



# **Evaluación de la autosuficiencia energética a partir de fuentes renovables de energía para la comunidad del Danubio corregimiento de Dagua**

**Juan David Sandoval Trujillo**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cali, Colombia  
2021

# **Evaluación de la autosuficiencia energética a partir de fuentes renovables de energía para la comunidad del Danubio corregimiento de Dagua**

**Juan David Sandoval Trujillo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director:

Nicolás Giraldo Peralta, I.M., M.Sc., Ph.D.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cali, Colombia

2021

# **Dedicatoria**

*A Dios fuente de vida e infinita misericordia.*

*A mis Padres y familia por su permanente apoyo en mi proyecto de vida.*

*A todas las personas que luchan por hacer posible sus sueños.*

*A mí querida esposa Yuliana Andrea y mis hijos Samuel David y Marian Celeste, apoyo incondicional.*

*Juan David*

## **Agradecimientos**

El autor del presente proyecto de grado expresa sus más sinceros agradecimientos a:

A La Universidad Antonio Nariño, por la excelente formación académica y humanística brindada, solido sustento para un excelente desempeño personal y profesional.

A los docentes por los aportes que hicieron en mi formación profesional.

A mí director de tesis, PhD., en Ciencias de Ingeniería: Nicolás Giraldo Peralta, por sus excelentes orientaciones en el desarrollo de mi trabajo de grado.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron para el éxito del presente proyecto.

## Resumen

La necesidad de satisfacer la demanda de energía en comunidades donde no hay suministro eléctrico o donde el mismo es muy deficiente ha llevado a que se realicen estudios y propuestas para ofrecer la posibilidad de proporcionar energía eléctrica a dichas comunidades. Este trabajo consiste en un estudio para suplir las insuficiencias de energía eléctrica a la comunidad de El Danubio, municipio de Dagua (Valle del Cauca). Esta comunidad en su mayoría cuenta con un incipiente acceso a la energía eléctrica limitando la posibilidad de desarrollo social y económico. El proyecto contempla el estudio de la población y sus necesidades de energía eléctrica y cómo la podrían utilizar. Se considera un grupo de viviendas de ese caserío y se determina los posibles consumos al utilizar bombillas, neveras, televisores y otros aparatos de uso básico en los hogares.

Este documento se desarrolla en 5 capítulos, en los cuales se determina la potencia que se podría consumir a diario y la potencia de diseño. Así como la evaluación de cada una de las fuentes de energía disponible, aprovechable y generada las cuales son la eólica, biomasa y solar. Una vez se realizó la evaluación de cada una de las fuentes de energía, se establece que la energía solar y la de biomasa podrían suplir la necesidad energética de la comunidad. Al seleccionar las dos alternativas de fuentes de energía se realiza el cálculo y selección de elementos que constituyen el sistema de generación de potencia para suplir las necesidades de la comunidad.

**Palabras clave:** Dagua, energético, solar, fotovoltaico, paneles, biomasa.

## **Abstract**

The need to satisfy the demand for energy in communities where there is no electricity supply or where it is very deficient has led to studies and proposals to offer the possibility of providing electricity to these communities. This work consists of a study to supply the shortages of electrical energy in the community of El Danubio, municipality of Dagua (Valle del Cauca). Most of this community has incipient access to electricity, limiting the possibility of social and economic development. The project contemplates the study of the population and their needs for electrical energy and how they could use it. A group of dwellings in that hamlet is considered and possible consumption is determined when using light bulbs, refrigerators, televisions and other appliances for basic use in homes.

This document is developed in 5 chapters, in which the power that could be consumed on a daily basis and the design power are determined. As well as the evaluation of each of the available, usable and generated energy sources which are wind, biomass and solar. Once the evaluation of each of the energy sources has been carried out, it is established that solar and biomass energy could supply the energy need of the community. When selecting the two alternatives of energy sources, the calculation and selection of elements that constitute the power generation system is carried out to meet the needs of the community.

**Keywords: Dagua, energy, solar, photovoltaic, panels, biomass.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.1.1 Identificación del problema .....	5
1.1.2 Pregunta problema .....	6
1.2 Justificación.....	7
1.2.1 Justificación económica.....	7
1.2.2 Justificación ambiental .....	8
1.2.3 Justificación social.....	8
1.2.4 Justificación técnica.....	9
1.2.5 Justificación académica.....	9
1.3 Objetivos .....	9
1.3.1 Objetivo general .....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>11</b>
2.1 Marco teórico.....	11

---

2.1.1 Autosuficiencia energética.....	13
2.1.2 Demanda energética .....	13
2.1.3 Curva de carga .....	14
2.1.4 Potencia de diseño .....	14
2.1.5 Suministro de energía .....	15
2.2 Fuentes de energía .....	16
2.2.1 Fuentes renovables: .....	17
2.2.2 Fuentes no renovables: .....	18
2.3 Energía solar .....	18
2.4 Energía eólica .....	19
2.5 Energía solar fotovoltaica .....	20
2.6 Energía de la biomasa.....	24
2.7 Energía hidráulica .....	26
2.8 Conexiones rurales del sistema eléctrico en Colombia.....	28
2.9 Descripción del Marco Regulatorio .....	30
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>33</b>
3.1 Desarrollo metodológico .....	33
3.1.1 Generalidades de la Zona de Estudio.....	33
3.1.2 Obtención de la información sobre los usuarios y habitantes .....	35
3.1.3 Sector Iluminación .....	39
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>45</b>
4.1 Evaluación de las Fuentes de Energía .....	45
4.2 Evaluación de la Energía Solar .....	45
4.3 Evaluación de la Energía Eólica .....	47
4.4 Evaluación de la Energía de la Biomasa .....	49
4.5 Cálculo de la energía aprovechable .....	53



---

4.5.1 Energía eólica aprovechable. ....	53
4.6 Cálculo de la energía generada.....	56
4.6.1 Potencia Eólica generada.....	56
4.6.2 Energía solar generada. ....	57
4.6.3 Energía biomasa generada. ....	58
4.7 Comparación de alternativas para la generación de energía en la zona.....	58
4.8 Configuración de la Planta.....	61
4.8.1 Diseño y selección de los componentes que constituyen el Sistema de Paneles Fotovoltaicos .....	62
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>73</b>
5.1 Evaluación económica, ambiental y de factibilidad técnica .....	73
5.1.1 Costo de adquisición de elementos de la planta.....	73
5.1.2 Costo de adquisición del sistema fotovoltaico.....	73
5.1.3 Costo de adquisición del sistema de combustión de biomasa. ....	74
5.2 Costos de mantenimiento de cada una de las plantas.....	74
5.3 Calculo de Criterios de Evaluación Económica: VPN y TIR.....	75
5.4 Evaluación Ambiental .....	76
<b>6. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>81</b>
6.1 Conclusiones.....	81
6.2 Recomendaciones.....	83
<b>A. Anexo: Formato de encuesta realizada a pobladores de El Danubio.....</b>	<b>85</b>
<b>B. Anexo: Resultados preliminares de la encuesta aplicada .....</b>	<b>89</b>
<b>C. Anexo: Catálogo de acumuladores solares Varta. ....</b>	<b>93</b>
<b>D. Anexo: Catálogo de la caldera seleccionada .....</b>	<b>95</b>
<b>E. Anexo: Características Turbina de Vapor .....</b>	<b>97</b>

---

<b>F. Anexo: Especificaciones del intercambiador de calor para la condensación de vapor. ....</b>	<b>99</b>
<b>G. Anexo: Flujos de caja para la instalación de tecnología fotovoltaica.....</b>	<b>101</b>
<b>H. Anexo: Tablas de vapor.....</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>105</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 2-1: Curva de carga y demanda [4] .....	15
Figura 2-2: Panel solar fotovoltaico .....	23
Figura 2-3: Central hidroeléctrica .....	27
Figura 2-4: Poblados que aún no cuentan con sistema eléctrico .....	29
Figura 3-1: Ubicación del corregimiento el Danubio en el Valle del Cauca .....	33
Figura 3-2: Viviendas del corregimiento El Danubio .....	34
Figura 3-3: Potencia consumida por bombillas LED para un día en un hogar.....	40
Figura 3-4: Potencia consumida tv y radio.....	41
Figura 3-5: Consumo de potencia en otros artículos .....	41
Figura 3-6: Demanda total de potencia por hora por cada hogar en promedio .....	42
Figura 4-1: Promedio mensual de velocidad de viento .....	48
Figura 4-2: Comportamiento del promedio de la radiación solar mes a mes.....	51
Figura 4-3: Curva de irradiación para un día típico .....	51
Figura 4-4: Configuración de un sistema fotovoltaico .....	62
Figura 4-5 Esquema de un ciclo Rankine .....	72
Figura 4-6: Calderas de vapor .....	73
Figura 4-7: Esquema de una turbina de vapor.....	74
Figura 4-8: Entalpía proceso rechazo de calor a presión constante en un condensador.	75
Figura 4-9: Bomba.....	78

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 3-1: Cantidad de aparatos de iluminación por familia .....	36
Tabla 3-2: Disponibilidad de neveras en las familias .....	37
Tabla 3-3: Cantidad de aparatos de entretenimiento por familia .....	37
Tabla 3-4: Cantidad de otros aparatos por familia .....	38
Tabla 3-5: Consumo de promedio de ciertos aparatos .....	38
Tabla 3-6: Consumo de potencia de la bobilla LED .....	39
Tabla 3-7: Potencia de consumo .....	40
Tabla 3-8: Consumo energético en kWh para un hogar en promedio por cada día propuesto para el corregimiento de El Danubio .....	43
Tabla 3-9: Consumo energético total de un hogar y la comunidad .....	44
Tabla 4-1: Radiación solar por cada mes del año .....	46
Tabla 4-2: Conversión entre unidades de velocidad del viento .....	47
Tabla 4-3: Valores de velocidad de viento (m/s) .....	48
Tabla 4-4: Potencia disponible promedio para cada mes por unidades de área .....	52
Tabla 4-5: Valores mínimos de velocidad de viento .....	54
Tabla 4-6: Potencia aprovechable para velocidad de viento mínima .....	54
Tabla 4-7: Valores de potencia máxima generada por mes al día .....	57
Tabla 4-8: Consolidado de potencia eólica disponible, aprovechable y generada .....	58
Tabla 4-9: Cantidad de energía solar térmica y fotovoltaica disponible, aprovechable y generada .....	59
Tabla 4-10: Cantidad de la energía de la biomasa .....	59
Tabla 4-11: Ventajas y desventajas de las fuentes de energía de la zona .....	60
Tabla 4-12: Especificaciones del panel fotovoltaico seleccionado .....	67
Tabla 4-13: Tipo de regulador .....	68
Tabla 4-14: Tipo de convertidor .....	70
Tabla 4-15: Calculo de la sección del conductor en los diferentes tramos del sistema ...	71

---

Tabla 4-16: Configuración final de la planta.....	78
Tabla 5-1: Costo de adquisición del sistema fotovoltaico.....	73
Tabla 5-2: Costo de adquisición del sistema de combustión de biomasa .....	74
Tabla 5-3: Comparación de los criterios de evaluación económica VPN y TIR para las dos tecnologías .....	76

# Introducción

La transformación del sistema energético actual a más energías renovables y menos dependencia de los países exportadores de petróleo se discute en todo el mundo. La autosuficiencia basada en electricidad, calor y combustible de energías renovables en combinación con estrategias de ahorro de energía se considera en general como la clave para un sistema energético sostenible. Un gran número de comunidades y regiones de diferentes países se han enfrentado a estos desafíos y están siguiendo objetivos ambiciosos de alcanzar la autosuficiencia energética mediante el uso de energías renovables (Hernández, 2020).

Por lo tanto, estos desarrollos están fuertemente asociados con una democratización necesaria del sistema de suministro de energía. Estructuras más descentralizadas y una mayor participación de las comunidades locales, los usuarios de la tierra, las PYME y los consumidores son un requisito previo para la autosuficiencia energética y requieren un proceso de transformación significativo. En este contexto, Colombia, por medio del Ministerio de Minas y Energía (2020), anunció un plan de transición energética. Según el plan, los combustibles fósiles que actualmente usan el 82% de la energía del país serán reemplazados gradualmente por energía renovable durante los próximos 30 años. Se espera que el mercado de energía renovable en Colombia crezca a una tasa compuesta anual de más del 2.6% en el período de pronóstico de 2020-2025.

La expectativa es que factores como las políticas gubernamentales de apoyo y los esfuerzos para satisfacer la creciente demanda de energía utilizando fuentes de energía renovables contribuyan significativamente al crecimiento del mercado. Con el compromiso del gobierno de obtener la máxima energía de las energías renovables y reducir las emisiones de carbono, se espera que la proporción de energías renovables crezca significativamente y esté impulsando aún más el mercado de las energías renovables. Por otro lado, factores como las condiciones climáticas desfavorables y el uso de otras fuentes de energía convencionales como el carbón y el gas natural son algunos factores limitantes

para el mercado de energía renovable de Colombia. Se espera que para el 2050, el 55% de la energía en el país sea producida por la quema de combustibles fósiles (una reducción del 33% en comparación con los niveles actuales), mientras que el resto de la energía en Colombia será producida por fuentes de energía renovables como la hidroeléctrica, solar y eólica (Gamba, 2020).

Sin embargo, las comunidades de ciertas zonas de Colombia no cuentan con acceso a redes de energía eléctrica, debido a su ubicación remota y su difícil acceso implica que la comunidad del Danubio no tenga energía las 24 horas del día. Lo anterior impide el desarrollo económico y social de estas comunidades reflejándose en la baja calidad de vida de las mismas. Estas comunidades se encuentran en zonas muy apartadas del país como la Orinoquía, la Amazonía, la región pacífica y también en regiones montañosas de Colombia, la solución que se le brinda a estas comunidades es el uso de fuentes de energía tales como la solar, eólica y de la biomasa para que cuenten con energía eléctrica y de esta manera estimular el desarrollo económico y social de las mismas. Al mismo tiempo el alto costo de la electricidad y la mala calidad del servicio de energía eléctrica, en algunas regiones de Colombia, han estimulado el uso de fuentes renovables de energía como por ejemplo los paneles solares fotovoltaicos. De igual manera el calentamiento global ha promovido el auge de estas fuentes.

Las fuentes de energía renovables que se conocen en la actualidad son la eólica, solar y biomasa. Estas fuentes de energía son inagotables y se encuentran de manera permanente y constante en la naturaleza. Es por esto, que se seleccionan dichas fuentes como posibilidad de generación de energía para comunidades apartadas.

Por esta razón, en este trabajo se propone estudiar la autosuficiencia energética a partir de fuentes de energía renovables en la zona del Danubio corregimiento de Dagua Valle del Cauca, se desarrolla con el propósito de ofrecer alternativas de suministro de energía continua para esta comunidad. De esta manera se realiza un estudio de las fuentes disponibles y aprovechables en la zona con el objetivo de determinar la posibilidad de generar energía eléctrica a la comunidad en mención.

# Capítulo 1

## 1.1 Planteamiento del problema

Colombia tiene una rica dotación de fuentes de energía y el país depende en gran medida de la energía hidroeléctrica instalada (65 por ciento del consumo anual) (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Colciencias, Universidad Javeriana e Ingfocol Ltda, 2015), que proporciona electricidad rentable. Sin embargo, el país tiene un gran potencial para las fuentes de generación de energía no convencionales, particularmente la solar, la eólica y la biomasa. Según la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y el Centro Internacional de Pequeñas Hidroeléctricas (2015), en 2010 Colombia experimentó su mayor crecimiento en generación de energía renovable, con un total de 2.543MW de capacidad adicional. Se estima que la energía eólica terrestre a gran escala y la geotermia a gran escala podrían alcanzar el mismo costo / kW que la generación hidroeléctrica actual.

En este contexto, el sector eléctrico y energético de Colombia está bajo la jurisdicción del Ministerio de Minas y Energía. Este Ministerio ha adoptado un Plan de acción indicativo y ha establecido el objetivo de lograr el 3,5% de generación conectada a la red y el 20% fuera de la red a partir de fuentes renovables para 2015. Esto se incrementará al 6,5% y al 30% respectivamente en 2022. Sin embargo, no existen metas legislativas asociadas al cumplimiento de estas proyecciones. Según el Índice de Productividad Energética y Prosperidad Económica (2015), Colombia es actualmente el segundo país de América Latina en consumir más unidades de energía que puntos de PIB. De hecho, Colombia produce 330.000 millones de euros de PIB por cada exajulio consumido, lo que refleja el considerable crecimiento de la demanda energética de Colombia.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) suscribió un memorando de entendimiento con Kepco, experto en el



campo de las energías renovables, para consultar sobre la introducción de fuentes de energía no convencionales al sistema eléctrico colombiano. Para acompañar esta iniciativa, la Unidad de Planificación Minera y Energética (UPME, 2019) incluyó en el Plan Energético Nacional 2050 una meta para incrementar el aporte de las fuentes de energía renovables no convencionales.

Sin embargo, en el país existen comunidades y poblaciones que cuentan con un incipiente acceso al sistema eléctrico nacional o prácticamente es nulo. Esta situación se manifiesta en continuas interrupciones del servicio de energía eléctrica, inexistencia de conexión a redes eléctricas primarias y racionamientos no programados (Miranda, 2019). Lo anterior conlleva a que estas comunidades no tengan una calidad de vida adecuada en el sentido que no es posible la adecuada conservación de alimentos, los procesos de aprendizaje y de educación, los servicios de salud y la comunicación con el resto del mundo principalmente.

En los últimos años se han realizado estudios y proyectos para garantizar el acceso a la energía eléctrica a diversas comunidades del país. Sin embargo, no ha sido suficiente ya que hay muchas zonas del país dónde no se ha realizado ningún estudio sobre el potencial energético de dichas zonas tales como la Amazonía, la Orinoquía, la región pacífica y también comunidades rurales dentro de la región Andina colombiana por lo cual estas comunidades en su gran mayoría no cuentan aún con un adecuado servicio de energía eléctrica o no tienen acceso en su defecto (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-, 2019).

Es necesario evaluar el potencial energético de las zonas apartadas del país en cuanto a fuentes renovables tales como la eólica, solar, biomasa para suplir las necesidades energéticas de las comunidades que habitan en esas zonas y de la misma manera no depender de fuentes tradicionales de energía. Es el caso del corregimiento de El Danubio en el municipio de Dagua (Valle del Cauca), donde la comunidad no cuenta con un adecuado servicio de energía eléctrica debido a su ubicación geográfica y a las redes eléctricas rudimentarias.

### 1.1.1 Identificación del problema

El problema del acceso óptimo al servicio de energía eléctrica en el corregimiento el Danubio se debe a estos factores previamente identificados:

Acceso remoto a la zona: Este corregimiento se encuentra en una zona de difícil acceso terrestre, es decir su acceso se realiza a través de trochas y caminos de herradura:

A. Por lo tanto, no se garantiza el adecuado tendido de redes eléctricas en la zona y el acceso de técnicos que realicen el mantenimiento de las mismas.

B. Abandono estatal y de las entidades públicas locales: el gobierno tanto estatal como municipal muestra poco interés por garantizar el adecuado servicio y no realiza inversiones para la adecuación del sistema de redes eléctricas.

Los anteriores ítems se constituyen como las causas del problema de abastecimiento de energía en el corregimiento el Danubio. Las consecuencias del problema de óptimo acceso al servicio son las siguientes:

a) Baja calidad de vida de los pobladores: esto se traduce en que la población tiene problemas en cuanto su salubridad y manutención. Entre estos problemas se encuentra la conservación de los alimentos de manera refrigerada y la carencia de espacios de ocio tal como ver televisión y escuchar radio y música y también la conservación de medicinas y vacunas.

b) Acceso limitado o nulo a las tecnologías de la información: esta situación produce una calidad baja en la educación de la población ya que sin energía eléctrica no es posible el acceso a computadores u otros dispositivos tecnológicos esenciales para la comunicación y el aprendizaje.

c) Deficiencia en el sistema educativo: sin el acceso a la electricidad, los estudiantes de la zona se limitan en su capacidad de aprendizaje dado que no cuentan con herramientas y equipamientos para llevar a cabo su proceso educativo, tampoco cuentan

con las condiciones de comodidad que son esenciales en este proceso como por ejemplo tener ventiladores o aires acondicionados, así como computadores.

d) Limitación de la actividad económica: esta comunidad podría tener un desarrollo económico significativo debido a que esta zona tiene un alto potencial turístico. Un servicio de energía eléctrica óptimo ayudaría a fomentar la infraestructura necesaria para dicha actividad. Sin embargo, dicha actividad carece de una infraestructura sólida. También se limita el comercio y las actividades agroindustriales.

e) Problemas de salubridad: la falta de energía eléctrica influye en la conservación de los alimentos lo que conlleva a la propagación de enfermedades producidas por microorganismos. Otro problema referente a la salud pública es que sin energía eléctrica no se cuentan con los insumos y equipos médicos para atender a la población por lo tanto esto obliga a que en la mayoría de los casos los pobladores se desplacen hasta cabeceras municipales para acceder a servicios de salud.

El problema se desarrolla en un contexto de una comunidad rural del corregimiento el Danubio en el municipio de Buenaventura. Esta comunidad en su mayoría no tiene acceso de calidad al servicio de energía eléctrica, limitando como tal su desarrollo económico y social. La comunidad que tiene acceso a la energía eléctrica cuenta con un servicio de mala calidad y sujeto a continuos cortes e interrupciones, el resto que habita en veredas y zonas apartadas de ese corregimiento no cuenta con el servicio de energía. Es por esto y por la necesidad de un acceso de calidad que involucre fuentes de energía alternativas que se propone un sistema de generación de energía que supla las demandas energéticas de la comunidad renovables (solar, eólica, biomasa).

### **1.1.2 Pregunta problema**

La pregunta problema que se formula es la siguiente:

¿Se puede evaluar la autosuficiencia energética a partir de fuentes renovables para suplir las necesidades de energía eléctrica a la comunidad de El Danubio corregimiento de Dagua?

## 1.2 Justificación

El proyecto se desarrolla con base en la necesidad de suministro de energía eléctrica a una comunidad de manera ininterrumpida. El sistema interconectado nacional no llega a todas las poblaciones de Colombia y se busca suministrar energía eléctrica de manera eficiente y durante las 24 horas del día. También por la coyuntura del cambio climático se busca el uso de fuentes que no contribuyan a la emisión de gases efecto invernadero. Cabe resaltar que, lo más importante sobre el estado actual de la energía en Colombia es el uso predominante de la energía hidroeléctrica. Los recursos como la biomasa, el viento y la energía solar representan menos del 4,2% de la generación de energía del país. El estado actual de la energía demuestra que muchos de los recursos ambientales de Colombia quedan por explotar en todo su potencial (Vita, 2020).

### 1.2.1 Justificación económica

Toda la comunidad educativa se beneficiará teniendo en cuenta que tendrán suministro de energía todo el tiempo y ayudando a su economía y bienestar, cuando se habla de energía renovable se cumple el objeto de la Ley 1715:

*“promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”* (Congreso de la República, 2014)

Lo anterior con el fin de contribuir a la competitividad económica del país a través de la protección del medio ambiente y los recursos naturales y la promoción del uso sostenible de energías no convencionales consolidando una cultura de manejo eficiente y sostenible de los recursos naturales a lo largo de la cadena energética.

## **1.2.2 Justificación ambiental**

Este proyecto le apuesta al cuidado del medio ambiente y a la utilización responsable de los recursos naturales por lo tanto tomamos el concepto de la ley 1715:

Fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER). Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los, mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015).

La política energética global que promueve la implementación de energías renovables se ha basado principalmente en el problema Global del Cambio Climático y ha sido señalada por los países industrializados al confirmarse la alta participación que tienen las actividades antropogénicas en la generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y con la evidencia de los efectos nocivos que han generado las variaciones climáticas, se declara el Cambio Climático como un problema ambiental de carácter global y se comienza a tomar medidas globales al respecto (Congreso de la República, 2014).

## **1.2.3 Justificación social**

El proyecto ofrece un impacto social positivo dentro de la comunidad del corregimiento del Danubio, debido a su vulnerabilidad donde el desarrollo no ha podido llegar, por lo tanto, cuando se intervienen esta clase de comunidades con una adecuada gestión energética genera un aumento de la calidad de vida de los habitantes y proporciona soluciones sostenibles a largo plazo contribuyendo a la auto sostenibilidad local sin implicar grandes daños ambientales, en consecuencia, contribuye al uso eficiente de los recursos y mitiga el cambio climático.

### **1.2.4 Justificación técnica**

Con la evaluación objetivo de este proyecto se busca brindar un correcto, eficiente y práctico uso de energía las 24 horas del día, utilizando energía renovable principalmente la energía solar, hidráulica y la biomasa.

### **1.2.5 Justificación académica**

Con el desarrollo del proyecto se pretende ofrecer a los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Farallones en la ciudad de Cali, una contribución para ampliar y reforzar los conocimientos en el área curricular adquiridos a lo largo de la carrera profesional relacionados con la generación de energía renovable con fuentes naturales, además de involucrar grupos de la sociedad que son vulnerables.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar la autosuficiencia energética de un sistema que supla las necesidades de energía eléctrica de la comunidad de El Danubio, corregimiento de Dagua (Valle del Cauca).

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estimar la demanda energética de la comunidad y realizar las curvas de demanda para un período de tiempo, así como calcular la potencia de diseño para la demanda de energía.
- Estimar las fuentes de energía disponibles para determinar y seleccionar las aprovechables que sirvan para diseñar el bloque energético mixto.
- Seleccionar y diseñar los componentes de la planta que generaría la potencia necesaria para satisfacer la demanda energética de la comunidad

- Realizar el análisis económico y ambiental, así como determinar la factibilidad técnica de una posible implementación de la planta de generación de potencia.

