



Centro Poblado Llano de Palmas – Municipio de Rionegro

Informe de prefactibilidad de la Comunidad Energética

Universidad Industrial de Santander

Bucaramanga

2024



CONTENIDO

Parámetros característicos de la comunidad energética	5
1 Contexto de la potencial comunidad energética.....	6
1.1 Descripción de la organización de la probable comunidad energética.	6
1.2 Descripción del sector económico al que pertenece la potencial comunidad energética	6
1.3 Descripción de la localización	7
2 Infraestructura de servicios públicos.....	9
2.1 Unifilar esquemático de la red eléctrica	10
3 Disponibilidad de recursos renovables.....	11
3.1 Potencial del recurso solar	11
3.2 Potencial Hidroeléctrico	14
3.3 Potencial Eólico	15
3.4 Potencial de Biomasa.....	20
4 Ubicación de la solución de generación eléctrica	21
5 Estimación del consumo y fronteras comerciales	25
6 Dimensionamiento de la solución de generación eléctrica	30
6.1 Dimensionamiento Inicial de la planta	31
6.2 Estimación de la producción de energía	32
6.3 Simulación del sistema de autogeneración colectiva (AC)	39
7 Estimación de costos de la solución de generación eléctrica.....	43
7.1 Estimación del CAPEX	43
7.2 Estimación del OPEX con costos estándar en información secundaria.....	44
7.3 Costos nivelados de la energía producida - LCOE	45

TABLAS

<i>Tabla 1. Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según POWER NASA.</i>	12
<i>Tabla 2. Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según PVGIS.</i>	13
<i>Tabla 3. Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según ATLAS SOLAR UPME 2005.</i>	13
<i>Tabla 4. Registros promedios de Potencial Solar en la zona Llano de palma.</i>	13
<i>Tabla 5. Registros de velocidad de viento en la zona Llano de palma según POWER NASA.</i>	17
<i>Tabla 6. Registros de velocidad de viento en la zona Llano de palma según ATLAS de vientos UPME 2005.</i>	17
<i>Tabla 7. Registros promedios de velocidad de viento en la zona Llano de palma.</i>	18
<i>Tabla 8. Tipos de procesos para convertir la biomasa en energía.</i>	20
<i>Tabla 9. Caracterización de carga comunidad Llano de Palmas.</i>	26
<i>Tabla 10. Datos iniciales de diseño.</i>	32
<i>Tabla 11. Características de la potencial ubicación.</i>	33
<i>Tabla 12. Pérdidas relacionadas a los paneles fotovoltaicos.</i>	34
<i>Tabla 13. Energía estimada generada mensual.</i>	35
<i>Tabla 15. Características del panel seleccionado.</i>	37
<i>Tabla 16. Características del inversor seleccionado.</i>	38
<i>Tabla 17. Costos estimados de producción del proyecto FV con impuestos.</i>	45
<i>Tabla 18. Costos estimados de producción del proyecto FV sin impuestos.</i>	46
<i>Tabla. 19. Tabla comparativa de tarifas de energía de cada fuente energética.</i>	47

IMAGENES

<i>Imagen 1. Ubicación del centro poblado de Llano de Palmas, tomado de Google Earth.</i>	8
<i>Imagen 2. Ruta Rionegro-Llano de Palmas.</i>	9
<i>Imagen 3. Distribución locativa de la red existente.</i>	10
<i>Imagen 4. Irradiación solar 2018 – 2022 DAV.</i>	11
<i>Imagen 5. Irradiación solar global anual en la zona Llano de Palmas.</i>	14
<i>Imagen 6. Diagrama mapa potencial hidroenergético de Colombia.</i>	15
<i>Imagen 7. Velocidad el viento 2018-2022 DAV.</i>	16
<i>Imagen 8. Velocidad el viento anual Llano de Palmas.</i>	18
<i>Imagen 9. Velocidad promedio del viento durante el año según Meteoblue.</i>	19
<i>Imagen 10. Intensidad Sísmica Esperada, Rionegro, Santander.</i>	23
<i>Imagen 11. Perfil topográfico tomado del centro poblado.</i>	24
<i>Imagen 12. Ubicación Escuela Llano de Palmas Google Earth.</i>	25
<i>Imagen 13. Demanda diaria típica usuarios estrato.</i>	27
<i>Imagen 14. Demanda diaria típica usuarios estrato 2.</i>	27
<i>Imagen 15. Demanda diaria típica usuarios estrato comercial.</i>	28
<i>Imagen 16. Demanda diaria usuarios agregados.</i>	29
<i>Imagen 17. Disposición de Fronteras Comerciales.</i>	30
<i>Imagen 18. Disposición física de paneles Fotovoltaicos correspondientes al proyecto.</i>	33
<i>Imagen 19. Energía generada por la planta Fotovoltaica.</i>	35
<i>Imagen 20. Curva horaria demanda diaria de la carga.</i>	39
<i>Imagen 21. Curva horaria de potencia generada por el sistema FV.</i>	40
<i>Imagen 22. Curva horaria de potencial generación y demanda.</i>	41
<i>Imagen 23. Curva de energía importada y exportada a la red.</i>	42
<i>Imagen 24. Energía entregada a la red, generada, importada y exportada por la comunidad energética en el mes.</i>	42

Parámetros característicos de la comunidad energética

1. Contexto de la potencial Comunidad Energética			
Número de usuarios (cuentas)	60	Tipos de usuarios (Tipo y estrato)	Residencial y comercial / 1 y 2
2. Infraestructura de servicios públicos			
Servicios públicos	Agua no tratada, Gas cilindros, Electricidad	Nivel de tensión de redes eléctricas	1 y 2
3. Disponibilidad de recursos renovables			
Irradiancia solar promedio (kWh/m ²)	4,92	Velocidad promedio del viento (m/s)	1,5 m/seg a 2.5 m / seg a 10 metros de altura
Caudal hidráulico	No	Volumen de biomasa	No
4. Ubicación de la solución de generación eléctrica			
Cantidad de sitios	1	Descripción de sitios	Techo de Escuela
5. Estimación del consumo y fronteras comerciales			
Demanda máxima diaria (kW)	29,4	Consumo anual estimado (kWh)	134,831
Números de fronteras comerciales	2	Nivel de tensión fronteras comerciales	2
6. Dimensionamiento de la solución de generación eléctrica			
Capacidad instalada (kW)	74,8	Porcentaje de autogeneración alcanzado	74,3%
7. Estimación de costos de la solución de generación eléctrica			
CAPEX	\$365.884.551	OPEX	\$5.058.719
CAPEX con impuesto	\$505.871.980		
Tarifa de compra energía - Sep 2023 (\$/kWh)	\$889,69	LCOE (\$/kWh) LCOE con impuesto (\$/kWh)	\$375,3 \$490,7



1 Contexto de la potencial comunidad energética

El centro poblado Llano de Palmas, está ubicado en el municipio de Rionegro del departamento de Santander, en las coordenadas 7°14'21"N, 73°11'47"W. Este centro poblado tiene 60 tipos de usuarios entre residenciales y comerciales, en los cuales habitan una población aproximadamente de 250 personas.

1.1 Descripción de la organización de la probable comunidad energética.

Para organizar la probable Comunidad Energética, se cuenta con la participación de la siguiente organización:

- Junta de acción comunal del centro poblado Llano de Palmas.

Se desarrolló una reunión abierta, no programada, con sus directivos miembros de la junta de acción comunal. Los habitantes de Llano de Palmas se han mostrado interesados en la propuesta, justificando que actualmente tienen un alto costo en sus facturas de energía eléctrica. Además, muestran un gran interés en el medio ambiente y desean utilizar fuentes de energía más limpias en sus hogares. La transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible es un objetivo compartido por muchos, y el interés en la energía renovable sigue creciendo a medida que se desarrollan nuevas tecnologías.

La junta de acción comunal manifestó a través de la administración que los documentos de carácter legal de la junta serán enviados a la Universidad Industrial de Santander (UIS). El presidente de la JAC del centro poblado de Llano de Palmas es el señor Benjamín Quintero Martínez.

1.2 Descripción del sector económico al que pertenece la potencial comunidad energética

El centro poblado de Llano de Palmas ha implementado prácticas agrícolas sostenibles con el fin de preservar la calidad del suelo y contribuir a la conservación de la biodiversidad local. La



producción de cítricos (mandarinas, limones, piñas y naranjas) y cacao se ha convertido en una fuente fundamental de ingresos para la comunidad local.

Además de la agricultura, los habitantes de Llano de Palmas generan ingresos a través de diversos negocios locales, como tiendas, droguerías, panaderías y tiendas de productos para el campo. Estos establecimientos desempeñan un papel crucial en la economía local, al proporcionar bienes esenciales y servicios a la comunidad.

La Granja Progresos es una empresa avícola que se dedica principalmente a la producción, distribución y comercialización de carne de pollo y productos derivados. La Granja Progresos ha contribuido al desarrollo económico de la comunidad al ofrecer oportunidades laborales y fomentar la inversión en el sector avícola.

El turismo también ha surgido como una fuente adicional de ingresos para algunos residentes de Llano de Palmas. Las visitas a la parroquia de Nuestra Señora de Llano de Palmas, a la Quinta Casablanca y la riqueza de la gastronomía local han sido una gran atracción para los turistas interesados en experimentar la cultura y la belleza natural de la región. Esta actividad turística ha impulsado el crecimiento de pequeños negocios.

El colegio Llano de Palmas es una institución educativa que atiende a aproximadamente 494 alumnos y cuenta con 14 profesores. La educación desempeña un papel fundamental en el desarrollo de la comunidad, al brindar oportunidades de aprendizaje a los jóvenes y fortalecer la base de conocimiento local.

Los miembros del centro poblado están clasificados, según la caracterización socioeconómica utilizada en Colombia, en los estratos 1 y 2; además, hay miembros que se dedican a actividades económicas clasificadas como pequeños negocios.

1.3 Descripción de la localización

Rionegro, un municipio situado en el departamento de Santander, se estableció el 5 de mayo de 1805 y en la actualidad alberga a una población de 26,718 habitantes. Bajo su jurisdicción,

Rionegro cuenta con diversos centros poblados, entre ellos se encuentra Llano de Palmas, ubicado con coordenadas $7^{\circ}14'21''\text{N}$, $73^{\circ}11'47''\text{W}$.

La siguiente imagen adjunta muestra el perímetro que se definió durante la visita efectuada con el propósito de concebir una posible comunidad energética. La determinación de este perímetro se fundamentó en la proximidad entre los potenciales integrantes de la comunidad.

Imagen 1.

Ubicación del centro poblado de Llano de Palmas, tomado de Google Earth.



Nota: En la imagen se puede observar el perímetro donde se encuentra situada la comunidad de Llano de Palmas.

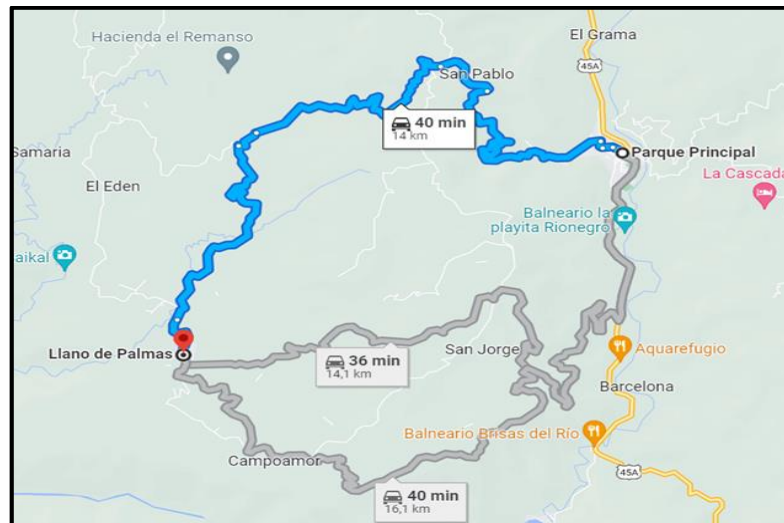
Para llegar al centro poblado de Llano de Palmas desde el parque principal de Rionegro, se debe tomar la ruta indicada en la siguiente imagen. Esta ruta se encuentra en la Transversal Oriental, una vía pavimentada que conecta la ciudad de Bucaramanga con Rionegro. Desde el casco urbano de Rionegro, se desprenden carreteras no pavimentadas que llevan a los corregimientos de este municipio.

El recorrido desde el parque principal de Rionegro hasta el parque del centro poblado de Llano de Palmas es de aproximadamente 14 kilómetros y se estima que toma alrededor de 40 minutos. El 10% de la carretera que conecta Rionegro con Llano de Palmas está pavimentada, mientras

que el 90% restante es una carretera destapada. Esta vía de acceso permite la entrada de todo tipo de vehículos, como carros, motocicletas, buses y camiones.

Imagen 2.

Ruta Rionegro-Llano de Palmas.



2 Infraestructura de servicios públicos

Es importante destacar que el centro poblado de Llano de Palmas enfrenta desafíos significativos en cuanto a servicios básicos. No cuenta con un servicio de agua tratada debido al no funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, lo que afecta la calidad de vida de sus habitantes y la salud pública. Tampoco cuenta con un centro de salud para atender las emergencias de los residentes del centro poblado.

Además, la comunidad carece de servicio telefónico por parte de las principales operadoras (Movistar, Tigo y Claro) y tampoco tiene acceso a internet. Esta falta de comunicación efectiva y oportuna entre los residentes limita el acceso a información vital y oportunidades de conectividad en un mundo cada vez más digital. A pesar de estos desafíos, el centro poblado cuenta con acceso a la energía eléctrica por parte del Operador de Red (OR).

