

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA IMPLEMENTADOS EN LA I.U. PASCUAL BRAVO**

**HABIB GELIZ VAQUIRO
DANIEL FELIPE VILLA VASQUEZ**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2022**

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA IMPLEMENTADOS EN LA I.U. PASCUAL BRAVO**

**HABIB GELIZ VAQUIRO
DANIEL FELIPE VILLA VASQUEZ**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesor técnico:

**Jorge Julián Cañas Sánchez
Ingeniero Electricista**

Asesor metodológico:

**Jauder Alexander Ocampo Toro
Magíster en Gestión energética industrial**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2022**

Contenido

	Pág.
Introducción.....	7
1. Planteamiento del problema	8
1.1 Descripción	8
1.2 Formulación	8
2. Justificación	9
3. Objetivos.....	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos	10
4. Referentes teóricos	11
4.1 Tabulación de datos	11
4.2 Energía solar	11
4.3 Paneles solares	12
4.4 Inversores	14
4.5 Banco de batería.....	15
4.6 Reguladores de carga de baterías.....	16
4.7 Power BI	17
4.8 Gráfica de energía	18
4.9 Tarifas de energía.....	18
4.10 Generación de energía eléctrica	19
4.11 Generador eléctrico	20
4.12 Costos financieros	20
4.13 Sistemas solares fotovoltaicos ON GRID	21
4.14 Irradiancia, irradiación y radiación solar.....	22

4.15	Sistemas solares ubicados geográficamente.....	23
4.16	Eficiencia energética	25
5.	Metodología.....	26
5.1	Tipo de proyecto	26
5.2	Método	26
5.3	Instrumentos de recolección de información.	26
5.3.1.	Fuentes primarias.....	26
5.3.2.	Fuentes secundarias	27
6.	Resultados.....	28
6.1	Regulación	28
6.2	Proceso de conexión para AGPE y GD hasta 100 kW	29
6.2.1	Primer paso:.....	30
6.2.2	Segundo paso:.....	31
6.2.3	Tercer paso:	31
6.2.4	Cuarto paso:.....	32
6.2.5	Quinto paso:.....	32
6.3	Equipos instalados en I.U. Pascual Bravo	32
6.3.1	Equipos de medida.....	32
6.3.2	Equipos de transformación.	33
6.3.3	Sistemas solares fotovoltaicos.	36
6.4	Evaluación energética actual.....	41
6.5	Evaluación energética en una posible ampliación de capacidad	44
7.	Conclusiones.....	49
8.	Recomendaciones	50
9.	Referencias	51

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Energía solar.....	12
Figura 2. Paneles solares.	13
Figura 3. Inversores.	15
Figura 4. Banco de baterías.	16
Figura 5. Reguladores de carga de baterías.	17
Figura 6 . Gráfica crecimiento mundial de la capacidad de energía solar.....	18
Figura 7. Generador eléctrico.	20
Figura 8. Sistemas solares fotovoltaicos ON GRID.....	21
Figura 9. Radiación global.....	22
Figura 10. Tipos de radiación solar.	23
Figura 11. Radiación solar.....	24
Figura 12. Radiación solar en Colombia	24
Figura 13. Datos técnicos en cuenta de servicio público.....	29
Figura 14. Código de colores en plataforma de EPM.....	30
Figura 15. Medidores bidireccionales.	33
Figura 16. Transformador de 500 kVA del bloque 25.	34
Figura 17. Transformador de 45 kVA del bloque 26.	34
Figura 18. Transformador de 45 kVA de la cancha de fútbol.	35
Figura 19. Transformador de 150 kVA del bloque 19.	35
Figura 20. Transformador de 1000 kVA del bloque 6.	36
Figura 21. Paneles solares bloque 25.....	37
Figura 22. Ficha técnica Inversor 10 kW del bloque 25.....	37
Figura 23. Paneles solares bloque 24.....	38
Figura 24. Ficha técnica de inversor 11.4 kW del bloque 24.	38
Figura 25. Ficha técnica de inversor 30 kW del bloque 24.	39
Figura 26. Paneles solares bloque 6.....	40
Figura 27. Inversores de 22.7 kW del bloque 6.....	40

Lista de tabla

Tabla 1. Capacidad de paneles e inversores	41
Tabla 2. Capacidad generada al día y mes	41
Tabla 3. Consumos en el periodo del año 2021.....	42
Tabla 4. Energía consumida vs costos.....	42
Tabla 5. Valores EPM vs SSFV	43
Tabla 6. Costo del proyecto solar	44
Tabla 7. Retorno de inversión.....	44
Tabla 8. Capacidad máxima por normativa.....	44
Tabla 9. Capacidad disponible para instalar.....	45
Tabla 10. Capacidad generada en el tiempo	45
Tabla 11. Valores EPM vs SSFF de la capacidad total	46
Tabla 12. Costo proyecto de la capacidad disponible	46
Tabla 13. Valores EPM vs SSFF de la capacidad nueva disponible	47
Tabla 14. Retorno de inversión de la capacidad nueva disponible.....	47

Resumen

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA IMPLEMENTADOS EN LA I.U. PASCUAL BRAVO

**HABIB GELIZ VAQUIRO
DANIEL FELIPE VILLA VASQUEZ**

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar los proyectos de energía solar fotovoltaica que la Institución Universitaria Pascual Bravo ya tiene instalados en tres áreas del plantel educativo, mediante un análisis con los datos de operación que se calculan en estos sistemas, según las placas de los fabricantes, se consideran los parámetros de costos de generación de energía solar de los paneles y de la energía tomada del operador de red EPM, y de esta manera verificar si son rentables y la viabilidad de instalar nuevos sistemas que cubran otras áreas del plantel.

Para realizar el proyecto, se caracterizó datos de operación de los sistemas solares y se verificaron con las placas de los fabricantes cuanta energía está generando los paneles y cuanta potencia máxima entregan los inversores, se tuvo en cuenta la normativa vigente para la instalación y legalización de los diferentes sistemas solares fotovoltaicos, de esta manera se realizaron los cálculos de retorno de inversión de los mismos, y verificar la viabilidad de instalar nuevos sistemas hasta la capacidad máxima permitida por la norma.

Palabras claves: Paneles solares fotovoltaicos, generación de energía solar, normativa, legalización.

Abstract

The objective of this project is to evaluate the photovoltaic solar energy projects that the Pascual Bravo University Institution already has installed in three areas of the educational campus, through an analysis with the operating data that are calculated in these systems, according to the manufacturers' plates, the cost parameters of solar energy generation from the panels and the energy taken by the EPM network operator are considered, and in this way to verify if they are profitable and the possibility of installing new systems that cover other areas of the campus.

To carry out the project, operating data of the solar systems was characterized and the manufacturers' plates were used to verify how much energy the panels are generating and how much maximum power the inverters deliver, taking into account the current regulations for the installation and legalization of the different photovoltaic solar systems, in this way the calculations of their return on investment were made, and verify the feasibility of installing new systems up to the maximum capacity allowed by the standard.

Keywords: Photovoltaic solar panels, solar energy generation, regulations, legalization.

Glosario

Energía: es la capacidad de hacer funcionar las cosas y debe ser medida durante un cierto período (un segundo, una hora, un año...) (Nuclear, 2022).

Irradiación: energía solar por unidad de área (J/m^2 o Wh/m^2) (REYES GUERRERO, 2018).

Irradiancia: potencia de la radiación solar por unidad de área (W/m^2) (REYES GUERRERO, 2018).

Mantenimiento: consiste en la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte al rendimiento de un bien de capital (Westreicher, 2020).

Panel solar: están formados por numerosas celdas que convierten la luz solar en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico porque la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente (Rus Arias, 2021).

Potencia: es el ritmo al que se usa o genera la energía y puede ser medida en cualquier instante de tiempo ya que siempre tendrá el mismo valor (Kosner, 2017).

Radiación solar: es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella cuya superficie se encuentra a una temperatura media de 5778 K (5505 °C) y en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía (Devoto, 2017).

Sistemas ON GRID: se caracterizan por devolver energía sobrante a la red eléctrica de la empresa proveedora de energía, en lugar de almacenarla en baterías. De esta forma, la empresa

abona al cliente la energía generada a un precio por lo general superior al que lo paga (Escalada, 2018).

Vatios (W): el vatio o watt es la unidad de medida de potencia eléctrica del sistema internación de unidades (SI) que equivale a la producción de 1 Julio por segundo (1 J/s) (CHC Energía, 2021).

Autogeneración a pequeña escala (AGPE): es cuando un cliente decide producir energía eléctrica, principalmente para atender sus propias necesidades y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1000 kW (1 MW) (Grupo EPM, 2018).

Se dividen en dos grupos:

- Aquellos con capacidad inferior a 100 kW.
- Aquellos que se encuentran entre 100 kW y 1000 kW.

Autogeneración a gran escala (AG): persona natural o jurídica que produce energía principalmente para atender sus propias necesidades, y su potencia instalada es mayor a 1 MW (generalmente grandes comercios e industrias). Los autogeneradores de gran escala a los cuales les aplica la Resolución CREG 174 de 2021 son aquellos que tienen potencias de generación entre 1 MW y 5 MW (Grupo EPM, 2021).

Generación distribuida (GD): persona jurídica que produce energía cerca de los centros de consumos, se encuentra conectado al Sistema de Distribución Local (SDL) y tiene una potencia instalada menor o igual a 1 MW (Grupo EPM, 2021).

Protección Anti-isla: es un esquema de protección que detecta y desconecta, en un periodo corto de tiempo, un sistema de generación cuando se presenta apertura del equipo de corte del alimentador principal o se detecta la operación de una isla no intencional en Sistema Interconectado Nacional (SIN) (Consejo Nacional de Operación, 2020).

Medidor bidireccional: es un equipo capaz de registrar la energía importada y exportada de manera separada en un instante de tiempo, haciendo posible con esto último, la venta de

excedentes de energía solar a la red eléctrica convencional. Es usado para sistemas de generación fotovoltaica, eólica o cualquier otra fuente de energía adicional (HG Ingeniería, 2018).

Sistema limitador de potencia inversa: detecta cuándo un generador de energía síncrono conectado a una red externa o que funciona en paralelo con otros generadores funciona como un motor síncrono, y dispara el interruptor automático. También se puede utilizar para supervisar la cantidad de potencia activa intercambiada entre dos partes de una red eléctrica, con alarmas asociadas, deslastre de cargas o disparo en cuanto el flujo de potencia activa en la dirección seleccionada supera el valor establecido (Schneider Electric, 2020).

