previos son el soporte para elaborar el proyecto de pliegos, los pliegos de condiciones, y el contrato. Deben permanecer a disposición del público durante el desarrollo del Proceso de Contratación y contener los siguientes elementos, además de los indicados para cada modalidad de selección:

1. La descripción de la necesidad que la Entidad Estatal pretende satisfacer con el Proceso de Contratación.
2. El objeto a contratar, con sus especificaciones, las autorizaciones, permisos y licencias requeridos para su ejecución, y cuando el contrato incluye diseño y construcción, los documentos técnicos para el desarrollo del proyecto.
3. La modalidad de selección del contratista y su justificación, incluyendo los fundamentos jurídicos.
4. El valor estimado del contrato y la justificación del mismo. Cuando el valor del contrato esté determinado por precios unitarios, la Entidad Estatal debe incluir la forma como los calculó y soportar sus cálculos de presupuesto en la estimación de aquellos. La Entidad Estatal no debe publicar las variables utilizadas para calcular el valor estimado del contrato cuando la modalidad de selección del contratista sea en concurso de méritos. Si el contrato es de concesión, la Entidad Estatal no debe publicar el modelo financiero utilizado en su estructuración.
5. Los criterios para seleccionar la oferta más favorable.
6. El análisis de Riesgo y la forma de mitigarlo.
7. Las garantías que la Entidad Estatal contempla exigir en el Proceso de Contratación.
8. La indicación de si el Proceso de Contratación está cobijado por un Acuerdo Comercial.

El presente artículo no es aplicable a la contratación por mínima cuantía”.

6.7 ANÁLISIS DEL SECTOR ECONÓMICO Y DE LOS OFERENTES POR PARTE DE LAS ENTIDADES ESTATALES

Esta etapa es donde se va a arrojar el resultado del sector, como índice de endeudamiento, índice financiero, índice organizacional, para que a partir de ahí se monta el pliego de peticiones.

Deber de análisis de las Entidades Estatales. La Entidad Estatal debe hacer, durante la etapa de planeación, el análisis necesario para conocer el sector relativo al objeto del Proceso de Contratación desde la perspectiva legal, comercial, financiera, organizacional, técnica, y de análisis de Riesgo. La Entidad Estatal debe dejar constancia de este análisis en los Documentos del Proceso.

6.8 CERTIFICADO DE DISPONIBILIDAD PRESUPUESTAL (CDP)

Que el presupuesto general apropia una suma que va a destinar a llevar a cabo para la contratación para llevar a cabo la ejecución del proyecto. Expedida por la secretaría de hacienda.

6.9 ELABORACIÓN DE PLIEGOS DE CONDICIONES

Se genera una oferta de pliego de condiciones donde la comunidad en general, sin excepción, puede presentar alegatos u observaciones sobre las condiciones que se genera este documento. Se puede observar un ejemplo de este documento en Anexo 9.

6.10 ELABORACIÓN DE PLIEGOS DE CONDICIONES DEFINITIVOS

Teniendo en cuenta los alegatos u observaciones mencionados en el paso anterior se genera un acta o documento final donde se redacta la elaboración de términos de condiciones finales. En caso de que se esté violando algún termino jurídico o de participación, se genera un adendo para modificar este documento. Se puede observar un ejemplo de este documento en Anexo 11.

6.11 PRESENTACIÓN DE PROPUESTAS POR PARTE DE LOS OFERENTES.

Todas las personas jurídicas o naturales interesadas presentan su propuesta económica y técnica en “sobre cerrado” a la espera de un veredicto dictado por un comité de evaluación. Se puede observar un ejemplo de este documento en Anexo 10.

6.12 ETAPA DE EVALUACIÓN

El crea un comité evaluador conformador por:

- a) Evaluador técnico. Ver Anexo 12
- b) Evaluador jurídico. Ver Anexo 13
- c) Evaluador financiero. Ver Anexo 14

6.13 ETAPA DE AUDIENCIA DE ADJUDICACIÓN

Comité evaluador decide a quien se le adjudica el contrato estableciendo variables jurídicas, técnicas y financieras de los proponentes. Ver Anexo 15.

6.14 ACTA DE ADJUDICACIÓN

Se realiza un acta de adjudicación por parte de la alcaldía, gobernación, presidencia, etc. Otorgando la adjudicación a uno de los proponentes del proyecto. Ver Anexo 16

6.15 ENTREGA DEL CONTRATO AL ADJUDICANTE.

6.16 PAGO DE ESTAMPILLA Y PÓLIZAS DE SEGUROS POR PARTE DEL CONTRATISTA.

6.17 ACTA DE INICIO

6.18 ASIGNACIÓN DE SUPERVISOR

Se realiza la asignación de supervisor de obra por mérito. La elección la realiza el equipo evaluador técnico, financiero y jurídico.

