

Diseño de un sistema fotovoltaico para la plaza de mercado La Concordia en  
Bucaramanga Santander

Yurbreiner Reinaldo Barajas López

Juan Andrés Velandia Cárdenas

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Magíster en Ingeniería Eléctrica

Codirector

German Osma Pinto

Doctor en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2026

### **Dedicatoria**

Este trabajo de grado va dedicado a mis padres por su esfuerzo y perseverancia porque siempre quisieron que su hijo fuera ingeniero, a ellos les debo lo que soy.

A mi familia, mis tías y mi prima que siempre me brindaron apoyo y estuvieron presente en toda mi vida universitaria.

**Yurbreiner Reinaldo Barajas López**

### **Agradecimientos**

Primero que todo, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento, por todas las bendiciones y por las enseñanzas que me ha dado a lo largo de este camino, A mi mamá, Vilma Leomert López Jaimes, a mi papá, Joaquín Evelio Barajas Prada, y a mi hermano, Yonier Augusto Barajas López, gracias por ser un pilar fundamental en mi formación, primero en valores y luego en lo académico. Su amor, apoyo incondicional y confianza en mí han sido esenciales para alcanzar esta meta.

A mis tías, y mi prima Maribel quienes siempre estuvieron presentes como un respaldo constante durante toda mi formación, tanto básica como profesional, les agradezco de corazón por su compañía y apoyo inquebrantable.

A la Universidad Industrial de Santander (UIS) y a las Residencias Universitarias RESIUIS y a mi escuela E3T, gracias por brindarme un espacio de aprendizaje y crecimiento personal. En este lugar conocí a grandes amigos y colegas, con quienes compartí momentos inolvidables y de quienes aprendí el verdadero valor de la calidad humana. Siempre los llevaré en mi corazón.

A mis profesores, gracias por su dedicación, por su interés genuino, su asertividad, su disponibilidad y por el amor con el que ejercen su profesión. Gracias por dejar en mí enseñanzas valiosas que marcaron profundamente mi proceso de formación.

A todos ustedes, mi más sincero y eterno agradecimiento.

**Yurbreiner Reinaldo Barajas López**

Agradezco en primer lugar a mis padres, quienes fueron mi mayor apoyo a lo largo de todo este proceso. En los momentos difíciles me dieron la fuerza para seguir adelante, me motivaron cuando sentía que las cosas no iban bien y celebraron conmigo cada logro, haciéndome sentir siempre como una persona capaz, valiosa y especial. Sin su acompañamiento constante, este objetivo no habría sido posible.

A mi hermano, por ser un apoyo incondicional y una fuente diaria de alegría. Sus risas, bromas y palabras de aliento hicieron más liviano el camino, y su deseo de verme como un ejemplo y su orgullo por lo que he logrado fueron una motivación permanente para dar lo mejor de mí.

Agradezco también al programa de tutoría de ciclo básico, que me permitió fortalecer mis conocimientos y, sobre todo, compartirlos con otras personas. Esta experiencia no solo contribuyó a mi crecimiento académico, sino también a mi desarrollo personal y profesional, al brindarme la oportunidad de enseñar, aprender y asumir mayores responsabilidades.

A mis profesores, quienes hicieron de mi paso por la universidad una experiencia tan enriquecedora como exigente. Aunque hubo momentos de dificultad, cada reto planteado contribuyó a mi formación y a ser una mejor versión de mí mismo, tanto en lo académico como en lo personal.

Finalmente, agradezco a Dios, quien, fue una fortaleza en los momentos más complejos del camino. Hoy culmino esta etapa con gratitud, con aprendizajes valiosos y con el orgullo de ser ingeniero egresado de la Universidad Industrial de Santander.

**Juan Andrés Velandia Cardenas**

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	14
1. Objetivos.....	17
1.1 Objetivo General .....	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Presentación del Proyecto y Contextualización.....	18
2.1 Descripción de la Plaza de Mercado La Concordia.....	18
2.2 Marco Teórico y Normativo.....	20
2.2.1 Transición Energética y Rol de la Energía Solar Fotovoltaica.....	20
2.2.2 Fundamentos de la Energía Solar Fotovoltaica.....	21
2.3 Infraestructura Eléctrica Existente.....	22
2.3.1 Características del Sistema de Distribución ESSA.....	23
3. Análisis de la Demanda Energética .....	24
3.1 Metodología de Recolección de Información.....	24
3.2 Caracterización del Consumo Energético.....	26
4. Datos Climatológicos y Recurso Solar .....	28
4.1 Fuente de Datos de Irradiación Solar.....	28
4.2 Análisis del Potencial Solar de la Zona.....	29
5. Simulación y Análisis del Sistema Fotovoltaico .....	30
5.1 Simulación del Sistema en PVsyst.....	30
5.2 Análisis de Sombras mediante PVSOL.....	32

5.3 Análisis Asistido con PVGIS.....	33
5.4 Resultados de Producción Energética.....	35
6. Evaluación del Sistema Fotovoltaico .....	37
6.1 Descripción General de la Instalación Fotovoltaica .....	37
6.2 Evaluación Energética del Sistema.....	38
6.3 Impacto en la Demanda de la Plaza de Mercado .....	40
6.4 Beneficios Tributarios.....	41
7. Conclusiones y Recomendaciones .....	43
7.1 Conclusiones.....	43
7.2 Recomendaciones .....	44
Referencias Bibliográficas.....	45

**Lista de Ilustraciones**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Relación de Contenidos.....	16
Figura 2. Ubicación de la plaza de mercado.....	18
Figura 3. Estudio de conexión AGPE.....	23
Figura 4. Consumo Promedio Año 2025 Plaza de Mercado La Concordia.....	27
Figura 5. Curva Característica de Consumo Promedio Diario Locales.....	27
Figura 6. NASA POWER.....	29
Figura 7. Interfaz de PVsyst.....	31
Figura 8. Interfaz de Usuario PVGIS.....	35
Figura 9. Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico.....	38
Figura 10. Costo Energético Antes y Después de Implementar el Sistema.....	41

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Distribución de Locales Actividad Comercial y su Consumo Energético.....	19
Tabla 2. Porcentaje Anual de Sombreado en Cada Sistema. ....	33
Tabla 3. Caracterización del Sistema Planteado .....	36
Tabla 4 Enfoque de Resultados de los Sistemas Fotovoltaicos .....	39

## **Lista de Apéndices**

Apéndice A. Memoria De Cálculo

Apéndice B. Caracterización Energética

Apéndice C. Planos y Diagramas Unifilares

Apéndice D. Presupuesto del Proyecto

Apéndice E. Recibos por local

Apéndice F. Análisis Matriz de Riesgos

Apéndice G. Análisis de Rayos

Apéndice H. Puesta a Tierra

Apéndice I. Dimensionamiento

## Glosario

**Autoconsumo:** Modalidad de generación de energía eléctrica en la que la energía producida por un sistema fotovoltaico es utilizada directamente por el propio usuario que la genera.

**Conexión a Red:** Configuración en la cual un sistema fotovoltaico opera interconectado con la red eléctrica del operador de red.

**Corriente Alterna (CA):** Tipo de corriente eléctrica utilizada en los sistemas de distribución eléctrica, caracterizada por la variación periódica de su magnitud y sentido.

**Corriente Continua (CC):** Tipo de corriente eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos, en la cual la energía fluye en un solo sentido.

**Eficiencia Energética:** Uso racional y optimizado de la energía eléctrica para reducir el consumo sin afectar el desempeño de los equipos.

**Energía Solar:** Energía proveniente de la radiación emitida por el sol, aprovechable para la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos.

**Generación Distribuida:** Producción de energía eléctrica a pequeña o mediana escala cerca del punto de consumo, generalmente conectada a redes de baja o media tensión.

**Irradiación Solar:** Cantidad de energía solar que incide sobre una superficie durante un periodo determinado, expresada en kWh/m<sup>2</sup>.

**kWp (Kilovatio pico):** Unidad de potencia que representa la potencia máxima que puede generar un sistema fotovoltaico bajo condiciones estándar de prueba.

**Operador de Red (OR):** Entidad responsable de la operación, el mantenimiento y la administración de la red de distribución eléctrica.

**PVGIS:** Herramienta interactiva desarrollada por la Comisión Europea para el análisis del recurso solar y la estimación de producción energética fotovoltaica.

**PVSOL:** Software especializado en la simulación tridimensional y análisis de sombras en sistemas fotovoltaicos.

**PVsyst:** Software de simulación utilizado para el diseño y análisis detallado de sistemas fotovoltaicos a nivel de ingeniería.

**Radiación Solar Global:** Suma de la radiación directa y difusa que incide sobre una superficie.

**Recurso Solar:** Disponibilidad de radiación solar en una región determinada, evaluada a partir de datos climatológicos históricos.

