

**UNIVERSIDAD EAN**

**VIVIENDO CON ENERGÍA RENOVABLE**

**AUTORAS:**

LINA JOHANA ALFONSO GARCÍA

LUISA FERNANDA DUQUE

**DIRECTOR:**

JHON JAIRO PORRAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BOGOTÁ D.C. 25 DE MAYO DE 2025**

**TABLA DE CONTENIDO**

1. RESUMEN .....	5
2. INTRODUCCIÓN .....	6
3. JUSTIFICACIÓN .....	8
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	9
4.1. Objetivo General .....	9
4.2. Objetivos Específicos .....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	10
5.1. Contexto del Problema .....	10
5.2. Preguntas de Investigación .....	12
6. ANALISIS DE REQUERIMIENTOS .....	13
6.1. Factores de Diseño .....	13
6.2. Evaluación de Características Técnicas .....	16
7. MARCO TEORICO .....	17
7.1. Definición de Conceptos .....	17
Energía Solar .....	17
Sistema Fotovoltaico .....	17
Parámetros de Diseño .....	20
Tipos de Sistemas Fotovoltaicos .....	21
7.2. Antecedentes .....	23
7.3. Normatividad Aplicable .....	24
8. MARCO GEOGRAFICO .....	25
9. MARCO METODOLOGICO .....	26
10. ANALISIS DE RESTRICCIONES .....	31
10.1. Restricciones de Infraestructura .....	31
10.2. Restricciones Ambientales .....	32
10.3. Restricciones Económicas .....	32
10.4. Restricciones Legales .....	32
10.5. Restricciones de Salud y Seguridad .....	33
10.6. Restricciones socioculturales .....	33
11. METODOLOGIA DE SELECCIÓN .....	33
11.1. Verificación de soluciones lógicas .....	34
11.2. Evaluación de alternativas y Métodos de Selección .....	34
12. METODO PARA EL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....	36

13. APLICACIÓN DEL METODO.....	46
14. CONCLUSIONES .....	53
15. REFERENCIAS.....	56

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Emisiones totales de GEI - Valle de Aburrá .....	10
Ilustración 2 Árbol del problema (causas y efectos) .....	11
Ilustración 3 Vista General del Proyecto.....	13
Ilustración 4 Espacio disponible para la instalación.....	14
Ilustración 5 Plano de la vivienda .....	14
Ilustración 6 Consumo Factura Energía EPM.....	15
Ilustración 7 Panel Solar .....	18
Ilustración 8 Inversor Fotovoltaico .....	18
Ilustración 9 Estructura de Paneles Solares.....	19
Ilustración 10 Comportamiento del Sol en un día.....	20
Ilustración 11 Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la Red .....	21
Ilustración 12 Configuración del Sistema - On Grid.....	21
Ilustración 13 Sistema Solar Fotovoltaico Baterías .....	22
Ilustración 14 Configuración del sistema - Off Grid.....	22
Ilustración 15 Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido .....	23
Ilustración 16 Configuración del sistema - Híbrido .....	23
Ilustración 17 Geo - Referenciación del sitio.....	25
Ilustración 18 Radiación Solar de Colombia.....	26
Ilustración 19 Ubicación Módulos .....	37
Ilustración 20 Capacidad Estructural .....	37
Ilustración 21 Cableado AC .....	37
Ilustración 22 Cableado DC .....	38
Ilustración 23 Ubicación Equipos .....	38
Ilustración 24 Ficha Técnica Paneles .....	42
Ilustración 25 Ficha Técnica Inversores.....	43
Ilustración 26 Especificaciones Panel .....	47
Ilustración 27 Configuración de Equipos.....	48
Ilustración 28 Distribución de Módulos.....	49
Ilustración 29 Vista General simulación .....	51
Ilustración 30 Resultados Simulación .....	52

## RESUMEN

En Colombia el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> asociado a la generación eléctrica convencional se refleja en 164,38 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora, el 60% de la energía consumida por los habitantes proviene de fuentes convencionales, Aunque en el país existe una conciencia general sobre los beneficios ambientales que tiene la energía solar, existen brechas importantes sobre el conocimiento técnico y su implementación.

El objetivo del siguiente proyecto es brindar una solución de diseño técnico y simulación para la puesta en marcha de un sistema de paneles solares en las viviendas de un conjunto residencial ubicado en Medellín. Esta ciudad fue elegida estratégicamente debido a su posición ya que es una ciudad geográficamente privilegiada en cuanto a radiación solar.

Esta iniciativa no solo aspira favorecer a la sostenibilidad, uso de energías limpias y eficiencia energética del conjunto residencial, sino también utilizar la radiación solar de la región para producir ventajas económicas considerables para los a los habitantes del conjunto. Mediante rigurosos diseños técnicos y simulaciones detalladas, se pretende asegurar que el proyecto sugerido sea eficaz y rentable para los residentes desde el punto de vista energético.

Es importante resaltar que este proyecto se limita solo a la fase de diseño y simulación del sistema solar fotovoltaico con el objetivo de evaluar su viabilidad técnica. La instalación de sistema físico quedará a cargo de un tercero especializado, quien se encargaría de realizar la adquisición de equipos, construcción según el diseño técnico propuesto por nosotros, la facturación correspondiente a la energía generada por el conjunto residencial y gestión de todos los trámites necesarios con el operador de Red, en este caso EPM (Empresas Públicas de Medellín).

**Palabras clave:** Energía Solar Fotovoltaica, Paneles Solares, simulación energética, factibilidad técnica, radiación solar Medellín, sostenibilidad, autonomía energética, huella de carbono.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda Energética, el alza costos en las facturas de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> que, según el Ministerio de Ambiente Sostenible (MADS) un colombiano promedio puede emitir al año por las fuentes de energía no renovables, ha generado el interés de buscar alternativas y soluciones como la energía solar. Sin embargo, de acuerdo con consultas realizadas por la asociación de Energías Renovables de Colombia SER Colombia en la actualidad se evidencia que existe un aumento de conciencia respecto a la energía solar en el país, no obstante, para superar las brechas que se presentan actualmente y lograr la implementación efectiva y sostenible es necesario intensificar y promover el conocimiento técnico.

En este orden de ideas, la implementación de paneles solares en un conjunto residencial de Medellín surge como una solución sostenible y estratégica ante los desafíos energéticos, económicos y ambientales actuales para los residentes de este.

Se selecciona el conjunto residencial en la ciudad de Medellín para este estudio ya que esta ciudad cuenta con características y condiciones favorables para este tipo de proyectos que aumentan la viabilidad del mismo, entre estas está su ubicación ya que teniendo en cuenta que es una ciudad relativamente muy cerca a ecuador el sol recae y recibe radiación de forma directa durante todo el año, lo cual genera una buena cifra en la potencia de esta radiación que oscila entre 4.5 y 5.5 kWh/día, incluso en los días lluviosos hay una gran cantidad de radiación difusa. Estos datos preliminares posicionan a la ciudad como un lugar ideal para la instalación y puesta en marcha de un Sistema Solar Fotovoltaico, además, ofrecen un panorama de posible viabilidad, no obstante, para realizar la confirmación se realizará un análisis detallado del consumo específico, espacio disponible e infraestructura para dimensionar adecuadamente el sistema en cada vivienda del conjunto.

Mas allá de la sostenibilidad evidente que tiene el uso de energía solar en el mundo, este proyecto tiene como propósito que los residentes del conjunto puedan contar con una propuesta técnica que incluya el diseño y la simulación de un sistema solar fotovoltaico, esto con el fin de brindarles una perspectiva de como seria la instalación del sistema en sus viviendas y los beneficios que podrían

obtener con una mayor autonomía energética resultado de aprovechar la radiación solar.

Este proyecto tiene como alcance y se centra exclusivamente en el diseño y simulación del sistema de paneles solares para evaluar su viabilidad técnica y económica, esto sin incluir la compra, montaje o instalación de los equipos. Estas actividades las realizaría un tercero especializado, quien, además gestionará los tramites solicitados por el operador de Red (EPM) y se encargará de la facturación correspondiente a cada vivienda.

Es importante resaltar que el asegurar que los residentes tendrán un ahorro en sus facturas se crea desde la comparación de tarifas, actualmente la tarifa de EPM está en **\$1047,9 COP precio/kWh**, mientras que la tarifa aproximada del sistema solar está en **\$681,2 COP precio/kWh** lo cual representa una diferencia significativa.

Para lograr este propósito, se analizarán aspectos clave como la disponibilidad de radiación solar en la región, el consumo energético promedio del conjunto residencial y la comparación entre el costo de la energía tradicional y la generada por los paneles solares. Cabe destacar que el resultado dependerá en gran medida de la calidad en los datos obtenidos y las suposiciones realizadas durante el proceso de evaluación para lograr llevar a cabo este proyecto.

## JUSTIFICACIÓN

Si bien anteriormente se detalló las condiciones geográficas favorables en la ciudad de Medellín y el planteamiento técnico del sistema, se debe destacar que el aumento en la demanda energética, en las tarifas de electricidad y la presión por aportar al medio ambiente reduciendo las emisiones contaminantes hacen que la implementación de paneles solares en los hogares de un conjunto residencial en la ciudad se presente como una opción sustentable para minimizar el uso energético y disminuir la necesidad de fuentes no renovables de energía adoptando fuentes más limpias y eficientes. Teniendo como principal motivación ofrecer alternativas realistas y accesibles como la energía solar, que por ser limpia, renovable y abundante en la zona, constituye una posibilidad factible para reducir el consumo energético de los habitantes y atenuar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El objetivo de este proyecto es analizar la factibilidad técnica y financiera de un sistema fotovoltaico que posibilite la producción de electricidad a un costo más bajo que la red convencional. A través del estudio de elementos como la radiación solar existente, el consumo energético del conjunto se pretende diseñar y simular una solución que favorezca a la comunidad. La implementación de este sistema contribuiría a la sostenibilidad ambiental, mejoraría la utilización de energía y produciría un ahorro en lo residentes del conjunto.

Los hallazgos de este estudio se usarán como guía para futuros proyectos en otros conjuntos residenciales, favoreciendo la transición hacia un modelo energético más eficaz y asequible. Además, el proyecto promoverá una cultura de responsabilidad ambiental entre los residentes, promoviendo el uso de energías renovables como una alternativa viable y beneficiosa tanto en el ámbito económico como en el ecológico.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Objetivo General:

Diseñar y simular un sistema de generación eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica en las viviendas de un conjunto residencial en Medellín, con el fin de evaluar su factibilidad técnica. El modelo busca promover el uso de energía limpia y sostenible generando beneficios tanto económicos como ambientales.

### Objetivos Específicos:

1. **Analizar la factibilidad técnica:** Analizar de forma detallada el consumo de energía en el conjunto residencial, la radiación solar que atraviesa la zona y el rendimiento del sistema.
2. **Diseñar el sistema fotovoltaico:** Establecer el diseño del sistema solar, incluyendo componentes como la ubicación del proyecto, número de paneles e inversores y capacidad del sistema.
3. **Simular el comportamiento del sistema:** Realizar simulaciones energéticas para evaluar la producción eléctrica del sistema bajo diferentes condiciones de radiación esto mediante un Software que pueda identificar la producción y posibles pérdidas por sombras.

