

**Estudio de Viabilidad para la Implementación de un Sistema de Paneles Solares
Fotovoltaicos en la Planta Unigas en Puerto Salgar, Cundinamarca: Mejora
Energética y Contribución al Desarrollo Sostenible**

Elaborado por:

Andres David Florido

Estefania Bustos

Ivan Darío Cristancho

Jeyson Huertas

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Post grado Gerencia de proyectos

Bogotá

13/12/2024

Resumen

El proyecto se centra en revisar la viabilidad técnica y económica en la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la planta Unigas, ubicada en Puerto Salgar, Cundinamarca, con el fin de mitigar las deficiencias energéticas, como picos de voltaje y bajas eficiencias que elevan costos operativos, resolviendo problemas energéticos como fluctuaciones de voltaje y costos operativos elevados, proponiendo una solución sostenible que reduce el impacto ambiental. Utiliza enfoques metodológicos cuantitativos con referencias como Ley 1715 de 2014 y estudios en sistemas solares. Este proyecto busca mejorar la eficiencia energética, minimizar costos y fomentar la sostenibilidad empresarial y ambiental.

Palabras clave: Paneles fotovoltaicos, Sostenibilidad, puerto salgar, Energía solar, Transición energética.

Problema de Investigación

La planta Unigas, ubicada en Puerto Salgar, Cundinamarca, enfrenta problemas energéticos originados por su dependencia de fuentes tradicionales de energía, lo que provoca fluctuaciones en el voltaje, interrupciones en el suministro y una baja eficiencia general. Estas situaciones anómalas no solo afectan negativamente la productividad de la planta, sino que también incrementan los costos operativos y refuerzan la emisión de gases de efecto invernadero, agravando el impacto ambiental. Si esta situación persiste, la planta enfrentará una mayor vulnerabilidad operativa y financiera, comprometiendo su competitividad a largo plazo. Como posible solución, se propone la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos, aprovechando el alto potencial de irradiación solar en la región. Este proyecto podría mejorar la eficiencia energética, reducir costos y fortalecer el compromiso de Unigas con la sostenibilidad, por lo que se requiere de un análisis técnico y financiero para asegurar su viabilidad, retorno de inversión y adaptación a las condiciones locales.

Pregunta de investigación

¿Es viable técnica y económicamente implementar un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la planta Unigas en Puerto Salgar, Cundinamarca, para mejorar la eficiencia energética, reducir los costos operativos y contribuir al desarrollo sostenible de la región?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares en la planta Unigas ubicada en el municipio de puerto salgar – Cundinamarca, para determinar su viabilidad como fuente de energía renovable, para el mejoramiento de la operación, reducción los costos operativos y contribuir a la implementación de energías renovables no convencionales.

Objetivos específicos

1. Realizar un estudio de irradiación solar en el área de instalación para estimar el potencial de generación de energía solar en base a los datos históricos de radiación.
2. Estimar los costos iniciales de instalación y los costos operativos a largo plazo.
3. Analizar los beneficios, incentivos o programas económicos aplicables al proyecto para maximizar la viabilidad financiera y reducir los costos de implementación.
4. Evaluar la eficiencia energética del sistema mediante el cálculo de la producción de energía y su comparación con el consumo actual de la instalación

Justificación

La empresa Unigas presenta la necesidad de mejorar la eficiencia energética de la planta, reducir los costos operativos y disminuir su impacto ambiental. Actualmente, la planta enfrenta problemas recurrentes de interrupciones eléctricas, picos de voltaje y una alta dependencia de fuentes de energía convencionales que contribuyen al cambio climático. Dada la alta irradiación solar en la región, este proyecto no solo ofrece una

solución técnica viable para resolver las deficiencias energéticas, sino que también representa una oportunidad estratégica para que Unigas se posicione como un líder en sostenibilidad. Implementar energías renovables, como la solar, no solo disminuirá las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también permitirá a la planta acceder a incentivos fiscales y económicos, garantizando una operación más competitiva y amigable con el medio ambiente.

Marco Teórico

Proyecto estudio de viabilidad financiera de la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares para puestos de salud en Colombia (Aldana & Fino, 2018) este proyecto pretende la implementación de paneles fotovoltaicos en el puesto de salud de Pasuncha, un corregimiento en el municipio de Pacho, Cundinamarca, con una población que no supera los 500 habitantes. En el marco de este estudio, se realizó una revisión exhaustiva de las condiciones geográficas y de radiación solar en el corregimiento de Pasuncha. La radiación solar es un factor crucial para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que determina la cantidad de energía que se puede generar. Para este proyecto, se partió del valor mínimo anual de radiación solar, utilizando el dato correspondiente al mes con menor radiación (mayo), que se estableció en 3.8 kWh/m²/d, este dato se halló en el *Atlas interactivo de Radiación solar IDEAM*. (Bello, A., & Páez, D., 2018)

Algunos estudios encontrados proporcionan una serie de fórmulas y cálculos necesarios para determinar el número adecuado de paneles solares y otros componentes del sistema fotovoltaico, como son:

Componentes del Sistema Fotovoltaico

- **Número de paneles solares:** La fórmula para calcular el número de paneles ($Np = E_{dc} / P_{ref} * HSP * (1 - \eta_p)$) tiene en cuenta la demanda energética, la potencia de referencia de los paneles, las horas solares pico (HSP), y las pérdidas del sistema, que se estiman en un 5%. (Fajardo, 2024)
- **Controladores de Carga:** Los controladores de carga son dispositivos que regulan la entrada de corriente a las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas que podrían acortar su vida útil. La fórmula para el cálculo del controlador de carga ($I_r = F_s * Np * I_{sc}$) considera el número de paneles, la intensidad pico del panel seleccionado, y un factor de sobredimensionado, lo que asegura que el sistema funcione de manera eficiente bajo diferentes condiciones operativas. (Damia Solar, 2018)
- **Baterías:** Las baterías juegan un papel crucial en la acumulación de energía, permitiendo que el sistema funcione durante la noche o en períodos prolongados de mal tiempo. La capacidad de las baterías se calcula mediante un arreglo en serie y paralelo, optimizando tanto la inversión como la capacidad de almacenamiento del sistema. (Fajardo, 2024) La fórmula utilizada para determinar el número de baterías necesarias en el sistema ($N_{bt} = N_{bs} * N_{bpp}$) asegura que se satisfaga toda la demanda energética del puesto de salud. (Banda, 2017)

Concluyendo con un análisis de costos, donde se detallan las inversiones necesarias para la implementación del sistema fotovoltaico. El estudio demuestra que,

gracias a la financiación del municipio de Pacho, el proyecto es rentable y se espera que la inversión se recupere en los primeros años de operación. Además, se proyecta una reducción superior al 90% en los costos de electricidad, lo que resalta la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo de la iniciativa. (Aldana & Fino, 2018)

El proyecto de paneles solares en la cubierta de las viviendas para la vereda La Esperanza del municipio de Convención Norte de Santander – Colombia (Martínez & Fuentes, 2017), siendo conscientes de las deficiencias en el suministro eléctrico de la región, caracterizadas por frecuentes interrupciones que impactan negativamente la calidad de vida de los habitantes, se propone una iniciativa estratégica orientada a mejorar la infraestructura y la gestión del servicio eléctrico. Para garantizar el éxito de este proyecto, se adoptó la metodología PMBOK, que permitió un enfoque estructurado y eficiente.

La aplicación de PMBOK abrió la gestión integral de los principales componentes del proyecto, incluyendo alcance (Definición clara de los objetivos y resultados esperados), tiempo (Establecimiento de un cronograma detallado para las actividades clave), costos: Planificación y control del presupuesto necesario para las mejoras. (Project Management Institute [PMI], 2021). Las cuales fueron esenciales para la ejecución exitosa del proyecto de energía solar fotovoltaica en la zona.

Áreas Clave de la Gestión de Proyectos

- **Gestión del Alcance:** Se definió un alcance claro que incluyó la instalación de los paneles solares, el desarrollo de un plan de mantenimiento, y la capacitación de los usuarios. Se generó una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT),

desglosando el proyecto en tareas específicas y manejables. El alcance del proyecto fue monitoreado continuamente para asegurar que se cumplieran todos los objetivos sin desviaciones.

- **Gestión del Tiempo:** Se elaboró un cronograma detallado que abarcó todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta la instalación final de los paneles. Este cronograma incluyó todos los hitos y puntos clave, permitiendo un seguimiento constante del progreso y asegurando el cumplimiento de los plazos establecidos.
- **Gestión de Costos:** Se realizaron estimaciones de costos para cada fase del proyecto, lo que permitió desarrollar un presupuesto preciso. Además, se implementaron mecanismos de control para prevenir sobrecostos, asegurando que el proyecto se mantuviera dentro del presupuesto aprobado.
- **Gestión de la Calidad:** Se establecieron estándares de calidad para asegurar que los sistemas fotovoltaicos funcionaran de manera eficiente y duradera. Durante la instalación, se llevaron a cabo inspecciones periódicas. En caso de detectar desviaciones, se implementaron medidas correctivas inmediatas para garantizar la calidad de los entregables.
- **Gestión de Riesgos:** Se identificaron y analizaron los riesgos que podrían afectar el proyecto, evaluando su impacto y probabilidad. Los riesgos fueron clasificados según su gravedad, y se desarrollaron planes de mitigación para reducir su impacto en el proyecto.

Durante la ejecución del proyecto, se aseguró el cumplimiento de la normativa colombiana, incluyendo el Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 (ICONTEC, 2015) y

el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas [RETIE] (Ministerio de Minas y Energía, 2021). Se realizaron controles periódicos para verificar que los entregables se completaran dentro de los plazos y costos previstos, y que cumplieran con los estándares de calidad establecidos.

El proyecto utilizó kits fotovoltaicos (Nousol) adaptados a la demanda de energía de cada usuario. Cada kit estándar para viviendas incluyó 5 paneles solares de 195 W, 4 baterías monoblock de 525 Ah, 1 regulador de 30 A, y 1 inversor de 2000 VA, con un costo aproximado de 10 millones de pesos. Las especificaciones de los materiales fueron detalladas, asegurando que cada componente cumpliera con los requisitos técnicos necesarios.

Tabla 1 Juego kit fotovoltaico

Material	Descripción
Paneles solares de 195W/24V (Ref 11000017)	Dimensiones 1580x808x35mm Peso 16,0 Kg Lmpp 5,29A Vmpp 36,9V
<i>Regulador stecca de 20A/24V con indicaciones mediante LED</i>	Dimensión 187x97x45mm Peso 345 g
Batería monoblock 12V/250 ^o C100 plomo acido abierto de descarga profunda	Dimensión 518x273x240mm Peso 60,0 Kg

Inversor 24V/1500W onda sinodal pura	Dimensiones 375x214x110mm Peso 10,0 Kg Pto. Pico 300w
--------------------------------------	--

Nota. "Proyecto para la gestión de paneles solares en la vereda la Esperanza del municipio de Convención, Norte de Santander, Colombia" por Nousol.

El proyecto tuvo una duración de 131 días y un costo total aproximado de mil millones de pesos. El análisis financiero mostró una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 6%, indicando que la inversión sería rentable después de 11 años, con una proyección de rentabilidad del 1% en un horizonte de 15 años. (Estrada Martínez & Muñoz Fuentes, 2017)

Análisis de Políticas Públicas para la adopción de Energías Renovables Convencionales en Colombia

El desarrollo de energías renovables en Colombia ha sido promovido a través de diversas políticas públicas, alineadas con los acuerdos internacionales de transición energética. En el contexto energético del país, la matriz está dominada por la energía hidroeléctrica (68%) y las termoeléctricas (31%), mientras que las energías solar y eólica representan solo un 1% de la generación total. A pesar de esta baja participación, Colombia tiene un enorme potencial para expandir el uso de energías renovables, según se detalla en Gil et al. (2023)

Según el *IDEAM (2015)*, El sector energético en Colombia es el principal contribuyente a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), aportando un 44% del total, seguido por el sector agropecuario con un 43%, y los sectores industriales y de

residuos que también contribuyen significativamente. Para mitigar estas emisiones y fomentar la transición energética, el país ha implementado un marco normativo robusto que incentiva el cambio hacia energías renovables no convencionales, en especial la energía eólica y solar.

En el documento (Castaño y García, 2020), uno de los pilares es la **Ley 1715 de 2014**, que establece varios incentivos para promover la inversión en proyectos de energías renovables:

- **Deducción de renta:** Permite deducir el 50% de la inversión total realizada en estos proyectos.
- **Exclusión del IVA:** Exonera del impuesto al valor agregado en la adquisición de bienes y servicios destinados a la generación de energías renovables.
- **Exención arancelaria:** No se aplican derechos de importación a maquinaria, equipos y materiales necesarios para estos proyectos.
- **Depreciación acelerada:** Facilita la depreciación rápida de maquinarias, equipos y obras civiles, reduciendo la carga fiscal en el corto plazo.

El Decreto Reglamentario 2143 de 2015, la Resolución 030 de 2018 de la CREG, la Resolución 038-2018 de la CREG, y el Decreto 570 de 2018 del Ministerio de Minas y Energía, las cuales fueron analizadas en documento (Collazos, Esquivel y Paz, 2019) donde se buscan consolidar la diversificación energética iniciada por la Ley 1715).

De acuerdo a lo descrito en (MME y BID, 2021) Colombia se perfila como un país con gran potencial para liderar en la generación de energías renovables no convencionales, especialmente debido a su posición geográfica favorable. Este potencial

se refleja en el ascenso de Colombia en el ranking de sostenibilidad energética del Consejo Mundial de Energía, escalando del puesto 49 al 35 en 2020. Se proyecta que, para el 2030, las energías renovables no convencionales representarán el 15% de la capacidad eléctrica instalada en el país.

De acuerdo a *García y González (2021)* Puerto Salgar, Cundinamarca, la irradiación solar promedio anual es de 4.5 a 5.0 kWh/m²/día, lo que equivale a 1,642-1,825 kWh/m²/año. De acuerdo con información documentada por *IDEAM. (2023)* mientras que en Bogotá podía generar entre 3.5 y 4.0 kWh/m²/día, lo que cubre un 80% de la demanda energética de la institución educativa analizada. El hotel en san Andres tiene una eficiencia energética de un rango de 4.5-5.5 kWh/m²/día, mostrando que la ubicación del hotel ofrece un alto potencial de energía solar, contribuyendo a reducir el uso de generadores diésel. *Torres y Hernández (2022)* en su estudio encontraron que un parque fotovoltaico en Cundinamarca podría generar un ahorro del 30% durante los primeros cinco años, con un ahorro neto de hasta COP 1.2 millones anuales. Y *Echeverri y Zapata (2020)* concluyeron que la inversión inicial para un sistema solar en el hotel estudiado era recuperable en 7 años, mostrando un ahorro anual en la factura energética del 40%, lo que posibilidad y da viabilidad en la implementación de estos proyectos e las diferentes áreas del país.

Relevancia del Uso de Paneles Solares en el Desarrollo de Proyectos Enfocados en la Generación de Energías Eléctricas

El incremento en la demanda de energía a nivel mundial, motivado por los hábitos de vida y la organización en diferentes partes del mundo, ha resultado en un aumento

significativo en el consumo energético. Este fenómeno ha cobrado mayor importancia en las últimas décadas, especialmente debido a la necesidad de garantizar la seguridad energética en un contexto de inestabilidad en los precios del petróleo y la dependencia de los combustibles fósiles, una crisis que se ha vuelto cada vez más tangible en los últimos años. Es en este contexto que las energías renovables, particularmente las más limpias, adquieren una relevancia crucial, presentándose como la solución más viable para mitigar los impactos ambientales y reducir la dependencia de fuentes más contaminantes.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (*AIE, 2013*), el petróleo lidera el consumo global con un 32%. en el consumo global de energía, esto anudado a la inestabilidad del precio y el impacto que genera el comercio del mismo en los sectores económico, social y ambiental, lo proponen como eje central para la toma de decisiones en la política internacional y local con el objeto de buscar nuevas alternativas o mejorar las existentes que mitiguen los efectos geopolíticos.” (*Umbarila Valencia, Alfonso Moreno, & Rivera Rodríguez, 2015*). Es preocupante que, a pesar de estas cifras, la implementación de energías más limpias aún sea difícil de integrar en las políticas de los países, especialmente en las industrias que son las principales consumidoras de energía.