Introducción

El calentamiento global es un tema que ha tenido un impacto a nivel mundial, entre más energía se gaste se necesita más fuentes de generación de energía eléctrica, para disminuir la contaminación se deberían implementar diferentes tipos de generación de energía renovables como lo son los sistemas de energía solar, por lo que se debe empezar a hacer conciencia de los consumos energéticos. La Institución Universitaria Pascual Bravo (I.U. Pascual Bravo) aprovecha la generación de energía eléctrica mediante los sistemas de paneles solares que se tienen instalados en varios de sus bloques.

Este trabajo de grado se planteó para verificar si los proyectos de generación solar instalados en la I.U. Pascual Bravo estaban cumpliendo con los tiempos de retorno de la inversión de estos, y para realizar una evaluación analítica y proponer nuevos sistemas solares hasta la capacidad máxima permitida por la norma.

En este informe final del trabajo de grado se presenta en los primeros capítulos el problema abordado, la justificación, y los objetivos propuestos del trabajo. Se toma como base los conceptos teóricos, se propuso un método de trabajo para lograr los resultados trazados, y que consecuentemente dieron pie a las conclusiones y recomendaciones.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En la I.U. Pascual Bravo se cuenta con varios sistemas solares fotovoltaicas instalados en tres áreas del plantel; sin embargo, no se está tomando el mayor provecho de su generación debido que en su momento se desconocía las normativas que se deben tener en cuenta para la legalización ante el operador de red, para que de esta manera los sistemas estén funcionando y puedan entregar la energía producida a la red de la institución o entregar excedentes a la red de EPM.

Actualmente, los sistemas solares fotovoltaicos y las inversiones que se realizaron para la instalación de estos aún no se han vistos los ahorros en las cuentas de servicios públicos recientes, debido a que no se ha realizado la respectiva legalización ante el operador de red, por ende, no están en funcionamiento, en este trabajo de grado se agrupan los requisitos a cumplir ante el operador de red para legalizar y entren en funcionamiento los sistemas, generando los ahorros correspondientes.

1.2 Formulación

¿Es posible verificar si los sistemas de paneles solares instalados en la I.U. Pascual Bravo están cumpliendo con un análisis de rentabilidad, y si se tiene el visto bueno del operador de red para su funcionamiento y ver su retorno en las cuentas de servicio?

2. Justificación

Hoy en día la I.U. Pascual Bravo cuenta con varios sistemas solares fotovoltaicos, los cuales pueden suministrar energía a tres áreas del plantel, estos sistemas requieren ser evaluados desde su parte económica, y determinar si la inversión que se hace en ellos traerá un retorno de la inversión realizada, conocer la normatividad vigente para estos sistemas se hace fundamental para el planteamiento de nuevos proyectos en la institución y la rentabilidad que pueden llegar a generar.

Este proyecto puede servir como una base firme para la toma de decisiones respecto a la implementación de nuevos proyectos solares fotovoltaicos en la I.U. Pascual Bravo, los aspectos a tener en cuenta para su legalización ante el operador de red y sus diferentes aspectos técnicos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una evaluación energética de los proyectos de energía solar fotovoltaica que se han implementado en la I.U. Pascual Bravo, mediante un análisis con los datos de los sistemas y los datos de otros sistemas implementados, para considerar la viabilidad de instalar nuevos sistemas que cubran otras áreas del plantel.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros obtenidos de los proyectos existentes de energía solar fotovoltaica de la I.U. Pascual Bravo.
- Analizar los datos obtenidos, y comparar los costos a partir de la generación de los sistemas de energía solar existentes y del suministro de energía del operador de red.
- Evaluar los resultados analíticos determinando si los sistemas solares existentes son rentables y en qué tiempo se recuperará la inversión, y proyectar nuevos sistemas al plantel.

4. Referentes teóricos

4.1 Tabulación de datos

La tabulación de datos es, en estadística, el conjunto de operaciones que permiten presentarlos agrupados y, a su vez, en forma de gráficos o tablas. Por lo tanto, es un proceso mediante el que se agrupan los datos y se muestran mediante gráficos o tablas para entenderlos mejor. La tabulación es un paso esencial en el análisis descriptivo previo a otros como la inferencia. De esta forma, una vez se obtienen, se deben preparar para su posterior uso, y eso se realiza agrupándolos mediante la tabulación (Rus Arias, 2021).

Tabulación es el acto y el efecto de tabular, del latín “tabularis” que significa confeccionar tablas, que antiguamente se usaban para escribir, como por ejemplo la primera ley escrita que tuvieron los romanos fue hecha sobre tablas y de allí el nombre de Ley de las XII Tablas (Rus Arias, 2021).

Puede referirse a dar a algo material forma de tabla, como por ejemplo un mueble o un dispositivo electrónico, pero más comúnmente se usa tabulación para referirse a la actividad de construir planillas en las que figuran listados de datos que se registran de tal manera (en columnas) que luego pueda ser fácil su visualización, agrupación y procesamiento para obtener los resultados deseados. Las tabulaciones pueden hacerse en forma manual o utilizarse para ello medios electrónicos. Es un instrumento de mucha utilidad en materia contable, por ejemplo, para registrar ingresos y/o egresos y también para registrar los datos obtenidos de una investigación científica (Rus Arias, 2021).

4.2 Energía solar

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable que se obtiene directamente de la radiación solar mediante un panel solar que a su vez la transforma en energía eléctrica (Enel, 2018). En la Figura 1 se muestra una instalación para aprovechar la energía solar.



Figura 1. Energía solar.

Fuente: <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar-y-como-funciona.html>

El proceso comienza cuando la luz solar cae sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica, que componen los paneles solares, y se produce un diferencial de potencial eléctrico entre ambas caras haciendo que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica que luego se transporta hasta la red de distribución para llegar hasta los puntos de consumo (Enel, 2018).

Además de no emitir gases contaminantes o de efecto invernadero durante la producción de energía, una de las principales ventajas de esta tecnología es que es modular. Es decir, los paneles pueden usarse para el autoconsumo (abastecer electricidad en casas o edificios) (Enel, 2018).

4.3 Paneles solares

Los paneles solares son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad. Están formados por celdas solares que a su vez contienen células solares individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo) que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones) (ver Figura 2) (Celsia, 2018).



Figura 2. Paneles solares.

Fuente: <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>

En los paneles solares cuando hay luz solar, una célula solar se comporta casi como una batería. La luz solar recibida separa los electrones de modo que forman una capa de carga positiva y una de carga negativa en la célula solar; esta diferencia de potencial genera una corriente eléctrica (Celsia, 2018).

Estos paneles se conectan a su vez a una batería que almacena la electricidad generada y es esta carga la que se utiliza. Los paneles solares se componen de células fotovoltaicas (PV de sus siglas en inglés), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC de sus siglas en inglés) durante las horas del día (Celsia, 2018).

Las células de silicio cristalizado se clasifican en función del grado de pureza y cristalización del silicio. En general las de tipo Monocristalino están conformadas por capas de silicio purificado y cristalino dando en el producto final una apariencia de color azul o negro uniforme; por otro lado las células de silicio Policristalino al fabricarse con silicio de baja pureza no se cristalizan de manera uniforme presentando tonalidades discontinuas entre el azul y el negro,

además estas últimas presentan una eficiencia menor a las del tipo monocristalino en el orden del 14% en contraste con 17% y hasta 22% dependiendo la integración con demás elementos y el silicio monocristalino (HG Ingeniería, 2018).

El panel solar monocristalino se utilizan para climas que habitualmente tienen nubes, tormentas y con temperaturas máximas no muy altas, esto es debido a que la sensibilidad del panel solar monocristalino consigue la máxima radiación solar en bajas temperaturas y no resiste demasiado bien el sobrecalentamiento y la de policristalinos tienen una mayor resistencia al sobrecalentamiento y su funcionamiento es óptimo en climas habitualmente cálidos, pues los paneles solares policristalinos absorben el calor a mayor velocidad (AutoSolar, 2022).

Ventajas de las nuevas tecnologías de paneles solares: los paneles tipo PERC (Passivated Emitter Rear Cell) consiste en colocar una capa reflectante (Dielectric Layer) para aprovechar al máximo la radiación. O, dicho de otro modo, es el proceso que añade una capa adicional en la parte trasera del panel solar. Dicha capa permite reflejar de nuevo hacia la célula parte de los fotones que atraviesan la célula, aumentando así la eficiencia total del panel. Esto permite aumentar la eficiencia de captación de las células solares en comparación a placas solares fotovoltaicas con la misma distribución, reduciendo el coste final de las placas (Tecnosol, 2019).

4.4 Inversores

Un inversor es un convertidor que transforma la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna, que es la que se puede usar en los hogares e inyectar a la red (Sotysolar, 2021).

¿Qué tipos de inversores existen? En el caso del autoconsumo solar residencial, se usan principalmente tres tipos de inversores: inversores string o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia. En la industria solar, a los microinversores y a los optimizadores de potencia se les conoce como "dispositivos electrónicos de potencia a nivel de módulo" o MLPES (Module Level Power Electronics) (Sotysolar, 2021). En la Figura 3 se muestra un inversor solar.



Figura 3. Inversores.

Fuente: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>

4.5 Banco de batería

Los bancos de baterías almacenan la energía de reserva que será utilizada por los sistemas UPS (Uninterruptable Power Supply), también llamado Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI). Dicho dispositivo permite tener flujo de energía eléctrica mediante baterías, cuando el suministro eléctrico falla. En la presencia de la red eléctrica de la concesionaria, los sistemas UPS mantienen las baterías recargadas y listas para uso en el caso de necesidad. La energía reserva almacenada es proporcional a la capacidad de las baterías. Cuanto mayor son las baterías, mayor es este tiempo, denominado tiempo de autonomía (ver Figura 4) (CM Comandos Lineares, 2009).



Figura 4. Banco de baterías.

Fuente: <https://www.cmcomandos.com.br/es/productos/banco-de-baterias-2/>

La aplicación típica de autonomía es de quince minutos, extendiéndose a treinta minutos y una hora. Normalmente la autonomía de las baterías se calcula en función de algunos factores como necesidad de autonomía, potencia instalada y nivel de carga e inversión. Cuanto mayor es la autonomía requerida, mayor será el banco de baterías y, por lo tanto, mayor es la inversión. Además, cuanto mayor sea la potencia instalada, mayor será el consumo de energía y, por lo tanto, mayor es el banco de baterías (CM Comandos Lineares, 2009).