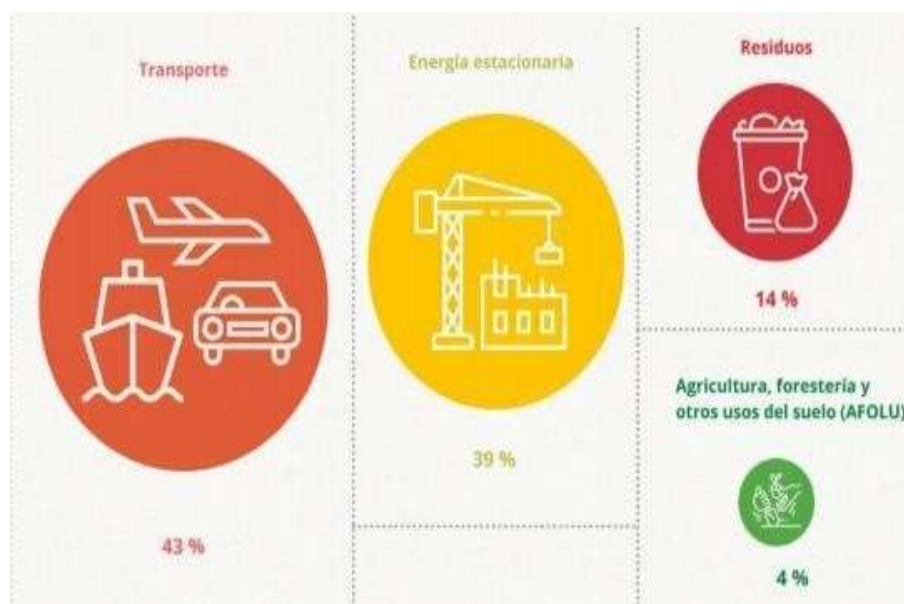
## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### Contexto del Problema

En la actualidad, el conjunto residencial bajo análisis evidencia elevados gastos energéticos en sus facturas eléctricas debido a su dependencia total de energía tradicional no renovable. Esto provoca no solo dificultades económicas sino también ecológicas, incrementando así las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuyendo a el calentamiento global y el cambio climático. Según el **Balance de Energía Útil para Colombia**, el consumo mensual de electricidad por vivienda es de **157 kWh** cifra que, multiplicada por todos los habitantes del conjunto, es una alta demanda energética.

En el Valle de Aburrá, donde se encuentra ubicada la ciudad de Medellín escogida para este proyecto, **el sector de energía estacionaria en los hogares aporta el 39%** de las emisiones totales de gases efecto invernadero, de acuerdo con información del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Lo cual demuestra la necesidad de implementar soluciones que disminuyan tanto la huella de carbono como la dependencia de la energía convencional.

*Ilustración 1 Emisiones totales de GEI - Valle de Aburrá*

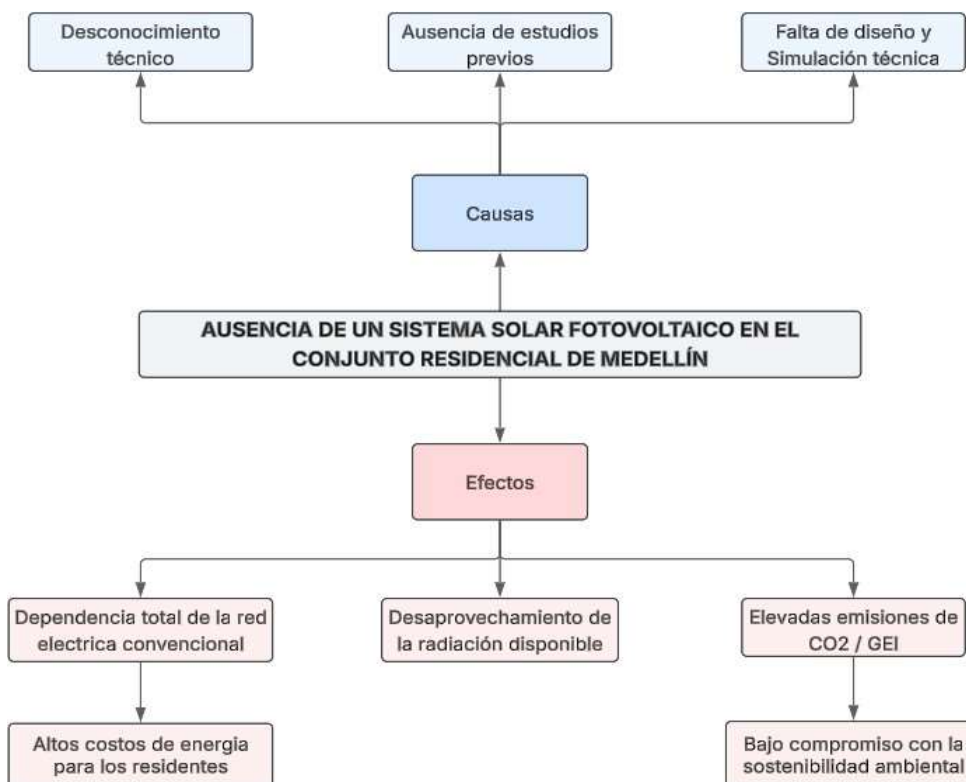


*Fuente: Ministerio de Ambiente (2021). Cambio climático: Valle de Aburrá cuenta con diagnóstico de emisiones de gases.*

Pese a que la ciudad de Medellín posee condiciones geográficas favorables en términos de radiación solar, en la actualidad no existe ningún estudio o evaluación anterior que pueda describir el beneficio que un sistema de energía solar podría producir en los residentes de este conjunto. La falta de datos técnicos les impide a los habitantes la posibilidad de tomar decisiones frente a la factibilidad que podría tener la implementación un sistema solar en sus hogares, lo que los lleva a que descarten la alternativa de obtener autonomía energética.

Adicional, se evidencia que los habitantes poseen una falta de conocimiento técnico, puesto que en su mayoría carecen de los recursos, herramientas o no cuentan con la información necesaria para elaborar un diseño de sistema viable que les permita cubrir sus necesidades. Esta falta de conocimiento genera como resultado desinformación y desconfianza sobre los beneficios que podrían obtener.

Ilustración 2 Árbol del problema (causas y efectos)



*Fuente: Elaboración propia*

Por lo tanto, es imprescindible y fundamental llevar a cabo el diseño y simulación del sistema de paneles solares que les permita evaluar la factibilidad del proyecto en este conjunto residencial. A través de un estudio en el cual se tenga en cuenta el análisis de la radiación solar disponible, el consumo energético, la comparación entre el costo de la energía generada y la tarifa de la red eléctrica.

Finalmente se espera como resultado del estudio tener una factibilidad técnica, la cual sea clara, accesible y sostenible que pueda contribuir tanto a los residentes para tomar la decisión de implementar este sistema como a la mitigación del impacto ambiental existente en el país por el consumo de energía convencional.

### **Preguntas de Investigación**

Para abordar esta problemática, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es la factibilidad técnica de implementar un sistema de paneles solares en el conjunto residencial?
2. ¿Cuáles son los principales retos y beneficios de implementar este modelo en el conjunto residencial?
3. ¿Cuántos paneles solares se necesitarían para cubrir una parte significativa de la demanda energética del conjunto?

## ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Para garantizar el éxito del proyecto, es necesario definir y articular claramente los requisitos técnicos y funcionales del sistema solar fotovoltaico. Este estudio ayudará a definir los datos y especificaciones necesarias para el diseño y simulación del sistema, con el fin de confirmar que la solución propuesta sea útil y alcance los objetivos propuestos.

### Factores de Diseño

Para el adecuado análisis y diseño del sistema, es necesario comprobar los parámetros técnicos siguientes:

**Radiación solar disponible:** Identificar la cantidad de energía solar que recae sobre la localización del conjunto residencial.

- Se utilizarán herramientas para simular la generación energética esperada en este caso el software PV SOL. El cual indicará la información necesaria en cuanto a radiación y potencia nominal del proyecto (**Se adjunta resultados de avance inicial de la simulación energética**)

*Ilustración 3 Vista General del Proyecto*

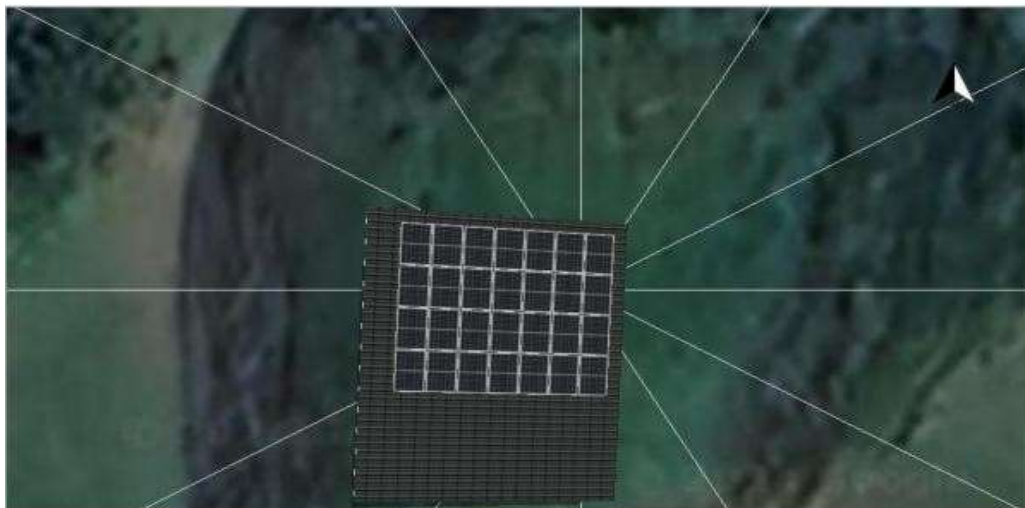


Figura: Vista general, Planificación 3D

*Fuente: Elaboración propia*

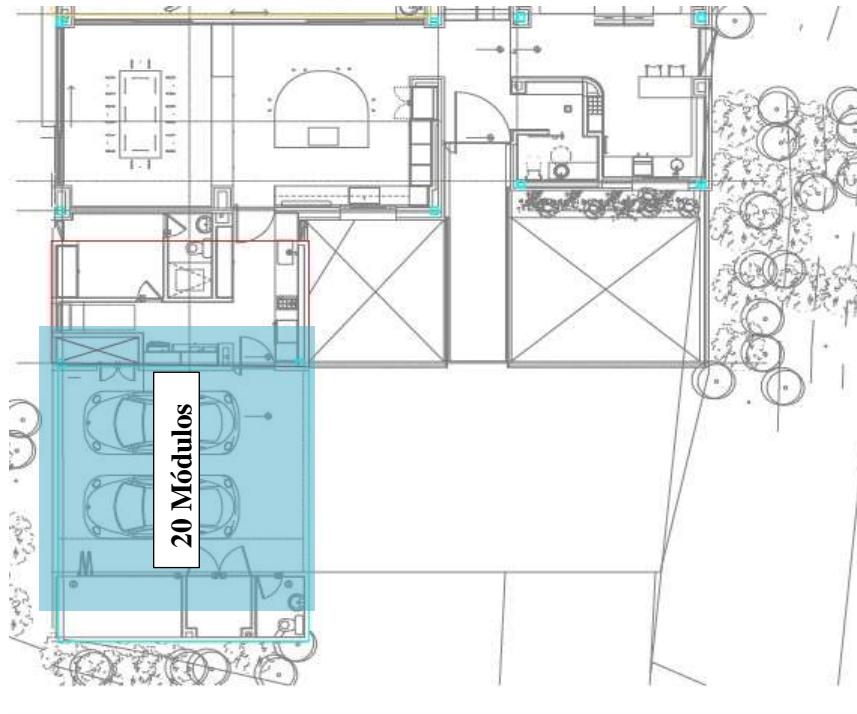
**Espacio disponible para la instalación:** Se deberá determinar la cantidad de superficie en las cubiertas de los edificios del complejo destinada a la instalación de los paneles. Otra ventaja es que las casas se construyeron de manera convencional, por lo que permitirá que el diseño será viable para el resto para las otras 30 viviendas que hacen parte del conjunto residencial.

*Ilustración 4 Espacio disponible para la instalación*



*Fuente: Elaboración propia*

*Ilustración 5 Plano de la vivienda*



*Fuente: Elaboración propia*

**Demanda energética del conjunto:** Determinar el consumo promedio de energía por parte de los residentes para establecer correctamente el sistema.

- Se recopilaron los datos sobre el consumo eléctrico de los habitantes basándose en las facturas de electricidad emitidas en este caso por la empresa de servicios Públicos EPM.