**Sombras Cercanas:** Obstrucciones físicas que reducen la radiación solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos y afectan su rendimiento.

**Strings:** Cadena o serie de paneles solares conectados eléctricamente en serie

**Viabilidad Técnica:** Evaluación que determina si un proyecto puede implementarse de forma segura y eficiente desde el punto de vista de la ingeniería.

## Resumen

**Título:** Diseño de un sistema fotovoltaico para la plaza de mercado “La Concordia”,

Bucaramanga Santander

**Autores:** Yurbreiner Reinaldo Barajas López & Juan Andrés Velandia Cárdenas

**Palabras Clave:** Autogeneración, Demanda Energética, Caracterización Energética,

Infraestructura Eléctrica, Sistema Fotovoltaico

**Descripción:** El presente proyecto aborda el diseño y validación de un sistema de generación fotovoltaica para la Plaza de Mercado La Concordia de Bucaramanga surgiendo como respuesta frente a: Aumento progresivo en la demanda de energía eléctrica, incremento de tarifas eléctricas y las deficiencias técnicas de una infraestructura eléctrica que no ha sido modernizada en los últimos 20 años, situación que obstaculiza la incorporación organizada de sistemas de autogeneración, además de comprometer la estabilidad del suministro eléctrico. La ejecución del proyecto se concibió en dos fases sucesivas. La primera, objeto de este análisis se centró en establecer comunicación con los establecimientos comerciales para presentar la propuesta, identificar sus necesidades energéticas y solicitar la participación voluntaria de los usuarios interesados, impactando a cinco establecimientos que concentraban la mayor demanda energética de la plaza en conjunto, particularmente entre aquellos dedicados a la comercialización de productos cárnicos y lácteos, donde es característico el funcionamiento ininterrumpido de sistemas de refrigeración y equipos de alta potencia. Esta selección representa aproximadamente el 54% de la capacidad máxima admisible para la integración al transformador desde un Autogenerador de Pequeña Escala (AGPE), conforme a lo establecido en la Resolución CREG 174 de 2021, constituyendo una muestra técnicamente representativa del comportamiento eléctrico general de la Plaza de Mercado. No obstante, en la segunda fase se contempla replicar esta metodología con los establecimientos restantes hasta completar la totalidad de la capacidad del transformador permitida por la normativa colombiana para AGPE. La caracterización energética incluyó la revisión detallada de facturas de consumo, elaboración de perfiles horarios e identificación de las cargas dominantes en cada establecimiento de manera que se constituye una base técnica para el dimensionamiento apropiado de los sistemas fotovoltaicos. En cuanto al diseño eléctrico, se desarrollaron criterios de selección y compatibilidad de equipos, elaboración de diagramas unifilares y determinación de conductores y protecciones AC y DC junto con cálculos de regulación de tensión y pérdidas eléctricas.

### Degree Work

**Faculty of Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Master in Engineering.**

### **Abstract**

**Title:** Design of a photovoltaic system for the “La Concordia” market square, Bucaramanga Santander

**Authors:** Yurbreiner Reinaldo Barajas López & Juan Andrés Velandia Cárdenas

**Keywords:** Self-generation, Energy Demand, Energy Characterization, Electrical Infrastructure, Photovoltaic System.

**Description:** This project addresses the design and validation of a photovoltaic power generation system for La Concordia Market Square in Bucaramanga, emerging as a response to: a progressive increase in electricity demand, rising electricity rates, and the technical deficiencies of an electrical infrastructure that has not been modernized in the last 20 years, a situation that hinders the organized incorporation of self-generation systems, as well as compromising the stability of the electricity supply. The project was designed to be implemented in two successive phases. The first phase, which is the subject of this analysis, focused on establishing communication with commercial establishments to present the proposal, identify their energy needs, and request the voluntary participation of interested users. This phase impacted five establishments that accounted for the highest energy demand in the plaza as a whole, particularly those engaged in the sale of meat and dairy products, where the uninterrupted operation of refrigeration systems and high-power equipment is characteristic. This selection represents approximately 54% of the maximum permissible capacity for integration into the transformer from a Small-Scale Self-Generator (AGPE), in accordance with the provisions of CREG Resolution 174 of 2021, constituting a technically representative sample of the general electrical behavior of the Marketplace. However, in the second phase, this methodology will be replicated with the remaining establishments until the total transformer capacity permitted by Colombian regulations for AGPE is reached. The energy characterization included a detailed review of consumption bills, the creation of hourly profiles, and the identification of the dominant loads in each establishment, thereby establishing a technical basis for the appropriate sizing of photovoltaic systems. In terms of electrical design, criteria for equipment selection and compatibility were developed, single-line diagrams were drawn up, and AC and DC conductors and protections were determined, together with calculations of voltage regulation and electrical losses.

### **Degree Work**

**Faculty of Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electrical Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Master in Engineering.**

## Introducción

La sostenibilidad energética urbana enfrenta desafíos crecientes tanto en Colombia como a nivel global. La alta dependencia de fuentes hidroeléctricas en el país, combinada con eventos climáticos como El Niño, ha evidenciado la vulnerabilidad de las ciudades ante la variabilidad del suministro eléctrico (Consejo Privado de Competitividad, 2024). Esta situación afecta particularmente a los entornos urbanos tradicionales, como las plazas de mercado, donde persisten infraestructuras eléctricas obsoletas, una escasa adopción de tecnologías de eficiencia energética y limitaciones para acceder a soluciones modernas de autogeneración.

Colombia presenta una matriz energética altamente dependiente de fuentes hidroeléctricas, que representan el 63,7 % de la capacidad instalada del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta dependencia implica una alta exposición a fenómenos como El Niño, que, según el Ministerio de Minas y Energía, provocó una reducción del 20 % en los caudales hídricos durante su último episodio. Este escenario ha impulsado la necesidad de adoptar estrategias de diversificación energética, en las que se incluyan soluciones basadas en energías renovables y medidas de eficiencia

En este panorama, las plazas de mercado tradicionales enfrentan desafíos particulares debido a su alta dependencia energética y a la antigüedad de sus instalaciones. La Plaza de Mercado La Concordia, en Bucaramanga, con más de ocho décadas de servicio a la comunidad, ejemplifica esta situación. Los altos costos del servicio eléctrico, combinados con la necesidad de operar equipos, como los sistemas de refrigeración para la conservación de alimentos, comprometen la rentabilidad de los negocios allí establecidos.

En paralelo, Colombia cuenta con uno de los potenciales solares más altos de América Latina, con niveles promedio de irradiación superiores a 5 kWh/m<sup>2</sup>-día. Esta ventaja natural ha

sido reconocida por el Estado mediante la Ley 1715 de 2014, que promueve el uso de fuentes de energía no convencionales mediante incentivos y facilidades de conexión. Bucaramanga, en el departamento de Santander, se destaca por su régimen solar favorable, con promedios superiores a 5 horas solares pico diarias, lo la convierte en un entorno ideal para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos (Congreso de la República de Colombia, 2014).

En este contexto, la implementación de soluciones que disminuyan los costos energéticos no solo representa una oportunidad de modernización, sino también una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad y la competitividad de este tipo de espacios. Entre las opciones posibles se consideran la consolidación de una comunidad energética, el cambio de la frontera comercial a un nivel superior o la aplicación de medidas pasivas de eficiencia energética. No obstante, el diseño de un sistema solar fotovoltaico surge como una alternativa viable y prioritaria, al aprovechar el potencial solar regional, los incentivos fiscales existentes y su capacidad para generar ahorros directos en la operación.

El presente proyecto plantea el diseño de un sistema solar fotovoltaico orientado a suplir parcialmente la demanda energética de la Plaza de Mercado La Concordia, considerando las condiciones técnicas de la infraestructura eléctrica existente y los patrones de consumo del mercado. Este tipo de solución presenta un nivel de complejidad significativo, ya que requiere un análisis detallado de la demanda energética, la correcta selección y dimensionamiento de los equipos, la evaluación de las condiciones de conexión eléctrica y el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos vigentes para sistemas de generación distribuida.

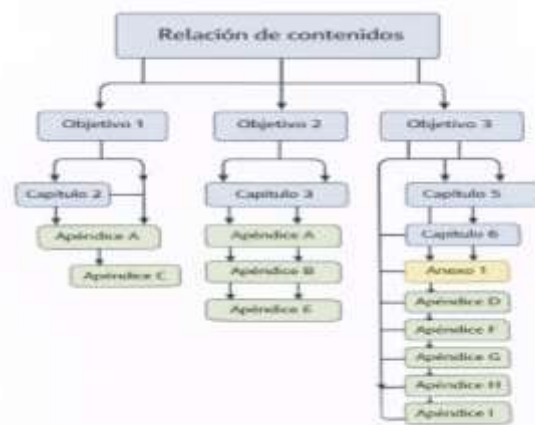
La implementación del sistema fotovoltaico contribuirá a la modernización de la infraestructura eléctrica del mercado, permitiendo una mayor eficiencia en el uso de la energía, la reducción de los costos operativos asociados al consumo eléctrico convencional y el

fortalecimiento de la resiliencia energética del recinto ante posibles fallas o contingencias en la red. Asimismo, el proyecto promueve el uso de fuentes de energía renovable, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y de transición energética establecidos a nivel nacional y local.