La infraestructura de red actual en el centro poblado se compone de cuatro transformadores, clasificados de la siguiente manera: dos transformadores bifásicos de 15 kVA, un transformador

bifásico de 10 kVA y un transformador bifásico de 37.5 kVA. Es importante destacar que dentro de la red existe un transformador privado con una capacidad de 75 kVA.

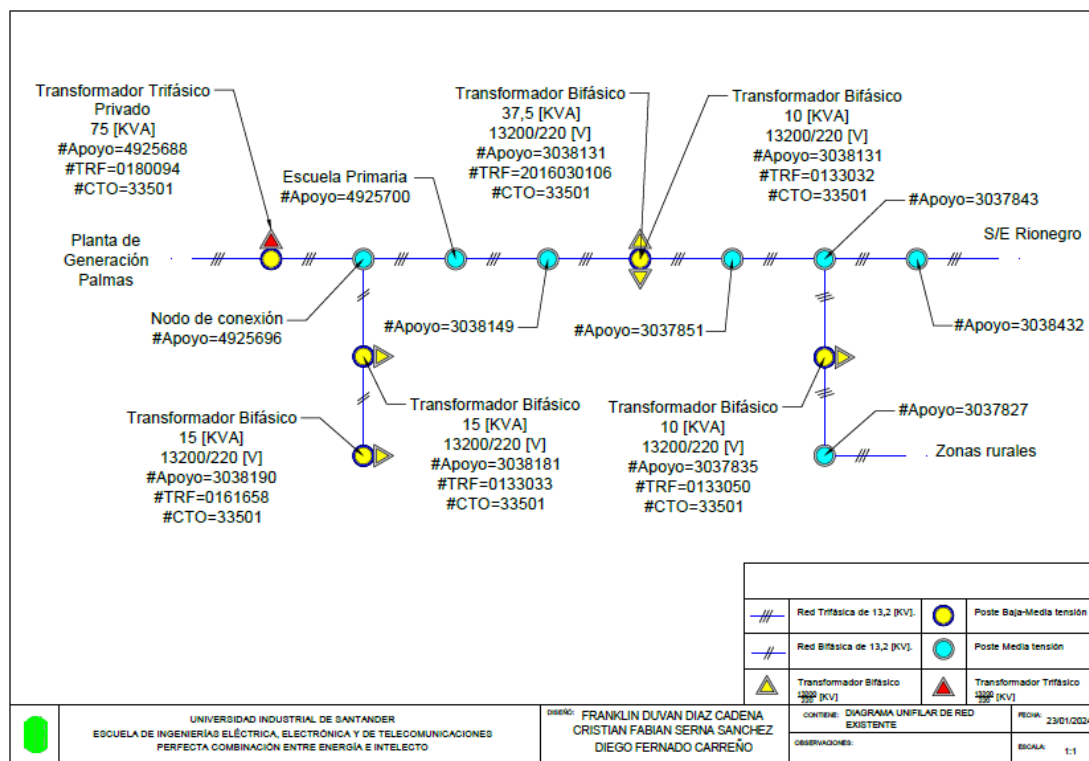
La red eléctrica existente en el centro poblado es trifásica y está conectada al Sistema Interconectado Nacional (SIN), siendo alimentada desde la planta de generación Palmas. De esta red trifásica se derivan circuitos bifásicos destinados a abastecer los transformadores mencionados anteriormente. La red eléctrica existente culmina en una estructura de retención y paso con el número de apoyo 3037843. En este punto, se desprende la red hacia otras veredas y hacia la subestación eléctrica de Rionegro.

2.1 Unifilar esquemático de la red eléctrica

En la siguiente imagen se puede observar la composición del sistema eléctrico del centro poblado Llano de Palmas, visto desde un panorama constructivo.

Imagen 3.

Distribución locativa de la red existente.



3 Disponibilidad de recursos renovables.

A continuación, se muestran los potenciales de generación con fuentes no convencionales de energía renovable-FNCER en el área circunscrita por la comunidad y en sus alrededores.

3.1 Potencial del recurso solar

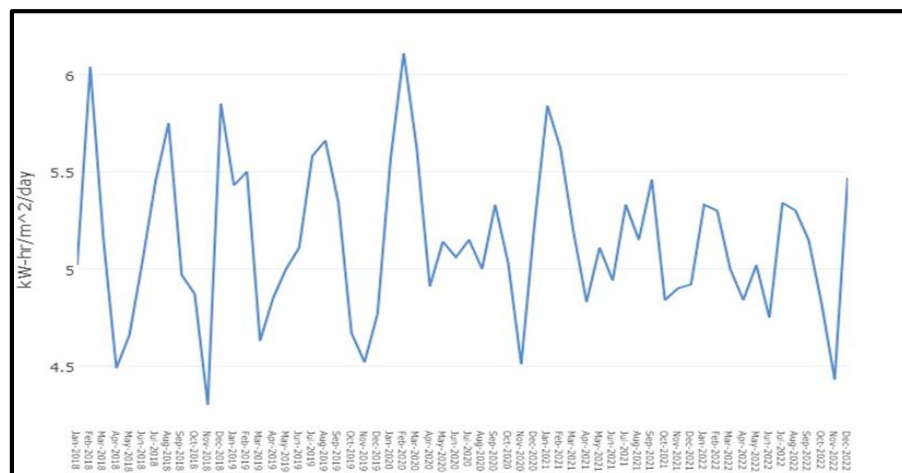
El software POWER Data Access Viewer (DAV)¹ incluye una amplia gama de parámetros relacionados con el clima, la meteorología y la geografía, diseñada específicamente para el análisis y diseño de sistemas de energía renovable. DAV es una aplicación versátil que utiliza widgets y es compatible con una gran diversidad de dispositivos.

Mediante el empleo del software Power Data Access Viewer, se ha logrado recopilar los datos de irradiación solar correspondientes al período que abarca desde el año 2018 hasta el año 2022, es decir, los últimos cinco años en el centro poblado de Llano de Palmas. De igual forma, la siguiente imagen representa el promedio de la irradiación solar (kWh/m^2) de cada mes, tomando en cuenta los cuatro años más recientes, como proporciona el software.

La imagen a continuación muestra los datos de irradiación solar de los últimos cinco años con resolución mensual recopilados del software Power Data Access Viewer para las coordenadas del centro poblado Llano de Palmas, identificando un promedio mensual de $5,134 [\text{kWh}/\text{m}^2]$.

Imagen 4.

Irradiación solar 2018 – 2022 DAV.



¹ <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

El Atlas de Radiación Solar de Colombia, según la UPME: “Es un conjunto de mapas donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado. De cada una de estas variables se muestran los valores promedio en el tiempo mediante 13 mapas, uno para cada mes del año y un mapa promedio anual. El Atlas es un documento de referencia para Colombia que contribuye al conocimiento de la disponibilidad de sus recursos renovables y facilita la identificación de regiones estratégicas donde es más adecuada la utilización de la energía solar para la solución de necesidades energéticas de la población.”

El Atlas de Radiación Solar proporciona datos que cuantifican la cantidad de energía solar que llega a la superficie horizontal de un país. Esta información es esencial para calcular el tamaño adecuado de sistemas o aplicaciones tecnológicas basadas en energía solar. El mapa de radiación solar global, obtenido del atlas solar de la UPME, presenta los valores de irradiación solar de los doce meses del año y el promedio a lo largo de varios años en todas las regiones del país. Para este estudio, se registraron los datos específicos correspondientes a la región de Santander, en la zona donde se encuentra ubicado el centro poblado de Llano de Palmas.

Los datos de irradiación solar, derivados de la información proporcionada por el atlas solar de la UPME y procesados mediante el software POWER Data Access Viewer (DAV) y el software PVGIS², se encuentran detallados en las Tablas 1 a 4:

Tabla 1.

Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según POWER NASA.

	IRRADIACIÓN SOLAR [kWh/m ²] - Power Data Acces Viewer NASA												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANN
2018	5,02	6,04	5,16	4,49	4,66	5,04	5,45	5,75	4,97	4,87	4,3	5,85	5,13
2019	5,43	5,5	4,63	4,85	5	5,11	5,58	5,66	5,34	4,67	4,52	4,77	5,09
2020	5,57	6,11	5,62	4,91	5,14	5,06	5,15	5	5,33	5,03	4,51	5,22	5,22
2021	5,84	5,62	5,19	4,83	5,11	4,94	5,33	5,15	5,46	4,84	4,9	4,92	5,17
2022	5,33	5,3	5	4,84	5,02	4,75	5,34	5,3	5,15	4,82	4,43	5,47	5,06
Promedio	5,438	5,714	5,12	4,784	4,986	4,98	5,37	5,372	5,25	4,846	4,532	5,246	5,134

² Es una herramienta gratuita, de acceso web, que proporciona datos de irradiación solar y rendimiento energético en una situación geográfica elegida. <https://smartspain.es/pvgis-espana/>

Tabla 2.

Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según PVGIS.

	IRRADIACIÓN SOLAR [kWh/m ²] - PVGIS												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANN
2010	6,27	4,60	5,30	5,12	5,10	5,08	5,01	5,14	4,97	5,03	4,19	4,39	5,02
2011	5,34	4,68	4,94	5,02	4,92	5,23	5,39	5,78	5,28	4,77	4,32	4,52	5,02
2012	5,31	5,40	5,34	5,07	5,34	5,41	5,47	5,50	3,25	5,41	5,13	5,14	5,15
2013	5,85	4,60	5,23	5,43	5,20	5,39	5,78	5,78	5,37	5,34	4,67	5,11	5,31
2014	5,56	4,87	5,37	5,51	5,35	5,33	5,53	5,61	5,48	5,05	4,72	5,44	5,32
2015	5,89	5,20	5,78	5,44	6,00	5,47	5,66	5,59	5,87	5,42	4,75	5,65	5,56
Promedio	5,70	4,89	5,33	5,27	5,32	5,32	5,47	5,57	5,04	5,17	4,63	5,04	5,23

Tabla 3.

Registros de irradiación solar en la zona Llano de palma según ATLAS SOLAR UPME 2005.

	IRRADIACIÓN SOLAR [kWh/m ²] - ATLAS SOLAR UPME IDEAM												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANN
Rango	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	4.5-5	4.5-5	4.5-5	5-5.5	4.5-5	4.5-5	4.5-5	3.5-4	3.5-4	4.5-5
Promedio	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	5,2	4,7	4,7	4,7	3,8	3,8	4,7

Tabla 4.

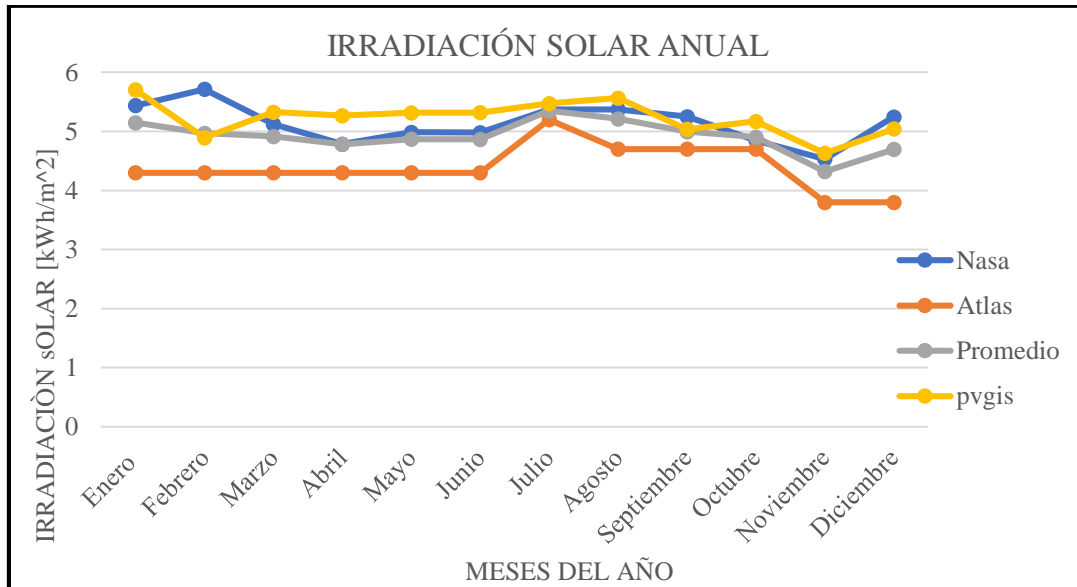
Registros promedios de Potencial Solar en la zona Llano de palma.

	IRRADIACIÓN SOLAR [kWh/m ²] - PROMEDIO DE DATOS												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM
PROMEDIO GENERAL	5,15	4,97	4,92	4,78	4,87	4,87	5,35	5,21	5,00	4,91	4,32	4,70	4,92

En la siguiente imagen se presenta la gráfica, la cual muestra el comportamiento histórico y las tendencias de tres fuentes de información anteriores, así como el promedio de estas. Se ha optado por utilizar los datos promedio en la presente caracterización, proporcionando una visión consolidada de la información de ambas fuentes para un análisis más integral.

Imagen 5.

Irradiación solar global anual en la zona Llano de Palmas.