*Ilustración 6 Consumo Factura Energía EPM*

Cálculo Consumo del 29 ene al 12 feb (14 días)				
Energía	Lectura actual	Lectura anterior	constante	consumo
	728	- 12	X 1	= 715,180 kWh
	Valores Facturados		kWh x Costo (\$)	Valor (\$)
	Energía mar-25	715,180	854,28	\$610.963,97
	Contribución activa % 20			122.192,79
Total Energía			\$ 733.156,76	

*Fuente: Tomado de factura eléctrica emitida por EPM*

La demanda por suplir en el proyecto es de 715,180 kWh/mes por vivienda, esta información aplica únicamente para una de las viviendas del conjunto, se replicaría para todas 30 viviendas existentes.

**Eficiencia y capacidad de los paneles solares:** Seleccionar equipos con la eficiencia adecuada para maximizar el índice de rendimiento (PR) del proyecto.

- Se seleccionará la tecnología más adecuada para maximizar la producción de energía.

### **Evaluación de Características Técnicas**

Para la implementación exitosa del proyecto, se deben considerar los siguientes elementos:

- **Capacidad del sistema fotovoltaico:** Determinar la capacidad instalada necesaria para cubrir una parte significativa del consumo energético del conjunto.
- **Valor de la energía generada:** Se debe calcular el costo estimado de la electricidad generada por los paneles solares y compararlo con el costo de una tarifa de red convencional.
- **Impacto ambiental:** Estimar la reducción de emisiones de CO2 lograda mediante la implementación del sistema.

Este análisis servirá de base para el diseño detallado del sistema, garantizando que la solución propuesta sea técnica y económicamente viable en el contexto del Conjunto residencial.

## **MARCO TEORICO**

Este marco teórico busca sustentar y fundamentar el propósito del proyecto cuyo objeto está centrado en crear un diseño, simulación y evaluación de un sistema de energía solar fotovoltaica para los residentes de un conjunto residencial en Medellín que buscan reemplazar en su totalidad o parte el consumo energético de las viviendas.

### **Definición de Conceptos**

#### **Energía Solar**

La energía solar es un tipo de energía renovable que proviene directamente del sol en forma de radiación electromagnética, esto incluye la luz, calor y los rayos ultravioletas. Esta radiación puede ser utilizada para generar diferentes tipos de energía, entre esta la térmica mediante un sistema fototérmico obteniendo la radiación con colectores o la eléctrica mediante un sistema fotovoltaico con paneles solares. Estas energías son muy útiles para el ser humano ya que es una energía limpia y sostenible.

El Sol emite constantemente una enorme cantidad de energía que puede cubrir la cantidad energética de los humanos, ya que se podría decir que genera un 100% más de lo que el ser humano necesita y consume por que en solo una hora la tierra esta recibiendo todo lo que las personas consumen en un solo año.

El aspecto mas relevante que tiene la energía solar es su sostenibilidad, ya que no cuenta con combustibles fósiles, por lo tanto, al momento de su uso esta radiación no genera ningún tipo de emisión contaminante que pueda verse involucrado al calentamiento global, adicional es la energía mas accesible mundialmente, porque se encuentra en todos los lugares del planeta, aunque en unas regiones se obtenga una mayor intensidad que en otras.

#### **Sistema Fotovoltaico**

También llamado sistema FV o sistema de energía solar, es un grupo de varios componentes integrales los cuales transforman la energía solar por medio de energía eléctrica fotovoltaica, esto mediante un proceso que se conoce como el efecto fotovoltaico. Este efecto se crea como resultado del movimiento de electrones que crea la radiación solar al tener contacto con celdas

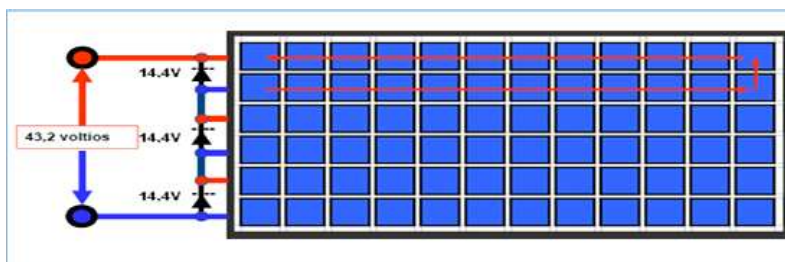
fotovoltaicas (Paneles Solares), lo que finalmente crea una corriente continua (CC).

Una vez se tiene la corriente continua se debe convertir en corriente alterna (CA) para que pueda ser usada en ámbitos como el hogar, empresas o industrias, ya que es el tipo de corriente que se usa normalmente en los enchufes convencionales, para poder realizar la conversión de un tipo de energía al otro se requiere un elemento conocido como inversor.

Un sistema fotovoltaico se compone de varios elementos con características específicas entre los cuales están los siguientes:

- **Paneles Solares:** Es una placa que se encarga de capturar la radiación solar con el fin de transformarla en energía eléctrica mediante corriente continua.

*Ilustración 7 Panel Solar*



*Fuente: Revista Saber Mas. (s/f) Paneles solares: Generadores de energía eléctrica. <https://saberamas.umich.mx/archivo/tecnologia/133-numero-1755/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>*

- **Inversores:** Es un equipo que se encarga de transformar la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para que pueda ser adaptada a los parámetros eléctricos requeridos comúnmente.

*Ilustración 8 Inversor Fotovoltaico*



*Fuente: Colaboradores, D. (s/f). inversor de células solares planta solar. Vecteezy. de <https://es.vecteezy.com/artes-vectorial/13286451-inversor-de-celulas-solares-planta-solar-equipos-de-energia-modelo-ilustraciones-vectoriales-isometricas>*

- **Estructura de Montaje:** Es un elemento fundamental en toda instalación solar fotovoltaica ya que sostiene, y determina la orientación de los paneles para maximizar la recepción de radiación solar.

*Ilustración 9 Estructura de Paneles Solares*



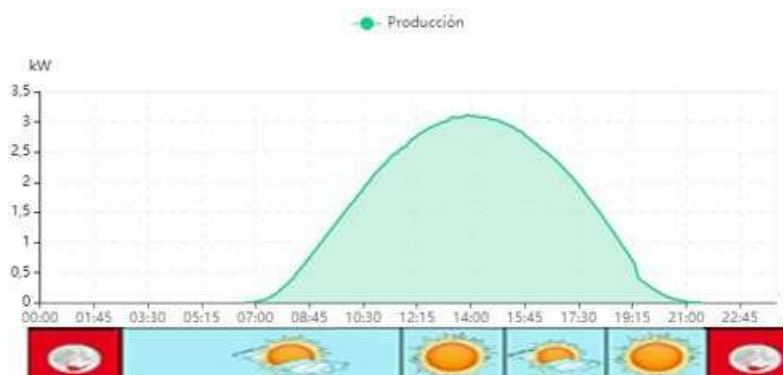
*Fuente: Kit estructura soporte montaje 5 paneles solares 1 fila coplanar. (s/f). Solarstore Spa., de <https://www.solarstore.cl/producto/kit-montaje-5-paneles-1-fila-coplanar/>*

- **Cableado y conexiones eléctricas:** Se encarga de interconectar y transportar la electricidad generada a la red eléctrica, de su adecuada instalación depende la durabilidad del sistema FV
- **Regulador de carga y baterías (opcional):** Permiten almacenar la energía captada por el sistema durante la mayor radiación del sol, con el fin de poder usarlo cuando no se cuenta con esta, ejemplo en la noche, es opcional y que se usa especialmente en sistemas autónomos.

Dependiendo de las características del diseño se ajusta la estructura de los paneles, teniendo en cuenta la ubicación del sol para aprovechar el 100% de la luz generada.

La curva del movimiento del sol a lo largo del día para cargar los paneles fotovoltaicos.

Ilustración 10 Comportamiento del Sol en un día



Fuente: Energía solar en días nublados. (2021, mayo 11). Crusol; Crusol Proyectos e Instalaciones SL. <https://www.crusol.com/energia-solar-en-dias-nublados/>

Los sistemas se instalan normalmente por escalas dependiendo del consumo que se desee suplir, entonces van desde instalaciones muy pequeñas (kW) hasta plantas fotovoltaicas muy grandes (MW).

Un sistema residencial fotovoltaico (como en este caso) de aproximadamente 7 kWp tiene la capacidad de producir cerca de 700 kWh/mes, lo que representa un 80% del consumo promedio mensual de una vivienda en Colombia (según la UPME).

## Parámetros de Diseño

### 1. Consumo diario

Se calcula en unidades kWh/día y se traduce como la cantidad de energía que consume un usuario en un día.

### 2. Radiación solar disponible:

Es la cantidad de energía que podría recibir un panel al día en el lugar de instalación, se obtiene con el uso de datos meteorológicos como, por ejemplo, PVGIS o Software como PVsol. Para maximizar esta radiación, se debe intentar evitar la sombra que se genera sobre los paneles.

### 3. Número y disposición de Paneles:

Se define teniendo en cuenta la radiación solar, el consumo energético y las pérdidas del sistema. En el diseño se debe tener en cuenta que Todos los String conectados deben tener la misma tensión y orientación/inclinación.

#### 4. Nivel de Tensión:

Es el tamaño de la corriente existente en el sistema al cual se conectarán los equipos, los sistemas mas grandes pueden usar aproximadamente 48V, y un sistema residencia se puede conectar aproximadamente a 24V, aunque esto va a depender de factores como el tipo de sistema, y tamaño.

#### Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Existen 3 tipos de sistemas fotovoltaicos, los cuales pueden clasificarse según su conexión (o no) con la red eléctrica pública:

##### 1. Sistemas conectados a la Red (On- Grid)

Sistemas integrados a la red eléctrica convencional. Cuando es necesario, pueden utilizarse de forma alternativa o en conjunto con la red eléctrica para satisfacer las necesidades energéticas del usuario final. El excedente suele reinyectarse a la red eléctrica, lo que en muchos casos permite su compensación.

*Ilustración 11 Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la Red*



*Fuente: Peña, L. (2023, abril 21). Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red. ilumin | Cursos de Energía Solar. <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red-on-grid-interactivo>*

*Ilustración 12 Configuración del Sistema - On Grid*



*Fuente: Propia*

## 2. Sistemas Autónomos (Off – Grid)

Estos sistemas funcionan de forma independiente y no requieren una red eléctrica convencional., incorporan baterías para el almacenamiento de energía durante el día y garantizar la continuidad del servicio por la noche o días nublados. Son ideales para zonas rurales o remotas sin acceso a una red eléctrica convencional.

*Ilustración 13 Sistema Solar Fotovoltaico Baterías*



*Fuente: Peña, L. (2023a, abril 20). Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red. ilumin | Cursos de Energía Solar. <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-aislado-de-la-red-autonomo-off-grid/>*

*Ilustración 14 Configuración del sistema - Off Grid*



*Fuente: Propia*

## 3. Sistemas Híbridos

Estos sistemas son una combinación de dispositivos conectados a la red y autónomos, que aprovechan lo mejor de ambos mundos y les permiten funcionar incluso cuando se interrumpe la electricidad o cuando la producción de energía solar es insuficiente.

Ilustración 15 Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido



Fuente: Sistema fotovoltaico on grid: sin baterías y conexión a la red eléctrica. (2024, septiembre 18). Baterías CEA. <https://bateriascea.com.ar/como-se-llama-el-sistema-otovoltaico-que-no-utiliza-baterias/>

Ilustración 16 Configuración del sistema - Híbrido



Fuente: Propia

## Antecedentes

En las últimas décadas se ha impulsado el desarrollo de tecnologías de generación de energía limpia gracias a la preocupación por el cambio climático, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el constante aumento de los precios de la electricidad. En Colombia, este interés se ha aumentado por la evolución favorable del marco legal y el crecimiento significativo de los proyectos solares de pequeña y gran escala.