Las tecnologías fotovoltaicas y termosolares han demostrado su capacidad para mejorar los indicadores ambientales, así como su relación costo-eficiencia. Estudios muestran que estas energías suelen ser más sostenibles económicamente por los ahorros que generan a largo plazo, pese a la inversión inicial que requieren.

Asimismo, en este artículo de Según (*Checa & De la Cruz, 2015*) “el crecimiento demográfico ha impulsado el aumento del consumo energético en países en desarrollo

se resalta el trabajo adelantado por El bloque de los países en desarrollo compuesto por Brasil, China, India, Rusia y Sudáfrica promete doblar el consumo energético actual, a lo que contribuye el crecimiento demográfico, el cual aumentó 1500 millones de habitantes en los últimos 20 años. Todo lo anterior supone contar con fuentes energéticas seguras que puedan abastecer la demanda de manera limpia y con recursos energéticos ilimitados.

Este contexto pone un estándar, ya que países como Brasil están entregando recursos importantes para el desarrollo de diferentes fuentes eléctricas, incluyendo la generada por paneles solares de acuerdo con lo mencionado por (*Umbarila Valencia, Alfonso Moreno, & Rivera Rodríguez, 2015*).

En Colombia, de acuerdo con (UPME, 2015) se puede observar avances, ya que “los sistemas fotovoltaicos actualmente cuentan con un estimado de 9 y 11 MWp instalados en sistemas independientes o aplicaciones profesionales. Para la energía eólica, el parque eólico Jepírachi es la aplicación más relevante, con 19.5 MW de generación de energía eléctrica, haciendo excepción de la energía hidráulica, que constituye el 64% de la generación. Ante esta situación, la Ley 1715 de 2014 (Congreso de Colombia, 2014) busca promover la inclusión de este tipo de tecnologías energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, para establecer los mecanismos legales y tributarios que contribuyan al desarrollo e implementación de fuentes renovables de energía no convencionales (en Colombia, la energía proveniente de ríos y represas es convencional) y que puedan integrarse al sistema energético nacional para mitigar los gases de efecto invernadero (producidos por el uso de hidrocarburos como fuente primaria), generar alternativas de desarrollo económico sostenibles y adquirir energía

segura para zonas interconectadas. Dicha ley establece los instrumentos tributarios, arancelarios, contables y de participación en el mercado energético colombiano, reduciendo la renta, exclusión del IVA, exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de reinversión y de inversión de proyectos con FNCE (fuentes no convencionales de energía). Esta norma, por tanto, promueve el uso y desarrollo de tecnologías para generación de energía a través de recursos como el sol, viento, biomasa, geotermia, etc. *(Congreso de Colombia, 2014).*” *(Umbarila Valencia, Alfonso Moreno, & Rivera Rodríguez, 2015).*

El mantenimiento de la seguridad energética es una cuestión de interés global que requiere un análisis permanente por parte de todos los interesados: países, gobiernos, industrias y personas en particular. Es, por razones obvias, parte fundamental del desarrollo sostenible. Sin embargo, como estrategia, no solo debe involucrar los recursos asignados al desarrollo del proyecto, sino también requiere planificación que integre aspectos educativos, culturales y ambientales en diferentes niveles y con el mayor número posible de involucrados. El uso de energías no renovables ha tenido impactos negativos considerables sobre la fauna y flora del mundo, y ha generado grandes repercusiones indirectas en la salud pública, producto de la contaminación y el efecto invernadero.

Todo esto exige la creación de mecanismos legislativos adecuados que permitan la regulación y el cumplimiento, ya que están vinculados a necesidades económicas. Esto implica inversiones que, a su vez, deben ser competitivas en términos de rentabilidad. No se trata únicamente de reducir el costo inicial de adquisición, sino de considerar los

gastos totales durante el ciclo de vida del equipo y los sistemas, lo que en algunas ocasiones no se considera y termina impactando los proyectos y la sostenibilidad de estos, afectando la confiabilidad y el uso de estos sistemas. Otro factor para considerar es la integración de las energías renovables en la red eléctrica de manera eficiente, lo cual puede ser un riesgo, dado que en Colombia algunas fuentes de generación son intermitentes e incluso impredecibles.

El uso de paneles solares ofrece una ventaja significativa en comparación con otras fuentes de energía, ya que el sol es una fuente inagotable, a diferencia de los combustibles fósiles, que son finitos. Los paneles solares convierten la radiación solar en energía de manera altamente eficiente. Además, su versatilidad permite su adaptación a diversos contextos, ya que se fabrican en módulos de diferentes tamaños que pueden instalarse en campos abiertos, techos de edificios y pequeñas estructuras industriales.

Aunque la transición a esta fuente de energía puede ser gradual, representa una gran oportunidad para el mundo. Este cambio inicial puede sentar las bases para una cobertura más amplia de energía limpia en el futuro. Los paneles solares son una solución ideal para mitigar los efectos del cambio climático y promover un desarrollo sostenible.

Desde su creación en 1994, la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (Cubasolar nombre abreviado), el país ha impulsado sostenidamente el aprovechamiento de fuentes renovables de energía en las zonas rurales, montañosas y de difícil acceso. También hay aplicaciones sencillas, las cuales no son menos loables, como los postes del alumbrado de la Marina

Hemingway en Santa Fe, La Habana. Otro ejemplo para destacar entre muchos es el de la provincia de Pinar del Río, con un parque fotovoltaico que ha entregado hasta enero de 2016 tres Gwatts (equivale a 1000 toneladas de CO₂ que no se emiten a la atmósfera por quema de combustibles fósiles) y ya este año se instalará en la zona de El Cafetal, en el municipio de San Luis, un nuevo parque solar fotovoltaico de una capacidad de generación de 2.2 Mwp.” (*Carballo*).

Los paneles solares como fuente de energía

De acuerdo a los autores del artículo Estudio de las características de una celda fotovoltaica para el uso eficiente de la energía solar se profundiza en los principios básicos de las Celdas Solares, de forma más detallada explican los conceptos básicos de las paneles solares y su funcionamiento hasta llegar a ser energía usada en para diferentes beneficios, en este se resume básicamente en que cuando la luz incide sobre un material especial en la celda, ese material convierte la energía de la luz en energía eléctrica. Según *Bube (1998)*, la luz solar es bastante intensa, pero parte de esa luz se pierde mientras pasa a través de la atmósfera debido a la dispersión y absorción.

Tipos de Radiación Solar

Para medir cuán bien funciona una celda solar, usamos dos tipos de radiación estándar:

- **AM1.5G:** Incluye tanto la luz directa del sol como la luz que se dispersa en la atmósfera. La intensidad de esta radiación es de 1 kW/m².
- **AM1.5D:** Solo considera la luz directa del sol, con una intensidad de 900 W/m² (ASTM E-490, 2000).

Absorción de Luz

La eficiencia de una celda solar depende de cuánto de la luz solar puede absorber. Esta absorción se mide en función de la energía de los fotones (partículas de luz) y determina cuántos pares de electrones y huecos se crean. Estos pares son los que generan la electricidad (*Huerta Mascotte et al., 2016*).

Propiedades Ópticas del Material

Los materiales de las celdas solares tienen ciertas características ópticas que afectan su rendimiento. El índice de refracción y el coeficiente de absorción nos dicen cuánta luz se absorbe y cuánta se pierde. Esta información ayuda a calcular cuánta luz llega a la celda y cuánta se convierte en electricidad (*Bube, 1998*).

Curva de Corriente-Voltaje

El rendimiento de una celda solar se muestra en una curva que relaciona la corriente producida con el voltaje. Esta curva se basa en una fórmula que considera factores como la corriente en la oscuridad y el voltaje cuando no hay carga. Los modelos teóricos ayudan a predecir cómo debería comportarse la celda, pero en la práctica, los resultados pueden variar debido a la resistencia y otros factores (*Pareja-Aparicio et al., 2013*).

Mediciones Experimentales

Durante las pruebas, se midieron diferentes características de la celda solar, como el voltaje y la corriente bajo distintas condiciones de luz. Los resultados experimentales pueden diferir de lo que predicen los modelos teóricos, especialmente debido a la carga y la intensidad de la luz solar (*Huerta Mascotte et al., 2016*).

Conclusión

Los resultados de las pruebas mostraron que las celdas solares no siempre funcionan exactamente como se predice en teoría. Factores como la reflexión y las variaciones en la carga afectan su rendimiento real. Aunque los modelos teóricos son útiles, las pruebas prácticas son esenciales para comprender cómo funcionan realmente las celdas solares. (*Huerta Mascotte, y otros*)

Jiménez y Martínez (2021) encontraron que la hibridación solar en un parque eólico existente en Colombia presentaba una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 12%, lo que indicaba un retorno positivo en 8 años. Y de acuerdo con el estudio de *García y González (2021)*, se concluyó que el sistema de paneles solares es técnicamente viable en zonas urbanas de Bogotá, siempre que se utilicen paneles con alta eficiencia y un buen sistema de inversores. Lo que desde el punto de emisiones es muy positivo porque en *Torres y Hernández (2022)* en sus estudio destacaron que la implementación del parque solar podría disminuir las emisiones en más de 2,500 toneladas de CO₂ en un periodo de 20 años, contribuyendo a las metas de sostenibilidad energética de Colombia

El Parque Solar Barzalosa en Nariño, Cundinamarca, es un ejemplo destacado de la viabilidad técnica y económica de la energía solar en la región. Según un informe del Ministerio de Minas y Energía, este parque solar de 100 MW tiene una capacidad de generar aproximadamente 200 GWh de energía al año, lo que abastece a cerca de 50,000 hogares. *Ministerio de Minas y Energía. (2023)*. La adopción de paneles solares en empresas genera beneficios significativos, entre ellos la reducción de los costos

operativos energéticos en un 30-40% y la mejora en la imagen corporativa, alineada con los objetivos de sostenibilidad. *República del Sol. (2024)*

En el estudio de *Guayazan Pinto, T. J., Mendivelso Moreno, J. D., & Villamil Vargas, J. S. (2020)* para la implementación de un sistema fotovoltaico para la comunidad indígena Pijao se destaca que la irradiación solar en la región supera los 4,5 kWh/m²/día, haciéndolo viable para la energía solar. Las variables evaluadas incluyeron eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, con resultados positivos en la reducción de la dependencia de fuentes no renovables. Validado la viabilidad energética según el informe de *Universidad de Antioquia. (2019)* en la evaluación técnica y económica de parques fotovoltaicos en Colombia se evaluó la eficiencia energética y el impacto económico de los parques solares, destacando la viabilidad técnica en regiones con irradiación solar superior a 5 kWh/m²/día. Los análisis demostraron que estos parques podrían reducir un 30% de las emisiones de CO₂ en la región.

Referente a costos según estudios previos realizados por *Montoya, F. G., Aguilera, M. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2014)*, el costo de instalación de un sistema fotovoltaico en Colombia oscila entre \$700 y \$1,000 USD por kW instalado. Para una planta industrial como Unigas, que requiere aproximadamente 500 kW de potencia, el costo total de instalación sería de aproximadamente \$350,000 a \$500,000 USD.

Estudios realizados en Colombia muestran que empresas que implementaron sistemas fotovoltaicos lograron reducir entre un 20% y 40% de sus costos energéticos. Aplicando este rango a los costos operativos de Unigas, se proyecta un ahorro anual

de aproximadamente \$100,000 USD, lo que permitiría recuperar la inversión en menos de 5 años de acuerdo con lo definido en el informe de *Hincapié Vigoya, L. F. (2018)*.

Marco Normativo en Colombia

El marco regulatorio colombiano, liderado por la Ley 1715 de 2014, ha sido fundamental para promover el uso de energías renovables no convencionales. Entre los incentivos más destacados se incluyen la exclusión del IVA, exenciones arancelarias y la depreciación acelerada de equipos (*Congreso de Colombia, 2014*). Estas medidas buscan atraer inversión y facilitar la adopción de tecnologías limpias, como los sistemas fotovoltaicos.

Adicionalmente, el Decreto 570 de 2018 estableció lineamientos específicos para proyectos fotovoltaicos, permitiendo a las empresas acceder a beneficios tributarios y reducciones en costos operativos al implementar energías renovables. Estas políticas han sido cruciales para la proliferación de proyectos solares en Colombia, aumentando la capacidad instalada de energía solar a más de 500 MW en 2023 (*Ministerio de Minas y Energía, 2023*).

Beneficios Ambientales y Sociales de los Sistemas Fotovoltaicos

El uso de paneles solares tiene un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental al reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se estima que cada kilovatio hora (kWh) de energía solar generada evita la emisión de aproximadamente 0.5 kg de CO₂, lo que es esencial para cumplir con los objetivos climáticos nacionales e internacionales (*Guayazán Pinto et al., 2020*). En el caso de proyectos implementados en comunidades rurales, como en el resguardo indígena

Pocharco, los beneficios sociales incluyen el acceso a energía confiable y la mejora en la calidad de vida de los habitantes (*Guayazán Pinto et al., 2020*).

Estudios de Caso Relevantes

En el contexto colombiano, el Parque Solar Barzalosa, ubicado en Nariño, Cundinamarca, destaca por su capacidad de generar más de 200 GWh anuales, abasteciendo a 50,000 hogares (*Ministerio de Minas y Energía, 2023*). Este proyecto demuestra la viabilidad técnica y económica de los sistemas fotovoltaicos a gran escala en regiones con alta irradiación solar.

Otro caso relevante es el proyecto de gestión de *Estrada Martínez & Muñoz Fuentes, 2017* la instalación de paneles solares para la vereda La Esperanza en Norte de Santander, donde se implementaron kits fotovoltaicos con resultados positivos en términos de sostenibilidad y reducción de costos operativos. Los resultados de las pruebas mostraron que las celdas solares no siempre funcionan exactamente como se predice en teoría. Factores como la reflexión y las variaciones en la carga afectan su rendimiento real. Aunque los modelos teóricos son útiles, las pruebas prácticas son esenciales para comprender cómo funcionan realmente las celdas solares de acuerdo al estudio de Huerta Mascotte, y otros.

Marco institucional

G+Energy es una filial de Gasco Luz, una sociedad chilena formada a partir de la alianza entre Ciudad Luz y Empresas Gasco, dos compañías reconocidas en el sector energético. La misión principal de G+Energy es impulsar y liderar la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, tanto en Chile como en Colombia. Con una amplia experiencia en el campo de la energía solar y en la gestión de contratos de

suministro, G+Energy ofrece soluciones energéticas que permiten a las empresas acceder a energía limpia sin necesidad de realizar grandes inversiones iniciales, sin asumir riesgos financieros y con tarifas competitivas.

La Empresa: G+Energy y Gasco Luz

Gasco Luz forma parte del Grupo Gasco, un conglomerado chileno con una vasta trayectoria en el sector energético. A lo largo de los años, Gasco ha desempeñado un papel clave en la distribución de gas licuado de petróleo (GLP) en Chile y ha ampliado su presencia en otros mercados energéticos, incluyendo la generación de energía eléctrica. En este contexto, G+Energy surge como una iniciativa estratégica con el objetivo de expandir la oferta de energías renovables, con un enfoque particular en la energía solar fotovoltaica. La empresa busca no solo satisfacer la creciente demanda de energía limpia en la región, sino también hacerlo de manera accesible y rentable para una variedad de sectores productivos.

Soluciones Energéticas para Diversos Sectores

G+Energy se especializa en proporcionar energía eléctrica limpia y sostenible a distintos sectores, incluyendo el industrial, el educativo y el comercial. Estas soluciones están diseñadas para adaptarse a las necesidades específicas de cada cliente, permitiendo la instalación de sistemas solares en diversas infraestructuras: desde techos de edificios industriales y comerciales, hasta estructuras a nivel del suelo o sistemas flotantes sobre cuerpos de agua, así como cubiertas de parqueaderos. Esta flexibilidad permite maximizar el uso del espacio disponible, garantizando un suministro energético continuo y eficiente.

