



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto  
Ingeniería  
Energética



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
**TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE**

**“CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN  
FOTOVOLTAICA PARA UNA  
VIVIENDA LOCALIZADA EN  
COLOMBIA. ANÁLISIS INICIAL  
PREVIO DE LAS CONDICIONES DE  
CONFORT EN LA VIVIENDA”**

**AUTOR: ESQUIVEL ROJAS, MELISA**

TUTOR: ROYO PASTOR, RAFAEL

Curso Académico: 2020-21

Fecha 09/2021

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera dar mis más grandes agradecimientos a mi familia, a mi apoyo incondicional que me ha permitido tener esta oportunidad de poder estudiar un máster en una universidad de tan alto nivel internacional, cada esfuerzo es por y para ellos. También agradecer a Dios porque me he permitido poder cumplir otra de mis metas a nivel profesional y ampliar conocimientos de cara al futuro.

De la misma manera quiero agradecer a Rafa, mi tutor, por brindarme un gran apoyo durante el desarrollo de este trabajo y acompañamiento durante todo el proceso. Este trabajo es el fruto de un arduo trabajo durante el año.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de fin de máster propone el diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica en una vivienda unifamiliar localizada en Colombia. Esta propuesta busca conocer aquellas condiciones climáticas de la zona donde está ubicada la vivienda, teniendo en cuenta factores como radiación solar, viento entre otras y por medio de un software de simulación realizar un análisis solar a la vivienda. Se busca plantear dos tipos de sistemas que favorezcan a la vivienda en el consumo eléctrico mensual, ya sea, por un sistema fotovoltaico de conexión a red o totalmente de autoconsumo junto con su costo económico de implementación.

Así mismo, se busca conocer por medio de análisis inicial, variables de confort del interior de la vivienda. En este se busca recolectar información y plantear pequeñas mejoras de cara al mejoramiento del confort interno en la vivienda y sus ocupantes.

**Palabras Clave:** radiación solar; confort; vivienda unifamiliar; climatología; energías renovables; sostenibilidad; Colombia

## RESUM

El present treball de fi de màster proposa el disseny i desenvolupament d'una instal·lació fotovoltaica en un habitatge unifamiliar localitzat a Colòmbia. Aquesta proposta busca conèixer aquelles condicions climàtiques de la zona on està situada l'habitatge, tenint en compte factors com a radiació solar, vent entre altres i per mitjà d'un programari de simulació realitzar una anàlisi solar a l'habitatge. Es busca plantejar dos tipus de sistemes que afavorisquen a l'habitatge en el consum elèctric mensual, ja siga, per un sistema fotovoltaic de connexió a xarxa o totalment d'autoconsum juntament amb el seu cost econòmic d'implementació.

Així mateix, es busca conèixer per mitjà d'anàlisi inicial, variables de confort de l'interior de l'habitatge. En aquest es busca recollir informació i plantejar xicotetes millores de cara al millorament del confort intern en l'habitatge i els seus ocupants.

**Paraules clau:** radiació solar; confort; habitatge unifamiliar; climatologia; energies renovables; sostenibilitat; Colòmbia

## **ABSTRACT**

This master's thesis proposes the design and development of a photovoltaic installation in a single-family house located in Colombia. This proposal seeks to know the climatic conditions of the area where the house is located, considering factors such as solar radiation, wind, among others, and by means of a simulation software to perform a solar analysis of the house. We seek to propose two types of systems that favor the house in the monthly electricity consumption, either by a photovoltaic system connected to the grid or totally self-consumption along with its economic cost of implementation.

Likewise, it is sought to know by means of initial analysis, comfort variables inside the house. The aim is to collect information and propose small improvements to improve the internal comfort of the house and its occupants.

**Keywords:** solar radiation; comfort; single-family house; climatology; renewable energies; sustainability; Colombia

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Introducción .....	13
1.2. Antecedentes .....	15
2. OBJETIVOS .....	16
2.1. Objetivo general .....	16
2.2. Objetivos específicos .....	16
3. METODOLOGÍA .....	17
4. EMPLAZAMIENTO .....	18
4.1. Descripción .....	18
4.2. Ubicación .....	19
4.3. Orientación .....	20
5. CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS .....	21
5.1. Climatología .....	21
5.2. Radiación solar .....	21
5.3. Viento .....	25
5.4. Precipitaciones .....	26
5.5. Temperatura .....	27
5.6. Humedad .....	28
6. ANALISIS BIOCLIMATICO .....	29
6.1. Pisos térmicos .....	29
6.2. Estaciones .....	30
6.3. Características de viviendas según zona climática .....	30
6.4. Confort térmico interno .....	31
6.5. Perdidas de calor en la vivienda .....	31
7. CARACTERIZACIÓN VIVIENDA .....	33

7.1.	Zonas .....	33
7.2.	Consumo diario .....	34
7.3.	Consumo mensual.....	35
7.4.	Descripción huecos .....	36
7.5.	Humedad relativa interna .....	38
7.5.1.	Medición datalogger .....	38
7.5.2.	Humedad interna simulada.....	39
8.	ANALISIS SOLAR.....	41
8.1.	Datos climáticos .....	41
8.2.	Simulación Ecotect .....	41
9.	SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	43
9.1.	Descripción.....	43
9.2.	Sistema autoconsumo.....	43
9.2.1.	Radiación solar .....	43
9.2.2.	Demanda .....	44
9.2.3.	Estimación de consumo .....	46
9.2.4.	Performance ratio PR .....	47
9.2.5.	Dimensionamiento .....	48
9.2.6.	Horas sol pico .....	55
9.2.7.	Diagrama unifilar .....	57
9.2.8.	Generación sistema autoconsumo.....	59
9.3.	Sistema de conexión a red .....	65
9.3.1.	Descripción .....	65
9.3.2.	Clasificación de la instalación por el tamaño Wp.....	65
9.3.4.	Topología de las instalaciones.....	66
9.3.5.	Punto de conexión a la red eléctrica .....	66
9.3.6.	Dimensionamiento .....	67
9.3.7.	Diagrama unifilar .....	71
9.3.8.	Generación peor mes .....	73
9.4.	Emisiones CO2.....	78
10.	OTRAS PROPUESTAS DE MEJORA.....	79
10.1.	Descripción .....	79
10.2.	Contraventanas .....	79