6.19 ASIGNACIÓN DE INTERVENTORÍA

Se realiza la asignación del interventor de obra por mérito. La elección la realiza el equipo evaluador técnico, financiero y jurídico.

6.20 EJECUCIÓN

6.21 ACTA DE LIQUIDACIÓN

7. CONCLUSIONES

El aprovechamiento de las fuentes no convencionales renovables de energía ha venido creciendo a lo largo de los últimos años en pro de buscar alternativas de generación de energía eléctrica que causen el menor daño al planeta.

Se lograron determinar las necesidades energéticas de la zona, que, aunque por la precaria situación de las viviendas fue complicado, se pudo establecer a partir de lo estipulado en el artículo 28, literal g del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, en el cual se indican los lineamientos a tener en cuenta para el diseño de los circuitos mínimos que debe poseer una vivienda aplicable a las condiciones de Caracolí.

A pesar de las distintas fuentes no convencionales renovables de energía de la zona, solo dos de ellas, la fotovoltaica y la hidráulica tienen un potencial real para su explotación, pues, aunque Caracolí es una región agrícola, los residuos de las actividades agrícolas son utilizados en su mayoría para suplir otras necesidades de mayor prioridad para los pobladores, como es el caso de la alimentación de los animales.

Mediante la información encontrada en las bases de datos de la NASA, fue posible determinar el gran potencial fotovoltaico de Caracolí, que sumado a las condiciones de temperatura y elevación sobre el nivel del mar, lo convierten en un sitio ideal para la implementación de un sistema de generación de energía fotovoltaico.

De la misma manera, estudiando los mapas de potencial hídrico, y con información suministrada por el IDEAM, se identificó y determinó el potencial del recurso hídrico brindado por el río Ranchería, cuyo caudal permite generar la energía necesaria e incluso más para suplir la demanda energética de la zona rural de Caracolí.

La generación de energía eléctrica aprovechando la energía fotovoltaica es factible hacerlo a través de sistemas individuales ubicados en cada punto beneficiario, ya que al ser el sol su fuente de energía, es posible aprovecharlo en todos los lugares de la zona siempre y cuando se tenga un buen criterio de elección del sitio de la instalación. El concentrar la generación fotovoltaica en un solo lugar implica la adquisición de extensos terrenos para las instalaciones, lo que resulta poco beneficioso, pues le estaría quitando áreas donde plantar cultivos y zonas de pastoreo de animales a los pobladores; además surgiría la necesidad de diseñar un sistema de distribución hasta cada punto de consumo, lo que incrementa de forma considerable la inversión a realizar en el proyecto.

Un sistema de generación fotovoltaico requiere que se ubique en lugares en donde la temperatura no exceda lo permisible, ya que esto garantiza la durabilidad

y el óptimo funcionamiento del panel, además, se deben buscar lugares en donde a lo largo del día las sombras no incidan sobre el panel fotovoltaico.

Producir energía eléctrica por medio de una pequeña central hidroeléctrica obliga la ejecución de obras civiles costosas, con un impacto al ecosistema de consideración, esto ligado al valor que tienen los elementos constructivos y operativos de la PCH, hacen que decantarse por esta opción de generación sea inviable ambiental y financieramente.

A diferencia de la generación fotovoltaica, la generación con una PCH si concentra la producción de energía en un solo lugar, lo que obliga a pensar en una forma de distribuir la energía para los centros de consumos o potenciales beneficiarios del proyecto, esto conlleva a un aumento considerable del presupuesto de inversión, haciendo definitivamente no factible la implementación de esta alternativa.

Mediante el cálculo de indicadores económicos como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), se pudo determinar que ambas propuestas son factibles, garantizando que una vez se cumplen los periodos de vida útil de los proyectos se ha logrado recuperar la inversión inicial y generando utilidades. Debido a que el VAN y la TIR del sistema fotovoltaico es mucho mayor que la solución mediante una PCH, se concluye que es mejor inclinarse por la generación fotovoltaica ya que su rentabilidad es mayor y garantiza un mejor rendimiento de la inversión inicial.

