

ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA IMPLEMENTAR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
DE AUTOGENERACIÓN PARA TERRAZAS MENORES A 2000 M2 EN MEDELLÍN.

LEONARDO BARRERA TORRES

Cod: 1019100163

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2021

ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA IMPLEMENTAR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
DE AUTOGENERACIÓN PARA TERRAZAS MENORES A 2000 M2 EN MEDELLÍN.

LEONARDO BARRERA TORRES

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Eléctrico

Director de Trabajo de grado:

M.Sc Luis David Pabón Fernandez

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2021

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo del camino de esta experiencia y las que vendrán.

Me queda agradecer a mis padres Gabriel e Isabel, por ser los principales promotores de este sueño, por creer en mis capacidades y acompañar mis buenos y regulares momentos, por cada palabra de aliento con sus consejos y amor a lo largo de mi vida y por todos los valores y principios de toda mi familia.

A los docentes de la universidad de Pamplona, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la carrera, por hacer parte de la formación de personas con humanidad y a todas las personas que me han apoyado y han aportado con un granito de arena para que este proyecto se realizara satisfactoriamente.

Tabla de Contenido

1	CAPÍTULO 1	8
1.1	MARCO TEÓRICO.....	8
1.1.1.	Generalidades	8
1.1.2.	Energía solar.....	8
1.1.3.	Tipos de instalaciones fotovoltaicas.....	10
1.1.4.	Marco legal.....	12
2	CAPÍTULO 2	13
2.1	Integración de módulos fotovoltaicos en las edificaciones	13
2.1.1	Niveles de integración	14
3	CAPÍTULO 3	17
3.1	VIDRIO FOTOVOLTAICO	17
3.1.1	Generalidades	17
3.1.2	Ventanas generadoras de energía	18
3.1.3	Características Ópticas de los módulos FV semitransparentes	20
4	CAPÍTULO 4	21
4.1	ESTRUCTURA FOTOVOLTAICA.....	21
4.1.1	Impacto a estructura	21
4.1.2	Características soportes	22
4.2	CUBIERTAS PLANAS	23
5	CAPÍTULO 5	24
5.1	INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	24
5.1.1	OBJETIVO GENERAL	24
5.1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
5.2	JUSTIFICACION DEL PROYECTO.....	25
5.3	METODO DE RECOPIACION DE DATOS	26
5.4	ESTUDIO DE LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	27
5.5	GENERALIDADES DE UBICACIÓN	27
5.5.1	macro localización.....	28
5.5.2	micro localización	29
6	CAPÍTULO 6	29
6.1	CARACTERISTICAS DEL PROYECTO.....	30

6.1.1	Cuadro de cargas	30
6.1.2	Parámetros del sitio geográfico	32
6.1.3	Orientación e inclinación	36
6.1.4	Calculo de conductores	40
6.1.5	Modelo de arreglo fotovoltaico	43
7	CAPÍTULO 7	44
7.1	ESTRUCTURA.....	44
8	CAPÍTULO 8	46
8.1	AUTOGENERACIÓN Y TRANSPORTE DE ENERGIA	46
9	CAPÍTULO 9	47
9.1	VIDRIO FOTOVOLTAICO	47
9.1.1	Aspecto constructivo	49
9.1.2	Coste.....	54
9.2	Retorno de inversión de las soluciones propuestas	56
9.2.1	Proyecto solar en cubierta	56
9.2.2	Proyecto solar en fachada.....	57
10	Conclusiones.....	58
11	Bibliografía.....	61

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de sistema FV conectado a la red	11
Ilustración 2 Esquema de Sistema Fotovoltaico Aislado.....	11
Ilustración 3. Implantación de la instalación solar fotovoltaica en la edificación.....	13
Ilustración 4. Ejemplo de integración nula en cubierta plana	14
Ilustración 5. Ejemplo de integración nula en fachada	15
Ilustración 6. Ejemplo de integración media en fachada.....	15
Ilustración 7. Ejemplo de integración media en fachada.....	16
Ilustración 8. Ejemplo de integración alta en cubierta	16
Ilustración 9. Ejemplo de integración alta en fachada.....	17
Ilustración 10. Esquemas de las ventanas generadoras de energía	19
Ilustración 11. Ejemplo de aplicación de vidrio fotovoltaico en un lucernario.....	20
Ilustración 12 Esquema de concepto de los vidrios fotovoltaicos.....	20
Ilustración 13. Contrapeso de hormigón en estructura para paneles.....	24
Ilustración 14 Irradiación Global Horizontal- fuente IDEAM.....	28
Ilustración 15 Localidades de Medellín (EL poblado).....	28
Ilustración 16 Panorámica de edificio Interplaza oficinas PHC.....	29
Ilustración 17. Parámetros del sitio geográfico para el sistema	33
Ilustración 18 Diagrama de recorrido solares	35
Ilustración 19. Parámetros de inclinación en Pv-syst.....	36
Ilustración 20. Selección de modulo fotovoltaico en Pv-syst.....	37
Ilustración 21. Data Shetp del fabricante del Módulo seleccionado en Pv-syst.....	38
Ilustración 22. Inversor Seleccionado en Pv-syst.....	39
Ilustración 23. Definición y características del inversor propuesto en Pv-syst.....	39
Ilustración 24. Arreglo de 8 cadenas y 26 módulos en serie en Pv-syst	43
Ilustración 25. Estructura suelo 15° para módulos FV propuestos en Diseño.....	44
Ilustración 26 Fachada edificio Interplaza - PHC Medellín.....	48
Ilustración 27. Fachada Edificio Interplaza.....	49
Ilustración 28 Cortes de fachadas	50
Ilustración 29 Modelo constructivo Vidrio FV.....	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de cargas	32
Tabla 2. Potencia activa y reactiva requerida.....	32
Tabla 3. Ubicación geográfica PHC Servicios integrados.....	33
Tabla 4. resultados mensuales de irradiación.....	34
Tabla 5 Cifras de rendimiento del sistema fotovoltaico	40
Tabla 6 Factores de corrección por temperatura y agrupamiento	41
Tabla 7 Resultado de Calibres de Conductores de Instalación FV.	42
Tabla 8. Lista de elementos necesarios para construcción de estructura	45
Tabla 9 Accesorios de anclaje vidrio fotovoltaico	54
Tabla 10 Resumen de inversión de elementos FV en cubierta.	56
Tabla 11 Resumen de inversión de elementos FV en fachada.....	57

1 CAPÍTULO 1

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1. Generalidades

La utilización de sistemas fotovoltaicos en la industria e instituciones se han asociado principalmente por las ventajas medioambientales y otros factores que están en creciente mejoramiento como la tecnología y sistemas en diferentes elementos de consumo. Además, existen otros factores que permiten el incremento del modelo energético como lo son las reducciones de CO₂ y otros contaminantes a la atmosfera. Siempre buscando no depender de los combustibles convencionales.

Ya sea en instituciones o centros de generación a gran a escala es importante la integración de energías renovables que nos permite aliviar demanda energética del país, además teniendo en cuenta que los usuarios de pequeña escala pueden conectar dicha generación a la red eléctrica en cualquier punto de SDL (sistema de distribución local).

El uso de sistemas fotovoltaicos para este tipo de aplicaciones conectadas a la red principalmente permite aprovechar algunas de sus características más importantes, como es tener una la disponibilidad de una fuente ilimitada en el día y de energía libre y gratuita pero también brindar un respaldo de suministro de energía limpia y en el mismo lugar del consumo, la facilidad de instalación y la amplia autonomía que estos sistemas proporcionan es importante para el desarrollo en situaciones especiales como lo es llegar a los lugares lejanos no conectados y que no cuentan con el servicio de energía eléctrica.

1.1.2. Energía solar

El constante aumento del coste de los recursos de procedencia fósil y los diversos problemas medioambientales, nos incrementa la necesidad de buscar fuentes nuevas de generación de energías limpias, y el estándar más destacable apuntan a fuentes renovables como lo es a la energía solar. Conclusión que nos ayuda a darle amplia viabilidad a los objetivos de este proyecto. Si bien la energía solar es un recurso infinito que es grande entre los modelos de fuentes renovables, y su aprovechamiento energético a partir de la radiación solar es importante ya que no se logra con otras fuentes de energía.

El sol es una de las mayores fuentes de energía que tenemos de fácil captación, su energía son reacciones termonucleares y está constituido por gases ligeros entre ellos el hidrogeno y el helio y debido a su gran tamaño, este cuerpo puede transmitir temperaturas de hasta 6000 °C, sin embargo, una pequeña parte es capaz de llegar al planeta tierra, debido a los efectos que provocan varios factores atmosféricos (p 13).

“Sin embargo, la cantidad de energía que recibe la tierra es 10.000 veces mayor que el consumo energético actual, es decir que el problema no es la cantidad de energía disponible, sino las dificultades para aprovecharla al máximo” (Vallina, 2010).

Las investigaciones e innovación nos han permitido aprovechar una manera apropiada la energía emanada por el sol, tanto para el bienestar de las personas como para intereses particulares a la ingeniería y al medio ambiente

.

Entonces la importancia de desarrollar sistemas de fuentes de energías limpias y renovables, influyen directamente en la vida cotidiana de las personas como por ejemplo obtención de alimentos, prevención de enfermedades, catástrofes etc.,

Es decir que los servicios energéticos son indispensables en esta época de pandemia para prevenir enfermedades o mitigar la propagación por el mundo, además el aprovechamiento de la energía solar es muy importante para el desarrollo de la sociedad.

1.1.3. Tipos de instalaciones fotovoltaicas

La energía solar permite un gran número de aplicaciones, ya que puede suministrar energía a elementos aislados de la red o en situaciones especiales (viviendas, pasos de calles, repetidores de telecomunicaciones, etc.), pero la aplicación en este proyecto es el sistema conectado a red el cual tiene aplicaciones en sistemas asociados a la edificación, ya sea en cubiertas, fachadas o mobiliario urbano. Teniendo en cuenta también la aplicación en plantas sobre suelo y pueden ser estáticas, de seguimiento y de concentración.

- Instalación conectada a la red

En los últimos años este tipo de instalación ha tenido un potencial elevado de utilización y por ende también ha tenido frecuentes cambios en sus características de general, han obtenido mejoras continuas en su tecnología y comercialización,

En la ilustración presenta el esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.

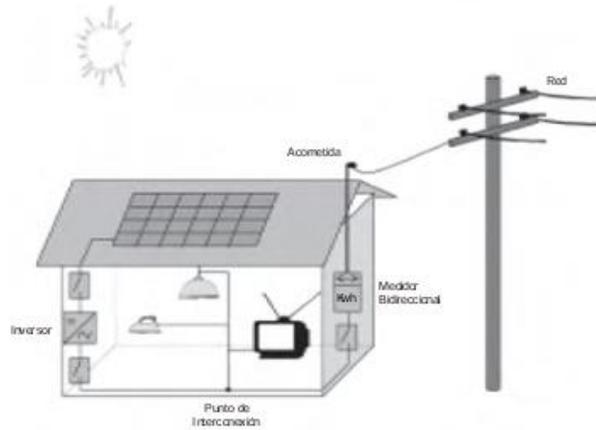


Ilustración 1 Esquema de sistema FV conectado a la red

- Sistema aislado a la red eléctrica

Los sistemas aislados o autónomos son específicos en sus aplicaciones, por el hecho de no estar conectado a la red eléctrica. La acumulación de energía generada debe darse por baterías o acumuladores con el fin de disponer electricidad durante periodos de poca generación o de elevada demanda, por lo que llevan en el sistema un controlador de carga.

Estos sistemas generalmente se utilizan en zonas de difícil acceso o en lugares alejados de la red de distribución, sus principales aplicaciones están relacionadas con sistemas de bombeo de agua en casas de campo, señalización aérea y marítima.

En la ilustración se presenta un esquema de sistema fotovoltaico aislado.

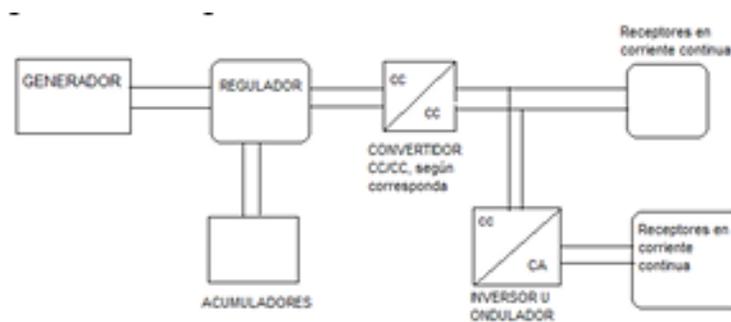


Ilustración 2 Esquema de Sistema Fotovoltaico Aislado

1.1.4. Marco legal

1.1.4.1. Ley 1715 de 2014

Permite la utilización de las fuentes de energías renovables con el objetivo de promover el desarrollo ya sea en el sistema energético nacional y para integrarlas en el mercado eléctrico, para que puedan llegar a las zonas aisladas y puedan ser aplicadas en otros usos energéticos como puente para el desarrollo económico sostenible, y para reducción de contaminación ambiental y la seguridad del abastecimiento energético del país. “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”. (Minenergía, 2014)

1.1.4.2. Resolución 045 de 2016

Esta resolución establece los procedimientos y requisitos para requerir la certificación que acredita la documentación, con el fin de tramitar la solicitud de la certificación del beneficio ambiental ante la autoridad competente, con miras a obtener el beneficio de la supresión del IVA y/o la exención de gravamen arancelario. Ésta será adaptable a agentes tanto públicos como privados que medien en el desarrollo y la explotación de las FNCE. “Por la cual se establecen los procedimientos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE), para beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la ley 1715 de 2014”, es de alcance nacional (UPME, 2015).

1.1.4.3. Resolución 030 CREG de 2018

La resolución CREG 030 de 2018 que entró en vigencia a partir del 1 de mayo, es una normatividad que regula las actividades de autogeneración y generación distribuida. Esta resolución define las reglas que permiten a los usuarios conectarse al operador de red (OR) como auto generadores o generadores distribuidos de manera ágil y sencilla. “Gracias a esta

resolución los clientes podrán producir su propia energía reduciendo su consumo y el valor a pagar en la factura del servicio, así mismo podrán vender al sistema la energía que le sobre (excedentes)” (CREG, 2018).