10.3.	Sistema multi-split.....	81
11.	PRESUPUESTO ECONOMICO .....	83
11.1.	Normativa.....	83
11.2.	Flujo de caja sistema de autoconsumo .....	84
11.3.	Flujo de caja sistema conexión a red .....	87
12.	Conclusiones.....	90
13.	Bibliografía .....	92



## Lista de figuras

Figura 1. Metodología realizada.....	17
Figura 2. Fachada frontal.....	18
Figura 3. Fachada trasera .....	19
Figura 4. Distribución área metropolitana de Bucaramanga con ubicación vivienda .....	19
Figura 5. Orientación vivienda .....	20
Figura 6. Radiación solar en Colombia .....	22
Figura 7. Radiación solar Bucaramanga .....	22
Figura 8. Radiación solar global.....	23
Figura 9. Horas sol .....	23
Figura 10. Velocidad de viento en Colombia.....	25
Figura 11. Velocidad de viento en Bucaramanga.....	26
Figura 12. Precipitaciones mensuales en Bucaramanga .....	27
Figura 13. Temperaturas mínimas y máximas en Bucaramanga .....	27
Figura 14. Humedad mensual .....	28
Figura 15. Clasificación de pisos térmicos.....	29
Figura 16. Porcentaje de pérdidas en la edificación .....	32
Figura 17. Zonas vivienda analizada .....	33
Figura 18. Diagrama unifilar autoconsumo.....	58
Figura 19. Diagrama unifilar de conexión a red .....	65
Figura 20. Tipos de instalaciones por tamaño kWp .....	65
Figura 21. Distribución de bloques.....	66
Figura 22. Conexión a red eléctrica.....	67
Figura 23. Diagrama unifilar conexión a red .....	72

## Lista de tablas

Tabla 1. Datos climáticos Meteonorm .....	24
Tabla 2. Parámetros Meteonorm.....	24
Tabla 3. Consumos equipos electrodomésticos.....	34
Tabla 4. Consumos equipos de frigoríficos .....	35
Tabla 5. Consumos equipos de iluminación.....	35
Tabla 6. Consumo mensual facturado.....	36
Tabla 7. Huecos en la vivienda .....	37
Tabla 8. Humedad relativa por zonas.....	38
Tabla 9. Humedad relativa en un día .....	39
Tabla 10. Humedad relativa anual .....	40
Tabla 11. Análisis Solar Ecotect.....	42
Tabla 12. Coordenadas geográficas Bucaramanga .....	43
Tabla 13. Radiación solar con factor de corrección .....	44
Tabla 14. Demanda diaria usuario .....	45
Tabla 15. Energía mensual usuario .....	46
Tabla 16. Horario sistema FV y baterías.....	47
Tabla 17. Panel solar seleccionado autoconsumo .....	50
Tabla 18. Inversor seleccionado autoconsumo.....	52
Tabla 19. Batería seleccionada autoconsumo.....	53
Tabla 20. Inversor seleccionado autoconsumo.....	55
Tabla 21. Declinación solar.....	55
Tabla 22. Inclinación óptima .....	56
Tabla 23. Radiación global horizontal .....	56
Tabla 24. Radiación diaria sobre superficie inclinada .....	56
Tabla 25. Factor de irradiancia.....	56
Tabla 26. Horas sol pico .....	57
Tabla 27. Protecciones y cable autoconsumo.....	57
Tabla 28. Potencia y demanda generación autoconsumo .....	59
Tabla 29. Generación y producción año 1.....	59
Tabla 30. Generación y demanda.....	61

Tabla 31. Autoconsumo SFV y baterías diarios .....	62
Tabla 32. Costo unitario .....	63
Tabla 33. Factura mes .....	63
Tabla 34. Ahorro por autoconsumo .....	64
Tabla 35. Modulo fotovoltaico CR.....	69
Tabla 36. Inversor conexión a red .....	69
Tabla 37. Protecciones y cable conexión a red .....	71
Tabla 38. Datos iniciales conexión a red .....	73
Tabla 39. Demanda y producción año 1 CR .....	73
Tabla 40. Generación día, mes e inyección a red en CR.....	74
Tabla 41. Facturación lunes a domingo CR .....	75
Tabla 42. Costo unitario y factura mensual .....	76
Tabla 43. Ahorro anual.....	77
Tabla 44. Consumo eléctrico vivienda.....	78
Tabla 45. Reducción de emisiones % .....	78
Tabla 46. Características contraventana.....	80
Tabla 47. Sistema multi-split confort .....	82
Tabla 48. Costo proyecto autoconsumo .....	84
Tabla 49. Flujo de caja autoconsumo.....	86
Tabla 50. Costo proyecto conexión a red.....	87
Tabla 51. Flujo de caja conexión a red .....	89

## **Lista de gráficas**

Gráfica 1. Comparación paneles solares potencia .....	48
Gráfica 2. Comparación paneles solares eficiencia .....	49
Gráfica 3. Comparación panel solar conexión a red potencia .....	67
Gráfica 4. Comparación panel solar conexión a red eficiencia .....	68
Gráfica 5. Flujo de caja autoconsumo .....	86
Gráfica 6. Flujo de caja conexión a red .....	89