# Capítulo 2

## 2.1 Marco teórico

La energía renovable es la energía producida a partir de fuentes que no se agotan o que pueden reponerse durante la vida de un ser humano. Los ejemplos más comunes incluyen energía eólica, solar, geotérmica, de biomasa e hidroeléctrica (Portafolio, 2016). Esto contrasta con las fuentes no renovables como los combustibles fósiles. Lo que significa que las energías renovables están desplazando cada vez más a los combustibles fósiles en el sector energético, ofreciendo el beneficio de menores emisiones de carbono y otros tipos de contaminación. Pero no todas las fuentes de energía comercializadas como "renovables" son beneficiosas para el medio ambiente. La biomasa y las grandes represas hidroeléctricas crean compensaciones difíciles al considerar el impacto en la vida silvestre, el cambio climático y otros problemas (Foster & Elzinga, 2017).

En este contexto, la energía renovable, denominada energía limpia con frecuencia, descende de fuentes o procesos naturales que se reponen constantemente. Por ejemplo, la luz del sol o el viento siguen brillando y soplando, incluso si su disponibilidad depende del tiempo y el clima. La literatura que discute políticas para apoyar la expansión de las fuentes de energía renovables ha ido en aumento en los últimos años. Si bien una considerable investigación se ha centrado en los diferentes esquemas de apoyo de Europa, otros artículos discuten el apoyo a las energías renovables desde una perspectiva más global. De análisis generales, yendo a pedazos con un enfoque en actores globales clave como China o Australia, Brasil y Sudamérica. Entre las razones que dan varios estudios para justificar el apoyo a las energías renovables, los elevados costes de capital iniciales de las inversiones en fuentes de energía renovables son primordiales. Dado que las fuentes de energía renovables no pagan los costos de combustible, la mayoría de los costos de capital deben incurrirse en el inicio de la vida útil de un proyecto. Esto hace que las fuentes de energía renovables sean más sensibles a los costes financieros que las



fuentes de energía convencionales. Por lo tanto, abordar los riesgos involucrados en la obtención del capital necesario para realizar inversiones es clave. Esto es especialmente cierto para países como Colombia, donde diversos tipos de riesgo aumentan los costos del capital financiero (Acciona, 2020).

Otro aspecto de la literatura se centra en las soluciones fuera de la red y el papel de las fuentes de energía renovable en la provisión de generación de electricidad distribuida y un mayor acceso a la electricidad en regiones fuera de la red. Según un estudio que se centró en Nigeria y Etiopía, dependiendo de la densidad de población y los niveles de ingresos de las diferentes regiones, las energías renovables y especialmente la fotovoltaica ofrecen una alternativa asequible y sin emisiones de carbono para ampliar el acceso a la electricidad a través de la extensión de la red, la construcción de micro-redes y la desconexión (Báez & Forero, 2018). Para Colombia, Mamaghani et al., (2016), analizaron el potencial de diferentes combinaciones de energía fotovoltaica, eólica y diésel para extender el acceso a la electricidad en áreas remotas fuera de la red en Chocó, La Guajira y Boyacá. Concluyen que las configuraciones completamente renovables son las más preferidas desde una perspectiva ambiental y económica a largo plazo. No obstante, debido a las elevadas inversiones de capital iniciales, es posible que no se invierta en estas configuraciones. Otros estudios también llegan a conclusiones similares en diferentes lugares de Colombia.

En un contexto nacional, la energía renovable se puede desarrollar bajo dos escenarios en Colombia. El primero es el mercado eléctrico en el que las tecnologías renovables están reguladas por las mismas condiciones que se aplican a otras tecnologías (generación a gran, mediana o pequeña escala). Las plantas de energía renovable se consideran plantas pequeñas según las reglas de distribución de energía. La alternativa es el suministro de energía en áreas rurales ubicadas en zonas no interconectadas de Colombia (Hernández, 2020).

Las energías renovables, incluidas la solar, la eólica, la hidráulica, los biocombustibles y otras, se encuentran en el centro de la transición hacia un sistema energético menos intensivo en carbono y más sostenible. En marcado contraste con todos los demás combustibles, las energías renovables utilizadas para generar electricidad crecerán casi un 7% en 2020. Se prevé que la demanda mundial de energía disminuya un 5%, pero los

contratos a largo plazo, el acceso prioritario a la red y la instalación continua de nuevas plantas son todo ello apuntalando un fuerte crecimiento de la electricidad renovable. Esto compensa con creces la disminución de la bioenergía para la industria y los biocombustibles para el transporte, principalmente como resultado de una menor actividad económica. El resultado neto es un aumento general del 1% en la demanda de energía renovable en 2020 (Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), 2016).

En este contexto, aunque los sistemas de energía renovable son mejores para el medio ambiente y producen menos emisiones que las fuentes de energía convencionales, muchas de estas fuentes aún enfrentan dificultades para ser implementadas a gran escala, incluidas, entre otras, barreras tecnológicas, altos costos de capital inicial y desafíos de intermitencia.

### **2.1.1 Autosuficiencia energética.**

Es la capacidad de suplir de energía sin necesidad de recurrir a fuentes externas. Es decir, generar su propia energía para cubrir las necesidades de esta.

### **2.1.2 Demanda energética**

La *demanda* se define como la potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese parámetro se denomina *intervalo de demanda*, y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda (Espina, 2017).

Como su nombre lo indica, la energía se puede estimar en diferentes niveles, y eso depende de la aplicación que se pretenda. Por ejemplo, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son más flexibles a la intermitencia de la energía solar, ya que la red de servicios públicos se utiliza como fuente de respaldo cuando surge una mayor demanda de energía. Con los sistemas fotovoltaicos autónomos, dado que la energía se entrega instantáneamente a la carga sin respaldo de la red pública, los requisitos de carga son menos flexibles para el suministro de energía. Esa es una consideración al dimensionar los sistemas fotovoltaicos (Hernández, 2017).

Para todos los sistemas fotovoltaicos, el principal factor de dimensionamiento es el consumo de energía. Eso se puede estimar o calcular en función de la disponibilidad de datos energéticos. Los siguientes escenarios resumen los tipos de datos proporcionados a los diseñadores fotovoltaicos antes de dimensionar el sistema fotovoltaico (Espina, 2017):

### 2.1.3 Curva de carga

La curva de carga o curva cronológica es la representación gráfica de la carga (en kW o MW) en la secuencia de tiempo adecuada y el tiempo en horas. Muestra la variación de carga en la central eléctrica. Cuando se traza la curva de carga durante las 24 horas del día, se denomina curva de carga diaria. Si se considera el año, se denomina curva de carga anual. La curva de carga del sistema eléctrico no es la misma todo el día. Se diferencia de un día a otro y de una temporada a otra. La curva de carga se clasifica principalmente en dos tipos, es decir, la curva de carga de verano y la curva de carga de invierno (Ariza, 2013) (Figura 2-1).

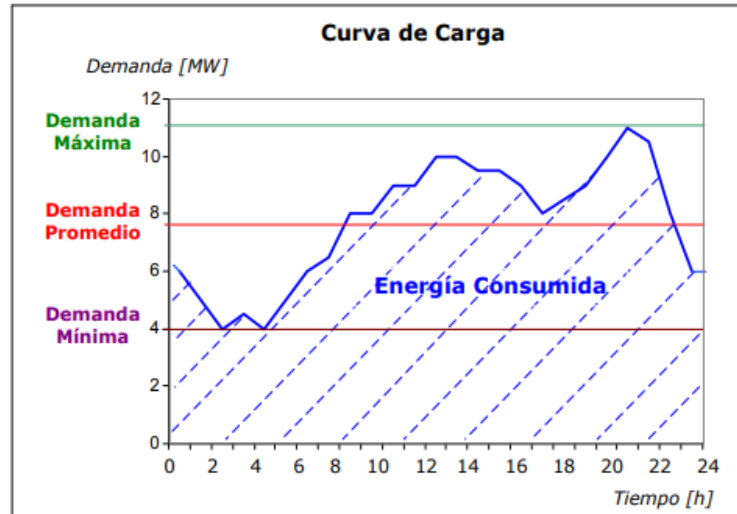
### 2.1.4 Potencia de diseño

Es la potencia que se requeriría para suplir la demanda energética diaria y se obtiene a partir de las curvas de carga y demanda (Ariza, 2013).

Dicha potencia se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\text{Potencia de diseño} = 1,2 * \text{Potencia máxima} \quad (1)$$

En la anterior ecuación el valor de 1,2 se toma como un factor de seguridad propuesto por algunos autores en donde este valor oscila entre 1,1 y 1,6. Esto tiene en cuenta las pérdidas que podría ocurrir al momento de generar y transmitir potencia eléctrica. Al tratarse de un análisis de alternativas, y no del diseño de un sistema específico que requiere de alta fiabilidad, se ha diseñado un método que sirve como una primera aproximación y que facilita los cálculos. Este método se basa principalmente en el método de dimensionamiento propuesto (Ariza, 2013).

**Figura 2-1:** Curva de carga y demanda.

Fuente: Propia

### 2.1.5 Suministro de energía

El suministro de energía ha cambiado significativamente en los últimos 100 años. En este contexto, se ve claramente una tendencia clara: la producción y el uso de energía son cada vez más sostenibles y eficientes. Este desarrollo se combina con diferentes problemas tecnológicos, ecológicos y sociales. No solo las preguntas sobre las fuentes de energía de bajo costo y las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también las cuestiones relativas a toda la cadena de valor, así como el compromiso y la aceptación por parte del usuario final, son de gran importancia. Debido a una variedad de posibilidades con respecto a la producción y utilización de energía y calor, es necesario tener en cuenta las circunstancias individuales y desarrollar soluciones específicas (Consejo Mundial de Energía, 2014).

Los sistemas de suministro de energía inteligente son soluciones que logran ahorros de energía y el suministro estable de electricidad mediante la combinación de varios generadores de energía distribuida que utilizan el equipo central de la subestación y la tecnología de conexión a la red. Desempeña un papel activo en una variedad de lugares y contribuye a la construcción de una comunidad inteligente (UPME, 2015).

El suministro de energía puede provenir de una amplia variedad de sistemas. Actualmente, los sistemas de suministro de energía se obtiene básicamente de tres formas: (1) combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural y carbón; (2) fisión nuclear; y (3) otras fuentes no basadas en combustibles fósiles como la biomasa y la energía hidroeléctrica. El nivel al que se usa cada una de estas fuentes de energía primaria tiene un impacto importante en las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente debido a los diferentes niveles de CO<sub>2</sub> que estas fuentes introducen en la atmósfera (Timmons, Harris, & Roach, 2019).

La electricidad se puede generar a partir de carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear y una variedad de formas renovables de energía, incluidos los recursos hidráulicos, la energía eólica, geotérmica, solar térmica y solar fotovoltaica. Además de los sistemas de suministro de energía que dependen de la extracción, el consumo y el agotamiento final de los recursos, hay otros que dependen de la energía natural fluye y, por tanto, renovable, si no inagotable. Estos van desde el gran y prácticamente inagotable flujo de energía del sol, hasta el flujo de agua más pequeño pero aún inagotable desde una gran altura, hasta el flujo comparativamente pequeño y probablemente agotable de vapor o agua caliente en los sistemas geotérmicos húmedos. En general, es útil tener en cuenta cómo cada sistema de suministro de energía opera actualmente al margen de la economía nacional y/o mundial y cómo podría operar en una economía cerrada o si fuera un componente dominante del suministro de energía (Timmons, Harris, & Roach, 2019).

## **2.2 Fuentes de energía**

Varias tecnologías de energía renovable se han mejorado tanto que ahora pueden proporcionar electricidad a un costo menor que otras opciones de suministro donde la extensión de la red es prohibitivamente costosa o antieconómica. Hay seis categorías amplias de tecnologías de energía renovable. Son biomasa, eólica, solar, hidráulica, geotérmica y marina. Pueden aprovecharse mediante el uso de una variedad de tecnologías o procesos de conversión para producir una variedad de servicios energéticos, que incluyen electricidad, calor (o refrigeración), combustibles, energía mecánica e iluminación. La competitividad de las diferentes tecnologías renovables en diferentes entornos depende de su costo y rendimiento, así como del costo local y la disponibilidad

de energía basada en fósiles. Todos estos factores aún varían ampliamente y dependen en gran medida de las condiciones locales.

En este sentido, las fuentes de energía son cualquier material a partir del cual se puede obtener energía, dichas fuentes se pueden clasificar en las siguientes:

### **2.2.1 Fuentes renovables:**

Son aquellas en donde el potencial es inagotable ya que proviene de manera continua como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008). Son principalmente la energía solar, hidráulica y la biomasa. En tal sentido, la eficiencia energética y las energías renovables ofrecen un gran potencial para reducir los efectos negativos de las crecientes tasas de consumo de energía asociadas con el crecimiento económico y el avance hacia modelos sociales más intensivos en energía (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

Las energías renovables son semilleros de energía limpia, inagotable y cada vez más competitiva. Se diversifican de los combustibles fósiles primordialmente en su multiplicidad, profusión y potencial de uso en cualquier parte del mundo, más que todo en que no provocan gases de efecto invernadero -que provocan el cambio climático- tampoco emisiones contaminantes. Sus costos también están disminuyendo y a un ritmo sostenible, mientras que la tendencia general de los costos de los combustibles fósiles va en la dirección opuesta a pesar de su volatilidad actual. El crecimiento de las energías limpias es imparable, como reflejan las estadísticas que elabora anualmente la Agencia Internacional de la Energía (AIE): representaron casi la mitad de toda la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2018, cuando constituyeron la segunda mayor fuente de electricidad a nivel mundial, detrás del carbón (Deutsche Welle, 2018).

Según la AIE, la demanda mundial de electricidad habrá aumentado en un 25% para 2040, su participación en el uso de energía final aumentará del 18 al 24% durante el mismo período, impulsada principalmente por las economías emergentes de India, China, África y Oriente Medio y Asia Sudoriental (Deutsche Welle, 2018).

Según el Índice de Transición Energética (2020), del Foro Económico Mundial, Colombia ha logrado el mayor avance en el área de energías renovables en América Latina y el Caribe. Además, Colombia ha recibido dos importantes reconocimientos internacionales por su compromiso con la transición energética. Primero, las Naciones Unidas (ONU) eligieron a Colombia como uno de los siete países para liderar el diálogo global sobre transición energética en el Diálogo de Alto Nivel sobre Energía, que se llevará a cabo en la Asamblea General de la ONU (2021). En segundo lugar, Colombia fue designada como miembro principal del Consejo de la Asamblea General de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), en representación de América Latina.

Colombia tiene una ubicación privilegiada para las energías renovables. Según registros oficiales de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2020), existe una radiación solar promedio de 4.2 kilovatios hora por metro cuadrado (KW / h por m<sup>2</sup>) por día en Colombia. Como referencia, los países con alto potencial de energía solar tienen un promedio de 3.7 KW / h por m<sup>2</sup> por día. También hay un gran potencial en energía eólica y biomasa. Actualmente, la matriz energética tiene un 68,3 por ciento de fuentes hidroeléctricas, un 30,7 por ciento de fuentes térmicas y un 0,98 por ciento de fuentes no renovables.

### **2.2.2 Fuentes no renovables:**

Son aquellas fuentes que existen en la naturaleza en cantidades limitadas. No se renuevan a corto plazo y se agotan cuando se utilizan. La energía no renovable incluye los combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. Las fuentes de energía no renovables solo están disponibles en cantidades limitadas y requieren mucho tiempo para reponerse. Dichas fuentes no renovables también se encuentran típicamente en partes específicas del mundo, lo que las hace más abundantes en algunas naciones que en otras. Por el contrario, todos los países tienen acceso al sol y al viento. Dar prioridad a la energía no renovable también puede mejorar la seguridad nacional al reducir la dependencia de un país de las exportaciones de países ricos en combustibles fósiles (Colino & Caro, 2010).

## **2.3 Energía solar**

El Sol, de forma directa o indirecta, es el origen de la mayoría de las energías renovables. La energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación

electromagnética, llegando una parte de esta energía a la atmósfera (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008). Una parte de esa cantidad de energía es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo.

Por tal razón una parte de esa radiación es usada para aprovechamiento energético. La energía solar puede ayudar a reducir el costo de la electricidad, contribuir a una red eléctrica resistente, crear empleos y estimular el crecimiento económico, generar energía de respaldo para la noche y los cortes cuando se combina con el almacenamiento, y operar con una eficiencia similar tanto a pequeña como a gran escala. (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

**Energía solar disponible.** La energía del sol puede aprovecharse energéticamente de dos formas:

- **Térmica:** energía solar térmica de baja y media temperatura.
- **Eléctrica fotovoltaica:** energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura.

## 2.4 Energía eólica

En los últimos años, la energía eólica se ha convertido en una de las tecnologías de energía renovable más económicas. Hoy en día, las turbinas eólicas generadoras de electricidad emplean tecnología probada y probada y proporcionan un suministro de energía seguro y sostenible. En lugares buenos y con mucho viento, la energía eólica ya puede competir con éxito con la producción de energía convencional. Muchos países tienen considerables recursos eólicos, que aún están sin explotar. El desarrollo tecnológico de los últimos años, que ha traído turbinas eólicas más eficientes y fiables, está haciendo que la energía eólica sea más rentable. En general, los costos de energía específicos por kWh anual disminuyen con el tamaño de la turbina a pesar de las dificultades de suministro existentes. Las turbinas eólicas pueden proporcionar energía para uso in situ. En este sentido, el viento es causado por el calentamiento desigual de la atmósfera por el sol, las variaciones en la superficie terrestre y la rotación de la tierra. Las montañas, los cuerpos de agua y la vegetación influyen en los patrones de flujo del viento. Las turbinas eólicas convierten la energía del viento en electricidad girando palas en forma de hélice alrededor de un rotor. El rotor hace girar el eje de transmisión, que hace virar un generador eléctrico. Tres



factores clave afectan la cantidad de energía que una turbina puede aprovechar del viento: velocidad del viento, densidad del aire y área barrida (Cortés, 2013).

**Energía eólica disponible:** para el cálculo de la potencia disponible por unidad de área se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{Pot_{disp}}{A} = \dot{m} \frac{\bar{v}^2}{2} = \frac{\rho}{2} * \bar{v}^3 \quad (2)$$

Donde:

$$\dot{m} = ?$$

$$\frac{\bar{v}^2}{2} = ?$$

$$A = ?$$

**Energía eólica generada:** Para el cálculo de la potencia generada se utiliza la siguiente expresión:

$$Pot_{generada} = \frac{n\rho \cdot v^3 \cdot A}{2} \quad (3)$$

Dónde:

n: Eficiencia del generador

A: Área de las aspas.

$\rho$  : Densidad del aire

v : Velocidad del viento

## 2.5 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se obtiene convirtiendo la luz solar en electricidad mediante una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Es un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que se puede producir en instalaciones que van desde pequeños generadores para autoconsumo hasta grandes plantas fotovoltaicas. La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y renovable que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual ciertos

materiales son capaces de absorber fotones (partículas de luz) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica (Báez & Forero, 2018).

Debido al carácter intermitente del recurso solar, no se puede esperar que la energía solar crezca más allá de una fracción de la demanda total de energía eléctrica a menos que se pueda idear alguna forma de almacenamiento de energía. El desplazamiento de la producción de energía de referencia para el uso diurno más la potencia máxima representa aproximadamente el 17% de la capacidad instalada actual, y un estudio sugiere que la dependencia de la energía fotovoltaica para más del 13% de la energía, sin capacidad de almacenamiento, podría generar problemas graves (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

Entre tanto, las células solares normalmente se combinan en módulos que contienen hasta 72 células; varios de estos módulos están montados en conjuntos fotovoltaicos que pueden medir hasta varios metros de lado. Estos conjuntos fotovoltaicos de placa plana se pueden montar en un ángulo fijo orientado al sur, o se pueden montar en un dispositivo de seguimiento que sigue al sol, lo que les permite capturar la mayor cantidad de luz solar durante el transcurso de un día. Varias matrices fotovoltaicas conectadas pueden proporcionar suficiente energía para un hogar; Para aplicaciones industriales o de grandes empresas de servicios eléctricos, se pueden interconectar cientos de matrices para formar un solo sistema fotovoltaico grande (Iberdrola, 2019).

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. La electricidad generada con energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna, con las mismas características que la electricidad de la red eléctrica, utilizando inversores (Acciona, 2020). Ver figura 2-2.

Para caracterizar los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar:  $1000 \text{ W/m}^2$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) de radiación solar y  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico); a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo. La energía producida por los sistemas fotovoltaicos se calcula multiplicando su potencia nominal por el número de horas sol pico, dado que no todas las

horas de sol son de la intensidad considerada como pico ( $1000 \text{ W/m}^2$ ). El número de horas sol pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día (en  $\text{Wh/m}^2$ ) entre  $1000 \text{ W/m}^2$  (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

**Partes de un sistema solar fotovoltaico.** Una instalación solar fotovoltaica se constituye de los siguientes componentes:

- **Paneles fotovoltaicos:** generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).
- **Baterías:** almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla, por ejemplo, en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos o bien de noche. Para el cálculo del número de baterías se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Número de baterías en paralelo} = \frac{\text{Capacidad necesaria batería}}{\text{Capacidad batería seleccionada}}$$

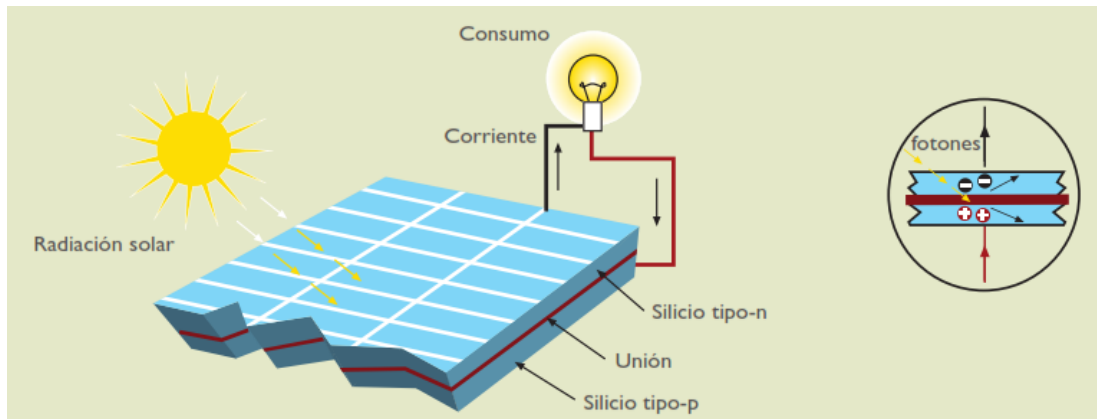
*Baterías en serie*

$$= (\text{Tensión nominal del sistema} \div \text{Tensión nominal batería}) \\ * \text{número de baterías en paralelo}$$

- **Reguladores de carga:** controla el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas y alargando así la vida útil de las baterías.
- **Inversores:** transforman la corriente continua (CC) en alterna (CA), que es la que se utiliza de forma habitual en los hogares. Si los consumos fuesen en CC, se podría prescindir del inversor. En algunos países en vías de desarrollo las instalaciones en CC tienen una gran importancia, llegando a miles de sistemas instalados (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008) .

El número de paneles que han de instalarse se debe calcular teniendo en cuenta:

- La demanda energética en el mes más desfavorable (normalmente meses de invierno).
- La radiación máxima disponible en dicho mes dependerá de la zona en cuestión, la orientación y la inclinación de los módulos fotovoltaicos elegida.

**Figura 2-2:** Panel solar fotovoltaico

Fuente: Instituto Tecnológico de las Canarias, (2014).

La figura anterior hace referencia a la célula solar fotovoltaica. En este contexto, la física de la celda fotovoltaica es muy similar a la del diodo de unión. Cuando la luz es absorbida por la unión, la energía de los fotones absorbidos se transfiere al sistema de electrones del material, lo que da como resultado la creación de portadores de carga que se separan en la unión. Los paneles fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, capturan la energía del sol y la convierten en electricidad. Las células fotovoltaicas suelen ser muy pequeñas, pero cuando se combinan para formar paneles solares y matrices solares, pueden ser muy eficientes. Cuando el sol brilla sobre las células, se crea un campo eléctrico. Cuanto más fuerte es el sol, más energía eléctrica se produce. Sin embargo, las células no necesitan luz solar directa para funcionar y aún pueden producir electricidad en un día nublado. La electricidad generada por paneles fotovoltaicos se utiliza principalmente para alimentar electrodomésticos y equipos. El sistema de paneles fotovoltaicos más típico es el sistema conectado a la red, que como su nombre lo indica, está conectado a la red nacional. Esto significa que por la noche, cuando los paneles solares no funcionan, puede utilizar la electricidad de la red. El segundo tipo de sistema de paneles fotovoltaicos es el sistema autónomo, que no está conectado a la red. En este caso se puede agregar baterías solares al sistema para tener electricidad cuando oscurezca. Este sistema puede ser realmente conveniente en áreas remotas donde no hay alternativa a otras fuentes de electricidad (Sobrino, 2008).

## 2.6 Energía de la biomasa

La biomasa se ha utilizado desde que la gente empezó a quemar leña para cocinar alimentos y mantenerse calientes. La madera sigue siendo la mayor fuente de energía de biomasa en la actualidad. Otras fuentes incluyen cultivos alimentarios, plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura o la silvicultura, algas ricas en aceite y el componente orgánico de los desechos municipales e industriales. Incluso los humos de los vertederos (que contienen metano, el principal componente del gas natural) pueden utilizarse como fuente de energía de biomasa. La biomasa se puede utilizar para combustibles, producción de energía y productos que de otro modo se fabricarían a partir de combustibles fósiles. El uso de energía de biomasa tiene el potencial de reducir en gran medida las emisiones de gases de efecto invernadero. La quema de biomasa libera aproximadamente la misma cantidad de dióxido de carbono que la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, los combustibles fósiles liberan dióxido de carbono capturado por la fotosíntesis hace millones de años, un gas de efecto invernadero esencialmente "nuevo". La biomasa, por otro lado, libera dióxido de carbono que se equilibra en gran medida con el dióxido de carbono capturado en su propio crecimiento (dependiendo de cuánta energía se utilizó para cultivar, cosechar y procesar el combustible). Sin embargo, los estudios han encontrado que la tala de bosques para cultivar biomasa da como resultado una penalización de carbono que tarda décadas en recuperarse, por lo que es mejor si la biomasa se cultiva en tierras previamente taladas (De Lucas, Del Peso, Rodríguez, & Prieto, 2012).