2 CAPÍTULO 2

2.1 Integración de módulos fotovoltaicos en las edificaciones

En las edificaciones los sistemas deben adaptarse al espacio disponible a diferencia a otros sistemas de producción energética que requieren un espacio determinado, quiere decir que una planta fotovoltaica puede integrarse en las superficies o hachadas ya existentes, claro está que debe haber algunas modificaciones para la adaptación de estos, y así que haga parte de la solución estructural.



Ilustración 3. Implantación de la instalación solar fotovoltaica en la edificación

La evolución continua de los módulos fotovoltaicos ha llegado a convertirse en elementos constructivos y principalmente en la producción de energía se caracteriza por un factor de sustitución de las fuentes tradicionales. Y los fabricantes han estado obligados a desarrollar nuevos modelos para garantizar la demanda o necesidad de los clientes, constructivamente,

tecnológica y comercialmente, que facilitan instalación e integración con los espacios disponibles.

“La importancia de la integración de estos sistemas habrá que estudiar la solución que se pretende adoptar dependiendo de las necesidades de la edificación y lo viable de la solución adoptada, teniendo en cuenta la normativa de esta rama” (Oton, 2009).

2.1.1 Niveles de integración

Los niveles de integración de los módulos fotovoltaicos dependen de la solución constructiva propuesta en función de la solución permitida por el edificio.

2.1.1.1 Nivel Nulo

Es nivel nulo cuando los módulos o captadores solares no forman parte de la solución constructiva, es decir no están integrados en ella, el apoyo sobre la estructura se obtiene por medio de fijaciones, soportes, perfiles y accesorios éticamente certificados. Este modelo se suele emplear en cubiertas planas (ver Figura 5) y fachadas de edificios con estructuras debidamente modificadas (ver Figura 6.), ya que no tienen ningún inconveniente a la hora de realizar el montaje, además posibilita una mejor orientación. No obstante, este sistema no se integra en la solución constructiva, proporcionando un alto efecto visual.



Ilustración 4. Ejemplo de integración nula en cubierta plana



Ilustración 5. Ejemplo de integración nula en fachada

2.1.1.2 Nivel Medio

Los módulos solares siguen sin conformar parte de la solución constructiva, aunque visualmente se hallan un poco más incluidos debido a que los paneles se disponen paralelos a el área de apoyo, produciendo un menor efecto visual y una menor carga de viento. Este sistema suele aplicarse principalmente sobre inmuebles ya construidos, sobre los que se ha llevado a cabo una rehabilitación energética.



Ilustración 6. Ejemplo de integración media en fachada



Ilustración 7. Ejemplo de integración media en fachada

2.1.1.3 Nivel Alto

La función arquitectónica que ofrecen este tipo de integración es considerada futurista ya que permite una inclusión fascinante en los edificios, y no solo cumplen una función energética sino arquitectónicamente funcional y teniendo soluciones innovadoras a partir de los elementos captadores solares.

Estos sistemas particularmente están aplicados en fachadas (muros cortina, fachadas ventiladas, lamas de sombreado, fachadas inclinadas) y techos o cubiertas especiales (tejado fotovoltaico, lucernarios, pérgolas y parasoles).



Ilustración 8. Ejemplo de integración alta en cubierta



Ilustración 9. Ejemplo de integración alta en fachada

3 CAPÍTULO 3

3.1 VIDRIO FOTOVOLTAICO

3.1.1 Generalidades

Las características de estos módulos fotovoltaicos semitransparentes dependen de dos factores importantes y relacionan la cantidad y calidad de la radiación solar, el cual condiciona según las estaciones climáticas generalmente, porque en verano tienen que tener control de luminosidad por el calor solar, y en invierno la carga solar ayudara a la climatización interna del edificio. Teniendo en cuenta que la transmisión de radiación (semi transparencia) como su reflexión (perdidas Ópticas) que provocan una pérdida de generación y su vez estas propiedades dependen del ángulo de incidencia de la radiación.

Arquitectónicamente la estructura en vidrio laminado a estado impuesta en grandes cantidades en la edificación, su similitud de un módulo y una placa de vidrio para fachadas es importante. Hoy en día la integración de estos módulos es característica de la facilidad por todos los elementos de seguridad y normativa para realizar la integración a la arquitectura

de la edificación, la estructura de vidrio laminado que poseen algunos de los módulos fotovoltaicos que se fabrican hoy en día, hacen que sea adecuada su integración como componente arquitectónico. “Determinar sus propiedades ópticas y eléctricas es fundamental para caracterizar estos sistemas. Además, es importante determinar aquellos factores que influyen en los comportamientos óptico y eléctrico, y evaluar su impacto considerando las configuraciones de funcionamiento particulares” (Moralejo Vasquez, 2018).

3.1.2 Ventanas generadoras de energía

Los avances en la tecnología han avanzado rápidamente en el mundo, basan sus investigaciones en hallar materiales fotovoltaicos que permitan conseguir una mejor integración arquitectónica. Están centradas estas investigaciones a la estética de los módulos y las mejoras de eficiencia energética están mejoradas mínimamente. Es decir que el principal objetivo se centra en la estética teniendo en cuenta las características en color textura y forma siempre con el objetivo de poder integrarse en la edificación. Sin embargo, también se debe prestar atención a la eficiencia de la cual dependerá de los costes de estos módulos. Mencionando que, si arquitectónicamente se puede integrar, los módulos fotovoltaico en ocasiones supera la importancia de vista mejorada a generación de mayor cantidad de energía

El envolvente en los edificios principalmente es el vidrio por lo cual este material tiene a ser importante en el diseño de las fachadas o cubiertas. La sustitución del vidrio convencional por ventanas generadoras de energía se presenta como una solución para la integración arquitectónica de la energía fotovoltaica y lo menciona (Moralejo Vasquez, 2018).

“Las ventanas generadoras de energía, además de permitir la entrada de luz natural y de producir energía, pueden presentarse como soluciones constructivas bioclimáticas

multifuncionales ya que en función de cómo se fabriquen pueden generar varias ventajas”:

(Neira Artidiello, 2013)

-Aislamiento térmico: A partir del doble acristalamiento se puede obtener niveles nulos de puentes térmicos, lo que da participación al aumento de espacios cálidos y ahorro de energía en climatización, y protección al interior de rayos ultravioleta y UV por medio de uso de filtros.

-Protección: la fachada y cubiertas podrán tener niveles de protección contra los factores climáticos no convencionales como granizo, nieve, o suciedad.

-Seguridad frente a impactos. Gracias a la combinación de vidrios laminados con encapsulante

-Aislamiento acústico. Sistemas de varias capas de acristalamiento permite aislar el interior de ruidos.

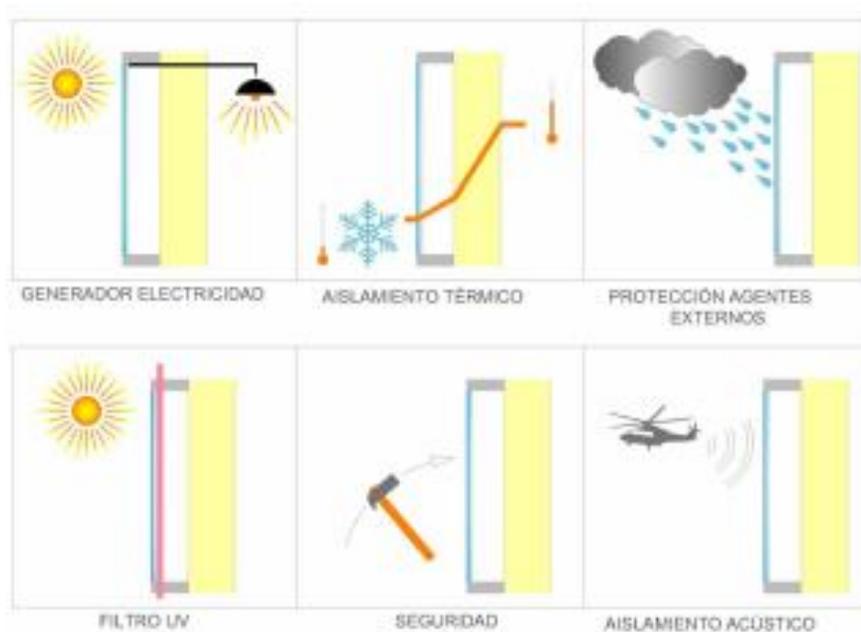


Ilustración 10. Esquemas de las ventanas generadoras de energía

3.1.3 Características Ópticas de los módulos FV semitransparentes

En el mercado podemos encontrar celdas semitransparentes son un tipo de rejillas puestas sobre el vidrio, de tal forma el área de las rejillas captura los rayos del sol generando energía, mientras los espacios no ocupados por la rejilla permiten el paso de luz, sobresaliendo la semi transparencia, permitiendo zona de confort con luz natural. (Neira Artidiello, 2013).

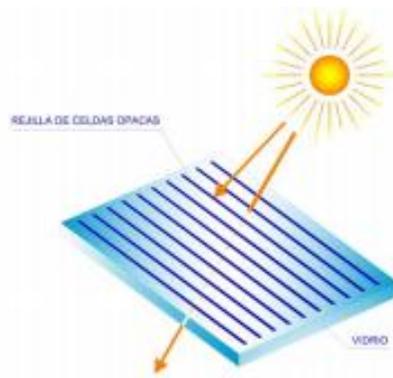


Ilustración 11. Ejemplo de aplicación de vidrio fotovoltaico en un lucernario

Dichos productos, pese a ser semitransparentes y no del todo transparentes, tienen la posibilidad de utilizarse en la construcción de ventanas convencionales, consiguiendo una buena adhesión arquitectónica. De acuerdo con la densidad de la rejilla, se obtiene una transparencia entre un 10 y 30%. Onyx Solar lleva a cabo proyectos de integración de vidrios fotovoltaicos característicos de generación y arquitectura ejemplar. A continuación, un lucernario.



Ilustración 12 Esquema de concepto de los vidrios fotovoltaicos

A partir de la potencia pico de generación de los módulos los fabricantes están innovando en desarrollar estas tecnologías. Sin embargo, estas características dependerán directamente de la orientación e inclinación y ganancia de irradiación del sitio geográfico de los proyectos (Solar, 2021).

4 CAPÍTULO 4

4.1 ESTRUCTURA FOTOVOLTAICA

El aprovechamiento del recurso solar tiene fuertes aplicaciones los cuales son, módulos o paneles por medio de la radiación solar, transforman está en energía eléctrica o energía térmica y a partir de estas aplicaciones los edificios autogeneran su propia energía sea térmica a eléctrica.

Teniendo en cuenta que la edificación antigua ya tiene un índice de carga establecido por el ingeniero civil, el efecto de sobre peso en la estructura es mínimo, y las ventajas como la ubicación geográfica ayudan a reducir el peso por el tipo de apoyo que requieren los módulos en las superficies de instalación además el material utilizado principalmente para estos sistemas es en aluminio. También incide en los sistemas adosados a los techos inclinados.

4.1.1 Impacto a estructura

Los paneles solares fotovoltaicos y paneles solares térmicos planos no tienen distinción en el impacto estructural, sin embargo, el peso puede variar en algunas diferencias, pero esta no afecta a la estructura única propuesta para ambos sistemas, ya sea térmico o fotovoltaica.

En el impacto estructural sin embargo debemos tener en cuenta entre paneles solares térmicos o fotovoltaicos y los de vacío que existen algunas diferencias que afectan los índices de carga. Ya que un panel solar térmico plano, puede pesar $0,24 \text{ kN/m}^2$ cuando contiene agua en su estructura, mientras que podemos encontrar paneles fotovoltaicos ligeros con esos de $0,15 \text{ kN/m}^2$. Por lo que argumentamos a que los pesos son bajos y además la mayoría de productores de paneles en sus marcos de protección son fabricados de aluminio adicionando al factor de viabilidad de los sistemas.

Una de las desventajas que implica, aunque el peso de los paneles térmicos sea mayor que los fotovoltaico desaparece pues los dos tienen que tener un contrapeso considerable para contrarrestar la fuerza del viento. Pero hay que tener en cuenta que el panel fotovoltaico tiene un peso menor por lo cual debe ser muy bien adosado a la estructura de instalación.

4.1.2 Características soportes

Los paneles solares de vacío, pesan comúnmente entre 0.26 y 0.31 kN/m^2 , el peso muy similar al de los paneles térmicos, particularmente la configuración de estos permite que circule el viento entre la estructura permitiendo tener una resistencia opuesta.

Influye principalmente en una sección en el panel y es la inclinación adoptada, el tipo de soporte usado y, al final, la composición de cubierta o fachada que existe. Los estudios preliminares al tema nos indican que los paneles solares instalados cerca de la línea del ecuador deben mantener un grado de inclinación entre latitud $+10^\circ$ y latitud -10° , esto indica que la verticalidad del módulo lo lleva a tener una captación menor. Y por lo tanto repercute al incremento del peso, aunque como ya se había indicado este peso es propio del módulo y

es muy poco importante en los esfuerzos que estarán sometidas las estructuras a cargo de la fuerza que ejerce el viento.

Teniendo en cuenta los tipos de instalación fotovoltaica podemos encontrar los siguientes tipos de soporte:

- Soportes estáticos (sin movimiento).
- Sistemas con seguimiento solar en un eje
- horizontal (controlando el acimut del panel) o vertical (controlando la inclinación del mismo)–.
- Sistemas con seguimiento solar en dos ejes –horizontal y vertical (controlando tanto el acimut como la inclinación del panel de forma que la radiación solar incida siempre perpendicularmente a su superficie).

Teniendo en cuenta que la instalación del panel es realizada en un techo inclinado cuyo ángulo es entre 15 y 32°, se produce un deslizamiento de mismo, y a causa de esto debe llevar instalados unos anclajes usados en las cubiertas con vientos fuerte y/o condiciones climáticas especiales. Es decir que los ganchos irán plenamente fijados a la estructura para compensar diferencia de alturas.