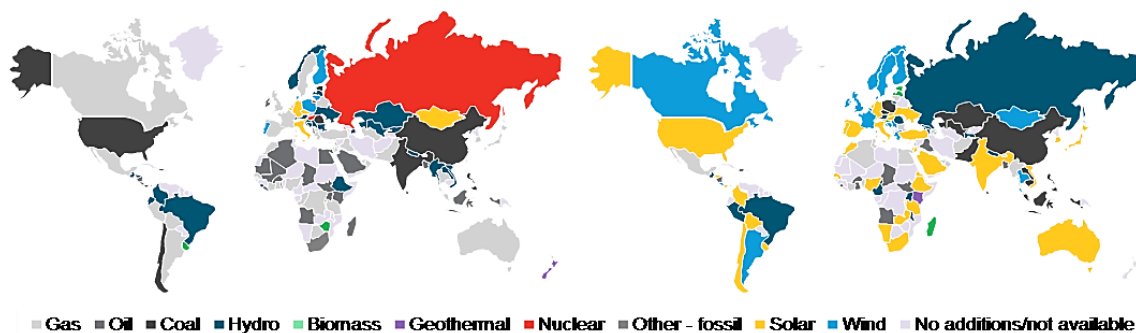


# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción

La energía solar irradia continuamente hacia la tierra y es un recurso que puede llegar a satisfacer las necesidades cuando es aprovechada de una manera óptima. El sol es una fuente de energía gratuita, limpia e inagotable que permite reemplazar aquellas dependencias hacia el petróleo u otras fuentes de energía convencionales. La iniciativa de implementación de nuevas alternativas para el ahorro de energía o el desprendimiento de aquellas donde su fuente de obtención sea contaminante, ha impulsado a las diferentes empresas e instituciones públicas y privadas a buscar proyectos basados en la utilización de energías renovables.

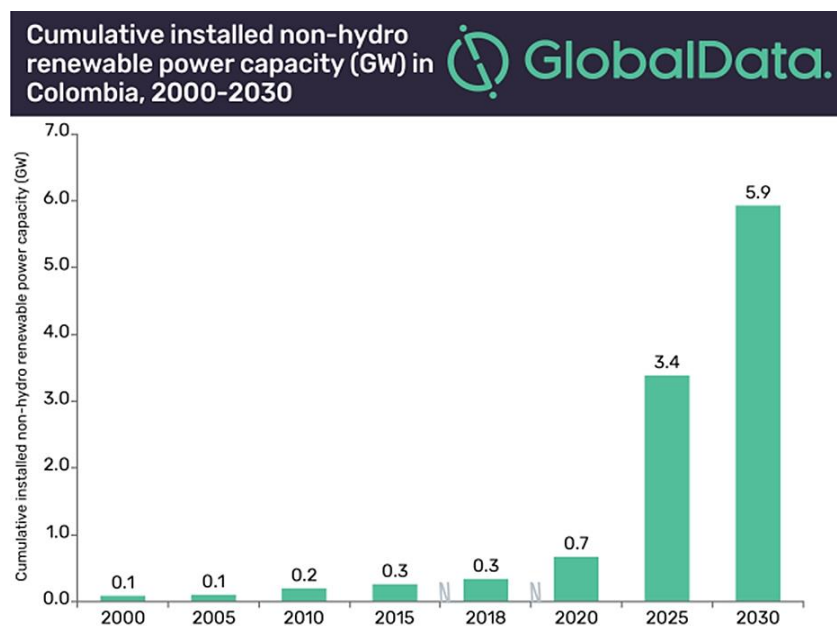
En la actualidad se ha demostrado como el uso de energías renovables es la técnica más limpia y en crecimiento para la mitigación de emisiones generadas en el pasado. La energía y los paneles solares constituyen ese método para aprovechar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica aprovechable en cualquiera de los sectores económicos de un país. Durante los últimos años diferentes países a nivel mundial han iniciado la transición energética para pasar de una obtención de energía convencional como carbón, petróleo, entre otras, a una obtención de energía por medio de fuentes no convencionales como lo son energía solar, energía eólica, biomasa, entre otras. En la siguiente imagen según las estadísticas de BNEF muestra el uso de las diferentes fuentes de energía en 2010 vs 2019. En los primeros dos mapas hace referencia a los países que en 2010 trabajaban con gas, petróleo, carbón, biomasa, nuclear y geotérmica, siendo aquellas fuentes de energía convencionales en mayor proporción a nivel mundial. Por otro lado, en los mapas de la derecha hace referencia al año 2019, donde se muestra como diferentes países que antes trabajaban con gas o petróleo ahora mejoran su matriz energética obteniéndola por medio de energía solar o eólica.



En Colombia con el paso de los años ha venido en crecimiento la inclusión de energías renovables. Colombia está ubicado en una zona alta de aprovechamiento solar, es decir, que debido a su ubicación en la zona ecuatorial dispone de un alto nivel de radiación solar y es lo que le ha permitido buscar soluciones a varias problemáticas que se enfrentan en el país y la mejora de la matriz energética que permita a Colombia aumentar la demanda energética a cubrir en los diferentes sectores en épocas de sequía.

Según la UPME (Unidad de Planeación Minero-energética), se evidencia que en Colombia las iniciativas de proyectos están relacionadas en un 88,3% con energía solar. Para cerca del año 2030 según la UPME y el ministerio de minas y energía, cerca del 10% del consumo energético del país va a provenir de proyectos fotovoltaicos implementados en diferentes sectores.

En Colombia, según GlobalData, se tiene estimado un crecimiento de la capacidad instalada de proyectos solares a 5,9 GW en todo el territorio. Como se puede notar en la siguiente imagen, el crecimiento de instalación de este tipo de energía ha sido poco debido a la gran dependencia que tiene Colombia de fuentes convencionales como petróleo, gas y carbón, donde su transición energética se ha visto ralentizada.



Por otro lado, en el sector residencial se tiene como una de las grandes expectativas de mejora en la transición energética. Tanto la inclusión de energías renovables en la vivienda, como factores de confort donde se ven afectados los ocupantes. Es por esta razón que, se tiene en cuenta un análisis bioclimático donde factores como temperatura, humedad tengan un peso importante a la hora de ocasionar conformidad en la vivienda y al mismo tiempo llevarla de la mano con las energías renovables. Por este motivo, este sector de la economía en Colombia es uno que está en constante desarrollo para la implementación de mejoras en todos los aspectos que sirvan tanto para la mitigación de GEI como para la optimización energética de las viviendas.