No obstante, el desarrollo de este tipo de proyectos implica la elaboración de documentación técnica rigurosa y el cumplimiento de las disposiciones regulatorias aplicables. La ausencia de lineamientos estandarizados puede generar reprocesos, ajustes posteriores y retrasos en la ejecución del proyecto, afectando tanto a los desarrolladores como a las entidades encargadas de su evaluación. En consecuencia, debido a su carácter replicable, este proyecto se concibe como un modelo de referencia aplicable a otras plazas de mercado del municipio, lo que facilita la adopción de soluciones energéticas sostenibles en el tejido económico local. De este modo, se espera que la propuesta no solo contribuya a la optimización energética de la Plaza de Mercado La Concordia, sino que también sirva de base para futuras iniciativas de generación distribuida, promoviendo una gestión energética más eficiente, ordenada y sostenible en infraestructuras públicas similares.

### Figura 1.

*Relación de Contenidos.*



## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema fotovoltaico para la Plaza de Mercado La Concordia en Bucaramanga, definiendo su viabilidad técnica e impacto económico con el propósito de reducir los costos del servicio eléctrico.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Describir el estado actual de la infraestructura eléctrica de la plaza de mercado “La Concordia”, identificando sus características, capacidades y limitaciones para integrar un sistema de fuentes renovables.

Caracterizar la demanda energética de la plaza de mercado ‘La Concordia’, diferenciando cargas por tipo de uso, horarios pico y consumos promedio y máximos.

Diseñar, seleccionar y dimensionar un sistema fotovoltaico integral para la plaza de mercado “La Concordia”, basado en su demanda energética, asegurando viabilidad técnica, adecuación al entorno, compatibilidad con la infraestructura existente y considerando criterios económicos y ambientales.

## 2. Presentación del Proyecto y Contextualización

### 2.1 Descripción de la Plaza de Mercado La Concordia

La Plaza de Mercado La Concordia está ubicada en la Calle 49 #50-21, en el barrio La Concordia de la ciudad de Bucaramanga. Este edificio, fundado en 1941, ha estado destinado desde su creación al desarrollo de actividades económicas relacionadas con el abastecimiento de productos de consumo básico para la población, consolidándose como un espacio de referencia para el comercio local y el suministro de alimentos en la ciudad de Bucaramanga.

#### Figura 2.

*Ubicación de la plaza de mercado*



A lo largo de su historia, la plaza ha desempeñado un papel fundamental en la economía local, al servir de punto de encuentro entre productores, comerciantes y consumidores. Su operación diaria presenta una alta concentración de locales comerciales, áreas comunes y zonas de circulación, lo que se traduce en una demanda energética constante, con variaciones asociadas a los horarios de funcionamiento y a los periodos de mayor afluencia de usuarios.

Desde el punto de vista funcional, la plaza alberga diversos tipos de cargas eléctricas, entre las que se destacan sistemas de iluminación, equipos de refrigeración, cuartos fríos, sistemas de ventilación y equipos auxiliares utilizados por los comerciantes en cada uno de los trescientos ocho locales ver Apéndice B. Estas cargas, en su mayoría de uso continuo (Ver Tabla 1), convierten la Plaza de Mercado La Concordia en un escenario adecuado para implementar soluciones de generación distribuida orientadas al autoconsumo, como los sistemas solares fotovoltaicos.

Cabe recalcar que, la infraestructura presenta superficies potencialmente aprovechables para la instalación de módulos fotovoltaicos, tales como cubiertas expuestas a la radiación solar directa. Estas condiciones, sumadas a la naturaleza pública del recinto y a su relevancia en el tejido económico local, hacen de la Plaza de Mercado La Concordia un caso representativo para evaluar el impacto técnico y energético de la integración de sistemas fotovoltaicos, con un alto potencial de replicabilidad en otras plazas de mercado del municipio.

**Tabla 1.**

*Distribución de Locales Actividad Comercial y su Consumo Energético.*

TIPO	DESCRIPCION	CARGA INST.[VA]	CANTIDAD	S [kVA]
1	Frutas y Verduras	8063	188	1,71
2	Carnes	39080	32	25,46
3	Lácteos	15560	10	13,58
4	Cacharrerías	745	21	0,53
5	Aguacate	250	7	0,22
6	Pollo	8789	23	6,07
7	Granero	120	4	0,11
8	Espicias	66	5	0,06
9	Cocina	9760	14	7,8
10	Artesanía	246	3	0,23
11	Administración y servicios	307	1	0,307
<b>TOTAL, DEMANDA DIVERSIFICADA</b>				56,10
<b>TOTAL, DEMANDA DIVERSIFICADA CON FACTOR DE CRECIMIENTO DE 1.25</b>				70,13

## **2.2 Marco Teórico y Normativo**

### ***2.2.1 Transición Energética y Rol de la Energía Solar Fotovoltaica***

La transición energética se ha consolidado como un eje estratégico para los países que buscan diversificar su matriz energética y mitigar los efectos ambientales asociados a los sistemas tradicionales de generación eléctrica (Bakhsh et al., 2024). En este contexto, la energía solar fotovoltaica se posiciona como una de las alternativas más relevantes debido a su carácter renovable, su disponibilidad prácticamente inagotable y su bajo impacto ambiental durante la etapa de operación (Condorí, 2025).

En la última década, el precio de los paneles fotovoltaicos ha experimentado una reducción sustancial. Un análisis del National Renewable Energy Laboratory (NREL) muestra que el costo de los módulos fotovoltaicos se ha reducido alrededor de un 85 % en los últimos diez años. Esto significa que el costo de producir electricidad a partir del sol resulta comparable, e incluso menor en algunos casos, al de la electricidad generada mediante fuentes convencionales. Este escenario ha favorecido la adopción de sistemas de autogeneración en los sectores residencial, comercial e industrial, fortaleciendo la seguridad y la confiabilidad energéticas y promoviendo modelos de consumo más sostenibles.

En Colombia, la diversificación energética ha sido impulsada tanto por la necesidad de reducir la alta dependencia del recurso hidroeléctrico como por el aprovechamiento del potencial solar en gran parte del territorio nacional. La Hoja de Ruta para la Transición Energética, liderada por el Ministerio de Minas y Energía (2024a). Establece lineamientos orientados a garantizar la confiabilidad del sistema, fomentar la incorporación de fuentes no convencionales y promover, de tal manera, la sostenibilidad del sector energético a largo plazo. Dentro de este marco, la energía

solar fotovoltaica se reconoce como una herramienta clave para fortalecer la autonomía energética y mejorar la resiliencia del sistema frente a eventos climáticos extremos.

### ***2.2.2 Fundamentos de la Energía Solar Fotovoltaica***

**2.2.2.1 Principio del Efecto Fotovoltaico.** El proceso mediante el cual se convierte la energía solar en energía eléctrica se fundamenta en el efecto fotovoltaico, un fenómeno físico que ocurre en materiales semiconductores, principalmente en el silicio. Cuando los fotones de la radiación solar inciden sobre la superficie de una celda fotovoltaica, transfieren su energía a los electrones del material, generando pares electrón-hueco. Este proceso, en presencia de un campo eléctrico interno generado por la unión tipo p-n del semiconductor, permite el desplazamiento ordenado de los portadores de carga, lo que produce una corriente eléctrica continua. La interconexión de múltiples celdas da lugar a los módulos fotovoltaicos, que, al agruparse en arreglos o sistemas, permiten suministrar energía en diferentes rangos de potencia, desde aplicaciones de baja potencia hasta sistemas de generación para entornos urbanos y comerciales.

**2.2.2.2 Componentes principales de un Sistema Fotovoltaico.** Un sistema de generación fotovoltaica se compone de un conjunto de elementos que, al trabajar de manera integrada, garantizan la generación, el aprovechamiento, el acondicionamiento y el suministro continuo y seguro de la energía eléctrica. Entre los principales componentes se destacan:

- **Módulos fotovoltaicos:** Agentes encargados de captar la radiación solar y convertirla en energía eléctrica en corriente continua.
- **Inversor:** convierte la corriente continua proveniente de los paneles en corriente alterna, haciéndola compatible con los equipos eléctricos convencionales y con la red de distribución.

- Sistema de protecciones y cableado: garantiza la seguridad operativa del sistema, la protección contra fallas eléctricas y el cumplimiento de la normativa técnica vigente.
- Conexión a Tierra: Sistema de protección utilizado con el fin de disipar corrientes de falla protegiendo a las personas y equipos eléctricos y electrónicos.
- Apantallamiento: Sistema de protección utilizado con el fin de reducir la interferencia electromagnética reduciendo así la exposición frente a descargas atmosféricas.