3.2 Potencial Hidroeléctrico

Para el análisis del recurso Hídrico se toma en consideración el estudio de Potencial hidroenergético realizado por la UPME (Mapa de Potencial Hidroenergético), donde se tiene en cuenta el cálculo del caudal y de las caídas hidráulicas para obtener el potencial por tramo de río con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\text{Pot} = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H \cdot \mu \quad (1)$$

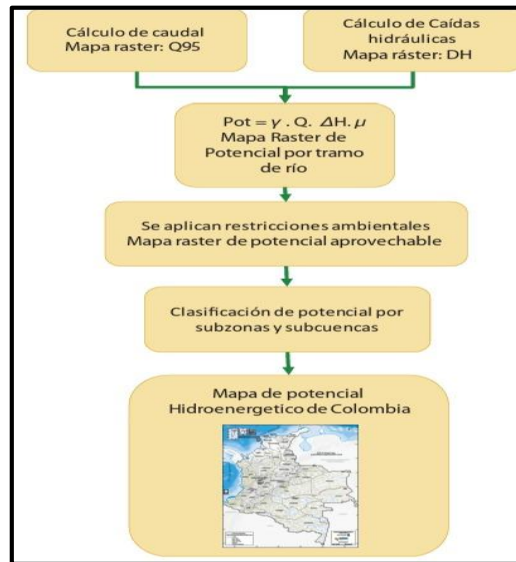
Donde “Pot” es el potencial generado, “ γ ” es el peso específico del agua, “Q” es el caudal que pasa por las turbinas, “ ΔH ” es la caída hidráulica y “ μ ” es la eficiencia del generador.

Al final se le aplican las restricciones ambientales (si las hay) y finalmente se clasifica el potencial por subzonas y subcuencas, de esta manera se obtiene el Potencial Hidroenergético.

En la siguiente imagen se muestra el procedimiento descrito anteriormente.

Imagen 6.

Diagrama mapa potencial hidroenergético de Colombia.



En el centro poblado de Llanos de Palmas, se encuentran dos quebradas, la quebrada Urumo y la quebrada Agua Fría. Esta última constituye la fuente principal de abastecimiento de agua para la comunidad. Es fundamental destacar que ambas quebradas carecen de caída hidráulica (“ΔH”) y de caudal (Q), que puedan ser utilizadas para generar energía potencial. Además, debido a la topografía plana del centro poblado, los cuerpos de agua no presentan pendientes pronunciadas, **lo que limita las posibilidades de aprovechar la energía hidráulica en esta región.**

3.3 Potencial Eólico

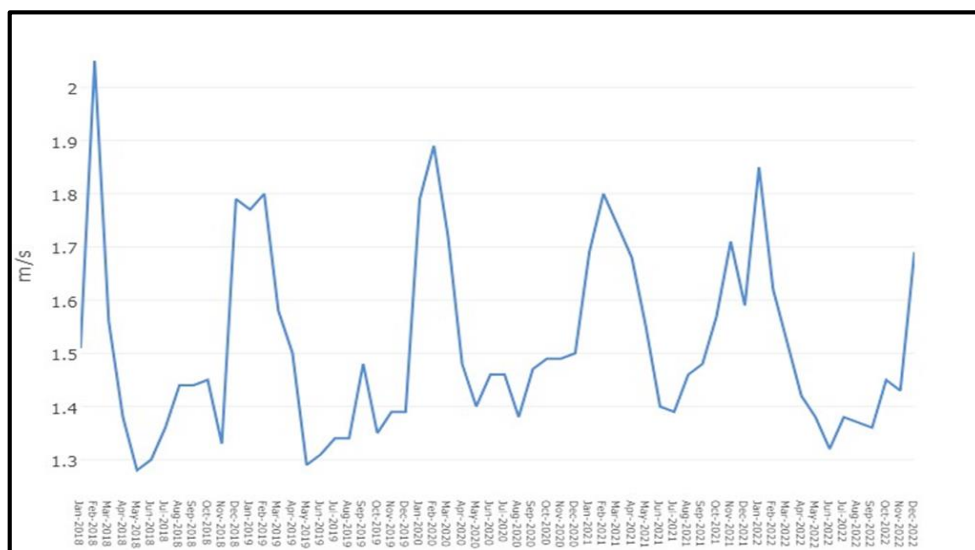
El software POWER Data Access Viewer (DAV) integra una serie de parámetros vinculados al clima, la meteorología y la geografía. Estos parámetros han sido específicamente diseñados para llevar a cabo el análisis y el diseño de sistemas de energía renovable. DAV se presenta como una aplicación versátil que hace uso de widgets y es compatible con una amplia gama de dispositivos.

Con el uso del software Power Data Access Viewer³, se logró calcular la velocidad del viento en el período que abarca desde 2018 hasta 2022, es decir, durante los últimos cinco años en el centro poblado de Llano de Palmas.

La imagen a continuación muestra los datos de velocidad del viento de los últimos cinco años con resolución mensual recopilados del software Power Data Access Viewer para las coordenadas del centro poblado Llano de Palmas, identificando un promedio mensual de **1,51 [m/s]**.

Imagen 7.

Velocidad el viento 2018-2022 DAV.



En el primer capítulo del Atlas del Viento de la UPME, se presenta una serie de 12 mapas mensuales, junto con uno anual, que muestra el promedio de la velocidad del viento. Según la UPME estos mapas han sido generados a partir de datos provenientes de 111 estaciones de referencia, principalmente ubicadas en las regiones Andina y Caribe. Además, se han incorporado 122 conjuntos de datos limitados procedentes de áreas que abarcan Venezuela, Brasil, Perú, Ecuador, el Mar Caribe y el Océano Pacífico. Estos datos provienen tanto de

³ <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

modelos regionales como de fuentes complementarias y están distribuidos de manera geoespacial en los Llanos Orientales y la Amazonia.

“El viento es el movimiento del aire. La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica a 10 metros de altura, que es la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento.” (UPME, Atlas de Viento de Colombia, 2005).

En este contexto, se recopiló la información correspondiente a la región de Santander, específicamente en la ubicación del centro poblado de Llano de Palmas. Los datos derivados de la información sobre la velocidad del viento, obtenidos tanto del atlas solar de la UPME como del software Power Data Access Viewer, se encuentran detallados en las Tablas 5 a 7:

Tabla 5.

Registros de velocidad de viento en la zona Llano de palma según POWER NASA.

	Velocidad del Viento [m/s] - Power Data Acces Viewer NASA												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANN
2018	1,51	2,05	1,56	1,38	1,28	1,3	1,36	1,44	1,44	1,45	1,33	1,79	1,48
2019	1,77	1,8	1,58	1,5	1,29	1,31	1,34	1,34	1,48	1,35	1,39	1,39	1,46
2020	1,79	1,89	1,72	1,48	1,4	1,46	1,46	1,38	1,47	1,49	1,49	1,5	1,54
2021	1,69	1,8	1,74	1,68	1,55	1,4	1,39	1,46	1,48	1,57	1,71	1,59	1,59
2022	1,85	1,62	1,52	1,42	1,38	1,32	1,38	1,37	1,36	1,45	1,43	1,69	1,48
Promedio	1,722	1,832	1,624	1,492	1,38	1,358	1,386	1,398	1,446	1,462	1,47	1,592	1,51

Tabla 6.

Registros de velocidad de viento en la zona Llano de palma según ATLAS de vientos UPME 2005.

	Velocidad del Viento [m/s] - Atlas de Viento UPME IDEAM												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANN
Rango	2 - 2.5	3 - 3.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	2 - 2.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2 - 2.5
Promedio	2,3	3,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,7	2,2	2,2

Tabla 7.

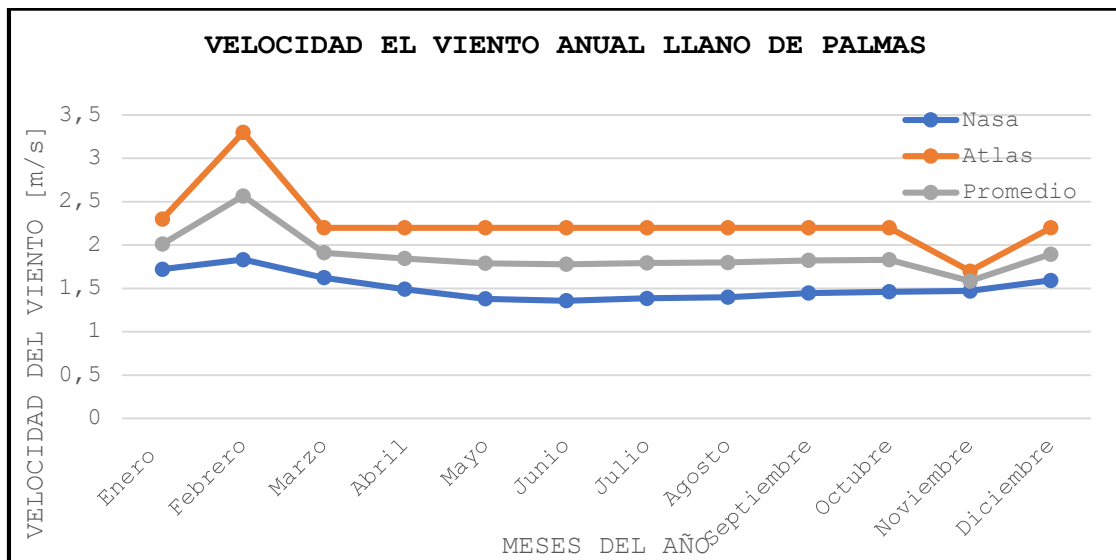
Registros promedios de velocidad de viento en la zona Llano de palma.

	Velocidad del Viento [m/s] - PROMEDIO DE DATOS												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PROM
PROM	2,011	2,566	1,912	1,846	1,79	1,779	1,793	1,799	1,823	1,831	1,585	1,896	1,855

En la siguiente imagen se presenta la gráfica, la cual muestra el comportamiento histórico y las tendencias de dos fuentes de información anteriores, así como el promedio de estas.

Imagen 8.

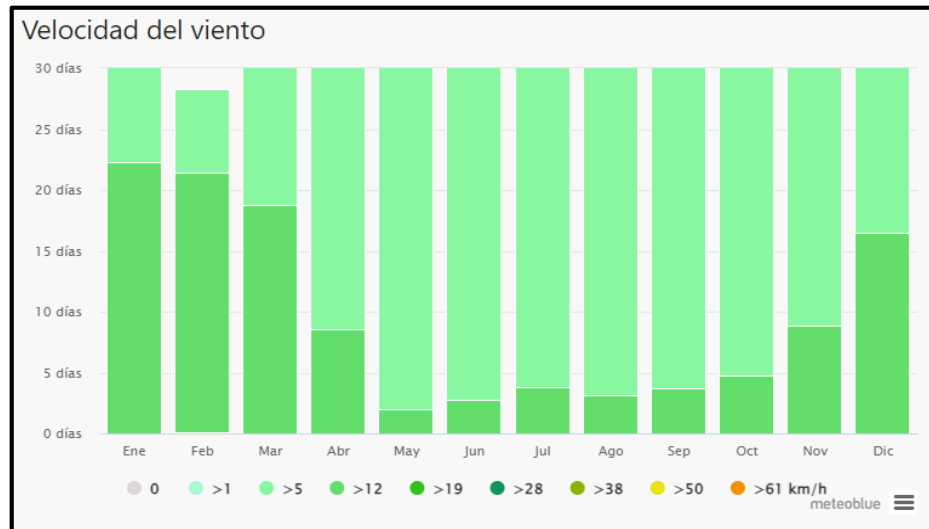
Velocidad el viento anual Llano de Palmas.



La siguiente imagen muestra la gráfica obtenida de la página Meteoblue, la cual ilustra la velocidad del viento a una altura de 10 metros durante los doce meses del año. Se puede apreciar que, en ocho de los doce meses, prevalece una velocidad del viento de 5 km/h, equivalente a aproximadamente 1,4 m/s. Solo en los primeros tres meses del año se registra una velocidad del viento de 19 km/h, es decir, alrededor de 5 m/s.

Imagen 9.

Velocidad promedio del viento durante el año según Meteoblue.



“Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada «cut-in speed», y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada «cut-out speed».” (Veracruzana) .

El análisis de los datos recopilados de diversas fuentes indica que, en la zona del centro poblado de **Llano de Palmas**, la **velocidad del viento se sitúa en un rango de 1,5 a 2,5 metros por segundo**. Según las pautas establecidas por el centro de investigación de la Universidad Veracruzana mencionadas anteriormente, **dicha velocidad del viento no es suficiente para que la generación de energía eólica sea factible**. De hecho, no alcanza el umbral mínimo requerido para aprovechar la energía del viento en la producción de electricidad.



Esto contrasta con áreas como Barranquilla y La Guajira, donde, según el Atlas de Vientos de la UPME-IDEAM, la velocidad promedio del viento oscila entre 5 y 9 metros por segundo. En estas zonas, las condiciones son más favorables para la generación de energía eólica.

3.4 Potencial de Biomasa

La energía de biomasa proviene de materia orgánica de origen vegetal o animal, que puede incluir árboles, plantas, desechos de animales, cultivos, residuos agrícolas, aguas residuales y estiércol. Este tipo de energía es renovable y sostenible, y se obtiene a través de procesos como la fotosíntesis, en la que las plantas convierten sustancias simples en materia orgánica utilizando la luz solar. La biomasa se divide en varias categorías, que abarcan desde la forestal, agrícola, ganadera, industrial, urbana hasta la acuosa. Puede transformarse en electricidad, combustible y calor mediante diversos métodos, que incluyen procesos físicos, termoquímicos, químicos y biológicos.

La biomasa se posiciona como una alternativa ecológica a los combustibles fósiles, y su disponibilidad es global. Además, constituye una fuente de energía autóctona en muchos lugares del mundo.

En la siguiente tabla, extraída de OVACEN, un periódico especializado en noticias sobre eficiencia energética y arquitectura del año 2022, se detallan los distintos métodos empleados para transformar la biomasa en energía:

Tabla 8.