## 1.2. Antecedentes

Las energías renovables hacen parte de la transición energética que está siendo implementada en los diferentes sectores económicos de los países y que contribuyen a la mitigación de emisiones de efecto invernadero que actualmente es uno de los problemas más importantes en solucionar.

Las viviendas son una parte importante de los sectores económicos de un país, ya que tienen un porcentaje en la generación de GEI y que por medio de pequeñas soluciones energéticas se busca ir reduciendo este porcentaje de emisión. Una instalación fotovoltaica en una vivienda ayudará a cubrir la demanda eléctrica mensual que se necesita en esta.

A continuación, se muestran varios proyectos que han tenido un planteamiento similar al que se presenta en este caso

- Andrés Murcia, 2018. Un proyecto que está enfocado en el dimensionamiento de una instalación solar para una vivienda unifamiliar y poder así abastecer el suministro eléctrico de esta. Este sistema fotovoltaico estará conectado a red, donde se analizará el consumo eléctrico de la vivienda para proponer medidas necesarias para su mejora energética.
- Jorge Alvarado, 2015. Un proyecto propuesto para el diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada donde se permita abastecer con energía a poblados indígenas en Colombia. Esta es una población que habita en la selva amazónica y que este sistema cubriría las necesidades básicas de la población.
- Juan Pérez, 2018. Un proyecto con objetivo de desarrollar una guía para entender cómo se puede dimensionar un proyecto de energía solar conectado a red. Busca mostrar las regulaciones de conexión y de dimensionamiento junto con los diferentes equipos necesarios para la instalación, basándose en la resolución CREG030 de 2018 para este tipo de instalaciones en Colombia.
- Claudia Espitia, 2017. Una propuesta de diseño de una instalación fotovoltaica para sistemas a pequeña escala en Colombia. Este proyecto busca estimar la producción de energía en un sistema fotovoltaico teniendo en cuenta las especificaciones del sitio, irradiación solar, ángulo de inclinación y orientación. Además, se busca tener en cuenta la rentabilidad de un sistema solar a largo de su vida útil.
- Cindy Gómez, Maritza Jiménez, 2016. Una propuesta de diseño de confort con herramientas virtuales, que permitirán el mejoramiento del confort térmico de una vivienda ubicada en el municipio de San Francisco, Cundinamarca. En este se tiene en cuenta las características climáticas del sector, conocer las condiciones iniciales de la vivienda como temperatura, humedad y viento del sector, y poder así estudiar y proponer soluciones pasivas de climatización para el control térmico.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Cálculo de una instalación fotovoltaica para una vivienda para cubrir la demanda eléctrica total de la misma.

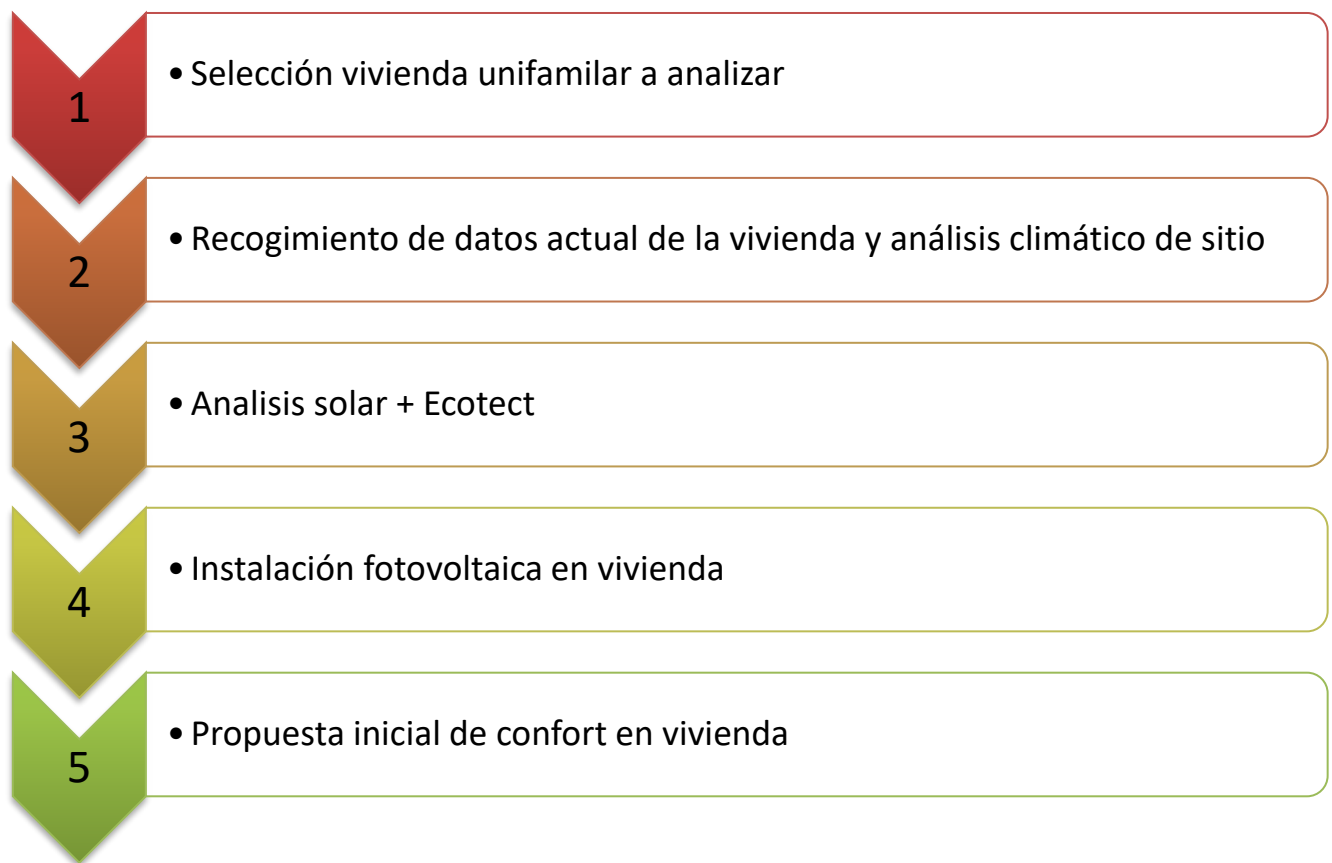
### **2.2. Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones climatológicas de la zona para entender el excelente aprovechamiento solar en la vivienda.
- Calcular la generación de energía y ahorro económico anual y total de los dos sistemas propuestos, además del porcentaje de reducción de emisiones de efecto invernadero mensual en la vivienda.
- Analizar de modo inicial las variables de confort internas que se ven reflejadas en la vivienda y proponer mejoras para una optimización energética a futuro