4.2 CUBIERTAS PLANAS

El tipo de cubierta estructural base (forjado) puede ser de muy diversos orígenes, pero suelen estar realizados en aluminio, y son los más comunes en la construcción. Por otro lado, estos son evaluados directamente por los fabricantes y técnicamente deberán cumplir con la normativa vigente. Para el aseguramiento de las cubiertas planas, es poco probable que sean de tipo ligero, por lo que el módulo estructural horizontal suele pesar entre 3,0 y 5,0 kN / m². Sin embargo, la exactitud de los datos proporcionados por los fabricantes no se tiene en

cuenta al evaluar el papel de los paneles solares en la reducción de los coeficientes de seguridad.

Cabe destacar que los paneles necesitan la estructura de inclinación y como se ha indicado anteriormente el contrapeso es importante evaluar este peso de aproximadamente 4.5 kN/m², como se puede observar en la ilustración.



Ilustración 13. Contrapeso de hormigón en estructura para paneles

5 CAPÍTULO 5

5.1 INGENIERÍA DEL PROYECTO

Con el fin de desarrollar el trabajo de grado se tuvieron en cuenta los aspectos básicos de viabilidad teniendo en cuenta el planteamiento del problema para llevar a cabo esta solución se realizaron los siguientes objetivos.

5.1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos de autogeneración para terrazas menores a 2000m² en Medellín.

5.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un sistema fotovoltaico que permita contribuir a tener una utilidad energética y económica para el área de PHC.
- Determinar la capacidad de sobrepeso que puede soportar la estructura para estimar el arreglo de paneles y dispositivos del sistema fotovoltaico.
- Verificar la viabilidad de construcción de autogeneración y transporte de energía al lugar de consumo.
- Analizar la factibilidad para implementar vidrios fotovoltaicos en el diseño del sistema establecido.

5.2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Uno de los recursos más abundantes y útiles es la energía solar, que se puede utilizar para todas las actividades intensivas en energía independientemente de la electricidad y / o las calóricas. Por estas razones, el proceso solar puede convertir la energía fotovoltaica en energía eléctrica útil para crear un sistema completo que pueda alimentar hogares, negocios, industrias, etc. Dado el potencial de la división energética de la geografía subtropical de Colombia ecuatoriana, la mayoría de las luces solares durante todo el año llegan a la superficie. Las células solares brindan energía limpia, de calidad y eficiente, especialmente en la división de Antioquia (IDEAM, 2014), Utiliza células solares para la limpieza y proporciona energía eficiente y de alta calidad. Así, sugiere que existen opciones para el diseño de paneles solares implementadas a nivel institucional, que pueden reducir significativamente los requerimientos energéticos requeridos y ayudar a reducir el impacto de la contaminación en el medio ambiente, producción y consumo de electricidad.

Las áreas urbanas los sistemas fotovoltaicos tienen una baja demanda, por motivos principalmente de su costo inicial elevado, sin embargo, no podemos omitir las numerosas ventajas que reflejan en el ámbito económico y ambiental además de las ventajas de fácil instalación y diferentes soluciones simples de mantenimiento y operación silenciosa. Adicional a esto de emplear energía limpia y gratuita (energía solar), generando impactos significativos en lo social, económico y ambiental.

Los precios en los paneles solares son muy competitivos en el mercado nacional sin embargo la diversidad de tecnología ha generado módulos y elementos de diferentes capacidades y referencias, lo que significa que existe una gran variedad y con referencia a los índices de durabilidad que podría instalar y ser una solución eficiente para PHC SERVICIOS INTEGRADOS EN EDIFICIO INTERPLAZA DE LA CIUDAD DE MEDELLIN ANTIOQUIA. Este proyecto tiene como objetivo diseñar una planta de energía solar que contribuirá a la aplicación de leyes anteriores promoviendo el uso racional de la energía a través de fuentes de energía alternativas, con ventajas tributarias y promoviendo la reducción de la contaminación ambiental y asegurando un suministro continuo de energía para preservar y proteger los recursos naturales existentes. En beneficio de las generaciones futuras.

5.3 METODO DE RECOPIACION DE DATOS

Dentro del siguiente trabajo se implementaron diferentes técnicas e instrumentos de recopilación de datos, conforme a las etapas de trabajo, con las cuales se logró obtener la información y los datos con los que se dio alcance a los objetivos. Teniendo en cuenta que el

objetivo general es analizar la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos de autogeneración para terrazas menores a 2000m². Se realizaron consultas en páginas como: IDEAM, NASA, Google Mapa y otros para encontrar información relevante de las características geográficas y climatológicas del área de estudio que nos permite presentar detalladamente la zona.

5.4 ESTUDIO DE LOCALIZACION DEL PROYECTO

Este estudio del sitio tiene en cuenta varias condiciones para la ubicación espacial de un proyecto mediante el análisis de los aspectos macro y micro de la ubicación para garantizar la maximización de los beneficios económicos y sociales para la sociedad y el medio ambiente. A continuación, se detallan las ciudades y capitales de Antioquía como Medellín, sus características y los factores regulatorios relevantes para evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares.

5.5 GENERALIDADES DE UBICACIÓN

Medellín está ubicado en Colombia hacia el suroccidente del Departamento de Antioquia, cuenta con una extensión de 382 km² y se conoce como valle de Aburrá por que se ubica sobre un costado de la Cordillera central de los Andes; a una altura de 1495 msnm, con una temperatura promedio de 22°C Topográficamente se caracteriza por ser parcialmente montañoso, quebrado e irrigado por un gran número de quebradas y ríos provenientes de las cordilleras. La cabecera municipal se sitúa en las coordenadas 6.244747,-75.574828 y la distancia desde la Capital, Bogotá es de 416 km aproximadamente, tomado de (Alcaldía de Medellín, 2019).

Por medio del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia puesto a disposición por el IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales del Gobierno de Colombia) se puede estimar la Irradiación Global Horizontal, se evidencia una irradiación promedio de 4,0 a 4,5 KWh/m² en casi todo el municipio incluyente área rural.

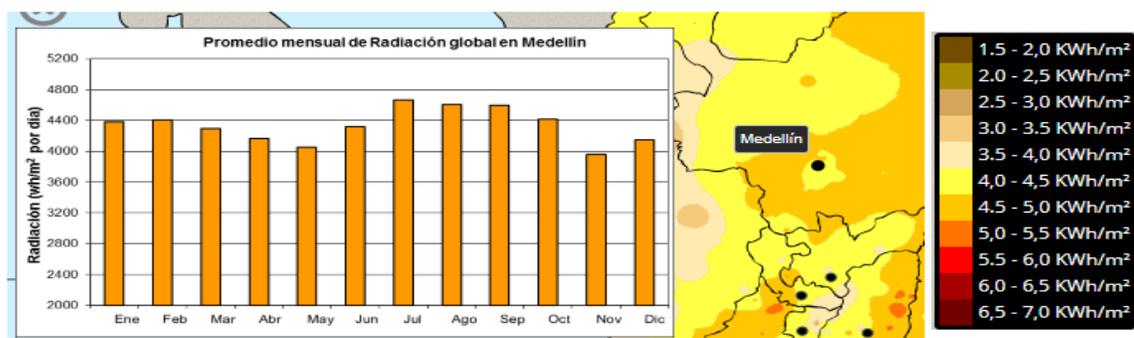


Ilustración 14 Irradiación Global Horizontal- fuente IDEAM

5.5.1 macro localización

El municipio de Medellín se encuentra ubicado en el departamento de Antioquia, militando con los municipios al sur con Envigado, Itagüí. Al norte con Bello y Copacabana, al oriente con Santa Elena y al occidente con San Cristóbal y AltaVista. Como se ilustra en la figura

14.



Ilustración 15 Localidades de Medellín (EL poblado)

5.5.2 micro localización

La empresa seleccionada para este proyecto es PHC y está ubicada en las coordenadas decimales 6.2128181, -75.5612, dentro de la cabecera municipal de Medellín, como se muestra en la ilustración 4, empresa encargada de prestación de servicios de consultoría del sector eléctrico estudios de conexión y coordinación de protecciones, valoraciones de riesgos, asesorías especializadas.



Ilustración 16 Panorámica de edificio Interplaza oficinas PHC

6 CAPÍTULO 6

La ingeniería aplicada en este proyecto va encaminada en el conocimiento de factores que se asocian al momento de diseñar y aplicar diferentes tecnologías para el desarrollo de integración fotovoltaica con las necesidades de la empresa.

6.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

6.1.1 Cuadro de cargas

El levantamiento de cargas fue realizado para tener conocimiento de las instalaciones eléctricas y poder realizar un óptimo análisis de viabilidad para el proyecto de autogeneración para las cargas fijas del cuarto y quinto piso del edificio Inter Plaza, el cuadro de cargas se evidencia en la siguiente tabla.

CUADRO DE CARGAS - FOTOVOLTAICA												
	N° CIRCUITO	ILUMINACION			TOMAS		POTENCIA ACTIVA [W]	FASES			Fp	POTENCIA APARENTE [VA]
		48 [W]	25 [W]	12 [W]	com.	esp.		R	S	T		
LOCAL 1 P4	C1-L1	36					1728	1728			0,9	1920,0
	C2-L1				10		1620		1620		0,9	1800,0
	C3-L1					2	324			324	0,9	360,0
	C4-L1				9		1458	1458			0,9	1620,0
	C5-L1		8	3			236			236	0,9	262,2
	C7-L1	10					480			480	0,9	533,3
	TOTAL	46	8	3	19	2	5846	3186	1620	1040	0,9	6495,6

	N° CIRCUITO	ILUMINACION			TOMAS		POTENCIA ACTIVA [W]	FASES			Fp	POTENCIA APARENTE [VA]
		48 [W]	25 [W]	12 [W]	com.	esp.		R	S	T		
LOCAL 2 P4	C1-L2	40					1920	1920			0,9	2133,3
	C2-L2		8				200		200		0,9	222,2
	C3-L2				6		972			972	0,9	1080,0
	C4-L2			6			72	72			0,9	80,0
	C5-L2				8	3	1596		1596		0,9	1773,3
	C6-L2	26					1248		1248		0,9	1386,7
	C7-L2				7		1134	1134			0,9	1260,0
	TOTAL	66	8	6	21	3	7142	3126	3044	972	0,9	7935,6

	N° CIRCUITO	ILUMINACION	TOMAS		FASES	Fp	
--	----------------	-------------	-------	--	-------	----	--

LOCAL 3 P4		48	25	12			POTENCIA ACTIVA	R	S	T		POTENCIA APARENTE
		[W]	[W]	[W]	com.	esp.	[W]					[VA]
	C1-L3	38					1824			1824	0,9	2026,7
	C2-L3				9		1458		1458		0,9	1620,0
	C3-L3				8	2	1496			1496	0,9	1662,2
	C4-L3				9		1458	1458			0,9	1620,0
	C6-L3	29		5			1452		1452		0,9	1613,3
	TOTAL	67	0	5	26	2	7688	1458	2910	3320	0,9	8542,2

LOCAL 1 P5	N° CIRCUITO	ILUMINACION			TOMAS		POTENCIA ACTIVA [W]	FASES			Fp	POTENCIA APARENTE [VA]
		48 [W]	25 [W]	12 [W]	com.	esp.		R	S	T		
	C1-L1	22					1056	1056			0,9	1173,3
	C2-L1				8		1296		1296		0,9	1440,0
	C3-L1					3	486			486	0,9	540,0
	C4-L1				12		1944	1944			0,9	2160,0
	C5-L1		6	5			210			210	0,9	233,3
	C7-L1	14					672			672	0,9	746,7
	TOTAL	36	6	5	20	3	5664	3000	1296	1368	0,9	6293,3

LOCAL 2 P5	N° CIRCUITO	ILUMINACION			TOMAS		POTENCIA ACTIVA [W]	FASES			Fp	POTENCIA APARENTE [VA]
		48 [W]	25 [W]	12 [W]	com.	esp.		R	S	T		
	C1-L2	32					1536			1536	0,9	1706,7
	C2-L2		8				200		200		0,9	222,2
	C3-L2				6		972			972	0,9	1080,0
	C4-L2			8			96	96			0,9	106,7
	C5-L2				5	3	1110		1110		0,9	1233,3
	C6-L2	19					912		912		0,9	1013,3
	C7-L2				7		1134	1134			0,9	1260,0
	TOTAL	51	8	8	18	3	5960	1230	2222	2508	0,9	6622,2

LOCAL 3 P5	N° CIRCUITO	ILUMINACION	TOMAS		FASES	Fp	
---------------	----------------	-------------	-------	--	-------	----	--

	48 [W]	25 [W]	12 [W]	com.	esp.	POTENCIA ACTIVA [W]	R	S	T	POTENCIA APARENTE [VA]	
C1-L3	39					1872			1872	0,9	2080,0
C2-L3				9		1458	1458			0,9	1620,0
C3-L3				8	2	1496			1496	0,9	1662,2
C4-L3				9		1458		1458		0,9	1620,0
C6-L3	29		5			1452		1452		0,9	1613,3
TOTAL	68	0	5	26	2	7736	1458	2910	3368	0,9	8595,6

TOTAL		179	16	14	66	7	40036	13458	14002	12576	0,9	22973,3
-------	--	-----	----	----	----	---	-------	-------	-------	-------	-----	---------

Tabla 1 Cuadro de cargas

Los resultados de potencia requerida se obtuvieron de la tabla anterior la cual nos permite tener una detallada demanda de energía de los espacios o áreas afectadas por el proyecto. la demanda de potencia activa es la sumatoria de potencias totales según el tablero de distribución en cada oficina y piso correspondiente. A partir de ello se obtuvo la potencia total requerida por el proyecto para el debido diseño fotovoltaico vista en la (tabla # 2).