### Conversión de biomasa en energía

La biomasa se convierte en energía a través de varios procesos, que incluyen:

- Combustión directa (quema) para producir calor
- Conversión termoquímica para producir combustibles sólidos, gaseosos y líquidos
- Conversión química para producir combustibles líquidos
- Conversión biológica para producir combustibles líquidos y gaseosos (De Lucas, Del Peso, Rodríguez, & Prieto, 2012).

La combustión directa es el método más común para convertir biomasa en energía útil. Toda la biomasa se puede quemar directamente para calentar edificios y agua, para calentar procesos industriales y para generar electricidad en turbinas de vapor. La

conversión termoquímica de biomasa incluye *pirólisis y gasificación*. Ambos son procesos de descomposición térmica en los que las materias primas de biomasa se calientan en recipientes cerrados presurizados llamados gasificadores a altas temperaturas. Se diferencian principalmente en las temperaturas del proceso y la cantidad de oxígeno presente durante el proceso de conversión (Secretaría de Energía República Argentina, 2008).

### Tipos de biomasa

- **Biomasa natural:** Fundamentalmente es leña procedente de árboles que crecen de forma espontánea, la cual ha sido tradicionalmente utilizada por el hombre para calentarse y cocinar. La biomasa natural establece la base del consumo energético de varios países en vía de desarrollo, pero su sobreexplotación está causando el acrecimiento de la desertización (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).
- **Biomasa residual:** Se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas; también se generan residuos orgánicos en la industria y en núcleos urbanos, denominados en este último caso RSU (Residuos Sólidos Urbanos). Además de producir electricidad, que puede hacer que las instalaciones sean autosuficientes aprovechando sus propios recursos (como, por ejemplo, en granjas, serrerías, industrias papeleras o depuradoras urbanas), generan un beneficio adicional, a veces más valorado que la propia generación de electricidad, que es el evitar la degradación del medioambiente eliminando estos residuos (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

**Energía disponible de la biomasa:** el cálculo de la energía disponible se realiza de la siguiente manera: Se considera una combustión directa de la biomasa (hojas secas)

- Para una combustión Directa el cálculo es el siguiente:

$$E_{disp} /semanal = m P_c$$

(4)

Dónde  $E_{disp}/Semanal$  es la energía disponible semanal a partir de la biomasa,  $m$  es la masa de la biomasa vegetal aproximada y  $P_c$  es el poder calorífico de la biomasa vegetal verde.

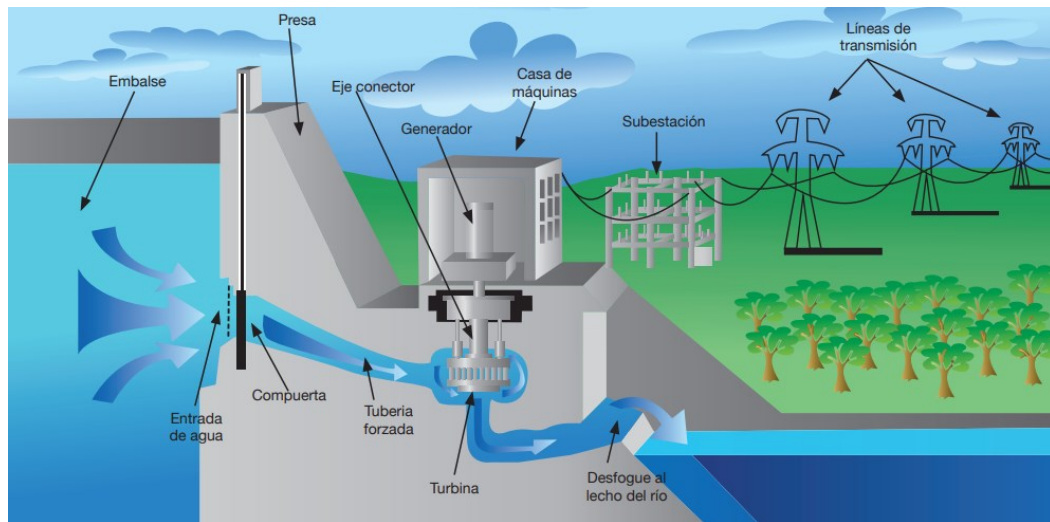
**Energía aprovechable de la biomasa:** Para una combustión directa, la máxima energía aprovechable está dada por la maquina térmica ideal Carnot en la cual la máxima eficiencia del sistema depende de las temperaturas del foco frío (temperatura ambiente) y del foco caliente (temperatura de la combustión). La turbina deberá manejar vapor de baja calidad, es decir, vapor con un alto contenido de humedad. El impacto de las gotas de líquido en las palas de la turbina causa erosión y es una fuente importante de desgaste. Por lo tanto, el vapor con calidades inferiores al 90% no se puede tolerar en el funcionamiento de las centrales eléctricas.

$$\eta_{carnot} = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}}$$

## 2.7 Energía hidráulica

La hidroelectricidad es la energía eléctrica que se genera cuando el agua que cae de los embalses o el agua que fluye de los ríos, arroyos o cascadas (corriente de río) se canaliza a través de turbinas de agua. La presión del agua que fluye sobre las palas de la turbina hace que el eje gire y el eje giratorio impulsa un generador eléctrico que convierte el movimiento del eje en energía eléctrica. Por lo general, el agua se represa y el flujo de agua que sale de la represa para impulsar las turbinas se controla mediante la apertura o cierre de compuertas, compuertas o tuberías. Esto se denomina comúnmente compuerta (Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC), 2018).

La energía hidroeléctrica, o hidroenergía, es una forma de energía renovable y tiene las ventajas de bajas emisiones de gases de efecto invernadero, bajos costos operativos y una alta respuesta rápida a la demanda de electricidad, que utiliza el agua almacenada en las represas, además de fluir en los ríos para generar electricidad en plantas hidroeléctricas. El agua que cae hace girar las palas de una turbina, que luego hace girar un generador que convierte la energía mecánica de la turbina giratoria en energía eléctrica. La energía hidroeléctrica es un componente importante de la producción de electricidad en todo el mundo (Ver Figura 2-3) (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinermin), 2019).

**Figura 2-3:** Central hidroeléctrica

**Fuente:** (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Colciencias, Universidad Javeriana e Ingfocol Ltda, 2015)

El sistema eléctrico de Colombia se caracteriza por una alta proporción de energía hidroeléctrica y una baja capacidad de generación de Energía Renovable Variable –ERV. En 2030, el país espera aumentar la capacidad instalada de ERV hasta en un 17%. Colombia actualmente produce 17.319 MW, siendo las hidroeléctricas el 64%, las centrales eléctricas de gas y carbón el 29%, y el 7% restante de unidades eólicas y de cogeneración (Montes, 2019). En el 2019, el gobierno nacional realizó una subasta de energía con cargo por confiabilidad y otorgó compromisos para 17 nuevas instalaciones que incluyen, por primera vez, activos de generación eólica (1,160 MW) y solar (238 MW) que aumentarán la capacidad del sistema a 21,329 MW a partir de diciembre de 2022. El panorama para el sector eléctrico colombiano es prometedor, ya que el gobierno está desarrollando varios proyectos nuevos de generación de energía para acomodar la creciente demanda hasta el 2031. El proyecto hidroeléctrico Ituango de 2,4 GW que sufrió deslizamientos de tierra e inundaciones de su central eléctrica está realizando actividades de limpieza y participó con éxito en la última subasta de cargos por confiabilidad junto con otros proyectos por un total de más de cuatro GW (UPME, 2019).

La producción de electricidad mediante energía hidroeléctrica tiene algunas ventajas sobre otros métodos de producción de energía.



Ventajas de la energía hidroeléctrica:

- El combustible no se quema, por lo que la contaminación es mínima.
- El agua para hacer funcionar la planta de energía es gratuita por naturaleza.
- La energía hidroeléctrica juega un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero
- Costos de operación y mantenimiento relativamente bajos
- La tecnología es confiable y probada a lo largo del tiempo.
- Es renovable: la lluvia renueva el agua del depósito, por lo que el combustible casi siempre está allí (**Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC), 2018**).

Desventajas de las centrales eléctricas que utilizan carbón, petróleo y gas combustible:

- Utilizan recursos naturales valiosos y limitados
- Pueden producir mucha contaminación
- Las empresas deben excavar la tierra o perforar pozos para obtener carbón, petróleo y gas.
- Para las plantas de energía nuclear existen problemas de eliminación de desechos

Sin embargo, la energía hidroeléctrica no es perfecta y tiene algunas desventajas

- Altos costos de inversión
- Depende de la hidrología (precipitación)
- En algunos casos, la inundación de la tierra y el hábitat de la vida silvestre
- En algunos casos, pérdida o modificación del hábitat de los peces.
- Restricción de arrastre o paso de peces
- En algunos casos, cambios en la calidad del agua del embalse y del arroyo

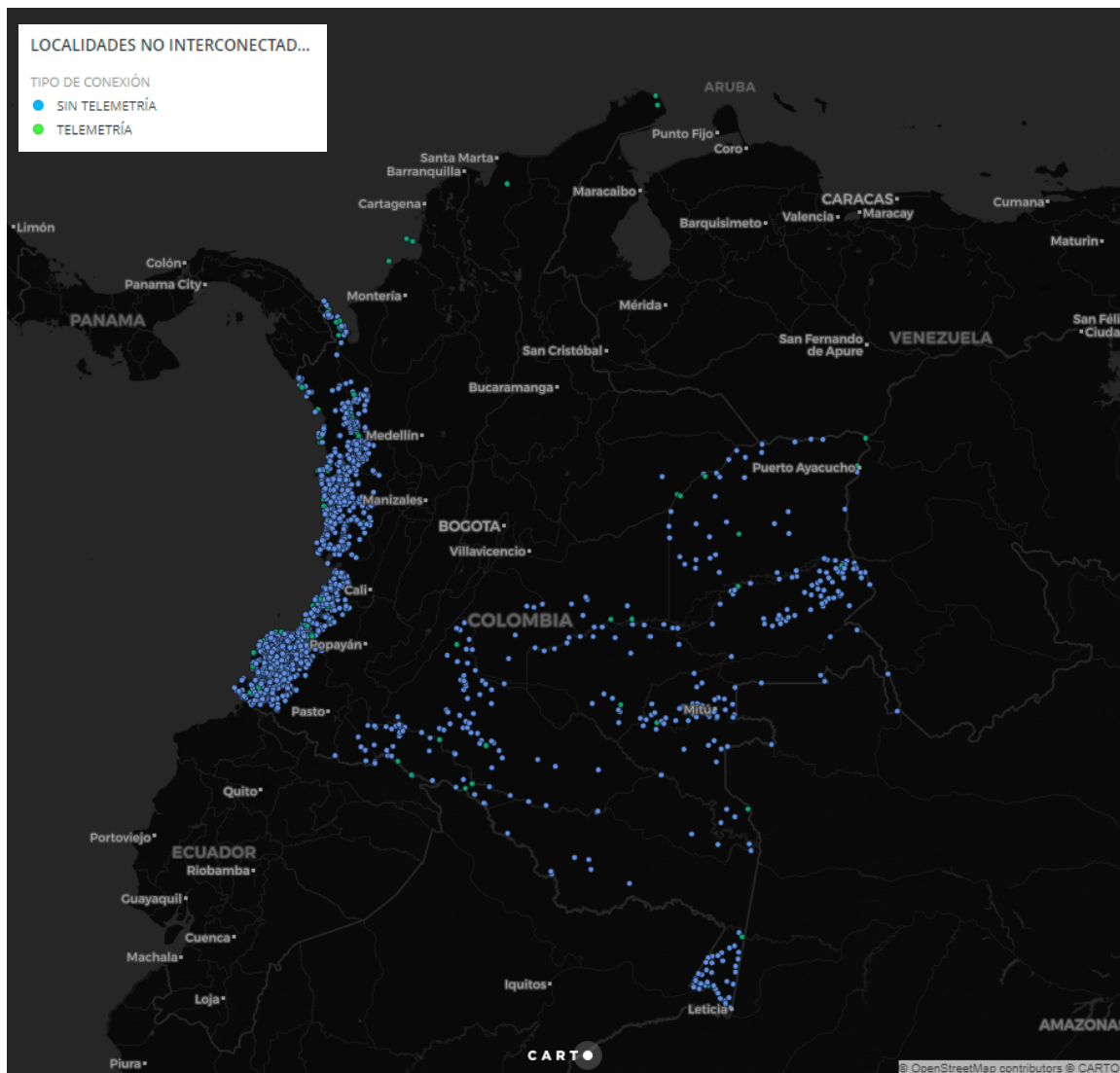
En algunos casos, el desplazamiento de poblaciones locales (Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC), 2018).

## **2.8 Conexiones rurales del sistema eléctrico en Colombia**

El sistema energético de Colombia está a punto de experimentar cambios revolucionarios. Fuentes de energía renovables no hidráulicas, principalmente promesa de energía solar y eólica para jugar un papel central en esta transformación entrante debido a su contribución a proporcionar un sistema flexible, fiable, asequible y limpia de energía. Sin embargo, su

función y despliegue mejorado no es seguro. La planificación energética en curso todavía tiene como objetivo aumentar la proporción de generación a carbón y gas; los proyectos en curso basados en fósiles duplicarían con creces la generación de energía basada en fósiles para el final de la década. Al mismo tiempo, la energía fotovoltaica y eólica se enfrenta a muchas barreras para ser desplegadas a gran escala, y solo representan un insignificante 0,10% de la capacidad instalada en 2018. En cuanto al contexto de la política energética de Colombia, es clave resaltar que las fuentes de energía renovables y especialmente la fotovoltaica juega un papel cuádruple en la transición hacia el sistema energético del futuro (UPME, 2019).

**Figura 2-4:** Poblados que aún no cuentan con sistema eléctrico



Fuente: (Vivas, 2019); (Carto, 2019).

El sector energético de Colombia tiene dos debilidades críticas: primero, el riesgo de no poder garantizar un suministro seguro de energía eficiente en una situación de estrés del sistema como la producida por eventos de cambio climático como el fenómeno de El Niño; y segundo, baja cobertura de comunidades remotas sin conexión a la red nacional. Se estima que más de 470.000 familias rurales de Colombia carecen de acceso a electricidad confiable. Por lo general, estas familias viven en comunidades rurales que están demasiado lejos del Sistema Nacional Interconectado, por lo que es económicamente inviable ampliar el área de servicio de la red (Restrepo, 2020).

En este sentido, el gran potencial sin explotar de Colombia para la electrificación rural se combina con la voluntad y el apoyo del gobierno para expandir el sector de energía renovable. Una gran parte del territorio de Colombia se encuentra fuera del Sistema Interconectado Nacional, y como la extensión de la red a las áreas rurales a menudo es prohibitivamente costosa, las soluciones descentralizadas y fuera de la red basadas en biomasa, geotermia, hidroeléctrica, solar y eólica presentan una alternativa viable a la energía, proporcionado por la red nacional. Estas soluciones, combinadas con la importante disposición a pagar en las zonas rurales, dan como resultado un futuro muy prometedor hacia el pleno acceso a la electricidad en Colombia. Una proporción considerable de la población de Colombia vive en áreas rurales, y algunas regiones incluso tienen tan solo dos personas por km<sup>2</sup>. La cobertura de energía eléctrica es del 93% en áreas urbanas y del 55% en áreas rurales. Aproximadamente 2,3 millones de personas viven fuera de las redes eléctricas.

Actualmente, existen 14 proyectos solares y eólicos que permitirán al país incrementar las fuentes renovables al 12% de la matriz energética. Según la UPME (2020), en un futuro cercano habrá más de 8.902 MW en proyectos de fuente no convencional representados en 165 proyectos que deberían estar en operación al 2022.

## **2.9 Descripción del Marco Regulatorio**

La ley 1715 (2014), (Ley de Energías Renovables No Convencionales) fue diseñada para promover y apoyar la inversión en fuentes de energía renovable, especialmente a través de incentivos fiscales y declarando la integración de las energías renovables en el mix

eléctrico nacional. Sus principales objetivos eran suministrar electricidad a áreas remotas, pero también explorar el potencial general de las fuentes de energía renovable no convencionales. Adicionalmente, la ley preveía un reglamento para la inyección de excedentes de electricidad y la creación de un fondo para inversiones en fuentes de energía renovable y gestión eficiente de la energía (en español: Fondo de Energías Renovables y Gestión Eficiente de la Energía - FENOGE). El capítulo III de la Ley 1715 (2014), definió con más detalle los incentivos e instrumentos financieros que promueven la generación de electricidad con tecnologías de energía renovable (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015).

A medida que se implementaba la Ley, el Ministerio de Minas y Energía (MME) emitió el Decreto 348 (2017), que definía qué tipo de proyectos de fuentes de energía renovable de pequeña escala deben ser apoyados y cómo. Regula el procedimiento para la obtención de los beneficios previstos por la Ley 1715 (2014), y en especial de la Resolución 045 (2016), emitida por la Unidad de Planeación Energética-Minera (UPME, 2016).<sup>11</sup> El objetivo de todas estas normativas es facilitar el proceso de conexión a red de las centrales eléctricas y la regulación de venta de excedentes de electricidad integrando la instalación de energía renovable y sistemas de energía solar para autoconsumo considerando sistemas de hasta 100 kW p. Esto incluye la exención del impuesto al valor agregado (IVA) sobre los costos de maquinaria, equipo y mano de obra. Se otorgaron incentivos fiscales adicionales con una reducción especial del impuesto sobre la renta (monto máximo a deducir: 50% del costo total de inversión dentro de 5 años) y exención del impuesto arancelario (arancel de importación) sobre maquinaria, equipo y materiales que no sean producido en Colombia. Además, la tasa de depreciación anual se incrementó hasta en un 20%. La implementación de la medición neta para recibir créditos de energía por el excedente de electricidad inyectada a la red está regulada en la Resolución 030 (2018), de la Comisión Reguladora de Energía y Gas de Colombia. En él, las condiciones para incorporarse a la red, la participación máxima de generación distribuida en carga total (tanto a nivel nodal como regional y nacional) (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015).

Al observar la evolución de las políticas actuales, se puede concluir que el gobierno colombiano ha optado por una combinación de apoyo a la inversión y, en menor medida, a la producción. Como mostrarán los resultados de la obtención de expertos, esto tiene

importantes implicaciones para la rentabilidad de los proyectos de fuentes de energía renovable. Antes de la Ley 1715 de 2014, la legislación previamente existente (Leyes 633 de 2000, 697 de 2001 y 788 de 2002), solo se limitaba a alentar retóricamente el despliegue de fuentes de energía renovable (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015).

## Capítulo 3.

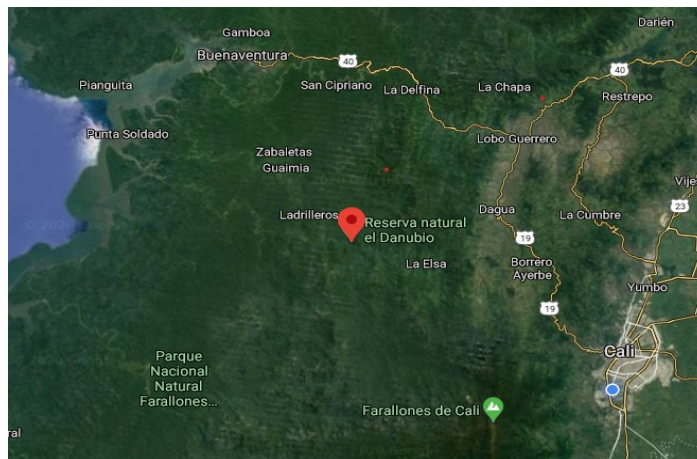
### 3.1 Desarrollo metodológico

#### Caracterización de los usuarios y determinación de la demanda energética

##### 3.1.1 Generalidades de la Zona de Estudio

El Danubio es un corregimiento perteneciente al municipio de Dagua (Valle del Cauca), ubicado en el extremo occidental del mismo municipio (Ver Figura 3-1).

**Figura 3-1:** Ubicación del corregimiento el Danubio en el Valle del Cauca



Fuente: Google Maps. Consulta el 2021

Según datos del Centro Internacional de Agricultura Tropical y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, esta zona se caracteriza por presentar un clima de tipo tropical húmedo influenciado por las corrientes de aire provenientes del Océano Pacífico las cuales circulan en dos direcciones: del mar hacia el continente provenientes del océano

Pacífico “con direcciones sudeste y noreste, y son transportadoras de humedad y son descargadas en forma de precipitaciones de acuerdo al relieve que se caracterizan por ser fuertes en la parte más baja de la Cordillera Occidental” (p. 23), y en forma de vapor de agua en la parte más alta de dicha cordillera (Centro Internacional de Agricultura Tropical y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2015).

Esta zona presenta vegetación de tipo selvático constituyéndose en vegetación de tipo húmedo cálido, es decir, la gran mayoría de la vegetación está conformada por árboles frondosos, helechos y otras especies como matorrales húmedos y musgos (Centro Internacional de Agricultura Tropical y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2015).

De acuerdo con datos suministrados por la comunidad y fuentes municipales el corregimiento de El Danubio presenta una población de aproximadamente 300 personas distribuidas en 55 viviendas cobijadas bajo la figura de Consejo Comunitario de Comunidades Negras. (Ver Figura 3-2).

**Figura 3-2:** Viviendas del corregimiento El Danubio



Fuente: Propia del Corregimiento El Danubio

### 3.1.2 Obtención de la información sobre los usuarios y habitantes

En este estudio se obtuvo la información primaria sobre los habitantes de la zona y los posibles hábitos de consumo de aparatos que consumen energía eléctrica al día para establecer la demanda energética.

Se realizó un sondeo de 55 familias en la que viven aproximadamente entre 4 y 6 personas por cada familia de acuerdo con lo que se indagó en una visita al caserío de El Danubio. En el anexo A se agrega el formato de esta encuesta.

#### Descripción de la encuesta:

Estadísticamente se obtuvo un tamaño de muestra de la siguiente manera:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

N: tamaño de la población

Z: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e: Error de estimación máximo aceptado.

p: Probabilidad que ocurra el evento estudiado

q = (1-p): Probabilidad que no ocurra el evento estudiado.

Usando un tamaño de población de 55 familias, asignando un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 3% se obtiene un valor de z de 1,96. Se desconoce el valor de p y de q, por lo tanto se asigna al primero 0,5. Todos estos datos se reemplazan en la anterior expresión y se obtiene el siguiente resultado numérico:

$$n = \frac{55 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,03^2 * (55 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5} = 26,7$$

En el resultado anterior se obtendría una muestra aproximada de 27 familias. De ese sondeo se tomó una muestra de 20, debido a que por la situación actual de pandemia de COVID 19 no se encuestaron a todas las familias del corregimiento.



El estudio arrojó que la mayoría de las familias viven en una situación económica precaria, es decir, viven del día a día. Estas, en su mayoría no tienen acceso al servicio de energía eléctrica durante gran parte del día, sin embargo, existen familias que si consumen energía eléctrica en especial para recargar teléfonos móviles, iluminación y entretenimiento. Los anteriores resultados de la encuesta se muestran en el Anexo B.

El estudio tuvo en cuenta lo siguiente:

- Uso actual de la energía eléctrica
- Usos adicionales y como usaría la energía eléctrica si dispusiera de la misma las 24 horas del día.
- Tipos de electrodomésticos y otros aparatos, así como su período de uso.

En la primera parte del estudio se determinó lo siguiente:

#### **Uso actual de la energía eléctrica.**

De la muestra de 20 familias un 50% no cuenta con energía eléctrica de manera continua. De este número de familias se determinó el uso de la energía eléctrica. Los usos que existen de la energía eléctrica actualmente son los siguientes:

- Iluminación
- Refrigeración
- Entretenimiento
- Otros usos: cargadores de baterías de teléfonos móviles, planchas.

Los resultados para el sector iluminación se muestran en la tabla 3-1:

**Tabla 3-1:** Cantidad de aparatos de iluminación por familia

Número de familias	Número de aparatos (bombillas LED)
2	1
5	2
3	3

Fuente: Propia

La tabla anterior evidencia que, de las 10 familias que cuentan con servicio de energía eléctrica 8 cuentan con al menos 2 bombillas LED en su vivienda. En promedio cada familia contaría con 2 bombillas, esto se debe a que las viviendas son muy pequeñas en espacio y también por la limitación en sus instalaciones eléctricas.

En el caso del sector refrigeración se realizó la pregunta a las 10 familias sobre la existencia de nevera en su vivienda. Los resultados se muestran en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Disponibilidad de neveras en las familias

Disponibilidad de aparato	Número de familias
Tienen nevera	6
No tiene nevera	4

Fuente: Propia

El resultado anterior indica que de las diez familias 6 tienen nevera en su vivienda. A continuación, se muestran los resultados para el sector entretenimiento: televisores, radios, equipos, computadores (Tabla 3-3).

**Tabla 3-3:** Cantidad de aparatos de entretenimiento por familia

Número de familias	Número de aparatos (sector entretenimiento)
3	1
4	2
3	3

Fuente: Propia

Este resultado muestra que estas 10 familias cuentan con al menos un aparato de entretenimiento, en este caso televisores, principalmente. El máximo de aparatos que poseen estas familias es de 3. A continuación, se muestran los resultados del sector otros usos (Tabla 3 -4).

**Tabla 3-4:** Cantidad de otros aparatos por familia

Número de familias	Número de aparatos (otros aparatos)
3	1
4	2
3	3

Fuente: Propia

En general estas familias usan cargadores de teléfonos móviles, y en algunos casos planchas para la ropa.

De las familias encuestadas que cuentan con servicio de energía eléctrica se puede decir que en promedio cada una dispone de solamente dos bombillas incandescentes, algunas poseen nevera y todas poseen al menos un aparato de entretenimiento y otros aparatos como ventiladores, cargadores y artefactos de cocina.

En la segunda parte del estudio se pudo determinar los hábitos de consumo al usar los aparatos que poseen estas familias. Se determinaron las horas de consumo de los aparatos en los 10 hogares que cuentan con el servicio de energía eléctrica y se determina un promedio de consumo lo cual se muestra a continuación.