4.6 Reguladores de carga de baterías

El regulador de carga solar tiene como función gestionar la producción fotovoltaica y proteger las baterías, evitando que los paneles solares sobrecarguen las baterías cuando éstas están completamente cargadas. Así se consigue que la instalación funcione correctamente y se alargue la vida útil de la misma (ver Figura 5) (Monsolar, 2015).



Figura 5. Reguladores de carga de baterías.

Fuente: <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/reguladores-de-carga.html>

4.7 Power BI

Power BI es un conjunto de herramientas que pone el conocimiento al alcance de todos y brinda acceder a estos datos de forma segura y rápida, generando grandes beneficios para la empresa. Es un sistema predictivo, inteligente y de gran apoyo, capaz de traducir los datos (simples o complejos) en gráficas, paneles o informes por sus cualidades como la capacidad gráfica de presentación de la información, o la integración de Power Query, el motor de extracción, transformación y carga (ETL) incluido en Excel (Cloded Menendez, 2020).

Power BI es una solución de análisis empresarial basado en la nube, que permite unir diferentes fuentes de datos, analizarlos y presentar un análisis de estos a través de informes y paneles. Con Power BI se tiene de manera fácil acceso a datos dentro y fuera de la organización casi en cualquier dispositivo. Estos análisis pueden ser compartidos por diferentes usuarios de la misma organización; por lo que directivos, financieros, comerciales, etc., pueden disponer de la información del negocio en tiempo real (Cloded Menendez, 2020).

4.8 Gráfica de energía

Una gráfica, una representación gráfica o un gráfico es un tipo de representación de datos, generalmente cuantitativos, mediante recursos visuales (líneas, vectores, superficies o símbolos), para que se manifieste visualmente la relación matemática o correlación estadística que guardan entre sí. También es el nombre de un conjunto de puntos que se plasman en coordenadas cartesianas y sirven para analizar el comportamiento de un proceso o un conjunto de elementos o signos que permiten la interpretación de un fenómeno. La representación gráfica permite establecer valores que no se han obtenido experimentalmente sino mediante la interpolación (lectura entre puntos) y la extrapolación (valores fuera del intervalo experimental) (Wikipedia, 2017). En la Figura 6 se muestra un gráfico del crecimiento mundial de la capacidad de energía solar.

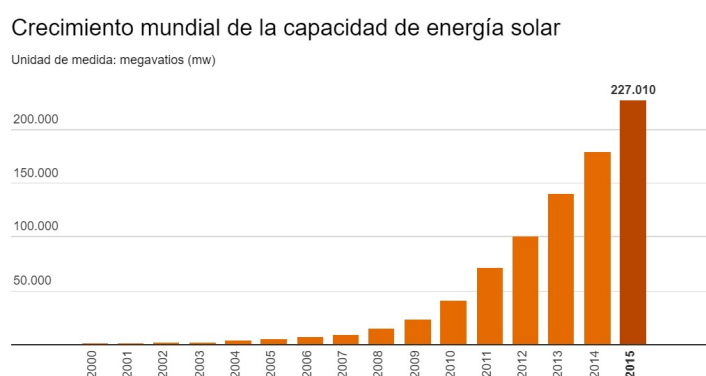


Figura 6. Gráfica crecimiento mundial de la capacidad de energía solar.

Fuente: <https://www.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>

4.9 Tarifas de energía

En la ciudad de Medellín, EPM (Empresas públicas de Medellín) como empresa prestadora de servicios públicos de acueducto, alcantarillado, energía, y gas, no define las tarifas de forma autónoma, sino que estas son reguladas y reglamentadas por diferentes entidades del Estado como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA).

Dentro de las tarifas que se encuentran en la factura de servicios públicos, están incluidos factores asociados con las operaciones de infraestructura que se requieren para la prestación de los servicios, como también las inversiones, mantenimientos y planes de expansión. También se contemplan todas las acciones necesarias para apalancar el crecimiento de los territorios donde la empresa ofrece sus servicios, así como el mantenimiento de los equipos. Al momento de revisar la factura de los servicios públicos, además de tener en cuenta el servicio a pagar, es importante realizar el seguimiento de la cantidad de kilovatios(kW) de energía y los metros cúbicos (m3) de agua y gas que se consumen al mes (Grupo EPM, 2010).

Es importante tener en cuenta que los estratos socioeconómicos 5 y 6, hacen una contribución a los estratos 1, 2 y 3. El estrato 4 no subsidia ni es subsidiado. También que cada municipio cuenta con unos subsidios diferentes, lo que incide en que el costo de los servicios varíe de acuerdo con la localidad en la que se vive.

Además, en la factura, se recaudan conceptos de otros servicios diferentes como el de alumbrado público, que es responsabilidad de las alcaldías municipales y la recolección de residuos que es realizada por otras empresas como Emvarias, entre otras (Grupo EPM, 2010).

4.10 Generación de energía eléctrica

La energía eléctrica se produce, a escala industrial, en las centrales eléctricas. Una central eléctrica es una "fábrica de corriente eléctrica". La forma más habitual de producir energía eléctrica es usando un alternador. Un alternador está formado por un rollo de hilo conductor (bobina) que puede girar, y un imán que está fijo. La bobina gira dentro del imán, impulsada por el giro de una turbina que, a su vez, se hace girar gracias a un fluido en movimiento. Por último, la corriente eléctrica se modifica en un transformador, que la "prepara" para ser transportada (Ezpazo Abalar, 2010).

En conclusión, la generación de energía eléctrica es un proceso muy variado dependiendo de la energía principal utilizada y aunque las centrales de carbón, gas natural, nucleares e hidráulicas son las más utilizadas en todo el planeta, actualmente se está trabajando en potencializar el uso de

las energías primaria renovables para disminuir los efectos contaminantes hacia al cambio climático (Junta de Castilla y Leon, 2020).

4.11 Generador eléctrico

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica. Lo consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estator. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, una de las dos partes genera un flujo magnético (actúa como inductor) para que el otro lo transforme en electricidad (actúa como inducido) (ver figura 7) (Endesa, 2021).

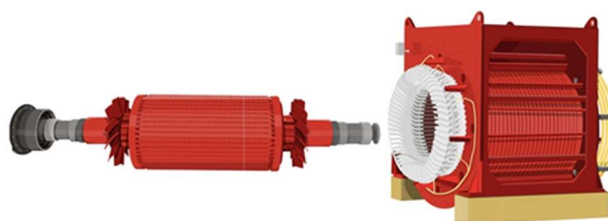


Figura 7. Generador eléctrico.

Fuente: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>

Los generadores eléctricos se diferencian según el tipo de corriente que producen. Así, se encuentran con dos grandes grupos de máquinas eléctricas rotativas: los alternadores y las dinamos. Los alternadores generan electricidad en corriente alterna. El elemento inductor es el rotor y el inducido el estator. Un ejemplo son los generadores de las centrales eléctricas, las cuales transforman la energía mecánica en eléctrica alterna. Las dinamos generan electricidad en corriente continua. El elemento inductor es el estator y el inducido el rotor (Endesa, 2021).

4.12 Costos financieros

Los costos financieros son aquellos en los que incurre la empresa como consecuencia de la adquisición de financiamiento mediante deuda para el desarrollo del negocio y de las operaciones. En este sentido, los costos financieros abarcan tanto el precio del dinero, es decir,

los intereses, como también otro tipo de remuneraciones, que pueden ser comisiones, costos de administración u otros relacionados con la formalización de la operación de financiamiento mediante deuda (CFO Remoto, 2021).

Puesto que toda operación de financiación implica costos financieros que deben pagarse (a veces durante prolongados periodos de tiempo), puede ocurrir que el total de los costos financieros llegue a ser una parte significativa o mayoritaria de todos los tipos de costos generales que debe cubrir la empresa. De aquí su extrema importancia (CFO Remoto, 2021).

4.13 Sistemas solares fotovoltaicos ON GRID

La instalación On-Grid funciona conectada a la red eléctrica y no utiliza tantos elementos en su sistema de funcionamiento. Se usa la energía de los paneles solares y las cargas extras se envían a la red para ser utilizada en su momento. Este sistema es más eficiente y tiene menor costo (Celsia, 2020). En la Figura 8 se muestra un esquema del sistema solar conectado a la red.

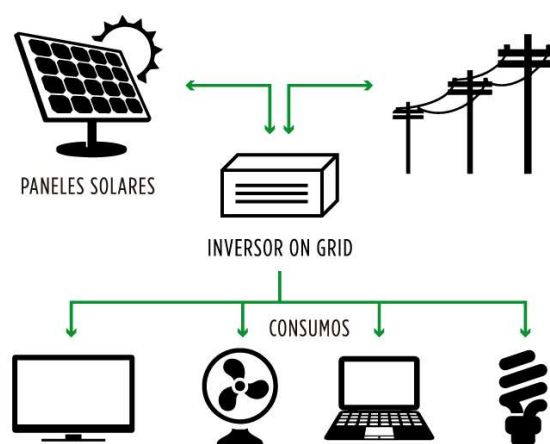


Figura 8. Sistemas solares fotovoltaicos ON GRID

Fuente: <https://inteva.com.ar/sistemas-on-grid/>

Rápido retorno de inversión: Al ser dueño del sistema energético, se tiene la capacidad de crear su propia electricidad. Por lo tanto, se deja de consumir energía del proveedor, lo cual significará un ahorro en la factura a fin de mes. Esto permite recuperar el dinero invertido en poco tiempo. El mantenimiento de los paneles solares es sencillo y realmente bajo. Si se desea

instalarse en una vivienda, es posible que con una limpieza al año sea suficiente (Inteva Energía Solar, 2018).

Generación de energía en sitios remotos: Sin duda una de las ventajas, es que puede usarse para tener electricidad en lugares que no pueden depender de redes eléctricas. Tan solo se requiere instalar el equipamiento para disfrutar de este tipo de energía. Los paneles de energía solar fotovoltaica proporcionan energía limpia y ecológica. Durante la generación de electricidad con paneles fotovoltaicos no hay emisiones nocivas de gases de efecto invernadero, por lo que este tipo de energía es respetuosa con el medio ambiente (Inteva Energía Solar, 2018).