### **2.3 Infraestructura Eléctrica Existente**

La infraestructura eléctrica de la Plaza de Mercado La Concordia corresponde a un sistema diseñado para satisfacer las necesidades energéticas propias de una edificación de uso comercial con operación continua. El suministro de energía eléctrica es provisto por el operador de red de Santander en este caso la ESSA, a través de un sistema de distribución que alimenta los distintos locales, áreas comunes y servicios auxiliares de la plaza.

El sistema eléctrico existente está conformado por redes de distribución internas en baja tensión, tableros de distribución, protecciones eléctricas y sistemas de medición asociados al consumo energético del mercado. Estas instalaciones permiten alimentar cargas como iluminación general, equipos de refrigeración, de ventilación, tomacorrientes y otros equipos utilizados en las actividades comerciales diarias.

Esta edificación tiene 84 años de fundada por ende su infraestructura eléctrica ha sido objeto de adecuaciones y ampliaciones a lo largo del tiempo, lo que ha dado lugar a una configuración heterogénea del sistema. Esta condición representa un aspecto relevante a considerar en el diseño de un sistema fotovoltaico, ya que requiere una evaluación detallada de los puntos de

conexión, la capacidad de los conductores, la coordinación de protecciones y la compatibilidad con los esquemas de medición existentes y, a su vez, con el cambio de ellos.

El análisis de la infraestructura eléctrica actual resulta fundamental para garantizar una integración segura y eficiente del sistema solar fotovoltaico, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y la correcta operación conjunta entre la generación distribuida y la red eléctrica convencional.

### 2.3.1 Características del Sistema de Distribución ESSA

El sistema eléctrico de la Plaza de Mercado La Concordia está conectado a la red mediante un punto de conexión en media tensión de 13,2 kV (Ver Figura 3). Dicha configuración fue analizada mediante los mapas técnicos disponibles en el portal ESSA, con el fin de verificar la capacidad de interconexión y las condiciones técnicas para la integración de un sistema de autogeneración fotovoltaica.

**Figura 3.**

*Estudio de conexión AGPE*

Punto de Conexión		Rangos de Disponibilidad	
Código Transformador	0101854	 Ocupación de Autogeneración del Transformador	
Código Apoyo Transformador	1000624	 Ocupación Energía Fotovoltaica Sin Almacenamiento	
Relación de Transformación	13200/220	 Ocupación Energía diferente a Fotovoltaica Sin Almacenamiento	
Tensión de Conexión (V)	220		
Capacidad Nominal Transformador (KVA)	112.5		

El estudio de conexión permitió identificar que existía viabilidad para la integración del proyecto al sistema interconectado, teniendo en cuenta los requerimientos presentes en la

Resolución CREG 174 de 2021 la cual contiene los estándares técnicos de disponibilidad del sistema para una conexión AGPE, incluyendo los tope máximos de potencia de los sistemas en relación con la capacidad nominal del transformador (50 %). (Comisión de Regulación de Energía y Gas. 2021).

### **3. Análisis de la Demanda Energética**

En este capítulo se analiza la demanda energética de la Plaza de Mercado La Concordia a partir de la información sobre el consumo eléctrico de los trescientos ocho locales comerciales durante el año 2025. El análisis permite identificar los niveles de consumo, los periodos de mayor demanda y el comportamiento energético del mercado, información fundamental para el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico y la evaluación de su impacto en el consumo total de energía.

#### **3.1 Metodología de Recolección de Información**

Las actividades de recolección de información se organizaron en cuatro etapas. La primera de ellas consistió en un acercamiento con la administración de la plaza para plantearles el proyecto de manera que conociéramos su punto de vista y la opinión del mismo acatando la necesidad desde su perspectiva, al recibir la aprobación en la segunda etapa se procedió con la socialización con cada uno de los trescientos ocho locales presentes en la plaza describiendo de igual manera las implicaciones y ventajas que tenía la implementación de esta tecnología para el desarrollo de sus actividades económicas. Durante el desarrollo de esta etapa, se presentaron diversos contratiempos debido a que muchos de los comerciantes se mostraban incrédulos y desinteresados al escuchar el

alcance y el objetivo del proyecto. Sin embargo, con ayuda de la administración se logró completar esta etapa.

En la tercera etapa mediante solicitud por escrito se procedió a pedir un aval a la administración para llevar a cabo el censo de la demanda energética de la plaza obteniendo respuesta positiva pero debido a las limitaciones propias de la acometida eléctrica de la plaza, tales como la configuración existente de la infraestructura eléctrica y la ausencia de un punto adecuado para la instalación de equipos de medición sin afectar la operación normal del sistema, la implementación de un medidor de energía para la caracterización directa de la demanda quedó descartada. Esta situación representó un imprevisto metodológico para el desarrollo del proyecto; sin embargo, se evaluaron y adoptaron alternativas viables que permitieran continuar con el estudio, como recurso se optó por realizar una recopilación y análisis de datos de consumo energético registrados en facturas del servicio de energía suministrado por la Electrificadora de Santander (ESSA) con ello se obtuvo un estimado histórico de la demanda energética así como la caracterización de cada uno de los locales comerciales, posteriormente se realizó una evaluación de consumos surgiendo así cuatro propuestas de generación adaptadas a las necesidades y a los recursos existentes del lugar las cuales fueron presentadas y aprobadas por los agentes en coordinación con la administración (Ver Apéndice A, carpeta 1), la nueva socialización que fue parte de la etapa cuatro reveló que los locales con la expectativa más alta en este proyecto correspondían a los de alto consumo dedicados comercialmente a la venta de carnes frías, en términos numéricos, esto corresponde a cinco locales de un total de trescientos ocho y a una carga equivalente a 29,36 kWp que se beneficiaban del proyecto. Los sistemas de autogeneración se dimensionaron conforme a los índices de demanda energética manteniendo la base técnica con la cual se fundamentó el proyecto; sin embargo, los resultados obtenidos evidenciaron que el impacto

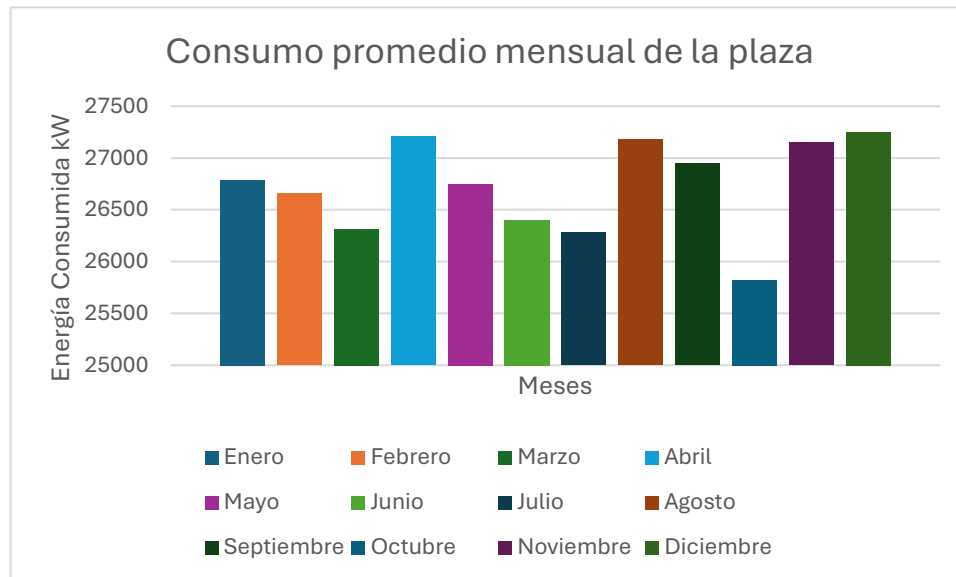
alcanzado no tenía el mismo alcance como se esperaba inicialmente. De tal manera el proyecto tuvo una reestructuración dividiéndose en dos fases, inicialmente se planteó la viabilidad de este sistema, el proyecto demostró ser factible considerando que se requirió la ocupación del 54,94 % de la capacidad del transformador para la integración del sistema solar fotovoltaico, esta iniciativa no solo buscaba la optimización del recurso disponible, sino también persuadir a la comunidad sobre los beneficios de esta. La segunda fase se plantea como un modelo de aprovechamiento del porcentaje restante del transformador, lo que permitirá ampliar la capacidad instalada y maximizar el aprovechamiento de la infraestructura existente. Así, el proyecto no solo consolida su sostenibilidad técnica y operativa, sino que refuerza su objetivo de generar un mayor impacto social y comercial, incentivando a la comunidad a adoptar este tipo de soluciones energéticas.