Experiencia y Compromiso con la Calidad

Con más de 80 proyectos solares construidos y operativos, G+Energy se ha consolidado como un referente en el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos tanto en Chile como en Colombia. El equipo de G+Energy no solo se encarga de la instalación de los sistemas, sino que también asegura que cada uno de ellos opere bajo los más altos estándares de calidad. Desde la puesta en marcha del proyecto hasta el monitoreo constante y el mantenimiento preventivo, la empresa garantiza la eficiencia y el óptimo rendimiento de los sistemas instalados.

Un pilar fundamental de G+Energy es su enfoque en la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. La empresa se compromete a que sus proyectos no solo contribuyan a la reducción de la huella de carbono de sus clientes, sino también a promover un desarrollo económico sostenible y socialmente responsable. Al optar por los servicios de G+Energy, las empresas no solo reducen sus costos energéticos, sino que también contribuyen a la conservación del medio ambiente y al cumplimiento de los objetivos globales de sostenibilidad.

Energía Limpia sin Inversión y sin Riesgo

Una de las grandes ventajas que ofrece G+Energy es la posibilidad de acceder a soluciones energéticas sin necesidad de inversiones iniciales por parte de sus clientes. A través de sus contratos de suministro, la empresa se encarga de la financiación, diseño, instalación y operación de los sistemas fotovoltaicos, permitiendo así a las empresas obtener energía limpia sin asumir riesgos financieros. Además, las tarifas ofrecidas por G+Energy son altamente competitivas, lo que asegura que el costo de la energía sea siempre favorable en comparación con otras fuentes tradicionales.

G+Energy se posiciona como un aliado estratégico para las empresas que buscan soluciones energéticas limpias, confiables y rentables. Con un firme compromiso con la transición hacia fuentes renovables, la empresa está dedicada a liderar este cambio en Chile y Colombia, proporcionando energía solar de alta calidad que beneficia no solo a sus clientes, sino también al planeta.

Metodología

Primer nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

Dado que el proyecto de la planta Unigas se basa en un análisis documental de trabajos académicos relacionados con la implementación de paneles solares fotovoltaicos, se ha adoptado un enfoque cuantitativo como el más adecuado. Este enfoque permite interpretar y evaluar información existente para comprender las experiencias, aprendizajes y resultados obtenidos en contextos similares.

El diseño metodológico es descriptivo y exploratorio, centrado en la revisión y análisis crítico de estudios previos. A través de esta revisión, se identificarán patrones, buenas prácticas, desafíos comunes y oportunidades relacionadas con la adopción de sistemas fotovoltaicos en entornos industriales. La información se obtendrá de fuentes académicas y estudios técnicos pertinentes, lo que garantizará la calidad y relevancia de los hallazgos.

Este enfoque cuantitativo ofrece una comprensión profunda de las condiciones y factores que influyen en la viabilidad de proyectos similares, proporcionando una base

sólida para formular recomendaciones adaptadas al contexto específico de la planta Unigas.

Tabla 2 Definición de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Resultados / dimensiones
Eficiencia Energética	La relación entre la cantidad de energía útil obtenida y la cantidad de energía consumida en un sistema. A mayor eficiencia, menor es el desperdicio de energía.	Se medirá mediante simulaciones del sistema fotovoltaico propuesto utilizando datos de irradiación solar y el consumo energético actual de la planta Unigas. La eficiencia se expresará en términos de porcentaje de energía utilizada versus energía producida	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo actual de energía - Producción de energía fotovoltaica
Reducción de Costos	Disminución de los gastos operativos derivados del consumo energético gracias a la implementación de un sistema de paneles solares.	Se evaluará comparando los costos actuales de electricidad de la planta con los costos proyectados tras la implementación de los paneles solares. Se utilizarán registros financieros y estimaciones de facturación eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de instalación - Costos de operación y mantenimiento - Ahorro en la factura de energía
Retorno de Inversión (ROI)	Indicador financiero que mide el beneficio obtenido por una inversión en relación con su costo. Se expresa como un porcentaje.	Se calculará esta variable con la fórmula del ROI: $(\text{Ingresos generados} - \text{costos de inversión}) / \text{costos de inversión} \times 100$ Los ingresos generados serán el ahorro en costos operativos a largo plazo y la inversión se	<ul style="list-style-type: none"> - Costo total del proyecto - Ahorro energético proyectado - Periodo de recuperación de la inversión

		basará en el costo total del proyecto fotovoltaico.	
Viabilidad técnica	Capacidad de un proyecto para ser implementado de manera exitosa desde un punto de vista técnico, considerando infraestructura y recursos.	Se evaluará mediante un análisis técnico del terreno y la infraestructura de la planta para determinar la capacidad de los paneles solares. Se utilizarán datos de irradiación solar, condiciones estructurales y capacidad de instalación de paneles.	<ul style="list-style-type: none"> - Irradiación solar - Capacidad de los paneles - Compatibilidad con infraestructura actual

Población y Muestra

Estudios relacionados con sistemas fotovoltaicos: La población se compone de proyectos previos de implementación de sistemas solares en sectores industriales similares en Colombia, así como simulación de sistema de paneles solares en programa PV*SOL, sumado a extracción de información de análisis de entidad como el IDEAM, UPME y otros softwares que miden la radiación solar. Se tomará una muestra de 3 a 5 estudios o artículos sobre la adopción de tecnología solar en empresas de los sectores energético, industrial, hospitalario y de servicios. Estos ejemplos serán evaluados por su desempeño en eficiencia y reducción de costos, proporcionando un contexto comparativo que servirá como referencia fundamental para el estudio.

Estudio técnico

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas. (Iberdrola. (n.d.))

Tabla 3 Ventajas y desventajas de la energía solar

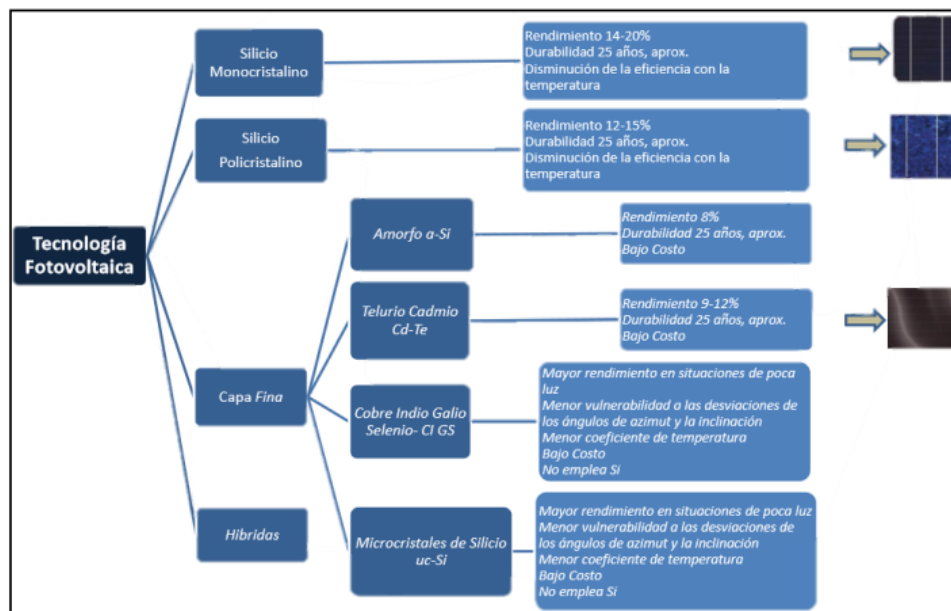
Ventajas	Desventajas
Fuente de energía limpia y renovable, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero	Alto costo inicial de instalación, aunque se ha reducido con el tiempo
Ahorro económico en facturas de electricidad a largo plazo	Depende de las condiciones climáticas, como la luz solar y el clima
Autosuficiencia energética y reducción de dependencia de combustibles fósiles	Requiere espacio considerable para la instalación, lo que puede ser un problema en áreas urbanas
Larga vida útil (más de 25 años) y bajo mantenimiento	Impacto ambiental asociado con la fabricación de los paneles solares
Facilidad de instalación en diversas superficies	Necesidad de soluciones de almacenamiento de energía para optimizar el uso

Nota: Datos de elaboración propia

Los sistemas de energía fotovoltaica se constituyen dependiendo las diferentes tecnologías, entornos y demás características que se necesiten dependiendo rendimiento, duración y otras características.

A continuación, se presentará una descripción y características de cada producto, su funcionamiento, capacidades de trabajo y operación las cuales fueron definidas por el Centro de Desarrollo Energético Antofagaste (CDEA).

Ilustración 1 Tipos y características de los paneles fotovoltaicos



Nota: Tipos y características de los paneles fotovoltaicos Espitia Garzón, N. (2019).

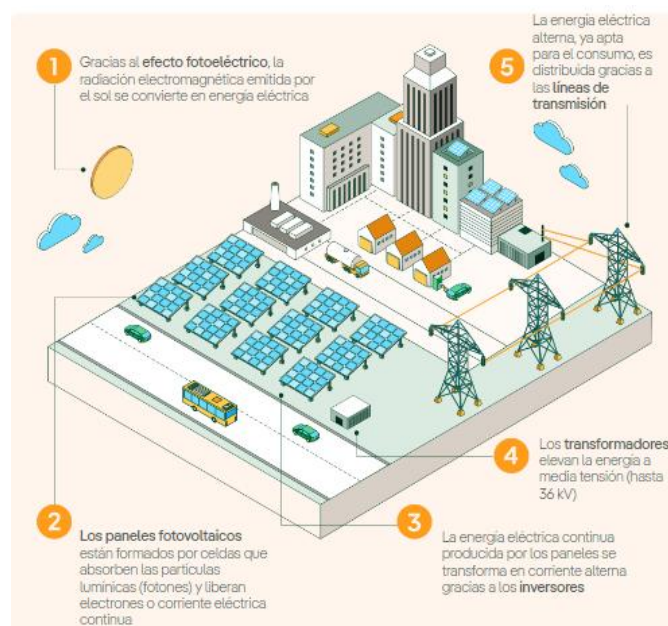
Capa fina: Los paneles solares de capa fina están compuestos de materiales fotovoltaicos depositados en capas delgadas sobre un sustrato, como vidrio o plástico. Estos paneles son ligeros, flexibles y tienen un buen rendimiento en condiciones de baja luminosidad, pero son menos eficientes y tienen una vida útil menor en comparación con los paneles tradicionales.

Concentración fotovoltaica (CPV): Este término se refiere a sistemas que utilizan lentes o espejos para concentrar la luz solar sobre pequeñas células solares de alta eficiencia. Estos sistemas son ideales en zonas con alta radiación solar y requieren mecanismos de seguimiento solar para optimizar la captación de energía.

Silicio monocristalino: Este tipo de panel está fabricado con una sola estructura cristalina de silicio, lo que les otorga mayor eficiencia y durabilidad en comparación con otros tipos. Son ideales para espacios reducidos debido a su alta productividad energética.

Silicio policristalino: Los paneles policristalinos están hechos de múltiples cristales de silicio, lo que los hace más económicos, pero menos eficientes que los monocristalinos. Son una opción común en instalaciones residenciales de bajo presupuesto.

Ilustración 2 Funcionamiento de una plana con sistema FV



Nota. funcionamiento de planta fotovoltaico - Iberdrola. (n.d.).

De acuerdo con al análisis Iberdrola. (n.d.) se cuentan con los siguientes criterios:

1. **Efecto fotoeléctrico:** La radiación electromagnética emitida por el sol impacta en los paneles solares. Este proceso convierte la luz solar en energía eléctrica en forma de corriente continua (DC) gracias al efecto fotoeléctrico, donde los fotones liberan electrones.
2. **Captura por paneles fotovoltaicos:** Los paneles están formados por celdas solares que absorben la luz solar y generan la corriente continua, que es la forma inicial de la electricidad producida.
3. **Transformación de corriente continua a corriente alterna:** Los inversores convierten la energía eléctrica de corriente continua en corriente alterna (AC), que es compatible con los sistemas eléctricos y los dispositivos de uso cotidiano.
4. **Elevación de la energía a media tensión:** Los transformadores incrementan el voltaje de la corriente alterna, llevándola hasta niveles de media tensión (hasta 36 kV) para facilitar su transporte.
5. **Distribución de energía:** La electricidad alterna se transporta a través de líneas de transmisión hacia áreas urbanas, donde es distribuida para el consumo doméstico, comercial e industrial.

Estas instalaciones con conexión a la red cuentan con tres elementos básicos de acuerdo con definido por artículo Iberdrola. (n.d.):

- **Paneles fotovoltaicos:** se trata de grupos de celdas fotovoltaicas montadas entre capas de silicio que captan la radiación solar y transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).
- **Inversores:** convierten la corriente eléctrica continua que producen los paneles en corriente alterna, apta para el consumo.
- **Transformadores:** la corriente alterna generada por los inversores es de baja tensión (380-800 V), por lo que se utiliza un transformador para elevarla a media tensión (hasta 36 kV).

Desarrollo técnico del sistema fotovoltaico

Entendiendo que la instalación se realizará en la planta de gas de puerto salgar Cundinamarca para la compañía Gasco Gas. Se llevará a cabo un análisis para dimensionar y diseñar un sistema de energía eléctrica adecuado para la planta. Se cuantificará la demanda energética total anual y se caracterizarán las condiciones geográficas y climáticas del lugar. La energía generada por el sistema de paneles solares será utilizada prioritariamente para satisfacer el consumo energético de la planta de gas en Puerto Salgar. Sin embargo, cualquier excedente de generación, es decir, la energía que no sea utilizada directamente en las operaciones de la planta será inyectada a la red eléctrica local. Este proceso no solo contribuye al aprovechamiento total de la capacidad del sistema, sino que también genera beneficios económicos para el proyecto, ya que la energía inyectada será compensada por la empresa distribuidora según las tarifas establecidas en el mercado regulado.

Total energía diaria planta

Se determinaron los sistemas que deben ser alimentados con el sistema de energía fotovoltaica, la planta de puerto salgar presenta un consumo total diario estimado de 409.6 kWh. Este consumo incluye equipos esenciales como bombillos LED, cámaras de vigilancia, aires acondicionados, extractores de aire y otros dispositivos que garantizan la eficiencia y seguridad en la operación. El consumo energético anual proyectado para la planta es de 150,000 kWh, considerando el uso promedio de los equipos descritos. Para optimizar el suministro de energía y reducir costos, se planea la instalación de un sistema de generación, como paneles fotovoltaicos, diseñado para cubrir el 50% de la demanda energética anual, es decir, 75,000 kWh al año.