POTENCIA ACTIVA [W]	40036
POTENCIA APARENTE [VA]	22973

Tabla 2. Potencia activa y reactiva requerida

6.1.2 Parámetros del sitio geográfico

PVsyst es la herramienta que se utilizó, en la actualidad existen diferente software de simulación y estimación de proyectos solares, con bases de datos meteorológicas, comerciales, fabricantes, diseño etc. En esta ocasión es Pv-Syst en su prueba gratuita permite obtener los resultados que nos ayudó a realizar el trabajo. Desde el punto de vista geográfico

los puntos de ubicación con la base de datos del programa obtuve la ubicación que se presenta en la tabla 3.

	Decimal	Grados	Minutos	Segundos	Orientación
Latitud	6.2128°	6	12	46	+(Norte) ; - Hemisferio (Sur)
Longitud	-75.5591°	-75	33	32	+(Este) ; - Oeste de Grreewich
Altitud	1650			Metros por encima del nivel del mar	

Tabla 3. Ubicación geográfica PHC Servicios integrados

A partir datos requeridos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico este software permite obtener los datos de la irradiación diaria media a través de una fuente de datos de acceso libre llamada Meteonorm 7.1, los datos se generan cuando se conocen las coordenadas del sitio, es decir del edificio Interplaza – Medellín, la cuales son Latitud 6.21 N y Longitud -75.56 W (tabla 3), a partir de la obtención de las coordenadas y por medio del mapa de ubicación del software se generan los datos de Altitud, Irradiación Latitud 6.21 N y Longitud -75.56 W, , Irradiación anual en Kwh/m2 e Irradiación diaria media (Gdm)”.

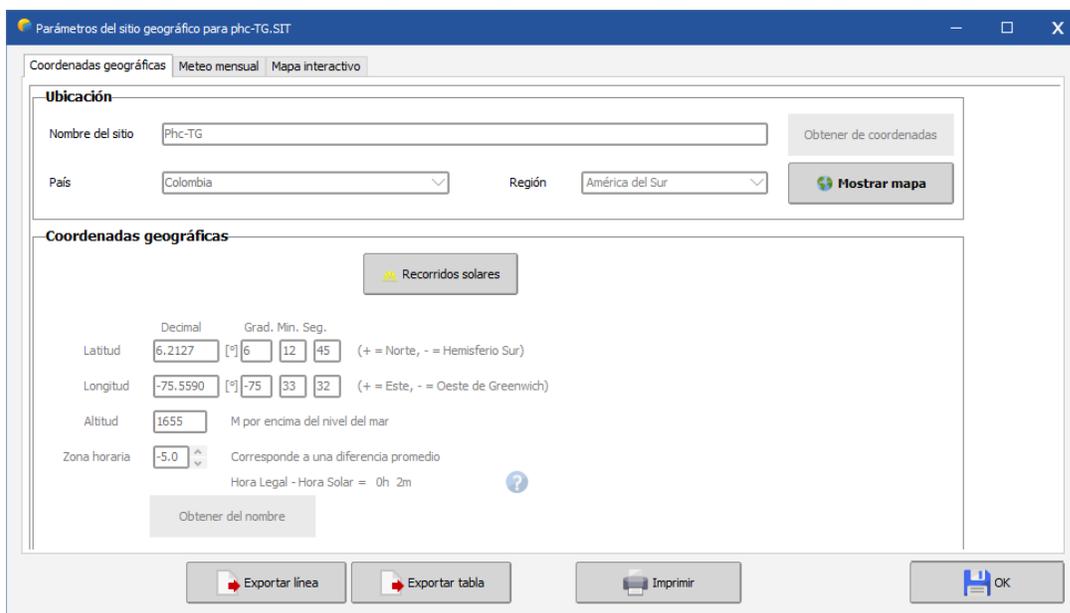


Ilustración 17. Parámetros del sitio geográfico para el sistema

Mediante la base de datos de Meteonorm 7.3 (1988-1997), sat: 100%, del software de simulación PV- Syst. Obtenemos datos de irradiación horizontal del sitio buscado en mapa real geográfico y punto de coordenadas etc. a continuación se observa los datos de parámetros del sitio geográfico.

	Irradiación horizontal global	irradiación difusa horizontal	temperatura	velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad Relativa
	kWh/m2/día	kWh/m2/día	°C	k/h	[-]	%
Enero	5,39	2,02	21,6	9,36	3,391	64,8
Febrero	5,26	2,19	21,8	9	3,559	64,9
Marzo	5,3	2,33	21,8	8,604	3,721	67,3
Abril	5,73	2,16	21,4	7,56	3,41	70,6
Mayo	6,24	1,94	21,5	7,524	3,17	71,1
Junio	6,23	2,01	21,7	9	3,034	66,6
Julio	6,54	2,11	22,3	9,756	3,103	61,3
Agosto	6,57	1,9	22	10,044	3,188	62,8
Septiembre	5,52	2,36	21,2	9	3,251	67,5
Octubre	4,89	2,11	20,8	7,92	3,364	72,2
Noviembre	4,41	2,19	20,6	7,596	3,211	74,5
Diciembre	4,74	2,26	21,1	8,244	3,254	69,7
AÑO	5,57	2,13	21,5	8,64	3,305	67,8

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6,7%

Tabla 4. resultados mensuales de irradiación

En la tabla se observa los valores de irradiación global que existe en un metro cuadrado de una superficie plana. También se muestran los resultados mensuales de radiación solar difusa, directa y reflejada para el sitio de interés.

El diagrama de recorrido muestra con detalle las importantes cantidades de luz solar que existen en la región de interés, estos resultado se obtuvieron de a partir de la ubicación del sitio donde se llevara a cabo el proyecto. En el eje horizontal tenemos el ángulo respecto al Sur, el azimut, y en el eje vertical vemos el ángulo con el que el sol se eleva respecto al punto de la tierra escogido. Vemos que este gráfico es simétrico respecto al eje vertical colocado en el 0° azimut. Esto es porque en nuestro lugar de estudio el azimut óptimo es el 0°. Si el semicírculo amarillo estuviese desplazado hacia derecha o izquierda, el 0 ya no sería el óptimo. Para explicar este gráfico, vemos que hay numerados unos puntos concretos que permiten saber en qué mes estamos del año.

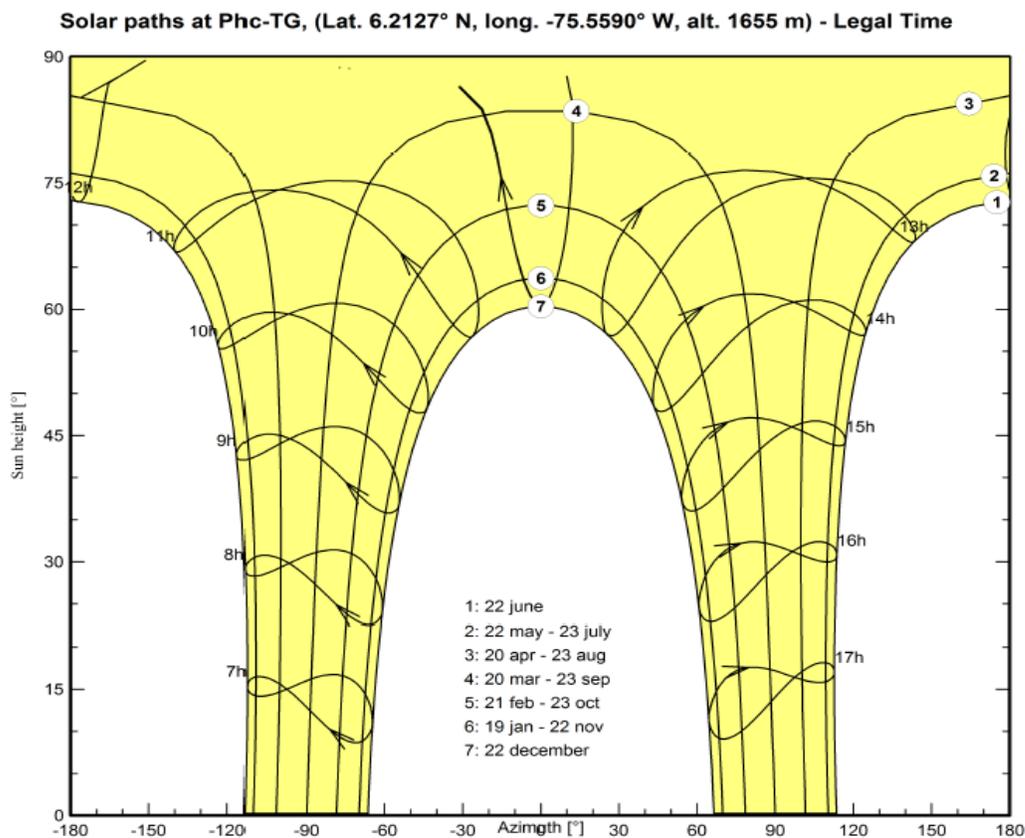


Ilustración 18 Diagrama de recorrido solares

Los parámetros principales de un proyecto fotovoltaicos están reunidos en la orientación de los módulos fotovoltaicos, el sistema en el cual se escoge el módulo e inversor e inversor de la base de datos de los diferentes fabricantes disponibles del software ya sean para proyectos pequeños como de gran escala.

Dentro de estos parámetros el diseño del conjunto es importante definirlo según las características de fabricación de los inversores en conjunto con el número de módulos en serie y número de cadenas apropiado para la potencia global del inversor además nos permite conocer el área posible a ocupar dicho sistema.

6.1.3 Orientación e inclinación

Definimos el grado de inclinación de nuestro sistema de plano inclinado fijo a 15° ya que como más cerca esté del ecuador, el ángulo de inclinación de los paneles será menor, ya que los rayos de sol caerán de manera perpendicular. La interfaz de Pv-syst nos permite observar las pérdidas con respecto al ángulo óptimo, indicándole la optimización de producción para todo el año y no solo para unos meses además tenemos el factor de transposición (FT).

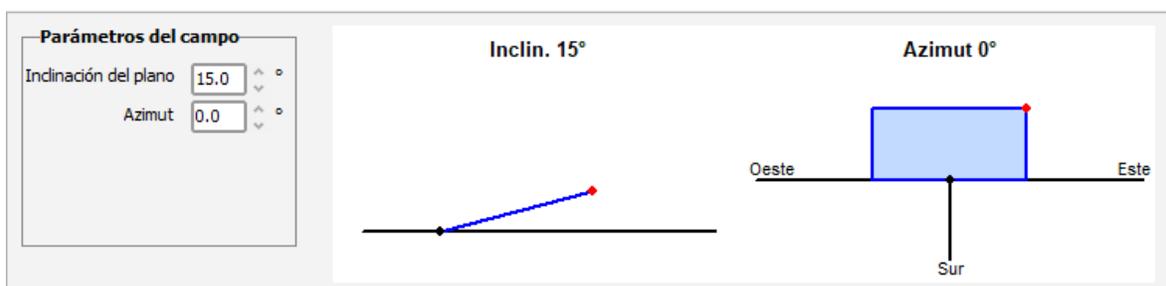


Ilustración 19. Parámetros de inclinación en Pv-syst

A partir del área disponible para el sistema fotovoltaico y la selección del módulo escogido de la base de datos de fabricantes y características, la interfaz determina la capacidad posible planeada el conjunto fotovoltaico.

El área predestinada para el proyecto es de 710 m² los cuales están ubicados en la terraza del edificio interplaca. A partir de los resultados obtenidos de del conjunto fotovoltaico el área requerida solamente es de 273 m², obteniendo un 38% de ocupación de la totalidad de área disponible.

6.1.3.1 Sistema

En el interfaz del sistema, nos permite una ayuda de pre - dimensionamiento el cual consiste en ingresar la potencia planeada o el área disponible para los módulos fotovoltaicos, variables que en la selección de módulos se verían relacionadas y el conjunto de inversores se verían afectados.

Para el proyecto no se trabajó con el pre - dimensionamiento, ya que nos permite tener la libertad de escoger el módulo que deseemos en la base de datos de los fabricantes, teniendo en cuenta la comercialización de dichos modelos (ilustración 22).

Selección de módulo fotovoltaico

Disponibles ahora: Todos los módulos F

Jinkosolar | 210 Wp 21V | Si-poly | JKM 210PP-48 | Desde 2016 | Manufacturer 2017 |

Usar optimizador

Voltajes de dimensionamiento : Vmpp (40°C) **22.6 V**
Voc (0°C) **33.8 V**

Ilustración 20. Selección de modulo fotovoltaico en Pv-syst

La base de datos nos permite tener la característica del módulo según el fabricante tales como datos básicos, tamaños y tecnología, parámetros del modelo y gráficos de variables temperatura vs voltaje; potencia vs voltaje; eficiencia vs irradiancia.

Datos básicos	Tamaños y tecnología	Parámetros del modelo	Datos adicionales	Comercial	Gráficos
Modelo	JKM 210PP-48		Fabricante	Jinkosolar	
Nombre de archivo	Jinko_JKM_210PP_48.PAN		Fuente datos	Manufacturer 2017	
Base de datos PVsyst original			Prod. desde 2016		
Potencia nom. (en STC)	210.0 Wp	Tol. +/-	0.0	3.0	%
Tecnología	Si-poly				
<p>El Pmpp del modelo es mayor que los datos especificados de Vmpp * Imp en STC (discrepancia 0.68%). Esto puede deberse a la inconsistencia de los datos del fabricante, o a una mala evaluación del fabricante.</p>					
Especificaciones del fabricante o otras medidas			Resumen del modelo		
Condiciones de referencia	GRef	1000 W/m ²	TRef	25 °C	Parámetros principales
Corriente de cortocircuito	Isc	9.670 A	Circuito abierto Voc	31.50 V	Derivación R
Punto de Potencia máx.	Imp	8.470 A	Vmpp	24.80 V	Rderiv(G=0)
Coeficiente de temperatura	muIsc	5.8 mA/°C	Núm. de células	48 en series	Modelo serie R
	o muIsc	0.060 %/°C			Serie R máx.
					Serie R aparente
Herramienta de resultado del modelo interno			Parámetros del modelo		
Condiciones de operación	GOper	1000 W/m ²	TOper	25 °C	Gamma
Punto de Potencia máx.	Pmpp	211.5 W	Coef. temper.	-0.40 %/°C	IoRef
	Corriente Imp	8.80 A	Voltaje Vmpp	24.0 V	muVoc
Corriente de cortocircuito	Isc	9.67 A	Circuito abierto Voc	31.5 V	muPMax fijo
Eficiencia / Área células		18.11 %	/ Área módulo	16.10 %	

Ilustración 21. Data Sheet del fabricante del Módulo seleccionado en Pv-syst

El módulo escogido para el proyecto tiene unas características principales de potencia nominal de 210 Wp, de tecnología de células policristalinas, corriente de corto circuito de 9,67A, corriente en el punto de potencia máximo de 8.47A y voltaje de 24.8V. Parámetros importantes en la selección de dichos módulos.