### **3.2 Caracterización del Consumo Energético**

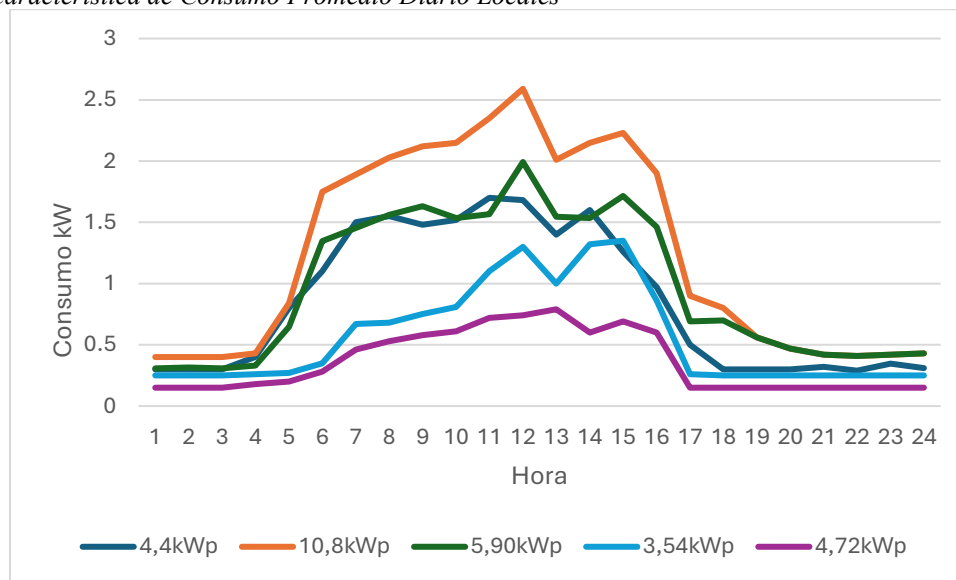
La caracterización del consumo energético de la Plaza de Mercado La Concordia se realizó a partir de los registros de consumo eléctrico del mercado, considerando el comportamiento de los trescientos ocho locales comerciales y de las áreas comunes. Este análisis permitió identificar los niveles de consumo promedio, así como los periodos de mayor y menor demanda a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4 (adicionalmente, el detalle de consumos se encuentra en el Apéndice B Caracterización de la Demanda Energética junto con la caracterización de cada uno de los locales comerciales). Esta información es clave para evaluar el aporte del sistema fotovoltaico propuesto y su capacidad para suplir, parcial o totalmente, la demanda energética del mercado.

**Figura 4.**  
*Consumo Promedio Año 2025 Plaza de Mercado La Concordia*



**Figura 5.**  
*Curva Característica de Consumo Promedio Diario Locales*



El perfil de carga diario de la Figura 5 se elaboró a partir del análisis del horario de consumo, el aforo de cada local y la observación directa en terreno. Para ello, se realizó un levantamiento de información estando presente en los locales, identificando los equipos utilizados

y registrando el tiempo de operación de cada uno, con el objetivo de caracterizar de manera representativa el consumo energético diario

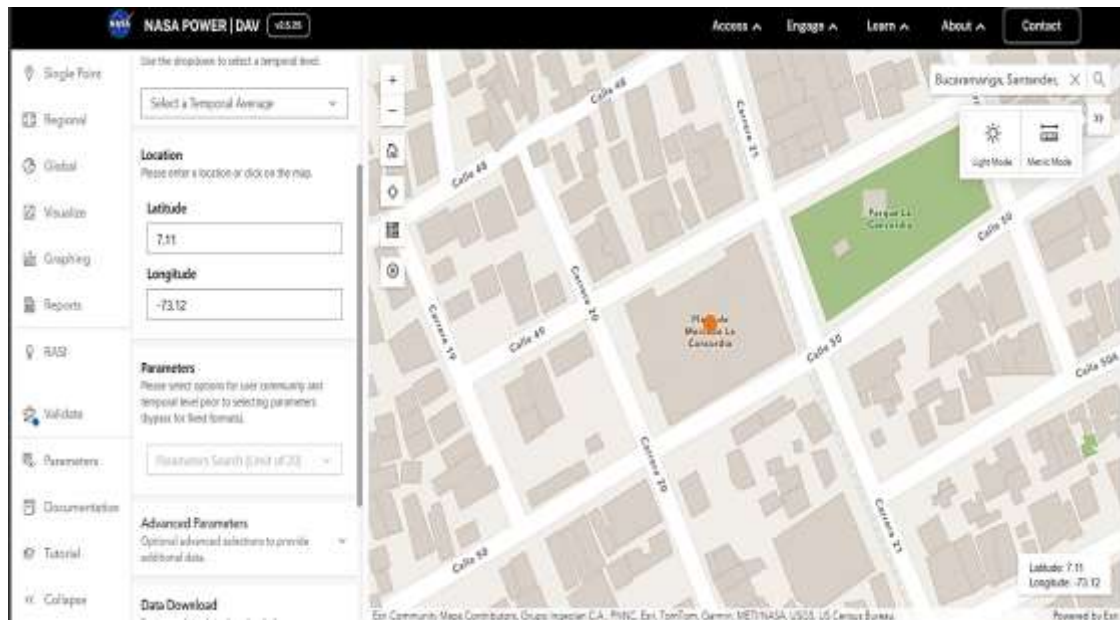
#### **4. Datos Climatológicos y Recurso Solar**

La Plaza de Mercado La Concordia se encuentra en una zona con un buen potencial solar, lo que la convierte en un lugar adecuado para la instalación de un sistema fotovoltaico. El análisis de la radiación solar se realizó a partir de datos obtenidos de fuentes oficiales, como la base de datos NASA POWER, los cuales fueron procesados y analizados mediante el software PVsyst, una herramienta especializada en estudios conceptuales y de detalle para proyectos fotovoltaicos a nivel de ingeniería.

##### **4.1 Fuente de Datos de Irradiación Solar**

Para la evaluación del recurso solar, es fundamental contar con datos climatológicos confiables que permitan estimar adecuadamente la irradiación solar disponible. En este proyecto se utilizaron datos obtenidos de NASA POWER, ampliamente utilizados en estudios de viabilidad de sistemas fotovoltaicos (NASA, 2024), incluyendo valores de radiación solar global, temperatura ambiente y otros parámetros relevantes, fundamentales para la evaluación del recurso solar disponible en la zona de estudio.

La información suministrada por NASA POWER se basa en modelos satelitales y registros históricos, lo que permite disponer de datos representativos del comportamiento solar a lo largo del año. Estos datos se utilizaron como entrada en el software PVsyst, donde se procesó y analizó la irradiación solar con el fin de estimar la producción energética del sistema fotovoltaico propuesto.

**Figura 6.***NASA POWER*

El uso de fuentes oficiales y herramientas especializadas garantiza una mayor precisión en los resultados obtenidos y permite evaluar de manera más confiable la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico para la Plaza de Mercado La Concordia.

#### 4.2 Análisis del Potencial Solar de la Zona

Según el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia publicado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), la ciudad presenta una irradiación global horizontal promedio anual de 4.5-5.0 kWh/m<sup>2</sup>/día.

Este nivel de radiación, combinado con temperaturas ambiente moderadas (23 - 24 °C) y una distribución temporal relativamente estable a lo largo del año, propicia la generación de energía solar. La ciudad registra variaciones estacionales controladas, con valores máximos cercanos a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/día y mínimos alrededor de 4,0 kWh/m<sup>2</sup>/día, lo que garantiza la disponibilidad del recurso durante todos los meses del año.

## **5. Simulación y Análisis del Sistema Fotovoltaico**

En este capítulo se presenta la simulación y el análisis del sistema fotovoltaico propuesto para la Plaza de Mercado La Concordia, con el fin de estimar su comportamiento energético y su aporte a la demanda del mercado. Para ello, se utilizaron herramientas de simulación especializadas que permiten evaluar la producción de energía, las pérdidas del sistema y el desempeño general de la instalación bajo las condiciones reales del sitio.

El monitoreo del desempeño de los sistemas fotovoltaicos es un aspecto fundamental para evaluar su funcionamiento y rendimiento energético. La norma IEC 61724-1 establece los lineamientos para la medición y el seguimiento del desempeño de sistemas fotovoltaicos, lo que permite comparar la energía generada con los valores esperados y detectar posibles pérdidas o fallas en la operación (International Electrotechnical Commission, 2020).