Tipos de procesos para convertir la biomasa en energía.

Tipos	Método	Descripción	La energía biomasa sirve para
Procesos físicos	Combustión directa	Es el método más utilizado donde se produce una combustión, es la quema (Ejemplo, estufas de leña).	Producir calor. Calentar viviendas y edificios

Conversión termoquímica	Pirolisis y la gasificación	<p>Gasificación: Se transforma la biomasa sólida en un gas sintético o combustible por un proceso de calentamiento a altas temperaturas con inyecciones de cantidades controladas de oxígeno.</p> <p>Pirolisis: Se transforma la materia orgánica por un proceso de calentamiento en ausencia casi total de oxígeno.</p>	Combustibles sólidos, gaseosos y líquidos. Desde generar electricidad o calefacción a carbón vegetal, bioaceite, diésel renovable, metano e hidrógeno.
Conversión química	Por fermentación	Es la conversión del azúcar en ácidos o alcohol con la ayuda de bacterias o levaduras.	Para producir combustibles líquidos, el biodiesel.
Conversión biológica	Digestión anaeróbica	La digestión anaeróbica es una serie de procesos biológicos en los que los microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.	Para producir combustibles líquidos, el biogás (CO ₂ y CH ₄) y abono líquido. El biogás puede quemarse directamente para cocinar o para producir electricidad.

En este contexto, la principal actividad agrícola **en el centro poblado de Llano de Palmas** se enfoca en el cultivo de cítricos, como mandarinas, piñas y naranjas. Alrededor del 90% de la producción agrícola en la región se dedica a estos cultivos. Es relevante señalar que **estos cultivos no generan desechos que puedan ser utilizados en la producción de biomasa.**

El 10% restante de la actividad agrícola se dedica al cultivo de cacao. Durante la recolección de estos cultivos, se generan desechos, como las cáscaras de cacao. No obstante, es importante destacar que la recolección de estos residuos no se realiza de manera tecnificada. A pesar de que las cáscaras de cacao podrían considerarse como una fuente potencial para la producción de biomasa, la cantidad de residuos generados es limitada debido al tamaño reducido de estos cultivos, lo que restringe su viabilidad para la producción de biomasa.



Por otra parte, en la región, es evidente la existencia de galpones destinados a la cría de pollos para consumo humano. Esta actividad agropecuaria produce desechos, como la pollinaza, que se emplean como fertilizante para los cultivos.

Considerando lo mencionado, se llega a la conclusión de que **no resulta viable la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica utilizando como fuente los residuos orgánicos en esta área, es decir la biomasa.**

4 Ubicación de la solución de generación eléctrica

Desde una perspectiva urbana, el núcleo poblacional exhibe una disposición heterogénea en su zona urbana. En este entorno conviven tanto viviendas unifamiliares como plurifamiliares, reflejando una estructura residencial diversa. Además de las residencias, se aprecia una variedad de establecimientos comerciales que abarcan desde panaderías hasta tiendas minoristas. Estos negocios locales desempeñan un papel fundamental en el sector económico y social de la comunidad, ofreciendo servicios esenciales tanto a residentes como visitantes.

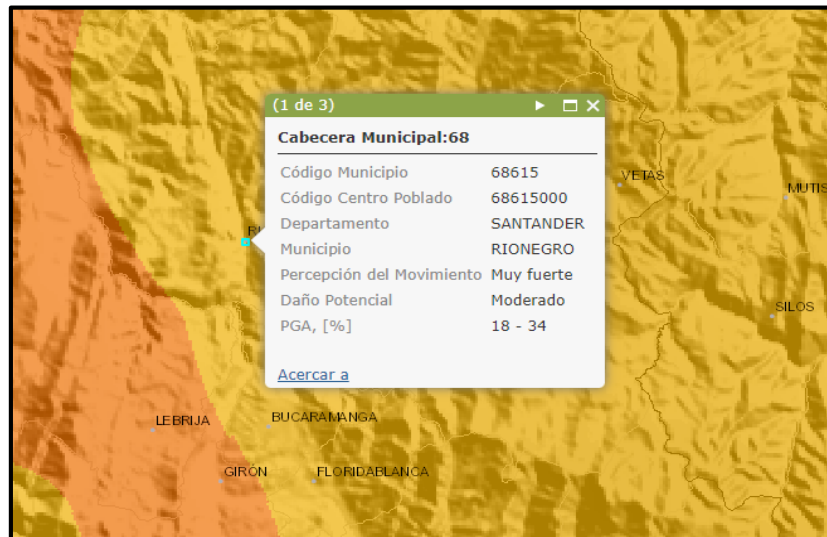
Es esencial destacar que, de acuerdo con el **Plan de Ordenamiento Territorial (POT)** del municipio de Río Negro, **no se ha establecido una especificación oficial actualizada sobre el uso del suelo en el corregimiento de Llano de Palmas**; pero en el POT no se restringe la colocación de un sistema fotovoltaico en los techos de las instituciones educativas.

Utilizando el mapa de Intensidad Sísmica Esperada del Servicio Geológico Colombiano⁴. Se determinó que la aceleración pico del terreno (PGA) para la zona de Rionegro, Santander se sitúa en un intervalo de riesgo sísmico del 18 al 34%, lo cual se asocia con un potencial de daño moderado y una percepción significativa de riesgo. Asimismo, al analizar el mapa de Intensidad Sísmica Observada, se constata que, en el municipio de Rionegro, los sismos han ocasionado daños de magnitud moderada en las estructuras existentes. Estas observaciones se ilustran en la imagen que se presenta a continuación.

⁴ https://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/

Imagen 10.

Intensidad Sísmica Esperada, Rionegro, Santander.



La recopilación de datos durante la visita de campo confirma la ausencia de inundaciones en el centro poblacional de Llano de Palmas, ya que no se han identificado quebradas o ríos cercanos que puedan dar lugar a posibles situaciones de inundación.

Dentro del centro poblado de Llano de Palmas, se encuentran áreas públicas notables como la escuela primaria. Con las autorizaciones correspondientes de las instancias competentes, se podría proceder a la instalación de paneles solares en los techos de las aulas y otros espacios dentro de esta institución. Es de vital importancia llevar a cabo un estudio detallado de la infraestructura de los techos para determinar si se requiere fortalecer las estructuras existentes o si ya cumplen con los requisitos necesarios para soportar la instalación de paneles solares. En este análisis, es crucial considerar tanto el tipo como el diseño de la cubierta. Las aulas de la escuela primaria están mayoritariamente cubiertas con material de tipo Eternit, según se evidencia en la inspección visual. Estas cubiertas presentan un grado de inclinación que oscila aproximadamente entre 5° y 7°. Es relevante señalar que una de las cubiertas de la escuela primaria está compuesta por teja AluZinc⁵.

⁵ AluZinc es una aleación de aluminio y zinc. Esta fusión de metales es utilizada con frecuencia como capa

Se examina el perfil topográfico del terreno del centro poblado. Los perfiles de elevación resultantes fueron generados utilizando Google Earth y se presentan en las siguientes imágenes donde se exhibe el perfil topográfico y se observa que presenta una elevación promedio de 788 metros sobre el nivel del mar.

Imagen 11.

Perfil topográfico tomado del centro poblado.



En la imagen 12, se destacan las cinco áreas disponibles en la escuela donde podría llevarse a cabo la instalación de los paneles solares para la eventual planta de generación. El área 1 abarca aproximadamente 135 metros cuadrados, el área 2 ocupa alrededor de 220 metros cuadrados, el área 3 comprende unos 100 metros cuadrados, el área 4 tiene una extensión de 100 metros cuadrados, y el área 5 se estima en unos 70 metros cuadrados, sumando así un total de superficie disponible de 625 m². Es crucial destacar que estas medidas son aproximadas y se obtuvieron mediante el uso del software Google Earth.

de recubrimiento anticorrosivo para láminas de acero que son destinadas a cubrir el exterior de los techos.
<https://www.laminadosindustriales.com/producto/aluzinc-de-color/#:~:text=de%20recubrimiento%20anticorrosivo%20para%20l%C3%A1minas,estructurales%2C%20paneles%20compuestos%20y%20tejas.&text=relacionado%20con%20la%20explotaci%C3%B3n%20y%20exportaci%C3%B3n%20de%20flores>

Imagen 12.

Ubicación Escuela Llano de Palmas Google Earth.



5 Estimación del consumo y fronteras comerciales

Para el diseño e instalación de la planta de generación eléctrica es importante conocer la demanda que presenta el centro poblado Llano de Palmas, así como también los puntos de conexión con la red de energía eléctrica ya existente y la identificación de cargas o equipos especiales.

5.1 Caracterización de la demanda

La caracterización de las cargas en cada una de las fronteras comerciales eléctricas existentes, junto con sus respectivos perfiles de carga de energía en el centro poblado Llano de Palmas, se llevó a cabo utilizando las curvas típicas horarias en por unidad (PU) de demanda proporcionadas por la Electrificadora de Santander (ESSA). Dichas curvas corresponden a los perfiles de consumo energético para los estratos 1, 2 y comercial, permitiendo así una evaluación detallada de la demanda de energía en diferentes sectores y estratos del centro poblado.

La caracterización se llevó a cabo mediante la información recopilada durante la visita de campo, en la cual se seleccionaron 20 familias. A estas familias se les solicitó la última factura de energía eléctrica emitida por la Electrificadora de Santander. Los detalles obtenidos a través de estos recibos se presentan de manera detallada en la siguiente tabla.

Tabla 9.

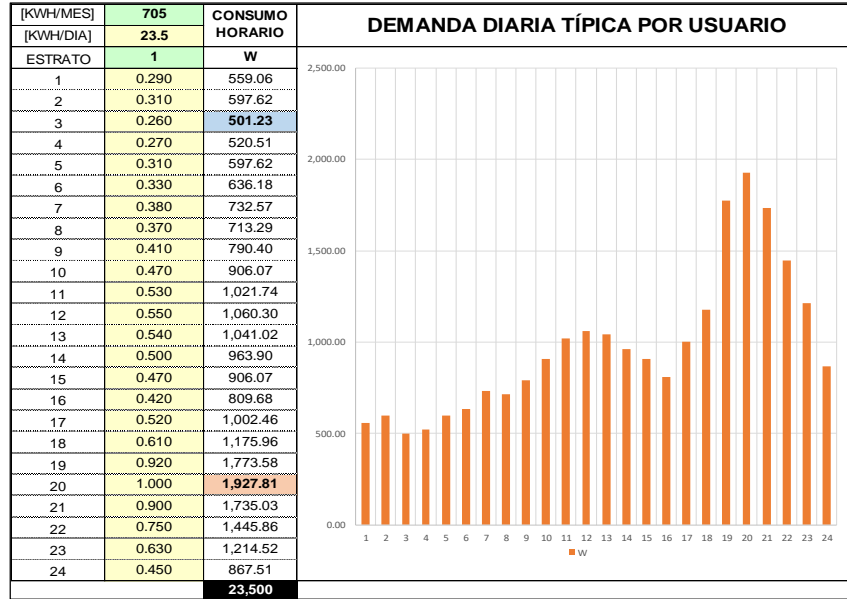
Caracterización de carga comunidad Llano de Palmas.

N°	TIPO	NÚMERO DE PERSONAS	ESTRATO	CONSUMO [kWh/mes]
1	Casa	5	2	179
2	Casa	5	Comercial	498
3	Casa	4	Comercial	166
4	Casa	3	1	5
5	Casa	1	Comercial	225
6	Casa	0	2	2
7	Casa	4	2	71
8	Casa	2	2	130
9	Casa	4	2	434
10	Casa	4	1	517
11	Casa	4	1	125
12	Casa	4	2	296
13	Casa	3	2	98
14	Casa	5	2	88
15	Casa	5	Comercial	36
16	Casa	3	Comercial	34
17	Casa	5	Comercial	514
18	Casa	5	2	176
19	Casa	3	1	58
20	Casa	4	2	42

Utilizando los consumos registrados en los recibos de energía eléctrica de los habitantes seleccionados en la comunidad, se generaron los perfiles diarios de carga de energía correspondientes a los estratos 1, 2 y comercial; convirtiendo la energía promedio a una curva horaria diaria. En las siguientes imágenes se exponen los perfiles de carga obtenidos para cada estrato de la comunidad de Llano de Palmas.

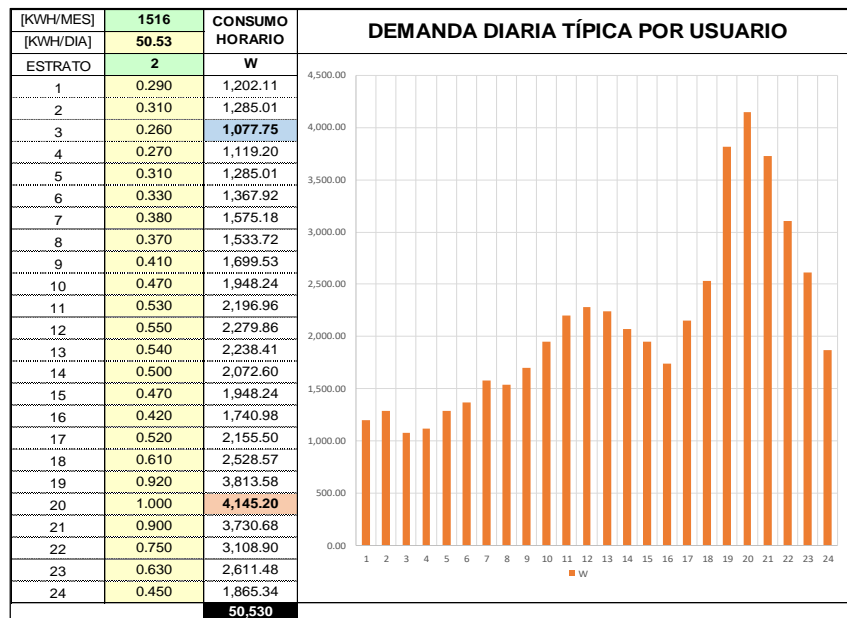
5.1.1 Perfil estrato 1: Imagen 13.