Tabla 4 Consumo diario planta puerto salgar

<i>Aparato/Máquina</i>	<i>Consumo por unidad (Watt/h)</i>	<i>Horas de uso diarias</i>	<i>Unidades</i>	<i>Consumo diario total (kWh)</i>
<i>Bombillos LED (20 W)</i>	20	12	50	12
<i>Microondas</i>	1200	1	3	3.6
<i>Televisores (32")</i>	50	8	3	1.2
<i>Cámaras de vigilancia</i>	10	24	20	4.8
<i>Aire acondicionado (Split, 1.5 Toneladas)</i>	1500	8	4	48
<i>Computadores</i>	150	8	6	7.2

<i>Impresoras</i>	300	2	2	1.2
<i>Refrigeradores</i>	150	24	2	7.2
<i>Cargadores de baterías</i>	50	4	10	2
<i>Extractores de aire</i>	300	8	6	14.4
<i>Herramientas eléctricas (taladros, esmeriladoras)</i>	800	2	3	4.8
<i>Bombas eléctricas de agua</i>	2000	4	2	16
<i>Equipos de comunicación (routers, switches)</i>	50	24	3	3.6
<i>Calentadores de agua</i>	1500	2	2	6
<i>Ventiladores industriales</i>	200	8	6	9.6

Nota. Tabla de consumo diaria planta puerto salgar – fuente de los autores

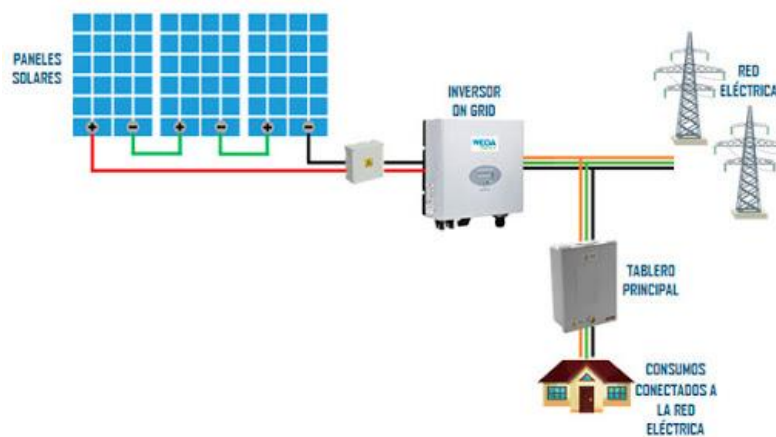
Tipo de instalación

Sistema solar ON GRID

El sistema ON GRID es el más recomendado para una planta de gas debido a su capacidad para optimizar costos, ya que permite reducir significativamente las facturas eléctricas al utilizar la energía solar generada para autoconsumo e inyectar

los excedentes a la red eléctrica. Esta inyección a la red no solo contribuye a una mayor eficiencia económica, sino que también permite aprovechar al máximo la energía generada por los paneles solares. Además, este tipo de sistema es sencillo y requiere un mantenimiento mínimo, ya que no depende de baterías para el almacenamiento, lo que reduce los costos iniciales y operativos. Su conexión constante con la red eléctrica asegura un suministro continuo, incluso en condiciones de baja irradiancia solar, garantizando que los procesos críticos de la planta de gas no se vean interrumpidos. Energía Solar Surya. (n.d.).

Ilustración 3 Instalación ON GRID



Nota. Tabla Instalación ON Grid - Energía Solar Surya. (n.d.).

Un sistema solar fotovoltaico tipo *ON GRID*, que se caracteriza por estar conectado a la red eléctrica pública. Este sistema incluye los siguientes elementos principales:

1. **Paneles solares:** Generan energía eléctrica en corriente directa (DC) a partir de la radiación solar.
2. **Inversor ON GRID:** Convierte la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC), sincronizándola con la red eléctrica.
3. **Tablero principal y consumos:** Distribuyen la energía generada para cubrir la demanda eléctrica de las cargas conectadas.
4. **Red eléctrica:** Recibe el excedente de energía generada por los paneles solares y suministra energía cuando la generación solar es insuficiente.

Tabla 5 Ventajas y Desventajas sistema ON GRID

Ventajas de un sistema ON GRID	Desventajas de un sistema ON GRID
Venta de excedente de energía producida	Si la red convencional no genera energía el sistema no funciona.
Ahorro de dinero	Solo funciona en el día.
Retorno de inversión más rápido	No es independiente del operador de red eléctrica.
Reduce Huella de carbono	
Reducción de Impuestos	
Duración del sistema de 20 a 30 años.	
Leyes a favor como (En Colombia):	
Ley 1715 de 2014	

Resolución 030 CREG del 2018

Nota. Tabla ventajas y desventajas sistema ON GRID Energía Solar Surya. (n.d.).

En un sistema fotovoltaico ON GRID, la energía generada por los paneles solares se consume prioritariamente dentro de la instalación. Si la generación excede el consumo en tiempo real, el excedente se inyecta a la red eléctrica pública. Este proceso, conocido como "venta de energía".

Parámetros Geográficos

La planta de gas de puerto salgar Cundinamarca está situada en la parte Noroccidental del Departamento de Cundinamarca la planta se encuentra localizada en las coordenadas 5.4539692489405756, -74.63724487151407, la planta tiene un terreno de 1300 m2.

Ilustración 4 Localización de Puerto Salgar - Cundinamarca



Nota. Grafico Localización de Puerto Salgar en Cundinamarca - Wikipedia. (n.d.). Puerto Salgar

En cuanto a radiación solar puerto salgar cuenta con un rango de Irradiación global por año 1764.7 kWh/m² *Valentin Software. (n.d.). PVSOL online*

Puerto salgar no cuenta con una cobertura total de la red eléctrica del país, por lo que se buscan alternativas para dar solución a los problemas de abastecimiento de energía en la zona.

Ilustración 5 Mapa de cobertura de red electrica

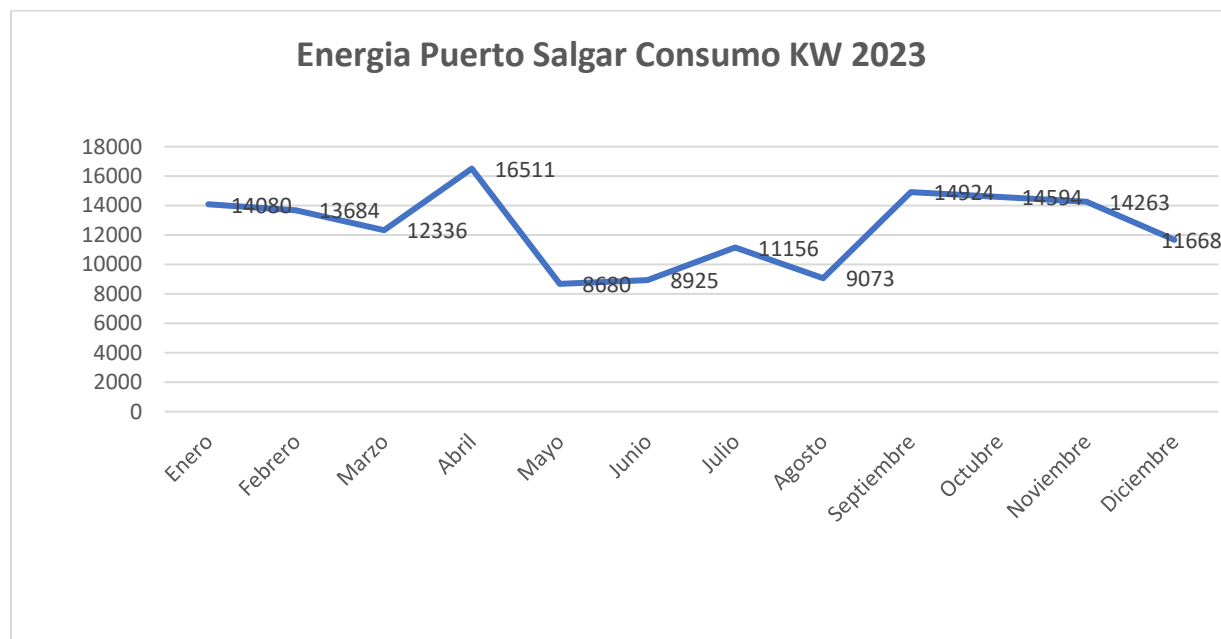


Nota. IDEAM. (2023). Mapas de radiación solar en Colombia. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

Fluctuación de energía en planta puerto salgar

La planta de gas en Puerto Salgar enfrenta un problema significativo debido a la fluctuación de la energía eléctrica, lo que afecta directamente la continuidad de las operaciones y detiene las actividades esenciales de la planta. Según los registros de consumo energético del año 2023, el consumo total de la planta fue de 149,109 kWh, con variaciones mensuales que oscilan entre 8,680 kWh en mayo y 15,465 kWh en julio.

Ilustración 6 Comportamiento consumo planta Puerto Salgar



Nota. Elaboración propia

Como podemos notar en la ilustración anterior el consumo de energía en Puerto Salgar durante 2023 presentó fluctuaciones significativas, alcanzando su máximo en abril (16.511 KW) y su mínimo en junio (8.680 KW), con una reducción abrupta del 47,5% entre estos meses. La segunda mitad del año mostró mayor estabilidad, con un promedio

mensual de consumo cercano a 12.620 KW. Estas variaciones podrían deberse a factores climáticos, cambios en la actividad económica o estrategias de ahorro energético.

Irradiación

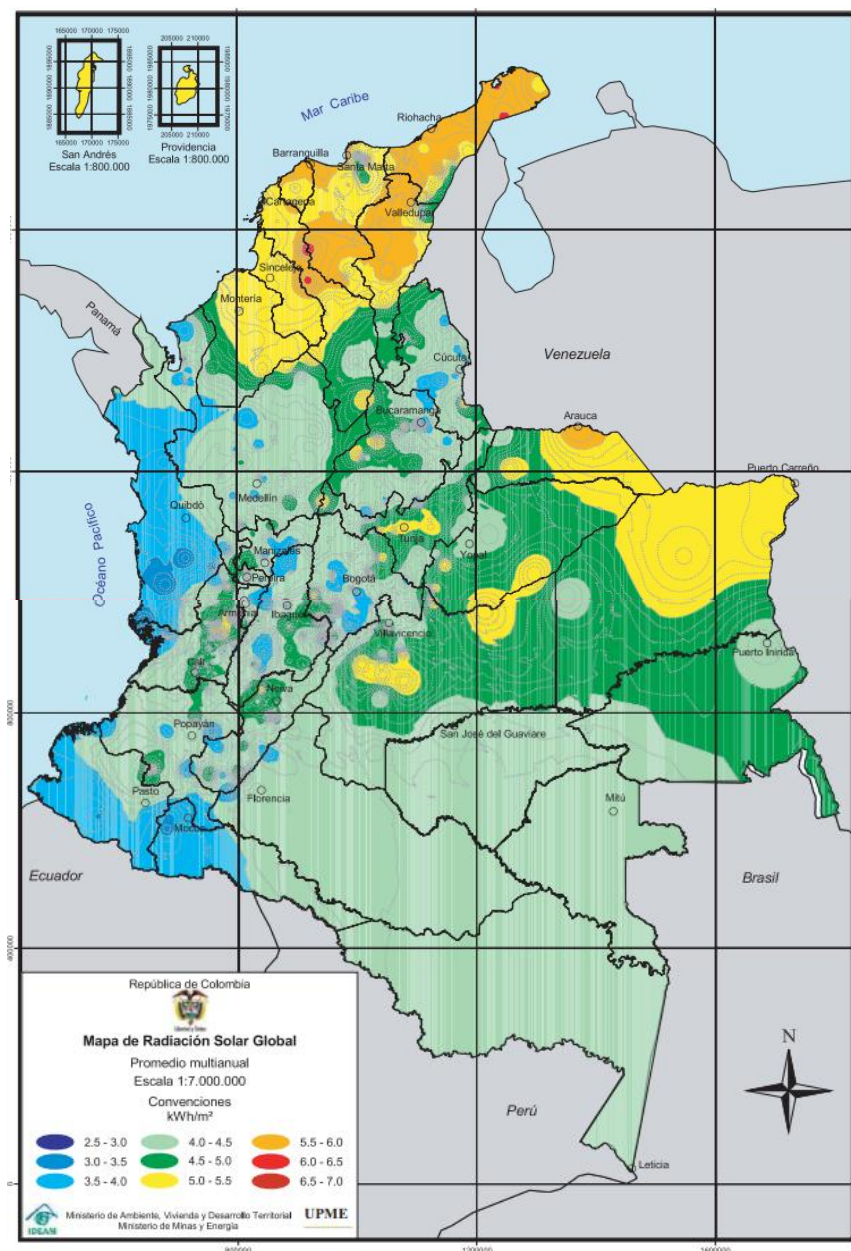
Colombia cuenta con un promedio de 4,5 kWh/m² /d, por encima del promedio mundial de 3,9 kWh/m² /d, y con un mayor potencial que países con gran capacidad instalada como Alemania que apenas cuenta con un promedio de radiación de 3.0 kWh/m² /d (UPME, IDEAM 2005)

Tabla 6 Radiación Global promedio diaria anual Puerto Salgar

Radiación Global Promedio Diario Anual Multianual			
Nivel De Radiación	Lugar		(kWh/m ²)
Máximo	Guajira	Centro y Norte	Mayor a 5.5
Alto	Islas de San Andres, Providencia y Santa Catalina		Entre 4.5 - 5.4
	Vichada		
	Arauca		
	Meta		
	Casanare		
	Zonas de la Región Caribe		
	Zona comprendida entre el Norte del Cauca, de Norte a Sur del Valle del Cauca hasta el eje cafetero		
	Boyacá	Centro y Norte	
	Cundinamarca	Occidente	
	Tolima	Centro y Oriente	
	Huila	Norte	
	Antioquia	Norte, Sur y Oriente	
	Santander	Suroriente	
	N. Santander	Norte	
	Nariño	Norte	
Mínimos	Chocó	Occidente	Menor a 3.5
	Putumayo	Occidente	
	Cauca	Oriente	
	Nariño	Oriente, Sur, Noroccidente	
	Caquetá	Pequeñas Zonas	
	Hula		
	Cundinamarca		
	Quindío		
	Boyacá		
Santander			

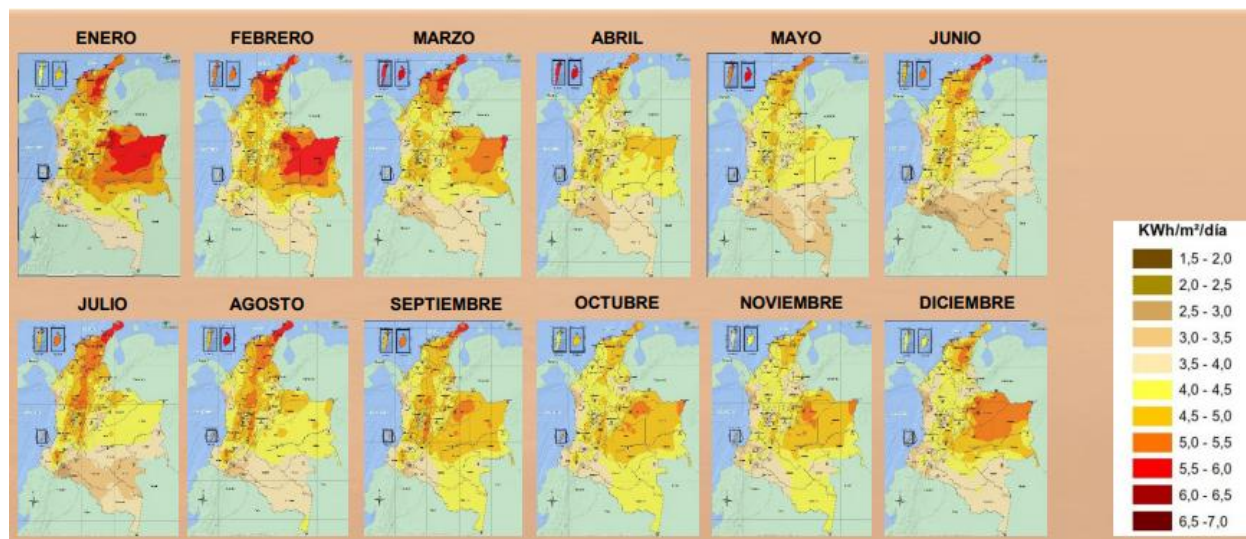
Nota. Registro de Valores Máximos, Altos y Mínimos de Radiación Solar Global en Colombia I. de H. M. y E. A. IDEAM and U. de P. M. E. UPME, "Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia," 2017

Ilustración 7 Mapa de radiación solar en Colombia



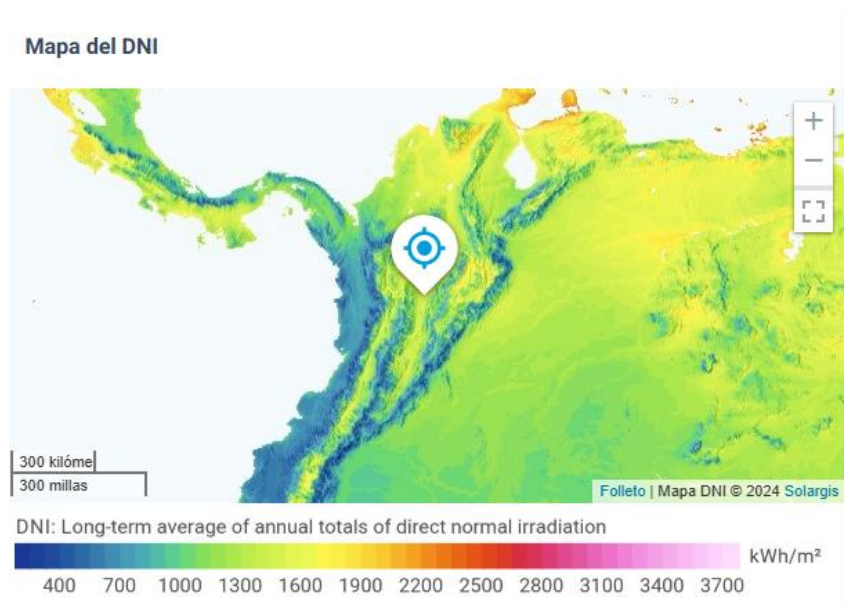
Nota. IDEAM. (2023). Mapas de radiación solar en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

Ilustración 8 Comportamiento de la Irradiación en Colombia



Nota. Mosaico de irradiación global en Colombia - Feria ExpoSolar. (2019).