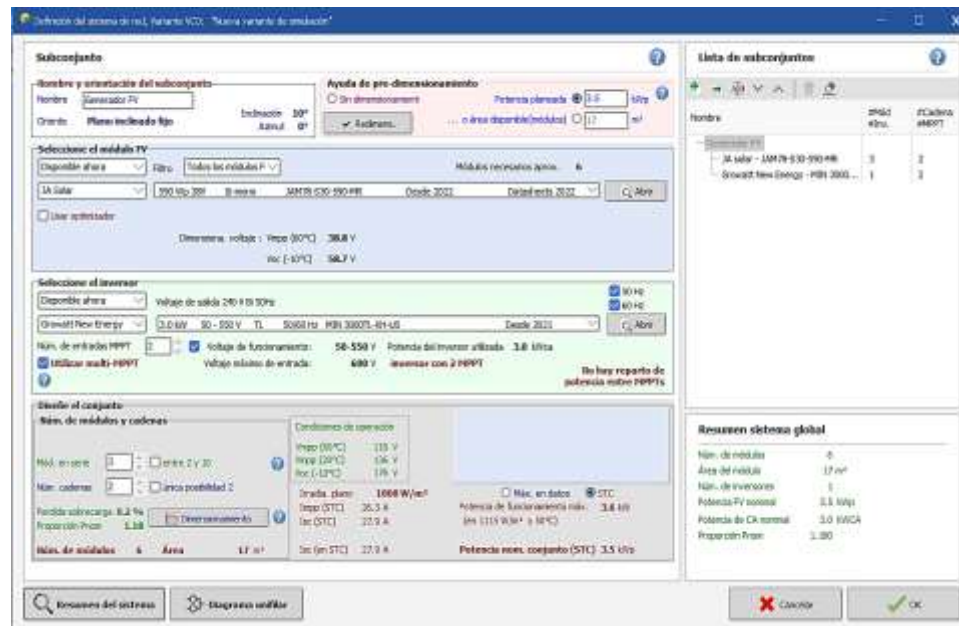
### **5.1 Simulación del Sistema en PVsyst**

La simulación del sistema fotovoltaico propuesto para la Plaza de Mercado La Concordia se realizó con el software PVsyst, que permite evaluar el comportamiento energético del sistema a partir de los datos de irradiación solar, las características de los equipos seleccionados y las condiciones del sitio. En la simulación se definió la potencia instalada del sistema, la orientación e inclinación de los módulos, así como las pérdidas asociadas al funcionamiento del sistema (PVsyst SA, 2023).

A partir de los resultados obtenidos en PVsyst, fue posible estimar la producción anual de energía del sistema fotovoltaico y analizar su aporte a la demanda de energía del mercado. Estos resultados sirven como base para evaluar la viabilidad técnica del proyecto y el impacto del sistema fotovoltaico en el consumo eléctrico de los cinco locales comerciales.

Figura 7.

Interfaz de PVsyst



A partir de los datos obtenidos por el software, se procedió a analizarlos de manera que pudieran caracterizarse con mayor detalle, lo que permitió un control más profundo del sistema planteado. La Tabla 3 muestra el análisis adicional realizado con los datos obtenidos del software PVsyst.

La Figura 7 muestra la interfaz de simulación del software especializado PVsyst, las diferentes configuraciones presentes al dimensionar un sistema y un resumen detallado del mismo.

## 5.2 Análisis de Sombras mediante PVSOL

Para el análisis del rendimiento, la ubicación y la disposición de los módulos fotovoltaicos, se realizó un estudio de sombras cercanas con el fin de verificar que la posición seleccionada fuera la más adecuada para aprovechar al máximo las características del sistema. Este análisis es importante, ya que la presencia de sombras puede afectar significativamente la producción de energía del sistema fotovoltaico.

El estudio de sombras se llevó a cabo con el software PVSOL, mediante la construcción de un modelo tridimensional de la arquitectura de la Plaza de Mercado La Concordia y de las edificaciones ubicadas en sus inmediaciones. El modelo se desarrolló a escala 1:1, lo que permitió obtener resultados representativos y confiables sobre el comportamiento real de las sombras a lo largo del año.

Los resultados del software se evidencian en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que muestra la disposición, ubicación e inclinación de los módulos fotovoltaicos, lo que permite que el sistema tenga un excelente rendimiento durante todo el año, ya que el porcentaje de sombreado no supera el 0,4 % anual (Ver Apéndice I). Este bajo nivel de sombreado confirma que la configuración propuesta es adecuada y respalda el diseño del sistema fotovoltaico planteado para la Plaza de Mercado La Concordia ver.

**Tabla 2.***Porcentaje Anual de Sombreado en Cada Sistema.*

Sistema	Porcentaje de Sombreado
Sistema 1 Local 097E	0,2%
Sistema 2 Local 115E	0,2%
Sistema 3 Local 061E	0,4%
Sistema 4 Local 095E	0,3%
Sistema 5 Local 134E	0%

La Tabla 2 pertenece al análisis conceptual mediante el software PVSOL; en ella se evidencian la disposición, la ubicación y la inclinación. Para entrar más a detalle, revisar el Apéndice I: Simulación PVSOL.

### **5.3 Análisis Asistido con PVGIS**

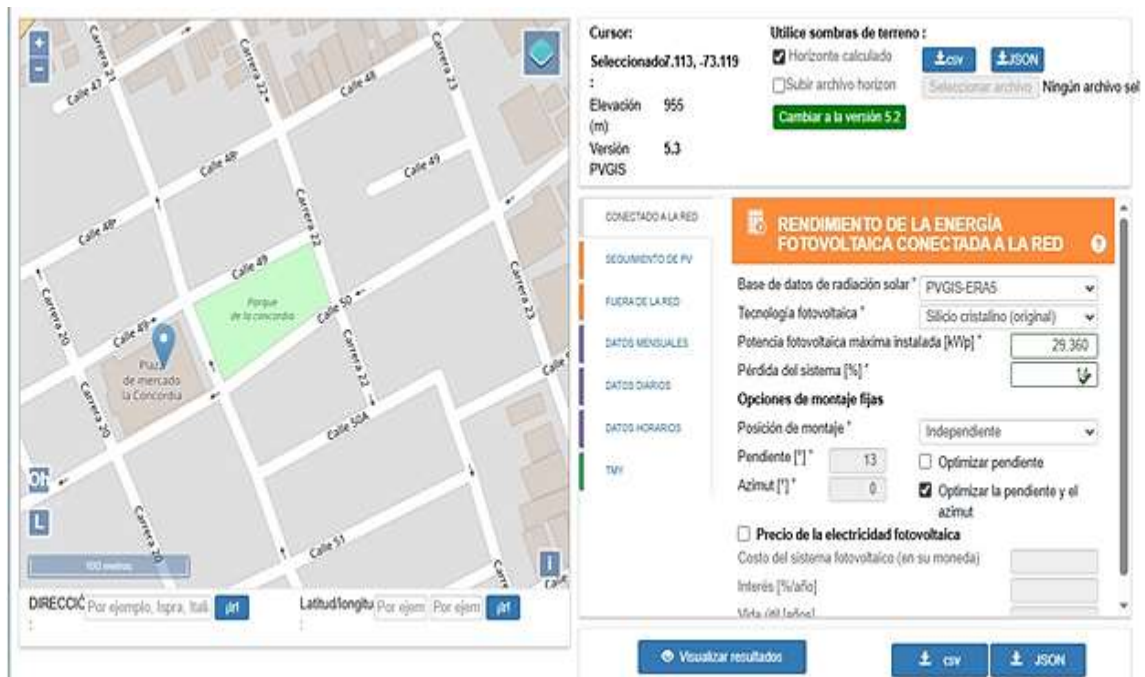
El análisis de la irradiancia solar también se realizó mediante el software interactivo PVGIS, que permitió evaluar el comportamiento estacional del recurso solar en la zona donde se ubica la Plaza de Mercado La Concordia. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento

característico de la región, con variaciones a lo largo del año asociadas a las temporadas secas y lluviosas.

De acuerdo con el análisis, los meses con mayor irradiación solar son enero, febrero, marzo y diciembre, con valores promedio cercanos a  $165 \text{ kWh/m}^2$ , lo que coincide con la época de menor precipitación en la región. Por otro lado, los meses de menor irradiación son mayo, junio y julio, con valores aproximados entre  $115$  y  $120 \text{ kWh/m}^2$ , asociados a la temporada de lluvias.

La variación anual de la irradiación presenta una amplitud aproximada de  $50 \text{ kWh/m}^2$  entre los meses más y menos favorables, lo que evidencia un comportamiento estacional moderado. A partir de estos datos, se estima una irradiación promedio anual de aproximadamente  $1714 \text{ kWh/m}^2$  año, valor que confirma el buen potencial solar del sitio y respalda la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico propuesto.

Este análisis complementa los resultados obtenidos con PVsyst y PVSOL, proporcionando una validación adicional del recurso solar disponible y fortaleciendo el sustento técnico del diseño del sistema fotovoltaico.

**Figura 8.***Interfaz de Usuario PVGIS*

## 5.4 Resultados de Producción Energética

A partir de la información recopilada y de las simulaciones realizadas, se analizaron cinco locales representativos de la Plaza de Mercado La Concordia, que presentan diferentes niveles de consumo energético y capacidades instaladas de generación fotovoltaica. Estos locales fueron seleccionados debido a que concentran una parte importante del consumo eléctrico, principalmente asociado a equipos de refrigeración, iluminación y tomas generales.