Pese a que ambas alternativas son amigables con el medio ambiente, pues están libre de emisiones de gases contaminantes, se debe contemplar el impacto que pueden causar obras de esta naturaleza en la región, es ahí en donde la generación de energía eléctrica utilizando energía solar fotovoltaica destaca sobre la PCH, ya que su impacto en la zona de influencia es apenas visible.

Se determinaron los elementos y requisitos necesarios al momento de presentar una propuesta a las entidades que se encargan de planear y promover las soluciones energéticas para zonas no interconectadas (ZNI), mediante los diferentes modelos empleados en las entidades estatales, iniciando en la identificación de la necesidad o situación problema hasta llegar al proceso de adjudicación, ejecución y finalización del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] SCHALLENBERG, Julieta C; PIEMAVIEJA, Gonzalo; HERNANDEZ, Carlos; UNAMUNZAGA, Pedro; GARCIA, Ramón; DIAZ, Mercedes; CABRERA, Delio; MARTEL, Gilberto; PADILLA, Javier; SUBIELA, Vicente. Energías Renovables y Eficiencia energética. Primera edición. España, Instituto Tecnológico de Canarias S.A, 2008. Pág. 49.
- [2] JARA, Wilfredo. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Primera edición. Santiago de Chile, Leader S.A, 2006. Pág. 14
- [3] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas: Instalaciones básicas. Bogotá: 2013. 310 pág. (Resolución N° 90708 agosto 30 de 2013). Pág. 245.
- [4] PRAT VIENA, Luis. Dimensionamiento de Sistema fotovoltaica. Barcelona, 46 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad de catalunya. Facultad de ingenierías. Departamento de ingeniería electronica.
- [5] C/LOPE GÓMES DE MARZOA, Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma SunFields Europe. Santiago de Compostela, A. Coruña (España).
- [6] Grupo simec. Dimensionamiento fotovoltaico. [en línea].19 de mayo de 2014. https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602. [citado el 15 de octubre de 2016]
- [7] RABOSO LÓPEZ, Antonio Manuel. Diseño de un Sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma. Andalucía, 236 páginas. Trabajo de grado (master Oficial en tecnología de los Sistemas de Energía solar Fotovoltaica. Universidad internacional de Andalucía (España).
- [8] ABELLA, Miguel Alonso. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Madrid.66 paginas. Master en Energias Renovables y Mercado Energetico. Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. España
- [9] Esquemas de conexión a tierra en sistemas fotovoltaico.[en linea]. <http://renewablengineering.blogspot.com.co/2009/12/esquemas-de-conexion-tierra-en-sistemas.html> [28 de septiembre de 2016]
- [10] INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá, 1997, 124 pág.

- [11] CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Tipos de centrales. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- [12] INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Criterios de diseño. Bogotá, 1997, 124 pág.
- [13] INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Elementos de una PCH. Bogotá, 1997, 124 pág.
- [14] CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Transformadores. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- [15] INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Métodos para determinar el salto. Bogotá, 1997, 124 pág.
- [16] INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Cálculo del caudal. Bogotá, 1997, 124 pág.
- [17] CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Potencial Teórico. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- [18] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código eléctrico colombiano. Bogotá: INCONTEC, 1998. 847 pág. IL (NTC-2050)
- [19] EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Criterios de diseño de la red de distribución rural. Medellín, EPM, 2009. 31 páginas. IL (RA8-025).

- [20] Electrificadora de Santander. Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Bucaramanga. ESSA. 2005, 181 pág.
- [21] CONSEJERÍA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y NUEVA TECNOLOGIA. Guía técnica de aplicación para instalaciones de Energías renovables, instalaciones fotovoltaicas. Canarias. Dirección de industrias y Energía.
- [22] WEIDMÜLLER. Protección contra Sobrecorriente en Instalaciones Fotovoltaica. Barcelona. Guía Técnica. España.2014. 23 páginas.
- [23] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes. Bogotá: INCONTEC, 1998. 24 pág. IL (NTC-4405)
- [24] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Proyectos tipo: Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. Bogotá: Subdirección territorial y de inversiones públicas. 2016. 42 pág.
- [25] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Anexo Proyectos tipo: Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. Bogotá: Subdirección territorial y de inversiones públicas. 2016. 5 pág.
- [26] GRUPO EVE. Energías alternativas, Central por derivación. [En línea] en: http://www.aulatecnologia.com/BACHILLERATO/1_bg/APUNTES/ALTERNATIVAS/AGUA/agua.htm. [18 de octubre de 2016]
- [27] RIVERA, Fausto. Central Hidroeléctrica “La tasajera”: Central de agua fluyente. [En línea]: <http://latasajeraelectricidad.blogspot.com.co/p/5.html>. [Disponible el 18 de octubre de 2016]
- [28] INSTITUTO PARA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE ENERGIA. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Madrid, 2009, 114 pág.
- [29] Sistema de información de eficiencias energética y energías alternativas. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Mapa Sector Agrícola. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/2Mapas_Sector_Agricola.pdf
- [30] Sistema de información de eficiencias energética y energías alternativas. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Mapa Sector Pecuário. Disponible el 21 de octubre de 2016 en:

http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/3Mapas_Sector_Pecuario.pdf