La tabla 3-5 muestra la potencia promedio nominal de aparatos comúnmente usados en el hogar.

**Tabla 3-5:** Consumo de promedio de ciertos aparatos

Aparato	Potencia Nominal Promedio (W)
Bombillas LED	8
Nevera	180
Televisor	75
Licuada	400
Ventilador	100
Radio	10

Fuente: Propia

### 3.1.3 Sector Iluminación

En el estudio realizado se logró establecer la manera en que los hogares consumen energía eléctrica al utilizar aparatos de iluminación. Para el caso de la bombilla incandescente se tienen los datos de consumo de potencia mostrados a continuación: Tabla 3-6. Las horas se toman como tal desde la 1am siendo 1 la una de la madrugada y así sucesivamente.

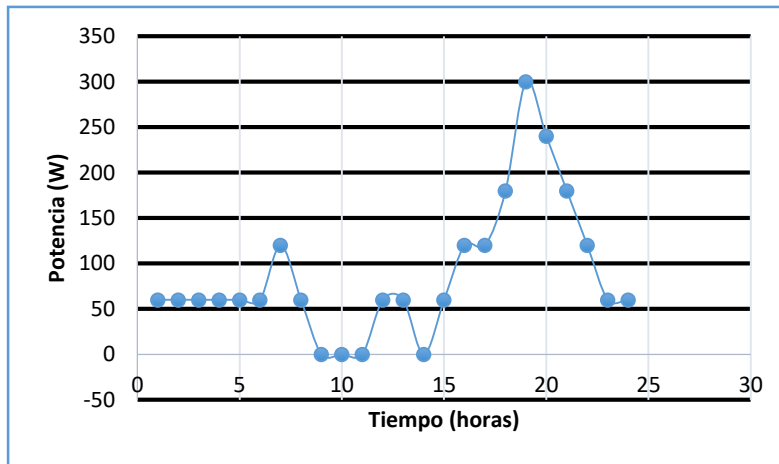
**Tabla 3-6:** Consumo de potencia de la bobilla LED

Hora	Número de aparatos	Potencia consumida (W)
1	1	60
2	1	60
3	1	60
4	1	60
5	1	60
6	1	60
7	2	120
8	1	60
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	1	60
13	1	60
14	0	0
15	1	60
16	2	120
17	2	120
18	3	180
19	5	300
20	4	240
21	3	180
22	2	120
23	1	60
24	1	60

Fuente: Propia

Estos resultados se consolidan en la gráfica 3-3 de tal manera que se pueda visualizar el comportamiento por las horas transcurridas en cuanto a la potencia consumida.

**Figura 3-3:** Potencia consumida por bombillas LED para un día en un hogar



Fuente: Propia

La anterior gráfica muestra el hábito de consumo promedio de los hogares que cuentan con energía eléctrica en la zona.

**Sector refrigeración.**

Los hogares del corregimiento El Danubio que cuentan con energía, utilizarían neveras cuyo consumo promedio se encuentra en 180 W.

**Sector Entretenimiento.**

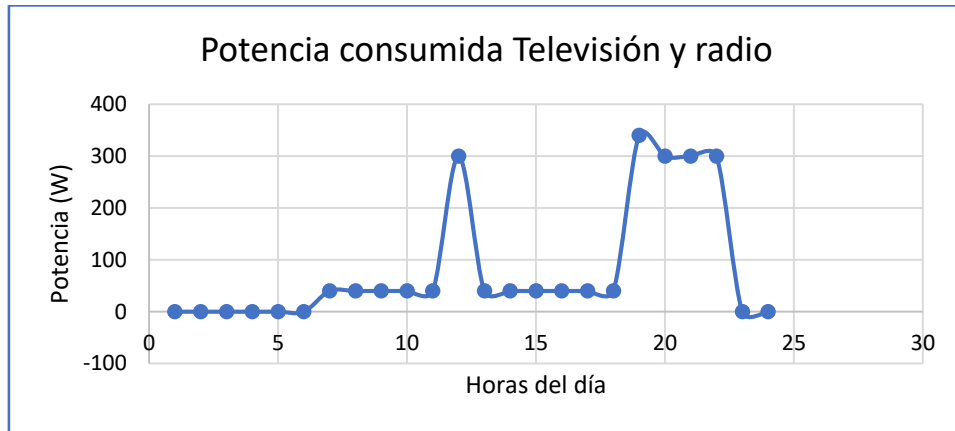
En este rubro se encuentra los televisores, radios y computadores. En el caso de los televisores el consumo se realiza durante 6 horas en la mayoría de los hogares de este corregimiento. La siguiente tabla muestra los consumos en diferentes horas del día. (Ver Tabla 3-7 y Figura 3-4).

**Tabla 3-7:** Potencia de consumo

Hora del día	Número de aparatos	Potencia consumida (W)
12M-1PM	1	300
7PM-11PM	1	300

Fuente: Propia

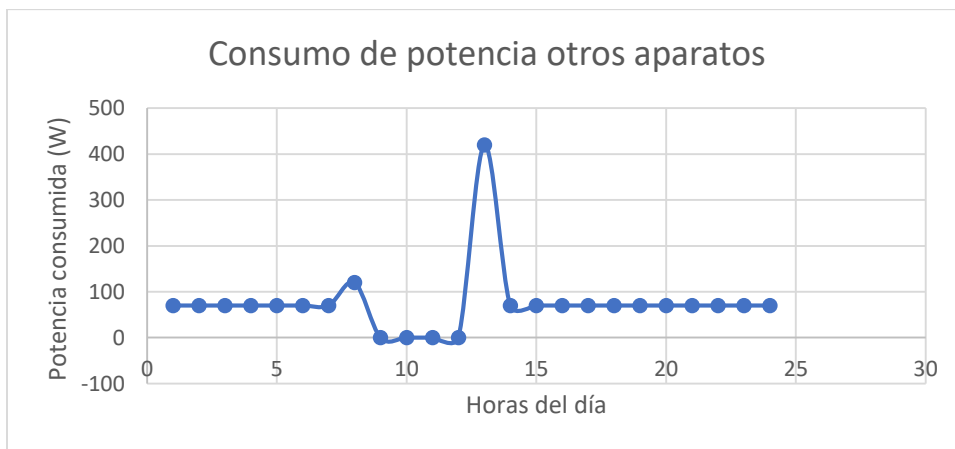
**Figura 3-4:** Potencia consumida tv y radio



Fuente: Propia

**Otros consumos.** En este rubro se tienen en cuenta los consumos por otros artefactos tales como ventiladores, licuadoras, planchas y otros dispositivos eléctricos (Ver Tabla 3-8). A continuación, se muestra la figura 3-4 en la que se consolida los consumos de los aparatos mencionados en los hogares en promedio. Un ventilador consume 80 W, una licuadora 400 W y una plancha 1000 W.

**Figura 3-5:** Consumo de potencia en otros artículos

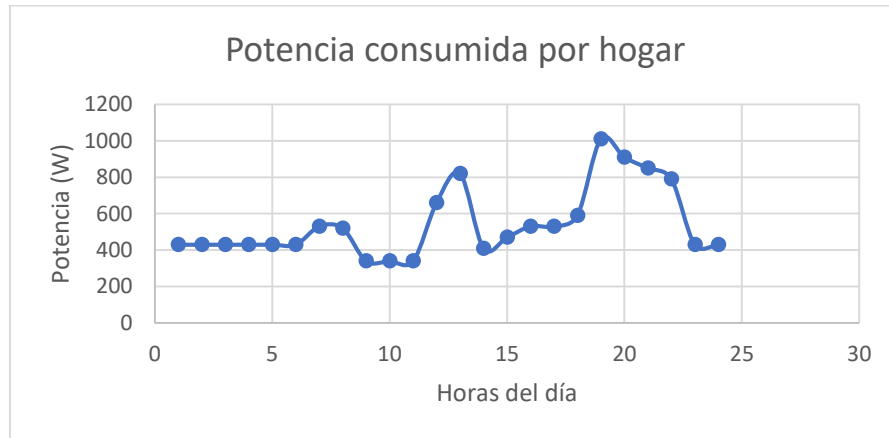


Fuente: El autor

En la anterior figura 3-5 se destaca que se mantiene un consumo de 70 W en buena parte del día. Esto se debe principalmente a que se mantiene encendido un ventilador. Sin

embargo, en las horas del mediodía el consumo de incrementaría a más de 400 W debido al uso de la licuadora y otros aparatos de manera simultánea. Con los datos anteriores se procede a calcular la demanda total de 4 potencia por hora por cada hogar en promedio. Esto se muestra en la siguiente figura 3-6:

**Figura 3-6:** Demanda total de potencia por hora por cada hogar en promedio



Fuente: propia

La anterior gráfica muestra el consumo consolidado por día en un hogar. Es notorio que los máximos consumos ocurren en las horas de la noche, ya que se utilizan dispositivos de iluminación, televisión simultáneamente. Estos datos mostrados anteriormente son un promedio del consumo de energía diario de los hogares del corregimiento El Danubio.

El consumo máximo que tienen los 10 hogares en promedio puede llegar a 1010 W (1.01kW) y ocurre a las 7 de la noche, mientras que el mínimo consumo promedio es de 340 W (0.340kW).

Se propone que cada familia consuma 1010 W como máximo teniendo en cuenta los tipos de aparatos que podrían utilizar, por lo tanto las 55 familias consumirían un máximo total de 55550 W (55.55kW) y un mínimo de 1870 W (18.7kW) en un día normal.

### Energía consumida por día.

Un estudio de consumo energético permite estimar el consumo en kWh por día de cada electrodoméstico como se muestra en la tabla 3-8. Para el cálculo del consumo energético se toma el número de horas de uso de cada aparato y se multiplica por la potencia nominal de cada aparato.

**Tabla 3-8:** Consumo energético en kWh para un hogar en promedio por cada día propuesto para el corregimiento de El Danubio

Aparato eléctrico	Cantidad	Potencia en uso [W]	Consumo de uso [kW]	Horas de Uso [h]	Epotdiaria=Cantidad*horas*P_nombre_ equipo [kW.h] por día
Nevera	1	180	0,18	9	1,62
Bombillas LED	2	8	0,008	13	0,104
Televisor	1	75	0,075	6	0,45
Ventilador	1	100	0,1	19	1,9
Licuada	1	400	0,4	0,05	0,02
Cargadores	1	12	0,012	2	0,024
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>775</b>	<b>0,775</b>	<b>49,05</b>	<b>4.118</b>

Fuente: Propia

La tabla 3-9 muestra la cantidad de energía eléctrica en kWh/día que un hogar en promedio del corregimiento El Danubio podría consumir en el día. Estos datos se estiman de acuerdo a la actividad que tendría cada familia en promedio teniendo en cuenta las limitaciones materiales y económicas.

En la tabla anterior (3-8), se agrega el consumo de cargadores para teléfono móvil puesto que cada familia podría tener acceso a un teléfono celular y de esta manera contar tanto con comunicación como con entretenimiento. El total de consumo diario por hogar y por comunidad se representa a continuación:



**Tabla 3-9:** Consumo energético total de un hogar y la comunidad

Ítem	Consumo por día kWh
Hogar	4,118
Comunidad de 55 hogares	226,49
Comunidad de 10 hogares (estudio)	41,18

Fuente: Propia

De acuerdo con la anterior tabla 3-9, la totalidad de la comunidad de El Danubio podría consumir un promedio de 226,49 kWh por día, mientras que, de acuerdo a las 10 familias objeto de este estudio, podrían consumir en promedio, 41,18 kWh por día. Este valor se obtiene multiplicando el consumo por cada hogar, por el número de familias que residen en El Danubio (55), asimismo, por el número de familias seleccionadas para el estudio, que son en total, 10. Con base en este valor de consumo se debe seleccionar y realizar la propuesta de bloque energético que supla esta necesidad que podría tener dicha comunidad.

**Cálculo de la potencia de diseño.** La potencia de diseño es un parámetro que se define de acuerdo con el consumo de potencia eléctrica. Con este valor se estima la cantidad de potencia necesaria a suministrar para suplir la demanda de energía. La potencia por suplir no es la misma potencia consumida, dado que existen pérdidas y otros factores que pueden hacer variar la cantidad de energía. Por lo tanto la potencia de diseño se calcula utilizando la ecuación 1.

$$Potencia\ de\ diseño = 1,2 * 55550W = 66660W$$

Se utiliza el 20 % de pérdidas debido a recomendaciones técnicas que tienen en cuenta las caídas de tensión, pérdidas en línea primaria y otras.

# Capítulo 4.

## 4.1 Evaluación de las Fuentes de Energía

En este apartado se efectúa el análisis de la disponibilidad de las fuentes de energía, tal como la energía solar, eólica y biomasa. Estas fuentes se escogieron debido a la disponibilidad inmediata de recursos en la zona y porque estas se consideran fuentes renovables y con un impacto ambiental menor.

Para realizar la evaluación de las fuentes de energía solar y eólica se recurren a datos de radiación solar y velocidad de viento proporcionados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2018) y posteriormente se realiza otra búsqueda en la plataforma POWER LARC (Centro de Investigación Langley de la NASA, 2021) y PVGIS (Comisión Europea, 2019). Las dos últimas plataformas proporcionan información en tiempo real de radiación y velocidad de viento.

## 4.2 Evaluación de la Energía Solar

La energía solar es aquella proveniente del sol, el cual genera radiación que se propaga en el espacio y llega a la Tierra.

La energía solar es una de las posibles alternativas de tecnología renovables que se puede establecer en la zona; esta fuente de energía se puede aprovechar de dos formas, una es la energía fotovoltaica la cual se fundamenta en el efecto fotoeléctrico y la otra es el uso de la energía solar térmica que usa la radiación para el calentamiento de un agente de transformación para la producción de potencia o la climatización.

Ya que el “efecto fotovoltaico” y el calentamiento térmico solar se produce al incidir la radiación proveniente del sol (fotones) sobre materiales que se definen como

semiconductores extrínsecos en un panel fotovoltaico o área colectora de un material reflectante o absolvedor para el caso térmico.

Para la evaluación de la energía solar disponible se consultó inicialmente el atlas solar del IDEAM, sin embargo, por la falta de datos precisos y exactos se recurre a la herramienta interactiva de la Comisión Europea, Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS, por sus siglas en inglés) en la cual se ofrece la posibilidad de obtener datos desde el año 2005 para ubicaciones geográficas exactas. A través de dicha herramienta se obtuvieron datos mensuales de irradiación solar para cada mes del año 2015. Estos datos se procesan de tal manera que se obtiene un promedio mensual para este año. A continuación, se muestran los valores promedio de radiación solar en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Radiación solar por cada mes del año de la zona de El Danubio.

Mes	Rango (kWh.m <sup>2</sup> /día)
Enero	5,3
Febrero	5,1
Marzo	5,2
Abril	5,2
Mayo	5,0
Junio	4,9
Julio	4,9
Agosto	5,3
Septiembre	5,5
Octubre	5,0
Noviembre	4,6
Diciembre	5,4

Fuente: (Comisión Europea, 2019)

Cada uno de los valores anteriores, fueron obtenidos calculando el promedio de radiación solar para cada mes durante el año 2015. De acuerdo a lo que se obtuvo, la mayor cantidad de radiación solar por día se encuentra en los meses de enero a mayo, agosto a octubre y diciembre, mientras que la cantidad más baja de radiación se encuentra en los meses de junio a julio y noviembre. Si se compara con la cantidad de radiación por día en la ciudad de Cali, esta es más baja dado que la radiación promedio en esta ciudad oscila entre 3,9 y 4,5 kWh/m<sup>2</sup> por día (Comisión Europea, 2019).

### 4.3 Evaluación de la Energía Eólica

La energía eólica es aquella proveniente del viento, el cual mueve las aspas de un generador que a su vez convierte la energía cinética en eléctrica.

Para poder calcular la energía eólica se tiene que estudiar las características del viento (velocidad, dirección, variabilidad, etc.), esta información se buscó inicialmente en las bases de datos del IDEAM, pero debido a que no se encontraron de manera precisa a través de esta entidad se utilizó la plataforma POWER LARC, la cual si permite obtener un conjunto de datos de manera precisa para cualquier zona del planeta.

Para el análisis de datos de velocidad de viento se toma en la mencionada plataforma datos por cada día de cada año desde el 2015 hasta el período actual. De esta manera para cada mes de cada uno de estos años se obtiene un valor promedio de velocidad de viento. Los resultados se muestran en la tabla 3-2.

De acuerdo con los datos del atlas de viento del IDEAM se obtuvieron valores mínimos y máximos de velocidad promedio para la zona de estudio los cuales se muestran en las Tablas 4-2 y 4-3.

Para la medición de la velocidad del viento se utiliza la unidad estándar de metro por segundo (m/s) reconocida por el Sistema Internacional de Unidades (SI). Sin embargo, en el ejercicio meteorológico operacional y de la aviación, usualmente se utilizan los nudos (kt). Otras unidades que se utilizan en la medición de la velocidad del viento son kilómetros por hora (km/h); millas por hora (mph), pies por segundo (ft/s). En la Tabla 4-2 se presenta la conversión de unidades.

**Tabla 4-2:** Conversión entre unidades de velocidad del viento

Conversion entre Unidades de Velocidad				
m/s	kt	mph	ft/s	km/h
1	1,944	2,2237	3,281	3,6

Fuente: (Ruíz, Serna, & Zapata, 2017)

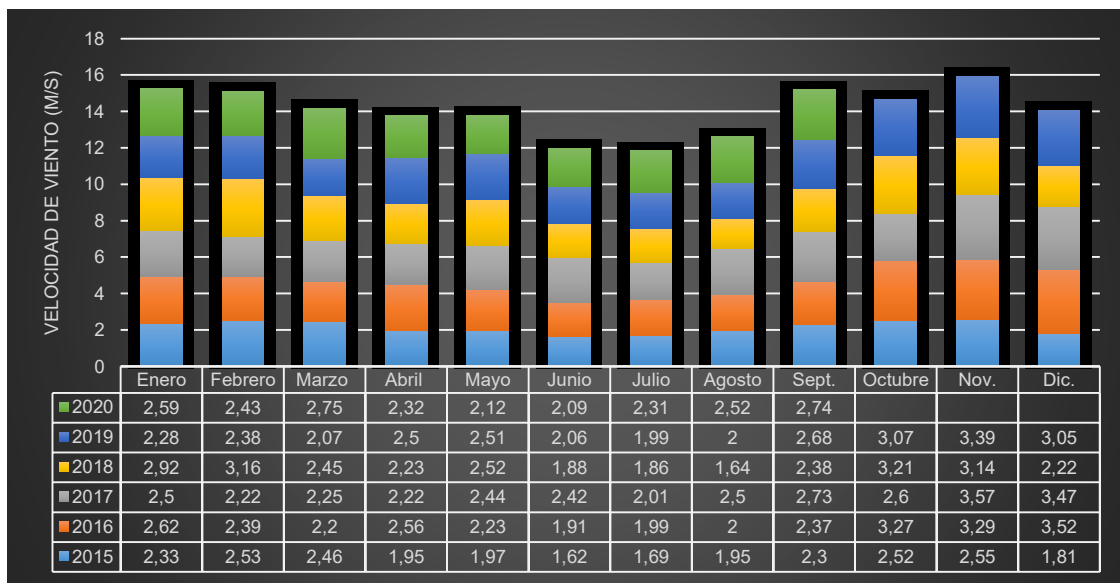
**Tabla 4-3:** Valores de velocidad de viento (m/s)

Mes	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	2,33	2,62	2,50	2,92	2,28	2,59
Febrero	2,53	2,39	2,22	3,16	2,38	2,43
Marzo	2,46	2,2	2,25	2,45	2,07	2,75
Abril	1,95	2,56	2,22	2,23	2,50	2,32
Mayo	1,97	2,23	2,44	2,52	2,51	2,12
Junio	1,62	1,91	2,42	1,88	2,06	2,09
Julio	1,69	1,99	2,01	1,86	1,99	2,31
Agosto	1,95	2	2,50	1,64	2,00	2,52
Septiembre	2,3	2,37	2,73	2,38	2,68	2,74
Octubre	2,52	3,27	2,60	3,21	3,07	
Noviembre	2,55	3,29	3,57	3,14	3,39	
Diciembre	1,81	3,52	3,47	2,22	3,05	

Fuente: (Centro de Investigación Langley de la NASA, 2021)

Del análisis de datos de velocidad de viento se pudo estimar que la mayoría de estos valores se encuentran entre 1,5 y 3,0m/s. Los valores promedio observados en la tabla 3-3, se encuentran entre 1,6 y 3,6. A partir de ello se obtiene una gráfica en la cual se puede estimar un comportamiento del promedio mes a mes.

**Figura 4-1:** Promedio mensual de velocidad de viento



Fuente: Propia

Este análisis concluye que las mayores velocidades de viento se presentan en los meses de octubre, noviembre y diciembre con velocidades promedio entre 2,5 y 3,5 m/s. Por lo tanto no hay potencial óptimo para la generación de energía a través del viento si se compara con otras regiones de Colombia dónde existe potencial de generación de energía eólica como lo es la Guajira en dónde las velocidades de viento oscilan entre 8 y 12 m/s.

## 4.4 Evaluación de la Energía de la Biomasa

La energía de la biomasa es un tipo de energía renovable originario del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial desarrollada en algún proceso biológico o mecánico; el aprovechamiento de la energía de la biomasa se forma directamente (por combustión), o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos.

En el corregimiento El Danubio existe abundante vegetación con árboles de diversos tipos que se distribuyen en zonas de bosque húmedo tropical de los cuales se pueden aprovechar las hojas y las ramas que caen en la zona.

El corregimiento de El Danubio tiene una extensión de 4779,98 Ha, de las cuales aproximadamente el 95% corresponde a bosques. Se estima un número aproximado de 625 árboles por hectárea, por lo cual aproximadamente hay 2'987.487 de árboles por cada hectárea. Esto representa un recurso muy valioso en cuanto a que es biomasa y se podría aprovechar en la generación térmica de energía. Los árboles y la vegetación proporcionan hojas, ramas y madera para un proceso de combustión.

La zona no cuenta con territorio cultivable o para el uso pecuario, es decir para la cría y aprovechamiento de animales, por lo tanto, no se considera la posibilidad de usar desechos agropecuarios para la generación de metano. Se considera que la biomasa vegetal biomasa tiene una densidad de aproximadamente 64.4 Kg/m<sup>3</sup> (humedad del 20%) (Cabrera, 2011) .

Los árboles pueden producir en promedio 10 vagones de hojas y ramas secas semanalmente en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre y un promedio de 16

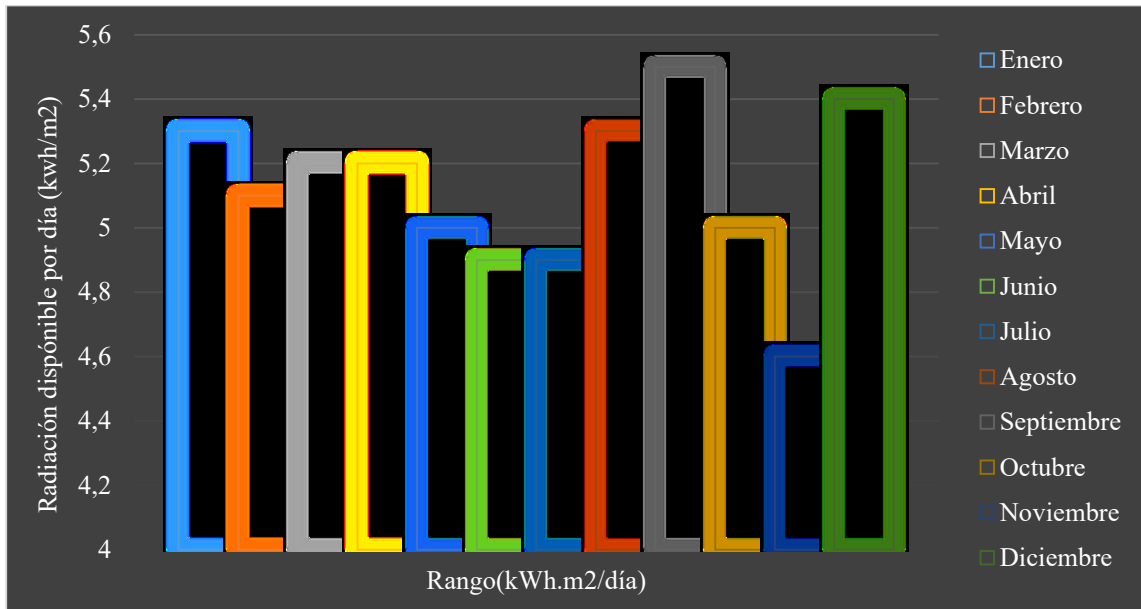
vagones en los meses de diciembre-enero y julio-agosto, estos datos varían debido al aumento o reducción del periodo de las temporadas secas y de lluvias (Cabrera, 2011).

La dimensión de los vagones es: 1.5 m de alto, 1.6 m de ancho y 2 m de largo. Si el volumen del vagón es  $4.8 \text{ m}^3$  y el peso específico reportado<sup>4</sup> para la biomasa es  $64.4 \text{ kg/m}^3$  (humedad del 20%) el peso que contiene cada vagón es 309.12 kg y así el peso semanal recogido es 3091.2 kg (20% de humedad) para época de lluvia y para la época seca un peso específico de  $51.52 \text{ kg/m}^3$  (biomasa seca) con un peso semanal de 3956.7 kg.

La biomasa que se estima para ser consumida consiste en chamizos, restos de hojas y ramas. La idea no es la tala de ningún árbol puesto que se pierde la concepción de un proyecto ambientalmente sostenible y amigable con el medio ambiente. De acuerdo con los anteriores datos preliminares se realiza a continuación el cálculo de las energías disponibles y aprovechables.