6.1.3.2 Inversor

Se instalarán 2 inversores trifásicos modelo TRIO-20.0-TL-OUTD-400 (20kWacmax); Tecnología: Dual stage transformerless topology PV inverter: IP 21; Control: Graphics, keypad, mono de potencia FV nominal de 43.7 Kw, voltaje MPP mínima y máxima

respectivamente de (200 y 950 V) en lado de entrada. En la salida el voltaje de red es de 400 Vac potencia de CA nominal de 43.7 kw.

Selección del inversor

Todos los inversores Voltaje de salida 400 V Tri 50Hz 50 Hz 60 Hz

20 kW 200 - 950 V TL 50 Hz TRIO-20.0-TL-OUTD-400 (20kWacmax) Hasta 2020

Núm. de inversores Voltaje de funcionamiento: **200-950 V** Poder global inversor **40.0 kWca**

Utilizar característica multi-MPPT Voltaje máximo de entrada: **1000 V** **inversor con 2 MPPT**

Ilustración 22. Inversor Seleccionado en Pv-syst

El informe realizado de forma automatizada por el software de Pv-syst contiene las características del arreglo de módulos e inversores necesarios para el proyecto, con sus debidas cantidades, referencias de fabricantes y modelos a utilizar. Además, se muestran los factores de pérdidas asociadas a la temperatura de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos.

Parámetros principales | Curva de eficiencia | Parámetros adicionales | Parámetros de salida | Tamaños y tecnología | Datos comerciales

Modelo Fabricante

Nombre de archivo Fuente de datos

Base de datos PVsyst original Prod. desde 2011 a 2020

Lado de entrada (Campo FV CC)

Voltaje MPP mínimo V

Voltaje mín. para PNom V

Corriente máxima por MPPT A

Voltaje MPP nominal V

Voltaje MPP máximo V

Voltaje FV máx. absoluto V

Umbral de potencia W Defecto ?

Especificación contractual, sin significado físico verdadero ? Requerido

Potencia FV nominal kW

Potencia FV máxima kW

Corriente FV máxima A

Lado de salida (Red CA)

Monofásico Trifásico Bifásico

Frecuencia 50 Hz 60 Hz

Voltaje de red V

Potencia de CA nominal kVA

Potencia CA máxima kVA

Corriente CA nominal A

Corriente CA máxima A

Eficiencia

Eficiencia máxima **98.16%** ?

Eficiencia definida para 3 voltajes

Ilustración 23. Definición y características del inversor propuesto en Pv-syst

Con base a las características del sistema descritas anteriormente, a continuación, se muestra la producción energética proyectada para el edificio de PHC. Se debe tener presente que las bases de datos meteorológicas utilizadas pueden producir una variación aproximada del +/- 10%, con respecto a los resultados obtenidos en la simulación.

INSTALACION FV	
Potencia Generador FV	43.7 kWp
Rendimiento anual específico.	1639 kWh/Kwp
Coeficiente de rendimiento de la instalación (PR)	81.26%
Inyección en la red	71.1 MWh/año
Inyección en la red en el primer año (incl. Degradación del módulo)	71.1 MWh/año
Emisiones de CO ₂ evitadas	11984.8 Ton/año

Tabla 5 Cifras de rendimiento del sistema fotovoltaico

6.1.4 Cálculo de conductores

La selección de un conductor eléctrico tiene que cumplir condiciones por regulación de temperatura, de sobrecarga de corriente, ampacidad y capacidad de corto circuito. A continuación, se explican cada uno de los términos:

AMPACIDAD: se define como la capacidad de corriente que puede soportar un conductor bajo una operación continua sin tener excesos de temperatura.

CORRIENTE DE SOBRECARGA: se define como la corriente excesiva que ocurre en una operación continua de trabajo con respecto a la corriente nominal de los equipos de carga continua como lo son iluminación y motores.

CAÍDA DE TENSIÓN (PORCENTAJE DE REGULACIÓN): la pérdida de potencia es ocasionada por varias razones, en este caso la caída de tensión es una de ellas y consiste en

la diferencia de potencial eléctrico que existe entre el punto de generación y el punto de consumo de los equipos. Esta diferencia se le llama caída de tensión además constituye una relación porcentual que se llama porcentaje de regulación.

FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA: La temperatura ambiente de Medellín es 23 °C y es importante saberlo ya que esto incide en la capacidad de corriente de los cables, es por esto que los fabricantes tienen unos factores de corrección por temperatura para ciertos rangos de temperatura ambiente. Sin embargo, las normas internacionales consolidaron en el siguiente dato los datos de corrección por temperatura:

Temperatura ambiente t _c	Temperatura máxima de operación del conductor		
	60°C	75°C	90°C
30	1,0	1,0	1,0
31-35	0,91	0,94	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76

Tabla 6 Factores de corrección por temperatura y agrupamiento

6.1.4.1 Cálculo de sección transversal de conductores

Los conductores se seleccionaron con respecto a la corriente nominal de salida del inversor en relación con la generación de los paneles solares, los calibres mostrados en la tabla serán los mínimos a utilizar.

Cálculo de sección transversal en corriente continua

En corriente continua la siguiente ecuación (1) nos indica la sección transversal que debe tener los conductores.

$$S = \frac{2 * I * L}{\sigma * \Delta V} \quad (1)$$

Cálculo de sección transversal en corriente alterna

En corriente alterna la siguiente ecuación (1) los indica la sección transversal que debe tener los conductores.

$$S = \frac{2 * I * L * \cos\phi}{\sigma * \Delta V} \quad (2)$$

Donde:

S: Sección del cable (mm²)

I: Corriente (A)

L: Distancia del Cable (m)

σ : Conductividad (cobre=59)

ΔV : Caída de tensión (V)

$\cos\phi$: Factor de potencia (0.9)

CALCULO DE SECCIÓN DE CABLES DE CONTINUA						
	Datos a modificar			Sección teórica	CABLE A UTILIZAR	
Constante en Cobre	Corriente (A)	Largo (m)	Caída de tensión (volts):	mm ²	mm ²	AWG
0,0339	71	10	1	24,069	25	4

CALCULO DE SECCIÓN DE CABLES DE ALTERNA						
	Datos a modificar			Sección Teórica	CABLE A UTILIZAR	
Constante en Cobre	Corriente (A)	Largo (m)	Caída de tensión (volts):	mm ²	mm ²	AWG
0,0058	116	21	5	70,644	72	2/0

Tabla 7 Resultado de Calibres de Conductores de Instalación FV.

6.1.5 Modelo de arreglo fotovoltaico

De acuerdo a la cantidad de módulos en serie y número de cadenas a continuación ilustración 26, veremos el modelo real del arreglo fotovoltaico en grupos de 26 paneles solares conectados en serie teniendo en cuenta 8 cadenas conectadas (paralelas) para un total de 208 módulos para el proyecto de autogeneración conectado a la red.

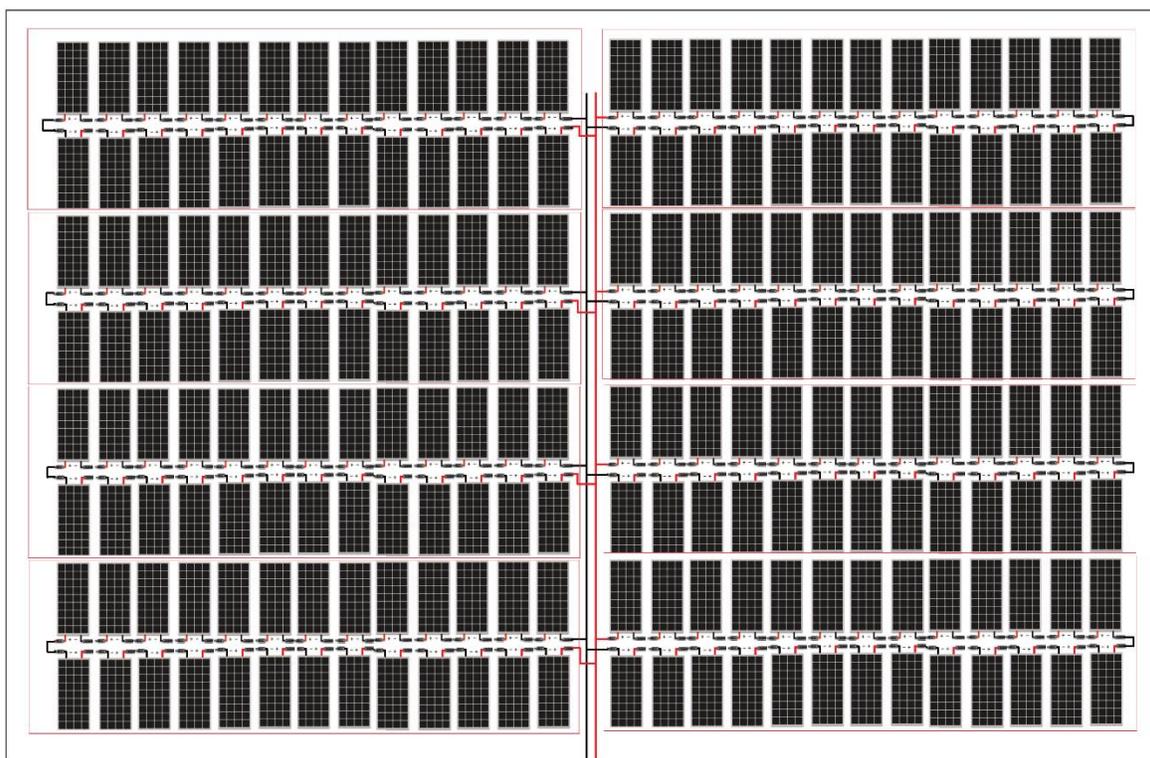


Ilustración 24. Arreglo de 8 cadenas y 26 módulos en serie en Pv-syst

7 CAPÍTULO 7

7.1 ESTRUCTURA

A continuación, veremos todas las partes necesarias para el montaje de los módulos en la estructura que tendrá el sistema.

La Estructura Suelo 15° 6 Paneles CVE915 es un tipo de soporte para cubiertas (terrazas) el modelo 15° 6 Paneles CVE915 sus bases de apoyo son triángulos cerrados con anclajes para superficies planas o en techos livianos.

El fabricante de estos soportes ha diseñado un modelo en cual pueda ser modificado el grado de inclinación que requiera en los ángulos de 15 grados y 30 grados con respecto a la

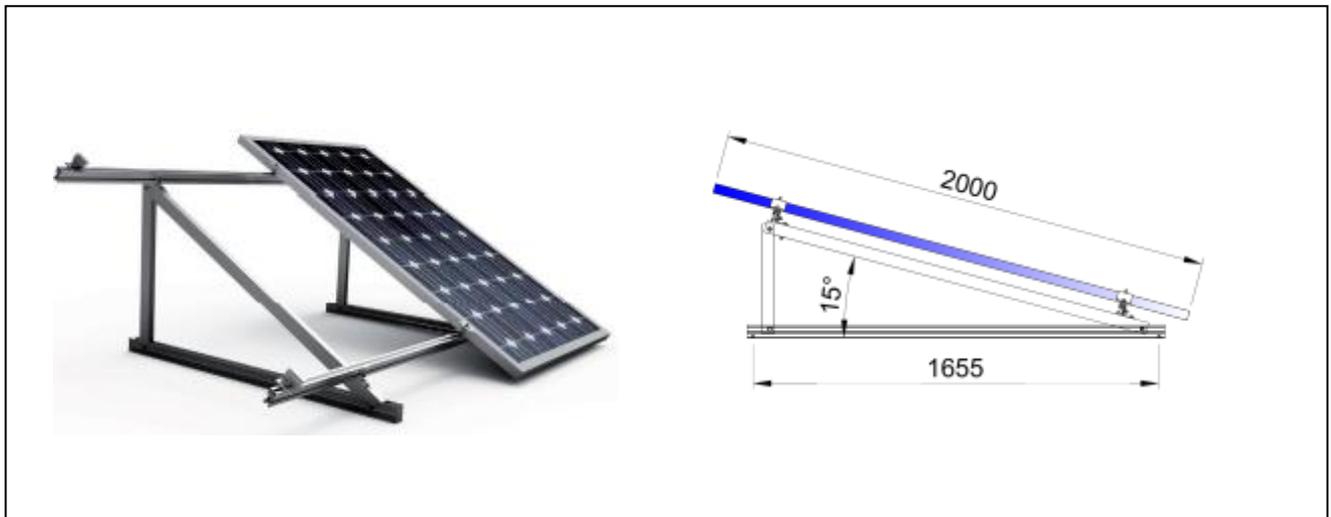


Ilustración 25. Estructura suelo 15° para módulos FV propuestos en Diseño

superficie, sin embargo, los módulos de estructura serán de inclinación fija de 15°.

La lista de elementos necesarios para la construcción de la estructura del proyecto de generación para la empresa PHC se muestra a continuación.