4.14 Irradiancia, irradiación y radiación solar

En general, al hablar sobre energía solar en términos técnicos, se utiliza el término de radiación solar para un concepto genérico, y no para hablar de ninguna magnitud. Mientras que irradiancia e irradiación, corresponden a la potencia y a la energía de la radiación solar por unidad de superficie respectivamente (ver figura 9) (Reyes Guerrero, 2018).

Irradiancia: potencia de la radiación solar por unidad de área (W/m^2).

Irradiación: energía por unidad de área (J/m^2 o Wh/m^2).

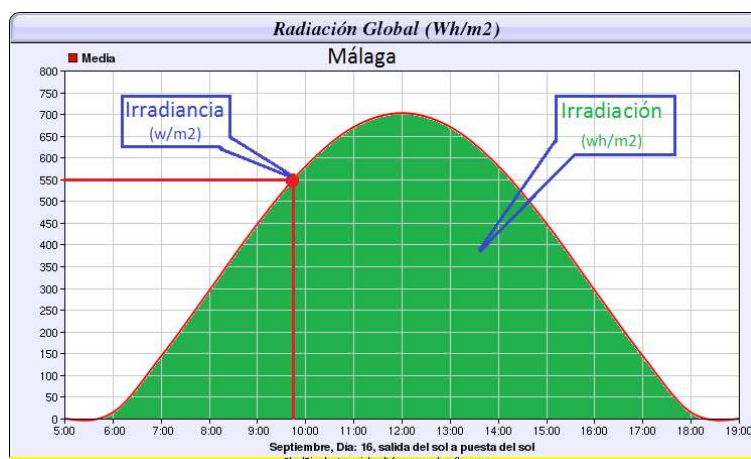


Figura 9. Radiación global.

Fuente: <https://dSPACE.upu.edu.ec/bitstream/123456789/16402/1/UPS-CT007979.pdf>

Si se habla de irradiancia, se está refiriendo a un momento dado, mientras si se habla de irradiación, se refiere a un periodo dado, puede ser un día, una hora, un día, un mes o todo un año (Reyes Guerrero, 2018).

4.15 Sistemas solares ubicados geográficamente

Energía solar: se considera que la mayoría de los recursos renovables provienen indirectamente de la energía del Sol. El calor del Sol genera los vientos; luego, los vientos y el calor del Sol hacen que el agua se evapore y cuando este vapor de agua se convierte en lluvia o nieve, se forman nacimientos de agua que originan ríos; junto con la lluvia, la luz del Sol hace que las plantas crezcan. Las mareas se originan de la fuerza gravitatoria que la luna y el Sol ejercen sobre la Tierra. La energía solar es definida como la energía producida por reacciones nucleares al interior del Sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio (radiación solar) (UPME, 2018).

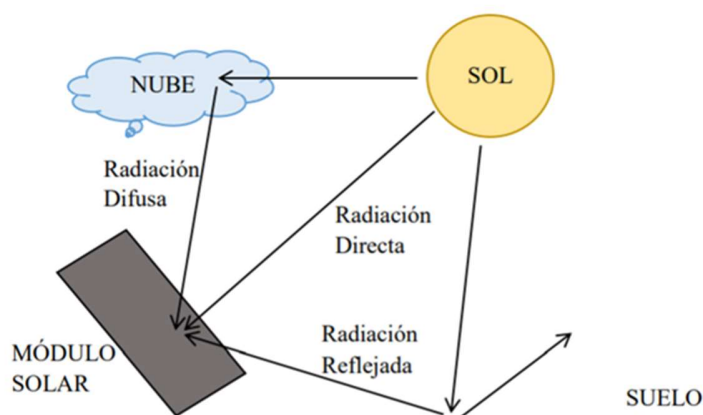


Figura 10. Tipos de radiación solar.

Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16402/1/UPS-CT007979.pdf>

Radiación solar en la Tierra, el Sol irradia energía a una tasa de 3.9×10^{26} vatios, y perpendicularmente, sobre la parte superior de la atmósfera, nuestro planeta recibe una radiación solar promedio de 1 367 vatios por cada metro cuadrado. Para conocer la cantidad de energía que se puede obtener del Sol, es necesario medir la cantidad de radiación solar (directa más difusa

como se muestra en la Figura 10) que recibe realmente una región (REYES GUERRERO, 2018). En la Figura 11 se muestra en animación la radiación solar en la ciudad de Medellín.

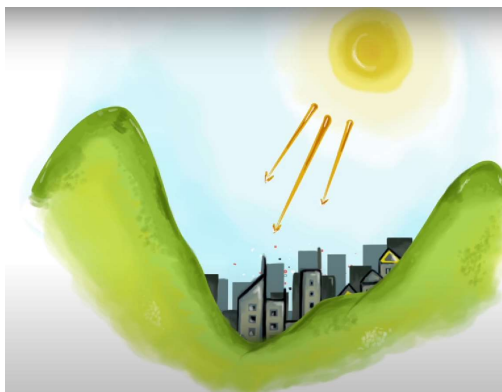


Figura 11. Radiación solar.

Fuente: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>

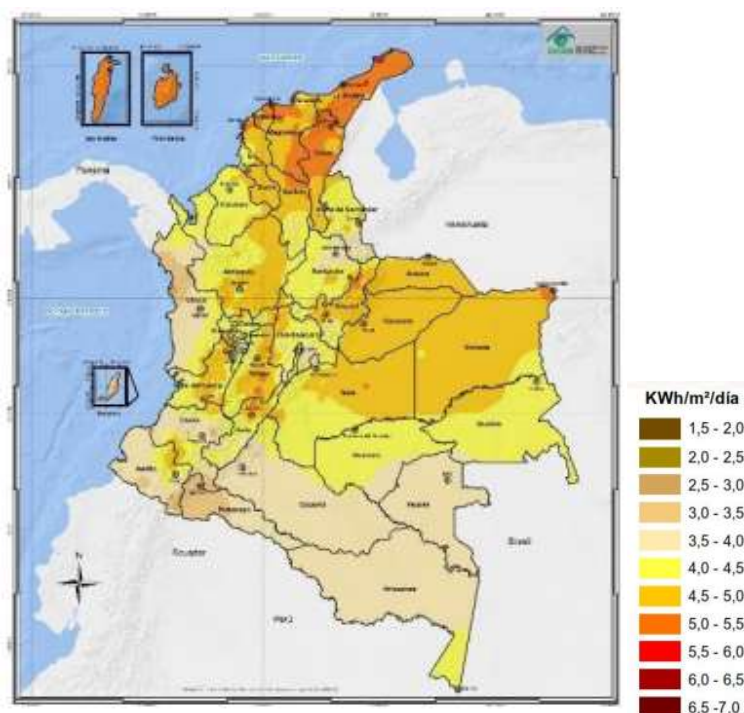


Figura 12. Radiación solar en Colombia

Fuente: Atlas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Con la Figura 12, se puede decir las zonas del país con las mayores intensidades de radiación global, son la región Caribe, amplios sectores de la Orinoquia y los valles interandinos, y las

zonas con menores valores de radiación se dan hacia el occidente y suroccidente del país y en algunos sectores aislados de las tres cordilleras. En la ciudad de Medellín se tiene una radiación solar de 4,5 KWh/m² (IDEAM, 2020).

4.16 Eficiencia energética

La eficiencia energética puede definirse como la optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de confort y de servicio, por ejemplo, ajustando el consumo de electricidad a las necesidades reales de los usuarios o implementando mecanismos para ahorrar energía evitando pérdidas durante el proceso. En un país, disponer de un nivel adecuado de eficiencia energética permite, por ejemplo, aumentar la seguridad de que existirá un abastecimiento de energía suficiente para toda la población (BBVA, 2020).

5. Metodología

5.1 Tipo de proyecto

Según el método de trabajo a realizar se presenta un proyecto de investigación aplicada de manera explicativa obteniendo resultados de valores y datos cuantitativos de manera experimental.

5.2 Método

El método que se utilizó para este proyecto es inductivo, donde inicialmente se realizó una indagación técnica de los sistemas solares fotovoltaicos, de su comportamiento con respecto de cómo integrarse a la red, y el tipo de radiación que debe de recibir y de la orientación que este debe de tener para una mayor eficiencia, y sobre todo un estudio en la ubicación de Medellín que es en donde se realizará.

Posteriormente, se analizaron los comportamientos de las tecnologías de los paneles solares que se encuentran instalados en la institución comparados con las nuevas tecnologías que están en el mercado. Este proceso ayuda a entender la correcta operación de estos y verificar su eficiencia, esta información ayuda a realizar un aproximado de vida útil.

Luego, se realizó un análisis energético para validar rentabilidad prometida y el tiempo de retorno de la inversión que fue proyectado, teniendo en cuenta los costos de cada kWh que generan los paneles solares y los que provienen del operador de red EPM.

5.3 Instrumentos de recolección de información.

5.3.1. Fuentes primarias. Este trabajo se encuentra apoyado por páginas web oficiales de centrales solares del mundo.

5.3.2. Fuentes secundarias. Se encuentran referenciadas en blogs de estudios de generación solar y análisis energéticos de diferentes proyectos del mundo. Además, se tomó como referencia apuntes importantes de las notas de clases de la asignatura Energías Alternativas.

6. Resultados

6.1 Regulación

Se realiza una reunión con Robinson Cano Calle tecnólogo en el área de legalización y certificación de proyectos con sistemas solares en el departamento de Antioquia, el cual trabaja para la empresa Grupo EPM y también es estudiante en la I.U. Pascual Bravo; Robinson aportó a esta investigación con las siguientes normativas que se debe de tener en cuenta para los sistemas solares fotovoltaicos.

Para los sistemas solares fotovoltaicos de autogeneradores y generadores distribuidos están regulados por lo siguiente:

CREG 174 del 2021: La resolución tiene como objetivo definir mecanismos fáciles y sencillos para que los pequeños productores de energía eléctrica puedan vender sus excedentes al sistema. Entonces define los procesos de conexión, las tarifas y la remuneración.