### **3. METODOLOGÍA**

El desarrollo de este proyecto esta focalizado en la propuesta de una instalación fotovoltaica en una vivienda unifamiliar, localizada en Bucaramanga, Colombia. Este es desarrollado en varias etapas que se mostraran a continuación, con una breve descripción de cada una.



**Figura 1. Metodología realizada**

## 4. EMPLAZAMIENTO

### 4.1. Descripción

La vivienda estudiada se encuentra ubicada en la ciudad de Bucaramanga, en Colombia. Es una vivienda que cuenta con dos plantas, donde la primera planta tiene cuatro zonas reconocidas como sala-comedor, biblioteca, sala de estar y cocina-lavadero. La segunda planta cuenta con otras cuatro zonas, que son básicamente cuatro habitaciones, dos de estas incluyen baño privado y otro en el hall de la segunda planta.

Es una vivienda que cuenta con más de 20 años de construcción, con un poco más de 300 m<sup>2</sup> de terreno construido. Además, en la parte trasera de la misma cuenta con un patio de aproximadamente 30 m<sup>2</sup>.

A continuación, se muestran las fachadas frontales y traseras de la vivienda.



**Figura 2. Fachada frontal**

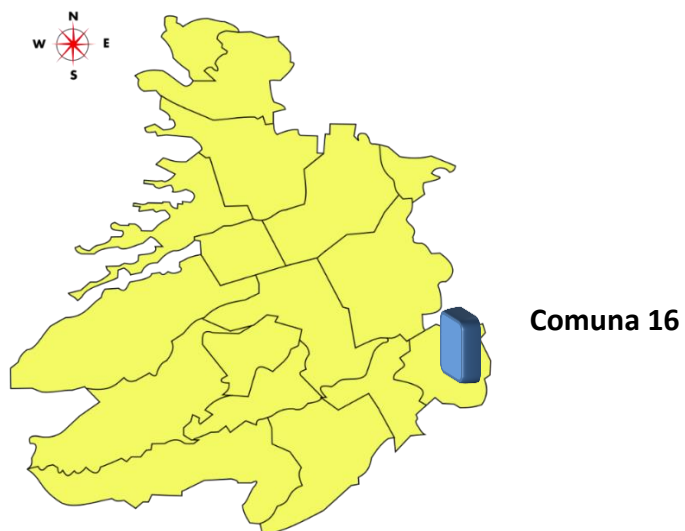


**Figura 3. Fachada trasera**

#### **4.2. Ubicación**

La vivienda está localizada en Bucaramanga, en el departamento de Santander en el nororiente de Colombia. El área metropolitana de Bucaramanga está dividida por 17 comunas y esta vivienda se encuentra ubicada en la comuna 16.

A continuación, se muestra un mapa distributivo de las comunas de Bucaramanga con la puesta a priori de la vivienda en la comuna a la que pertenece.



**Figura 4. Distribución área metropolitana de Bucaramanga con ubicación vivienda**

### 4.3. Orientación

La orientación de la vivienda es en base a la fachada frontal de la misma. La siguiente imagen indica la ubicación propia de la vivienda, donde la fachada frontal tiene una orientación de norte a sur como se muestra con la flecha según Google Maps.