**Energía solar disponible.** La energía disponible es aquella de la que se dispone para su utilización, por ser la radiación solar la fuente que utiliza las celdas fotovoltaicas y colectores o concentradores solares está en su totalidad es energía disponible. Con el análisis realizado anteriormente se toma un valor promedio de  $1,67 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ . La gráfica muestra el comportamiento mensual de la energía solar disponible

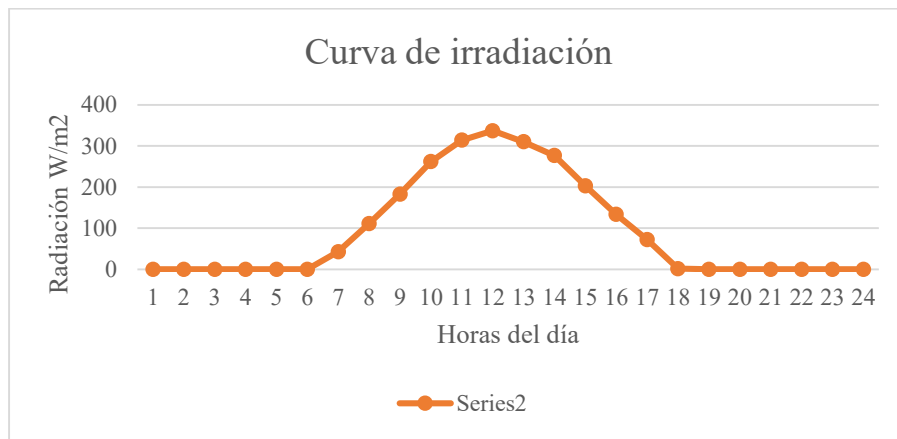
**Figura 4-2:** Comportamiento del promedio de la radiación solar mes a mes



Fuente: Propia

A continuación, se muestra en la figura 4-3 la curva de irradiación para un día representativo, el cual corresponde a uno de los días del mes de julio.

**Figura 4-3:** Curva de irradiación para un día típico



Fuente: Propia



La anterior figura 4-3 muestra un patrón de radiación acumulada diaria de 2247,31 Wh/m<sup>2</sup>. Este es una de las cifras más altas, dado que el promedio de radiación diaria oscila entre 1,5 y 1,9 kWh/m<sup>2</sup> diario.

**Energía eólica disponible:** Para el cálculo de la energía eólica disponible se utiliza la siguiente expresión (ecuación 3):

Ecuación 1

$$\frac{Pot_{disp}}{A} = \dot{m} \frac{\bar{v}^2}{2} = \frac{\rho}{2} * \bar{v}^3$$

Esta expresión indica la cantidad de potencia por unidad de área utilizando la velocidad promedio y la densidad del aire que de acuerdo a las bases de datos de climatología utilizadas en este estudio oscila entre 1,1 Kg/m<sup>3</sup> y 1,2 Kg/m<sup>3</sup>. Por tanto se toma un valor de densidad de 1,15 Kg/m<sup>3</sup> y utilizando la anterior expresión se calcula para cada uno de los meses del año la potencia eólica disponible por unidad de área.

**Tabla 4-4:** Potencia disponible promedio para cada mes por unidades de área

Mes	Potencia disponible (W-h/m <sup>2</sup> )
Enero	9,44
Febrero	9,18
Marzo	7,60
Abril	6,96
Mayo	6,98
Junio	4,58
Julio	4,43
Agosto	5,35
Septiembre	9,37
Octubre	14,51
Noviembre	18,62
Diciembre	12,79

Fuente: Propia

De acuerdo a la anterior tabla, el mes de noviembre es el que registra la mayor potencia eólica disponible por día.

### **Energía disponible de la biomasa**

Con el estimado de que la masa de biomasa varía semanalmente dependiendo de si la temporada es de lluvia o seca de 10 a 16 vagones de hoja respectivamente. El criterio para la evaluación de las fuentes es el de usar los valores promedios. En este caso se usa la temporada de lluvia en la cual hay una menor concentración de material vegetal. El poder calorífico de la biomasa vegetal (hojas y ramas) es de aproximadamente 17200 Kj/kg (Cabrera, 2011) .

$$\frac{E_{disp}}{semanal} = 3091.2 \text{ Kg} * 17200 \text{ Kj/Kg}$$

Ecuación 2

$$\frac{E_{disp}}{semanal} = 53168640 \text{ kj/semana}$$

Se tendría una disposición de 53168640 kJ de energía de la biomasa aproximadamente unos 14769 kWh/semana.

## **4.5 Cálculo de la energía aprovechable**

Se prosigue a la realización de los cálculos de energía aprovechable de cada una de las fuentes de energía, debido a que cada fuente tiene un método de cálculo diferente se dividirá según la fuente energética. La energía aprovechable es la energía que se puede utilizar a partir de cada fuente. No toda la energía se puede utilizar.

### **4.5.1 Energía eólica aprovechable.**

Para el cálculo de la cantidad de energía eólica aprovechable se utilizan los valores mínimos de viento. De la herramienta POWER LARC se obtienen los valores mínimos de velocidad de viento que se muestran a continuación (Centro de Investigación Langley de la NASA, 2021). (Ver Tabla 4-5).

**Tabla 4-5:** Valores mínimos de velocidad de viento

Mes	Velocidad de viento (m/s)
Enero	1,56
Febrero	1,27
Marzo	0,98
Abril	1,07
Mayo	1,23
Junio	0,93
Julio	0,89
Agosto	0,97
Septiembre	1,28
Octubre	1,85
Noviembre	2,05
Diciembre	1,78

Fuente: (Centro de Investigación Langley de la NASA, 2021)

Estos valores corresponden a los promedios obtenidos para cada mes durante el período comprendido entre el año 2010 y 2019. Para estos valores y utilizando la ecuación 3 se calcula la potencia aprovechable.

**Tabla 4-6:** Potencia aprovechable para velocidad de viento mínima

Mes	Potencia aprovechable (w/m <sup>2</sup> )
Enero	2,18
Febrero	1,18
Marzo	0,54
Abril	0,70
Mayo	1,07
Junio	0,46
Julio	0,41
Agosto	0,52
Septiembre	1,21
Octubre	3,64
Noviembre	4,95
Diciembre	3,24

Fuente: (Centro de Investigación Langley de la NASA, 2021)

Estos valores corresponden a la potencia diaria aprovechable por cada mes del año.

### Energía aprovechable.

Para la cantidad de energía solar fotovoltaica se debe tener en cuenta que existen pérdidas en un sistema fotovoltaico y esto ocasiona que el valor de la energía aprovechable sea menor a la cantidad de energía disponible. Se puede tomar un rendimiento del 20% para estos sistemas por lo tanto para una fuente fotovoltaica, la energía aprovechable es de 334 Wh/m<sup>2</sup>. Este rendimiento es lo recomendable para el diseño de plantas fotovoltaicas.

Para la Fuente solar térmica, no fotovoltaica, la máxima energía aprovechable está dada por la maquina térmica ideal Carnot en la cual la máxima eficiencia del sistema depende de las temperaturas del foco frío (temperatura ambiente) y del foco caliente (temperatura máxima que alcanza el concentrador).

La temperatura promedio ambiente de la zona es de 26 °C (299,15 K) y la temperatura de operación de un concentrador solar de media temperatura varía desde los 120 °C hasta los 300 °C para la producción de vapor. Se elige una temperatura de operación del concentrador de 200°C (473,15 K).

$$\eta_{carnot} = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}}$$

$$\eta_{carnot} = \frac{473.15 - 299.15}{473.15} = 0.3677$$

Al trabajar en este rango de temperaturas se tendría un rendimiento máximo de la maquina térmica ideal del 0.3677.

Ecuación 3

$$E_{Aprovechable} = E_{disponible} * \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$$

$$E_{Aprovechable} = 1670 \text{ watts} - \text{hora}/\text{m}^2 * 0,3677 = 614,06\text{watts- hora} / \text{m}^2 - \text{Día}$$

### Energía de la biomasa aprovechable

La temperatura promedio ambiente en El Danubio es de 26 °C (299.15 K) y la temperatura de combustión de la biomasa puede alcanzar cerca de los 1500 K pero se tomará una Temperatura de 800 K.

Ecuación 4

$$\eta_{carnot} = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}}$$

$$\eta_{carnot} = \frac{800 - 299.15}{800} = 0.626$$

Al trabajar entre estas temperaturas se obtiene un rendimiento máximo de la maquina térmica ideal del 0.628.

$$E_{disponible} * \eta_{carnot} = E_{aprovechable}$$

$$14769 \text{ kWh/semana} * 0.626 = 9245,39 \text{ kWh/semana}$$

De acuerdo con el cálculo de la energía aprovechable de biomasa por combustión directa se tiene una disposición de 9245.39 kWh/semana o 1320.77 kWh/día.

## 4.6 Cálculo de la energía generada

### 4.6.1 Potencia Eólica generada.

Para el cálculo de la energía eólica se emplea la siguiente expresión (Ariza, 2013):

Ecuación 5

$$Pot_{generada} = \frac{n\rho \cdot v^3 \cdot A}{2}$$

Para cada mes se calcula la potencia tomando como diámetro de las aspas de un generador eólico 3 metros y una eficiencia de 0,3957 (Instituto Tecnológico de Canarias, 2008).

**Tabla 4-7:** Valores de potencia máxima generada por mes al día

Mes	Potencia Generada W/día
Enero	21,34
Febrero	20,76
Marzo	17,19
Abril	15,75
Mayo	15,78
Junio	10,35
Julio	10,03
Agosto	12,10
Septiembre	21,19
Octubre	32,82
Noviembre	42,12
Diciembre	28,93

Fuente: Propia

Al analizar los resultados de la tabla 10 se puede establecer que existe un valor máximo de 42,12 Watt por día correspondiente al mes de noviembre y de 10,03 watt por día como valor mínimo de potencia eólica.

#### 4.6.2 Energía solar generada.

Tomando un valor de energía fotovoltaica aprovechable de 334 watts – hora / m<sup>2</sup> y contando con un área de aprovechamiento de aproximadamente 44 m x 27m y una eficiencia máxima para paneles de silicio del 20%, esta área sale del posible espacio de instalación y ubicación de los paneles: se calcula a continuación:

$$A_{Aprovechable} = 44 \text{ m} * 27 \text{ m} = 1188 \text{ metros cuadrados}$$

$$E_{Generada\ estimada} = 334 \text{ wh/m}^2 - \text{hora} * 1188 \text{ m}^2 = 396,79 \text{ kWh} - \text{hora/ Día}$$

Para el caso de la energía solar térmica generada se toma lo siguiente:

La eficiencia pico de sistemas de concentración cilindro – parabólico solar es de 20% pero su eficiencia neta anual varía entre 11% al 16%. Tomando el valor de energía aprovechable de 614,66 kWh/m<sup>2</sup>.

$$E_{Aprovechable} = 614,66 \text{ watts-hora / m}^2 - \text{Día}$$

$$\frac{E_{Generada}}{Area} = 614,66 * 0,16 = 98,34 \text{ watts-hora / m}^2 - \text{Día}$$

Para el cálculo del área aprovechable se utiliza un concentrador cilindro-parabólico de 1,25 m \* 2,42 m y de un largo de 27 metros:

$$A_{Aprovechable} = 1,25\text{m} * 27\text{m} * 24 = 810 \text{ metros cuadrados}$$

$$E_{Generada} = 98,34 * 810 = 79,66 \text{ watt - h/día}$$

### 4.6.3 Energía biomasa generada.

Un sistema de combustión directa para biomasa puede tener una eficiencia de alrededor del 30%. Por lo tanto, empleando el valor de la energía aprovechable se obtiene la energía generada:

$$9245.39 \text{ kWh/semana} * 0.30 = 2773,62 \text{ kWh/semana}$$

## 4.7 Comparación de alternativas para la generación de energía en la zona

Para cada tipo de energía se realiza una tabla dónde se consolidan los valores de potencia y energía disponible, generada y aprovechable.

Energía eólica: A continuación se muestra en esta tabla los valores de potencia disponible, aprovechable y generada.

**Tabla 4-8:** Consolidado de potencia eólica disponible, aprovechable y generada

Potencia W/día
----------------

<b>Disponible</b>	131,62
<b>Aprovechable</b>	34,99
<b>Generada</b>	42,12

Fuente: Propia

**Energía solar:** La tabla muestra la cantidad de energía solar fotovoltaica y térmica disponible, aprovechable y generada por día.

**Tabla 4-9:** Cantidad de energía solar térmica y fotovoltaica disponible, aprovechable y generada

	<b>Fotovoltaica</b>	<b>Térmica</b>
<b>Disponible</b>	1,67 kWh/m <sup>2</sup> día	1,67 kWh/m <sup>2</sup> día
<b>Aprovechable</b>	334 Wh/m <sup>2</sup>	614,66 Wh/m <sup>2</sup> día
<b>Generada</b>	729 Wh/día	79,66 Wh/m <sup>2</sup> día

Fuente: Propia

**Energía de la biomasa:** La cantidad de energía disponible, aprovechable y generada.

**Tabla 4-10:** Cantidad de la energía de la biomasa

<b>Energía de la biomasa</b>	
<b>Disponible</b>	53.168.640 kJ/semana
<b>Aprovechable</b>	9245,39 kWh/semana
<b>Potencia mínima generada de la turbina</b>	2773,62 kWh/semana

Fuente: Propia

Las tablas 4-8, 4-9 y 4-10 mostraron los valores consolidados de generación de energía de las fuentes disponibles en la zona. A partir de estos valores se realiza la configuración del bloque energético que suple la necesidad de energía del corregimiento.

Uno de los criterios de selección de las fuentes de energía es su disponibilidad permanente y el costo de aprovechamiento y generación. En la siguiente tabla, se describen las ventajas y desventajas de selección de cada fuente:



**Tabla 4-11:** Ventajas y desventajas de las fuentes de energía de la zona

	<b>Eólica</b>	<b>Solar Fotovoltaica</b>	<b>Solar Térmica</b>	<b>Biomasa</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de energía limpia, no emite gases efecto invernadero</li> <li>• Fuente inagotable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuente de energía limpia y renovable.</li> <li>• Requiere poco mantenimiento en sus instalaciones.</li> <li>• Los paneles solares tienen larga vida.</li> <li>• Es una tecnología cada vez más asequible</li> <li>• No emite gases de efecto invernadero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fuente de energía es el Sol, por lo tanto es inagotable.</li> <li>• También se considera como una energía limpia, por tener cero emisiones de gases efecto invernadero.</li> <li>• No requiere de mantenimiento continuo, por lo tanto los gastos generados por este rubro son mínimos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se está transformando desechos en energía útil.</li> <li>• Se usan recursos renovables.</li> <li>• No utiliza combustibles fósiles.</li> <li>• Al realizar el proceso de combustión no provoca el fenómeno de lluvia ácida.</li> <li>• El precio de la biomasa es muy bajo o prácticamente nulo en comparación de los combustibles fósiles.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación en las velocidades de viento, por lo cual en ocasiones requiere de una fuente de respaldo.</li> <li>• Para velocidades menores, el proyecto de generadores eólicos no es rentable.</li> <li>• Para su instalación se debe realizar un estudio exhaustivo de las condiciones de viento.</li> <li>• Su instalación requiere de la modificación del paisaje y de otros estudios técnicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cantidad de energía puede variar por fenómenos o factores atmosféricos.</li> <li>• Baja eficiencia de producción.</li> <li>• Requiere de sistemas de acumulación de energía.</li> <li>• Requiere de grandes espacios para producir la energía necesaria para suplir las necesidades de la comunidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al igual que la energía solar fotovoltaica presenta el inconveniente de las fluctuaciones de la cantidad de radiación.</li> <li>• Su costo inicial de instalación es alto.</li> <li>• Para la generación de energía de manera eficaz se debe combinar con otras fuentes.</li> <li>• Las instalaciones deben ser construidas en zonas donde el nivel de radiación solar sea alto.</li> <li>• Se requiere de espacios grandes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo poder calorífico en comparación de otros combustibles como el carbón, gas natural y derivados del petróleo.</li> <li>• Todavía existen dificultades en el transporte y almacenamiento.</li> <li>• Puede contribuir al calentamiento global aunque en menor medida que los combustibles fósiles.</li> <li>• El mal uso de la biomasa puede contribuir a la deforestación de los bosques y el deterioro de los hábitats.</li> </ul>

Fuente: Propia

**Selección de las fuentes de energía.** Debido a la disponibilidad de las fuentes de energía en la zona y las ventajas y desventajas de cada una expuestas en la tabla 18, se descarta el uso de la energía eólica en primer lugar debido a que la cantidad de vientos en la zona es muy baja, la instalación de un generador eólico es alto y requiere de una alteración del paisaje, así como otras obras de tipo civil y finalmente esta fuente no alimenta la necesidad de energía de la zona.

En segundo lugar, se descarta el uso de energía solar térmica dado que la zona presenta nubosidad y lluvias durante gran parte del año lo que no garantiza la suficiente cantidad de radiación solar para la generación de vapor que se utilice en un ciclo de generación de potencia. Adicionalmente se requiere de un espacio lo suficientemente grande para la instalación de colectores solares.

Se propone el análisis de la utilización de paneles solares fotovoltaicos y de un sistema de generación de potencia a partir de un ciclo Rankine que utilice como combustible la biomasa. Se puede utilizar el sistema de paneles fotovoltaicos para la generación de energía que supla la necesidad del sector iluminación y el uso de pequeños aparatos.

## 4.8 Configuración de la Planta

En el capítulo 4 se realizó la valoración de las fuentes de energía en donde se realiza la configuración del bloque energético utilizando paneles fotovoltaicos y un sistema de generación de potencia con ciclo de vapor utilizando la combustión de la biomasa.

Los sistemas que integran la planta solar fotovoltaica son los siguientes:

- Sistema de captación: paneles fotovoltaicos
- Sistema de regulación y control: regulador de voltaje
- Sistemas de almacenamiento de energía: baterías
- Sistema de conversión DC – AC o distribución: inversor para suplir demanda en AC
- Sistema de información: luces, medidores
- Sistema de transporte de energía: red de cableado eléctrico

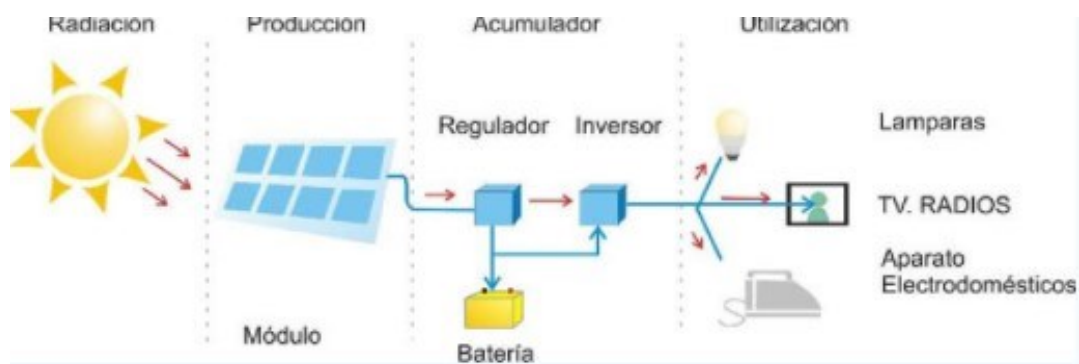
Un sistema de combustión de biomasa:

- Turbina
- Condensador
- Bomba
- Caldera

### 4.8.1 Diseño y selección de los componentes que constituyen el Sistema de Paneles Fotovoltaicos

El sistema solar fotovoltaico o el sistema de energía solar es uno de los sistemas de energía renovable que utiliza módulos fotovoltaicos para convertir la luz solar en electricidad. La electricidad generada puede almacenarse o utilizarse directamente, realimentarse en la línea de la red o combinarse con uno o más generadores de electricidad o con más fuentes de energía renovable. El sistema fotovoltaico solar es una fuente de electricidad muy confiable y limpia que puede adaptarse a una amplia gama de aplicaciones como residencia, industria, agricultura, ganadería, etc. (CELSIA, 2017)

**Figura 4-4:** Configuración de un sistema fotovoltaico



Fuente: (Secretaría General del Sistema de Integración Centroamericana y Consultoría e Inversiones CABAL , 2014)

#### **Componentes de un sistema fotovoltaico solar.**

Hay tres configuraciones básicas ampliamente adaptadas para los sistemas fotovoltaicos solares:

1. El campo fotovoltaico suministra energía a la carga eléctrica directamente. Esta es la configuración más simple. No hay almacenamiento involucrado y el sistema funciona solo cuando hay luz solar disponible. Los costos de tal sistema son comparativamente bajos.
2. La configuración más común es una matriz fotovoltaica que alimenta la carga y carga una batería de almacenamiento, lo que permite utilizar la electricidad por la noche y durante períodos de baja insolación.
3. El sistema híbrido fotovoltaico se basa en una fuente de energía auxiliar, por ejemplo, un generador de combustible fósil para complementar la generación de energía de la matriz fotovoltaica. Esta configuración aún requiere algo de almacenamiento de batería para evitar fluctuaciones a corto plazo. Es particularmente adecuado para aplicaciones que son críticas o en regiones con grandes variaciones en las condiciones de luz solar a lo largo del año.

Un sistema fotovoltaico se constituye de varios componentes. Estos incluyen módulos fotovoltaicos (grupos de células fotovoltaicas), que comúnmente se denominan paneles fotovoltaicos; una o más baterías; un regulador de carga o controlador para un sistema autónomo; un inversor para un sistema conectado a la red pública y cuando se requiere corriente alterna (CA) en lugar de corriente continua (CC); alambrado; y hardware de montaje o un marco.

### **Paneles solares o matriz fotovoltaica**

Los componentes básicos de un sistema fotovoltaico consisten en materiales semiconductores. Cuando estos materiales absorben la luz solar, la energía solar hace que los electrones se suelten de sus átomos. Este fenómeno se denomina “efecto fotoeléctrico”. Estos electrones libres viajan luego a un circuito integrado en la celda solar para formar corriente eléctrica.

### **Dimensionado del banco de acumuladores:**

#### **Tipo de Batería**

Batería Varta Solar ver anexo.

Tensión: 12 Voltios

Capacidad Nominal: 180 Amperios-Hora

Para el dimensionamiento de la solución solar fotovoltaica se realiza mediante la siguiente metodología:

**Método de los amperios hora** (Colino & Caro, 2010): En primer lugar, se obtiene el consumo en amperios-hora. Se utiliza en este caso el voltaje nominal de la batería. Esta metodología se resume en los siguientes pasos:

- a. Cálculo de los consumos: esto se obtuvo previamente.
- b. Cálculo de la potencia pico y de corriente: Paso fundamental para el dimensionamiento de regulador de carga, inversor, cableado, fusibles, etc.
- c. Corrección del consumo: Se utiliza un factor que toma en consideración el rendimiento de carga de la batería y ocasiona un incremento en el valor del consumo. Aquí se tiene en cuenta el rendimiento del cableado del sistema (recomendado de 0,98) (Colino & Caro, 2010).
- d. Corriente y ángulo de inclinación: Para el desarrollo de este paso se toma en cuenta lo que se conoce como el peor mes, en el cual baja la proporción de energía solar y consumo. Para este caso el ángulo de inclinación óptimo es aquel que da la mayor radiación para el mes peor (Colino & Caro, 2010).

Para el cálculo de:

- a. Cálculo del consumo: Se tiene un consumo diario de 537,9 kWh/día, esto se convierte en A-h/día dividiendo este valor entre el voltaje nominal de la batería:

$$Cu_{A-h} = \frac{537900[w - h]}{12v} = 44825[A - h]$$

Este valor de 12 voltios corresponde a la tensión de la batería, ya que se recomienda que el sistema trabaje a dicha tensión.

- b. Dividir el anterior valor entre el factor de rendimiento de cableado y el factor de rendimiento de la batería :

$$\text{Consumo } A - h \text{ corregido} = \frac{44825 A - h}{0,98 * 0,9} = 50822 A - h / \text{día}$$

El valor de rendimiento de 0,9 se recomienda por estudios técnicos en el dimensionamiento de centrales fotovoltaicas (Colino & Caro, 2010).

- c. A continuación, se multiplica el anterior valor por el número de días de autonomía. Para este caso se toma de 2.

$$50822 A - \frac{h}{\text{día}} * 2 \text{ días} = 101644 A - h$$

- d. Enseguida este valor se divide entre la máxima profundidad de descarga y el factor de corrección de temperatura; este último se toma por recomendaciones técnicas de 0,9:

$$\frac{101644 A - h}{0,75 * 0,9} = 150583,7 A - h$$

- e. Se selecciona la batería y se establece que esta tiene una capacidad de 180 Amperios-hora.
- f. Con este valor se calcula el número de baterías en paralelo a partir de la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Número de baterías en paralelo} &= \frac{\text{Capacidad necesaria batería}}{\text{Capacidad batería seleccionada}} = \frac{150583,7 A - h}{180 A - h} \\ &= 836,58 \text{ baterías} \end{aligned}$$

Este valor calculado se redondea a la unidad más cercana, por tanto el número de baterías es de 836 baterías en paralelo.

- g. A continuación se calcula la cantidad de baterías en serie:

*Baterías en serie*

$$= (\text{Voltaje nominal del sistema} \div \text{voltaje nominal batería})$$

\* número de baterías en paralelo

$$= (12V \div 12V) * 836 = 836 \text{ baterías}$$

- h. De acuerdo a las bases de datos consultadas, se obtiene el valor de las horas de sol pico y la inclinación óptima a través de los datos de radiación solar. Para este caso el peor mes es marzo con una radiación promedio de 1,37 kWh/m<sup>2</sup>. Las horas de sol pico se obtienen dividiendo dicho valor de radiación entre

$$HSP = \frac{H}{1 \frac{Kw}{m^2}} = \frac{1,37 \frac{Kw-h}{m^2-dia}}{1 \frac{Kw}{m^2}} = 1,37 \frac{h}{dia}$$

- i. Con base en el resultado anterior se calcula la corriente de diseño:

$$\text{Corriente de diseño} = \text{Consumo Corregido A} - h/HSP$$

$$\text{Corriente de diseño} = \frac{44825 A - h}{1,37 h} = 32719 A$$

- j. Cálculo de la capacidad útil de la batería:

$$\text{Capacidad útil batería} = \text{Capacidad Nominal batería} * \text{Máxima capacidad descarga}$$

$$\text{Capacidad útil batería} = 180 A - h * 0,7 = 126 A - h$$

- k. Cálculo del número de paneles: Para realizar este cálculo se toma en cuenta el panel escogido y su capacidad de potencia pico; de esta manera se determina la cantidad necesaria y como estaría conectado.