Debido a los incentivos tributarios como exención del IVA se ha evidenciado un crecimiento en sistemas interconectados en Colombia, el cual ha sido significativo en la última década. De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), en el país se incrementó la capacidad instalada de energía solar de 18 MW en 2018 a más de 500 MW en 2023, con estimaciones de llegar a 2.800 MW para 2030.

El sector residencial todavía enfrenta barreras para la implementación masiva de paneles solares, ya que aún existen brechas para su masificación como lo es el desconocimiento técnico y procesos complejos con el operador de Red.

### Normatividad Aplicable

A continuación, se presenta detalladamente alguna de las regulaciones nacionales en Colombia que rigen el diseño e implementación del sistema fotovoltaico:

Año	Reglamento o Ley	Descripción
2014	Ley 1715	Artículo 1°. “Objeto: La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.”
2018	Resolución CREG 030	“Se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).”
2021	Ley 2099	Moderniza la legislación energética e incluye incentivos tributarios y mecanismos de financiamiento para energías renovables.
2021	Resolución CREG 174	Complementa la Resolución 030 de 2018 y detalla los procedimientos para la conexión, operación y remuneración de sistemas de generación distribuida.
Vigente	RETIE (Reglamento Técnico de instalaciones eléctricas)	Su propósito principal es establecer las condiciones técnicas que deben garantizarse en las instalaciones, equipos y productos utilizados en los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y uso de energía eléctrica en el país.

Estas normativas proporcionan un adecuado entorno para la operación de proyectos solares en zonas residenciales como la evaluada en este estudio.

### **MARCO GEOGRAFICO**

El proyecto se desarrolla en un conjunto residencial ubicado en Medellín, Capital del departamento de Antioquia. Esta ciudad se encuentra ubicada en la parte noroccidental de Colombia, Valle de Aburrá. El conjunto residencial seleccionado como objeto de estudio se encuentra con una buena exposición solar e infraestructura adecuada.

La Ciudad cuenta con condiciones estables a lo largo del año y un clima que oscila entre los 21°C y 25°C, características que convierten a Medellín en un lugar favorable para el aprovechamiento de la radiación solar, lo cual representa un recurso energético constante y confiable incluso durante temporadas lluviosas.

Adicional, el Valle de Aburrá cuenta con infraestructura eléctrica consolidada y acceso a redes de distribución, lo cual facilita la conexión.

<p><b>Ubicación</b></p>	<p><b>Ciudad:</b> Medellín- Vía Las Palmas</p> <p><b>Dirección:</b> Casaloma, Parcelacion Bioma-Lote 9</p> <p><b>Coordenadas:</b> 6.187209,-75.549032</p> <p><i>Ilustración 17 Geo - Referenciación del sitio</i></p>  <p><i>Fuente: Google Maps</i></p>
-------------------------	--

**Radiación Solar en la Zona**

*Ilustración 18 Radiación Solar de Colombia*



Fuente: Quintero, A. M. G. (2020, agosto 8). Radiación solar en Colombia. *Insolar*. <https://www.insolar.com.co/radiacion-solar-en-colombia/>

## MARCO METODOLOGICO

Este proyecto se enmarca en una investigación aplicada de tipo cuantitativo, orientada al análisis técnico sobre la realización del diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico. El enfoque va dirigido hacia la evaluación basada en datos existentes, cálculos y simulaciones. La metodología se basa en el diseño, simulación y análisis de un sistema de paneles solares fotovoltaicos para un conjunto residencial ubicado en Medellín. Este diseño se realizará considerando las condiciones climáticas y niveles de radiación solar promedio de la ciudad, con el fin de evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema.

**El proceso incluye:**

1. Recolección de datos sobre el consumo energético promedio de los hogares del conjunto residencial.
2. Diseño preliminar del sistema solar fotovoltaico (dimensionamiento, componentes, ubicación).
3. Estimación del tiempo de retorno de inversión y cálculo del ahorro económico mensual y anual.

**Población y muestra**

La población objetivo está compuesta por personas residentes en el conjunto residencial, donde hay 30 viviendas. La muestra se realizará a una persona por vivienda, lo cual es un número representativo dentro del conjunto para obtener datos de consumo promedio, que se utilizarán como base para el diseño del sistema fotovoltaico.

**Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recolección de datos se realizará mediante: Una encuesta estructurada a los residentes que deseen participar para conocer sobre el consumo eléctrico promedio mensual, las opiniones sobre la implementación del sistema fotovoltaico, reconocimiento de su función y sus beneficios y su aceptación hacia el cambio definitivo o parcial.

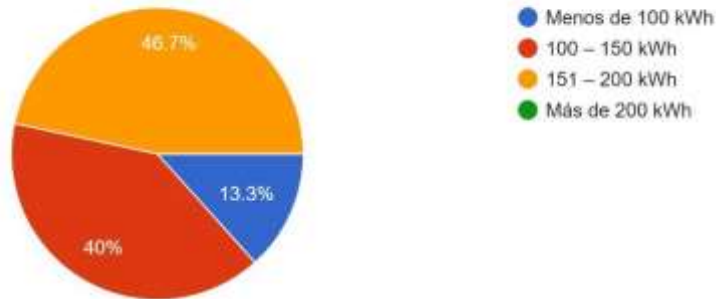
**Resultados de la Encuesta****Link de la encuesta:**

[https://docs.google.com/forms/d/1VRHJXr0IBAbSfzZha1NV0KdcleTt8v74rGOS1poiRlg/viewform?edit\\_requested=true](https://docs.google.com/forms/d/1VRHJXr0IBAbSfzZha1NV0KdcleTt8v74rGOS1poiRlg/viewform?edit_requested=true)

### 1. Consumo promedio de energía mensual (kWh).

¿Cuál es su consumo promedio mensual de energía en kWh?

30 respuestas

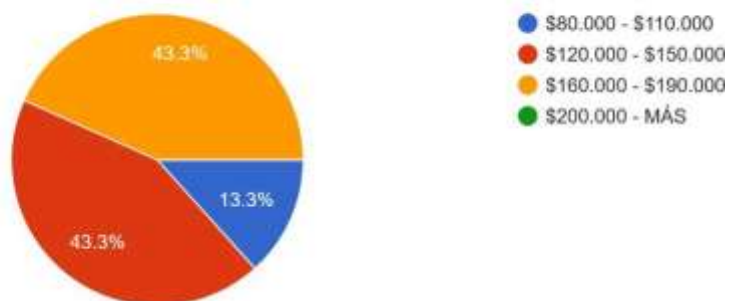


**86.7%** de los hogares consume entre **100 y 200 kWh** mensuales, esto indica un consumo **moderado** y relativamente uniforme, ideal para un sistema fotovoltaico residencial, con lo cual podemos deducir que un sistema solar de pequeña a mediana capacidad (1.5–2.5 kW) puede cubrir este consumo eficientemente en Medellín, dado su alto nivel de radiación solar (4.5 – 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día).

### 2. Facturación de energía.

¿Cuál es el valor promedio mensual de su factura de energía?

30 respuestas

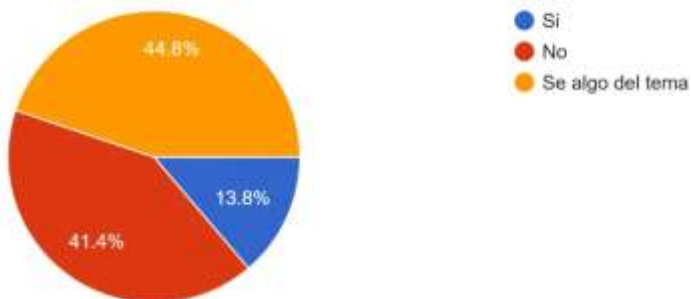


**86.6%** de los hogares paga entre \$120.000 y \$190.000 mensuales en electricidad, esto se traduce en un gasto anual promedio entre \$1.440.000 y \$2.280.000 por vivienda, lo cual representa una oportunidad real de ahorro si se reemplaza por energía solar.

#### 4. Nivel de conocimiento sobre energía renovable.

¿Conoce cómo funciona un sistema de paneles solares?

29 respuestas

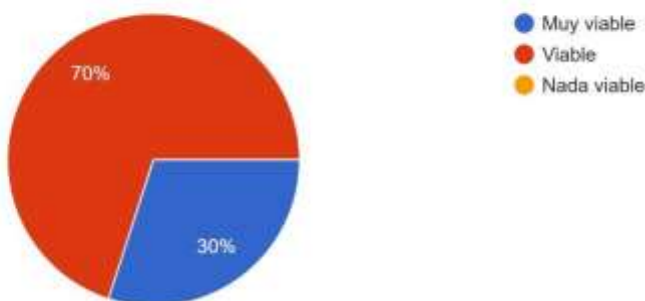


Solo **13.8%** conoce bien el funcionamiento de los paneles solares, sin embargo, un **44.8%** tiene conocimientos parciales; esto señala una **oportunidad educativa** con talleres o campañas informativas, la aceptación y comprensión del proyecto podría aumentar significativamente.

#### 5. Percepción de la viabilidad

¿Considera que la energía solar es una opción viable para su vivienda?

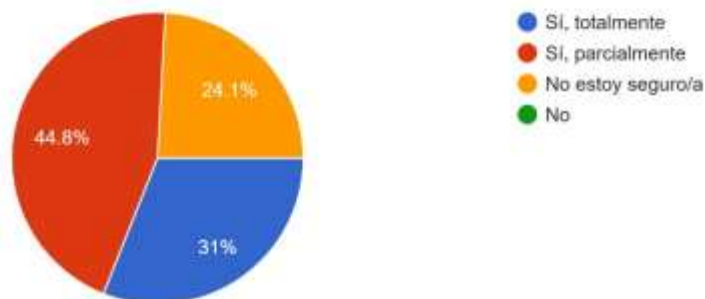
30 respuestas



**100%** considera que la energía solar es una opción **viable** o **muy viable**, esto es un **indicador clave de aceptación**, que facilita la implementación del sistema.

## 6. Disposición al reemplazo del sistema actual

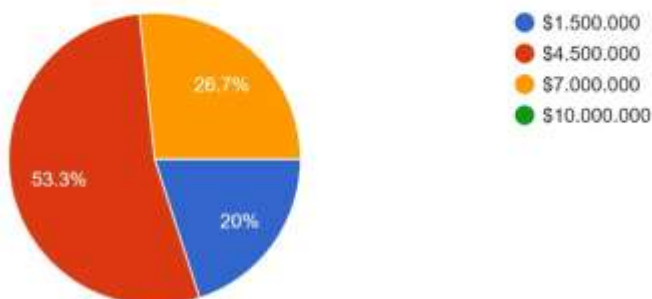
¿Estaría dispuesto(a) a reemplazar parcial o totalmente su consumo de energía por energía solar?  
29 respuestas



**75.8%** está dispuesto a reemplazar parcial o totalmente su consumo por energía solar, este dato demuestra una **actitud favorable al cambio tecnológico**, esencial para que el proyecto sea bien recibido y adoptado.

### (1) Capacidad de inversión

¿Cuál sería el monto máximo que estaría dispuesto a invertir en la instalación de paneles solares para su hogar?  
30 respuestas



**80%** está dispuesto a invertir **entre \$4.500.000 y \$7.000.000** en el sistema, este rango de inversión es **viable para sistemas básicos** residenciales sin baterías, y se puede complementar con modelos de financiación o pagos compartidos.

### **Resultados positivos de la encuesta**

Los resultados de la encuesta respaldan firmemente la viabilidad técnica, económica y social de implementar de paneles solares en el conjunto, ya que basados en los gastos promedio de hasta \$2.280.000 anuales por hogar, un sistema que permita un ahorro del 70–100% en la factura eléctrica puede ofrecer un retorno de inversión entre 4 y 6 años, tal como lo espera la mayoría de los residentes, gracias a que Medellín ofrece una radiación solar estable y eficiente para la producción solar fotovoltaica durante todo el año, adicionalmente el consumo moderado de los hogares facilita el diseño de sistemas eficientes y económicos, ajustados a la demanda real.