- [31] Sistema de información de eficiencias energética y energías alternativas. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Mapa Sector Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/4Mapas_Sector_Residuos_Solidos_Organicos_Urbanos.pdf
- [32] Sistema de información de eficiencias energética y energías alternativas. Estudios y Potencialidades Energía Hidráulica. Mapas de Recursos Energéticos Renovables. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/mapaHidrico.pdf
- [33] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 697 (5, octubre, 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2001. Pág. 5
- [34] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 863 (29, diciembre, 2003). Por la cual se establecen normas tributarias, aduaneras, fiscales y de control para estimular el crecimiento económico y el saneamiento de las finanzas públicas. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2003. Pág. 4
- [35] COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 3683 (19, diciembre, 2003). Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una comisión Intersectorial. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2003. Pág. 10
- [36] COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución N^o 0447 (14, abril, 2003). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Bogotá D.C. 2003. Pág. 13.
- [37] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución N^o 180910 (junio, 2010). Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto. Bogotá D.C. 2010. Pág. 8

- [38] Sistema de información de eficiencias energética y energías alternativas. Normas Técnicas. Energía Fotovoltaica. Disponible el 21 de octubre de 2016 en:
http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/docs/SOLARfOTOVOLTAICA.pdf
- [39] PM4R. Gestión de proyectos documentados. Plantilla de la Matriz de Riesgos con ejemplos. Disponible el 21 de octubre de 2016 en:
<http://www.pm4r.org/gestion-proyectos-documentos/plantilla-de-la-matriz-de-riesgos-con-ejemplos>
- [40] NIETO GONZALEZ, Alejandro. El blog salmón. ¿Qué son el VAN y la TIR? Disponible el 21 de octubre de 2016 en:
<http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-son-el-van-y-el-tir>
- [41] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA-UPME. Guía para la Formulación y Presentación de Proyectos a los Fondos FAER, FAZNI, FNR, FECF, y Programa PRONE. Bogotá D.C. 2006. Pág. 100
- [42] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 2143 (4, noviembre, 2015). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la ley 1715 de 2014. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2015. Pág. 8

BIBLIOGRAFÍA

ABELLA, Miguel Alonso. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Madrid.66 paginas. Master en Energías Renovables y Mercado Energetico. Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. España

C/LOPE GÓMES DE MARZOA, Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma SunFields Europe. Santiago de Compostela, A. Coruña (España).

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 3683 (19, diciembre, 2003). Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 y se crea una comisión Intersectorial. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2003. Pág. 10

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 697 (5, octubre, 2001). Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2001. Pág. 5

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 863 (29, diciembre, 2003). Por la cual se establecen normas tributarias, aduaneras, fiscales y de control para estimular el crecimiento económico y el saneamiento de las finanzas públicas. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2003. Pág. 4

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución Nª 0447 (14, abril, 2003). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Bogotá D.C. 2003. Pág. 13.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 2143 (4, noviembre, 2015). Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la ley 1715 de 2014. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2015. Pág. 8

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución Nª 180910 (junio, 2010). Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto. Bogotá D.C. 2010. Pág. 8

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA-UPME. Guía para la Formulación y Presentación de Proyectos a los Fondos FAER, FAZNI, FNR, FECF, y Programa PRONE. Bogotá D.C. 2006. Pág. 100

CONSEJERÍA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y NUEVA TECNOLOGIA. Guía técnica de aplicación para instalaciones de Energías renovables, instalaciones fotovoltaicas. Canarias. Dirección de industrias y Energía.

CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Tipos de centrales. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>

CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Transformadores. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>

CRIOLLO, Xavier; QUEZADA, Cristian. Diseño de una mini central hidroeléctrica en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca: Potencial Teórico. Cuenca, 2011, 155 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero electricista). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de ingenierías. Ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Anexo Proyectos tipo: Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. Bogotá: Subdirección territorial y de inversiones públicas. 2016. 5 pág.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Proyectos tipo: Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. Bogotá: Subdirección territorial y de inversiones públicas. 2016. 42 pág.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER. Normas para el cálculo y diseño de sistemas de distribución. Bucaramanga. ESSA. 2005, 181 pág.