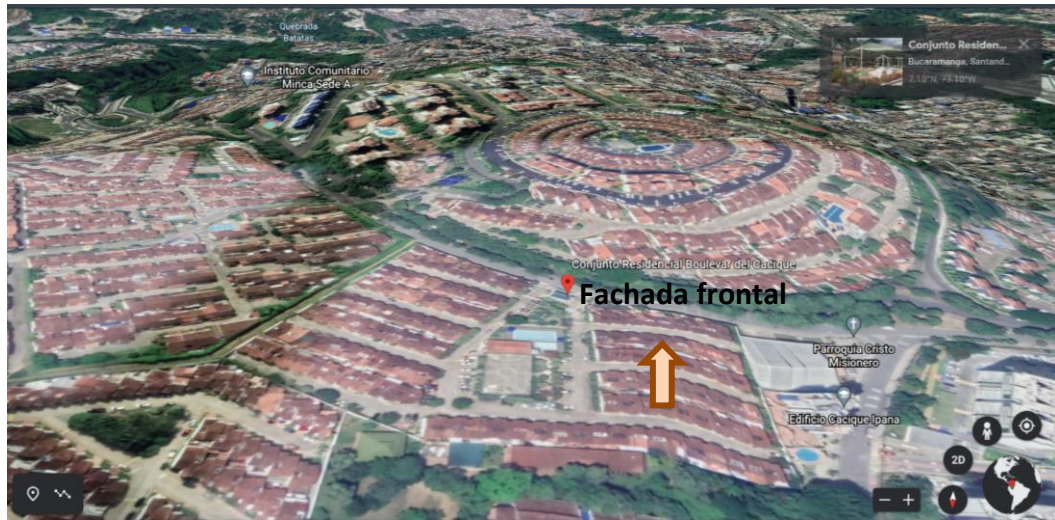


Figura 5. Orientación vivienda

## **5. CARACTERISTICAS CLIMATICAS**

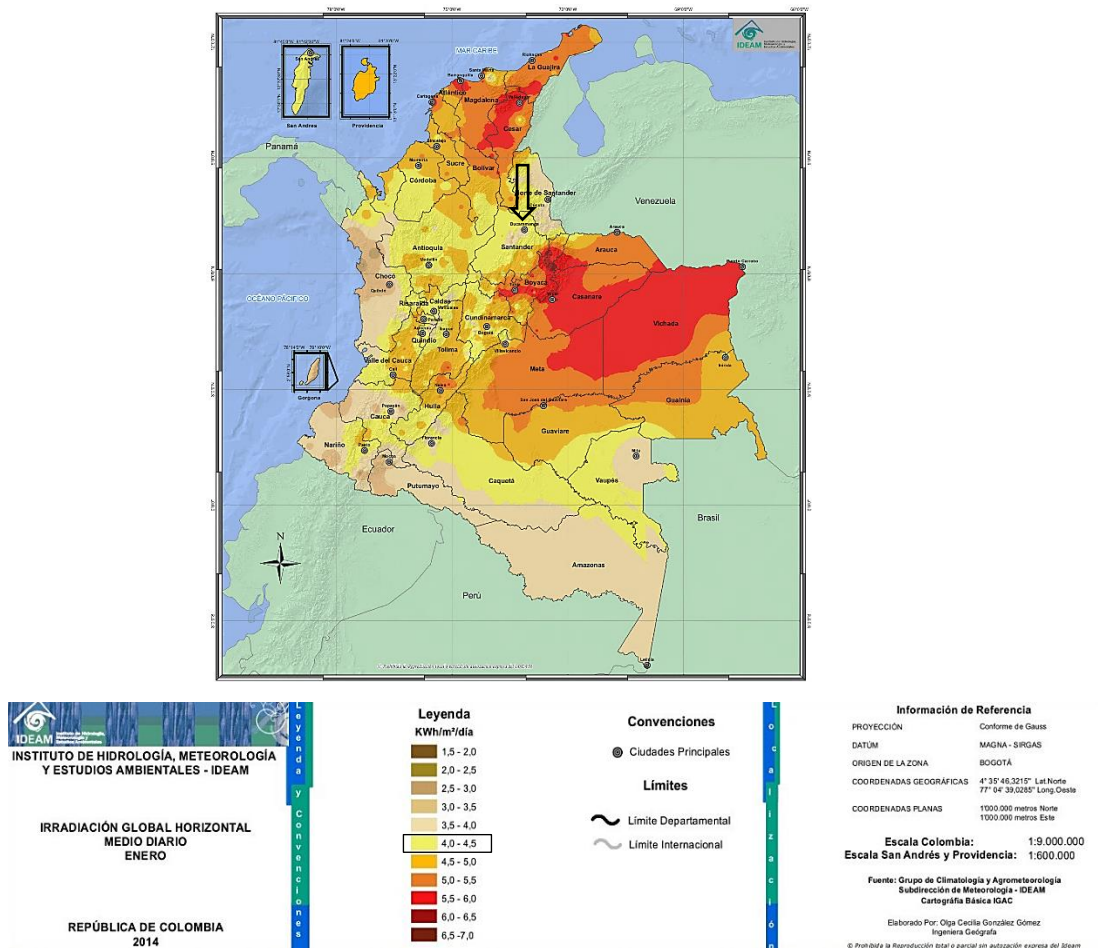
### **5.1. Climatología**

La capital de Santander, Bucaramanga es una ciudad que se encuentra a 951 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por tener un clima totalmente tropical, es decir un clima caracterizado por tener precipitaciones constantes y temperaturas medias por encima de 23°C. La ciudad cuenta con una temperatura media anual de 23,4 °C y una precipitación de 1159 mm.

### **5.2. Radiación solar**

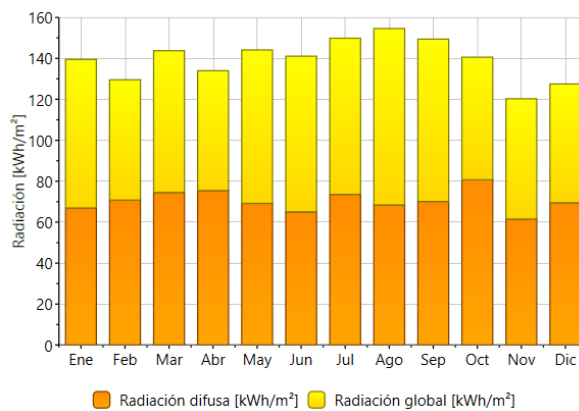
Colombia se encuentra ubicado cerca del Ecuador lo que le permite tener una radiación anual constante, que presenta una intensidad superior a los 4,5 kWh/m<sup>2</sup> en un día. Según el IDEAM y la UPME, Colombia cuenta con una disponibilidad solar muy alta y aprovechable en diferentes zonas del país.

En zonas como la Guajira, Atlántico, Bolívar y Magdalena se dan valores de radiación mayores a los 5,5 kWh/m<sup>2</sup> que permite la utilización de diferentes tecnologías energéticas para la implementación sostenible a favor del cambio climático. A continuación, se muestra el mapa de radiación obtenido del IDEAM.