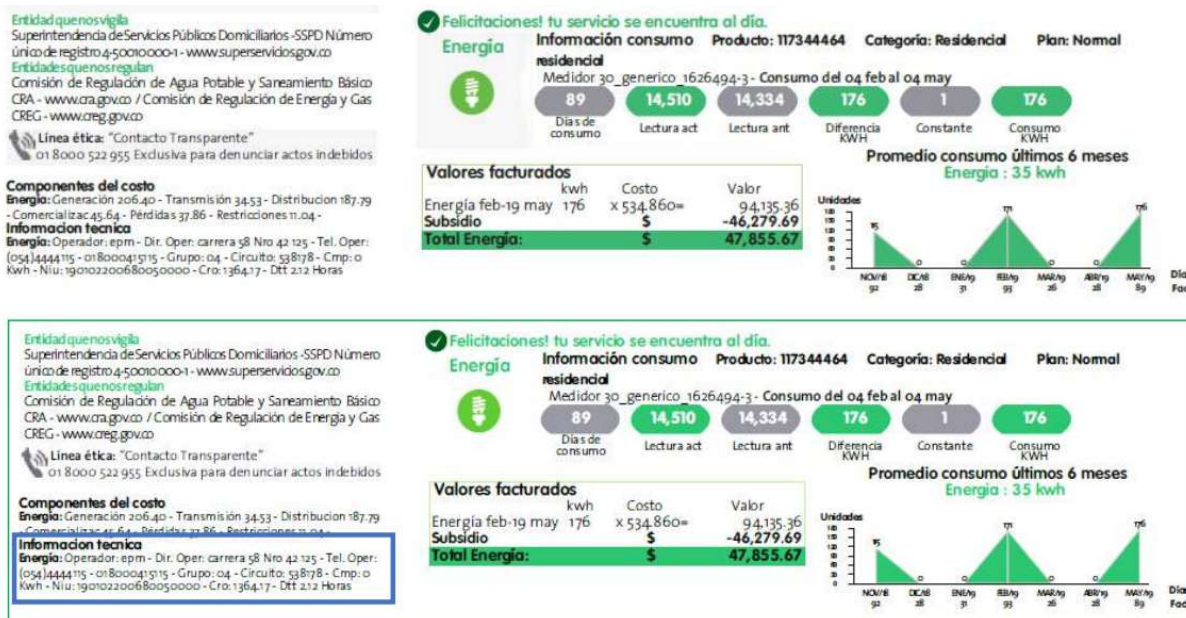
La sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE con excedentes debe ser menor o igual al 50% de la capacidad nominal del circuito. La energía en una hora que pueden entregar los GD o AGPE con excedentes, cuyo sistema de generación diferente al fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, menor o igual al 50% de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria en el año anterior al de solicitud de conexión. Si es fotovoltaico, se calcula en la franja entre 6 am y 6 pm (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

CNO (Consejo Nacional de Operación) Acuerdo 1522 del 2022: Definió los requisitos de protecciones para los autogeneradores a pequeña escala y los generadores distribuidos. También existe un documento del CNO para las pruebas necesarias (Consejo Nacional de Operación, 2021).

6.2 Proceso de conexión para AGPE y GD hasta 100 kW

Desde el 1 de marzo de 2018 entró en vigor la Resolución CREG 030 de 2018, donde se regulan las actividades de generación a pequeña escala y generación distribuida. En noviembre de 2021 se publica la resolución CREG 174 de 2021 que define las reglas que permiten a los usuarios conectarse al Operador de Red (OR) de manera fácil y sencilla, sea como autogeneradores o generadores distribuidos (Grupo EPM, 2021).

Para poder realizar este trámite, se debe diligenciar el Formulario de conexión simplificada que se encuentra en la página oficial de Empresas Públicas de Medellín accediendo mediante el siguiente link: <https://aplicaciones.epm.com.co/serviciosdigitales/#/solicitante?transaccionId=34>. Este formulario es de acceso público, se debe registrar teniendo un correo electrónico y crear una contraseña, el formulario solicita la siguiente información: dirección de la instalación, número del circuito y número de transformador que se encuentran en la factura de servicios públicos (ver Figura 13).



Revisa tu factura de servicios públicos, servicio de energía.

Figura 13. Datos técnicos en cuenta de servicio público.

Fuente: <https://acortar.link/4iU6vT>

6.2.1 Primer paso: Se debe consultar la disponibilidad del punto de conexión. Se solicita ingresar el número de circuito y la potencia de generación en los espacios indicados en el formulario y oprimir simularlo. De esta manera se verifica los colores que genera este formulario en la parte final para el cumplimiento de las condiciones como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Código de colores en plataforma de EPM.

Fuente: <https://acortar.link/4iU6vT>

El código de colores se interpreta de esta manera:

Color verde: se puede seguir diligenciando el Formulario de solicitud de conexión simplificada.

Color naranja y amarillo: alguna de las condiciones para conectarse está en el límite de cumplimiento, puede requerirse alguna condición específica para la conexión, sin embargo, se puede diligenciar el Formulario de solicitud de conexión simplificada.

Color rojo: se presenta incumplimiento de alguno de los parámetros establecidos en la resolución para la conexión. Para realizar la Solicitud de conexión simplificada se debe presentar el Estudio de conexión simplificada.

Cabe resaltar que esta consulta de disponibilidad será solicitada en el formulario, siempre y cuando se declare que se entregarán excedentes (Grupo EPM, 2021).

6.2.2 Segundo paso: Se debe anexar los siguientes documentos en el formulario de conexión:

- Memorias de cálculo y selección del sistema de medida.
- Esquema de protecciones de voltaje y frecuencia del punto de conexión.
- El tipo de conexión a tierra, tanto para la tecnología de generación, como para punto de conexión.
- Diagrama unifilar.
- Consulta de disponibilidad o estudio de conexión simplificado.
- Certificado de capacitación o experiencia en la instalación de al menos 1 año de experiencia específica acorde con el tipo de tecnología a instalar.

El operador de red entregará respuesta a la solicitud de viabilidad a los cinco o quince días hábiles, contados a partir del día siguiente del recibo de la solicitud y dependiendo de su complejidad. Su vigencia se rige de acuerdo con el artículo 15 de la resolución CREG 174/ de 2021. Transcurrida la vigencia, se liberará la disponibilidad y se deberá iniciar nuevamente el trámite (Grupo EPM, 2021).

6.2.3 Tercer paso: La visita de pruebas se realiza dos (2) días antes de la fecha estimada de conexión del proyecto de autogeneración. Los documentos que se debe presentar en las pruebas de conexión son:

- Certificación de conformidad con el RETIE (Dictamen y Declaración de Cumplimiento).
- Certificado de conformidad de producto y certificados de calibración vigentes para el sistema de medición (cuando se realice cambio de medidor).
- Especificaciones técnicas de inversores y sistemas de generación.

Si en la documentación o pruebas realizadas sobre la instalación se presenta alguna inconsistencia, se debe programar una nueva visita en los siete (7) días hábiles siguientes, y si se requieren visitas adicionales, el costo de estas será asumido por el cliente.

Importante: Si la instalación tiene entrega de excedentes, es obligatorio el cambio de medidor actual a uno bidireccional con registro horario. La conexión del sistema debe incluir un tipo de protección anti-isla, que garantice que no se entregue energía mientras la red del operador

permanezca desenergizada. Si no se exporta energía a la red, se deberá instalar un sistema limitador de potencia inversa (Grupo EPM, 2021).

6.2.4 Cuarto paso: Para la conexión, a los dos (2) días siguientes de aprobada la visita de pruebas, se realizará la puesta en servicio y el cambio del medidor, en caso de que se decida entregar excedentes (Grupo EPM, 2021).

6.2.5 Quinto paso: Para que el operador de red pueda reconocer el pago de excedentes de manera mensual, luego de la conexión se debe realizar el proceso de inscripción de proveedores. Esta actividad solo se debe realizar en caso de que, como cliente, se decida entregar sus excedentes de energía a la red (Grupo EPM, 2021).

Después de la conexión se debe aportar la siguiente información:

- Formato matrícula de terceros, diligenciado y firmado.
- RUT (Registro único tributario).
- Fotocopia de la cédula.
- Declaración juramentada donde se indique que no está obligado a facturar, en caso de que no declare.
- Diligenciar y firmar el formulario para el conocimiento del tercero (LAFT).
- Certificación bancaria (con vigencia inferior a 3 meses).
- Si es persona jurídica, se debe tener en cuenta los documentos adicionales solicitados en el formato de matrícula de terceros.

6.3 Equipos instalados en I.U. Pascual Bravo

Se realiza visita en el plantel educativo del I.U. Pascual Bravo, y se toma como referencia los siguientes datos de equipos de medida, transformadores distribuidos en la institución, y equipos de los sistemas solares fotovoltaicos instalados hasta la fecha.

6.3.1 Equipos de medida. La I.U. Pascual Bravo tiene un frente de medida por el operador de red EPM (Empresas Públicas de Medellín) que se encuentra en el bloque 25 (Administrativo), la

medida se toma a nivel de tensión de 13,2 kV mediante un medidor bidireccional, adicionalmente tiene otro medidor bidireccional como respaldo en caso de alguna falla que presente el principal (ver figura 15); este equipo esta abalado por la norma para sistemas solares fotovoltaicos, debido a que se debe medir la energía tomada de la red como también la energía de generación de los sistemas solares para inyectarlo a la red en caso de entregar excedentes.

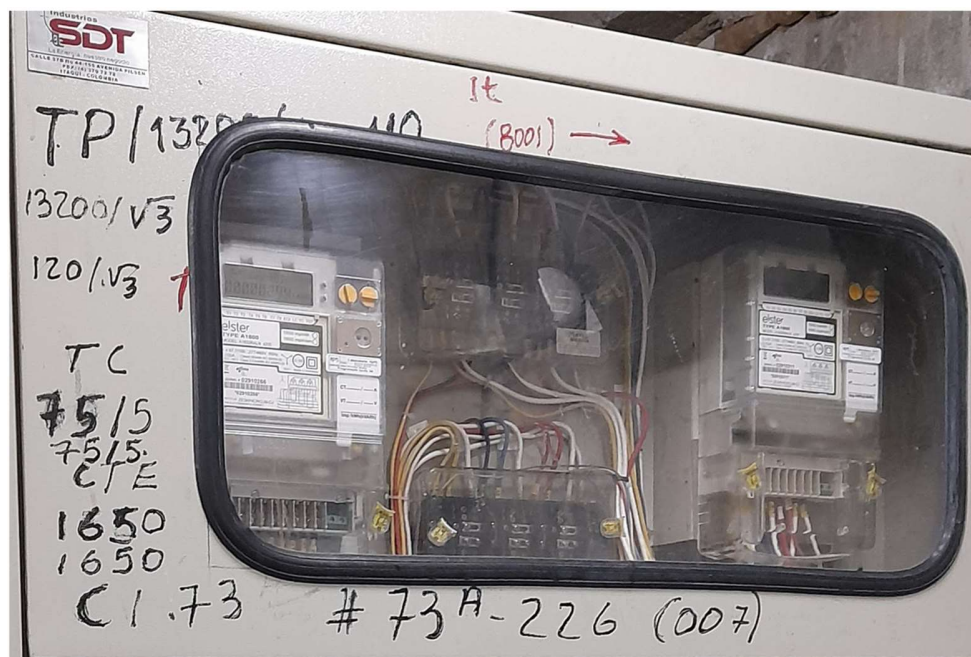


Figura 15. Medidores bidireccionales.

Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

6.3.2 Equipos de transformación. El plantel educativo tiene 5 transformadores distribuidos de la siguiente manera:

En el bloque 25 (Administrativo) está ubicada la subestación donde tiene un transformador con una capacidad de 500 kVA; este alimenta las cargas de los bloques 25 (Administrativo), bloque 24 (Biblioteca) y bloque 23 (Teatro). En la Figura 16 muestra el transformador ubicado en la subestación en el bloque administrativo.



Figura 16. Transformador de 500 kVA del bloque 25.
Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

En el bloque 26 (Edificio Pedro Nel Gómez) está ubicada en el poste a un costado de las instalaciones donde tiene instalado un transformador con una capacidad de 45 kVA; este alimenta las cargas del bloque 26 (ver Figura 17).



Figura 17. Transformador de 45 kVA del bloque 26.
Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

En un costado de la cancha sintética de fútbol, está ubicada en el poste un transformador con una capacidad de 45 kVA; este alimenta las cargas de 36 reflectores de la cancha de fútbol (ver Figura 18).



Figura 18. Transformador de 45 kVA de la cancha de futbol.
Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

En el bloque 19 (Laboratorios de metalografía y fundición) está ubicada en el poste a un costado de los laboratorios donde tiene instalado un transformador con una capacidad de 150 kVA; este alimenta las cargas del bloque 19 (ver Figura 19).



Figura 19. Transformador de 150 kVA del bloque 19.
Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

En el bloque 6 está ubicada en la subestación donde tiene instalado un transformador con una capacidad de 1000 kVA; este alimenta las cargas del resto de los bloques del I.U. Pascual Bravo, siendo este de mayor capacidad y cubre una gran totalidad del plantel educativo (ver Figura 20). Este transformador se encuentra respaldado por una planta eléctrica, pero solo para alimentar el bloque 6.



Figura 20. Transformador de 1000 kVA del bloque 6.
Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

En conclusión, la Institución cuenta con una capacidad instalada total en transformación de 1740 kVA.

6.3.3 Sistemas solares fotovoltaicos. En el bloque 25 (Administrativo) se encuentra una capacidad instalada en paneles solares de 9 kWp, tienen una potencia pico por cada metro cuadrado de 156,74 Wp/m² con una eficiencia del 15,67%. Estos sistemas fueron instalados por la empresa HYBRYTEC-Energía Solar. Cada panel solar fotovoltaico tiene una capacidad de 255 Wp y tecnología policristalina. En la Figura 21 se muestra los paneles instalados en el techo del bloque administrativo, adicional tiene un inversor que entrega una potencia máxima de 10 kW como se muestra en la Figura 22.



Figura 21. Paneles solares bloque 25.

Fuente: <https://pascualbravo.edu.co/>

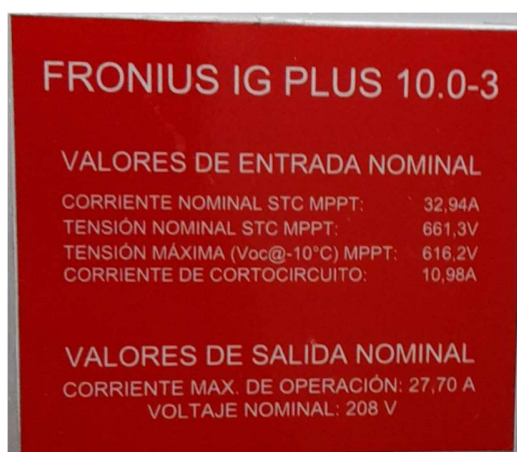


Figura 22. Ficha técnica Inversor 10 kW del bloque 25

Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

El bloque 24 (Biblioteca) tiene dos sistemas solares fotovoltaicos, el primer sistema solar cuenta con una capacidad en paneles solares de 13 kWp tienen una potencia pico por cada metro cuadrado de 156,74 Wp/m² con una eficiencia del 15,67%. Estos sistemas fueron instalados por la empresa HYBRYTEC-Energía Solar. Cada panel solar fotovoltaico tiene una capacidad de 255 Wp y tecnología policristalina. y un inversor que entrega una potencia máxima de 11,4 kW como se muestra en la Figura 24; el segundo sistema solar instalado por la empresa Erco con una capacidad en paneles solares de 44 kWp tiene instalado 110 paneles solares fotovoltaicos tipo PERC, tecnología monocristalina, cada uno de 400 Wp y eficiencia del 19,88%, para una capacidad total instalada en paneles de 44 kWp. En la Figura 23 se muestra los paneles instalados

en el techo del bloque de biblioteca, adicional tiene un inversor que entrega una potencia máxima 30 kW como se muestra en la Figura 25.

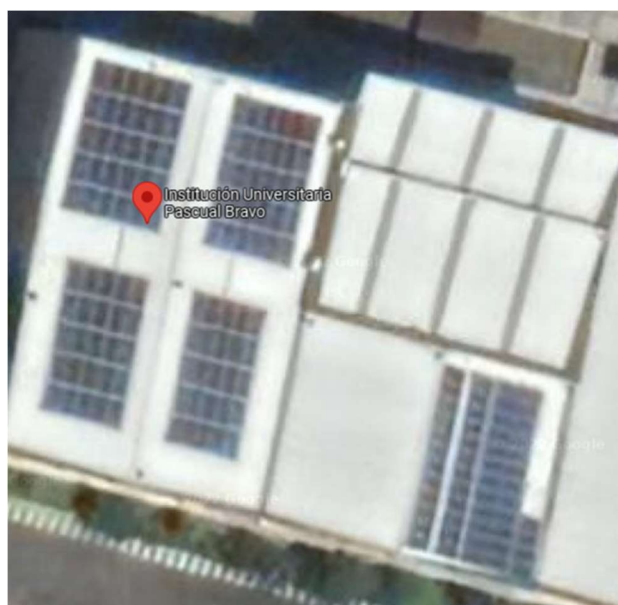


Figura 23. Paneles solares bloque 24.

Fuente: <https://pascualbravo.edu.co/>

Fronius www.fronius.com		Model No. Fronius IG Plus V 11.4-3 Delta	
		Part No. 4,210,119,800	
		Ser. No. 26214501	
AC nominal operating voltage	208 V	240 V	
AC operating voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	
AC nominal operating frequency	60 Hz / 3 phase		
AC operating frequency range	59.3 - 60.5 Hz		
AC maximum continuous output current	31.6 A	27.4 A	
AC maximum continuous output power	11400 W		
AC nominal output at 50°C (122°F)	9140 W	10250 W	
AC output power factor	1		
DC operating voltage range	230 - 500 V		
DC maximum system voltage	600 V		
DC maximum continuous current	53.3 A		
Admissible ambient temperature -25...55°C (-13...131°F) Enclosure Type 3R This utility-interactive inverter is provided with integral DC Ground-Fault Detector/Interrupter. This device complies with UL 1741, IEEE 1547 and FCC 15 Class B.			

Figura 24. Ficha técnica de inversor 11.4 kW del bloque 24.

Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

CHINT POWER	
Name:	Solar (PV) Grid Inverter
Product Model:	CPS SCA30KTL-T/SA
Max. Input Voltage:	d.c.800 V
Input Voltage Range:	d.c.200-750 V
Max. Input Current:	33/33/22/22 A
PV:	42/42/28/28 A
Rated Output Voltage:	a.c.208/220/240 V,3N~+⊕
Rated Output Frequency:	50/60 Hz
Rated Output Current:	76 A
Max. Output Current:	83 A
Rated Output Power@76A:	27.5/29/31.5 kW
Max. Apparent Power:	33 kVA
Power Factor Range:	-0.8(lagging) ~ 0.8(leading)
Enclosure:	IP65
Temperature Range:	-25 ~ +60 °C
Protective Class:	I




Figura 25. Ficha técnica de inversor 30 kW del bloque 24.

Fuente: Fotografiada por Habib Geliz y Daniel Villa

El bloque 6 tiene dos sistemas solares fotovoltaicos, el primer sistema solar instalado por la empresa Hybrytec con una capacidad en paneles solares de 14,54 kWp tienen una potencia pico por cada metro cuadrado de 156,74 Wp/m² con una eficiencia del 15,67%. Estos sistemas fueron instalados por la empresa HYBRYTEC-Energía Solar. Cada panel solar fotovoltaico tiene una capacidad de 255 Wp y tecnología policristalina. En la Figura 26 se muestra los paneles instalados en el techo del bloque 6, adicional tiene un inversor que entrega una potencia máxima de 22,7 kW como se muestra en la Figura 27; el segundo sistema solar instalado por la empresa Erco se tiene 105 paneles solares fotovoltaicos tipo PERC, tecnología monocristalina, cada uno de 400 Wp y eficiencia del 19,88%, para una capacidad total instalada en paneles de 42 kWp, adicional tiene un inversor que entrega una potencia máxima 22,7kW como se muestra en la Figura 25.



Figura 26. Paneles solares bloque 6.
Fuente: <https://pascualbravo.edu.co/>



Figura 27. Inversores de 22.7 kW del bloque 6.
Fuente: Tomada por Habib Geliz y Daniel Villa

La institución tiene instalado una capacidad en paneles solares de 122,54 kWp y en inversores 96,8 kW como se muestra en la Tabla 1, es decir, no tiene la misma capacidad; cabe mencionar que la capacidad de potencia máxima que tienen los inversores es la que legaliza el operador de red EPM.