Demanda diaria típica usuarios estrato.



5.1.2 Perfil estrato 2: Imagen 14.

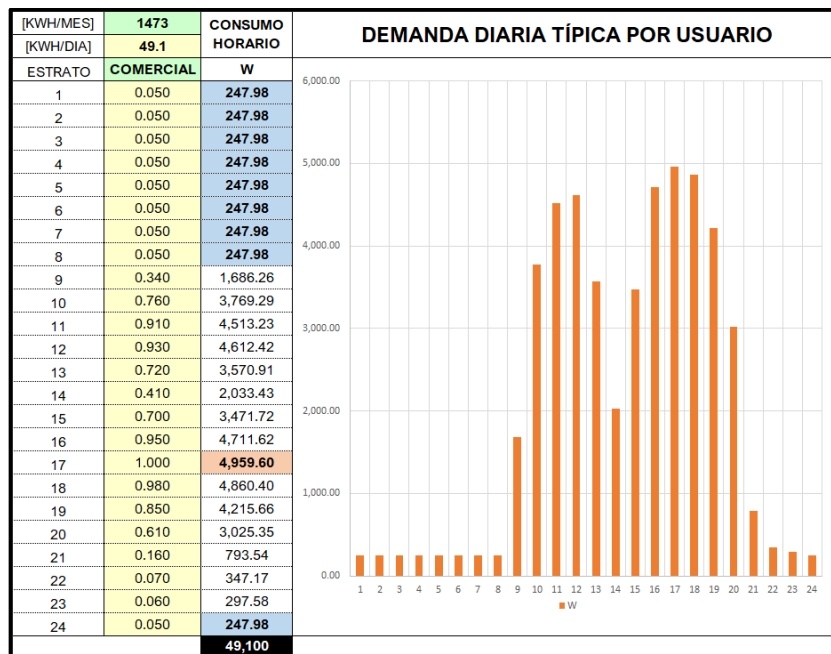
Demanda diaria típica usuarios estrato 2.



5.1.3 Perfil estrato comercial:

Imagen 15.

Demanda diaria típica usuarios estrato comercial.



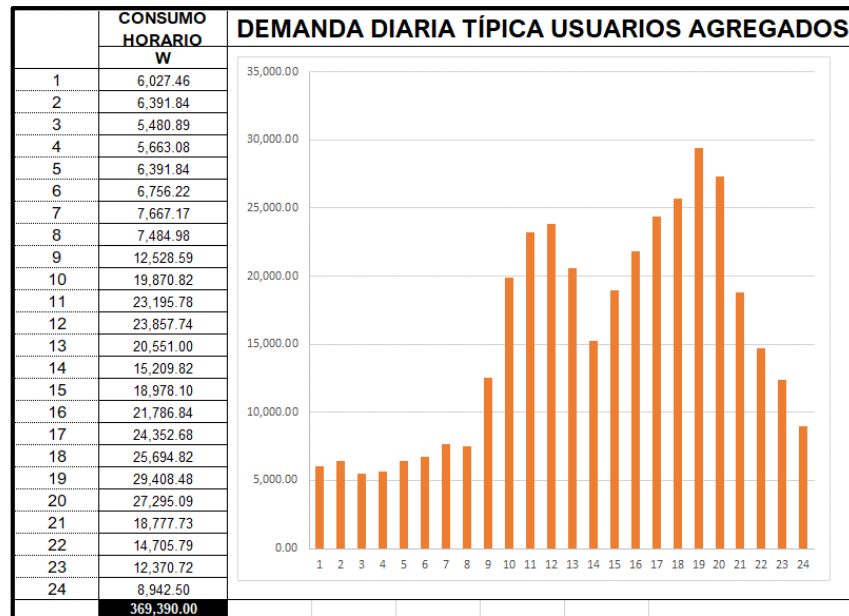
Con el propósito de determinar la demanda total de los participantes de la comunidad, se sumaron las demandas hora a hora de cada estrato (1, 2 y comercial). Posteriormente, al realizar la suma de las demandas hora a hora, se generó el perfil de la demanda agregada para las 20 viviendas del centro poblado Llano de Palmas utilizadas como muestra.

El consumo máximo de energía en una hora para las 20 viviendas es de **9,8 [kW]**, con un consumo total diario de **123,13 [kW]**. En el centro poblado Llano de Palmas, compuesto por aproximadamente 60 viviendas, se utilizó la muestra seleccionada para estimar el consumo diario de toda la comunidad mediante extrapolación de datos. La proyección del consumo diario para las 60 viviendas se sitúa en **369,4 [kW]**, generando así una **demanda total de energía anual aproximada de 134.831 [kWh/año]** y una **demanda máxima de 29,4 [kW]**.

En la siguiente gráfica se presenta el perfil agrupado de carga con su energía diaria correspondiente para las 60 viviendas.

Imagen 16.

Demanda diaria usuarios agregados.



5.2. Propuesta de las fronteras comerciales para la comunidad energética

Propuesta N°1:

Establecer una frontera comercial en el punto de entrada del circuito y otra frontera comercial en el punto de salida, donde concluye el circuito que suministra energía al centro poblado Llano de Palmas. Se prevé que esta frontera comercial opere a un nivel de tensión de 2.

Propuesta N°2:

Establecer cuatro fronteras de comercialización, ubicadas en cada uno de los transformadores que forman parte del circuito a nivel de tensión 1. Este circuito es responsable de suministrar la energía eléctrica al centro poblado Llano de Palmas. Se considerará la verificación de los elementos de medida en cada punto respectivo.

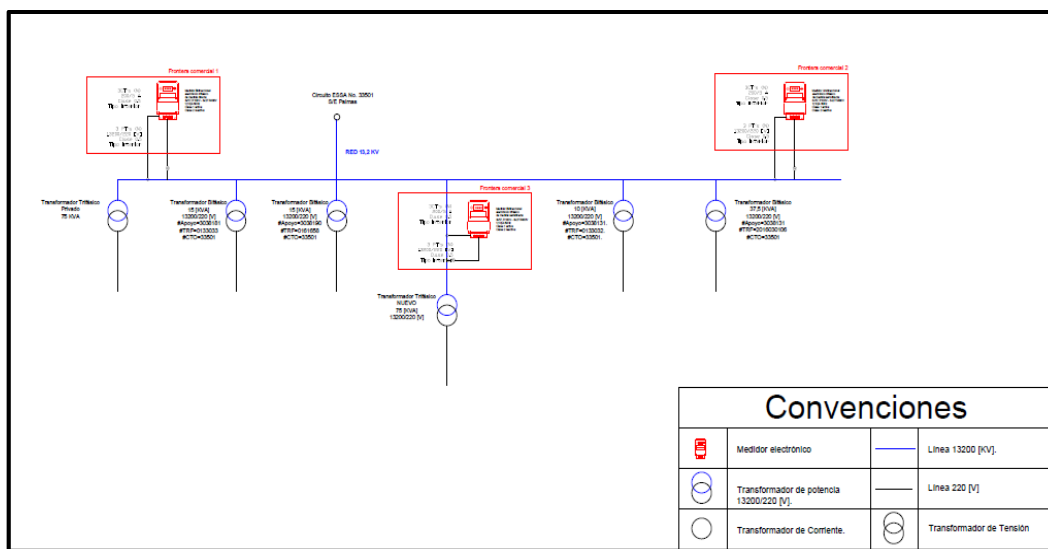
Considerando que la ubicación potencial para la planta de generación es la escuela primaria del centro poblado Llano de Palmas, se ha determinado que, para suministrar la energía eléctrica generada a la red de distribución local, se requiere la instalación de un nuevo transformador trifásico en el apoyo #4925700, el cual está más próximo a la escuela. Por lo tanto, se concluye que la propuesta número 1 es la más apropiada para ser la frontera comercial potencial de la comunidad energética.

Se utilizará un tipo de medición indirecta para las posibles fronteras comerciales de la comunidad energética, es decir, se emplearán transformadores de corriente (CT's) y de tensión (PT's) ubicados en nivel 2.

En la siguiente imagen se muestra la ubicación de los 2 potenciales fronteras comerciales (propuesta N°1) y en la frontera de medición de la planta de generación fotovoltaica a ubicar en la escuela y conectada a través de un transformador de 75 [kVA] como se mostrará posteriormente en el presente documento.

Imagen 17.

Disposición de Fronteras Comerciales.



6 Dimensionamiento de la solución de generación eléctrica

6.1 Dimensionamiento Inicial de la planta

La selección de la ubicación propuesta para la generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos se centra en la escuela de Llano de Palmas. La viabilidad de esta instalación se fundamenta en la posibilidad de utilizar las cubiertas o techos de las aulas de clases como lugar estratégico para los paneles solares.

Con el objetivo de establecer una planta de generación eficiente, se contempla la asignación de cinco cubiertas específicas dentro de las instalaciones escolares. Estas cubiertas, seleccionadas estratégicamente, presentan un área aproximada que será empleada para la disposición de los paneles fotovoltaicos. La determinación precisa de esta área contribuirá a optimizar la capacidad de generación eléctrica del sistema, asegurando así un rendimiento óptimo en la producción de energía renovable en la escuela de Llano de Palmas.

La planta de generación fotovoltaica ha sido diseñada con el propósito de suministrar una potencia diaria estimada para abastecer las necesidades energéticas de las 60 viviendas ubicadas en el centro poblado. La demanda diaria del centro poblado se proyecta en **369,4 [kWh] y una potencia máxima de 29,4 kW**

En términos anuales, se estima que la planta debería suplir una demanda total de energía eléctrica de aproximadamente **134.831 [kWh/año]** para las 60 viviendas, con el objetivo de asegurar un suministro constante y confiable a lo largo del año, pero la generación del sistema fotovoltaico se encuentra restringido al área de ubicación del sistema entre otros aspectos.

Para dimensionar la planta de generación, se llevó a cabo el cálculo de diversos parámetros, algunos de los cuales fueron previamente detallados en el presente documento. En este sentido, se precisa que aquellos ya expresados serán únicamente incluidos en conjunto con la referencia al capítulo correspondiente, donde se ha realizado el análisis detallado.

La siguiente tabla presenta de manera clara los parámetros iniciales de diseño que fueron considerados para el dimensionamiento inicial de la planta de generación fotovoltaica. Estos elementos son fundamentales para establecer las bases del proyecto y asegurar que la planta cumpla con los requisitos necesarios para su funcionamiento eficiente y sostenible.

Tabla 10.

Datos iniciales de diseño.

DATOS DE DISEÑO	
Voltaje de inicio en DC [V] del Inversor	180
Voltaje de Alimentación AC [V]	220
Irradiación [Wh/m ²]	4920
Horas de Sol Pico (HPS) de mes crítico	4,92

6.2 Estimación de la producción de energía

Para llevar a cabo el cálculo de la energía solar disponible a ser transformada en energía eléctrica fue necesario visualizar los siguientes aspectos:

▪ Dimensiones de los paneles solares:

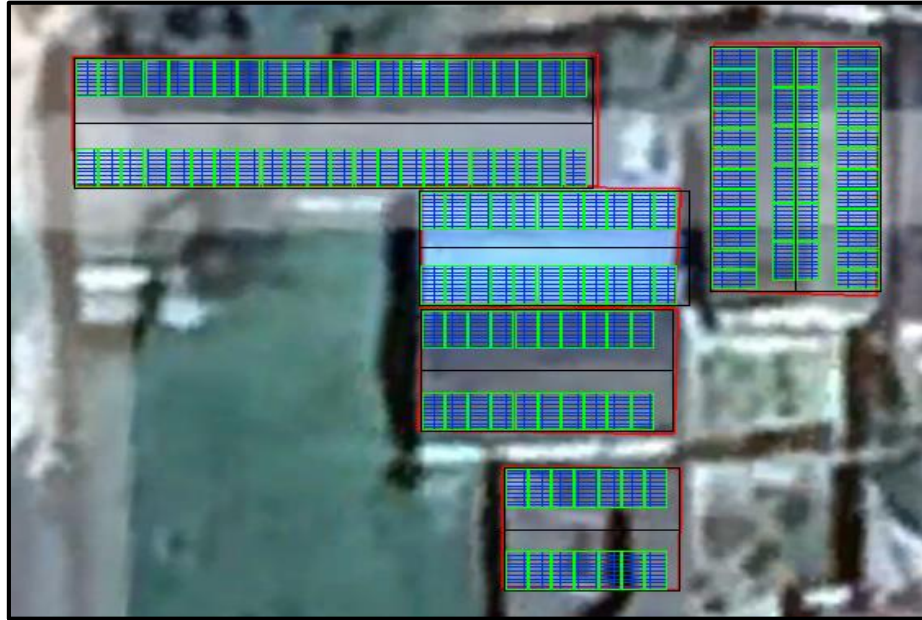
Se puede observar en el Anexo 1 del informe actual, la ficha técnica de los paneles solares a implementar, el panel fotovoltaico cuenta con unas dimensiones aproximadas de 2278 * 1134 * 30 [mm], permitiendo definir que el área a ocupar por este es aproximadamente 2,58 [m²].