La Tabla 3 presenta la caracterización energética mensual del local comercial 115E, que cuenta con un sistema de generación fotovoltaica simulado de 4,4 kWp. Este local fue seleccionado como caso representativo para el análisis técnico. Los detalles completos de consumo, rendimiento y comportamiento energético de este y de los demás sistemas se presentan en el Apéndice B.

**Tabla 3.***Caracterización del Sistema Planteado*

Mes	Consumo (kWh)	Generación (kWh)	Importación (kWh)	Autoconsumo (kWh)	Exportación Tipo 1 (kWh)	Exportaciones Tipo 2 (kWh)
<b>Enero</b>	425,99	637,50	177,04	248,94	177,04	211,50
<b>Febrero</b>	429,99	571,03	186,08	243,90	186,08	141,03
<b>Marzo</b>	421,99	568,66	180,69	241,30	180,69	146,66
<b>Abril</b>	425,99	568,41	175,29	250,69	175,29	142,41
<b>Mayo</b>	420,99	607,56	164,01	256,97	164,01	186,57
<b>Junio</b>	426,99	565,13	174,03	252,95	174,03	138,13
<b>Julio</b>	419,99	573,32	174,34	245,64	174,34	153,33
<b>Agosto</b>	421,99	582,57	179,01	242,98	179,01	160,57
<b>Septiembre</b>	424,99	534,94	177,38	247,61	177,38	109,95
<b>Octubre</b>	425,99	531,926	181,95	244,03	181,95	105,93
<b>Noviembre</b>	426,99	548,344	174,74	252,25	174,74	121,34
<b>Diciembre</b>	426,99	637,32	168,53	258,46	168,35	210,50
<b>Año</b>	5098,93	6926,75	2113,15	2985,78	2112,98	1827,99
<b>Promedio</b>	424,91	577,22	176,09	248,81	176,08	152,33
<b>Porcentaje</b>	-36 %	136 %		43 %	31 %	26 %

Los resultados presentados en la Tabla 3 evidencian que el sistema fotovoltaico instalado en este local genera 6,926.75 kWh al año, una cantidad que supera en un 36 % la energía que consume el lugar. De toda esa energía, más o menos el 43 % (2,985.78 kWh/año) se usa al instante

para suplir las cargas eléctricas que funcionan dentro durante los ratos de sol, lo que reduce la necesidad de usar la energía de la red y la energía que se trae de afuera en un 58,5 %, de 5,098.94 kWh/año a 2,113.16 kWh/año. La energía excedente, de 1,827.99 kWh/año, es decir, el 26 % de todo lo que se genera (excedentes tipo 2), puede inyectarse al sistema de reparto y ser vendidos en el mercado energético, según las reglas para generar energía repartida de la Resolución CREG 030 de 2021.

## **6. Evaluación del Sistema Fotovoltaico**

En este capítulo se presenta la evaluación del sistema fotovoltaico propuesto para la Plaza de Mercado La Concordia, a partir de los resultados de la simulación y del análisis de la producción energética. La evaluación permite analizar el desempeño del sistema, su aporte a la demanda del mercado y el impacto general de su implementación, considerando aspectos técnicos y energéticos.

### **6.1 Descripción General de la Instalación Fotovoltaica**

La instalación solar fotovoltaica propuesta para la Plaza de Mercado La Concordia tiene como objetivo abastecer la demanda energética de los cinco locales comerciales que operan en la plaza de mercado (Ver Apéndice B), mediante un sistema de generación distribuida conectado a la red eléctrica existente. La propuesta busca aprovechar el recurso solar disponible para reducir el consumo de energía de la red convencional y disminuir los costos de operación del mercado y de sus comerciantes.

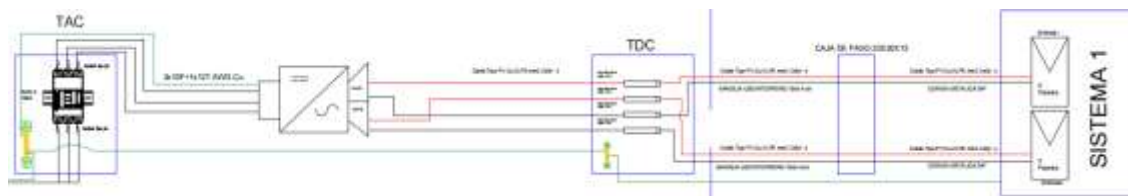
El sistema fotovoltaico estará compuesto por módulos distribuidos en arreglos, que permitirán alcanzar una potencia instalada total de 29,36 kWp en la cubierta del edificio. Estos

módulos se instalarán aprovechando las áreas disponibles y la adecuada exposición a la radiación solar, sin afectar el desarrollo normal de las actividades comerciales.

La generación distribuida y el autoconsumo permiten a los usuarios producir parte de la energía que consumen, lo que reduce la dependencia de la red eléctrica convencional. En Colombia, estas actividades están reguladas por la Resolución CREG 030 de 2021, que define las condiciones técnicas y comerciales para la autogeneración a pequeña escala y la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red de distribución (Ver Figura 9, Apéndice B).

**Figura 9.**

*Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico*



## 6.2 Evaluación Energética del Sistema

La evaluación técnica y energética del sistema fotovoltaico propuesto se realizó con base en los resultados de las simulaciones y en el análisis de la producción energética (Ver Apéndice B). Estos resultados permiten verificar que el sistema opera en condiciones adecuadas y que su integración con la red eléctrica existente es técnicamente viable, sin afectar el suministro de los locales comerciales.

Desde el punto de vista energético, el sistema presenta un desempeño favorable, ya que la energía generada permite cubrir la demanda eléctrica del mercado durante las horas de mayor radiación solar. Esto contribuye a reducir el consumo de energía en la red de distribución y a mejorar el aprovechamiento de la energía solar.

Es importante mencionar el bajo porcentaje de pérdidas asociadas a sombras, temperatura y conversión, lo que confirma que el diseño del sistema, así como la selección y disposición de los

equipos, son adecuados. En conjunto, estos resultados demuestran que el sistema fotovoltaico propuesto cumple con los criterios técnicos y energéticos necesarios en sus dos fases de implementación en la Plaza de Mercado La Concordia.

Para los cinco sistemas fotovoltaicos objeto de este estudio, los usuarios optaron por la implementación de un tablero de conexión en corriente alterna (AC) para la inyección de energía a la red, independiente de la red interna de la plaza. Esta decisión tuvo como propósito separar la acometida de los sistemas solares del sistema de distribución existente, garantizando una mayor eficiencia en la medición, operación y control de la energía generada. La adopción de esta configuración se realizó a solicitud específica de los clientes.

**Tabla 4.**

*Enfoque de Resultados de los Sistemas Fotovoltaicos*

<b>Validación de Viabilidad - Sistemas Fotovoltaicos Implementados</b>					
Indicador	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
<b>Dimensionamiento Técnico</b>					
Potencia Instalada	10,8	4,4	5,9	3,54	4,72
Generación Anual	17,252	6,972	9,100	5,564	7,358
Relación Generación/Consumo	156 %	195 %	175 %	183 %	174 %
<b>Viabilidad Económica</b>					
Inversión \$COP	\$ 55.684.500	\$ 24.908.500	\$ 26.809.125	\$ 18.085.475	\$ 19.447.300
Ahorro Anual	\$ 14.189.575	\$ 6.273.109	\$ 9.888.533	\$ 5.420.037	\$ 4.247.001
Retorno Inversión (años)	5,1	4,3	4,5	4,5	4,6
TIR	24 %	26 %	28 %	27 %	26 %

La Tabla 4 presenta la demostración de la viabilidad y del cumplimiento de los objetivos técnicos y económicos de los cinco sistemas fotovoltaicos diseñados.

### **6.3 Impacto en la Demanda de la Plaza de Mercado**

La evaluación económica del sistema fotovoltaico propuesto se basa en la reducción del consumo de energía eléctrica proveniente de la red en un 100 % (Ver Apéndice B), lo que se traduce en un ahorro en los costos de operación de la Plaza de Mercado La Concordia. La cual corresponde al 50 % de la demanda total con expectativa de generación, este sistema permite disminuir el consumo mensual de energía eléctrica.