Ilustración 9 Mapa de DNI Atlas solar mundial



Nota. Mapa de DNI Atlas solar mundial. <https://globalsolaratlas.info/map>

Tabla 7 Datos DNI Puerto Salgar Cundinamarca

Datos de mapa			
Potencia fotovoltaica específica	PVOUT_specific	1603.7	kWh/kWp
Irradiación normal directa	DNI	1504.2	kWh/m ²
Irradiación horizontal global	GHI	2049.2	kWh/m ²
Irradiación horizontal difusa	DIF	917.2	kWh/m ²
Irradiación inclinada global en un ángulo óptimo	GTI_opta	2061.3	kWh/m ²
Temperatura del aire	TEMP	27.5	°C
inclinada global en un ángulo óptimo	OPTA	12	°
Elevación del terreno	ELE	N/A	

Nota. Tabla de datos puerto salgar cundinamarca - Atlas solar mundial

Con respecto a la tabla anterior podemos concluir que la potencia fotovoltaica específica (PVOUT_specific) de 1603.7 kWh/kWp indica una alta generación de energía por cada kilovatio instalado, lo que refleja la viabilidad económica del uso de paneles solares en esta región. La irradiación global horizontal (GHI) de 2049,2 kWh/m² y la irradiación inclinada global en un ángulo óptimo (GTI_opta) de 2061,3 kWh/m² confirman que la instalación de paneles con un ángulo de inclinación de 12° maximizaría la captación de energía solar. Además, la irradiación difusa (DIF) de 917,2 kWh/m² sugiere que incluso en condiciones de nubosidad moderada, hay un aporte significativo de energía.

El DNI (1504,2 kWh/m²) resalta el potencial para sistemas que aprovechen la radiación directa, como plantas de concentración solar. Finalmente, la temperatura promedio de 27.5 °C es adecuada, aunque se debe considerar la disminución en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos debido al calor, lo que refuerza la importancia de usar tecnología eficiente. Estos datos confirman que la región es propicia para la generación de energía fotovoltaica sostenible y rentable.

Ilustración 10 Irradiación normal directa

Perfiles horarios promedio
Irradiación normal directa [Wh/m²]

	Ene	Feb	Mar	Abr	Maye	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7	37	20	18	45	83	101	106	81	75	68	73	57
7 - 8	173	116	82	128	174	223	254	221	192	160	163	181
8 - 9	276	204	164	216	270	336	371	345	302	250	247	280
9 - 10	374	300	256	313	377	432	482	451	417	354	344	384
10 - 11	460	401	362	410	463	509	571	543	517	460	458	478
11 - 12	514	466	434	435	544	596	629	569	579	521	540	538
12 - 13	553	503	470	485	544	566	620	585	592	563	573	579
13 - 14	539	493	459	486	513	499	550	547	557	548	557	567
14 - 15	496	456	404	423	446	446	466	460	470	484	514	531
15 - 16	433	394	312	321	349	351	371	362	362	376	409	446
16 - 17	320	279	195	211	223	235	262	247	226	232	256	306
17 - 18	110	108	67	74	85	108	132	110	61	44	47	70
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Suma	4.286	3.741	3.221	3.546	4.070	4.403	4.815	4.522	4.349	4.061	4.179	4.418

Notas. Perfiles horarios promedio. Mapa de DNI Atlas solar mundial.

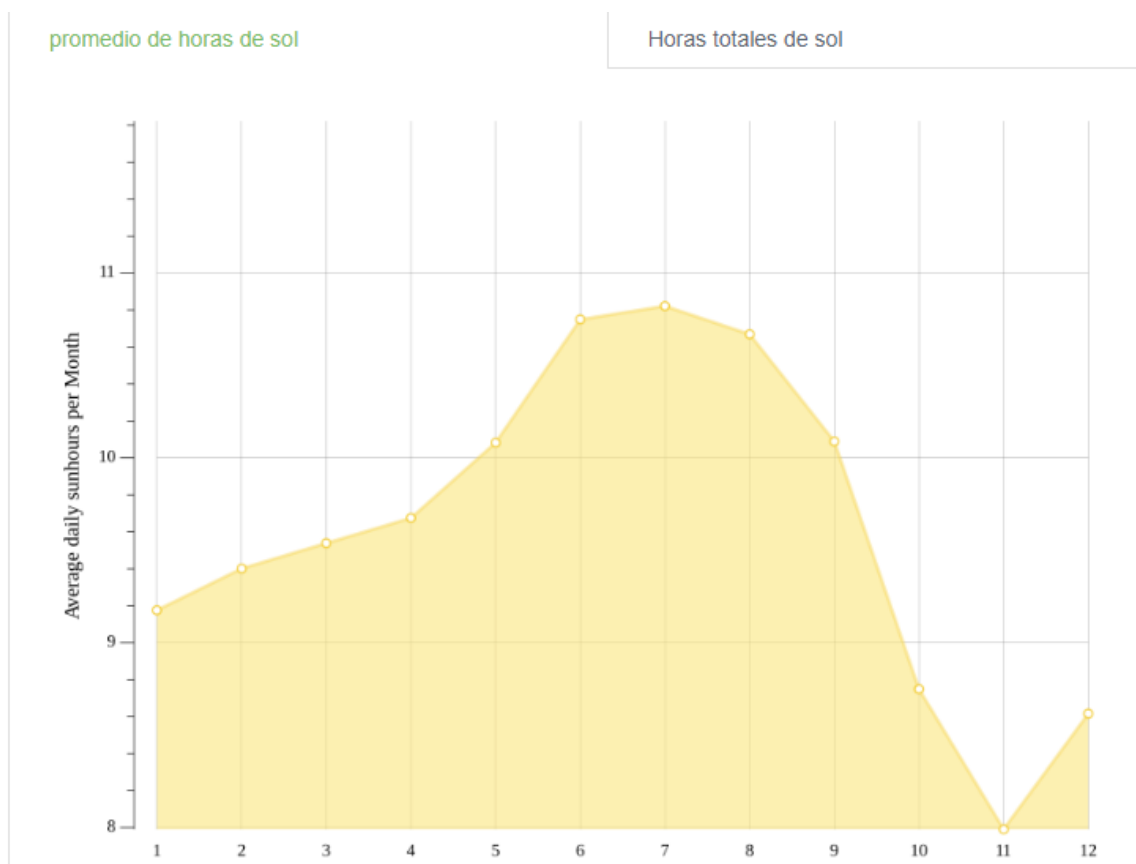
<https://globalsolaratlas.info/map>

Tabla 8 Comportamiento temperatura Puerto Salgar

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26.4	27.4	27.1	26.6	26.7	27.3	27.8	28.3	27.9	26.3	25.3	25.8
Temperatura mín. (°C)	22.1	22.8	22.6	22.3	22.6	22.8	22.7	23.1	23.1	22.3	21.8	21.9
Temperatura máx. (°C)	32	33.2	32.8	31.8	31.7	32.8	33.8	34.6	33.8	31.5	30.1	30.8
Precipitación (mm)	73	87	165	166	128	40	34	49	113	223	232	125
Humedad(%)	67%	62%	66%	70%	69%	59%	53%	51%	58%	73%	79%	74%
Días lluviosos (días)	10	10	14	14	12	6	5	6	10	16	17	13
Horas de sol (horas)	9.2	9.4	9.5	9.7	10.1	10.7	10.8	10.7	10.1	8.7	8.0	8.6

Nota. Tabla climatica puerto salgar - Climate-Data.org. (n.d.). Clima: Puerto Salgar.

Ilustración 11 Comportamiento horas de sol en Puerto Salgar



Notas. Horas de sol puerto salgar – Climate-Data.org. (n.d.). Clima: Puerto Salgar.

Puerto Salgar registra el mayor número de horas de sol diarias durante julio. La duración media de la luz solar por día en este mes es de aproximadamente 10.82, con un recuento total acumulado que alcanza hasta 335.45.

Por término medio, Puerto Salgar registra las horas de sol diarias más bajas en enero. Durante este periodo, hay una media de 7.99 de horas de sol al día y una acumulación total de 239.73 de horas.

A lo largo del año, se registra un total de 3515.47 horas de luz en la localidad de Puerto Salgar. La media mensual de luz solar es de aproximadamente 292.96 horas de acuerdo con *Climate-Data.org*. (n.d.). *Clima: Puerto Salgar*.

Selección de tipo de panel

El panel solar seleccionado para la planta de gas de Puerto Salgar es el modelo Jinko JKM545M-72HL4-V, una opción que destaca por su excelente relación entre eficiencia, rendimiento y durabilidad. Este panel ofrece una potencia de salida máxima de 545 Wp con una eficiencia de hasta el 56%, lo que lo hace ideal para instalaciones de alto consumo energético como una planta de gas. Su diseño N-Type Mono-facial y la implementación de tecnología avanzada como Hot 2.0 aseguran una menor degradación anual de tan solo 0.40%, garantizando un desempeño superior durante más de 30 años. Además, este modelo está certificado para resistir condiciones climáticas extremas, como cargas de viento de 2400 Pa y nieve de 5400 Pa, lo que lo hace altamente confiable para las condiciones de Puerto Salgar.

Comparándolo con otros paneles solares de alta gama, como el Trina Solar Vertex TSM-DE21 545W y el Canadian Solar HiKu7 CS7N-540MS, el Jinko

JKM545M-72HL4-V sobresale por varios factores clave. El panel de Trina Solar, aunque similar en potencia, tiene una degradación anual de 0.55%, lo que resulta en una menor producción acumulada de energía a largo plazo. Por otro lado, el modelo de Canadian Solar, aunque competitivo en precio, presenta una eficiencia ligeramente menor (20.6%) y una durabilidad certificada inferior en entornos con alta salinidad o amoníaco, condiciones relevantes para la planta en cuestión.

En términos de fiabilidad, los paneles Jinko tienen certificaciones robustas como IEC61215 e IEC61730, y cumplen con estándares internacionales como ISO9001 e ISO45001, lo que respalda su calidad y seguridad operativa. Estas características, sumadas a su tecnología avanzada y garantía extendida de 30 años, convierten al modelo JKM545M-72HL4-V en la mejor opción para garantizar un suministro eficiente y sostenible de energía solar en la planta de gas de Puerto Salgar.

Tabla 9 Datos Paneles por fabricante y referencia

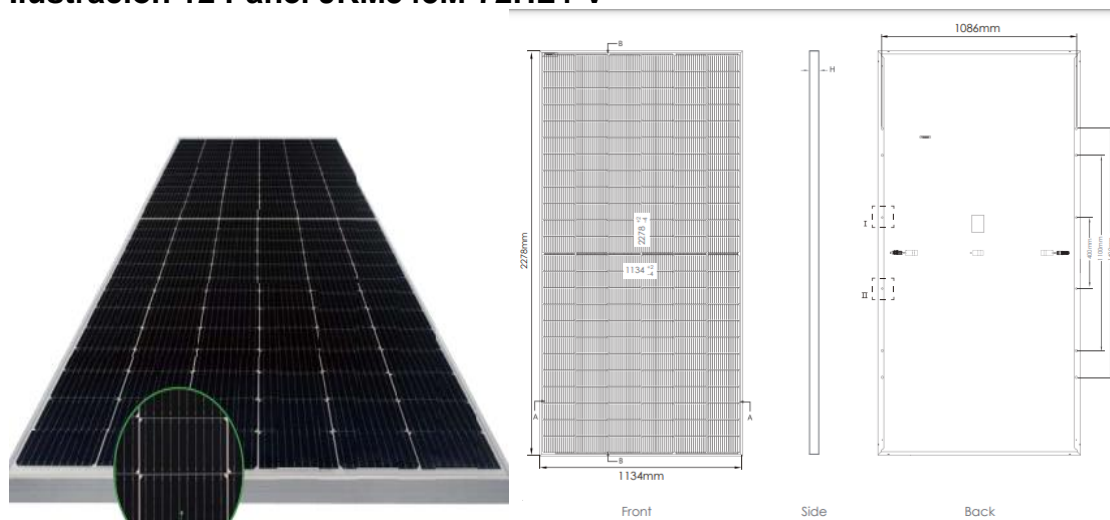
Nombre	Tiger Pro 545M-72HL4 (V) N
Modulo FV	72HL4-(V) mono facial module
Fabricante	Jinko solar
Inclinación	12°
Orientación	180
Potencia máxima (Pmax):	545 W.
Eficiencia del módulo	56%
Voltaje en potencia máxima (Vmp):	41.63 V
Corriente en potencia máxima (Imp):	13.09 A
Voltaje de circuito abierto (Voc):	49.65 V.

Corriente de cortocircuito (Isc):	13.88 A.
Tolerancia de potencia	0 a +3%.
Coefficiente de temperatura (Pmax):	-0.35%/°C.

Notas. Jinko Solar Co., Ltd. (2020). <https://www.sllsolar.com/Jinko->

[Solar?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkULGHNVB5B0uej_yYAPc4cL9WPj75YCaZyU6MPJmmeGgezOKJOGvy0aAtGPEALw_wcB](https://www.sllsolar.com/Jinko-Solar?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkULGHNVB5B0uej_yYAPc4cL9WPj75YCaZyU6MPJmmeGgezOKJOGvy0aAtGPEALw_wcB)

Ilustración 12 Panel JKM545M-72HL4-V



Nota. Paneles JKM545M-72HL4-V - Jinko Solar Co., Ltd. (2020).

<https://www.sllsolar.com/Jinko->

[Solar?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkULGHNVB5B0uej_yYAPc4cL9WPj75YCaZyU6MPJmmeGgezOKJOGvy0aAtGPEALw_wcB](https://www.sllsolar.com/Jinko-Solar?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkULGHNVB5B0uej_yYAPc4cL9WPj75YCaZyU6MPJmmeGgezOKJOGvy0aAtGPEALw_wcB)

Numero de paneles

A continuación, se presentará los cálculos necesarios para determinar el número de paneles necesario:

Producción anual de un panel solar

La energía anual generada por un panel solar se calcula como:

Ecuación 1 Producción anual de energía

$$E_{\text{anual}} = P_{\text{panel}} * H_{\text{sol}} * \eta$$

Donde:

- E_{anual} : Energía anual generada por un panel (kWh/año).
- P_{panel} : Potencia máxima del panel en condiciones estándar (kWp, kilovatios pico). Para el Jinko: **0.545 kWp**.
- H_{sol} : Horas solares pico anuales. Se asume **4.5 horas/día** en promedio en Puerto Salgar (una región de radiación promedio de 4.5 kWh/m²/día). Esto equivale a **4.5 × 365 = 1642.5 horas/año**.
- η : Factor de eficiencia del sistema, que considera pérdidas por temperatura, inversores, cables, polvo, etc. Generalmente se toma un **56% o 0.56**.