Descripción	Modelo	Detalle	Total, Unidades
Perfil G1 (Para Panel solar)	4.4 m	 Perfil G1	96
Triangulo cerrado 15 °	10 V	 TR10V TR11V	88
Chazo metálico de 3/8	hierro 1		176
Fijación para anclaje	S03	 S03 - Fijación para anclaje a correas	176
Presor lateral	S10	 S10	32
Presor Central	S11	 S11	288

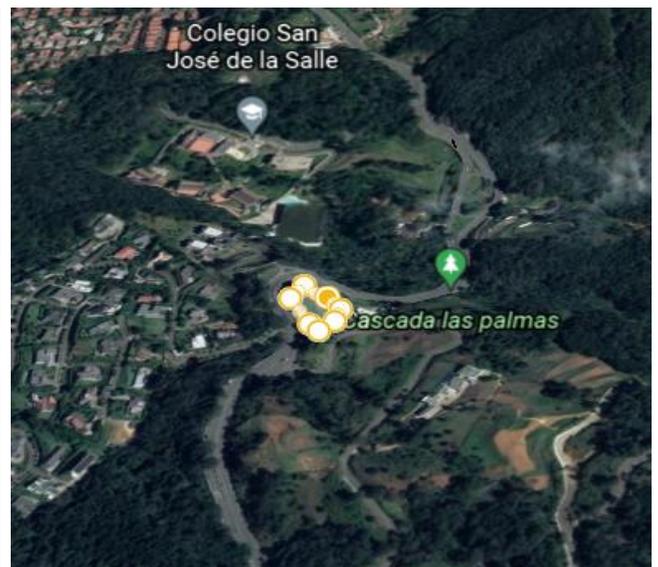
Tabla 8. Lista de elementos necesarios para construcción de estructura

8 CAPÍTULO 8

8.1 AUTOGENERACIÓN Y TRANSPORTE DE ENERGIA

El área de construcción para el sistema planeado es eventualmente adecuada según la información generada en el software de simulación Pv-syst para la carga total de 100 KW. El análisis de viabilidad de construcción de la planta de generación se basará principalmente en el coste del proyecto, teniendo en cuenta que el lugar de generación es un terreno de 2300 m² en zona urbana de Medellín.

A partir del estudio de la posible ubicación de la planta se observa la inviabilidad de construcción en un área urbana y de fácil acceso a cualquier persona o animal. El terreno es privado y además montañoso lo que implica generación de gastos para adecuación de tierra, estudios civiles y ambientales.



El diseño y construcción de la planta de generación fotovoltaica de 100 kw se diseñó con el objetivo de todo proyecto fotovoltaico de pequeña escala, el cual es poder ser consumido en el sitio de generación. El transporte de una carga tan pequeña es inviable a partir de la transformación de tensión para poder ser transportada a al sitio de consumo. Sin embargo, el diseño de esta planta se realizó para que la transmisión de energía sea en corriente alterna y a tensión nivel 2 (Media tensión). Por este motivo los inversores se contemplan en sitio de generación.

Carga total de 68 kva El área delimitada para el proyecto está dada por 700 m², dicha área fue establecida por ser el espacio útil y programada para proyectos solares ubicados en la terraza del edificio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que existen equipos de refrigeración y bombas de agua para suministro del edificio y por lo tanto se analiza la factibilidad de generación y transporte de energía al sitio. como posible solución de suministro eléctrico de fuentes alternativas.

9 CAPÍTULO 9

9.1 VIDRIO FOTOVOLTAICO

A partir de que la energía fotovoltaica permite una generación rápida, los puntos de consumo se espera que sean cercanos, reduciendo así pérdidas y costes de distribución y transporte en líneas y transformación.

En aplicaciones de extensiones de amplios espacios no ocurre el efecto de poder generar sin tener limitaciones de terreno implementar otras tecnologías renovables de generación de energía eléctrica. Actualmente es la única tecnología de generación eléctrica que permite una integración arquitectónica dentro del entorno urbano y edificios, con múltiples

funcionalidades de protección y técnicas de fachadas arquitectónicas de alto impacto visual, el cual es apta para generación en la que no entra en conflicto con otras generaciones de energía.

Teniendo en cuenta el aprovechamiento de espacio y en la fotovoltaica, los edificios pueden ser consumidores netos de energía a ser completamente productores a largo plazo y llegar a tener la capacidad de darle sostenibilidad energética en la edificación. Y Partiendo de los precios de los productos y además teniendo en cuenta la fachada del edificio de Mall Interplaza. Es un edificio ya construido y terminado el cual cuenta con una excelente ubicación tanto comercial como técnico para aprovechamiento de irradiación solar y aumentar las medidas de sostenibilidad y eficiencia energéticas.

La factibilidad de implementar vidrios fotovoltaicos en el diseño se desarrolla en este trabajo de grado basada en los costes de instalación y mantenimiento de operación de este modelo de generación de energía limpia y libre de emisiones de Co2.



Ilustración 26 Fachada edificio Interplaza - PHC Medellín

Dicha foto captada por un dron nos permite observar de primera mano el evento de sombra absoluta que ocurre en el edificio. Siendo el efecto principal en las placas solares la reducción de energía con respecto a la producción máxima posible en el día.

De acuerdo a la construcción y tipo de revestimiento en la fachada de edificios se tiene que tener en cuenta importantes aspectos constructivos y económicos de estos modelos de



Ilustración 27. Fachada Edificio Interplaza

fachadas, la imagen muestra la fachada que se quiere cubrir con vidrio fotovoltaico del edificio Mall Interplaza en Medellín-Colombia. Estos aspectos los vamos a analizar con el objetivo de ver la factibilidad de implementación de este sistema.

9.1.1 Aspecto constructivo

Las fachadas ligeras como su nombre lo indica son livianas, una de sus características principales es que no van relacionadas a la estabilidad de la construcción y entre sus ventajas permiten una mejor iluminación, además de que su peso es mínimo, pueden ser de fácil

instalación en construcciones de gran altura, sin embargo, la desventaja principal de fachas de tipo liviana en aspectos constructivos es el elevado coste de inversión ya que requieren ser adaptables para la estructura.

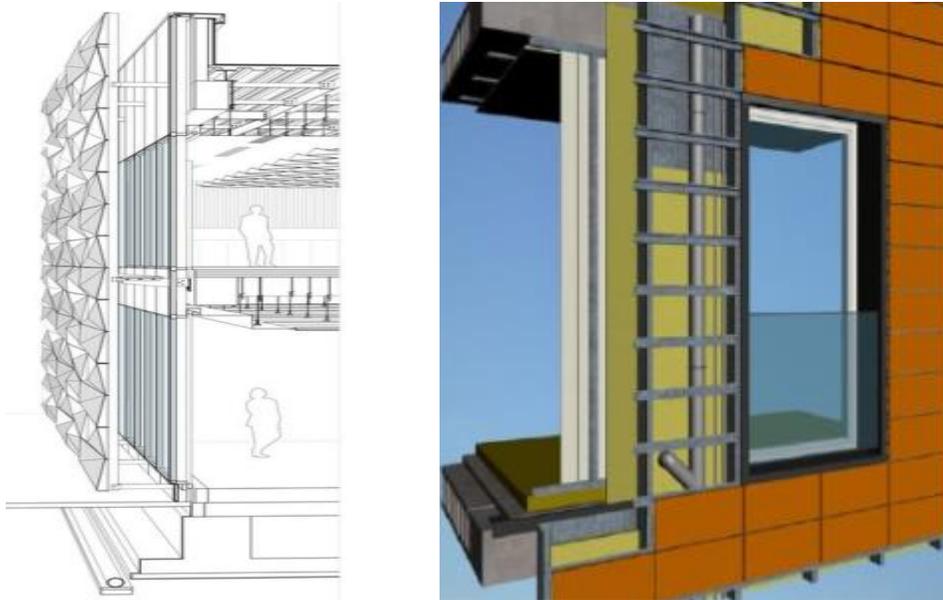


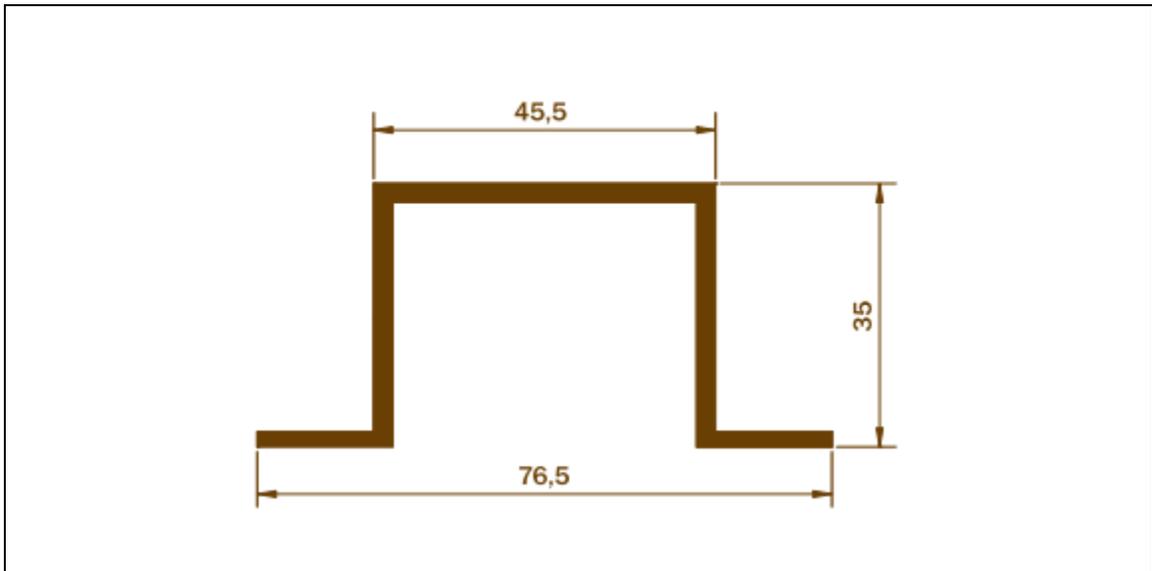
Ilustración 28 Cortes de fachadas

la imagen de corte de fachada es muy importante según el tipo de fachada a utilizar. Permite identificar la complejidad existente para la realización de este proyecto fotovoltaico, la estructura en aluminio debe ir adosada a la estructura principal del edificio y está conformada por perfiles y accesorios especiales descritos a continuación.

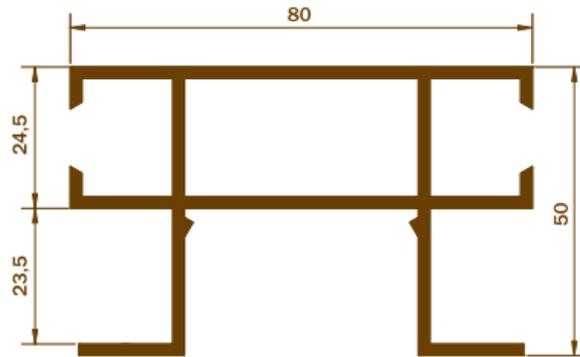


Ilustración 29 Modelo constructivo Vidrio FV

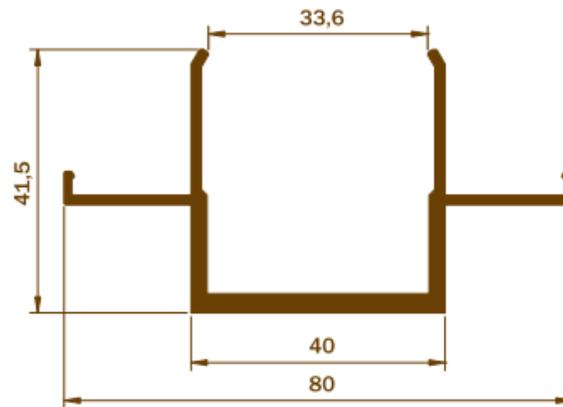
Tabla de accesorios utilizados en la instalación de estructuras para vidrios fotovoltaicos en edificio ISAGEN, archivos obtenidos de biblioteca imagen en Medellín. Dicho edificio se encuentra ubicado al lado del Mall Interplaza.



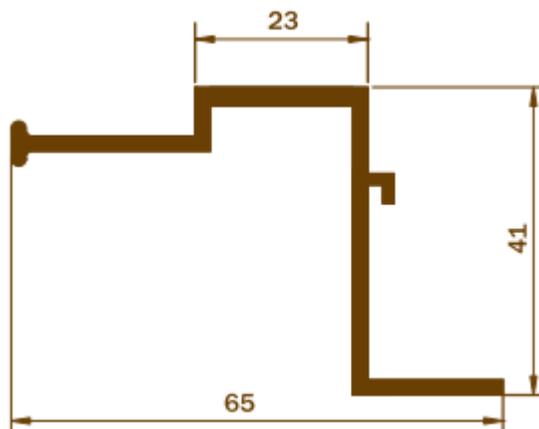
REF. **LCH-1** **OMEGA**
ESPESOR GENERAL 2,5mm