Este panel tiene una potencia pico de 395 W. En la figura se muestran las especificaciones de este panel seleccionado.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E_p}{P \times HSP}$$

Dónde  $E_p$ :

$$E_p = \frac{537900 \text{ w} - h}{0.98 * 0,9} = 609864 \text{ w} - h$$

Enseguida se calcula el número de paneles:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{609864 \text{ w} - h}{395 \text{ W} \times 1,37 \text{ h}} = 1126,98 \text{ paneles}$$

Se obtiene entonces 1127 paneles que se instalan en paralelo.

A continuación en la tabla 4-12 se muestra las especificaciones del panel fotovoltaico seleccionado.

**Tabla 4-12:** Especificaciones del panel fotovoltaico seleccionado

ESPECIFICACIONES										
Tipo de módulo	JKM380M-72H-V		JKM385M-72H-V		JKM390M-72H-V		JKM395M-72H-V		JKM400M-72H-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Alimentación máxima (Pmax)	380Wp	286Wp	385Wp	290Wp	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp
Voltaje de alimentación máximo (Vmp)	40.5V	38.6V	40.8V	38.8V	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V
Voltaje de alimentación máximo (Imp)	9.39A	7.42A	9.44A	7.48A	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A
Voltaje con circuito abierto (Voc)	48.9V	47.5V	49.1V	47.7V	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.75A	7.88A	9.92A	7.95A	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A
STC de eficiencia del módulo (%)	18.89%		19.14%		19.38%		19.63%		19.88%	
Temperatura de funcionamiento (°C)					-40°C~+85°C					
Voltaje máximo del sistema					1500VDC (IEC)					
Clasificación de fusibles serie máxima					20A					
Tolerancia de alimentación					0~+3%					

Fuente: (Jinko Solar , 2017)



## Dimensionado del Sistema de Regulación

Controlador solar Power-Tarom

### Datos Técnicos

**Tabla 4-13:** Tipo de regulador

Referencia	Tarom 2070	Tarom 2140	Tarom 4055	Tarom 4110
Corriente máxima de carga (A) a 20°C/50°C	70/58	140/116	55/46	110/92
Corriente máxima de consumo (A) a 20°C/50°C	70/58	140/116	55/46	110/92
Voltaje nominal del sistema (V)	12/12	12/24	48	
Terminales de conexión (cable multifilar/alambre)	50/70mm <sup>2</sup>			
Alto (mm)	330			
Ancho (mm)	360			
Espesor (mm)	190			
Peso (Kg)	9/10			
Protección	IP 65			
Temperatura de operación	-10°C ... +50°C			
Algoritmo de control	Atonic			
Voltaje final de carga normal (V) *	Programable			
Desconexión del consumo LVD	Programable			
Reconexión consumo	Programable			
Carga de Igualación	Voltaje y tiempo programable, Activación fija: SOC<40%			
Carga rápida	Voltaje y tiempo programable, Activación fija: SOC<70%			
Función luz solo de noche	Programable retardo y duración			
Compensación efecto de temperatura	-4mV/K/celda ajustable			

Fuente: Propia

A continuación, se calcula la corriente mínima del regulador:

$$\text{Corriente Mínima del Regulador} = 1,25 * \text{Corriente del panel}$$

$$\text{Corriente del panel} = 1127 * 10,12A = 11405,24 A$$

Por lo tanto, la corriente mínima del regulador se obtiene así:

$$\text{Corriente M\u00ednima del Regulador} = 1,25 * 11405,24A = 14255,56 A$$

El factor 1,25 significa que se sobredimensiona en un 25% la corriente de cortocircuito (Colino & Caro, 2010). A continuaci\u00f3n se calcula el n\u00famero de reguladores en paralelo:

Ecuaci\u00f3n 6

$$N_{Reguladores} = \frac{I_p}{I_r} = \frac{14255,56}{140A} = 102 \text{ reguladores}$$

**Dimensionado del Convertidor (CC-AC)**

**INVERSOR PORTAWATTZ**

Datos Técnicos

**Tabla 4-14:** Tipo de convertidor

Referencia	PW-150	PW-300	PW-600	PW-1000	PW-1750	PW-3000
Potencia máxima continua (W)	150	300	600	1000	1500	2500
Potencia máxima 5 minutos (W)	150	300	600	1000	1750	3000
Potencia pico (para arranque) (W)	400	500	1200	2000	3000	5000
Voltaje nominal de entrada(VDC)	12					
Rango de voltaje de entrada (VDC)	10-15					
Voltaje de salida (VAC RMS)	115 +-10					
Frecuencia de salida (Hz)	60 +-4					
Alarma de bajo voltaje (VDC)	NO	10.7				
Desconexión por bajo voltaje (VDC)	10					
Tomacorriente de salida en AC	1	2	3			2 con breaker 15A
Consumo en vacío (A)	< 0.1	< 0.18	< 0.3		< 0.6	
Largo (mm)	120	160	280	260	410	495
Ancho (mm)	120		160	240		215
Alto (mm)	42	50	65	80		159
Peso (g)	600	820	2000	2400	3800	9000

Fuente: Propia

**Conductores**

**Cálculo de la sección del conductor en los diferentes tramos del sistema**

$$S = 0.036 \times l \times i / V_{ab}$$

S: sección del conductor (mm)

l: longitud del tramo (m)

i: intensidad máxima en el tramo (A)

V ab: caída máxima de tensión en el tramo (v)

**Tabla 4-15:** Cálculo de la sección del conductor en los diferentes tramos del sistema

Tramo	Longitud	I Máx.	Tensión	Caída	Sección	Nº AWG
Panel - Acumulador	7	102	16,5	0,50	51,93	1
Acumulador - Caja Fusibles	3	75,33	12	0,12	67,80	1
Caja Fusibles - Convertidor	2	42,13	12	0,12	25,28	4
Línea 12V	7	9,2	12	0,24	9,66	8
Línea Ppal Iluminación Baja	10	12	12	0,36	12	6
Línea Ppal Iluminación Alta	10	12	12	0,36	12	6
Líneas Sec Iluminación	6	1,5	12	0,12	2,7	12
Línea 110V	17	4,1	110	1,10	2,3	10
Campo de Paneles 1	2,5	3,25	16,5	0,17	1,8	12
Campo de Paneles 2	0,5	19,8	16,5	0,03	10,8	7
Campo de Paneles 3	6	102	16,5	0,50	44,5	1
Banco de Acumuladores	2	102	12	0,12	61,2	1

Fuente: propia

## 4.8.2 Diseño y Cálculo de un Sistema de Generación de Potencia a través de Ciclo de Vapor

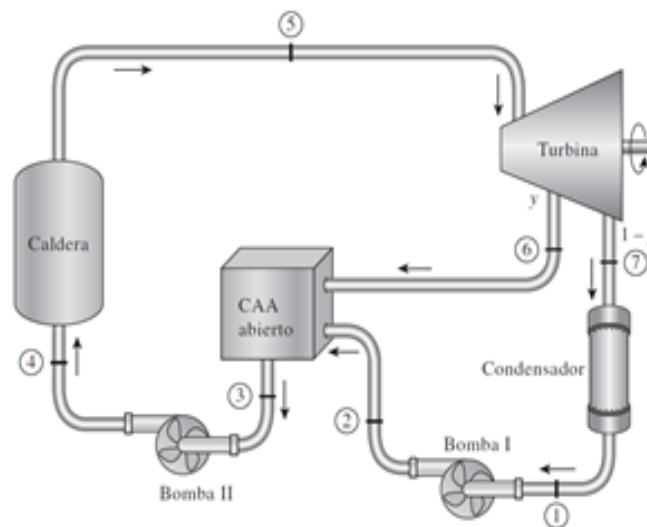
En esta propuesta se toma en consideración un ciclo de potencia de vapor (Ciclo Rankine) tomando como fuente combustible la biomasa disponible en la zona.

Los ciclos Rankine basados en vapor son responsables de la mayoría de los sistemas solares térmicos de generación de energía eléctrica, siempre que la energía recolectada se pueda transportar a un bloque de energía central. El agua se comprime primero mediante una bomba de agua de alimentación y luego se hierve y se sobrecalienta (hasta aproximadamente 500 °C) antes de expandirse a través de una turbina que hace girar un generador eléctrico. Luego, el vapor de baja presión se condensa en un intercambiador de calor y se devuelve a la bomba de agua de alimentación para ser reutilizado. Los ciclos de vapor Rankine se han utilizado y se siguen utilizando en plantas de energía solar térmica de colector cilindro parabólico, plato paraboloidal y receptor central (Aynat, 2012).

La eficiencia del ciclo Rankine se puede mejorar devolviendo el vapor a la caldera después de la expansión parcial del vapor en un proceso denominado recalentamiento. Los ciclos de recalentamiento añaden una complejidad significativa a la turbina, la caldera y los controles, pero, a gran escala, el aumento de la complejidad y el costo puede justificarse

por el aumento en la eficiencia de un pequeño porcentaje. Otros factores importantes que afectan la eficiencia general en el ciclo de Rankine son las pérdidas parasitarias (soplado de hollín, bombas, ventiladores, etc.) y las no ideales en bombas, turbinas, etc. En teoría, se pueden lograr eficiencias de Rankine de alrededor del 60%. Eficiencia de las plantas reales para los sistemas de combustión de carbón se extienden de aproximadamente 40% (en un mayor valor de calentamiento o la base del valor calorífico bruto) para sistemas de gran escala a menos del 20% para los sistemas a pequeña escala (Corredoyra, 2016).

**Figura 4-5:** Esquema de un ciclo Rankine



Fuente: (Universidad Rey Juan Carlos, 2016)

En la figura 4-5 se muestra un esquema de un ciclo Rankine con regeneración.

Un ciclo Rankine es un ciclo de generación de potencia cuyo fluido de trabajo es vapor. No implica ninguna irreversibilidad interna y consta de los siguientes cuatro procesos:

- Proceso 1-2: Compresión isentrópica en una bomba.
- Proceso 2-3: Adición de calor a presión constante en una caldera.
- Proceso 3-4: Expansión isentrópica en una turbina.
- Proceso 4-1: Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

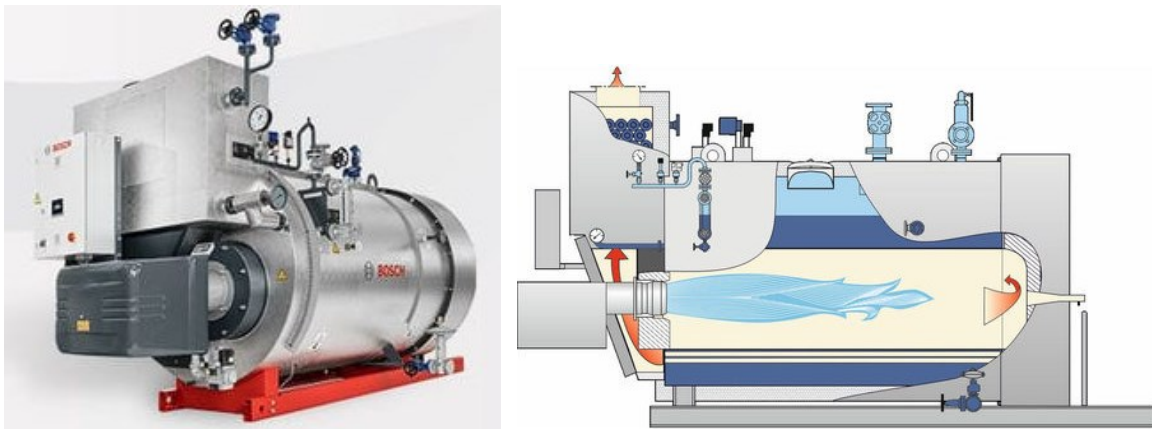
Potencia de diseño de la planta de generación por ciclo de vapor

**Equipos que hacen parte de la planta:**

Las partes que constituyen un ciclo Rankine se muestran en la figura 4-5. A continuación se describe cada una de ellas.

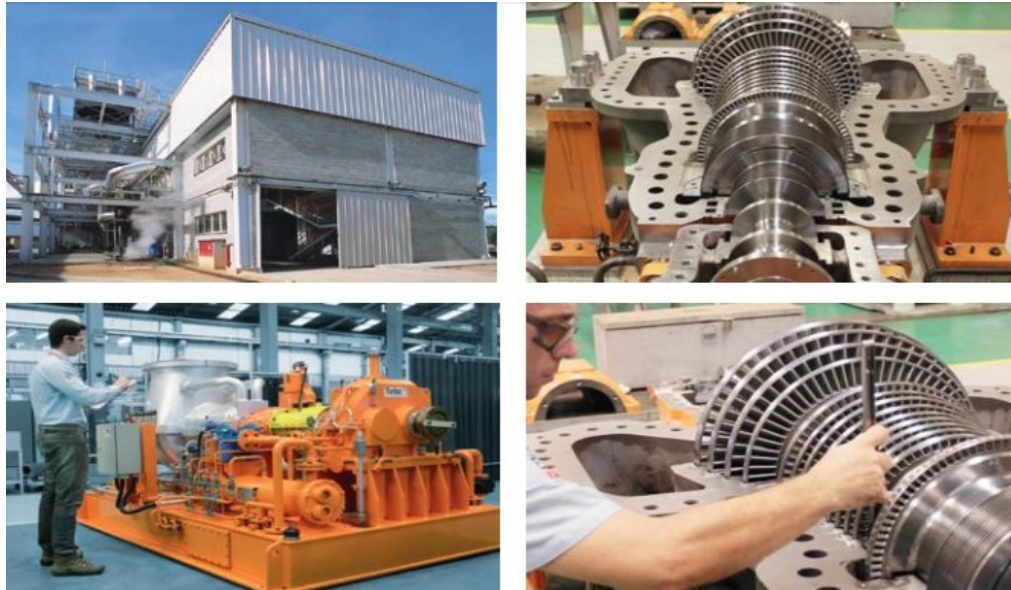
**Caldera:** La caldera es el dispositivo dónde ocurre la generación de vapor para el funcionamiento del ciclo. Se selecciona una caldera cuya presión de operación es de 14 Bar. La eficiencia promedio de una caldera se encuentra alrededor de 80%. Es ahí donde se realiza la combustión de la biomasa. También existen calderas que funcionan con carbón, gas natural y fuel oil. En la figura 4-6 se muestra una caldera de tipo industrial (Bosch Industriekessel, 2021).

**Figura 4-6:** Calderas de vapor



Fuente: (Bosch Industriekessel, 2021)

**Turbina:** Es un dispositivo de flujo estable que consiste en un eje, el cual tiene unos álabes que giran debido al movimiento del fluido de trabajo. La finalidad de este dispositivo es de generar potencia mecánica de eje que se transforma en potencia eléctrica. En la figura 4-7 se muestra el esquema de una turbina de vapor.

**Figura 4-7:** Esquema de una turbina de vapor

Fuente: (Shin Nippon Machinery, 2019)

### **Método para aumentar la eficiencia del ciclo Rankine**

Idea básica: Aumente la temperatura promedio a la que se transfiere el calor al fluido de trabajo en la caldera, o disminuya la temperatura promedio a la que se rechaza el calor del fluido de trabajo en el condensador. Una planta de vapor simple que trabaja en un ciclo Rankine consta de una caldera, una turbina, un condensador y una bomba de alimentación. Para cualquier proceso en el ciclo de vapor, es posible asumir un proceso ideal cuando realiza la operación básica prevista y no involucra efectos extraños (Fusté, 2015).

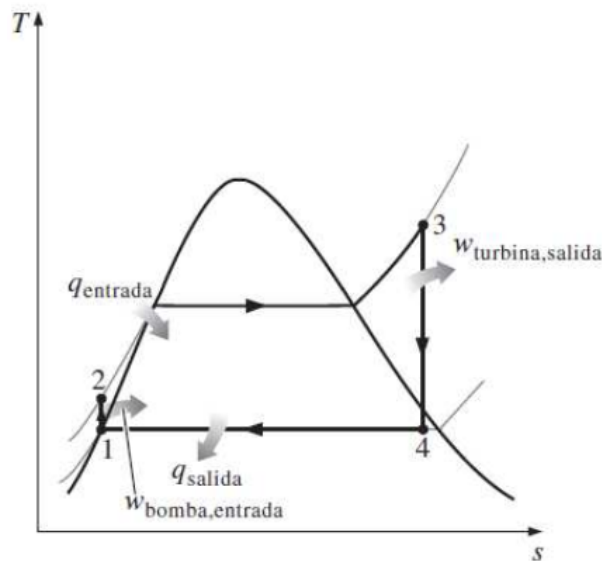
Para la caldera de vapor, este proceso ideal sería un proceso de calentamiento de agua a presión constante reversible para formar vapor. Para la turbina sería una expansión adiabática reversible del vapor. Para el condensador sería el rechazo de calor a presión constante reversible a medida que el vapor se condensa hasta que se convierte en líquido saturado y para la bomba el proceso ideal sería la compresión adiabática reversible de este líquido terminando en la presión inicial. Cuando todos estos procesos son ideales, el ciclo se denomina ciclo de Rankine (Fusté, 2015).

Para la selección de la caldera se tiene en cuenta la potencia de entrada que es el calor proveniente de la combustión. Al mismo tiempo se tiene en cuenta la necesidad de energía.

Se puede realizar un análisis simple del sistema de refrigeración por compresión de vapor estándar suponiendo a) Flujo constante; b) cambios insignificantes de energía cinética y potencial en cada componente, y c) ausencia de transferencia de calor en las tuberías de conexión. La ecuación de energía de flujo constante se aplica a cada uno de los cuatro componentes.

La entalpía latente necesaria para la evaporación es suministrada por el espacio refrigerado que rodea al evaporador. La cantidad de calor transferida al fluido de trabajo en el evaporador se llama carga de refrigeración. El ciclo ideal de compresión de vapor consta de dos procesos de presión constante y un proceso de entalpía constante. Por tanto, en los cálculos de ciclos preliminares, los diagramas de presión-entalpía son particularmente útiles (Fusté, 2015).

**Figura 4-8:** Entalpía proceso rechazo de calor a presión constante en un condensador.



Fuente: (Millán, 2017)

Se asume que el calor de entrada a la caldera es de 2516,71 KJ/kg cantidad de calor que se obtiene de la combustión de la biomasa disponible. La caldera trabaja a una presión de 2,5 MPa y a una temperatura de 225°C. (Anexo 2). A esa temperatura y presión la entalpía corresponde a un vapor de tipo sobrecalentado.



De acuerdo a las tablas ese valor corresponde a 2805,5 KJ/kg. Para el cálculo del trabajo de la turbina a la salida se tiene la siguiente expresión:

$$w_{turbina} = h_4 - h_1$$

Dónde:

$h_4$  es la entalpía a la entrada de la turbina y a la vez la entalpía de salida de la caldera.

$h_1$ : es la entalpía de salida de la turbina.

A la salida de la turbina se tiene una presión de 30 kPa. Este valor se toma del catálogo de la turbina que se escogió (Anexo 3). El estado del fluido a la salida de la turbina es mezcla líquido vapor. Por tanto, la entalpía a esa presión es de 2109,62 KJ/kg. Entonces el trabajo de la turbina es:

$$w_{turbina} = 698,9 \text{ KJ/kg}$$

A la salida del condensador se tiene un líquido saturado y se calcula el calor de salida a través de la siguiente expresión:

$$q_{salida} = h_1 - h_2$$

El valor de  $h_1$  es el mismo valor de la entalpía a la salida de la turbina y el de  $h_2$  es la entalpía para un líquido saturado a una presión de 30 kPa. Por lo tanto, el calor de salida es:

$$q_{salida} = 1820,35 \text{ KJ/kg}$$

El trabajo neto se calcula de la siguiente manera (Cengel, 2015):

$$w_{neto} = q_{entrada} - q_{salida}$$

Al reemplazar los valores se tiene el siguiente resultado:

$$w_{neto} = 696,35 \text{ KJ/kg}$$

Al asumir un flujo másico de agua de trabajo de 2,78 Kg/s se puede obtener la potencia eléctrica que genera la planta (Cengel, 2015):

$$\dot{W} = \dot{m}w_{neto}$$

$$\dot{W} = 1935,88 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} = 1935,88 \text{ KW}$$

El anterior valor es la potencia que podría generar la planta térmica, sin embargo, debe tenerse en cuenta que esa potencia no es la que recibiría la comunidad para suplir las necesidades energéticas.

La potencia máxima que se entrega al alternador es de 0,7 veces la potencia neta de la planta termoeléctrica., por lo tanto la potencia máxima es de 2775,42 KW. La planta térmica de biomasa estaría constituida de los siguientes elementos:

**Turbina Siemens SST-700/900 (Anexo 3):** La potencia que puede generar esta turbina es de máximo 250000 Kw.

**Caldera DZL (Anexo 2):** Es ideal para la combustión de biomasa y trabaja a las condiciones que se ha establecido previamente.

**Condensador de vapor de agua Referencia tubular (Anexo 4):** Es ideal para trabajar en plantas térmicas y consiste en un intercambiador de calor tubular. También se ajusta a la presión de trabajo establecida.

**Bomba:** la bomba tiene como función impulsar el líquido saturado que sale del condensador. Se escoge la bomba que se muestra en la figura 4-9.

**Figura 4-9: Bomba**



<b>MF7M5B VÁLVULA DE BOLA MANGAS DE CERÁMICA</b>		
Caudal	202 l/min	53 GPM
Presión	50 bar	750 psi
Revoluciones		218 rpm
kW		19.2
MPa		5
Potencia		26.2 hp
Peso		255 kg
Dimensiones	583x359x834	

Fuente: (Alfa 2 Ltda, 2019)

**Configuración final de la planta**

En los cálculos realizados en este capítulo se estableció que una configuración mixta estaría compuesta de paneles fotovoltaicos y una planta térmica de biomasa, en la tabla se hace un resumen de lo que constituye la propuesta de planta mixta. Ver Tabla 4-16.

**Tabla 4-16: Configuración final de la planta**

Tipo de planta	Elementos	Cantidad
Solar Fotovoltaico	<b>Paneles fotovoltaicos</b>	557
	<b>Reguladores</b>	1
	<b>Baterías</b>	580
	<b>Convertidores</b>	2
	<b>Conductores</b>	2
Planta de vapor con combustión de biomasa	<b>Caldera</b>	1
	<b>Generador</b>	1
	<b>Bomba</b>	1
	<b>Turbina</b>	1
	<b>Condensador</b>	1

Fuente: Propia

## Capítulo 5.

### 5.1 Evaluación económica, ambiental y de factibilidad técnica

Para la evaluación económica del proyecto se debe tener en cuenta los costos de adquisición de los elementos de la planta, costos de mantenimiento y otros rubros.

#### 5.1.1 Costo de adquisición de elementos de la planta.

En el anterior capítulo se estableció la cantidad de elementos que conforman la propuesta de planta a evaluar. A continuación, se muestra el costo de cada elemento:

#### 5.1.2 Costo de adquisición del sistema fotovoltaico.

En la siguiente tabla se muestra los costos de adquisición de los elementos que componen la instalación solar fotovoltaica. La instalación solar fotovoltaica tiene un costo de \$1.179.814.000. Ver Tabla 5-1, cabe anotar que este valor sería asumido por un ente gubernamental no la comunidad, este proyecto está evaluando las posibilidades de darles energía a partir de recursos renovables al Danubio.

**Tabla 5-1:** Costo de adquisición del sistema fotovoltaico

Material	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Panel kyocera	\$ 400.000	557	\$ 222.800.000
Regulador Mppt	\$ 27.000	102	\$ 2.754.000
Convertidor Pw 1000	\$ 200.000	57	\$ 11.400.000
Acumulador Varta	\$ 1.617.000	580	\$ 937.860.000
Otros (Cables )	\$ 5.000.000		\$ 5.000.000
<b>Total</b>			<b>\$1.179.814.000</b>

Fuente: Propia

### 5.1.3 Costo de adquisición del sistema de combustión de biomasa.

A continuación, se relaciona los costos de adquisición de los elementos que constituyen la instalación de generación de potencia que trabaja con ciclo Rankine.

**Tabla 5-2:** costo de adquisición del sistema de combustión de biomasa

Equipo	Cantidad	Precio Total
Caldera	1	\$ 280.000.000
Turbina	1	\$ 800.000.000
Generador Eléctrico	1	\$ 150.000.000
Bomba	1	\$ 300.000
Condensador	1	\$ 7.400.000
Otros		\$ 12.000.000
Total		\$ 1.249.700.000

Fuente: Propia

## 5.2 Costos de mantenimiento de cada una de las plantas

Para el mantenimiento de la planta solar fotovoltaica se requiere de aproximadamente \$400.000 por año el cual aumenta en un promedio del 5%. Se toma un período de vida de 25 años (Ríos, 2018).

Un criterio de decisión económica es el CAE (costo anual equivalente), el cual se va a utilizar en este caso para comparar los costos en proyectos energéticos. El criterio CAE consiste en evaluar diferentes alternativas que tienen períodos de vida diferentes. Al realizar la aplicación de esta metodología se encuentra que el CAE de la tecnología fotovoltaica es de alrededor de \$143.091.267. Este valor se obtiene anualizando el costo inicial y llevando los flujos anuales de costo de mantenimiento a una sola anualidad. Se tomó una tasa de oportunidad del 12%, que es la tasa que se recomienda para este tipo de proyectos.

Para el costo de mantenimiento de una planta térmica de vapor se toma un período de vida útil de 25 años, teniendo en cuenta la vida útil de la caldera y la turbina principalmente. Con un costo de adquisición de \$1.249.700.000 y un costo de mantenimiento de aproximadamente \$3.500.000 por año dado que se requiere de un mantenimiento exhaustivo de la caldera, turbina en cuanto a problemas de lubricación, posibles fallas por fatiga y otras situaciones relacionadas con el funcionamiento de estos dispositivos.