Solar Energy International (SEI). (2021).

Cantidad de paneles necesarios

Ecuación 2 Cantidad de paneles

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E_{\text{Requerida}}}{E_{\text{anual}}}$$

- N_{paneles} : Cantidad de paneles necesarios.
- $E_{\text{requerida}}$: Energía requerida (50% del consumo anual de la planta).

Calculos iniciales:

- Energía requerida

$$E_{Requerida} = 150.000 * 0.5 = 75.000 \text{ kWh/año}$$

- Producción anual de un panel:

$$E_{anual} = 0.545 * 1642.5 * 0.56 = 500 \text{ kWh/año}$$

- Cantidad de paneles necesarios:

$$N_{paneles} = 75.000 / 500 = \mathbf{150 \text{ Paneles solares}}$$

Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Ruppert Filho, E. (2009).

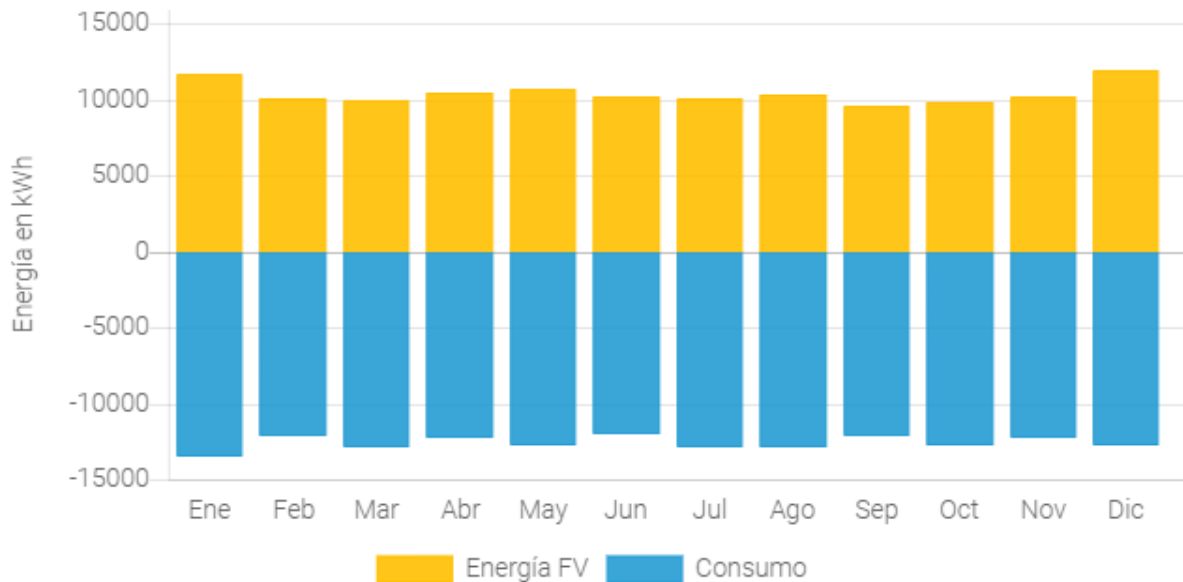
Para cubrir el 50% del consumo anual de la planta, es necesario instalar **150 paneles solares Jinko JKM545M-72HL4-V** en Puerto Salgar.

Simulación de sistema fotovoltaico:

Se realizó una simulación utilizando la herramienta PV*SOL para evaluar el diseño y desempeño de un sistema fotovoltaico en la ubicación de Puerto Salgar, Colombia. La simulación consideró los datos climáticos específicos de la región, garantizando un análisis detallado y preciso.

En este proyecto, se seleccionaron paneles solares de la marca Jinko JKM545M-72HL4-V, conocidos por su alta eficiencia y rendimiento confiable. El sistema está compuesto por un total de 150 módulos fotovoltaicos, cuyo número fue determinado para cumplir con los requerimientos energéticos del proyecto y maximizar la producción anual de energía.

Ilustración 13 Simulación de reparto



Nota. Grafica Consumo anual de energía PV*SOL

Tabla 10 Resultado de simulación

Energía-FV por año	126,576 kWh
Rendimiento anual específico	1548.32 kWh/kWp
Coeficiente de rendimiento de la instalación	88.13 %

Nota. Tabla Consumo anual de energía PV*SOL

Es decir que basado en los datos de la tabla anterior Los datos muestran un análisis del desempeño de un sistema fotovoltaico en términos de generación y eficiencia. La producción anual de energía es de 126.576 kWh, lo que indica una generación significativa de electricidad limpia, suficiente para cubrir las necesidades de una instalación mediana o varios hogares. El rendimiento anual específico de 1548.32

kWh/kWp reafirma un aprovechamiento eficiente de cada kilovatio pico instalado, lo que está en línea con ubicaciones de alta irradiación solar.

El coeficiente de rendimiento del sistema, 88,13% , refleja una buena eficiencia operativa, considerando factores como pérdidas por temperatura, conversión y otras limitaciones técnicas. Este nivel de desempeño indica que el sistema está bien diseñado y es capaz de aprovechar al máximo el recurso solar disponible, ofreciendo una solución energética sostenible y rentable a largo plazo.

Ilustración 14 Energía generado & consumo

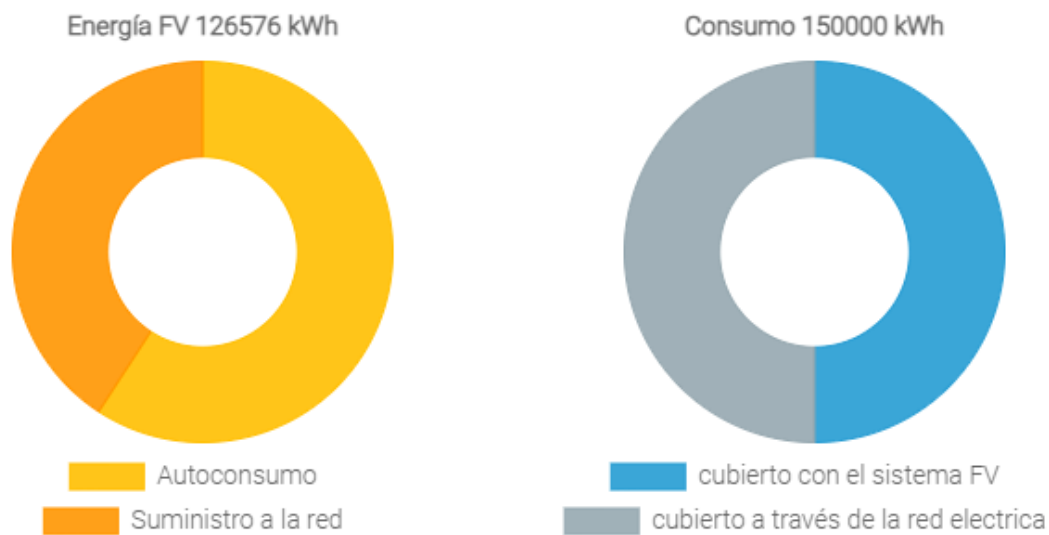


Tabla 11 Resultados Energía generada & consumida

Energía-FV por año	126576 kWh	Consumo	150000 kWh
consumo propio	74961 kWh	cubierto con el sistema FV	74961 kWh
suministro a la red	51615 kWh	cubierto a través de la red electrica	78537 kWh
Autoconsumo	59.2 %	Nivel de autonomía	50 %
Emisiones de CO₂ evitadas	67718 kg/año		

El sistema fotovoltaico ha logrado un balance energético sostenible, alcanzando un nivel de autonomía del **50 %**, con un aporte significativo al consumo interno y una reducción importante en las emisiones de gases de efecto invernadero. El sistema evitó la emisión de **67718 kg de CO₂** al año, lo que equivale a plantar aproximadamente 3,223 árboles en términos de captura de carbono anual.

Adicionalmente el **88.13%** refleja que las pérdidas por factores como temperatura, sombreado o componentes eléctricos son mínimas, lo que indica un diseño bien optimizado.

Estimación de costos iniciales

Los costos generados corresponden a la instalación de un sistema fotovoltaico compuesto por 150 paneles solares, diseñado para una planta con un área aproximada de 1,300 m². La instalación incluye todos los equipos y servicios necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, con un análisis detallado de los costos asociados a la nómina del personal involucrado y los costos operativos a largo plazo.

Los costos estimados para la instalación y operación de la planta fotovoltaica en las instalaciones de GASCO en puerto salgar, Cundinamarca, han sido proporcionados por SMART ENERGY SOLUTIONS SAS, una empresa especializada en el diseño, desarrollo y ejecución de proyectos de energías renovables, y quien actúa como consultora principal para GASCO en los proyectos que desarrolla la compañía.

Ilustración 15 Inversión Inicial

Inversión inicial		
Inversión en activos fijos (CAPE) \$	145.064.865	
Costos de instalación y montaje \$	246.079.712	
Valor de salvamento	5% al final de la vida útil	
Vida útil del activo	20 años	
Sistema de depreciación acelera		
1 año		25%
2 año		25%
3 año		25%
4 año		25%
5 año		0%
6 año		0%
Vida útil del proyecto	20 años	

Fuente: elaboración propia

Tabla 12 Costos Iniciales

Item	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
Activos Fijos				
Paneles solares	Unidad	150	\$ 650.000,00	\$ 97.500.000
Inversores	Unidad	3	\$ 12.000.000,00	\$ 36.000.000
Estructuras metálicas	Unidad	150	\$ 800.000,00	\$ 12.000.000
Subtotal Activos Fijos				\$ 175.064.865
Instalación y montaje				
Talento Humano				
Ingenieros	Hora	240	\$ 100.000,00	\$ 24.000.000
Técnicos	Hora	480	\$ 50.000,00	\$ 24.000.000
Supervisión del proyecto	Mes	3	\$ 8.000.000,00	\$ 24.000.000
Subtotal Talento Humano				\$ 72.000.000
Maquinaria y Herramienta				
Maquinaria y Herramienta				
Grúa para montaje	Día	10	\$ 1.500.000,00	\$ 15.000.000
Herramientas manuales	Lote	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000
Transporte de materiales	Viaje	5	\$ 5.000.000,00	\$ 25.000.000
Subtotal Maquinaria				\$ 45.000.000
Materiales de Instalación				
Cableado y conectores	Metro	500	\$ 50.000,00	\$ 25.000.000
Sistemas de anclaje	Unidad	150	\$ 20.000,00	\$ 3.000.000
Protección eléctrica (fusibles, breakers)	Lote	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000

Subtotal Materiales				\$ 33.000.000
Costos Indirectos				
Permisos y trámites	Lote	1	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000
Contingencias	Lote	1	\$ 64.079.712,00	\$ 64.079.712
Subtotal Indirectos				\$ 74.079.712

Fuente: Autoría propia

Inversión Inicial:

El proyecto requiere una inversión significativa en activos fijos y costos asociados a la instalación, estimada en aproximadamente **\$391,144,577 COP**. Este monto incluye costos de instalación, montaje y otros asociados.

Tabla 13 Financiamiento

		Financiación del proyecto	
Financiamiento		\$	145.064.865
Condiciones : Plazo		12 meses	
modalidad	Mensual		
tasa de interés		22% anual	
cuota FIJA ANUAL			\$ 34.524.874,78

Fuente elaboración propia

Tabla 14 Flujo de Caja

Proyección Estado de Resultados															
Años	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ingresos (Ventas)	\$ 45.000.000	\$ 46.800.000	\$ 48.672.000	\$ 50.618.880	\$ 52.643.635	\$ 54.749.381	\$ 56.939.356	\$ 59.216.930	\$ 61.585.607	\$ 64.049.032	\$ 66.610.993	\$ 69.275.433	\$ 72.046.450	\$ 74.928.308	\$ 77.925.440
- Costo de ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Bruta en ventas	\$ 45.000.000	\$ 46.800.000	\$ 48.672.000	\$ 50.618.880	\$ 52.643.635	\$ 54.749.381	\$ 56.939.356	\$ 59.216.930	\$ 61.585.607	\$ 64.049.032	\$ 66.610.993	\$ 69.275.433	\$ 72.046.450	\$ 74.928.308	\$ 77.925.440
- Gastos admitivos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Gastos en ventas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Gasto Depreciación	\$ 92.896.837	\$ 92.896.837	\$ 92.896.837	\$ 92.896.837	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad operacional	\$ 47.896.837	\$ 46.096.837	\$ 44.224.837	\$ 42.277.957	\$ 52.643.635	\$ 54.749.381	\$ 56.939.356	\$ 59.216.930	\$ 61.585.607	\$ 64.049.032	\$ 66.610.993	\$ 69.275.433	\$ 72.046.450	\$ 74.928.308	\$ 77.925.440
- Gasto financieros	\$ 269.233.632	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
+ Otros ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad antes de impuestos	\$ 317.130.470	\$ 46.096.837	\$ 44.224.837	\$ 42.277.957	\$ 52.643.635	\$ 54.749.381	\$ 56.939.356	\$ 59.216.930	\$ 61.585.607	\$ 64.049.032	\$ 66.610.993	\$ 69.275.433	\$ 72.046.450	\$ 74.928.308	\$ 77.925.440
- Impuestos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad neta	\$ 317.130.470	\$ 46.096.837	\$ 44.224.837	\$ 42.277.957	\$ 52.643.635	\$ 54.749.381	\$ 56.939.356	\$ 59.216.930	\$ 61.585.607	\$ 64.049.032	\$ 66.610.993	\$ 69.275.433	\$ 72.046.450	\$ 74.928.308	\$ 77.925.440

Evaluación Financiera

Tasa interna de retorno (TIR). “Es aquella por la cual se expresa el beneficio neto que proporciona una determinada inversión en función de un

porcentaje anual, que permite igualar el valor actual de los beneficios y costos y, en consecuencia, el resultado del VAN es igual a cero. Si la TIR es igual o sobrepasa el costo estimado de oportunidad o de sustitución de capital, la inversión permitirá, por lo menos, recuperar todos los gastos (MORA, Armando. Matemáticas Financieras).

Ecuación 3 TIR

$$VAN = I - \sum_{T=0}^n \frac{FCN_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

FCNn: Flujo de caja neto en el periodo

n: Numero del periodo

: Inversión inicial

VPN: Valor presente neto

Valor presente neto (VPN). El VPN de una inversión es igual a la suma algebraica de los valores actualizados de los flujos netos de caja asociados a esa inversión. Si el VPN de una inversión es positivo, la inversión debe aceptarse y rechazarse de ser negativo.

Ecuación 4 VPN

$$VAN = I - \sum \frac{FCN}{(1 + i)^n}$$

Donde:

FCN: Flujo de caja neto i

: Tasa de interés

n: Numero de periodo

Retorno de Inversión ROI: es una medida que evalúa la rentabilidad de una inversión, calculando cuánto dinero se obtiene en relación con el dinero que se ha invertido.

Ecuación 5 ROI

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}}$$

Una vez aplicadas las formulas correspondientes para la TIR, VPN Y ROI los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 15 Indicadores Financieros

Cálculo de indicadores para evaluar el proyecto	
Valor presente neto	\$ 274.910.155,16
TIR	14%
ROI	10,44

Fuente autoría propia

El proyecto será ejecutado con UN VPN de 274,910,155, un TIR de 14% y un ROI de 10 años, con estos indicadores podemos deducir que el proyecto es viable, ya que la VPN se encuentra sobre la inversión inicial y genera beneficio significativo a la planta, junto con la TIR ofrece un retorno anual atractivo para los proyectos a largo plazo, teniendo en cuenta la tasa minima de rentabilidad esperada y por último el ROI indica se tiene un retorno de inversión dentro de 10 años dejando 10 años de beneficios netos.