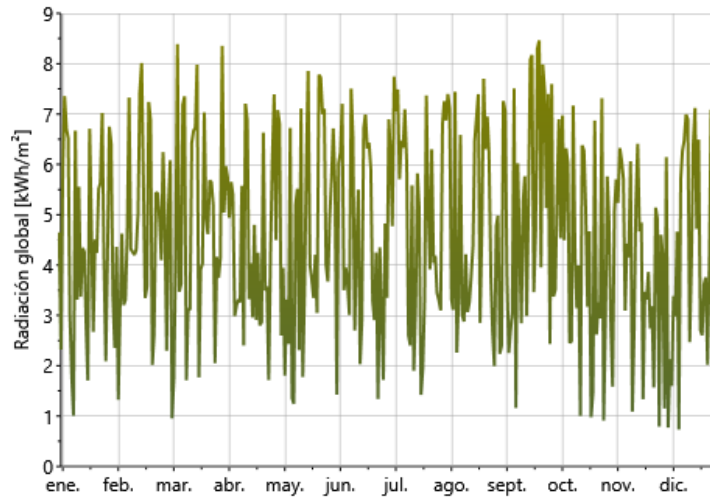


**Figura 6. Radiación solar en Colombia**

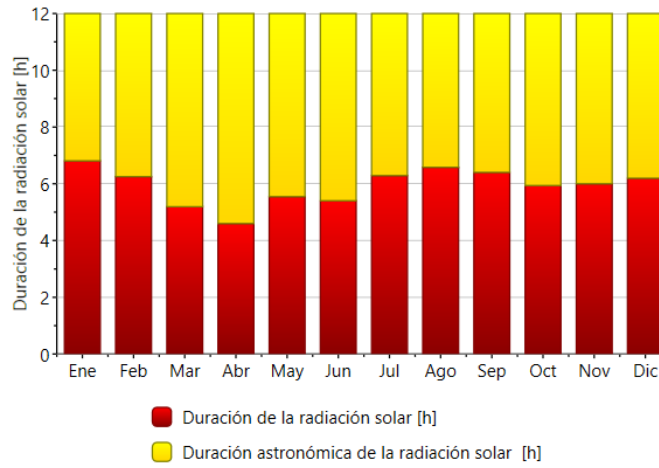
Específicamente en Bucaramanga, cuenta con una radiación media de 4 a 4,5 kWh/m<sup>2</sup> por día que se muestra en la Figura 6. Según la estación meteorológica del Aeropuerto Palonegro, ubicado a las afueras de Bucaramanga, los datos de radiación global diaria, mensual y horas sol son puestas en las siguientes figuras. Datos obtenidos por medio de Meteonorm, una plataforma que permite la obtención de datos climáticos según las coordenadas.



**Figura 7. Radiación solar Bucaramanga**



**Figura 8. Radiación solar global**



**Figura 9. Horas sol**

Adicionalmente, Meteonorm presenta en su base de datos, la compilación de información hasta el año 2010 con promedios para diferentes parámetros climatológicos de la ciudad. En la **Tabla 1** se muestra mensualmente los datos necesarios.

	Gh	Dh	Bn	Ta	Td	FF
	kWh/m2	kWh/m2	kWh/m2	°C	°C	m/s
<b>Enero</b>	139	67	110	21,6	15	2,6
<b>Febrero</b>	130	71	86	21,8	15,1	2,5
<b>Marzo</b>	144	75	101	22	15,9	2,5
<b>Abril</b>	134	75	84	22	16,7	2,2
<b>Mayo</b>	144	69	109	22	16,8	2,4
<b>Junio</b>	141	65	117	22,3	16,4	2,6
<b>Julio</b>	150	74	117	22,3	15,7	2,6
<b>Agosto</b>	155	68	124	22,4	15,9	2,6
<b>Septiembre</b>	149	70	110	22,1	15,9	2,3
<b>Octubre</b>	135	81	86	21,5	16,2	2,2
<b>Noviembre</b>	120	62	93	21,4	16,3	2,4
<b>Diciembre</b>	127	69	93	21,4	15,7	2,4
<b>Año</b>	1668	846	1229	21,9	16	2,4

**Tabla 1. Datos climáticos Meteororm**

Donde los parámetros mencionados de la tabla anterior se muestran a continuación

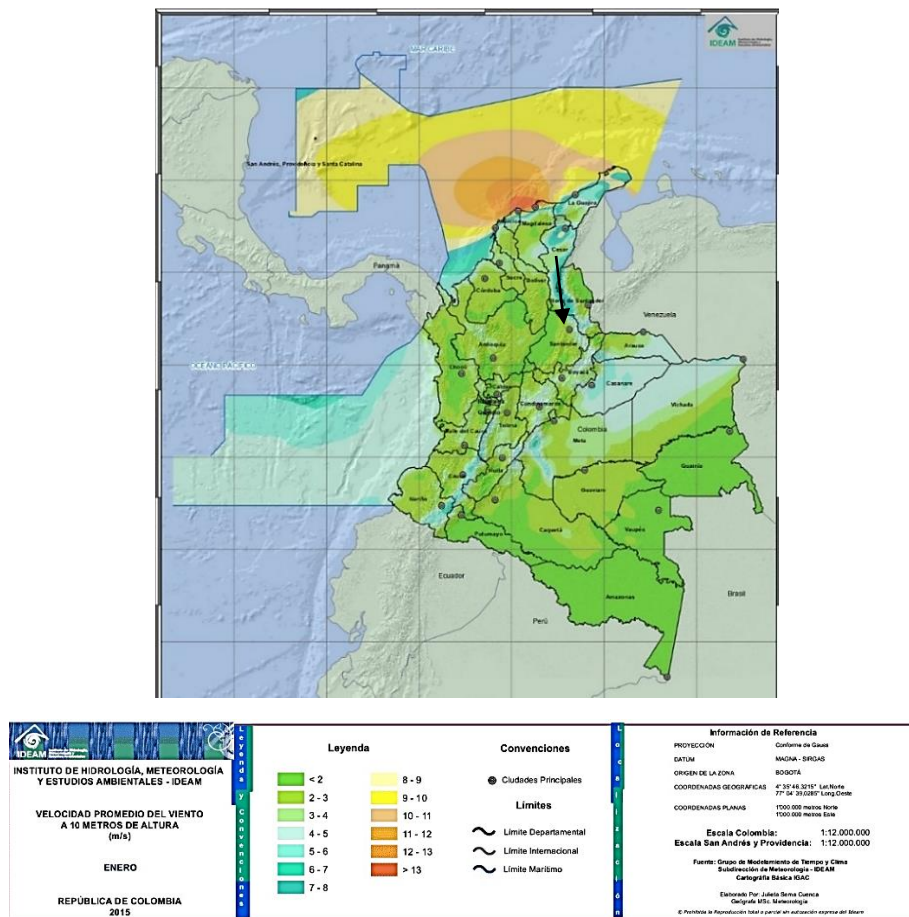
<b>Parámetros</b>	
<b>Gh</b>	Radiación global horizontal
<b>Dh</b>	Radiación difusa
<b>Bn</b>	Radiación normal directa
<b>Ta</b>	Temperatura Aire
<b>Td</b>	Temperatura punto de rocío
<b>FF</b>	Velocidad viento