▪ Espacio disponible:

Se destaca una superficie total aproximada de 625 m² disponible en la escuela del cetro poblado. Estos datos sirven como base para la elaboración de un diseño preliminar que define la disposición física de los paneles fotovoltaicos. La representación gráfica de este diseño se muestra en la imagen que sigue a continuación y que considera el modelamiento los espacios para mantenimiento.

Imagen 18.

Disposición física de paneles Fotovoltaicos correspondientes al proyecto.



A continuación, en la tabla adjunta, se detallan las características de la ubicación propuesta para la planta de generación fotovoltaica. Este análisis proporciona información esencial sobre la idoneidad del sitio, respaldando así las decisiones fundamentales en el proceso de planificación y diseño de la instalación.

Tabla 11.

Características de la potencial ubicación.

CARACTERISTICAS DE UBICACIÓN		
Descripción	Valor	Unidad
Área disponible	625	m ²
Área útil en paneles	351,32	m ²
Área para mantenimiento	273,67	m ²

▪ **Estimación de la producción de la energía:**

Para calcular la producción de energía de la planta de generación fotovoltaica, se consideran varios factores, incluyendo la cantidad de paneles solares, las especificaciones de los módulos fotovoltaicos (dimensiones y eficiencia), así como la eficiencia del inversor y del sistema en su conjunto.

En conjunto con las especificaciones de los paneles solares y los inversores, se requiere emplear el promedio mensual de la irradiación solar obtenida a partir de las fuentes de información utilizadas en la recopilación de datos. Utilizando esta irradiación solar mensual a lo largo del año, se calcula la energía generada mensualmente por la planta.

Al calcular la producción de energía de la planta fotovoltaica, es esencial considerar las pérdidas de energía propias de los paneles solares. Estas pérdidas pueden originarse por diversos factores, incluyendo la irradiancia, la temperatura, las propiedades del módulo, el desajuste en el campo de módulos, las pérdidas óhmicas en el cableado, el plano receptor y el factor IAM. Estas pérdidas impactan directamente la producción de energía, generando una reducción aproximada del 16%, y las cuales se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 12.

Pérdidas relacionadas a los paneles fotovoltaicos.

PORCENTAJE DE PÉRDIDAS PANELES FOTOVOLTAICOS	
Factor IAM en global	-3,60%
Pérdida FV debido a nivel de irradiancia	-4,20%
Pérdida FV debido a temperatura	-5,30%
Pérdida calidad de módulo	-1,50%
Pérdida mismatch campo de módulo	-1%
Pérdida óhmica del cableado	-1%

Después de considerar las pérdidas mencionadas y tener en cuenta el promedio de irradiación solar mensual para el centro poblado Llano de Palmas, se realiza una estimación de la producción mensual de energía mediante la planta fotovoltaica, la cual se observa con una media

de 8349,2 (kWh/Mes). En la siguiente tabla y gráfica se presenta la producción de energía a lo largo de los 12 meses del año.

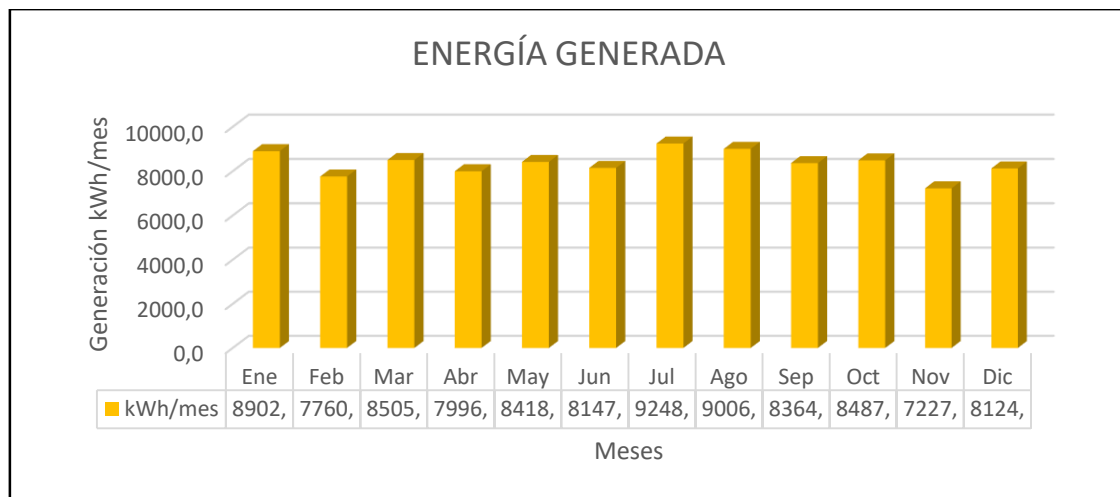
Tabla 13.

Energía estimada generada mensual.

ENERGÍA ESTIMADA GENERADA												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
kWh/mes	8902.8	7760.2	8505.2	7996.7	8418.8	8147.2	9248.6	9006.5	8364.7	8487.9	7227.1	8124.9

Imagen 19.

Energía generada por la planta Fotovoltaica.



La producción total estimada de energía para un año, sumando los valores de los 12 meses, asciende a 100.190,7 [kWh/año] con la planta de generación fotovoltaica. Es importante destacar que la energía mensual estimada se calcula aplicando un factor de seguridad del 10%, con el fin de proporcionar un margen conservador que considera factores como la nubosidad.

El **consumo aproximado del centro poblado se sitúa en 134.831 [kWh/año]**, mientras que la estimación de **producción de la planta de generación alcanza los 100.190,7 [kWh/año]**. En consecuencia, la planta podrá cubrir aproximadamente el **74,3% de la demanda eléctrica**



existente. Cabe destacar que no se prevé abastecer el 100% de la demanda, considerando una reducción del 16% en la producción debido a pérdidas de eficiencia, junto con un 10% adicional por criterios de diseño. La suma de estas reducciones equivale a aproximadamente un 26%, porcentaje conservador de producción que satisfaga la totalidad del consumo del centro poblado.

En el Anexo 3 se presenta la tabla donde se detalla el proceso para la estimación de la producción de la energía.

- **Eficiencia del sistema de generación fotovoltaica:**

En el numeral 6.2 (Estimación de la producción de energía) se presenta un análisis de las pérdidas del sistema fotovoltaico, el cual considera factores como la inclinación de los paneles, el comportamiento resistivo de los componentes del sistema, la eficiencia de los equipos y los factores de seguridad contemplados al momento del diseño.

Como resultado de este análisis integral, se ha determinado una eficiencia global del sistema fotovoltaico de **aproximadamente 75,34%**. Este valor refleja la capacidad del sistema para convertir la radiación solar en electricidad, teniendo en cuenta las diversas variables que inciden en el rendimiento del sistema.

- **Paneles:**

Para el diseño del sistema fotovoltaico se realizó una búsqueda de elementos que podrían ser útiles al sistema, como lo son en este caso los paneles y cuyo análisis de datos significativos para la selección de los equipos fue realizado por parte del grupo.

Con estos factores analizados, se procede a definir como una opción viable la selección de los paneles que corresponde a un **panel fotovoltaico Monocristalino 550 W 41.96 Vmax dc**.

Las características de los paneles seleccionados para la planta de generación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14.

Características del panel seleccionado.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Marca	JASOLAR
Referencia	JAM72S30 550/MR
W_p [W]	550
V_{max} [V_{DC}]	41,96
V_{oc} [V_{DC}]	49,9
I_{Max} [A_{DC}]	13,11
I_{sc} [A_{DC}]	14
Dimensiones [mm]	2278*1134*30

▪ **Inversores:**

Un aspecto fundamental en el funcionamiento de un sistema fotovoltaico es la inclusión de un inversor, un equipo esencial que permite transformar la corriente continua (DC), generada por los paneles solares, en una corriente alterna (AC). Esta última es la forma de energía eléctrica ampliamente utilizada en la mayoría de los sistemas eléctricos para el transporte y distribución eficiente de la energía.

En el presente diseño, se ha optado por la incorporación de tres inversores de 25 kW, cada uno con 3 puntos de máxima potencia (MPPT). Las especificaciones técnicas detalladas de estos inversores se encuentran disponibles en el Anexo 2 adjuntos a este informe, proporcionando una referencia completa para la evaluación y comprensión de sus capacidades y contribuciones al sistema fotovoltaico.

Las características del inversor seleccionado para la planta de generación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 15.

Características del inversor seleccionado.

INVERSOR	
Marca	Solis
Referencia	S5-GC 3P25-K
Fases operativas	3
$W_{\text{máx in}}$ [W]	37500
$V_{\text{máx in}}$ [Vdc]	1100
Vinicio [Vdc]	180
Rango MPPT [Vdc]	200-1000
No. MPPT/ No. Strings	3 / 6
$I_{\text{máx in por MPPT}}$	32 A / 32 A
W_{out} [W]	25000
V_{out} [V_{AC}]	3/(N)/PE, 220 V
$I_{\text{máx out}}$ [I_{AC}]	4 1.8
Fr [Hz]	50/60

▪ **Configuraciones:**

En lo que respecta a la disposición de los paneles fotovoltaicos, hemos desarrollado un diseño que incorpora 15 paneles conectados en serie en cada String (para una tensión por arreglo de 748,5 V que está dentro del rango del MPPT en DC), cada uno equipado con sus correspondientes dispositivos de protección y conductores debidamente calculados según la capacidad de transporte de corriente, la regulación de tensión y la regulación de pérdidas de potencia. Cada uno de estos arreglos se conecta a uno de los 3 puntos de máxima potencia (MPPT) presentes en los inversores. En total, se instalarán 3 inversores, lo que permite la implementación de 9 arreglos, totalizando así 135 paneles.

La elección de esta configuración se basó en el cálculo de los 135 paneles, tomando en consideración la demanda total de energía del centro poblado Llano de Palmas. Este cálculo se guio por la premisa de generar la energía demandada diaria en un período promedio de 5 horas de sol al día. Este enfoque garantiza una respuesta efectiva a las necesidades energéticas específicas de la comunidad, optimizando la producción de energía solar.

$$Potencia\ de\ la\ planta = \frac{Demanda}{horas\ sol} = \frac{369,400\ [W]}{5\ h} = 73,880\ [W] \quad (2)$$

$$Cantidad\ paneles = \frac{73,880\ W}{550\ W} = 134,33 \quad (3)$$

$$Cantidad\ paneles = 135 \quad (4)$$

Se presentan los planos en AutoCAD adjuntos a este documento donde se pueden apreciar la disposición física de los arreglos de paneles, junto con la conexión a realizar entre ellos.

6.3 Simulación del sistema de autogeneración colectiva (AC)

Durante la simulación del sistema de autogeneración colectiva, se consideran diversos parámetros clave, incluyendo la demanda diaria del centro poblado Llano de Palmas y la potencia generada diariamente por la planta fotovoltaica, teniendo en cuenta la irradiación solar promedio en la zona de influencia. Las imágenes presentadas a continuación ofrecen una representación gráfica de estos aspectos mencionados.

Imagen 20.

Curva horaria demanda diaria de la carga.

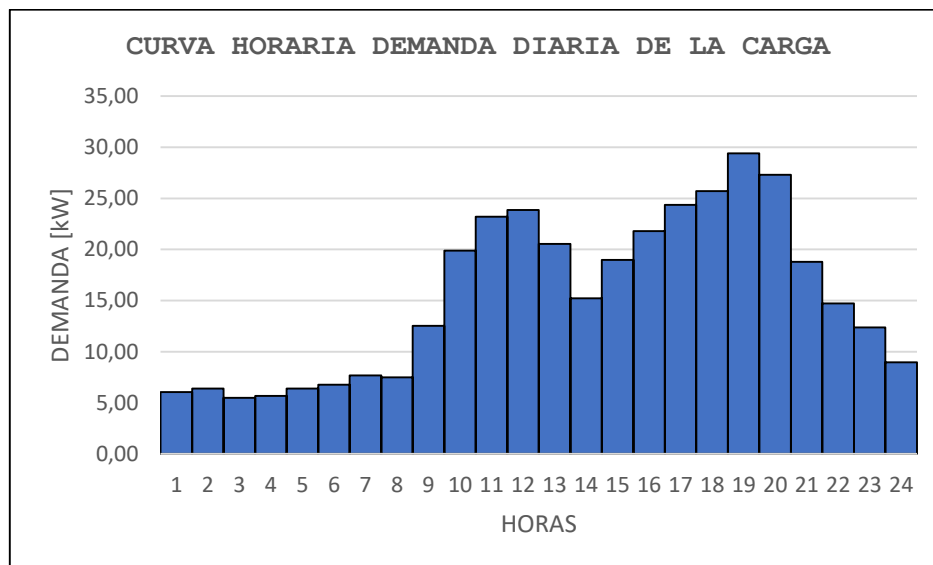
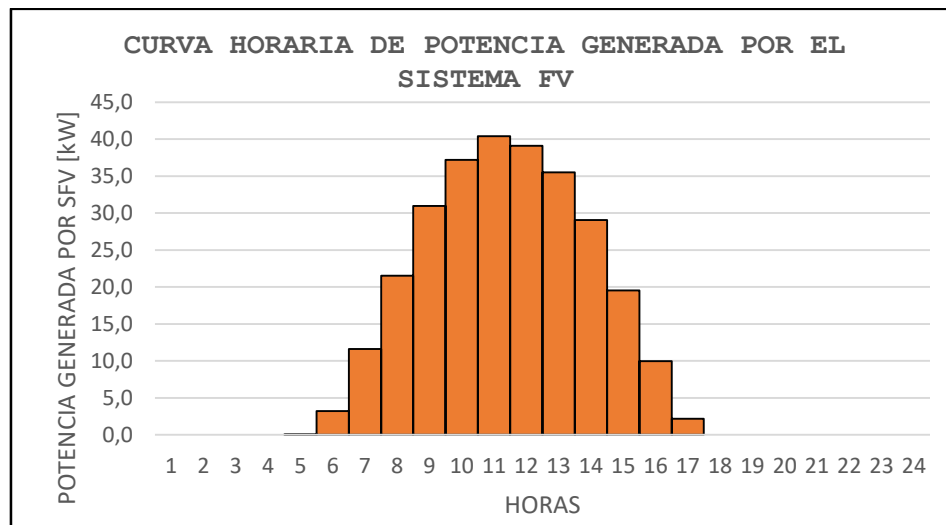


Imagen 21.