Se evidencio que el 100% de los encuestados ve la energía solar como viable, y más del 75% está dispuesto a adoptarla. Además, el 100% apoyaría un proyecto comunitario, lo que habilita esquemas de energía compartida que reducen costos de instalación y mantenimiento, es importante tener en cuenta que con una combinación de infraestructura bien diseñada, financiación adecuada y campañas de sensibilización, este proyecto puede convertirse en un modelo de sostenibilidad urbana para Medellín, mejorando la calidad de vida de los residentes y reduciendo sus costos energéticos a largo plazo, cabe resaltar que la energía solar contribuye directamente a la reducción de la huella de carbono, mejora la imagen del conjunto residencial y puede aumentar el valor de las propiedades.

### **ANALISIS DE RESTRICCIONES**

El diseño e implementación de un sistema de paneles solares en un conjunto residencial en Medellín enfrenta a varias limitaciones que deben ser tomadas en cuenta para asegurar su factibilidad. Estas restricciones abarcan elementos ambientales, económicos, jurídicos, de salud y seguridad, y socioculturales.

#### **Restricciones de Infraestructura**

Para el desarrollo del proyecto se identifica que para la instalación de Paneles Solares Fotovoltaicos en el techo de una vivienda se requieren de una resistencia estructural de mínima **18kg** que es el peso aproximado de un panel estándar.

- **Limitaciones Estructurales:** En caso de no tener una buena resistencia se deberá optar por otro tipo de sistema ya que realizar un reforzamiento estructural para este tipo de proyecto conllevaría incremento significativo en el presupuesto disminuyendo su viabilidad casi que en un 90%.
- **Disponibilidad de Espacio:** Se puede presentar que algunas viviendas dificulten la instalación óptima del sistema al no contar con suficiente área útil en sus techos.

### Restricciones Ambientales

Aunque la energía solar representa una opción ecológica y sustentable, su implementación en techos de viviendas debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Orientación y sombreado:** El rendimiento de los paneles se basa en su exposición solar. Medellín recibe en promedio 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día de radiación solar (IDEAM, 2022), no obstante, la existencia de árboles, construcciones, antenas o cualquier otra fuente que genere sombreado, puede disminuir la producción energética.

### Restricciones Económicas

El costo del diseño y la factibilidad económica son elementos cruciales en el progreso del proyecto.

- **Costo del diseño y simulación:** Para dimensionar correctamente el sistema, se requiere el uso de herramientas especializadas como PVsol, Helioscope, para realizar la simulación y evaluación del sistema fotovoltaico, las cuales implican licencia, lo que podría elevar los gastos.

### Restricciones Legales

El proyecto debe acatar las normativas actuales en Colombia para asegurar su funcionamiento y prevenir penalizaciones:

- **Normativa eléctrica:** La configuración del sistema tiene que acatar el Reglamento

Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el cual establece una condiciones y operación específicos por profesionales calificados.

- **Autogeneración y venta de excedentes:** La Resolución CREG 030 de 2018 regula la generación autónoma de energía y autoriza la venta de excedentes a la red eléctrica, aunque exige satisfacer requisitos administrativos y técnicos.

### Restricciones de Salud y Seguridad

La instalación de paneles solares en techos residenciales implica riesgos que deben ser gestionados adecuadamente:

- **Riesgo eléctrico:** Es necesario que el sistema eléctrico respete las regulaciones de seguridad para prevenir peligros de cortocircuitos, sobrecargas o fallos a tierra. El diseño debe incluir protecciones de puesta a tierra

### Restricciones socioculturales

La clave para la instalación del sistema en un entorno residencial como el del objeto de estudio, es la aceptación social:

- **Opinión de los habitantes acerca de la tecnología:** Algunos habitantes podrían oponerse al cambio, especialmente si desconocen o tienen un conocimiento erróneo sobre las ventajas de la energía solar, lo que podría afectar la toma de decisiones en el conjunto de viviendas.

El estudio de limitaciones facilita la identificación de los retos principales en la instalación de paneles solares sobre los techos del conjunto residencial, garantizando que el proyecto sea factible en aspectos técnicos, financieros y jurídicos. Para vencer estos obstáculos, es esencial una organización meticulosa que incluya análisis estructurales, acceso a financiación, acatamiento de las regulaciones y tácticas de interacción social con los habitantes.

## METODOLOGIA DE SELECCIÓN

La elección y elaboración del diseño y simulación de un sistema de paneles solares en las

viviendas del conjunto residencial de Medellín, se fundamenta en un enfoque sistemático que asegure su factibilidad técnica, económica, ambiental y social. La metodología toma en cuenta las restricciones detectadas y realiza los pasos esenciales siguientes:

### Verificación de soluciones lógicas

Previo al progreso en el diseño, es necesario descartar aquellas soluciones que infrinjan principios físicos, reglamentos o técnicos. Por ejemplo, no se pueden sugerir sistemas que aseguren un desempeño del 100% sin pérdidas de energía, dado que esto contraviene la segunda ley de la termodinámica.

### Evaluación de alternativas y Métodos de Selección

1. Inicialmente se deberá realizar una visita en el cual se realice un levantamiento de información con el fin de evaluar una viabilidad inicial, en donde se realizará la revisión de capacidad de techos y posible ruta de cableado.
2. Se deberá evaluar el tipo de estructura en el cual se instalará el proyecto, así mismo dimensionar la estructura de soporte y paneles adecuado que serán usadas, con esto también se conoce si la cargabilidad requerida para esta es la adecuada para el proyecto.
3. En cuanto a la restricción presentada de **sombras**, teniendo en cuenta que reducen significativamente el rendimiento del sistema solar fotovoltaico especialmente en entornos urbanos como Medellín, por lo cual plantean alternativas para evaluar para mitigar los efectos de las sombras desde el diseño del proyecto.

### Parámetros de Evaluación

- **Eficiencia Energética:** Evaluación de la alternativa en cuanto a la reducción de perdidas por sombras para mantener un buen rendimiento del sistema.
- **Costo de implementación:** Considerar el valor económico para la aplicación de la alternativa.
- **Mantenimiento:** Análisis de durabilidad a largo plazo

- **Facilidad de implementación:** Evaluar complejidad al aplicar la solución del proyecto con variables como los recursos y tiempo

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Diseño optimizado del sistema	Bajo costo, evita zonas sombreadas.	Menor cantidad de paneles instalables lo que se traduce en menor potencia.
Micro inversores	Cada panel funciona de forma independiente.	Mayor costo y mantenimiento más complejo.
Optimizadores de potencia	Aumentan eficiencia sin cambiar todo el sistema	Costo adicional por módulo
Simulación con Software	Permite prever sombras y ajustar diseño	Requiere conocimiento técnico

4. Analizar diversas alternativas de **paneles solares** e **Inversores** para establecer la opción más adecuada en cuanto a rendimiento, eficiencia, costo y durabilidad

#### Parámetros de Evaluación

- **Potencia Nominal (Wp):** Evaluación de la habilidad para producir energía bajo condiciones normalizadas.
- **Eficiencia:** Proporción de energía solar que el panel tiene la capacidad de transformar en energía eléctrica.
- **Costo:** Valor por Wp de acuerdo en función de la potencia generada
- **Garantía:** Periodo en el que el fabricante garantiza la eficiencia del panel.

#### Paneles:

Característica	JA Solar 425 Wp	Trina Solar Vertex S 540Wp	Canadian Solar 450 Wp
Potencia Nominal (Wp)	425 Wp	540 Wp	450 Wp
Eficiencia	20,60%	21,30%	20,30%
Costo por Wp	\$0,26/Wp	\$0,22/Wp	\$0,24/Wp
Garantía	12 años (producto), 25 años (rendimiento)	25 años (producto y rendimiento)	12 años (producto), 25 años (rendimiento)

**Inversores:**

Característica	Growatt MIN 10000TL-XH-US	Huawei SUN2000-10KTL-M1	Solis RHI-3P10K-HVES-5G
Tipo	Hibrido trifásico	Hibrido trifásico	Hibrido monofásico
Potencia nominal	10 kW	10 kW	10 kW
Eficiencia	98,4%	98,6%	97,8%
Garantía	10 años (extendibles a 15)	10 años (extendibles a 20)	5 años (extendibles a 10)

Las soluciones menos viables serán descartadas para evitar incurrir en gastos innecesarios.

**METODO PARA EL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

1. Se realiza la visita planteada anteriormente, en donde se realizó un levantamiento de información evaluando una viabilidad inicial, con la revisión de capacidad de techos y posible ruta de cableado.

INFORME DE VISITA	
<b>1. Objetivo de la Visita</b>	Verificación de la viabilidad de proyecto residencial. En esta visita se tuvo como propósito la revisión de capacidad estructural de los techos, posible ubicación del sistema solar fotovoltaico (SSFV) en la casa del conjunto y realizar un análisis preliminar de rutas de cableado DC y AC.
<b>2. Alcance de la Visita</b>	Visita técnica para el levantamiento de información en sitio. Se evaluaron aspectos estructurales, técnicos y logísticos para la futura



*Ilustración 22 Cableado DC*



*Fuente: Propia*

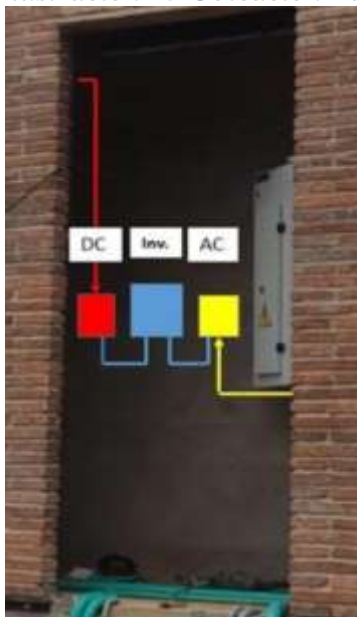


*Fuente: Propia*

#### 4.2 Equipos

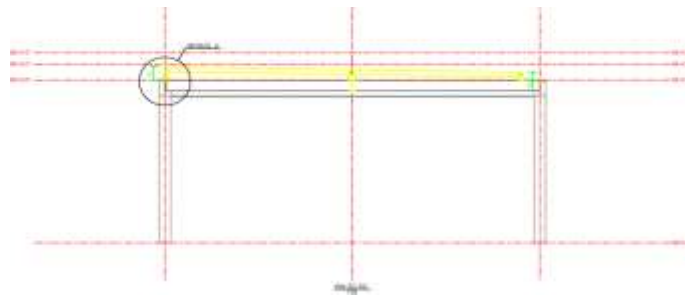
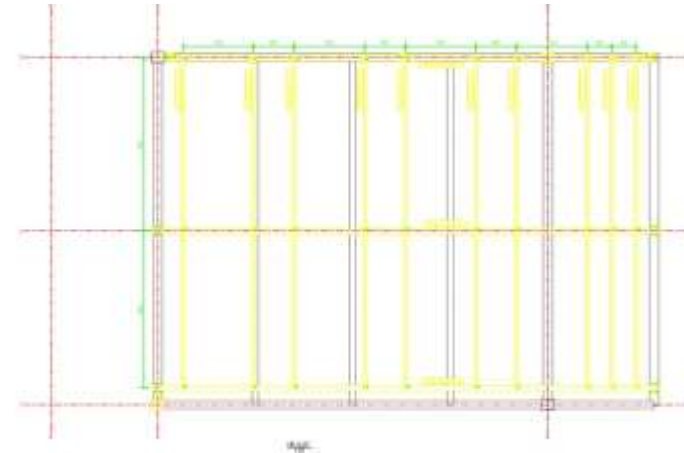
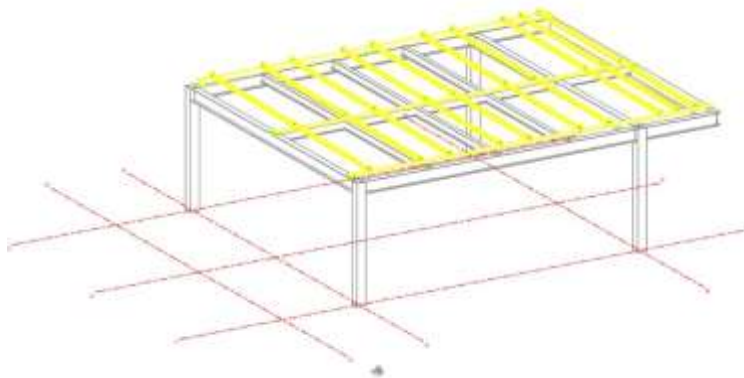
Ubicación sugerida para la instalación de los equipos (Inversor, Tablero)

*Ilustración 23 Ubicación Equipos*



*Fuente: Propia*

2. Como en la visita se evaluó el tipo de estructura en el cual se instalará el proyecto (Carpot) y se determinó que tiene la cargabilidad necesaria para soportar el peso del proyecto, se dimensiona mediante el siguiente plano la estructura de soporte adecuado para los paneles serán usados.