El costo anual equivalente se estima en \$162.836.727 para la tecnología de la planta térmica de biomasa.

Al comparar las dos tecnologías de manera individual es evidente que el costo anual equivalente de la tecnología fotovoltaica es menor en comparación de la térmica. Sin embargo, el uso de la tecnología fotovoltaica se estimó para abastecer el sector de iluminación y la planta térmica complementaba el resto de la demanda, por lo tanto, al unir las dos tecnologías su costo anual equivalente total asciende a \$305.927.994.

### **5.3 Calculo de Criterios de Evaluación Económica: VPN y TIR**

Para determinar la viabilidad económica de las dos opciones se utilizan los criterios de análisis económico tales como el VPN (Valor Presente Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno). Utilizando un período de vida de ambos proyectos de 25 años y asumiendo un valor de kWh de \$250 cuyo costo se incrementa 5% al igual que los costos de mantenimiento se calcula tanto la TIR como el VPN para cada una de las tecnologías propuestas.

De acuerdo a lo calculado para la instalación solar fotovoltaica se obtendría una Tasa Interna de Retorno del 2% y tomando una tasa de descuento menor a la TIR, ya que una tasa mayor a la TIR se obtiene menores valores de VPN se obtiene un valor presente neto para esta tecnología de \$ 219.037.457,05.

Para la tecnología de generación térmica a partir de biomasa se obtuvo una tasa de retorno del 4% y un VPN de \$ 271.276.301,43 utilizando una tasa del 3%. En la tabla 28 se muestra la comparación entre las dos tecnologías.

**Tabla 5-3:** Comparación de los criterios de evaluación económica VPN y TIR para las dos tecnologías.

	<b>Tecnología Fotovoltaica</b>	<b>Tecnología Generación térmica</b>
<b>TIR</b>	2 %	4%
<b>VPN</b>	\$ 219.037.457,05	\$ 271.276.301,43

Fuente: Propia

De acuerdo a lo anterior económicamente es viable la tecnología de generación térmica y este proyecto puede ser financiado por un ente privado o una alianza público privada.

## 5.4 Evaluación Ambiental

En la evaluación ambiental se tiene en cuenta que todo acto del hombre tiene una consecuencia en su entorno, por tal motivo se hará un análisis de los impactos en el medio ambiente.

### 5.4.1 Fotovoltaico:

En este caso las emisiones de efecto invernadero no son relevantes. Sin embargo hay generación de residuos cuando los componentes cumplen con su vida útil. Estos residuos pueden generar contaminación cuando no se realiza un tratamiento de reciclaje.

### Generación de energía eléctrica en termoeléctricas:

Las plantas termoeléctricas son fuentes importantes de emisiones atmosféricas y pueden afectar la calidad del aire. Las emisiones de las centrales termoeléctricas pueden provocar lluvia ácida, especialmente si el combustible es carbón con un alto contenido de azufre. La precipitación ácida, altera radicalmente los ecosistemas acuáticos de ciertos lagos y daña la vegetación de los ecosistemas forestales. Además, el uso de los combustibles fósiles en

las plantas termoeléctricas genera CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>; gases que contribuyen al calentamiento global; además del daño ambiental que se produce al extraerlos.

Comparando el impacto ambiental que tiene una planta termoeléctrica con respecto al impacto que tiene un panel solar, la diferencia es muy grande.

Para minimizar los impactos ambientales se debe tener en cuenta lo siguiente:

- **Utilización de tecnologías eficientes:** Los artefactos de uso final están caracterizados, entre otras cosas, por la eficiencia con que transforman la energía eléctrica en el servicio energético buscado. La adecuada elección de los artefactos de uso final de la energía eléctrica permite generar importantes ahorros en forma sostenida en el tiempo. En general, las compras de equipamiento se determinan solamente a partir del menor costo inicial, situación que conlleva a la utilización de tecnologías ineficientes que tienen mayores consumos y costos de provisión de los servicios energéticos. El empleo de tecnologías eficientes repercute positivamente en la disminución del consumo, la demanda de potencia y el costo de provisión del servicio energético (Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2015).

Sin embargo los paneles solares cuando terminan su ciclo de vida pueden ser agentes contaminantes dado que contienen agentes nocivos para la salud humana.

También se tiene en cuenta que en el uso de la biomasa como fuente de energía, se emite CO<sub>2</sub>, pero este gas se retoma a las plantas siempre y cuando se garantice que no se talen árboles y se aprovechen los chamizos, ramas y hojas caídas.

## **5.5. Factibilidad Técnica.**

Al realizar la evaluación de cada una de las fuentes de energía se estableció previamente que para suplir las necesidades energéticas de la comunidad se toma como fuentes la energía solar fotovoltaica y la energía de la biomasa usada en generación de potencia a través de ciclo de vapor.



### 5.5.1 Energía Solar Fotovoltaica

En el caso de la energía fotovoltaica se considera **poco viable o poco factible técnicamente** por los siguientes factores:

- **Alto costo:** Pese a que el costo anual equivalente es menor que el de la tecnología de generación de vapor, no se justifica la instalación de paneles dado que en este **caso solamente satisface sector iluminación**. Si se tratará de satisfacer la demanda energética completa se instalarían una cantidad mayor de paneles que demandan costos mayores y podría superar en costos a la tecnología de generación de vapor.
- **Espacio limitado:** Si bien los paneles fotovoltaicos ocupan menor espacio en comparación de una planta eléctrica, solamente para el sector iluminación se requieren de por lo menos 600 m<sup>2</sup> de espacio para la instalación de paneles. Esto implicaría buscar un terreno específico para realizar dicha instalación, lo cual no es viable debido a que la mayor parte del corregimiento presenta topografía irregular y además la cobertura vegetal impide que llegue de manera completa la radiación requerida para el funcionamiento de los paneles.
- **Factores climáticos:** Si bien el nivel de radiación solar aprovechable en la zona es de 4,25 kWh/m<sup>2</sup> factores como la alta nubosidad y las lluvias en la zona inciden en la cantidad de radiación y en algunos días la cantidad de radiación es muy baja lo cual hace que no se produzca la cantidad de energía necesaria para el sector iluminación.

En consecuencia, la tecnología fotovoltaica se descarta como fuente de energía para la comunidad de El Danubio.

### 5.6 Sistema térmico

Se puede usar la tecnología de generación de potencia con biomasa dado que pese a su alto costo en comparación de la fotovoltaica puede garantizar el suministro de energía a la comunidad de El Danubio, ocupa menos espacio y podría generar un excedente que se puede agregar a la red interconectada. Pero cuenta con el inconveniente de generación de ruido y que debe ser vigilada continuamente para evitar paradas forzadas. Así mismo

---

la planta requiere un mantenimiento más riguroso dado que la turbina puede presentar daños o problemas en los álabes, así como problemas de desgaste y lubricación en componentes mecánicos. También debe tenerse en cuenta que el sistema de generación de potencia de vapor debe ser monitoreado por un cuerpo técnico en cuanto a el cambio de presiones y flujos.

Por último se tiene en cuenta que si la planta térmica de biomasa trabaja por un período de 24 horas puede producir una energía total de 35523 kWh/día. Técnicamente puede suplir la necesidad energética de la comunidad que es de 537,9 kWh/día.

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto, se establece que en el corregimiento de El Danubio se puede establecer la posibilidad de generación energética con base a otros factores, tales como el turismo y la producción forestal, así mismo, esto puede ser una buena razón para que la instalación de una planta de generación de potencia eléctrica ofrezca una conveniente rentabilidad, de esta manera se contribuye a mejorar la calidad de vida de los pobladores de la zona; Igualmente la diversidad de los sistemas de energía renovable hace posible que las comunidades locales se conviertan en propietarios activos de estas tecnologías; de hecho, esta es una manera para estas se beneficien del desarrollo de la energía renovable, propiciando el aprovechamiento del entorno natural para lograr la autosuficiencia energética, con lo cual se generan empleos para la población local.

La verdadera autosuficiencia energética requiere el establecimiento de una economía basada en energías renovables, desde el uso de la energía solar para generar electricidad hasta métodos y sistemas que utilizan el viento, la madera y la biomasa, el desarrollo beneficioso de los recursos autóctonos de energía renovable debe ser un componente central de la agenda de autosuficiencia del país, que garantice la transición energética, para esto se puede desarrollar instalaciones de pequeña a mediana escala, las cuales requieren inversiones de capital de bajo costo económico.

La investigación logró comprobar que los habitantes de la comunidad de El Danubio consumen energía únicamente para satisfacer las necesidades básicas, por lo tanto no registran un consumo energético similar a los hogares urbanos promedio de la

ciudad de Cali, esto se debe principalmente a la limitación de los recursos económicos de los pobladores, así mismo el trabajo de campo reporta que los pobladores cuentan con un mismo patrón de consumo de energía eléctrica, este equivale a 41,18 kWh por día en promedio, con base en este valor se realizó la propuesta cuya finalidad es satisfacer la necesidad energética de los habitantes del corregimiento.

El valor de la cantidad de radiación solar que la zona recibe no sobrepasa los 2 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual técnicamente no hace viable la instalación de paneles fotovoltaicos porque la zona presenta variaciones climáticas en donde predomina la nubosidad, en el caso de la fuente eólica de energía, se presenta en la mayor parte del año velocidades entre los 1,5 y 2,5 m/s, lo cual no hace viable la instalación de aerogeneradores para la generación de electricidad.

Respecto a la posible generación de energía por fuentes hídricas aprovechando que la zona presenta frecuentes lluvias durante una buena parte del año, se debió realizar un estudio de factibilidad para la instalación de microturbinas hidráulicas, lo cual no se realizó en esta propuesta, ya que no se consideró viable por los altos costos económicos de inversión e instalación.

La instalación de una central térmica de vapor es viable si se garantiza la cantidad de biomasa necesaria para su adecuado funcionamiento, sin embargo, se debe tener en cuenta que la humedad y otros factores que afectan al material combustible pueden incidir en la cantidad de energía que se produzca.

Se puede decir que el dimensionamiento de un sistema de generación de energía fotovoltaico tuvo como resultado en este caso en particular un número elevado de componentes tales como paneles, reguladores y baterías, lo cual ocupa un espacio considerable y técnicamente hace inviable la instalación de estos dispositivos, se debe tener en cuenta que estos elementos se deben reemplazar cada 4 años.

Al adoptar el objetivo de la autosuficiencia energética, El Danubio se verá como una provincia a la vanguardia del movimiento hacia un futuro con bajas emisiones de carbono. En la búsqueda de ese futuro, el corregimiento será conocido no solo como

**un lugar para invertir en tecnologías de energía verde, sino también como un lugar más deseable para vivir.**

**Desde el punto de vista profesional como ingeniero eléctrico, integrando conocimientos y lecciones aprendidas en este y otros proyectos de generación eléctrica, considero como valioso y muy útil el análisis que se realizó sobre las diferentes opciones de generación eléctrica, en el propósito de fomentar la transición energética, dadas las condiciones singulares de la comunidad el Danubio, considero pertinente el proceso de autogestión eléctrica, considerando criterios como la disponibilidad de recursos naturales, las características de la población y el potencial que ofrece cada uno de las opciones y sistemas de producción energética.**

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar un análisis de vientos, radiación solar mucho más específico y durante varios años, de esta manera se puede tener la certeza de los datos de velocidad de viento, radiación solar y dirección de viento más preciso y no depender de instituciones públicas como el IDEAM y la EPSA para el suministro de dichos datos.

Se sugiere realizar un estudio de la instalación de microcentrales hidráulicas, ya que la zona puede tener ese potencial y al mismo tiempo realizar un estudio del régimen de lluvias de la zona. Este tipo de trabajos, se puede aplicar para proyectos de factibilidad técnica para autosuficiencia energética.

# **A. Anexo: Formato de encuesta realizada a pobladores de El Danubio**

## **SONDEO SOBRE HÁBITOS DE CONSUMO: COMUNIDAD EL DANUBIO**

1. Indique el número de personas que viven en su hogar.

- A. 1\_\_
- B. 2\_\_
- C. 3\_\_
- D. 4\_\_
- E. 5\_\_
- F. Más de 5\_\_

2. Nivel educativo

- A. Ninguno\_\_
- B. Primaria\_\_
- C. Bachillerato\_\_
- D. Técnico\_\_
- E. Profesional\_\_

3. Área de la residencia:

- Menos de 50 m<sup>2</sup> \_\_
- Entre 50 y 100 m<sup>2</sup> \_\_
- Más de 100 m<sup>2</sup> \_\_

4. ¿Cuál es su conocimiento apropiado sobre energía eléctrica?

- Alto \_\_\_\_
- Medio \_\_\_\_
- Bajo \_\_\_\_
- No Responde \_\_\_\_

5. Actividad económica

- Formal \_\_\_\_ ¿Cuál?
- Informal \_\_\_\_

6. Cuenta con Energía eléctrica ?

- Si \_\_

- No\_\_

7. Si respondió afirmativamente la anterior pregunta, responda a continuación la siguiente pregunta:

- Iluminación\_\_
- Entretenimiento\_\_
- Refrigeración\_\_
- Otros\_\_

**8. Sector iluminación**

8.1 Numero de bombillas con las que cuenta en el hogar:

- 1\_\_
- 2\_\_
- 3\_\_
- Más de 3\_\_

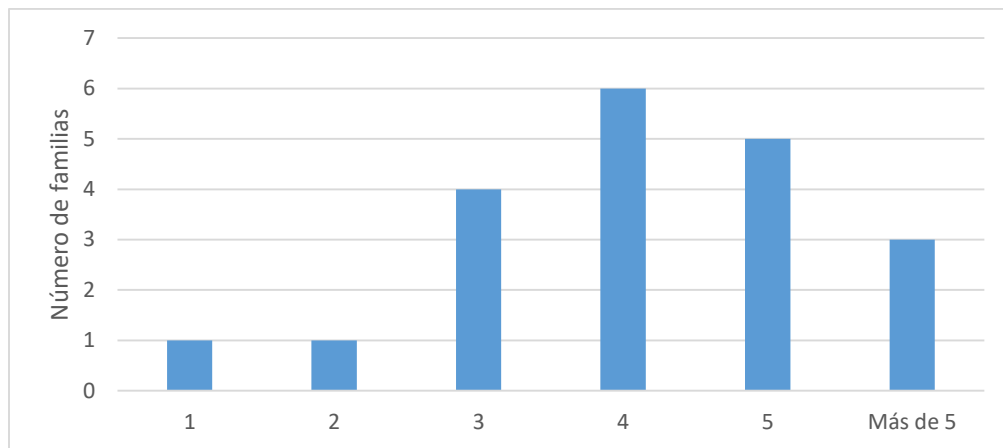
8.2 Cuanto tiempo usa las bombillas al día

- Menos de una hora\_\_
- Entre una hora y 5 horas\_\_
- Entre 5 horas y 10 horas\_\_
- Más de 10 horas\_\_



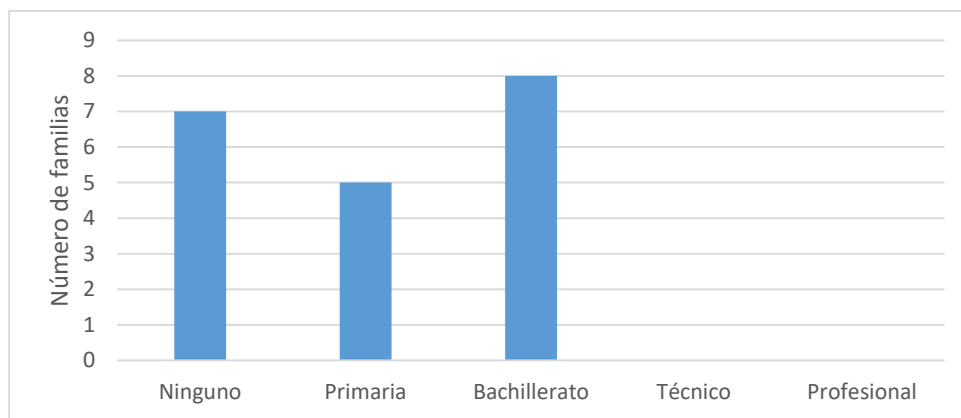
## B. Anexo: Resultados preliminares de la encuesta aplicada

Figura A-1: Número de personas que viven el hogar

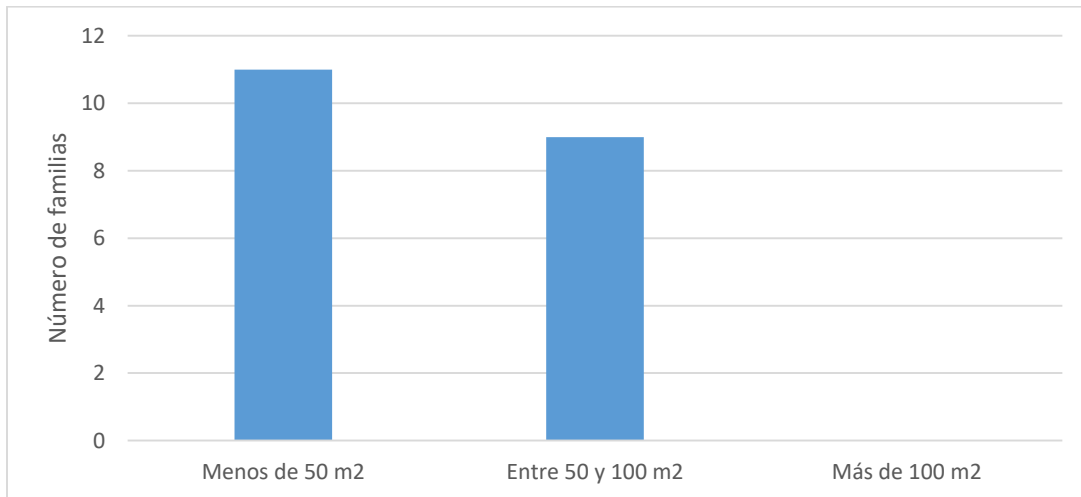


Fuente: Propia.

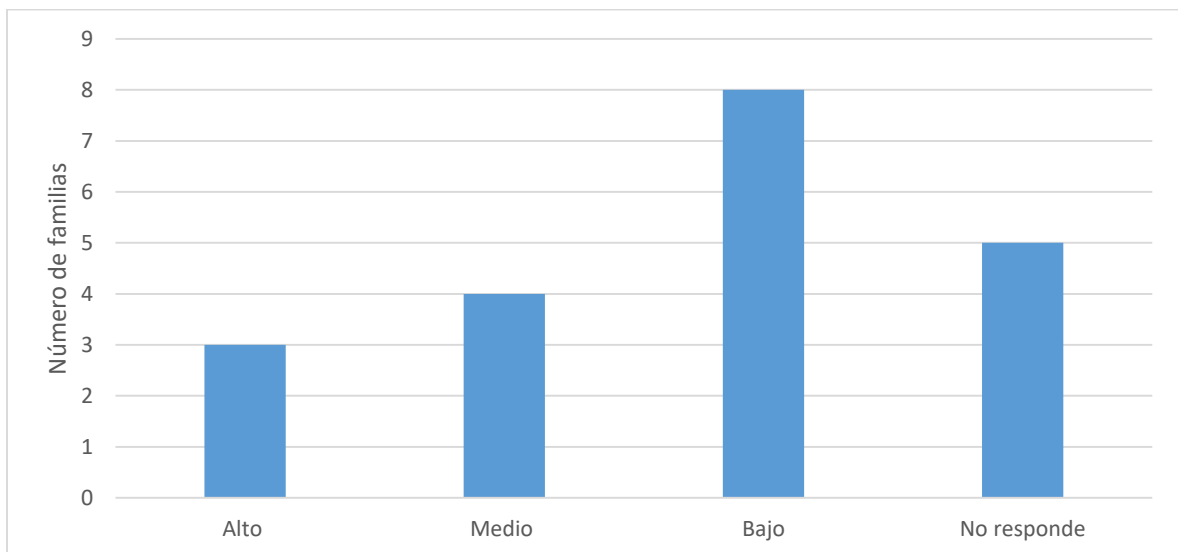
Figura A-2: Nivel educativo



Fuente: Propia.

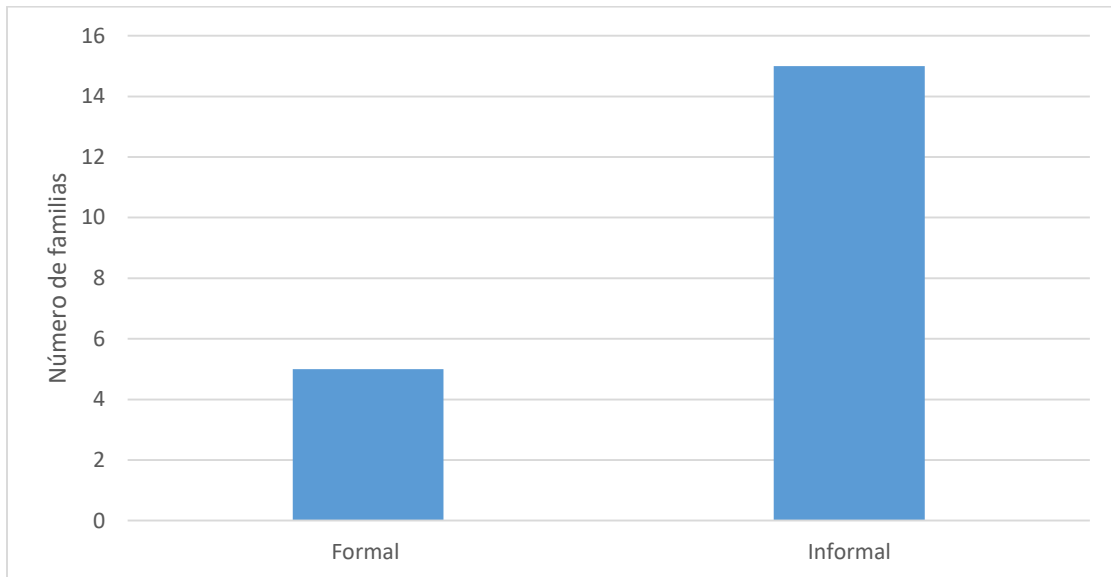
**Figura A-3:** Tamaño de la vivienda

Fuente: Propia.

**Figura A-4:** ¿Cuál es su conocimiento apropiado sobre la energía eléctrica?

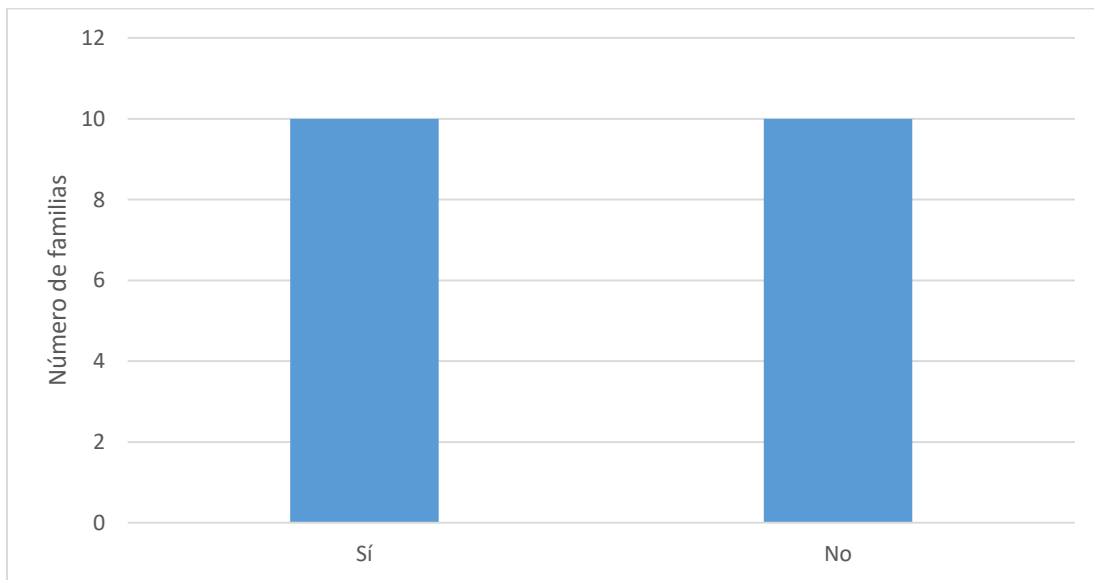
Fuente: Propia.

**Figura A-5:** Actividad económica



**Fuente:** Propia.

**Figura A-5:** ¿Cuenta con energía eléctrica?



**Fuente:** Propia.

## C. Anexo: Catálogo de acumuladores solares Varta.



SAP	ETN	REF	Voltios	Capacidad			Capacidad en 20 h	CCA (EN)	Dimensiones (mm)			Terminal	Espesor	Sujeción	Peso Kg
				20 h	10 h	5 h			Largo	Ancho	Alto				
<b>VARTA PROFESSIONAL STARTER</b>															
593700	930 052 047*	LFS52	12 V	52 Ah	-	-	-	470 A	207	175	190	1	0	B13	12,70
593701	930 060 054*	LFS60	12 V	60 Ah	-	-	-	540 A	242	175	190	1	0	B13	14,80
593702	930 074 058*	LFS74	12 V	74 Ah	-	-	-	660 A	278	175	190	1	0	B13	17,30
593703	930 095 080*	LFS95	12 V	95 Ah	-	-	-	800 A	353	175	190	1	0	B13	21,90
<b>VARTA PROFESSIONAL</b>															
585428	812 071 000	LFS75	12 V	75 Ah	67 Ah	60 Ah	124 Min.	600 A	260	175	225	1	1	B01	18,50
585427	811 053 057	LFS105	12 V	105 Ah	94 Ah	85 Ah	190 Min.	750 A	330	175	240	1	9	B00	26,90

## D. Anexo: Catálogo de la caldera seleccionada



### DZL serie de caldera de vapor de biomasa

vapor

*(calculadora de conversión)*

Capacidad térmica del producto:	0.5-10 t/h
Presión del trabajo:	0.7-2.5Mpa
Temperatura de salida:	170-225 °C
combustible:	Partículas de biomasa
aplicación:	calefacción, fábrica química, industria de alimento, textil, imprenta y teñido, tabaco, forraje para animal, farmacia, materiales de construcción, caucho, hospital etc.