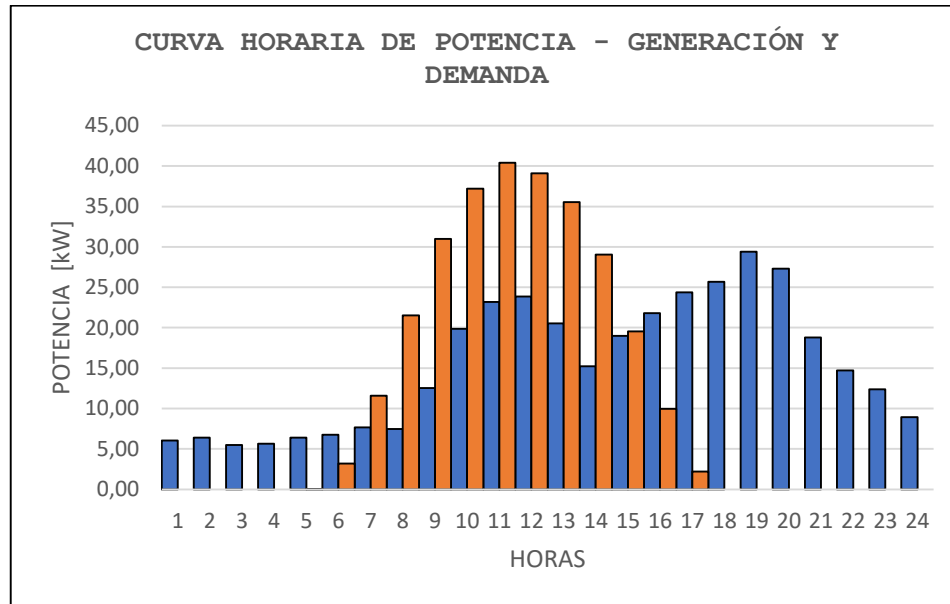
Curva horaria de potencia generada por el sistema FV.



Asimismo, se exhibe la superposición de las curvas presentadas en las figuras anteriores con el fin de facilitar la visualización del balance energético tanto del sistema como de la carga. De este modo, se puede verificar en qué momentos del día se suministra la energía generada y en qué horas se necesita adquirir energía de la red. La representación gráfica de este análisis se muestra en la figura presentada a continuación.

Imagen 22.

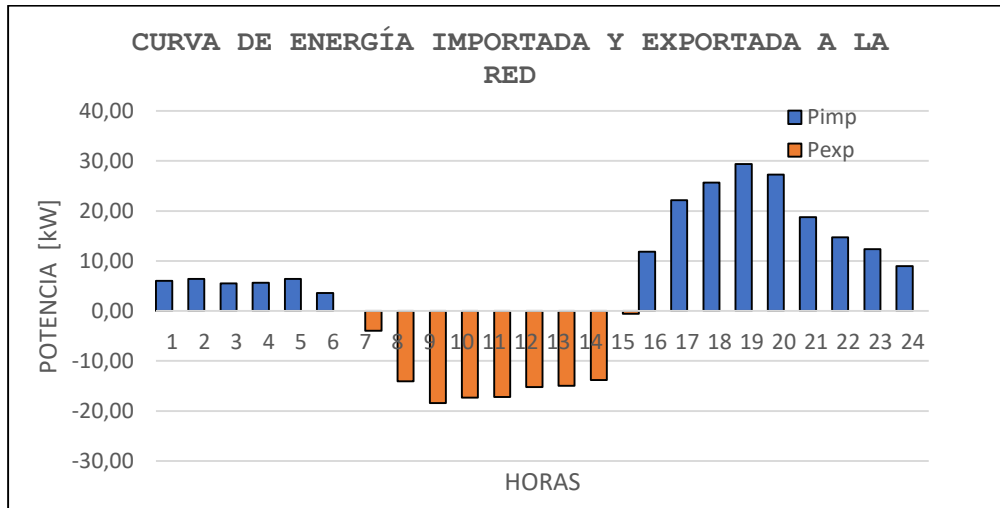
Curva horaria de potencial generación y demanda.



Con el objetivo de brindar una interpretación más accesible, se proporciona la siguiente gráfica. En esto, se puede observar el balance energético horario en el cual opera el sistema de Generación-Demanda. Esto posibilita validar de manera gráfica la cantidad de energía que se suministra a la red y, de igual manera, la cantidad que se requiere de la misma en otros intervalos de tiempo.

Imagen 23.

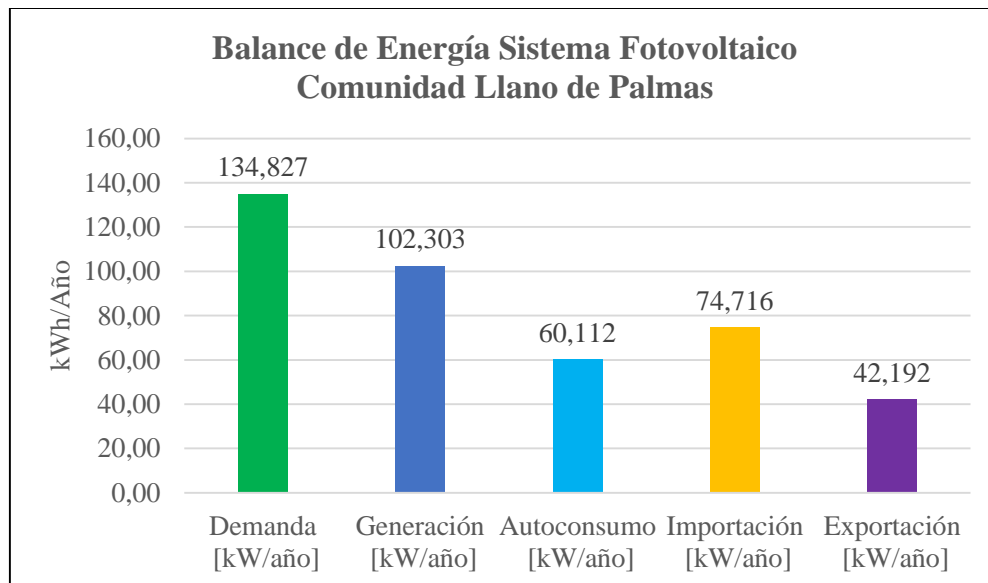
Curva de energía importada y exportada a la red.



En la siguiente imagen, se presenta la clasificación de la energía en términos de generación, autoconsumo, importación y exportación al operador de la red local.

Imagen 24.

Energía entregada a la red, generada, importada y exportada por la comunidad energética en el mes.





El anterior balance implica:

De los 102.303 kWh/Año generado por el sistema fotovoltaico, 60.112 kWh/Año los autoconsume y 42.192 kWh/Año los exporta para ser intercambiados por su equivalente de la importación que suma un total de 74.716 kWh/Año, el costo unitario de intercambiar estos 42.192 kWh/Año es el costo de comercialización de la tarifa actual (por ser una planta menor a 100 kWp de capacidad instalada) y el valor restante que importa 32.524 kWh/Año (Importación Total 74.716 kWh/Año menos la exportación 42.192 kWh/Año) lo deberá pagar a un costo unitario total de la tarifa actual vigente Cu.

7 Estimación de costos de la solución de generación eléctrica

7.1 Estimación del CAPEX

Para la evaluación de la inversión (CAPEX), se llevó a cabo una consulta con el mercado actual en Bucaramanga en la construcción de sistemas fotovoltaicos, con el que se realizó las estimaciones de los precios de suministro, transporte e instalación. Los elementos considerados para el cálculo del CAPEX son los siguientes.

- Sistema de medida
- Adecuación de tableros eléctricos
- Transformador de conexión
- Circuitos ramales de alimentación
- Elementos de conexión
- SFV On-Grid
- Estructuras metálicas
- Obra civil
- Caracterización de carga
- Inspección y certificación RETIE
- Inscripciones AGPE
- Diseños



La proyección del costo del proyecto indica un gasto directo de **\$386.959.501** de pesos colombianos de septiembre de 2023 (según la Tasa Representativa del Mercado de 4.229 \$/USD). Para un desglose detallado de cada uno de los elementos mencionados, se puede consultar el Anexo 4.

Dado a que es posible que la contratación del potencial sistema de generación fotovoltaico lo realice un ente del estado, en esta actividad se debe involucrar adicional al valor anterior lo siguiente:

- ✓ Administración (incluye impuestos y contribuciones): 32.50%
- ✓ Imprevistos: 1%
- ✓ Utilidad: 4%

Teniendo en cuenta lo anterior, el total de presupuesto de la planta de generación fotovoltaica es de **\$ 505.871.980**.

Nota: Los gastos administrativos incluyen los impuestos promedio que una entidad estatal suma al costo directo durante un proceso de contratación de proyectos.

7.2 Estimación del OPEX con costos estándar en información secundaria

De acuerdo con una investigación realizada por la Universidad del Rosario, se ha concluido que el gasto operativo (OPEX) asociado al mantenimiento de sistemas fotovoltaicos de pequeño tamaño, menores a 100 kWp, representa el 1% anual del valor de la inversión (CAPEX). Esta proporción se ha establecido como óptima para preservar la eficiencia y funcionalidad de los sistemas fotovoltaicos a lo largo del tiempo. Es relevante señalar que este 1% anual se ajusta de manera anual en función de la tasa de inflación en Colombia.

$$\text{OPEX} = 0,01 \times \text{CAPEX} \quad (5)$$

$$\text{OPEX} = 0,01 \times \$ 505.871.980 \quad (6)$$

$$\text{OPEX} = \$5.058.719,80 \text{ anual} \quad (7)$$

Establecer una colaboración sólida entre entidades estatales como el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) y las universidades es crucial para ofrecer capacitación a las comunidades. Esta asociación es fundamental para garantizar que las comunidades cuenten con el conocimiento y capacitación necesario en los procesos de mantenimiento y operación de los sistemas de generación fotovoltaico y las redes asociadas para darle sostenibilidad a la infraestructura de las comunidades energéticas.

7.3 Costos nivelados de la energía producida - LCOE

Para realizar el cálculo de los costos estimados de producción asociados a la implementación del proyecto, es imperativo determinar el costo promedio total de construcción y operación de una central eléctrica, en este caso, una Fuente de Generación Fotovoltaica. Este cálculo implica dividir los costos totales entre la energía total a ser generada a lo largo de su vida útil, establecida en un período de 20 años.

Como se aprecia en la tabla proporcionada a continuación, en conjunto con las fórmulas presentadas posteriormente, se procede a utilizar los datos mencionados para calcular el Costo Nivelado de Energía (LCOE) del proyecto.

Tabla 16.

Costos estimados de producción del proyecto FV con impuestos.

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN		
CAPEX	505871979,8	\$
FACTOR	0,0872	
COSTO ANUAL EQUIVALENTE	44104224,4	\$
OPEX	5058719,8	\$
ENERGIA GENERADA	100190,7	kWh/año
LCOE	490,7	\$/kWh
LCOE	0,118	USD/kWh

La reducción del Costo Nivelado de Energía (LCOE) se observa al eliminar el porcentaje de impuestos y contribuciones del presupuesto del proyecto (CAPEX). La tabla siguiente presenta el LCOE con dicha deducción:

Tabla 17.

Costos estimados de producción del proyecto FV sin impuestos.

COSTOS ESTIMADOS DE PRODUCCIÓN		
CAPEX	386959500,8	\$
FACTOR	0,0872	
COSTO ANUAL EQUIVALENTE	33736892,6	\$
OPEX	3869595,0	\$
ENERGIA GENERADA	100190,7	kWh/año
LCOE	375,3	\$/kWh
LCOE	0,091	USD/kWh

Para calcular el valor de LCOE se puede trabajar con las siguientes ecuaciones

$$LCOE = \frac{CAPEX * k + OPEX}{E} \quad (8)$$

$$Inv = K * CAPEX \quad (9)$$

$$k = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (10)$$

donde:

K= Factor empleado para calcular el costo anual equivalente del proyecto.

r = Tasa de oportunidad.

n = Vida útil del activo.

CAPEX = Costo inicial de inversión.

LCOE= Coste nivelado de la energía.

Inv = Costo anual equivalente.

AOM = Costos de Administración Operación y Mantenimiento del proyecto (OPEX).

ET = Energía generada durante 1 año.



En la siguiente tabla se puede observar la comparación del costo nivelado de la energía (LCOE) al generar la energía con la potencial planta de generación fotovoltaica y la tarifa de la energía que pagan los residentes de la comunidad al operador de red.

Tabla. 18.