<b>PROYECTO</b> <b>Viviendo con Energía Renovable</b>			
<b>CONTENIDO</b> DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE PANELES EN CARPORT			
ESCALA:	ESCALA PLOTED	CODIGO PROYECTO	
1:100	1:1		
FECHA	UNIDADES	PLATAFORMA	TAMAÑO
12-05-2025	METROS	ACAO-DIAG	ISO B2 (500x700mm)
CODIGO PLANO:			HSJA
PL-CARPORT_RESIDENCIAL-001			1 DE 1 0
			REV:

**(Se adjunta Anexo 1. PL-CARPORT\_RESIDENCIAL MEDELLIN)**

3. Para solventar las **sombras** que se puedan presentar, teniendo en cuenta que reducen significativamente el rendimiento del sistema solar fotovoltaico especialmente en entornos urbanos como Medellín y después de revisar las alternativas presentadas con los parámetros de evaluación establecidos, se define que las mejores alternativas son realizar:

- **Simulación con Software:** Se usará como software especializado PVsol con el cual se simulará la radiación solar en el sitio y nos dará el input de sombras que puedan existir para poder mitigarlas.
- **Diseño optimizado del sistema:** El diseño optimizado del sistema permitirá evitar las sombras que nos presente el Software para aprovechar al máximo la radiación solar de la zona.

El elegir estas alternativas nos permite aumentar la generación de energía y confirmar la viabilidad técnica del proyecto.

4. Al analizar las diversas alternativas de paneles solares e Inversores presentadas con los parámetros de evaluación establecidos, se define que la mejor opción de equipos son los siguientes:

**Panel:**

Se elige el Panel **JA Solar 425Wp**, se considera que es una de las mejores opciones para este tipo de proyectos como lo es una vivienda de conjunto residencial, se toma esta decisión posterior a una identificación y evaluación de los parámetros dados anteriormente (Potencia Nominal, eficiencia, costo, garantía y facilidad en la instalación). Para justificar lo anterior, a continuación, presentamos las características de la opción seleccionada:

- **Económica en función de un Rendimiento optimo:**  
Este panel en comparación de las otras 2 alternativas representa un valor bajo en relación con su eficiencia, lo cual lo convierte en accesible sin tener que comprometer la calidad.
- **Durabilidad de garantía y rendimiento:**  
Una de las características más relevantes de cualquier sistema solar es su resistencia.

Este Panel presenta una garantía de 12 años en el producto, lo que implica que este seguirá generando un 80% de su capacidad mínimo 25 años.

- **Tecnología en Celdas:**

Este Panel cuenta con una tecnología de celdas de alta calidad monocristalinas. Estas posibilitan una eficiencia superior en la transformación de energía solar en electricidad, particularmente en zonas donde la luz solar directa es menos potente o donde la instalación se lleva a cabo en lugares con sombras parciales.

### **Inversor:**

Teniendo en cuenta que para el sistema solar fotovoltaico que se presenta diseñar en el conjunto residencial de Medellín, se escoge el inversor **Growatt MIN 10000TL-XH-US**, se hace esta elección puesto que cuenta con características balanceadas respecto a su eficiencia, costo, compatibilidad y garantía los cuales son factores que se definieron como criterio para la respectiva selección del equipo. Para justificar lo anterior, a continuación, presentamos las características del inversor:

- **Eficiencia y rendimiento confiable:**

El inversor garantiza una eficiencia competitiva de 98.4% frente a las otras marcas del mercado, lo que asegura que la producción que tendrá el sistema teniendo en cuenta las condiciones variables de la ciudad serán óptimas

- **Soporte técnico y garantía:**

En especial esta marca de inversor tiene amplio respaldo internacional, con presencia en Latinoamérica, ofrece 10 años de garantía, con posibilidad de extenderlo 5 años más, lo cual es una gran ventaja frente a otras referencias.

A continuación, se comparten las fichas técnicas de los equipos:

**Panel:**

Ilustración 24 Ficha Técnica Paneles

www.jasolar.com  
Specifications subject to technical changes and tests.  
JA Solar reserves the right of final interpretation.

## 440W

**415-440** LR  
JAM5430 Series

	ELECTRICAL PARAMETERS AT STC					
TYPE	JAM5430 -415/LR	JAM5430 -420/LR	JAM5430 -425/LR	JAM5430 -430/LR	JAM5430 -435/LR	JAM5430 -440/LR
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	415	420	425	430	435	440
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	57.55	57.73	57.91	58.09	58.27	58.45
Maximum Power Voltage (Vmpp) [V]	30.92	31.11	31.30	31.49	31.68	31.86
Short Circuit Current (Isc) [A]	14.17	14.25	14.33	14.42	14.50	14.58
Maximum Power Current (mp) [A]	13.42	13.50	13.58	13.65	13.73	13.81
Module Efficiency (%)	20.8	21.0	21.5	21.5	21.8	22.0
Power Tolerance	0→±5W					
Temperature Coefficient of (Isc) [Isc]	+0.048%/°C					
Temperature Coefficient of (Voc) [Voc]	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of (Pmax) [Pmp]	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

**Superior Warranty**

0.55% Annual Degradation Over 25 years

- New linear power warranty
- Standard module linear power warranty

	ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT					
TYPE	JAM5430 -415/LR	JAM5430 -420/LR	JAM5430 -425/LR	JAM5430 -430/LR	JAM5430 -435/LR	JAM5430 -440/LR
Rated Max Power (Pmax) [W]	314	316	322	326	329	333
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	55.53	55.70	55.87	56.04	56.21	56.38
Max Power Voltage (Vmpp) [V]	29.26	29.44	29.62	29.80	29.98	30.15
Short Circuit Current (Isc) [A]	11.33	11.40	11.47	11.53	11.60	11.67
Max Power Current (mp) [A]	10.74	10.80	10.86	10.92	10.99	11.05
NOCT	Irradiance 800W/m², ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

**OPERATING CONDITIONS**

Maximum System Voltage: 1000V/1500V DC

Operating Temperature: -40°C→+85°C

Maximum Series Fuse Rating: 25A

Maximum Static Load, Front\*: 5400Pa (12lb./ft²)

Maximum Static Load, Back\*: 2400Pa (50lb./ft²)

NOCT: 45±2°C

Safety Class: Class II

Pile Performance: UL Type I

**CHARACTERISTICS**

Current-Voltage Curve JAM5430-430/LR

Power-Voltage Curve JAM5430-430/LR

Current-Voltage Curve JAM5430-430/LR

Fuente: Ficha Técnica Panel Solar (S/f) de <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://cdn.autosolar.es/pdf/fichas-tecnicas/1002339.pdf>

(Se adjunta Anexo 2. Ficha Técnica Panel JA SOLAR)

**Inversor:**

*Ilustración 25 Ficha Técnica Inversores*

Hoja de datos	MIN 8200TL-XH-US	MIN 9000TL-XH-US	MIN 10000TL-XH-US	MIN 11400TL-XH-US
<b>Datos de entrada (FV)</b>				
Máxima potencia FV recomendada (STC)	16400W	18000W	20000W	22800W
Relación CD/CA			2	
Máx. Voltaje de CD			600V	
Voltaje de arranque			80V	
Rango de voltaje con carga completa	160-500V	180-500V	200-500V	220-500V
Voltaje nominal			360V	
Rango de voltaje de operación		Growatt Batería: 380V-550V / LG Batería:50-450V		
N° de MPPT			4	
Cadenas FV por MPPT			2	
Máxima corriente por MPPT			13.5A	
Corriente de corto circuito por MPPT			16.9A	
<b>Datos de entrada y salida (batería)</b>				
Rango de voltaje de E/S	Growatt APX Batería:380-550V/ Growatt ARO Batería :360V-550V/ LG Batería:360V-450V			
Voltaje nominal de CD			400V	
Corriente CD de E/S	23.6A	25.8A	28.6A	32.5A*
Potencia CD de E/S	8500W	9300W	10300W	11700W*
Tipo de batería	LFP			
Capacidad de la batería por módulo	APX 5kWh / ARO 3.9kWh / LG 10kWh, 16kWh / LG enblock S10: 10.6kWh / LG enblock S14: 14.1kWh / LG enblock S17: 17.7kWh			
Escalabilidad	APX 5.0-30.0kWh / ARO 6.6-39.8kWh / LG Prime 10H 10-20kWh 16H 16-32kWh / LG enblock S10: 10.6-21.2kWh S14: 14.1-28.2kWh S17: 17.7-35.4kWh			
Baterías compatibles	Growatt APX HV Battery / Growatt ARO HV Battery / LG 10H Prime / LG 16H Prime / LG enblock S10 / LG enblock S14 / LG enblock S17			
<b>Datos de salida (CA)</b>				
Potencia nominal de CA@240 V CA	8200W	9000W	10000W	11400W
Potencia nominal de CA@208 V CA	7100W	7800W	8660W	9880W
Potencia aparente máxima	8200VA	9000VA	10000VA	11400VA
Voltaje nominal de CA			208V/240V	
Rango de voltaje de CA @208 V CA @240 V CA			183V-229V/211V-264V	
Frecuencia de red de CA			50/60Hz	
Rango de frecuencia de CA			45-65Hz	
Corriente máxima de salida	35A	38A	42A	48A
Protección para sobrecorriente de salida			63A	
Factor de potencia (@Potencia nominal)			>0.99	
Factor de potencia ajustable			0.8 de adelanto-0.8 de retraso	
Distorsión armónica total			< 3%	
Tipo de conexión CA			L1/L2/N/PE	
<b>Datos de salida (Respaldo)</b>				
Potencia nominal de CA	8200W	9000W	10000W	11400W*
Max. Potencia de salida de CA	12900VA	14200VA	15800VA	18000VA
Voltaje nominal de CA			240V	
Corriente máxima de salida	54A	59A	66A	75A
THD			2% linear load, 5% non-linear load	
Puertos de CA del inversor V2	2 Puertos de CA, 1 para interconexión a red, 1 para respaldo (EPS) compatible con ATS-US para respaldo parcial del hogar			
Puertos de CA del inversor V3	1 puerto de CA para 1 interconexión a red compatible con SYN200-US para el respaldo de toda la casa			
<b>Eficiencia</b>				
Max. Eficiencia	98.3%	98.3%	98.1%	98.5%
Eficiencia CEC @240V CA	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
Eficiencia CEC @208V CA	97.5%	97.5%	97.5%	98.0%

Fuente: *Ficha técnica Inversor (S/f-b).de* [http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://xlstore.exelsolar.com/Multimedia/FichaTecnica/GRW-MIN-10000TL-XH%20US\\_FichaTecnica.pdf](http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://xlstore.exelsolar.com/Multimedia/FichaTecnica/GRW-MIN-10000TL-XH%20US_FichaTecnica.pdf)

**(Se adjunta Anexo 3. Inversor Growatt MIN 10000TL-XH-US)**

## ANÁLISIS DE COSTOS

Para el estudio de la implementación de paneles solares en un conjunto residencial en la ciudad de Medellín se requiere un proceso detallado que abarca desde la creación del diseño hasta la aprobación del proyecto. El análisis de costos de este proceso incluye diversas etapas que involucran actividades de diseño, evaluación técnica, simulación, y socialización, con el objetivo de garantizar la viabilidad técnica, económica y legal del proyecto.