Además, la norma menciona que para legalizar el sistema solar fotovoltaico ante el operador de red EPM, se tiene en cuenta el valor menor de potencia, ya sea, la capacidad instalada en paneles solares o la potencia máxima que genera el inversor.

Tabla 1.
Capacidad de paneles e inversores

Bloque	Capacidad instalada en paneles solares (kWp)	Potencia máxima del inversor (kW)	Capacidad legalización ante EPM (kW)
25	9	10	9
24	13	11,4	11,4
	44	30	30
6	14,54	22,7	14,54
	42	22,7	22,7
TOTAL	122,54	96,8	87,64

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

En conclusión, la I.U. Pascual Bravo tiene una capacidad de potencia de legalización ante el operador de red EPM de un total de 87,64 kW.

6.4 Evaluación energética actual

De acuerdo con los análisis que se realizaron en los proyectos de energía solar fotovoltaicos implementados en la I.U. Pascual Bravo se tuvieron en cuenta las especificaciones técnicas de los paneles, capacidad instalada y energía consumida por la Institución como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.
Capacidad generada al día y mes

Capacidad de generación instalada (kWp)	Radiación solar en Medellín (horas)	Capacidad generada día (kWh)	Capacidad generada mes (kWh)
87,64	4,5	394,38	11.831,4

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

La institución cuenta con una capacidad de 87,64 kW, en la ciudad de Medellín en promedio se debe tener en cuenta 4,5 horas de mayor radiación solar, esto da como resultado 394,38 kWh en

un día, y para el mes los sistemas solares entregan 11.831,4 kWh mes. En la Tabla 3 se muestra los consumos del año 2021 de la I.U. Pascual Bravo, donde se visualiza 2 tipos de cobros en diferentes franjas horarias, en punta entre 9am a 12m y de 6pm a 9pm, y fuera de punta entre 9pm a 9am y 12m a 6pm.

Tabla 3.
Consumos en el periodo del año 2021

CONSUMO		ENERGÍA CONSUMIDA [kWh]			VALORES ENERGÍA \$/kWh	
INICIO	FIN	PUNTA	F. PUNTA	TOTAL	PUNTA	F. PUNTA
4/01/2021	2/02/2021	14.520	40.920	55.440	469,39	468,05
2/02/2021	4/03/2021	19.800	54.120	73.920	472,21	470,85
4/03/2021	5/04/2021	18.480	46.200	64.680	475,04	473,68
5/04/2021	4/05/2021	11.880	35.640	47.520	477,89	476,52
4/05/2021	2/06/2021	13.200	35.640	48.840	480,76	479,38
2/06/2021	2/07/2021	15.840	43.560	59.400	483,64	482,26
2/07/2021	3/08/2021	22.440	58.080	80.520	486,55	485,15
3/08/2021	2/09/2021	35.640	73.920	109.560	489,47	488,06
2/09/2021	4/10/2021	38.280	79.200	117.480	493,38	491,97
4/10/2021	3/11/2021	35.640	73.920	109.560	497,33	495,90
3/11/2021	3/12/2021	31.680	69.960	101.640	501,31	499,87
3/12/2021	4/01/2022	18.480	50.160	68.640	505,32	503,87
		275.880	661.320	937.200	486	485

Fuente: Construcción propia con datos de Facturas de EPM suministradas por la Vicerrectoría Administrativa de la I.U. Pascual Bravo.

Para los cálculos se toma como referencia la facturación del mes de septiembre a octubre como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Energía consumida vs costos

CONSUMO		ENERGÍA CONSUMIDA [kWh]			VALORES ENERGÍA \$/kWh	
INICIO	FIN	PUNTA	F. PUNTA	TOTAL	PUNTA	F. PUNTA
2/09/2021	4/10/2021	38.280	79.200	117.480	493,38	491,97

Fuente: Construcción propia con datos de Facturas de EPM suministradas por la Vicerrectoría Administrativa del I.U. Pascual Bravo.

Teniendo en servicio los sistemas solares fotovoltaicos (SSFV) en este mes de referencia se tiene un ahorro de 5.820.693,86 pesos, y se pasaría de pagar 67.003.699 a 61.183.005 pesos como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5.

Valores EPM vs SSFV

VALORES ENERGÍA EPM			VALORES ENERGÍA SSFV			VALOR FINAL CON SSFV EN SERVICIO
PUNTA	F. PUNTA	TOTAL	Capacidad kWh	Valor F. PUNTA	Ahorros	TOTAL
18.886.586	38.964.024	67.003.699	11.831,4	491,97	5.820.693,86	61.183.005,54

Fuente: Construcción propia con datos de Facturas de EPM suministradas por la Vicerrectoría Administrativa del I.U. Pascual Bravo

En artículo del periódico El Espectador menciona que en el oriente Antioqueño se realizó una instalación de paneles solares de 8,19 kWp, y el costo de la instalación fue de 31.600.000 pesos, es decir, el costo de 1 kWp es de 3.858.364 pesos (Gonzalez Rodriguez, 2022).

Debido a que no se tiene el valor total de los contratos para instalación de los proyectos solares fotovoltaicos de la I.U. Pascual Bravo en los diferentes años, se toma como referencia para los cálculos, el valor actual de la instalación por 1 kWp del artículo consultado, que en promedio se encuentra entre 3.500.000 hasta 4.000.000 pesos, dependiendo este valor en la cantidad que se quiere contratar, se tomará el valor más bajo, es decir, 3.500.000 por ser una cantidad de paneles considerable.

Teniendo en cuenta lo anterior la institución tiene 122,54 kWp en paneles solares, tomando un valor de instalación por 1 kWp de 3.500.000, la inversión fue de 428.890.000 pesos como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Costo del proyecto solar

Capacidad instalada en paneles solares (kWp)	\$ / kWp	Valor final del proyecto
122,54	3.500.000	428.890.000

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

Los ahorros mensuales calculados son por un valor de 5.820.693 pesos, que en un año representa 69.848.316 pesos. Haciendo una cuenta simple, sin tener en cuenta incrementos anuales de la energía, costos operativos y financieros, ni otros indicadores económicos, se tendría un tiempo de retorno de la inversión de 6,14 años como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7.

Retorno de inversión

Inversión en el proyecto solar	Valor ahorro con SSFV Mensual	Valor ahorro con SSFV Anual	Retorno años (Inversión/Ahorro anual)
428.890.000	5.820.693	69.848.316	6,14

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

6.5 Evaluación energética en una posible ampliación de capacidad

La institución tiene una capacidad total en transformación de 1.740 kVA, según la norma CREG 174 del 2021, la sumatoria de la potencia instalada de los AGPE con excedentes debe ser menor o igual al 50% de la capacidad nominal. En la Tabla 8 se muestra los kW que se debe tener en cuenta para la evaluación.

Tabla 8.

Capacidad máxima por normativa

Capacidad total en transformación (kVA)	Capacidad máxima por normativa (kVA)	Capacidad máxima por normativa (kW)
1.740	870	696

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

La I.U. Pascual Bravo tiene una capacidad máxima permitida de instalar en paneles solares fotovoltaicos de 696 kWp, restando los 87,64 kWp ya instalados, puede llegar a instalar en nuevos proyectos 608,36 kWp como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.

Capacidad disponible para instalar

Capacidad máxima por normativa (kWp)	Capacidad de generación instalada (kWp)	Capacidad disponible para instalación (kWp)
696	87,64	608,36

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

La institución cuenta con una capacidad disponible para instalación de 608,36 kWp. En la ciudad de Medellín en promedio se debe tener en cuenta 4,5 horas de mayor radiación solar, esto da como resultado 2.737,62 kWh en un día, y para el mes los sistemas solares entregarán 82.128,6 kWh mes como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Capacidad generada en el tiempo

Capacidad de generación instalada (kW)	Radiación solar en Medellín (horas)	Capacidad generada día (kWh)	Capacidad generada mes (kWh)
608,36	4,5	2.737,62	82.128,6

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

Teniendo en cuenta como referencia la facturación del mes de septiembre a octubre del año 2021 de la Tabla 3, sumando la capacidad generada al mes por los sistemas solares existentes de 11.831,4 kWh tomado de la Tabla 2, y la capacidad disponible por instalar de 82.128,6 kWh tomado de la Tabla 10, se llega a un total de 93.960 kWh que se generará por los sistemas solares fotovoltaicos al mes teniendo un ahorro total en la factura de servicios públicos de 46.225.501,2 pesos, pasando de pagar una factura de 67.003.699 a 20.778.197,8 pesos mensuales como se muestra en la Tabla 11.

Para la ampliación de los sistemas solares fotovoltaicos se recomienda instalar paneles solares tipo PERC que es un proceso que añade una capa adicional en la parte trasera del panel solar.

Dicha capa permite reflejar de nuevo hacia la célula parte de los fotones que atraviesan la célula, aumentando así la eficiencia total del panel, tecnología ya utilizada en el bloque 6 y 24, debido que estos tienen mayor eficiencia.

Tabla 11.

Valores EPM vs SSFF de la capacidad total

VALORES ENERGÍA EPM			VALORES ENERGÍA SSFV			VALOR FACTURA EPM CON TOTAL DE SSFV EN SERVICIO
PUNTA	F. PUNTA	TOTAL	Capacidad kWh	Valor F. PUNTA	Ahorros	TOTAL
18.886.586	38.964.024	67.003.699	93.960	491,97	46.225.501,2	20.778.197,8

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

Tomando como referencia los valores del artículo consultado de instalación por kWp, el costo estimado total del proyecto de paneles solares en la I.U. Pascual bravo es de 2.129.260.000 pesos, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12.