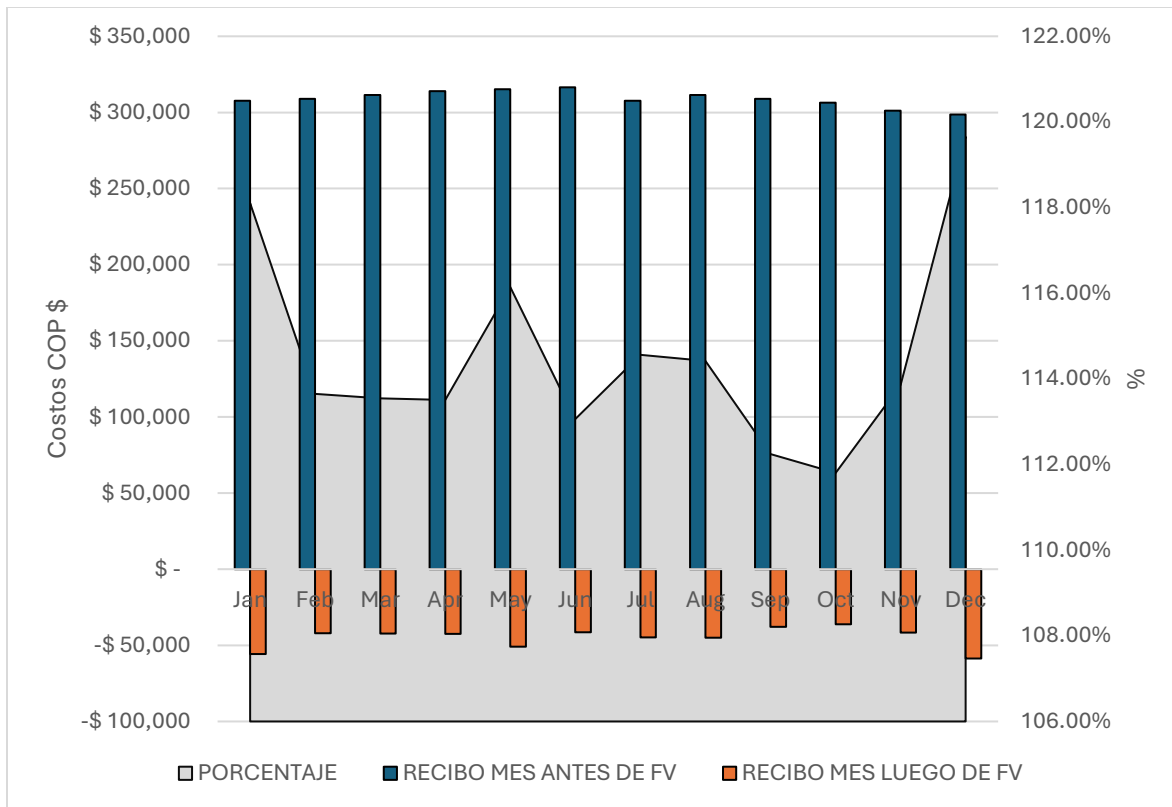
Si bien la implementación del sistema fotovoltaico requiere una inversión inicial (Ver Apéndice D), los resultados obtenidos indican que esta puede compensarse a lo largo del tiempo mediante los ahorros en el consumo de energía. Además, la vida útil de los equipos fotovoltaicos y el bajo costo de mantenimiento hacen que el proyecto resulte atractivo desde el punto de vista económico a mediano y largo plazo.

Diversos estudios internacionales han demostrado que los costos de generación de energía de fuentes renovables han disminuido significativamente en los últimos años hasta en un 50 %. Según la International Renewable Energy Agency, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías más competitivas (International Renewable Energy Agency, 2023).

Por otro lado, debido a las características del mercado, al consumo energético y al potencial solar de la zona, el sistema fotovoltaico propuesto presenta un alto grado de replicabilidad por ende se genera la fase 2.

**Figura 10.**

*Costo Energético Antes y Después de Implementar el Sistema.*



En la Figura 10 se evidencia la ventaja económica de la implementación del sistema en el local comercial 115E, el detalle de este análisis y el de los demás sistemas se encuentran en el Apéndice B.

### 6.4 Beneficios Tributarios

Los sistemas de generación a partir de tecnología fotovoltaica se han posicionado en el país como una alternativa, segura, confiable y accesible, no solamente hablando de ventajas en el ámbito ambiental sino también de igual manera por el respaldo normativo y tributario que el gobierno nacional ha venido disponiendo para incentivar su adopción; La necesidad latente de diversificar la matriz energética, la energía solar se aventaja como una opción capaz de combinar eficiencia, sostenibilidad y confiabilidad.

Aunque las inversiones en la adopción pueden representar obstáculos para los usuarios el gobierno nacional mediante un conjunto de beneficios tributarios busca atenuar dicho umbral, particularmente la Ley 1715 de 2014 en conjunto con la Ley 2099 de 2021 se reconoce a las fuentes no convencionales de energía renovable como un eje estratégico y primordial para el desarrollo energético nacional promoviendo de igual manera el desarrollo social.

En materia de incentivos, los más significativos son la exclusión del IVA al momento de adquirir los equipos propios del sistema de generación, lo que se traduce en una reducción en la inversión, no obstante, La depreciación acelerada de los activos es otro factor que fortalece el atractivo financiero de estos proyectos, ya que durante los primeros años del funcionamiento del sistema ayuda a amortiguar la carga fiscal. En ese periodo, mantener un flujo de caja positivo es esencial. Estos beneficios, en su conjunto, no solo reducen el esfuerzo económico inicial, sino que también contribuyen a asegurar la viabilidad del proyecto a medio plazo.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1 Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió diseñar un sistema solar fotovoltaico en dos fases capaz de suplir la demanda energética de la Plaza de Mercado La Concordia, lo que demuestra que la implementación de este tipo de soluciones es técnicamente viable en infraestructuras comerciales de carácter público. A partir del análisis de la demanda energética, del recurso solar disponible y de las simulaciones realizadas, se evidenció que el sistema propuesto puede contribuir a la reducción total del consumo de energía de la red eléctrica convencional durante los periodos de generación por parte de los sistemas.

Los resultados obtenidos mediante los softwares PVsyst, PVSOL y PVGIS confirmaron que la ubicación, inclinación y disposición de los módulos fotovoltaicos son adecuadas, presentando un bajo impacto por sombreado, inferior al 0,4 % anual, y una producción energética estable durante todo el año. Esto respalda el correcto aprovechamiento del recurso solar disponible en la zona y valida el diseño del sistema fotovoltaico propuesto.

A su vez, el análisis energético mostró que el sistema puede cubrir el 100% del consumo energético de los cinco locales comerciales, especialmente durante las horas de mayor radiación solar, reduciendo los picos de consumo diurno y mejorando el autoconsumo energético. Estos resultados evidencian que la generación distribuida representa una alternativa eficiente para optimizar el uso de la energía en este tipo de instalaciones.

Desde el punto de vista económico y de sostenibilidad, el proyecto presenta un alto potencial de replicabilidad en otras plazas de mercado o en infraestructuras públicas con características similares, contribuyendo a la transición energética y al uso de fuentes renovables en el ámbito local.

## **7.2 Recomendaciones**

Se sugiere evaluar la incorporación de sistemas de monitoreo en tiempo real que permitan un seguimiento continuo del desempeño del sistema fotovoltaico, facilitando la detección temprana de fallas y la optimización de la operación.

Se recomienda considerar la experiencia adquirida durante la ejecución de la primera fase del proyecto, en especial la recepción de opiniones, expectativas y observaciones de los participantes, ya que esta información resulta útil para la planificación y puesta en marcha de la segunda fase impactando positivamente en optimización de recursos, costos y tiempos, facilitando su implementación

### Referencias Bibliográficas

- Bakhsh, S., Zhang, W., Ali, K., & Oláh, J. (2024). Strategy towards sustainable energy transition: The effect of environmental governance, economic complexity and geopolitics. **Energy Strategy Reviews**, **50**, 101330.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). Resolución CREG 030 de 2021. Regulación para la actividad de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida.
- Condorí, A. F. (2025). Energía solar fotovoltaica, una alternativa positiva para el cambio renovable. *Económicas Habla*, (5), 62–64.
- Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Diario Oficial No. 49.150.
- Congreso de la República de Colombia. (2014). Ley 1714 de 2014 por medio de la cual se dictan disposiciones para la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial No. 49.150.
- Feldman, D., et al. (2021). Documenting a decade of cost declines for PV systems. National Renewable Energy Laboratory (NREL). <https://www.nrel.gov/grid/news/program/2021/documenting-a-decade-of-cost-declines-for-pv-systems.html>
- International Electrotechnical Commission. (2020). IEC 61724-1: Photovoltaic system performance – Monitoring. IEC.
- International Renewable Energy Agency. (2023). Renewable power generation costs in 2022. IRENA.

Ministerio de Minas y Energía. (2024a). Hoja de ruta de la transición energética justa en Colombia.

Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Ministerio de Minas y Energía. (2024b). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

República de Colombia.

NASA. (2024). POWER Data Access Viewer. National Aeronautics and Space Administration.

PVsys SA. (2023). PVsyst Photovoltaic Software (Versión 7). <https://www.PVsyst.com/>