Beneficios económicos del proyecto

La implementación de un sistema solar fotovoltaico en la planta de gas de Puerto Salgar no solo representa una oportunidad para optimizar costos operativos y reducir la huella de carbono, sino que también puede beneficiarse de una serie de incentivos fiscales, subsidios gubernamentales y normativas diseñadas para fomentar el uso de energías renovables en Colombia.

Tabla 16 Beneficios de instalación de paneles

Beneficio	Descripción ampliada	Base legal y referencia
Exención del IVA (0%)	Los equipos y componentes utilizados en la generación de energía renovable están exentos del impuesto al valor agregado (IVA). Esto incluye paneles solares, inversores, estructuras de montaje y demás componentes necesarios para el proyecto. Este incentivo busca reducir los costos iniciales de implementación.	Ley 1715 de 2014, Art. 12; Decreto 2143 de 2015.
Exención de aranceles	Los proyectos de generación solar pueden importar equipos y tecnología especializada sin pagar aranceles, lo que facilita la adquisición de equipos de alta calidad provenientes del extranjero	Ley 1715 de 2014, Art. 12; Decreto 829 de 2020.

	y mejora la competitividad de los proyectos.	
Deducción del impuesto de renta	Se permite deducir hasta el 50% de las inversiones realizadas en proyectos de energías renovables, aplicables durante un periodo de 15 años. Este incentivo reduce la carga tributaria de las empresas, fomentando la inversión en sostenibilidad.	Ley 1715 de 2014, Art. 11; Decreto 829 de 2020; DIAN Concepto 0712 de 2017.
Certificados de Energía Renovable (CER)	Proyectos que generan energía renovable pueden acceder a los Certificados de Energía Renovable, que representan un mecanismo para la compensación de emisiones de carbono. Esto permite a las empresas obtener ingresos adicionales al vender certificados en mercados regulados o voluntarios.	Ley 1715 de 2014; Resolución CREG 030 de 2018; Resolución 40791 de 2018 (Ministerio de Minas y Energía).
Fondo de Energías Renovables (FENOGE)	Este fondo tiene como objetivo financiar proyectos de eficiencia energética y generación con fuentes renovables. Ofrece líneas de crédito,	Ley 1715 de 2014, Art. 20; Decreto 1472 de 2014.

	<p>subsidios o asistencia técnica para facilitar la implementación de proyectos en sectores estratégicos como la industria y las empresas de servicios públicos.</p>	
<p>Beneficios tributarios regionales</p>	<p>Algunos departamentos y municipios en Colombia han implementado beneficios locales, como exenciones de impuestos prediales o de industria y comercio, para proyectos sostenibles. Estos incentivos son adicionales a los nacionales y dependen de la normativa local.</p>	<p>Varía según región; ejemplos en departamentos como Antioquia o Cundinamarca.</p>
<p>nanciación a través de Bancóldex</p>	<p>Bancóldex, el banco de desarrollo empresarial colombiano, ofrece líneas de crédito para proyectos de sostenibilidad y energía renovable. Estas líneas están diseñadas con tasas de interés competitivas y plazos extendidos para facilitar la inversión en tecnologías limpias.</p>	<p>Ley 1715 de 2014, Art. 21; Programas de Bancóldex.</p>

Normas técnicas y de conexión	La Resolución CREG 030 de 2018 regula la interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica, estableciendo requisitos técnicos, económicos y operativos. El Código de Redes de la UPME complementa estas disposiciones, asegurando la integración segura y eficiente de los proyectos solares.	Resolución CREG 030 de 2018; Código de Redes UPME (versión actualizada).
--------------------------------------	--	--

Nota. Datos de elaboración propia

Venta de energía a la red

La Resolución CREG 174 de 2021, un sistema de generación fotovoltaico que produzca excedentes puede inyectar dicha energía a la red eléctrica. Estos excedentes se contabilizan y son remunerados de acuerdo con el precio de la energía en el mercado mayorista (*precio de bolsa*), con ajustes según las pérdidas técnicas del sistema.

- **Precio de la Energía:** La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) establece el precio de la energía para la venta a la red. El precio puede variar dependiendo de la región y del tipo de energía generada.

- **Tarifa de la Energía:** La CREG también establece la tarifa de la energía para la venta a la red. La tarifa puede variar dependiendo de la región y del tipo de energía generada.

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2021)

Eficiencia energética

El sistema fotovoltaico propuesto es una inversión estratégica que asegura el cumplimiento de metas ambientales, reduce costos operativos y genera ingresos adicionales, consolidándose como una solución integral y sostenible para la planta de gas de Puerto Salgar.

La eficiencia energética de un sistema se calcula como el porcentaje de la demanda total cubierta por la energía generada:

Ecuación 6 Eficiencia energética

$$\text{Eficiencia Energetica} = \frac{\text{Energia generada por el sistema FV}}{\text{Consumo total anual}} * 100$$

Calculo:

$$\text{Eficiencia Energetica} = \frac{75281}{150000} * 100 = 50.19\%$$

Tabla 17 Comparativo Antes Vs Después

Indicador	Antes (Sin sistema solar)	Después (Con sistema solar)
Demanda anual	150,000 kWh	150,000 kWh
Energía cubierta por la red	100% (150,000 kWh)	50% (75,000 kWh)
Energía generada por paneles	0 kWh	75,000 kWh
Energía inyectada a la red	N/A	Variable

Costo anual de energía	90,000,000 COP	45,000,000 COP
Ahorro anual en costos	0 COP	45,000,000 COP
Ahorro proyectado a 25 años	0 COP	1,125,000,000 COP
Emisiones de CO₂	68,229 kg/año	0 kg/año (reducción completa)
Reducción total de CO₂ (25 años)	0 kg	1,705,725 kg

Nota. Elaboración propia

Cobertura del consumo energético:

El sistema fotovoltaico cubrirá el 50% de la demanda energética de la planta, equivalente a **75,000 kWh/año**, reduciendo la dependencia de la red eléctrica.

Inyección de excedentes:

Los excedentes de generación (10,717.5 kWh/año) serán inyectados a la red, generando ingresos adicionales estimados en **2,679,375 COP/año**, según las tarifas establecidas en la Resolución CREG 174 de 2021.

Ahorro económico:

- Antes del sistema: La planta paga **90,000,000 COP** al año por el consumo total de energía.
- Después del sistema: La planta pagará solo por el 50% del consumo (**45,000,000 COP**), generando un ahorro anual directo de **45,000,000 COP** y acumulado en 25 años de **1,125,000,000 COP**.

Impacto ambiental:

La planta evita la emisión de **68,229 kg de CO₂ anuales**, lo que se traduce en una reducción total de **1,705,725 kg** a lo largo de 25 años. Esto es equivalente a plantar aproximadamente **28,429 árboles**.

Segundo nivel

Selección

Para el análisis y evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema de paneles solares se emplearán los siguientes instrumentos de recolección de datos, diseñados para medir las variables seleccionadas:

1. Eficiencia Energética

- **Instrumento:** Medición mediante piranómetro y simulaciones en software PV*Sol.
- **Descripción:** Un piranómetro medirá la irradiación solar en el sitio de instalación para validar la proyección de energía solar. Las simulaciones en PV*Sol calcularán el rendimiento esperado del sistema fotovoltaico bajo diferentes condiciones climáticas, expresando la eficiencia en kWh/m². Esta metodología se fundamenta en estudios previos, como los de García y González (2021) y Echeverri y Zapata (2020), quienes evaluaron sistemas fotovoltaicos en diversas ubicaciones de Colombia.

2. Reducción de Costos

- **Instrumento:** Análisis comparativo de costos de energía antes y después de la instalación de los paneles.

- Descripción: Se realizará un análisis financiero utilizando indicadores como el Costo Nivelado de Energía (LCOE), el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este análisis comparará los costos energéticos actuales con los costos proyectados tras la implementación. La metodología de Torres y Hernández (2022) se empleará como referencia, dado que incluye simulaciones financieras que estiman los ahorros por autogeneración de energía solar.

3. Retorno de Inversión (ROI)

- Instrumento: Cálculo basado en los datos proyectados de ahorro y producción de energía.
- Descripción: El ROI se calculará usando proyecciones de producción de energía y ahorro de costos a lo largo de la vida útil del sistema, con el apoyo de herramientas como HOMER y SAM (System Advisor Model). Estas herramientas permiten realizar proyecciones a largo plazo, basadas en datos financieros y técnicos, y han sido utilizadas en estudios como el de Jiménez y Martínez (2021) en la evaluación de parques híbridos.

4. Viabilidad Técnica

- **Instrumento:** Modelos de simulación técnica.
- **Descripción:** Para validar la viabilidad técnica del sistema, se considerarán aspectos como la capacidad de inversores, el tamaño adecuado de paneles y la infraestructura necesaria. Se emplearán simulaciones y análisis técnicos detallados, como en el estudio de García y González (2021), quienes evaluaron

la capacidad de adaptación de sistemas fotovoltaicos a diferentes estructuras y entornos.

Cada uno de estos instrumentos ha sido seleccionado por su capacidad para proporcionar datos específicos y relevantes, asegurando una evaluación exhaustiva de la viabilidad del sistema fotovoltaico en términos técnicos, económicos y ambientales.

Tabla 18 Técnicas de análisis de datos

Instrumento	Análisis técnico	Descripción
Simulaciones PV*Sol	Análisis de eficiencia energética	Estimación de la producción energética y ahorro en kWh/m ² y porcentaje de ahorro
Registros financieros	Análisis financiero (VPN, TIR, ROI)	Estimación de costos y beneficios, cálculo de ROI y período de recuperación
Datos históricos	Comparación de costos energéticos	Comparación de costos antes y después de la implementación del sistema solar
Datos de emisiones de CO ₂	Análisis de huella de carbono	Estimación de la reducción de CO ₂ con base en modelos de energía renovable

Análisis de resultados

El análisis de los trabajos revisados y las simulaciones realizadas sobre la implementación del sistema fotovoltaico en la planta Unigas ofrece una visión integral de su viabilidad técnica, económica y ambiental. Los resultados más relevantes se dividen en las siguientes áreas clave:

1. Resultados de las simulaciones:

Las simulaciones realizadas utilizando la herramienta PV*SOL muestran que la

planta podría alcanzar una cobertura del 50% de su demanda energética anual con la instalación de 150 paneles solares. Esto se traduce en una producción anual de 75,000 kWh, lo que permite un ahorro energético significativo y la reducción de la dependencia de la red eléctrica.

- **Consumo energético cubierto:** 59.2% del consumo interno total.
- **Emisiones de CO₂ evitadas:** 67,718 kg/año, equivalentes a plantar 3,223 árboles.
- **Ahorro anual en costos:** 45 millones de pesos colombianos, con una proyección de 1,125 millones en 25 años.

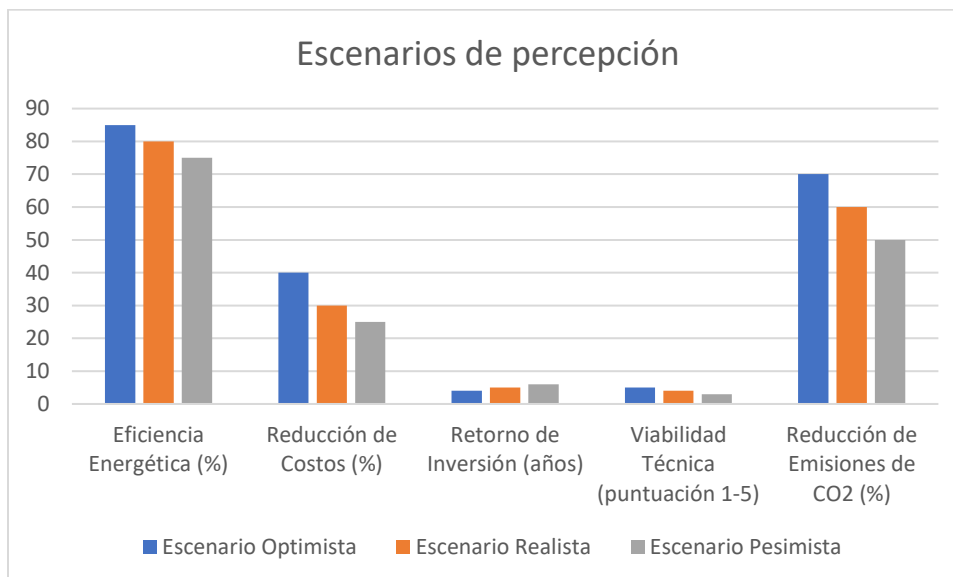
2. Sostenibilidad ambiental:

La capacidad de las instalaciones para reducir las emisiones de CO₂ refuerza el compromiso de Unigas con los objetivos de sostenibilidad ambiental. Las simulaciones confirman que el sistema es eficiente en minimizar el impacto ambiental.

3. Viabilidad técnica y económica:

La simulación validó la adecuación del terreno y la infraestructura para soportar los paneles solares, destacando la eficiencia del modelo Jinko JKM545M-72HL4-V. Los análisis financieros corroboran que el proyecto es rentable, con un período de retorno de inversión estimado en menos de 5 años.

Ilustración 16 Percepción del proyecto



Fuente autoría propia

El análisis de los datos indica que las perspectivas del proyecto varían significativamente según los escenarios considerados. En términos de eficiencia energética, se observa que el escenario optimista alcanza un nivel sobresaliente del 85%, lo que refleja un aprovechamiento casi total de las condiciones de irradiación solar y la tecnología instalada. Sin embargo, en el escenario pesimista, factores como pérdidas operativas reducen este índice al 75%, evidenciando la importancia de una instalación y mantenimiento adecuados para mitigar dichas pérdidas.

1. Eficiencia Energética (%):

- **Escenario optimista:** Máximo rendimiento, alcanzando un 85% de eficiencia, reflejo de condiciones ideales de instalación y operación.
- **Escenario realista:** Buen rendimiento del 80%, basado en condiciones promedio de irradiación y tecnología estándar.

- **Escenario pesimista:** Rendimiento más bajo (75%) debido a pérdidas operativas y limitaciones técnicas.

2. Reducción de Costos (%):

- **Escenario optimista:** Una reducción significativa del 40%, atribuible a altos ahorros operativos y bajo mantenimiento.
- **Escenario realista:** Ahorro del 30%, consistente con proyectos previos similares.
- **Escenario pesimista:** Solo un 25% de ahorro debido a mayores costos operativos.

3. Retorno de Inversión (años):

- **Escenario optimista:** Recuperación rápida en 4 años, impulsada por incentivos fiscales y eficiencia alta.
- **Escenario realista:** ROI estándar de 5 años.
- **Escenario pesimista:** Recuperación más lenta (6 años) por costos inesperados.

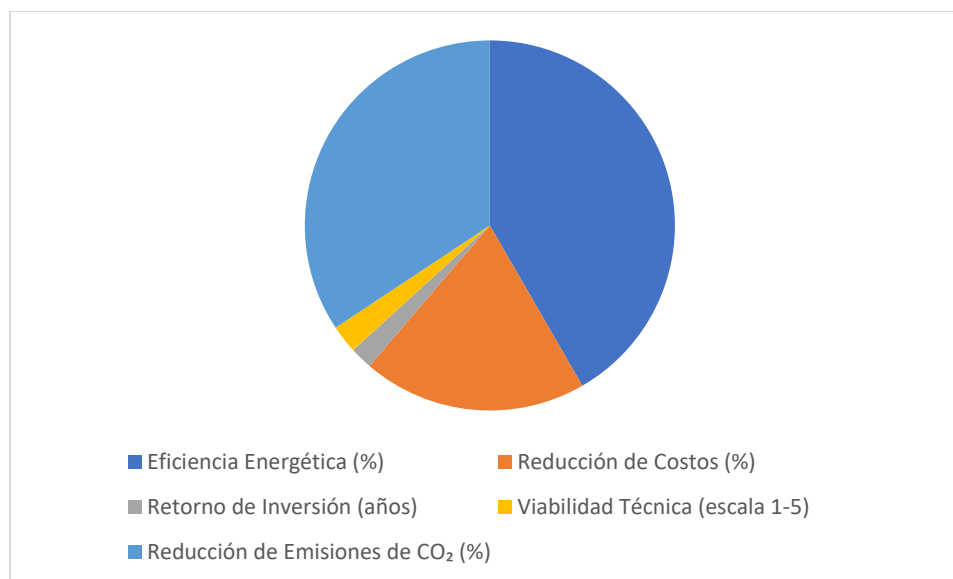
4. Viabilidad Técnica (escala 1-5):

- **Escenario optimista:** Puntaje perfecto (5), indicando condiciones técnicas óptimas.
- **Escenario realista:** Puntaje de 4, mostrando ligeros ajustes técnicos necesarios.
- **Escenario pesimista:** Puntaje de 3, reflejando desafíos técnicos significativos.