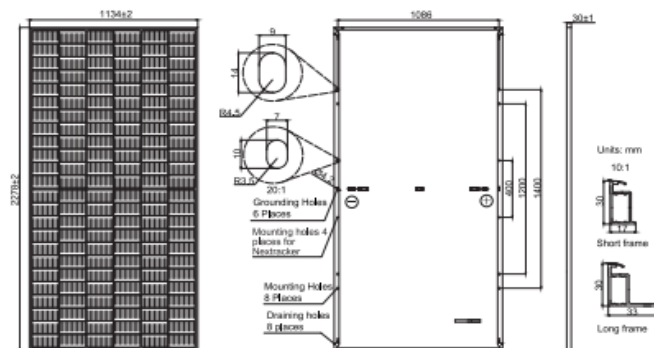
Tabla comparativa de tarifas de energía de cada fuente energética.

COMPARACIÓN TARIFA ACTUAL Y LCOE	
LCOE (\$/kWh) Directo	375,3
LCOE (\$/kWh) Impuestos Contratación	490,7
Tarifa actual (\$/kWh) Sep-23	889,69



ANEXO 1
FICHA TÉCNICA PANELES SOLARES.

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	27.8kg
Dimensions	2278±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm² (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4-EVO2/ QC 4,10-351
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 200mm(+)/300mm(-); Landscape: 1300mm(+)/1300mm(-)
Packaging Configuration	36pcs/Pallet 720pcs/40HQ Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	530	535	540	545	550	555
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90	50.02
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96	42.11
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00	14.07
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11	13.18
Module Efficiency [%]	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

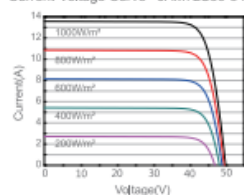
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

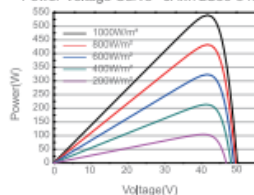
TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR	JAM72S30 -545/MR	JAM72S30 -550/MR	JAM72S30 -555/MR	OPERATING CONDITIONS	
Rated Max Power(Pmax) [W]	401	405	408	412	416	420	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46.18	46.31	46.43	46.55	46.68	46.85	Operating Temperature	-40℃~+85℃
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38.57	38.78	38.99	39.20	39.43	39.66	Maximum Series Fuse Rating	25A
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	11.21	Maximum Static Load,Front* Maximum Static Load,Back*	5400Pa(112lb/ft²) 2400Pa(50lb/ft²)
Max Power Current(Imp) [A]	10.39	10.43	10.47	10.51	10.55	10.59	NOCT	45±2℃
NOCT	Irradiance 800W/m², ambient temperature 20℃,wind speed 1m/s, AM1.5G						Safety Class	Class II
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 1800Pa while Maximum Static Load, Back is 1800Pa.							Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

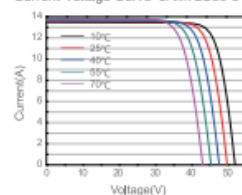
Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Power-Voltage Curve JAM72S30-540/MR



Current-Voltage Curve JAM72S30-540/MR





ANEXO 2

FICHA TÉCNICA INVERSORES



Modelo	25K	30K	33K	36K	40K
Entrada (DC)					
Potencia FV máxima de entrada recomendada	37.5 kW	45 kW	49.5 kW	54 kW	60 kW
Voltaje máximo de entrada	1100 V				
Voltaje nominal	600 V				
Voltaje de arranque	180 V				
Rango de voltaje MPPT	200-1000 V				
Corriente máxima de entrada	32 A / 32 A / 32 A			4*32 A	
Corriente máxima de cortocircuito	40 A / 40 A /40 A			4*40 A	
Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada	3/6			4/8	
Salida (AC)					
Potencia nominal de salida	25 kW	30 kW	33 kW	36 kW	40 kW
Potencia aparente máxima de salida	27.5 kVA	33 kVA	36.3 kVA	39.6 kVA	44 kVA
Potencia máxima de salida	27.5 kW	33 kW	36.3 kW	39.6 kW	44 kW
Voltaje nominal de la red	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V				
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz				
Corriente nominal de salida de red	38.0 A / 36.1 A	45.6 A / 43.3 A	50.1 A / 47.6 A	54.7 A / 52.0 A	60.8 A / 57.7 A
Corriente máxima de salida	41.8 A	50.2 A	55.1 A	60.2 A	66.9 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 capacitivo a 0.8 inductivo)				
THDi	<3%				
Eficiencia					
Eficiencia máxima	98.5%		98.6%	98.7%	
Eficiencia EU	98.1%		98.2%	98.3%	
Protección					
Protección contra polaridad inversa DC	Sí				
Protección contra cortocircuito	Sí				
Protección de sobrecorriente de salida	Sí				
Protección contra sobretensiones	DC Tipo II / AC Tipo II				
Monitoreo de red	Sí				
Protección Anti-isla	Sí				
Protección de temperatura	Sí				
Monitoreo de cadenas	Sí				
Escaneo de curvas I/V	Sí				
AFCI integrado (Protección de falla de arco DC)	Sí ⁽¹⁾				
Recuperación PID integrada	Opcional				
Interrupor de DC integrado	Opcional				
Datos generales					
Dimensiones (longitud*altura*ancho)	647*629*252 mm				
Peso	37 kg				
Topología	Sin Transformador				
Consumo propio (noche)	<1 W				
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C				
Humedad relativa	0-100%				
Nivel de protección	IP66				
Enfriamiento	Ventilador redundante inteligente				
Altitud máxima de funcionamiento	4000 m				
Estándar de conexión de red	G99, VDE-AR-N 4105 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR-2019, RD 1699 / RD 244 / UNE 206006 / UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC60068, IEC 61683, EN 50530				
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4				



ANEXO 3
TABLA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA



SFV	135	Promedio anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Irradiación global horizontal diaria	kWh/m2/día	4.92	5.15	4.97	4.92	4.78	4.87	4.87	5.35	5.21	5	4.91	4.32	4.7
Periodo	día	365	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Irradiación global horizontal anual	kWh/m2	1796.104	159.650	139.160	152.520	143.400	150.970	146.100	165.850	161.510	150.000	152.210	129.600	145.700
Global incidente plano receptor	0.30%	1801.492	160.129	139.577	152.978	143.830	151.423	146.538	166.348	161.995	150.450	152.667	129.989	146.137
Factor IAM en global	-3.60%	1736.639	154.364	134.553	147.470	138.652	145.972	141.263	160.359	156.163	145.034	147.171	125.309	140.876
Área	m2	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
Irradiancia efectiva en receptores	kWh	605633.696	53832.857	46923.774	51428.672	48353.472	50906.022	49263.893	55923.454	54460.036	50578.945	51324.142	43700.209	49129.016
Eficiencia de módulo	550W	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%	21.30%
ENERGÍA NOMINAL GENERADOR	MWh	129.000	11.466	9.995	10.954	10.299	10.843	10.493	11.912	11.600	10.773	10.932	9.308	10.464
Pérdida FV debido a nivel de irradiancia	-4.20%	123.582	10.985	9.575	10.494	9.867	10.388	10.052	11.411	11.113	10.321	10.473	8.917	10.025
Pérdida FV debido a temperatura	-5.30%	117.032	10.403	9.068	9.938	9.344	9.837	9.520	10.807	10.524	9.774	9.918	8.445	9.494
Pérdida calidad de módulo	-1.50%	115.277	10.247	8.931	9.789	9.204	9.689	9.377	10.645	10.366	9.627	9.769	8.318	9.351
Pérdida mismatch campo de módulo	-1%	114.124	10.144	8.842	9.691	9.112	9.593	9.283	10.538	10.262	9.531	9.671	8.235	9.258
Pérdida óhmica del cableado	-1%	112.983	10.043	8.754	9.594	9.020	9.497	9.190	10.433	10.160	9.436	9.575	8.152	9.165
Eficiencia inversor	25000W	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%	98.50%
ENERGÍA INYECTADA	MWh/año	100.159	8.903	7.760	8.505	7.997	8.419	8.147	9.249	9.007	8.365	8.488	7.227	8.125



CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD ENERGÉTICA COMUNIDAD LLANO DE PALMAS SANTANDER

ANEXO 4 PRESUPUESTO PROYECTO FOTOVOLTAICO CENTRO POBLADO LLANO DE PALMAS

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD ENERGÉTICA COMUNIDAD LLANO DE PALMAS SANTANDER

PRESUPUESTO PROYECTO LLANO DE PALMAS					
PROYECTANTE: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER OBJETO: SUMINISTRO, IMPLEMENTACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO MEDIANTE FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL CENTRO POBLADO LLANO DE PALMAS DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO, SANTANDER.					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VLR UNITARIO	VLR TOTAL
1.0	SISTEMA DE MEDIDA				
1.01	Suministro, transporte e instalación de medidor de energía indirecta bidireccional de frontera. Incluye: parametrización y calibración de los equipos asociados, bornera cortocircuitable. Involucra instalación de CT's y PT's.	UND	2	\$ 4,229,000	\$ 8,458,000
1.02	Suministro, transporte e instalación de sistema de medida indirecta bidireccional para facturación de generación. Incluye: medidor, parametrización y calibración de los equipos asociados, bornera cortocircuitable, CT's, PT's, protección eléctrica y gabinete.	UND	1	\$ 6,504,000	\$ 6,504,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 14,962,000
2.0	ADECUACIÓN TABLEROS ELÉCTRICOS				
2.01	Adecuación TPDC Baja tensión. Incluye: Instalación de gabinete, protecciones eléctricas DC 16A, DPS DC, Fusibles 15 A y Portafusibles 30 A.	UND	3	\$ 4,200,000	\$ 12,600,000
2.02	Adecuación TGBT. Incluye: Instalación de gabinete, protección general de 3x250 A, protecciones 3x80A, barraje trifásico.	UND	1	\$ 6,000,000	\$ 6,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 12,600,000
3.0	TRANSFORMADOR DE POTENCIA				
3.01	Suministro, transporte e instalación de transformador de potencia de 75kVA junto con accesorios. Incluye: circuito ramal alimentador desde TGBT y protecciones eléctricas asociadas.	UND	1	\$ 20,000,000	\$ 20,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 20,000,000
4.0	CIRCUITOS RAMALES DE ALIMENTACIÓN				
4.01	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 1, desde TPDC 1 hasta el INV1. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	35.0	\$ 894,084	\$ 31,292,931
4.02	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 2, desde TPDC 2 hasta el INV2. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	40.0	\$ 894,084	\$ 35,763,350
4.03	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV 3, desde TPDC 3 hasta el INV3. Incluye: circuito ramal desde el SFV hasta el MPT.	ML	30.0	\$ 894,084	\$ 26,822,513
4.04	Suministro, transporte e instalación de circuito ramal de alimentación eléctrica para la conexión del SFV, desde el inversor hasta el TGBT.	ML	6.0	\$ 891,291	\$ 5,347,747
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 67,056,281
5.0	ELEMENTOS DE CONEXIÓN				
5.01	Suministro, transporte e instalación de los elementos de conexión del sistema generador. Incluye DPS y Caja de cortacircuitos.	UND	1	\$ 3,119,266	\$ 3,119,266
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 3,119,266
6.0	SFV ON GRID				
6.01	Suministro, transporte e instalación de sistema de generación solar fotovoltaico ON GRID SFV. Incluye: Capacidad instalada de 24750 W (45 paneles de 550 W c/u), 1 inversor ON GRID de 25 kW, sistema de	GLB	3	\$ 50,000,000	\$ 150,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 150,000,000
7.0	ESTRUCTURAS METÁLICAS				
7.01	Suministro, transporte e instalación de estructura metálica para el área efectiva según diseño estructural	UND	5	\$ 10,000,000	\$ 50,000,000
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 50,000,000
8.0	OBRA CIVIL				
8.01	Impermeabilización de puntos de anclaje y cubiertas intervenidas	GLB	1	\$ 4,107,499	\$ 4,107,499
8.03	Suministro, transporte e instalación de techo o cubierta protectora para zona de inversores y tableros de protecciones eléctricas	GLB	1	\$ 1,528,348	\$ 1,528,348
8.04	Resane de muros y pisos intervenidos	GLB	1	\$ 927,863	\$ 927,863
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 6,563,710
9	INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN RETIE				
9.01	Inspección de obra y certificación RETIE del sistema de generación fotovoltaico ON GRID SFV 70-80 kW.	UND	1	\$ 4,366,003	\$ 4,366,003
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 4,366,003
10	INSCRIPCIONES AGPE				
10.01	Inscripción como Autogenerador Colectivo ante el OR y comercializador incumbente para venta de excedentes de energía	UND	1	\$ 2,409,217	\$ 2,409,217
10.02	Inscripción del proyecto ante la UPME para obtener beneficios tributarios	UND	1	\$ 3,372,904	\$ 3,372,904
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 5,782,120
11	DISEÑOS				
11.01	Documentos finales de diseño eléctrico con el dimensionamiento del sistema de generación solar fotovoltaico ON GRID. Involucra: Validación de niveles de irradiación solar / Análisis de ubicación /	GLB	1	\$ 13,101,709	\$ 13,101,709
11.02	Documentación de cierre y liquidación del proyecto.	GLB	1	\$ 5,206,041	\$ 5,206,041
SUBTOTAL CAPÍTULO					\$ 18,307,750
				COSTO DIRECTO	\$ 365,884,551
ADMINISTRACIÓN (INCLUYE IMPUESTOS Y CONTRIBUCIONES)				32.50%	\$ 118,912,479
IMPREVISTOS				1%	\$ 3,658,846
UTILIDAD				4.0%	\$ 14,635,382
SUBTOTAL DEL PROYECTO					\$ 503,091,257
IVA S/U				19%	\$ 2,780,723
VALOR TOTAL DEL PROYECTO					\$ 505,871,980