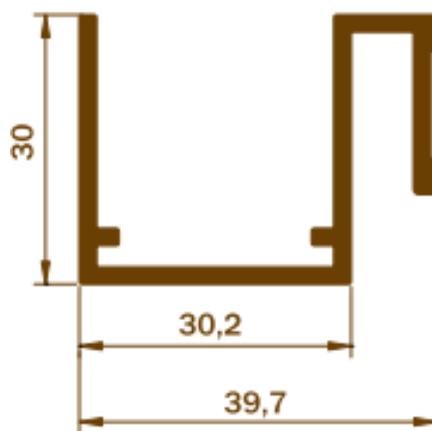
REF. **LC-2** **PERFIL MONTAJE NIVELACIÓN**
ESPESOR GENERAL 2mm | ESCALA 1:1



REF. **LC-3** **SISTEMA DE CUELQUE**
ESPESOR GENERAL 1,6mm |



REF. **LC-4** **PERFIL ENCASTRE BANDEJA**
ESPESOR GENERAL 2,1mm | ESCALA 1:1



REF. **LC-6** **PERFIL REFUERZO HORIZONTAL**
ESPESOR GENERAL 1,9mm | ESCALA 1:1

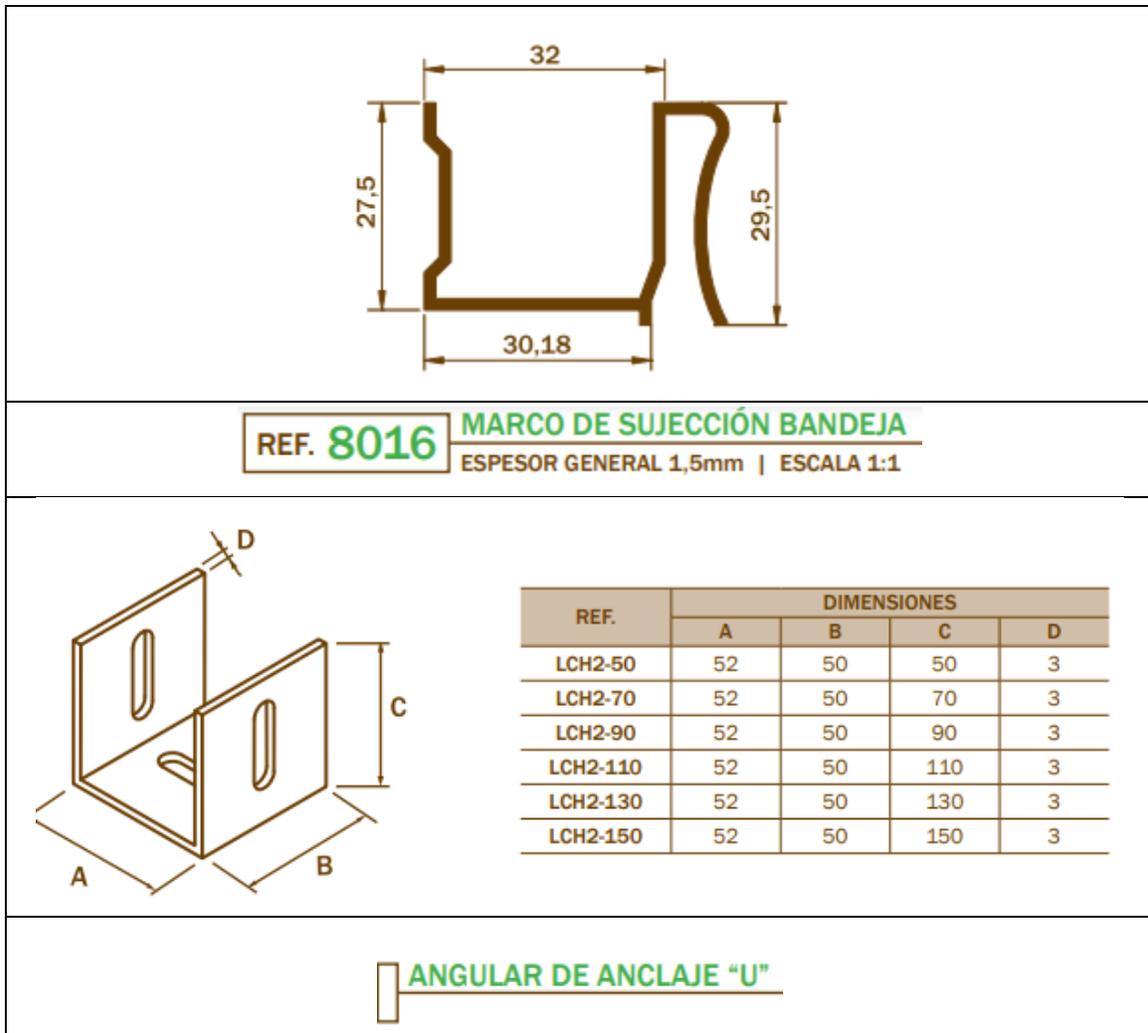


Tabla 9 Accesorios de anclaje vidrio fotovoltaico

9.1.2 Coste

El coste elevado de este modelos de fachada y sistema de generación empieza en el módulo fotovoltaico para integración arquitectónica en fachada de células de silicio monocristalino de potencia máxima (Wp) 125W, tensión a máxima potencia (Vmp) 21V, intensidad a máxima potencia (Imp) 5,94 A, intensidad de cortocircuito (Isc) 6,5^a, tensión a circuito abierto (Voc) 25,2 V, eficiencia 16%, 42 celular, coeficiente de transferencia de calor 4,5 W/m²K, transmitancia térmica 25%, transparencia 32%, dimensiones 1600x1300x10 mm, altura máxima de instalación 80 m, resistencia a la carga del viento

287 kg/m², peso 52 kg, vidrio transparente, con caja de conexiones. El fabricante (Innova, 2018) menciona que los procesos de fabricación principalmente se destacan por la eficacia y la excelencia siendo la garantía que permite la el óptimo funcionamiento y entrega de características de estos módulos. El centro de producción en España (certificado según las normas ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001) cumple con las estrictas exigencias de calidad que requiere el mercado. El cual en el mercado lo podemos encontrar en UN MILLON SEISCIENTOS SESENTA MIL PESOS MCTE, (\$1´660.000) valor al que hay que sumarle todo el coste de instalación y accesorios para adosarlo a la estructura teniendo en cuenta el indice de mantenimiento que requieren este tipo de modulos.

La repercusión por m² de accesorios de montaje con ganchos de modulo fovoltaico de fachada y el material eléctrico para conexión de dichos paneles el coste por modulo fovoltaico cuesta DOS MILLONES ONCE MIL PESOS MCTE (\$2´011.000) este valor no incluye IVA.

El área propuesta para la realización del objetivo específico es de 300 m², área especial a la cual hay que realizarle debidas modificaciones estructurales para soportar la estructura en aluminio propuesta por América fovoltaica.

Teniendo en cuenta el área de disposición y el coste por metro cuadrado de instalación y materiales consolidados por Colombia Generados de precios recubrir la fachada es de TRECIENTOS UN MILLON SEISCIENTOS CINCUENTA MIL PESOS MTCE (\$301´650.000), sin incluir IVA. El diseño y simulación del sistema propuesto en fachada se realizó en PV-Syst teniendo en cuenta la inclinación vertical y el azimut de acuerdo a la ubicación del lado de la fachada existen perdidas a gran escala.

9.2 Retorno de inversión de las soluciones propuestas

9.2.1 Proyecto solar en cubierta

El sistema fotovoltaico propuesto en cubierta esta contemplado para abastecer la carga deseada la cual es de 41 kW, y esta constituido por 208 modulos solares con potencia pico de generación de 210 Wp, contemplando una configuración de 8 cadenas por 26 modulos en serie, y bajo una condición de operación de 40°C la potencia pico generada será de 41.4 kWp, punto máximo de tensión será de 587 V y de corriente de 71 A.

Cantidad	Descripción	Precio unit	Precio Total
208	Paneles solares jinko solar de 210 Wp	\$ 360,000	\$ 74'880,000
16	Estructura Suelo 15° 6 Paneles CVE915	\$ 600,000	\$19'200,000
2	Inversor TRIO-20.0-TL-OUTD-400	\$ 18'600,000	\$ 37'200,000

Tabla 10 Resumen de inversión de elementos FV en cubierta.

La inversión total es un valor alrededor de ciento cincuenta millones de pesos (\$ 180'000,000), pero debemos tener en cuenta la producción de energía que tendrá el sistema al año la cual es de 72,51 MWh/año. y para la siguiente operación debemos saber la cantidad de energía consumida al año directamente de la red y de la información dada por el recibo de energía del operador de red la cual es de 6200 kW/h al mes, por lo tanto, al año sería un gasto de energía de 74,4 Mw/año.

Teniendo en cuenta que el kilovatio hora aumenta todos los años, el promedio de este año es de \$750 para lo cual al año la empresa estaría pagando \$ 55'800.000 por el consumo anual. Quiere decir que alrededor de 4 años estaría recuperando la inversión total del proyecto.

Lo mas importante de este análisis es la vida útil de los sistemas fotovoltaicos son de 20 a 30 años, queriendo decir que la viabilidad es absolutamente correcta.

9.2.2 Proyecto solar en fachada

El sistema fotovoltaico propuesto fachada principalmente esta limitado por el área de disposición en edificios ya construidos, sin embargo, veremos otra razón importante para ver la factibilidad de optar por esta solución, como lo es el tiempo de retorno de la inversión. Este sistema se diseño en Pv-syst asimilando un panel monostrilino de la misma potencia de generación pico de 125 WP, puesto que el área es limitada y la generación máxima por este diseño es de 18.7 kWp, y esta constituido por esta contemplado para abastrecer la carga deseada la cual es de 41 kW, y esta constituido por 156 modulos solares con potencia pico de generación de 125 Wp, contemplando una configuración de 6 cadenas por 26 modulos en serie, y bajo una condición de operación de 40°C la potencia pico generada será de 17 kWp, punto máximo de tensión será de 613 V y de corriente de 28 A.

Cantidad	Descripción	Precio unit	Precio Total
156	Modulos Vidrios solares 125 Wp	\$ 560,000	\$ 87'360,000
154	Estructura para fijación en fachada por m2	\$ 320,000	\$49'280,000
1	Inversor TRIO-20.0-TL-OUTD-400	\$ 18'600,000	\$ 18'600.000

Tabla 11 Resumen de inversión de elementos FV en fachada.

La inversion total es un valor aproximado de \$155'240,000. Pero debemos tener en cuenta la generación de energía al año de este sistema el cual es de 26,09 MW/año. Como lo vimos anterior el gasto de energía anual por el edificio es de 74,4 KWh/año. se observa la no viabilidad de este sistema para aplicación.

Existen varios factores que limitan de una manera importante que se lleven a cabo estos sistemas, la tecnología es mucho mas costosa por el nivel de transparencia que deben tener y los fabricantes son muy pocos lo que comercializan este tipo de vidrios.

Asumiendo que existe el área requerida para la generación fotovoltaica correspondiente a la demanda de energía requerida, implicaría 336 módulos vidrios fotovoltaicos y 2 inversores. Los resultados son supremamente elevados, TRECIENTOS MILLONES DE PESOS, los cuales tendrá un retorno de inversión aproximadamente en 6 años. Teniendo en cuenta la valoración y alcance del proyecto, la implementación de un sistema fotovoltaico a partir de ventanas fotovoltaicas es viable, solamente se tienen limitaciones en ocasiones las cuales con un debido estudio de diseño se permite concluir la viabilidad al 100% de los requerimientos del proyecto.

10 Conclusiones

- La viabilidad de la implementación del sistema fotovoltaico de autogeneración para la terraza propuesta, la cual es menor a 2000 m² ubicada en Medellín es realizable de forma técnica y económica ya que el área de ocupación del sistema ocupa el 45% de la totalidad de área, y la inversión tendría un retorno alrededor de 4 años después de entrar en funcionamiento con respecto al consumo actual al operador de red, teniendo en cuenta que el sistema tiene una vida útil de 20 a 30 años. Concluyendo ser viable el sistema propuesto para la empresa.
- El sistema fotovoltaico en fachada para el proyecto de viabilidad de implementar un sistema con la demanda de energía requerida por la empresa es inviable por la limitación de área de construcción del sistema fotovoltaico lo que disminuye la producción de energía por las

celdas del vidrio FV lo hace inviable, sin embargo, la integración de estos modelos en la construcción se puede usar para pequeñas cargas, por ejemplo: áreas comunes.

- Económicamente los sistemas en fachada son muy costosos y el retorno de la inversión esta propuesta para 8 años, lo que lo hace un poco factible que se queden con esta opción de construcción, teniendo en cuenta que la razón mas importante por la cual no es viable es el área de construcción disponible del edificio Interplaza en Medellín.
- La energía solar fotovoltaico ha tenido un crecimiento importante en el país y los principales intereses son el aporte ambiental y energético que pueden obtener con estos sistemas de autogeneración a pequeña escala resulta viable, ya que a partir del espacio disponible y ubicación geográfica se pueden desarrollar proyectos de autogeneración de gran potencia o mínima requerida por el cliente o todo tipo de personas interesadas que quieran tener una planta fotovoltaica a implementar en los predios de Medellín.
- Los sistemas fotovoltaicos tienen reputación de ser costosos e inviables comercialmente y económicamente debido al sobre costo de componentes y de acuerdo a la relación de beneficios energéticos, el estudio previo y adecuado diseño y modelamiento permite controlar la inversión inicial y la debida recuperación en tiempos específicos.
- La industria del aluminio es principalmente la beneficiada en proyectos donde la edificación está construida. Ya que su peso adicional estructuralmente es liviano, siendo viable el modelo de anclaje e instalación de los módulos fotovoltaicos en diferentes tipos de estructuras. Sin embargo, las estructuras en campos de alta

generación se implementan estructuras de hierro para disminuir los costos de inversión.

- Los tipos de fachadas solares influyen en el valor promedio de inversión en adecuación de superficies para los módulos vidrios fotovoltaicos que se verán afectados directamente, por la arquitectura existente estas fachadas requieren una superficie plana y segura para adosar las placas solares. Sin embargo, los modelos estructurales y soportes son importantes en el diseño teniendo en cuenta el impacto térmico y luminoso del vidrio a utilizar en relación al comportamiento óptico y eléctrico.
- La autogeneración y consumo de energía solar a pequeña escala es viable generalmente cuando la instalación, generación y consumo se lleva cabo en el mismo lugar. Lo que permite disminuir en grandes cantidades el coste de inversión, ya sea en transporte de energía o equipos de transformación de energía para evitar pérdidas de energía.
- La transformación de energía en baja tensión es inviable para el transporte de energía en distancias donde tendremos perdidas de flujo de energía y corriente. La función de la subestación es elevar o disminuir voltajes para la operación o transporte de energía sin embargo esta solución es inviable por el coste de inversión ya que sería muy elevado.

- Los potenciales energéticos de irradiación solar fueron previstas las condiciones meteorológicas a través del software Pv-Syst por medio de la base de datos de la NASA y en consulta de otros documentos, donde establecen unos indicadores muy buenos para la instalación del sistema fotovoltaico en la empresa con índices de irradiación anual de 5,57 kWh/m²/Día, una temperatura promedio de 21,5°C y niveles de sombra nulos por la altura del edificio.