Costo proyecto de la capacidad disponible

Capacidad por instalar en paneles solares (kWp)	\$ / kWp	Valor final del proyecto
608,36	3.500.000	2.129.260.000

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

Teniendo en cuenta como referencia la facturación del mes de septiembre a octubre del año 2021 de la Tabla 3, la capacidad disponible total por instalar de 82.128,6 kWh tomado de la Tabla 10 de los nuevos sistemas solares fotovoltaicos, teniendo un ahorro total al mes en la factura de servicios públicos de 40.404.807,342 pesos, pasando de pagar una factura de 67.003.699 a 26.598.891,658 pesos mensuales como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.
Valores EPM vs SSFF de la capacidad nueva disponible

VALORES ENERGÍA EPM			VALORES ENERGÍA SSFV			VALOR FACTURA EPM CON NUEVO SSFV EN SERVICIO
PUNTA	F. PUNTA	TOTAL	Capacidad kWh	Valor F. PUNTA	Ahorros Mensuales	TOTAL
18.886.586	38.964.024	67.003.699	82.128,6	491,97	40.404.807,342	26.598.891,658

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

Nuevamente, haciendo un análisis simple, como se muestra en la Tabla 14, se toma la inversión de 2.129.260.000 y se divide por el ahorro anual de los sistemas solares fotovoltaicos nuevos, reflejados en la cuenta de servicios de un valor de 484.857.688,104 anuales y teniendo en cuenta la legalización de manera oportuna para que estos sistemas entren en servicio de manera inmediata a partir de su instalación según los cálculos matemáticos se obtiene el tiempo de retorno de la inversión en 4,39 años, tomando como referencia los valores del artículo consultado, valores que pueden variar en condiciones actuales de instalación.

Tabla 14.
Retorno de inversión de la capacidad nueva disponible

Inversión en el proyecto solar	Valor ahorro con SSFV Nuevos Mensual	Valor ahorro con SSFV Nuevos Anual	Retorno años (Inversión/Ahorro anual)
2.129.260.000	40.404.807,342	484.857.688,104	4,39

Fuente: diseño de Habib Geliz y Daniel Villa

En artículo del periódico El Espectador menciona que en el oriente Antioqueño se realizó una instalación de paneles solares de 8,19 kWp, en un área de 48 metros cuadrados, es decir, que para 1 kWp instalado se necesita un área disponible de 5,8 metros cuadrados (Gonzalez Rodriguez, 2022).

Para la instalación de los 608,36 kWp se necesita un área de 3.565,48 metros cuadrados, tomando como referencia los valores del artículo mencionado anteriormente.

7. Conclusiones

Los sistemas solares fotovoltaicos representan un medio de generación de energía renovable tomando como fuente la radiación solar, permitiendo aprovechar la energía generada en las diferentes áreas del plantel, generando un ahorro económico en las facturas de servicios públicos.

En este proyecto se realizó una evaluación energética en los proyectos de sistemas solares que tiene el I.U. Pascual Bravo instalados en el momento, se alcanzó el objetivo de evaluar los costos y beneficios de la instalación de estos proyectos, además la normativa que se debe tener en cuenta para la legalización ante el operador de red.

Se debe tener presente el nivel de generación a que se clasificará el sistema solar fotovoltaico a instalar, esto con el fin de tener presente los valores de la normativa que se debe cumplir antes de la instalación.

Según la zona donde se encuentre ubicado geográficamente se puede obtener diferentes valores de radiación solar, teniendo estas zonas con mayor radiación un mejor aprovechamiento de dicha radiación.

Se deben realizar diferentes tipos de reformas en la instalación objeto de la instalación de paneles solares, entre ellos el equipo de medida que no solo registra el consumo de energía como lo hacía anteriormente, y se adiciona la medida de lo que se inyecte por medio del sistema solar fotovoltaico a la red, siendo este denominado un medidor bidireccional.

En las diferentes instalaciones se encontró que la capacidad instalada en paneles solares supera la capacidad de los inversores del sistema, es decir, que si se tiene una capacidad instalada en paneles solares, los inversores nos entregan la capacidad real de generación, siendo esta la que se debe tener en cuenta para efectos de legalización ante el operador de red; también se encontró lo contrario, una capacidad superior en los inversores con respecto a la de los sistemas solares fotovoltaicos, en este caso se tiene en cuenta la capacidad de los paneles solares para efectos de legalización ante el operador de red.

8. Recomendaciones

Al momento de pensar en la instalación de un proyecto de sistema solar fotovoltaico SSFV, se debe tener presente que el valor que se paga por cada kWh al operador de red no será el mismo valor en el caso de entregar excedentes, debido que el valor de venta se factura según el valor de la bolsa energética que se esté cotizando en el momento.

Se debe tener en cuenta las normativas vigentes para la legalización de los proyectos de sistemas solares fotovoltaicos, debido a que no se cumplan los requisitos no se podrá poner en funcionamiento el sistema o entregar excedentes al operador de red.

La institución debe de tener el espacio disponible para instalar los sistemas solares fotovoltaicos, además si la decisión es montarlos en la parte superior de los bloques, debido que la estructura debe de cumplir con la capacidad de carga que soportará los paneles solares.

Al realizar la revisión en los consumos de la institución se pudo notar que en el tiempo mientras se recibió clases de manera virtual continuaban generando consumos relativamente altos, teniendo en cuenta que se encontraba con poco personal y uso de las instalaciones, por ende, se recomienda realizar una revisión de las cargas e identificar qué elementos están teniendo estos consumos y verificar la necesidad de su uso mientras no haya personal en la institución.

9. Referencias

- AutoSolar. (2022). *AutoSolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/paneles-solares/paneles-solares-monocristalinos>
- BBVA. (2020). *¿Cuánta energía consumen los electrodomésticos? Blog Banco BBVA (2020)*. Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cuanta-energia-consumen-los-electrodomesticos/>
- Celsia. (05 de 05 de 2018). *Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son? Blog Celsia (2018)*. Obtenido de <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>
- Celsia. (2020). *Eficiencia Energetica Celsia*. Obtenido de <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- CFO Remoto. (2021). *Costos financieros: tipos, ejemplos y características Blog CFO Remoto (2021)*. Obtenido de <https://blog.cforemoto.com/costos-financieros-tipos-ejemplos-caracteristicas/>
- CHC Energía. (22 de Julio de 2021). *¿Qué son los watts o vatios? Blog CHC Energía (2021)*. Obtenido de <https://chcenergia.es/blog/que-son-los-watts-o-vatios/>
- Cloded Menendez, J. (2020). *Consultoria Tecnologica de Deloitte*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/que-es-power-bi.html>
- CM Comandos Lineares. (2009). *CM Comandos Lineares*. Obtenido de <https://www.cmcomandos.com.br/es/productos/banco-de-baterias-2/>
- Consejo Nacional de Operación. (2020). Requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) colombiano. *CNO* , 4.
- Consejo Nacional de Operación. (2021). Anexo 2 Procedimiento para realizar pruebas a las funciones de protección mínimas de los sistemas de generación de que tratan las Resoluciones CREG 148 y 174 de 2021. *CNO*.
- Devoto, V. (2017). Radiación solar y relacion con el medio ambiente. *Universidad Vizcaya de las Américas*, 2.

- Endesa. (2021). *Fundación Endesa*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/generador-electrico>
- Enel. (2018). *Enel*. Obtenido de <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar-y-como-funciona.html>
- Escalada. (2018). *Inteva Energía Solar*. Obtenido de <https://inteva.com.ar/sistemas-on-grid/>
- Ezpazo Abalar. (2010). *Edu*. Obtenido de https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contido/13_la_generacin_de_electricidad.html
- Gonzalez Rodriguez, H. (7 de Enero de 2022). *Revista El Espectador*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/opinion/columnistas/hernan-gonzalez-rodriguez/costo-de-la-energia-solar/>
- Grupo EPM. (2010). *Grupo EPM*. Obtenido de <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/servicioal-cliente/informacion-sobre-tarifas>
- Grupo EPM. (2018). Autogeneración a Pequeña Escala (AGPE) y Generación Distribuida (GD). *Cartilla 9, Grupo EPM, 2*.
- Grupo EPM. (22 de Noviembre de 2021). *Usuarios Autogeneradores y Generadores Distribuidos - Resolución CREG 174 de 2021*. Obtenido de <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/autogeneradores#Tipos-de-generadores-de-energ-a-solar-765>
- HG Ingeniería. (16 de Octubre de 2018). *HG Ingeniería*. Obtenido de <https://hgingeneria.com.co/modulos-solares-fotovoltaicos-monocristalino-o-policristalino/>
- HG Ingeniería. (26 de Septiembre de 2018). *Medidores bidireccionales*. Obtenido de <https://hgingeneria.com.co/que-son-los-medidores-bidireccionales-y-en-que-me-benefician/>
- IDEAM. (2020). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260
- Inteva Energía Solar. (2018). *Inteva Energía Solar*. Obtenido de <https://inteva.com.ar/sistemas-on-grid/>

- Junta de Castilla y Leon. (2020). *Energía y Mina en Castilla y Leon*. Obtenido de <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/generacion-energia-electrica.html>
- Kosner. (30 de Noviembre de 2017). *Climatización Eficiente*. Obtenido de <https://acortar.link/LZTpi3>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). RESOLUCIÓN No. 174 DE 2021. *COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS*.
- Monsolar. (2015). *¿Cuándo utilizar un regulador PWM o un regulador MPPT? Blog Monsolar (2015)*. Obtenido de <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/reguladores-de-carga.html>
- Nuclear, F. (2022). *Foro de la Industria Nuclear Española*. Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-energia/>
- REYES GUERRERO, N. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA REGENERATIVO DE CARGA DE BATERIAS CON PANELES SOLARES PARA UN VEHICULO ELECTRICO KIA SOUL. *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA*, 34.
- Reyes Guerrero, N. (2018). Diseño de un sistema regenerativo de carga de baterías con paneles solares para un vehículo eléctrico Kia Soul. *Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*, 19.
- Rus Arias, E. (2021). Tabulación de datos. *Economipedia.com*.
- Schneider Electric. (2020). *Protección contra potencia inversa activa*. Obtenido de https://product-help.schneider-electric.com/ED/MTZ/Micrologic_X_User_Guide/EDMS/DOCA0102ES/DOCA0102xx/ProtectionFunctions/ProtectionFunctions-18.htm
- Sotysolar. (02 de 04 de 2021). *¿Qué inversor solar elegir para tu instalación de placas solares? Blog Sotysolar (2021)*. Obtenido de <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>
- Tecnosol. (5 de Julio de 2019). *¿Qué ventajas tiene la tecnología PERC? Blog Tecnosol (2019)*. Obtenido de <https://tecnosolab.com/noticias/tecnologia-perc-y-half-cell-en-paneles-solares/>
- UPME. (2018). Cartilla UPME, Energías Renovables. *Unidad de Planeación Minero Energética*, 10. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Iluminacion/CarFNCE.pdf>

Westreicher, G. (14 de Diciembre de 2020). *Economipedia.com*. Obtenido de <https://acortar.link/GJeFz6>

Wikipedia. (2017). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Gr%C3%A1fica>