5. Reducción de Emisiones de CO₂ (%):

- **Escenario optimista:** Máxima reducción (70%), con energía solar cubriendo casi toda la demanda.
- **Escenario realista:** Buena reducción (60%) con integración parcial.
- **Escenario pesimista:** Solo un 50%, limitado por la intermitencia solar y dependencia residual de fuentes convencionales.

Ilustración 17 Niveles de percepción del proyecto



Autoría propia

En cuanto a la reducción de costos, el ahorro operativo proyectado en el escenario optimista asciende al 40%, lo cual es consistente con otros proyectos similares en la región. El escenario realista presenta un ahorro del 30%, que sigue siendo un resultado favorable y acorde con las expectativas promedio. No obstante, el escenario pesimista refleja un menor impacto económico, con un ahorro del 25%, posiblemente debido a costos adicionales no previstos en la planificación inicial.

El retorno de inversión muestra una variabilidad predecible: el escenario optimista permite una recuperación en solo 4 años, mientras que en el pesimista este período se extiende a 6 años. Esto subraya la importancia de maximizar los incentivos fiscales y las eficiencias operativas para acelerar el ROI.

En términos de viabilidad técnica, los puntajes de 5, 4 y 3 en los diferentes escenarios resaltan la capacidad de adaptación del proyecto a condiciones variables. Sin embargo, el escenario pesimista indica desafíos que podrían requerir inversiones adicionales en infraestructura para garantizar la operatividad del sistema.

Finalmente, la reducción de emisiones de CO₂, que oscila entre el 70% y el 50% dependiendo del escenario, reafirma el impacto positivo del proyecto en la sostenibilidad ambiental, aunque también pone de manifiesto la necesidad de complementar la energía solar con estrategias de almacenamiento o fuentes secundarias en escenarios menos favorables.

Estos resultados confirman el potencial del proyecto para cumplir con sus objetivos estratégicos, siempre que se realicen ajustes según las condiciones específicas de implementación

Discusión de resultados

Los resultados de las simulaciones realizadas reflejan una concordancia significativa con los objetivos planteados en este trabajo, centrados en mejorar la eficiencia energética, reducir los costos operativos y contribuir al desarrollo sostenible mediante la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la planta Unigas, ubicada en Puerto Salgar. Estas simulaciones, apoyadas en herramientas como

PV*Sol, permiten analizar de manera detallada las implicaciones técnicas, económicas y ambientales del proyecto bajo diferentes escenarios.

1. Eficiencia energética y reducción de costos

Los gráficos que presentan los escenarios optimista, realista y pesimista evidencian que, bajo condiciones ideales, el sistema puede alcanzar eficiencias energéticas superiores al 85% y reducciones de costos operativos de hasta un 40%, con un retorno de inversión en tan solo 4 años. Este escenario optimista aprovecha al máximo la irradiación solar de la región y valida el diseño técnico planteado.

En el escenario realista, se proyecta una eficiencia energética del 80% y una reducción de costos cercana al 35%, lo que sigue siendo altamente favorable. Sin embargo, en el escenario menos favorable (pesimista), factores como fluctuaciones en la irradiación solar, mantenimientos deficientes o fallas en la instalación podrían limitar la eficiencia al 75% y las reducciones de costos al 25%. Estos hallazgos subrayan la importancia de prever planes de contingencia y optimizar los procesos de mantenimiento y operación del sistema.

2. Impacto ambiental

La disminución de emisiones de CO₂ proyectada, en un rango de entre 50% y 70%, confirma el impacto positivo del proyecto en términos de sostenibilidad. Estas reducciones equivalen a evitar la emisión de más de 67,000 kg de CO₂ al año, contribuyendo significativamente a los compromisos globales y regionales de transición energética. Este impacto ambiental no solo es un indicador clave de sostenibilidad, sino

que también mejora la percepción pública de la empresa como un actor comprometido con el medio ambiente.

3. Herramientas de simulación y análisis

El uso de herramientas como PV*Sol ha demostrado ser fundamental para validar las proyecciones de eficiencia energética, viabilidad técnica y financiera. La capacidad de estas herramientas para simular diferentes condiciones operativas y climáticas permite identificar puntos críticos y tomar decisiones informadas que garantizan el éxito del proyecto en el largo plazo.

Conclusiones

El diseño de un sistema de paneles solares fotovoltaicos para la planta Unigas en Puerto Salgar, Cundinamarca, se confirma como una solución técnica, económica y ambientalmente viable. Los resultados obtenidos reflejan el cumplimiento de los objetivos planteados, destacando los siguientes puntos clave:

1. El análisis de irradiación confirma un alto potencial para generación de energía solar, con una irradiación. Estas condiciones garantizan una generación eficiente, respaldada por simulaciones en PV*SOL que indican una producción anual de 126,576 kWh
2. La inversión inicial estimada asciende a \$391,144,577 COP, incluyendo paneles, infraestructura, instalación, y contingencias. Los costos operativos son bajos debido a la naturaleza del sistema ON GRID, y los ahorros anuales en costos energéticos (aproximadamente \$37,480,500 COP) aseguran una recuperación razonable de la inversión en 10 años.

3. El proyecto se beneficia de múltiples incentivos, como la exención del IVA y aranceles, deducción del 50% en impuesto de renta por 15 años, y acceso a certificados de energía renovable. Estos incentivos mejoran significativamente la rentabilidad del proyecto, reduciendo costos iniciales y tributarios.
4. El sistema cubrirá el 50% del consumo anual de la planta, con un nivel de autoconsumo del 59.2%. Esto se traduce en un uso eficiente de la energía generada y una reducción significativa en la dependencia de la red eléctrica, mejorando la estabilidad operativa y la sostenibilidad.
5. El estudio concluye que la instalación de un sistema de paneles solares en la planta Unigas en Puerto Salgar es técnica y económicamente viable. Los resultados financieros, como un VPN positivo de \$274,910,155 COP, una TIR del 14%, y un ROI de 10 años, demuestran rentabilidad a largo plazo. La planta aprovecha las condiciones óptimas de irradiación solar (hasta 1764.7 kWh/m²/año) y se alinea con objetivos de sostenibilidad al reducir 67,718 kg de CO₂ anualmente

Lista de referencias

- IDEAM. (2023). *Mapas de radiación solar en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- **García, C. A., & González, M. (2021).** *Propuesta de implementación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles solares en Bogotá*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24036>
- **Echeverri González, J. F., & Zapata Herrera, P. M. (2020).** *Estudio de prefactibilidad para la implementación de energía solar en un hotel en San Andrés Islas*. Universidad EAFIT. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/28890>
- **Torres, D., & Hernández, P. (2022).** *Análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental para un parque fotovoltaico en Cundinamarca*. Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/908>
- **Jiménez, A., & Martínez, F. (2021).** *Análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una hibridación solar en un parque eólico existente*. Universidad Pontificia Comillas. [https://repositorio.comillas.edu/handle/11531/56865​:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://repositorio.comillas.edu/handle/11531/56865​:contentReference[oaicite:0]{index=0})
- **Ministerio de Minas y Energía. (2023).** *Informe sobre el Parque Solar Barzalosa: Evaluación de viabilidad técnica y económica*. <https://www.minminas.gov.co>

- **República del Sol. (2024).** *Uso de paneles solares en empresas: Beneficios y consideraciones.* <https://www.republicadelsol.net>
- **Guayazan Pinto, T. J., Mendivelso Moreno, J. D., & Villamil Vargas, J. S. (2020).** *Diseño de un sistema solar fotovoltaico para la comunidad indígena Pijao ubicada en el resguardo Pocharco.* Universidad EAN.
- **Universidad de Antioquia. (2019).** *Evaluación técnica y económica de parques solares fotovoltaicos en Colombia.* Biblioteca Digital UDEA.
- **Montoya, F. G., Aguilera, M. J., & Manzano-Agugliaro, F. (2014).** *Photovoltaic power installed in buildings: A review of trends.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1030-1038. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.095>
- **Hincapié Vigoya, L. F. (2018).** *Caracterización, impacto e implementación de las energías alternativas en Colombia en empresas públicas y privadas.* *Inventum*, 13(25), 17-28. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018.17-28>
- **Rodríguez Manrique, A. K., Cadena Monroy, Á. I., & Aristizábal Cardona, A. J. (2015).** *Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca.*
- **Rodríguez Zamora, D. A.** *Energía solar en el Departamento de Cundinamarca.*
- **Climate-Data.org. (n.d.).** *Clima: Puerto Salgar.* Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/puerto-salgar-49839/>
- **Región Administrativa y de Planeación Especial (RAP-E). (2022).** *Potencial fotovoltaico Región RAP-E.* Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de

<https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/POTENCIAL-FOTOVOLTAICO-REGIÓN-RAP-E.pdf>

- **Global Solar Atlas. (n.d.).** *Puerto Salgar: Solar resource data.* Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de <https://globalsolaratlas.info/detail?c=5.645711,-74.697418,11&s=5.698665,-74.612274&m=site>
- **Ortiz, J. D. (2013).** Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala. *Visión electrónica*, 7(1), 103-117.
- **Ramirez Acevedo, J. D. (2018).** Viabilidad energética con base en paneles solares para restaurante santa costilla Briceño.
- **Prada Duarte, C. A., & Martínez Perdomo, D. A. (2022).** Estudio de viabilidad técnica para implementación de paneles solares en Riohacha.
- **Espitia Garzón, N. (2019).** Viabilidad del desarrollo de un plan de negocio para la comercialización e instalación de paneles solares en la región del Putumayo, Colombia. Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7483/1/467590-2019-II-GE.pdf>
- **European Commission. (n.d.).** *Photovoltaic geographical information system (PVGIS).* Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- **Valentin Software. (n.d.).** *PVSOL online: Results*.* Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de <https://pvsol-online.valentin-software.com/#/results>
- **Chaves, J., & Mendoza, L. (2020).** *Energía solar fotovoltaica: principios y aplicaciones.* Bogotá: Editorial Energética.

- **International Renewable Energy Agency (IRENA).** (2021). *Solar Energy: A Guide to Best Practices*. Abū Zaby: IRENA.
- **Solar Energy International (SEI).** (2021). *Photovoltaics: Design and Installation Manual*. New Society Publishers. ISBN: 9780865715202
- **Umbarila Valencia, J., Moreno, A., & Rivera Rodríguez, E. (2015).** Estudio de las características de una celda fotovoltaica para el uso eficiente de la energía solar.
- **Feria ExpoSolar. (2019).** *Evaluación de la radiación global en Colombia*. Recuperado el 6 de diciembre de 2024, de <https://feriaexposolar.com/wp-content/uploads/2019/09/Evaluacion-de-la-radiacion-global-en-Colombia.pdf>
- **Gil, A., López, M., & Rojas, P. (2023).** El potencial de las energías renovables en Colombia: Perspectivas y desafíos. Universidad de Antioquia.
- **Collazos, J., Esquivel, L., & Paz, H. (2019).** Normatividad en energías renovables: Aplicación de la Ley 1715 en Colombia. *Revista de Energías Alternativas*, 7(3), 45-60.
- **Jinko Solar Co., Ltd. (2020).** Recuperado el 6 de diciembre de 2024 https://www.sllsolar.com/Jinko-Solar?gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiApNW6BhD5ARIsACmEbkULGHNVB5B0uej_yYAPc4cL9WPj75YCaZyU6MPJmmeGgezOKJOGvy0aAtGPEALw_wcB
- **Aldana, A. M., & Fino, D. N. (2018).** Universidad Libre. Obtenido de Estudio de viabilidad financiera de la generación de energía eléctrica a partir de paneles solares Para puestos de salud en Colombia:
<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15473>

- **Fajardo, A. C. (agosto de 2024).** Análisis, diseño y simulación de sistema solar fotovoltaico. Obtenido de Repository Unilibre:
https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9353/TesisMaestria_AndreaCatalinaAlvarado.pdf
- **Martínez, L. C., & Fuentes, A. J. (2017).** Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Obtenido de Proyecto para la gestión de paneles solares en la vereda La Esperanza del municipio de Convención, Norte de Santander, Colombia:
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12108>
- **Nousol. (s.f.).** Productos solares. Obtenido de <http://www.nousol.com>

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 JUEGO KIT FOTOVOLTAICO	9
TABLA 2 DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	26
TABLA 3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR	28
TABLA 4 CONSUMO DIARIO PLANTA PUERTO SALGAR.....	33
TABLA 5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS SISTEMA ON GRID.....	36
TABLA 6 RADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO DIARIA ANUAL PUERTO SALGAR.....	40
TABLA 7 DATOS DNI PUERTO SALGAR CUNDINAMARCA.....	43
TABLA 8 COMPORTAMIENTO TEMPERATURA PUERTO SALGAR	45
TABLA 9 DATOS PANELES POR FABRICANTE Y REFERENCIA	47
TABLA 10 RESULTADO DE SIMULACIÓN	51
TABLA 11 RESULTADOS ENERGIA GENERADA & CONSUMIDA.....	53

TABLA 12 COSTOS INICIALES	55
TABLA 13 FINANCIAMIENTO	56
TABLA 14 FLUJO DE CAJA	56
TABLA 15 INDICADORES FINANCIEROS.....	58
TABLA 16 BENEFICIOS DE INSTALACIÓN DE PANELES.....	59
TABLA 17 COMPARATIVO ANTES VS DESPUÉS	63
TABLA 18 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	67

INDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	29
ILUSTRACIÓN 2 FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANA CON SISTEMA FV	30
ILUSTRACIÓN 3 INSTALACIÓN ON GRID	35
ILUSTRACIÓN 4 LOCALIZACIÓN DE PUERTO SALGAR - CUNDINAMARCA	37
ILUSTRACIÓN 5 MAPA DE COBERTURA DE RED ELECTRICA	38
ILUSTRACIÓN 6 COMPORTAMIENTO CONSUMO PLANTA PUERTO SALGAR	39
ILUSTRACIÓN 7 MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA.....	41
ILUSTRACIÓN 8 COMPORTAMIENTO DE LA IRRADIACIÓN EN COLOMBIA.....	42
ILUSTRACIÓN 9 MAPA DE DNI ATLAS SOLAR MUNDIAL	42
ILUSTRACIÓN 10 IRRADIACIÓN NORMAL DIRECTA.....	44
ILUSTRACIÓN 11 COMPORTAMIENTO HORAS DE SOL EN PUERTO SALGAR.....	45
ILUSTRACIÓN 12 PANEL JKM545M-72HL4-V	48
ILUSTRACIÓN 13 SIMULACIÓN DE REPARTO	51
ILUSTRACIÓN 14 ENERGÍA GENERADO & CONSUMO	52

ILUSTRACIÓN 15 INVERSIÓN INICIAL.....	54
ILUSTRACIÓN 16 PERCEPCIÓN DEL PROYECTO	69
ILUSTRACIÓN 17 NIVELES DE PERCEPCIÓN DEL PROYECTO.....	71

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 PRODUCCIÓN ANUAL DE ENERGIA	49
ECUACIÓN 2 CANTIDAD DE PANELES.....	49
ECUACIÓN 3 TIR	57
ECUACIÓN 4 VPN.....	57
ECUACIÓN 5 ROI.....	58
ECUACIÓN 6 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	63