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Criterios de diseño de la red de distribución rural. Medellín, EPM, 2009. 31 páginas. IL (RA8-025).

Esquemas de conexión a tierra en sistemas fotovoltaico.[en línea]. <http://renewablengineering.blogspot.com.co/2009/12/esquemas-de-conexion-tierra-en-sistemas.html> [28 de septiembre de 2016]

GRUPO EVE. Energías alternativas, Central por derivación. [En línea] en: http://www.aulatecnologia.com/BACHILLERATO/1_bg/APUNTES/ALTERNATIVAS/AGUA/agua.htm. [18 de octubre de 2016]

GRUPO SIMEC. Dimensionamiento fotovoltaico. [en línea].19 de mayo de 2014. https://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Sim ec_Chile.pdf?1287789602. [citado el 15 de octubre de 2016]

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Código eléctrico colombiano. Bogotá: INCONTEC, 1998. 847 pág. IL (NTC-2050)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes. Bogotá: INCONTEC, 1998. 24 pág. IL (NTC-4405)

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá, 1997, 124 pág.

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Criterios de diseño. Bogotá, 1997, 124 pág.

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Elementos de una PCH. Bogotá, 1997, 124 pág.

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Métodos para determinar el salto. Bogotá, 1997, 124 pág.

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Guía de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas: Cálculo del caudal. Bogotá, 1997, 124 pág.

INSTITUTO PARA DIVERSIFICACION Y AHORRO DE ENERGIA. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. Madrid, 2009, 114 pág.
JARA, Wilfredo. Introducción a las Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Primera edición. Santiago de Chile, Leader S.A, 2006. Pág. 14

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Anexo General Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas: Instalaciones básicas. Bogotá: 2013. 310 pág. (Resolución N° 90708 agosto 30 de 2013). Pág. 245.

NIETO GONZALEZ, Alejandro. El blog salmón. ¿Qué son el VAN y la TIR? Disponible el 21 de octubre de 2016 en: <http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/que-son-el-van-y-el-tir>

PM4R. Gestión de proyectos documentados. Plantilla de la Matriz de Riesgos con ejemplos. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: <http://www.pm4r.org/gestion-proyectos-documentos/plantilla-de-la-matriz-de-riesgos-con-ejemplos>

PRAT VIENA, Luis. Dimensionamiento de Sistema fotovoltaica. Barcelona, 46 páginas. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad de catalunya. Facultad de ingenierías. Departamento de ingeniería electronica.

RABOSO LÓPEZ, Antonio Manuel. Diseño de un Sistema fotovoltaico para alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma. Andalucía, 236 páginas. Trabajo de grado (master Oficial en tecnología de los Sistemas de Energía solar Fotovoltaica. Universidad internacional de Andalucía (España).

RIVERA, Fausto. Central Hidroeléctrica “La tasajera”: Central de agua fluyente. [En línea]: <http://latasajeraelectricidad.blogspot.com.co/p/5.html>. Disponible el 18 de octubre de 2016]

SCHALLENBERG, Julieta C; PIEMAVIEJA, Gonzalo; HERNANDEZ, Carlos; UNAMUNZAGA, Pedro; GARCIA, Ramón; DIAZ, Mercedes; CABRERA, Delio; MARTEL, Gilberto; PADILLA, Javier; SUBIELA, Vicente. Energías Renovables y Eficiencia energética. Primera edición. España, Instituto Tecnológico de Canarias S.A, 2008. Pág. 49.

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EFICIENCIAS ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Mapa Sector Agrícola. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/2Mapas_Sector_Agricola.pdf

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EFICIENCIAS ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Mapa Sector Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/4Mapas_Sector_Residuos_Solidos_Organicos_Urbanos.pdf

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EFICIENCIAS ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Estudios y Potencialidades Energía Hidráulica. Mapas de Recursos Energéticos Renovables. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/mapaHidrico.pdf

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EFICIENCIAS ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Normas Técnicas. Energía Fotovoltaica. Disponible el 21 de octubre de 2016 en: http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/docs/SOLARfOTOVOLTAICA.pdf

WEIDMÜLLER. Protección contra Sobrecorriente en Instalaciones Fotovoltaica. Barcelona. Guía Técnica. España.2014. 23 páginas.