# E. Anexo: Características Turbina de Vapor

## TURBINA DE VAPOR / PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA SST-700/900



### Características

- Tipo:  
de vapor
- Aplicaciones:  
para generación de energía
- Potencia (kW):  
Mín.: 0 kW (0 hp)  
Máx.: 250.000 kW (339.905,29 hp)

### Descripción

El SST-700 / 900 es una solución de turbina estándar con un tiempo de entrega corto debido a su diseño fijo pre-diseñado. Los módulos predefinidos permiten un corto período de fabricación, un suministro de material rentable y una rápida entrega en fábrica.

La solución de turbina de flujo recto con una potencia de salida de hasta 250 MW consiste en una turbina de vapor de alta presión (contrapresión), una turbina de vapor de baja / media presión (condensación), ambas accionando un generador instalado en el medio.

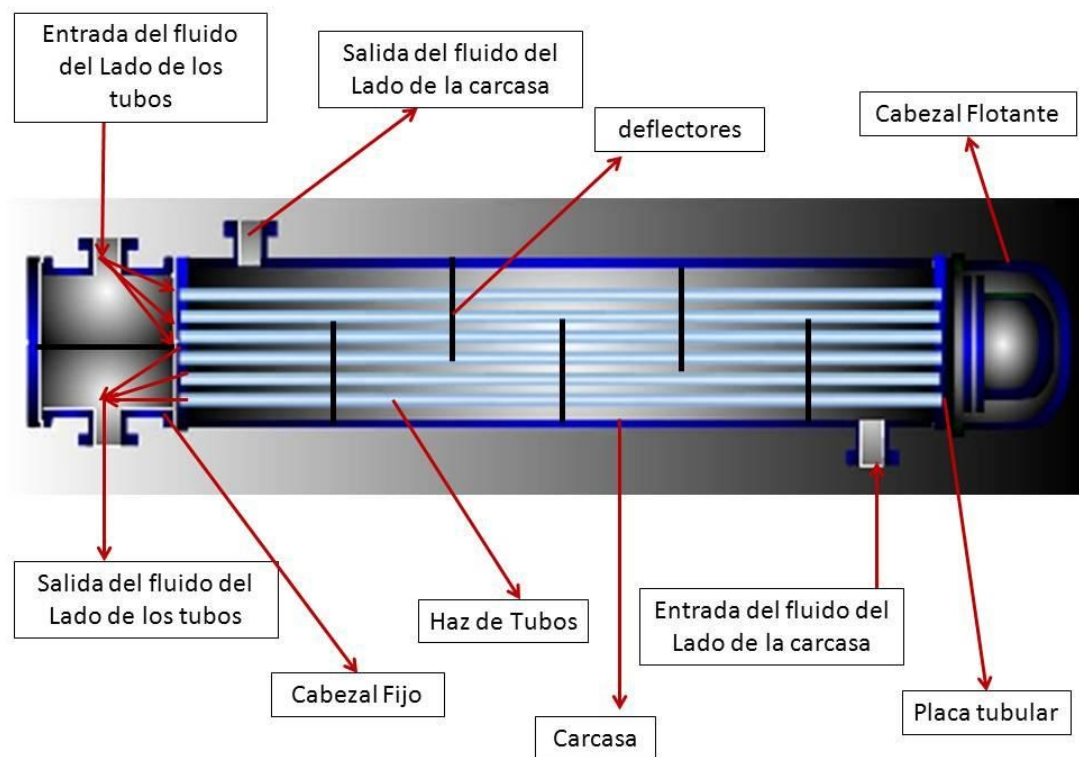
La configuración de turbina de doble carcasa con carcasa interior es un producto competitivo y optimizado para centrales de ciclo combinado y centrales de energía solar por concentración.

- Potencia hasta 250 MW (CCPP: 230 MW)
- Velocidad de 3.000 a 3.600 rpm
- Presión de entrada hasta 180 bar / hasta 2.611 psi
- Temperatura de entrada hasta 585 °C / hasta 1.085 °F
- Parámetros del vapor de escape: hasta 0,3 bar / 4,4 psi
- Recalentar la temperatura del vapor: 565°C / 1.050°F
- Presión de vapor: 45 bar(a) / 842 psi
- Extracciones controladas: 72 bar / 1.044 psi
- Extracciones no controladas (hasta 7): extracciones no controladas posibles

#### Aplicaciones típicas

- Centrales de ciclo combinado
- Centrales termosolares concentradas
- Centrales eléctricas alimentadas por biomasa

## F. Anexo: Especificaciones del intercambiador de calor para la condensación de vapor.



Fuente: (T-Solucionaria, 2020)

Las unidades de transferencia de calor que utilizan vapor para producir agua caliente se conocen como calentadores indirectos. A menudo son intercambiadores de calor de tipo

carcasa y tubo y generalmente se les conoce como convertidores, generadores de agua caliente y calentadores instantáneos. Cuando estos calentadores usan vapor como fuente de calor, generalmente se denominan convertidores de vapor a agua. En los convertidores calentados con vapor, el agua que se va a calentar circula a través de los tubos y el vapor circula en la carcasa que rodea el exterior de los tubos. Esto da como resultado que el condensado se drene al fondo de la carcasa del intercambiador de calor a medida que el vapor cede su calor latente (García, 2018).

El intercambiador de calor debe seleccionarse para funcionar a la presión mínima para proporcionar la operación más eficiente. Las propiedades de las mesas de vapor saturado muestran que una mayor cantidad de calor latente está disponible a baja presión. Queda menos energía en el condensado, lo que reduce las pérdidas de vapor flash. Una guía razonable sería seleccionar una presión de vapor que tenga una temperatura de saturación aproximadamente 30°F más alta que la temperatura de salida requerida del fluido que se calienta en los tubos. Para temperaturas de fluido de hasta 200°F, se recomienda vapor a 0,137 Bar (Peñaloza & Urgilés, 2009).

Cuando se usa una fuente de alta presión de vapor, la presión debe reducirse instalando una válvula reguladora de presión de vapor o usando un regulador de presión de temperatura combinado. Después de seleccionar el intercambiador de calor, el siguiente paso debe ser planificar la instalación. El intercambiador de calor debe montarse lo suficientemente alto para permitir el drenaje por gravedad del condensado de la trampa de vapor a una línea de retorno por gravedad ventilada. Si no se dispone de una línea de retorno por gravedad, se debe instalar una bomba de condensado. El intercambiador de calor debe montarse con un paso hacia la salida de condensado. Se debe proporcionar un espacio mínimo de 1/2 pulgada por cada 10 pies de largo. El intercambiador de calor también debe ubicarse de manera que sea posible la extracción del haz de tubos (Peñaloza & Urgilés, 2009).



## G. Anexo: Flujos de caja para la instalación de tecnología fotovoltaica.

Inversión	1.117.708.700	\$
Año 1	400000	
Año 2	420000	
Año 3	441000	
Año 4	463050	
Año 5	486202,5	
Año 6	510512,625	
Año 7	536038,2563	
Año 8	562840,1691	
Año 9	590982,1775	
Año 10	620531,2864	
Año 11	651557,8507	
Año 12	684135,7432	
Año 13	718342,5304	
Año 14	754259,6569	
Año 15	791972,6398	
Año 16	831571,2718	
Año 17	873149,8354	
Año 18	916807,3271	
Año 19	962647,6935	
Año 20	1010780,078	
Año 21	1061319,082	
Año 22	1114385,036	
Año 23	1170104,288	
Año 24	1228609,502	
Año 25	1290039,977	

# H. Anexo: Tablas de vapor

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg			Energía interna, kJ/kg			Entalpia, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Líqu. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Líqu. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Líqu. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Líqu. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
	0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517

Vapor de agua sobrecalentado (continuación)

T °C	v m <sup>3</sup> /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m <sup>3</sup> /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m <sup>3</sup> /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">P = 2.50 MPa (223.95 °C)</th> <th colspan="4">P = 3.00 MPa (233.85 °C)</th> <th colspan="4">P = 3.50 MPa (242.56 °C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sat.</td> <td>0.07995</td><td>2602.1</td><td>2801.9</td><td>6.2558</td> <td>0.06667</td><td>2603.2</td><td>2803.2</td><td>6.1856</td> <td>0.05706</td><td>2603.0</td><td>2802.7</td><td>6.1244</td> </tr> <tr> <td>225</td> <td>0.08026</td><td>2604.8</td><td>2805.5</td><td>6.2629</td> <td>0.07063</td><td>2644.7</td><td>2856.5</td><td>6.2893</td> <td>0.05876</td><td>2624.0</td><td>2829.7</td><td>6.1764</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>0.08705</td><td>2663.3</td><td>2880.9</td><td>6.4107</td> <td>0.08118</td><td>2750.8</td><td>2994.3</td><td>6.5412</td> <td>0.06845</td><td>2738.8</td><td>2978.4</td><td>6.4484</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>0.09894</td><td>2762.2</td><td>3009.6</td><td>6.6459</td> <td>0.09056</td><td>2844.4</td><td>3116.1</td><td>6.7450</td> <td>0.07680</td><td>2836.0</td><td>3104.9</td><td>6.6601</td> </tr> <tr> <td>350</td> <td>0.10979</td><td>2852.5</td><td>3127.0</td><td>6.8424</td> <td>0.09938</td><td>2933.6</td><td>3231.7</td><td>6.9235</td> <td>0.08456</td><td>2927.2</td><td>3223.2</td><td>6.8428</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>0.12012</td><td>2939.8</td><td>3240.1</td><td>7.0170</td> <td>0.10789</td><td>3021.2</td><td>3344.9</td><td>7.0856</td> <td>0.09198</td><td>3016.1</td><td>3338.1</td><td>7.0074</td> </tr> <tr> <td>450</td> <td>0.13015</td><td>3026.2</td><td>3351.6</td><td>7.1768</td> <td>0.11620</td><td>3108.6</td><td>3457.2</td><td>7.2359</td> <td>0.09919</td><td>3104.5</td><td>3451.7</td><td>7.1593</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0.13999</td><td>3112.8</td><td>3462.8</td><td>7.3254</td> <td>0.12455</td><td>3200.0</td><td>3578.0</td><td>7.3800</td> <td>0.10640</td><td>3192.9</td><td>3565.1</td><td>7.3112</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>0.15931</td><td>3288.5</td><td>3686.8</td><td>7.5979</td> <td>0.14841</td><td>3467.0</td><td>3912.2</td><td>7.7590</td> <td>0.12702</td><td>3464.7</td><td>3909.3</td><td>7.6855</td> </tr> <tr> <td>700</td> <td>0.17835</td><td>3469.3</td><td>3915.2</td><td>7.8455</td> <td>0.16420</td><td>3654.3</td><td>4146.9</td><td>7.9885</td> <td>0.14061</td><td>3652.5</td><td>4144.6</td><td>7.9156</td> </tr> <tr> <td>800</td> <td>0.19722</td><td>3656.2</td><td>4149.2</td><td>8.0744</td> <td>0.17988</td><td>3847.9</td><td>4387.5</td><td>8.2028</td> <td>0.15410</td><td>3846.4</td><td>4385.7</td><td>8.1304</td> </tr> <tr> <td>900</td> <td>0.21597</td><td>3849.4</td><td>4389.3</td><td>8.2882</td> <td>0.19549</td><td>4047.7</td><td>4634.2</td><td>8.4045</td> <td>0.16751</td><td>4046.4</td><td>4632.7</td><td>8.3324</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>0.23466</td><td>4049.0</td><td>4635.6</td><td>8.4897</td> <td>0.21105</td><td>4253.6</td><td>4886.7</td><td>8.5955</td> <td>0.18087</td><td>4252.5</td><td>4885.6</td><td>8.5236</td> </tr> <tr> <td>1100</td> <td>0.25330</td><td>4254.7</td><td>4887.9</td><td>8.6804</td> <td>0.22658</td><td>4465.3</td><td>5145.1</td><td>8.7771</td> <td>0.19420</td><td>4464.4</td><td>5144.1</td><td>8.7053</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>0.27190</td><td>4466.3</td><td>5146.0</td><td>8.8618</td> <td>0.24207</td><td>4682.6</td><td>5408.8</td><td>8.9502</td> <td>0.20750</td><td>4681.8</td><td>5408.0</td><td>8.8786</td> </tr> <tr> <td>1300</td> <td>0.29048</td><td>4683.4</td><td>5409.5</td><td>9.0349</td> <td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>														P = 2.50 MPa (223.95 °C)				P = 3.00 MPa (233.85 °C)				P = 3.50 MPa (242.56 °C)				Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244	225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764	250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484	300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601	350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428	400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074	450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593	500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.12455	3200.0	3578.0	7.3800	0.10640	3192.9	3565.1	7.3112	600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855	700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156	800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304	900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324	1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236	1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053	1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786	1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349								
	P = 2.50 MPa (223.95 °C)				P = 3.00 MPa (233.85 °C)				P = 3.50 MPa (242.56 °C)																																																																																																																																																																																																																																
Sat.	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244																																																																																																																																																																																																																													
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764																																																																																																																																																																																																																													
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484																																																																																																																																																																																																																													
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601																																																																																																																																																																																																																													
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428																																																																																																																																																																																																																													
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074																																																																																																																																																																																																																													
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593																																																																																																																																																																																																																													
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.12455	3200.0	3578.0	7.3800	0.10640	3192.9	3565.1	7.3112																																																																																																																																																																																																																													
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855																																																																																																																																																																																																																													
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156																																																																																																																																																																																																																													
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304																																																																																																																																																																																																																													
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324																																																																																																																																																																																																																													
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236																																																																																																																																																																																																																													
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053																																																																																																																																																																																																																													
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786																																																																																																																																																																																																																													
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349																																																																																																																																																																																																																																					

## Bibliografía

- Acciona. (2020). *Energías Renovables: la importancia de las energías renovables*. Recuperado el 18 de Febrero de 2021, de Portal Web Acciona Business as Unusual: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- Alfa 2 Ltda. (2019). *Bombas y Motores: MF7M5B válvula de bola mangas de cerámica*. Recuperado el 19 de Marzo de 2021, de Portal Web Alfa 2 Ltda: <https://www.alfa2ltda.com/wp-content/uploads/2019/10/Catalogo-completo-Alfa2LTDA.pdf>
- Ariza, A. (2013). Métodos utilizados para el pronóstico de demanda de energía eléctrica en sistemas de distribución. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Aynat, A. (2012). *Determinación del ciclo de vapor de una central solar termoeléctrica CCP de 50MW*. (Trabajo fin de Grado Ingeniería Mecánica). Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16900/TFG\\_Ascension\\_Aynat\\_Piquer.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16900/TFG_Ascension_Aynat_Piquer.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Báez, J., & Forero, R. (2018). Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro. *Revista USTA*, 1-14. Obtenido de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10713/2018Baezjose.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bosch Industriekessel. (2021). *Caldera de vapor CSB*. (Direct Industry) Recuperado el 12 de Abril de 2021, de <https://www.directindustry.es/prod/bosch-industriekessel-gmbh-industrial-boilers/product-7270-2181999.html>

Cabrera, G. (2011). *Fuentes de Energía*. Cali: Universidad del Valle.

CELSIA. (2017). *Todo lo que debes saber sobre la energía solar en Colombia*. (CELSIA) Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>

Cengel, Y. (2015). *Termodinámica*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.

Centro de Investigación Langley de la NASA. (12 de Abril de 2021). *Visor de Acceso a datos POWER. Predicción de los recursos energéticos mundiales*. (NASA) Recuperado el Abril de 2021, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Centro Internacional de Agricultura Tropical y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2015). *Portafolio de Estrategias para la Mitigación y Adaptación al cambio climático Municipio de Dagua - Valle del Cauca*. Cali: CIAT & CVC. Obtenido de [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/biblioteca/PORTAFOLIO\\_DE ESTRATEGIAS\\_DE ADAPTACION-DAGUA.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/PORTAFOLIO_DE ESTRATEGIAS_DE ADAPTACION-DAGUA.pdf)

Colino, A., & Caro, R. (2010). La Nueva Geopolítica de la Energía: Fuentes Energéticas. *Dialnet UniRioja*(114), 21-34. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4548648.pdf>

Comisión Europea. (18 de Octubre de 2019). *Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica*. (Comisión Europea) Recuperado el 12 de Abril de 2021, de [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#)

Congreso de la República. (13 de Mayo de 2014). *Ley 1715: "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional"*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

- Consejo Mundial de Energía. (22 de Abril de 2014). *Recursos energéticos globales*. Obtenido de World Energy: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2014/04/Traduccion-Estudio-Recursos-Energeticos1.pdf>
- Corredoyra, J. (2016). *Modelado de un simulador de ciclos combinados y optimización de los niveles de presión de la turbina de vapor en la caldera de recuperación de calor*. (Trabajo Fin de Grado Ingeniería en Tecnologías Industriales). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [http://oa.upm.es/43129/1/TFG\\_JOAQUIN\\_CORREDOYRA\\_ALCARAZ.pdf](http://oa.upm.es/43129/1/TFG_JOAQUIN_CORREDOYRA_ALCARAZ.pdf)
- Cortés, M. (2013). *Energía Eólica: Ventajas y Desventajas de su utilización en Colombia*. (Monografía de Grado Especialista en Gerencia Ambiental). Universidad Libre. Bogotá D.C. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10602/Monograf%C3%ADa.pdf?seque>
- De Lucas, A., Del Peso, C., Rodríguez, E., & Prieto, P. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Palencia: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario (ITAGRA). Obtenido de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>
- Deutsche Welle. (13 de Noviembre de 2018). *AIE: demanda de energía mundial aumentará un 25% hasta 2040*. Obtenido de Deutsche Welle: <https://www.dw.com/es/aie-demanda-de-energ%C3%ADa-mundial-aumentar%C3%A1-un-25-hasta-2040/a-46269694>
- Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC). (12 de Marzo de 2018). *La tecnología hidroeléctrica*. Recuperado el 14 de Marzo de 2021, de <https://www.epec.com.ar/docs/epec-educando/la-tecnologia-hidroelectrica.pdf>

- Espina, J. (30 de Abril de 2017). *Conceptos fundamentales para la distribución de electricidad*. Recuperado el Diciembre de 2020, de Sector Electricidad: <http://www.sectorelectricidad.com/>
- Fernández, H. (16 de Agosto de 2015). *Calentadores Abiertos*. Obtenido de Blog Sites: <https://sites.google.com/site/201508hugofernandez/calentadores-abiertos>
- Foster, S., & Elzinga, D. (2017). *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible*. Recuperado el 19 de Febrero de 2021, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Fusté, S. (2015). *Análisis Termodinámicos de los Ciclos de Rankie*. (Trabajo Final de Grado Tecnologías Marinas). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25938/TFG%20Sergi%20Fuste.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gamba, C. (02 de Julio de 2020). *La importancia de la autosuficiencia energética*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://www.portafolio.co/opinion/otros-columnistas-1/la-importancia-de-la-autosuficiencia-energetica-y-la-transicion-a-la-energia-limpia-542304>
- García, R. (10 de Junio de 2018). *Intercambiadores de calor*. (Ingeniero Marino) Recuperado el 05 de Abril de 2021, de <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>
- Haghihat, A., Avella, S., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 293-305. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086>
- Hernández, A. (15 de Abril de 2020). *Panorama de la situación energética en América Latina*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de

<https://co.boell.org/es/2020/04/15/panorama-de-la-situacion-energetica-en-america-latina>

Hernández, R. (Agosto de 2017). *Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV*. Obtenido de Repositorio Institucional de CIATEQ Digital. (Tesis de Grado Maestro en Manufactura Avanzada). Tecnológico ITSLV Villa la Venta. Villahermosa, Tabasco: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGalle%20Rodolfo%20MMANAV%202017.pdf>

Iberdrola. (15 de Marzo de 2019). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica? ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?* Obtenido de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Atlas de viento y energía eólica en Colombia*. Bogotá D.C.: IDEAM.

Instituto Tecnológico de Canarias. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España: Instituto Tecnológico de las Canarias. Obtenido de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>

Jinko Solar . (2017). *Ficha técnica Panel Policristalino JKM275PP-60 (Plus) 275 Wp*. (Suministros del Sol) Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de [https://drive.google.com/file/d/1w3cqVZxYQxoRduWEtHJZ\\_90Gnp7JgOU/view](https://drive.google.com/file/d/1w3cqVZxYQxoRduWEtHJZ_90Gnp7JgOU/view)

Millán, J. (02 de Septiembre de 2017). *Máquinas y equipos térmicos II*. Obtenido de Blog Máquinas y equipos térmicos: <http://maquinasyequipostermicos02.blogspot.com/2017/09/unidad-i-ciclos-de-vapor.html>

- Miranda, D. (02 de Marzo de 2019). *El acceso a la energía eléctrica en Colombia*. Obtenido de Panorama cultural: <https://panoramacultural.com.co/medio-ambiente/6571/el-acceso-a-la-energia-electrica-en-colombia>
- Montes, S. (19 de Febrero de 2019). Las plantas hidroeléctricas representan el 68% de la oferta energética en Colombia. *La República*, págs. 1-3. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (Noviembre de 2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Recuperado el 15 de Marzo de 2021, de Osinergmin. Lima, Perú:  
[https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf)
- Peñaloza, J., & Urgilés, F. (2009). *Diseño y Construcción de un Intercambiador de calor de tubería aletada para el laboratorio de térmicas de la facultad de mecánica*. (Tesis de Grado Ingeniería Mecánica). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/39/1/15T00409.pdf>
- Portafolio. (05 de Diciembre de 2016). *Energías renovables, la apuesta que debe hacer el país*. Recuperado el 18 de Febrero de 2021, de Portal Web Portafolio: <https://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-. (22 de Mayo de 2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: los retos para 2030*. Obtenido de Portal Web PNUD:  
[https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODS/undp\\_co\\_PUBL\\_julio\\_ODS\\_en\\_Colombia\\_los\\_retos\\_para\\_2030\\_ONU.pdf](https://www.undp.org/content/dam/colombia/docs/ODS/undp_co_PUBL_julio_ODS_en_Colombia_los_retos_para_2030_ONU.pdf)



- Restrepo, S. (2020). *Electricidad a partir de fuentes renovables en una zona no interconectada en Colombia*. (Trabajo de Grado Ingeniería Industrial). Universidad IEA. Envigado. Obtenido de (Trabajo de Grado : [https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2696/RestrepoSara\\_2020\\_ElectricidadFuentesRenovables.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2696/RestrepoSara_2020_ElectricidadFuentesRenovables.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ríos, A. (09 de Noviembre de 2018). *Evaluación de proyectos de energía renovable y eficiencia energética. Finanzas del cambio climático*. Obtenido de aRenergy: <https://feriaexposolar.com/wp-content/uploads/2018/11/9-Project-Financing-aRenergy.pdf>
- Ruíz, J., Serna, J., & Zapata, H. (2017). *Atlas de viento de Colombia*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de <http://www.andi.com.co/Uploads/VIENTO.compressed.pdf>
- Secretaría de Energía República Argentina. (2008). *Energías Renovables: Energía Biomasa*. Paseo Colón, Buenos Aires: Secretaría de Energía. Obtenido de [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_biomasa.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf)
- Secretaría General del Sistema de Integración Centroamericana y Consultoría e Inversiones CABAL . (Enero de 2014). *Guía de buenas prácticas Proyectos Fotovoltaicos*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Dm9o5j8VNAJ:https://www.sica.int/download/%3F89647+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Shin Nippon Machinery. (15 de Marzo de 2019). *Turbinas de Vapor*. (SNM) Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de SNM: <http://www.snm.co.jp/products/turbines.html>
- Sobrino, E. (2008). *La célula fotovoltaica*. (Tesis de Grado). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Timmons, D., Harris, J., & Roach, B. (Junio de 2019). *La Economía de las Energías Renovables*. Obtenido de Global Development and Environment Institute: <https://www.bu.edu/eci/files/2019/06/EconomiaEnergiasRenovables.pdf>

T-Solucionaria. (09 de Octubre de 2020). *Tipos de intercambiadores de calor*. (T-Solucionaria) Recuperado el 05 de Abril de 2021, de <https://t-solucionaria.com/tipos-intercambiadores-calor/>

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015). *Integración de las Energías Renovables no convencionales en Colombia*. Recuperado el 18 de Enero de 2021, de [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVABLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVABLES_WEB.pdf)

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Colciencias, Universidad Javeriana e Ingfocol Ltda. (07 de Octubre de 2015). *Atlas potencial Hidroenergético de Colombia. Capítulo 1: Hidroeléctrica, Central Urrá*. Recuperado el Marzo de 2021, de UPME: [https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Atlas/Atlas\\_p25-36.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf)

Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). (2016). *Energía y Desarrollo Sostenible: Sistemas de Producción*. Madrid: UNED. Obtenido de <https://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/sistemas.htm>

Universidad Nacional de Tucumán. (2020). *Centrales Eléctricas*. Obtenido de Cátedras Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (Facet): <https://catedras.facet.unt.edu.ar/>

Universidad Rey Juan Carlos. (2016). *Ingeniería Térmica: Máquinas Térmicas. Ciclo Rankine*. (Ingeniería de la Organización Industrial) Recuperado el 15 de Marzo de 2021, de <https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Tema%203%20Maquinas%20II%20%20Rankine..pdf>

UPME. (Enero de 2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050*. Obtenido de UPME: [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)

- UPME. (Diciembre de 2019). *Plan Energético Nacional 2020-2050*. Recuperado el 15 de Marzo de 2021, de [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf)
- Vita, L. (19 de Febrero de 2020). *Colombia sigue consolidándose como una potencia en fuentes de energías renovables*. Recuperado el 18 de Febrero de 2021, de La República: <https://www.larepublica.co/especiales/colombia-potencia-energetica/colombia-sigue-consolidandose-como-una-potencia-en-fuentes-de-energias-renovables-2966300>
- Vivas, J. (12 de Febrero de 2019). *El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia*. Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>