### Costos Directos

- **Mano de Obra directa (Ingenieros Eléctricos):**
  - Costos por la contratación de personal capacitado (ingenieros eléctricos, especialistas en energía solar) Quienes llevaran a cabo la realización de la visita técnica para revisión de características generales, ruta de cableado, lugar para la instalación de módulos y cometidas.
- **Software especializado:**
  - Costos por la licencia de un Software como **PVsol** para simular el rendimiento del sistema
  - Costos por la licencia de un Software como **AUTOCAD** para el diseño y distribución de paneles
- **Gastos de viaje:**
  - Viáticos que tendrá el ingeniero que realice la visita de factibilidad al lugar de instalación
- **Costo Financiero:** Análisis de incentivos, créditos y elaboración del modelo financiero.

Cargo	Valor por día hábil
Coordinador de proyectos A	\$ 273.775
Director de proyectos	\$ 507.186
Técnico Interventor A	\$ 197.465
Ingeniero de Diseño A	\$ 271.266
Asistente SST	\$ 140.091

Gastos de viaje (Se ajusta de acuerdo al lugar y días de viaje)						
Descripción de la tarea		Aplica	Cantidad	Costo días	Cantidad días a ejecutar	Total
1	Ingeniero día nómina	Aplica	1	\$ 271.266	1	\$ 271.266
2	Hospedaje Ingeniero	Aplica	1	\$ 90.000	0	\$ -
3	Alimentación Ingeniero	Aplica	1	\$ 75.000	1	\$ 75.000
4	Transporte Local	Aplica	1	\$ 35.000	1	\$ 35.000
5	Transporte a Sitio	Aplica	1	\$ 600.000	0	\$ -
6	Técnico Servicios	No Aplica	1	\$ 140.000	0	\$ -
7	Hospedaje Técnico	No Aplica	1	\$ 90.000	0	\$ -
8	Alimentación Técnico	No Aplica	1	\$ 75.000	0	\$ -
9	Transporte Local	No Aplica	1	\$ 20.000	0	\$ -
10	Transporte a Sitio ida y vuelta	No Aplica	1	\$ 180.000	0	\$ -
11	Supervisor	No Aplica	1	\$ 200.000	0	\$ -
12	Hospedaje Supervisor	No Aplica	1	\$ 90.000	0	\$ -
13	Alimentación Supervisor	No Aplica	1	\$ 75.000	0	\$ -
14	Transporte Local	No Aplica	1	\$ 30.000	0	\$ -
15	Transporte a Sitio	No Aplica	1	\$ 180.000	0	\$ -
11	Supervisora SISO	Aplica	1	\$ 190.000	1	\$ 190.000
<b>Total</b>						<b>\$ 571.266</b>

### Costos Indirectos

- **Servicios Públicos:**
  - Energía eléctrica: Consumo de energía en la oficina
  - Internet: Usado para las simulaciones Online
- **Impresión Documentos:**
  - Material físico requerido

## Presupuesto Total

Servicio	Tipo de gasto	Categoría	Descripción	Cantidad por proyecto	Unidad	Valor (\$)	Observaciones
Diseño	Directo	Mano de Obra técnica	Día de ingeniero de diseño	1	Día	\$ 271.266	
Diseño	Directo	Software	AutoCAD	1	Mes/días	\$ 13.333	
Diseño	Directo	Gastos de Viaje	Viaticos ingeniero que realiza visita de factibilidad	1	Día	\$ 571.266	
Diseño	Directo	Mano de Obra SST	Día de SST en visita de Factibilidad	1	Día	\$ 140.091	
Simulación	Directo	Mano de Obra técnica	Día de ingeniero Electricista	1	Día	\$ 197.465	
Simulación	Directo	Software	PVSol	1	Mes/días	\$ 199.874	
Presupuesto	Directo	Mano de Obra técnica	Elaboración del presupuesto	1	Día	\$ 273.775	
General	Indirecto	Internet	Consumo Oficina	1	Mes/días	\$ 5.000	Estimado Proporcional
General	Indirecto	Energía Eléctrica	Consumo para simulación y diseño	1	Mes/días	\$ 6.667	Estimado Proporcional
General	Indirecto	Impresión/documentos	Material Físico	1	Día	\$ 6.667	Estimado Proporcional
						<b>Subtotal</b>	<b>\$ 1.685.404</b>
						<b>Imprevistos</b>	<b>5%</b>
							<b>\$ 84.270</b>
						<b>Costo Financiero</b>	<b>6%</b>
							<b>\$ 101.124</b>
						<b>Costo Total</b>	<b>\$ 1.870.798</b>
						<b>Margen</b>	<b>40%</b>
						<b>Precio de Venta</b>	<b>\$ 2.616.117</b>

(Se adjunta Anexo 4. Análisis de Costos)

## APLICACIÓN DEL METODO

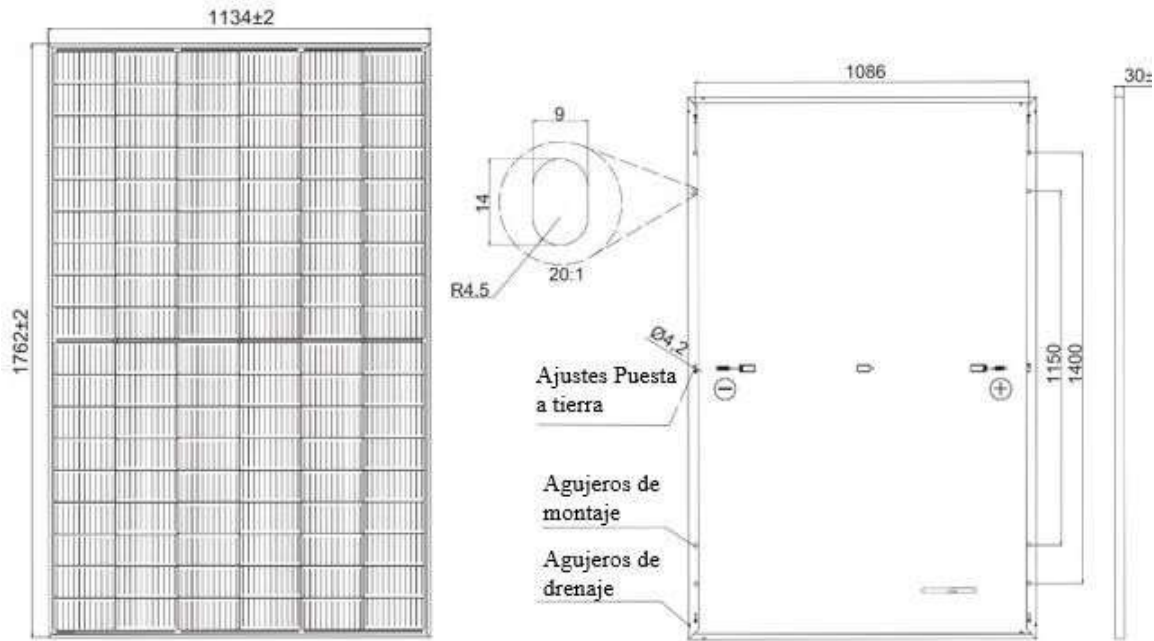
Una vez realizada la visita planteada anteriormente y con la definición de capacidad de techos, posible ruta de cableado y una vez realizado el plano de soporte para la estructura se puede proceder con el de desarrollo del diseño del proyecto planteado.

### 1. Tipo de Panel

Como se definió anteriormente el Panel a usar será el monocristalino HALF-CELL JA Solar DEEP BLUE 3.0

- **Dimensión:** 1.13m de ancho – 1.76m de alto.
- **Peso:** 20kg.
- **Potencia:** 425 Wp

Ilustración 26 Especificaciones Panel



Fuente: Ficha Técnica Panel Solar (S/f) de <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cdn.autosolar.es/pdf/fichas-tecnicas/1002339.pdf>

## 2. Configuración Equipos

Una vez definido el tipo de Panel se debe realizar la configuración de los equipos con el fin de determinar de acuerdo con la cantidad de paneles y la demanda que se debe suplir cual es la potencia pico (kWp) que tendrá el sistema solar a instalar.

### Demanda por suplir

Como se evidencia en la factura de energía eléctrica la potencia a suplir es 715,180 kWh/mes

Cálculo Consumo del 29 ene al 12 feb (14 días)				
Energía	Lectura actual	Lectura anterior	constante	consumo
	728	- 12	X 1	= 715,180 kWh
	Valores Facturados kWh x Costo (\$)			Valor (\$)
	Energía mar-25	715,180	854,28	\$610.963,97
	Contribución activa % 20			122.192,79
	<b>Total Energía</b>			<b>\$ 733.156,76</b>

Fuente: Tomado de factura eléctrica emitida por EPM

Con la información de demanda por suplir se realiza la configuración de equipos

Ilustración 27 Configuración de Equipos

Inversor No. 1				Referencia		MIN 10000TL-XH-US	
				Potencia Nominal @240V AC (W)		10000	
	Paralelos	Series	Paneles	Potencia (Wp)	Potencia por MPPT (W)	Porcentaje del MPPT respecto al total	Relación de Potencia< DC/AC
MPPT 1	1	10	10	4.250 Wp	5.000	50,00%	0,85
MPPT 2	1	10	10	4.250 Wp	5.000	50,00%	0,85
<b>TOTAL</b>			<b>20</b>	<b>8.500</b>	<b>10.000</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,85</b>

Fuente: Propia.

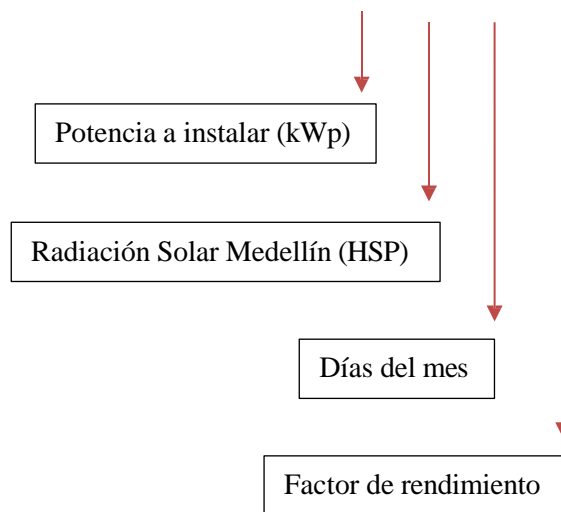
(Se adjunta Anexo 5. Configuración sistema solar)

La configuración realizada nos indica que la potencia total del sistema será **8.5 kWp**, esto dividido en grupos de 10 paneles cada uno de 4,25 kWp.