11 Bibliografía

CARMONA, Hernán. Medellín, Maestría en gerencia de proyectos, 2017, 175 páginas. Análisis de factibilidad de un proyecto de autogeneración eléctrica fotovoltaica en Colombia para áreas productivas menores de 10000 m². Universidad EAFIT. Escuela de Administración.

CENAMOR, Carlos. Leganes, Ingeniería Eléctrica, 2012, 146 páginas. Sistema de energía solar fotovoltaica conectado a red para generación. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de ingeniería eléctrica.

DIAZ, Hedier. Santiago de Cali, Ingeniero Eléctrico, 2007, 121 páginas. Análisis, modelado, simulación y validación de un sistema de generación de energía sola autónomo caso: universidad autónoma de occidente. Universidad Autónoma de occidente. Departamento de ingeniería eléctrica.

GALVIZ, Jhon. Proyecto para la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para la población wayuu en nazareth corregimiento del municipio de Uribia, departamento de la guajira – Colombia.

BARRERA, William. Bogotá, Ingeniero Mecánico, 2018, 94 páginas. propuesta de un sistema fotovoltaico para consumo eléctrico en el municipio de quebrada negra, Cundinamarca. Universidad libre de Colombia. Departamento de Mecánica.

RAMOS, Humberto. Chihuahua, Maestría en energía renovables, 2014, 101 páginas. Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la universidad tecnológica de salamanca. Universidad tecnológica y pedagógicas.

Sala, Isabel. *Las energías renovables en edificación, ventajas y viabilidad en eólica, solar y biomasa. En Construction21 en el mundo, agosto de 2013.*

TEBA, Cristina. *Como de eficiente es la energía solar para los edificios. Sexma energía inteligente, mayo 2020.*

Rivera, Edwar. *Construcción y arquitectura verde: Impresionante techo solar en Cali Colombia brilla con luz propia Nuevo techo solar en edificio Vida en Cali Colombia. Agosto de 2018.*

MOLINA, Pilar. *El Ministerio de Energía de Colombia lanza una convocatoria para instalar paneles solares en sus edificios. Pv-magazin-latam. Agosto 2019. [10]*

Congreso de Colombia. (2014). Integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Ley 1715 de 2014. DO: 49.150

Cilveti, I. P. (2010). *Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red (Tesis de pregrado). Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona, España*

OVIEDO, Salazar; BADI, Guillen y SERRATO, Lugo. (2015). *Historia y Uso de Energías Renovables. International Journal of Good Conscience .*

Abella, M. A. (2007). *Sistemas fotovoltaicos. Madrid.*

Alvarado, C. (2019). *Análisis, diseño y simulación de sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico en apoyo al programa rural el Cardonal. Boyacá, Colombia.*

Arroba Fernandez, M. (2018). *Integración de algunas energías renovables, impacto estructural. congreso nacional del medio ambiente, 34.*

Beckman, D. &. (2006). *Solar Engineering of Thermal processes. Estados Unidos.*

Cooper, P. (1969). *The absorption of solar radiation in solar stills. Sol Energy.*

CREG. (2018). *Comisión y regulación de energía y gas. Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co>*

desarrollo, p. n. (2011). *Congreso de la reubluca. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1450_2011.html*

Díaz Villar, P. (2003). *Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: Aplicación a la electrificación rural. Madrid: Tesis Doctoral.*

Elecnor, G. (2017). *Aplicaciones de la energía Solar Fotovoltaica.*

Envolvente, A. (2018). *Integración de energía fototérmicas. envolvente arquitectura, 20-23.*

Esquivel, L. (2003). *Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Madrid.*

- Gutierrez, A. (2008). *EL diario*. Obtenido de los paneles solares emiten gas de efecto invernadero: <http://www.esglobal.org/los-paneles-solares-emiten-gas-de-efecto-invernadero>
- Huashan, L. (2011). *Solar Constant values for estimating solar radiation*. Alemania.
- Innova, S. (12 de Enero de 2018). *Solar Innova*. Obtenido de <https://www.solarinnova.net/>
- Minenergia. (2014). *Ministeria de energia*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/>
- Moralejo Vasquez, F. (2018). Contribucion a la mejora de la integracion de la energia solar fotovoltaica en edificios. *Universidad complutense de madrid*, 80.
- Neira Artidiello, M. (2013). *Integracion arquitectonica de la energia fotovoltaica*. Oviedo: Master universitario.
- Norisch Valdez, A. S. (2007). *Energia Solar*. Obtenido de Esime: www.simecchilesrl.com
- Orbegozo, I. (2010). *Energia Solar fotovoltaica, Manual tecnico para instalaciones solares*. España: Green energy Consultoria.
- Oton, L. R. (2009). *La energia solas en la edificacion: la energia solar termica y la energia solar fotovoltaica*. Cartagena.
- Solar, O. (2021). *Onix Solar*. Obtenido de <https://www.onyxsolar.es/>
- UPME. (2015). *Unidad de planeacion minero energetica*. Obtenido de <https://www1.upme.gov.co/>
- Vallina, M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España.
- Vela, N. (2006). *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energia solar fotovoltaica, Acumuladores de la energia solar fotovoltaica*.

Anexos

- Hoja de características Inversor

Additional highlights

- Integrated string combiner with different options of configuration which include DC and AC disconnect switch in compliance with international standards (S2, S1J, -S2J, -S2F and -S2X versions)
- Natural convection cooling for maximum reliability
- Outdoor enclosure for unrestricted use under any environmental conditions
- Capability to connect external sensors for monitoring environmental conditions
- Availability of auxiliary DC output voltage (24 V, 300 mA)

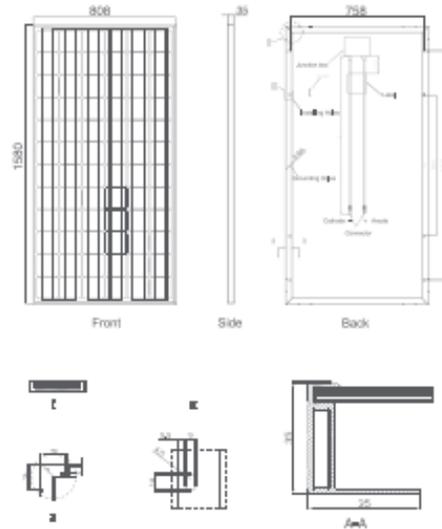


Technical data and types

Type code	TRIO-20.0-TL-OUTD	TRIO-27.6-TL-OUTD
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,dc}$)	1000 V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	430 V (adj. 250...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{min,dc}...V_{max,dc}$)	0.7 x $V_{nom,dc}$...950 V (min 200 V)	
Rated DC input voltage (V_{in})	620 V	
Rated DC input power (P_{in})	20750 W	28600 W
Number of independent MPPT	2	
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{in}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800 V ≤ V_{in} ≤ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{in} , max unbalance example	12000 W [480 V ≤ V_{in} ≤ 800 V] the other channel: P_{in} - 12000 W [350 V ≤ V_{in} ≤ 800 V]	16000 W [500 V ≤ V_{in} ≤ 800 V] the other channel: P_{in} - 16000 W [400 V ≤ V_{in} ≤ 800 V]
Maximum DC input current ($I_{in,max}$) / for each MPPT ($I_{MPPT,max}$)	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S1J, -S2J versions)	1 (5 in -S2X and -S2F versions, 4 in -S1J and -S2J)
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	12000 W	16000 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{in}	440...800 V	500...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from max to null [800 V ≤ V_{in} ≤ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{in} , max unbalance example	12000 W [480 V ≤ V_{in} ≤ 800 V] the other channel: P_{in} - 12000 W [350 V ≤ V_{in} ≤ 800 V]	16000 W [500 V ≤ V_{in} ≤ 800 V] the other channel: P_{in} - 16000 W [400 V ≤ V_{in} ≤ 800 V]
Maximum DC input current ($I_{in,max}$) / for each MPPT ($I_{MPPT,max}$)	50.0 A / 25.0 A	64.0 A / 32.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30.0 A	
Number of DC inputs pairs for each MPPT	1 (4 in -S2X, -S2F, -S1J, -S2J versions)	1 (5 in -S2X and -S2F versions, 4 in -S1J and -S2J)
DC connection type	PV quick fit connector ³ / Screw terminal block on Standard and -S2 versions	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4	
Input over voltage protection for each MPPT - plug in modular surge arrester (-S2X, -S1J and -S2J versions)	-S2X: Type 2; -S1J, -S1J: Type 1+2	
Photovoltaic array isolation control	According to local standard	
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	40 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V	
Output side		
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power (P_{out} @cosφ=1)	20000 W	27600 W
Maximum AC output power ($P_{out,max}$ @cosφ=1)	22000 W ⁴	30000 W ⁴
Maximum apparent power (S_{out})	22200 VA	30670 VA
Rated AC grid voltage (V_{out})	400 V	
AC voltage range	320...480 V ⁵⁾	
Maximum AC output current ($I_{out,max}$)	33.0 A	45.0 A
Contributory fault current	35.0 A	
Rated output frequency (f)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ⁶⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{out} = 20.0 kW, ± 0.8 with max 22.2 kVA	
Total current harmonic distortion	< 3%	
AC connection type	Screw terminal block, cable gland PG36	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	50.0 A	63.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4	
Output overvoltage protection - plug in modular surge arrester (-S2X version)	4 (Type 2)	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.2%	
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.0% / 98.0%	
Effort in power threshold	40 W	

- Hoja de características Modulo solar

Engineering Drawings

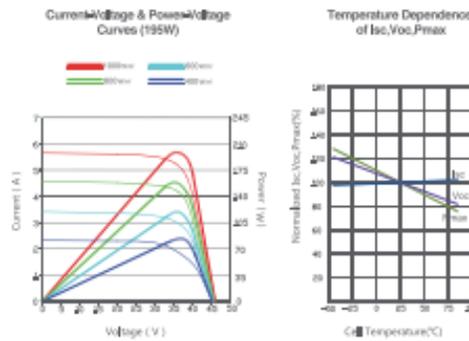


Packaging Configuration

(Two boxes = One pallet)

28 pcs/box, 56 pcs/pallet, 336 pcs/20'FT Container
 28 pcs/box, 56 pcs/pallet, 784 pcs/40'FT Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

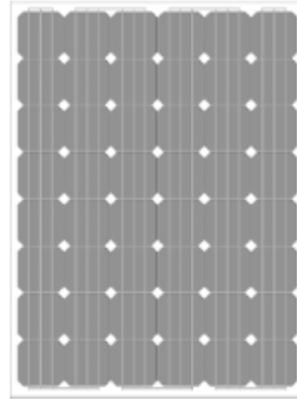
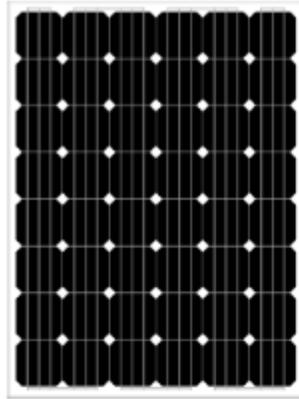
Cell Type	Mono-crystalline 125×125mm (5 inch)
No. of cells	72 (6×12)
Dimensions	1580×808×35mm (62.20×31.81×1.38 inch)
Weight	14.5kg (31.9 lbs.)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP65 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² ; Length 900mm

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM190M		JKM195M		JKM200M		JKM205M		JKM210M	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	190Wp	141Wp	196Wp	146Wp	200Wp	149Wp	205Wp	153Wp	210Wp	156Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	36.6V	34.2V	36.6V	34.2V	36.9V	34.3V	37.2V	34.6V	37.4V	34.8V
Maximum Power Current (Imp)	5.19A	4.13A	5.30A	4.23A	5.42A	4.33A	5.51A	4.42A	5.61A	4.48A
Open-circuit Voltage (Voc)	45.2V	42.1V	45.4V	42.2V	45.6V	42.4V	45.9V	42.7V	46.1V	42.9V
Short-circuit Current (Isc)	5.56A	4.47A	5.67A	4.56A	5.80A	4.67A	5.90A	4.75A	5.99A	4.82A
Module Efficiency STC (%)	14.88%		15.28%		15.67%		16.06%		16.45%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	10A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/°C									

- Hoja de características de Vidrio Fotovoltaico

 **SI-ESF-M-BIPV-GG-M125-48**



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (STC)				
Potencia máxima (Pmpp)	Wp	125	130	135
Tolerancia	Wp	0 ~ + 5		
Tensión de máxima potencia (Vmpp)	Voltios	24,2	24,4	24,63
Corriente de máxima potencia (Impp)	Amperios	4,96	5,33	5,48
Tensión de circuito abierto (Voc)	Voltios	29,7	30	30,30
Corriente de cortocircuito (Isc)	Amperios	5,40	5,75	5,92
Tensión máxima del sistema (Vsyst)	Voltios	600 (UL) / 1,500 (IEC)		
Diodos (By-pass)	Cantidad	3		
Fusible máximo en serie	Amperios	10		
Eficiencia (ηm)	%	14,4	15	15,6
Factor de Forma	%	≥ 73		

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
Dimensiones	Altura	1,066 mm	41,97 pulgadas
	Anchura	802 mm	31,57 pulgadas
	Grosor	25 mm	0,98 pulgadas
Peso	Neto	12 kg	26,45 libras
Parte delantera	Material	Vidrio templado de alta transmisividad	
	Espesor	2,5 ± 0,2 mm	0,09 pulgadas
Células	Tipo	Monocristalinas	
	Cantidad	6 x 8 unidades	
	Tamaño	125 x 125 mm	5 pulgadas
Conexión en serie	Cantidad	48 unidades	
Conexión en paralelo	Cantidad	1 unidad	
Encapsulante	Materiales	EVA	
	Grosor	0,50 ± 0,03 mm	0,020 ± 0,0012 pulgadas
Parte posterior	Material	Vidrio templado	
	Grosor	2,5 ± 0,2 mm	0,098 ± 0,008 pulgadas
Caja de conexiones	Material	PVC	
	Protección	IP67	
	Aislamiento	Frente a humedad e inclemencias meteorológicas	
Cables	Tipo	Polarizados y simétricos en longitud	