**[kWp = Kilo vatios pico:** Es la potencia máxima que puede generar un panel en condiciones ideales]

### Cálculo de la energía mensual generada

$$Energia\ mensual = 8.5 * 4.8 * 30 * 0.85 = 1.040\ kWh/mes$$



### Comparación con demanda:

- Demanda mensual: 715, 18 kWh/mes
- Generación estimada: 979,2 kWh/mes
- Excedentes mensuales estimados: 325.22 kWh/mes

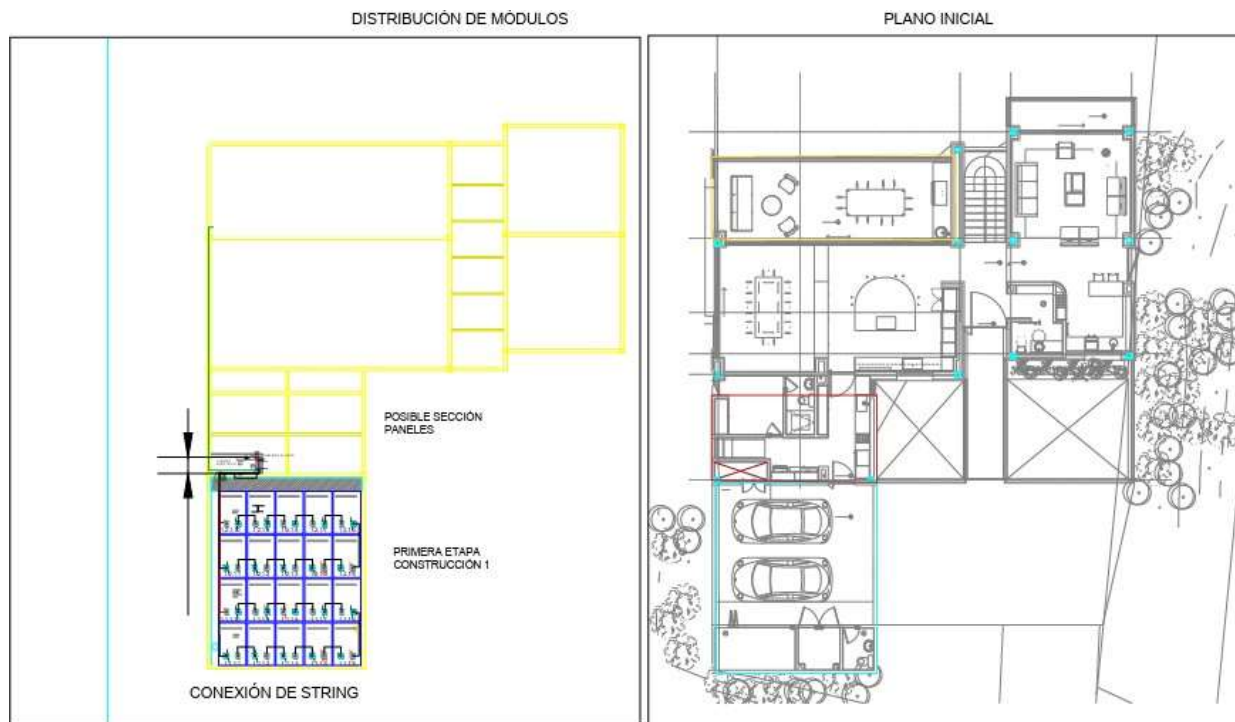
La configuración realizada que da como resultado 8.5 kWp representa una potencia ideal para el sistema ya que cumple completamente la demanda mensual y adicional genera excedentes mensuales que pueden ser ideales para realizar una inyección a la red, para días nublados o de baja generación y finalmente por si existe en un futuro un aumento del consumo.

### 3. Distribución de Módulos

Se realizó la distribución de los 20 paneles en una estructura tipo Carpot optimizando el espacio disponible. La distribución consta de dos conjuntos de 10 paneles conectados en serie, cada uno asignado a un punto MPPT (punto de máxima potencia) separados del inversor, para optimizar la producción solar.

El diseño de los paneles se realiza con una orientación hacia el norte de aproximadamente 15°, lo que permite captar la radiación solar optima durante todo el año y favorecer el drenaje de aguas lluvias.

*Ilustración 28 Distribución de Módulos*



*Fuente: Propia.*

**(Se adjunta Anexo 6. DM-Conjunto Residencial Medellín)**

- La inclinación y orientación se determinaron teniendo en cuenta la latitud de Medellín que es de ( $\sim 6^{\circ}\text{N}$ ), haciendo que la inclinación dada hacia el norte genere resultados óptimos.
- La estructura tipo Carpot que se determinó luego de realizar la respectiva visita y de realizar el plano de la estructura, además cumple la función de proporcionar sombra y protección a vehículos lo que le genera un valor adicional estético y funcional.
- El arreglo de MPPT asegura que los arreglos operen de manera independiente minimizando así las pérdidas de desigualdad en la irradiación.

#### 4. Simulación

Se realiza simulación mediante software PVSol, con el cual se estimó la producción energética que tendrá el proyecto.

*Ilustración 29 Vista General simulación*

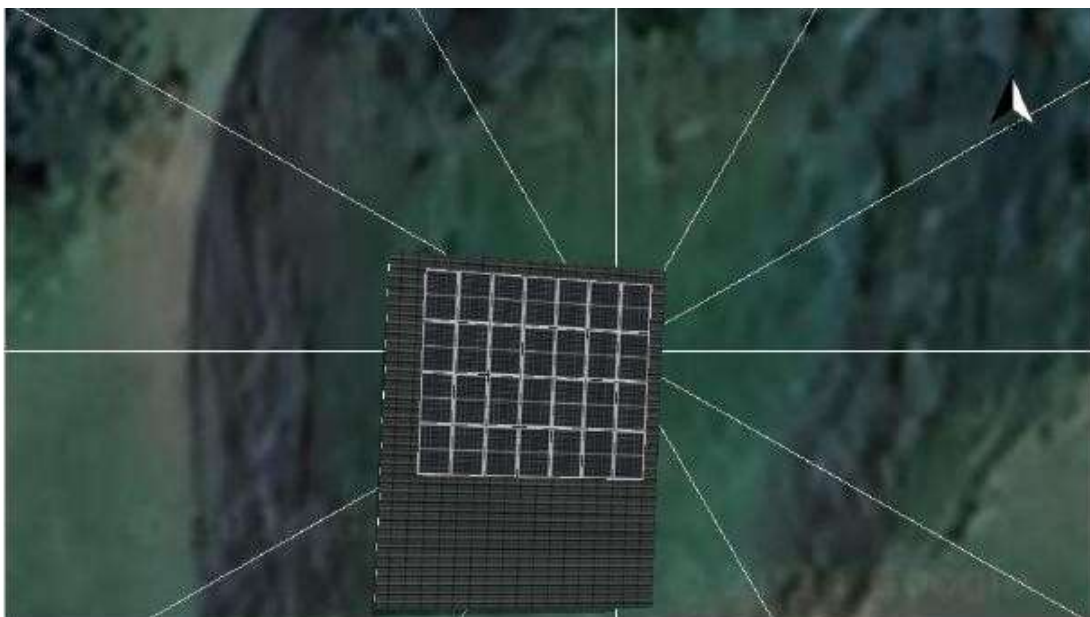


Figura: Vista general, Planificación 3D

## Instalación FV

3D, Sistema FV conectado a la red con consumidores eléctricos

Datos climáticos	Medellin, COL (2005 - 2015)	
Fuente de los valores	PVGIS-NSRDB/ERA5	
Potencia generador FV		8,5 kWp
Superficie generador FV		55,9 m <sup>2</sup>
Número de módulos FV		20
Número de inversores		1

*Fuente: Propia.*

Ilustración 30 Resultados Simulación

### Resultados Sistema completo

#### Instalación FV

Potencia generador FV	8,5 kWp
Rendimiento anual espec.	1.040 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento de la instalación (PR)	85 %
Reducción de rendimiento por sombreado	3,9 %
Energía de generador FV (Red CA)	16.227 kWh/Año
Consumo propio	12.075 kWh/Año
Limitación en el punto de inyección	0 kWh/Año
Inyección en la red	4.151 kWh/Año
Proporción de consumo propio	74,4 %
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas	8.177 kg / año

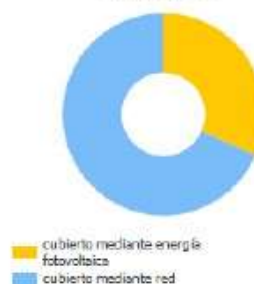
Energía de generador FV (Red CA)



#### Consumidores

Consumidores	38.157 kWh/Año
Consumo Standby (Inversores)	3 kWh/Año
Consumo total	38.160 kWh/Año
cubierto mediante energía fotovoltaica	12.075 kWh/Año
cubierto mediante red	26.085 kWh/Año
Fracción de cobertura solar	31,6 %

Consumo total



Fuente: Propia.

## CONCLUSIONES

Esta propuesta surge como una solución viable y eficiente para hacer frente a los desafíos energéticos y económicos que enfrentan los residentes del conjunto. Al aprovechar las condiciones climáticas favorables y la radiación solar constante en Medellín, se puede implementar una alternativa energética que no solo contribuya a la sostenibilidad ambiental, sino que también genere un ahorro considerable en los costos de electricidad de los hogares.

Diferentes investigaciones han demostrado que la ciudad de Medellín ofrece una excelente radiación solar durante todo el año, lo que convierte a los paneles solares en una opción técnica y económicamente viable. La radiación solar promedio entre 4.5 y 5.5 kWh/día ofrece una base sólida para la implementación de un sistema fotovoltaico que cubra las necesidades energéticas del conjunto residencial. Este sistema, operando bajo un modelo de venta de energía a menor costo que la tarifa convencional, se posiciona como una solución atractiva y rentable desde el primer mes de operación, ofreciendo a los residentes una reducción significativa en sus facturas de energía eléctrica; gracias a ello identificamos un proyecto completamente viable con el cual podemos confirmar que la población se beneficiara y a raíz de su implementación, contribuirá a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ayudando a mitigar el impacto ambiental de las viviendas.

Como se mencionó anteriormente, este proyecto promueve la transición hacia un modelo energético más sostenible, fomentando la conciencia sobre la importancia del uso de energías renovables y el cuidado del medio ambiente. Este cambio hacia una energía limpia también tiene el beneficio de disminuir la huella de carbono de la comunidad, un aspecto especialmente relevante en una ciudad como Medellín, siendo unas de las principales en el país que genera impacto en la sociedad por su gran reconocimiento tanto nacional como internacionalmente.

La finalidad de este proyecto fue demostrar que el diseño y simulación del sistema solar fotovoltaico no solo es una alternativa técnicamente viable, sino también una oportunidad para promover la sostenibilidad energética en Medellín y a nivel nacional, reduciendo costos,

impulsando la autonomía energética y que a su vez contribuya a la lucha contra el cambio climático. La replicabilidad de este modelo puede contribuir significativamente a la adopción masiva de energías renovables en Colombia, posicionando al país como un referente en el uso de tecnología limpia.

## **ANEXOS**

- Anexo 1. PL-CARPORT\_RESIDENCIAL MEDELLIN
- Anexo 2. Ficha Técnica Panel JA SOLAR
- Anexo 3. Ficha Técnica Inversor Growatt MIN 10000TL-XH-US
- Anexo 4. Análisis de Costos
- Anexo 5. Configuración sistema solar
- Anexo 6. DM-Conjunto Residencial Medellín
- Anexo 7. Simulación

## REFERENCIAS

- (1) UPME (2019). Primer balance de Energía Útil para Colombia y cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. [http://chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance\\_energia\\_util/BEU-Industria.pdf](http://chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Balance_energia_util/BEU-Industria.pdf)
- (2) Ministerio de Ambiente (2021). Cambio climático: Valle de Aburrá cuenta con diagnóstico de emisiones de gases. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-valle-de-aburra-cuenta-con-diagnostico-de-emisiones-de-gases/>
- (3) IDEAM (2022). Radiación solar en Colombia. <https://ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- (4) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 1257 sobre residuos electrónicos y paneles solares. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1257-de-2021/>
- (5) Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). Energía solar en América Latina: costos y beneficios. <https://www.iadb.org/es/quienes-somos/temas/energia>
- (6) Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER. (s/f) Ley 1715 del 2014. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>
- (7) Tarifas de Energía EPM. (s/f). Portal EPM. <https://www.epm.com.co/clientesyusuarios/energia/tarifas-energia/>
- (8) Ministerio de Minas y Energía. (2020). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE 2020)*.
- (9) *¿Qué es la energía solar y cuáles son sus beneficios? (s/f). Com.co. Recuperado el 26 de mayo de 2025, de <https://www.enel.com.co/es/historias/a202206-que-es-la-energia-solar-y-sus-beneficios.html>*
- (10) *Factorenergia, E. T. E. (2023, mayo 15). Energía solar: todo lo que tienes que saber. [factorenergia. https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/energia-solar/](https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo-electrico/energia-solar/)*