**Tabla 2. Parámetros Meteororm**



### 5.3. Viento

Colombia cuenta con una velocidad media de viento entre 3-4 m/s. Sin embargo, hay zonas en el norte del país más específicamente cerca de la Guajira y la zona Caribe, que cuentan con una velocidad de viento aprovechable de más de 8 m/s. Según el IDEAM el mapa de los vientos de Colombia sería el siguiente

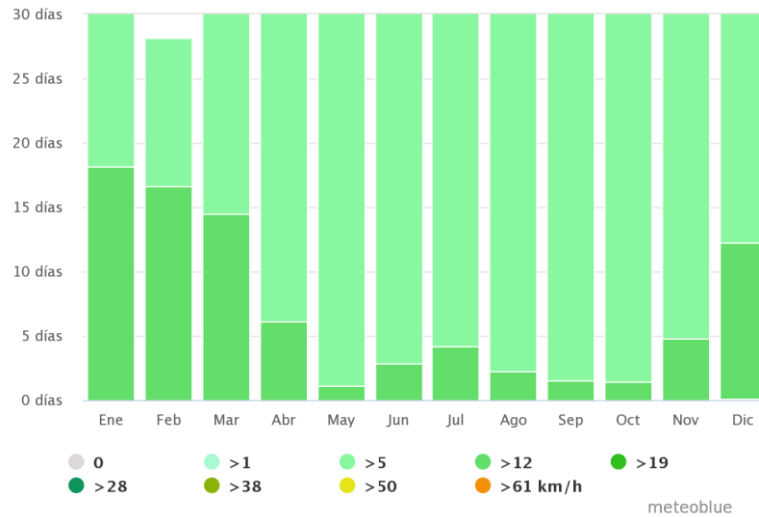


**Figura 10. Velocidad de viento en Colombia**

Por su localización, Colombia está sometida a vientos alisios, es decir, vientos que soplan de zonas subtropicales de alta presión a regiones ecuatoriales de baja presión. Este tipo de vientos ejercen influencia en las regiones planas del país, como Caribe, Orinoquia y Amazonia, donde se dan circulaciones de aire bastante definidas durante el año. Por otro lado, en las zonas de valles y zonas montañosas, las condiciones de relieve son las que determinan gran parte de la dirección y velocidad del viento.

Los vientos que llegan a la ciudad de Bucaramanga predominan con mayor presencia en dirección norte que los que provienen del sur del país. Entre las 11 a.m. y las 18 p.m. los vientos cálidos del valle se elevan y se intercambian con los vientos fríos de las cordilleras orientales y que generan una gran cantidad de humedad en la ciudad.

En el caso específico de Bucaramanga que cuenta con una velocidad media de 3-5 m/s, se representa a continuación según Meteoblue donde se muestran los meses que cuentan con mayor cantidad de días de vientos y su velocidad.



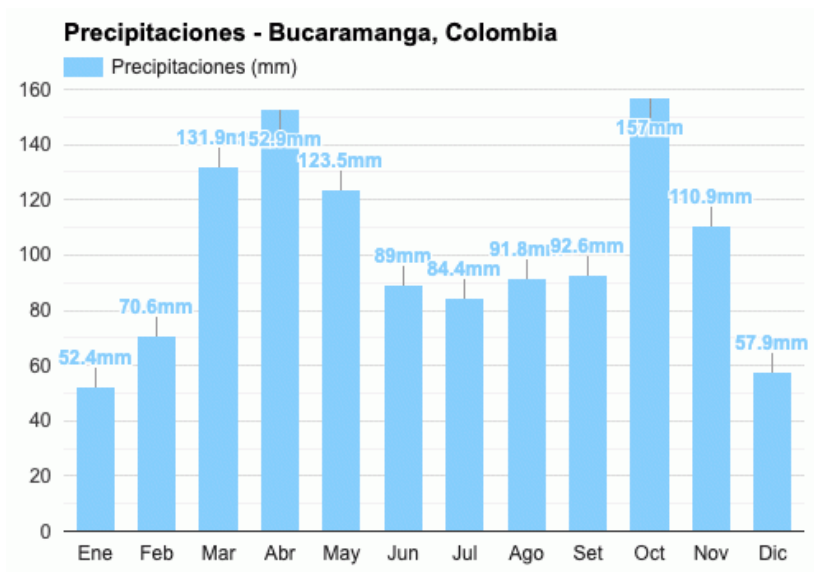
**Figura 11. Velocidad de viento en Bucaramanga**

#### 5.4. Precipitaciones

Bucaramanga cuenta con amplias variaciones de precipitaciones durante el año. La temporada de mayor precipitación durante alrededor de 8,3 meses que va desde el 25 de marzo hasta el 1 de diciembre, donde durante esta época existe cerca de un 43% de día mojado. El 15 de octubre es considerado uno de los días con mayor probabilidad de precipitación con cerca del 67% de que ocurra.

La temporada más seca dura 3,7 meses y está dada del 1 de diciembre al 25 de marzo, siendo el 31 de diciembre el día con menor probabilidad de día mojado. Se abarca como día mojado a solo lluvia.

A continuación, se muestra la cantidad de precipitación en mm que se presenta mensualmente en la ciudad de Bucaramanga



**Figura 12. Precipitaciones mensuales en Bucaramanga**

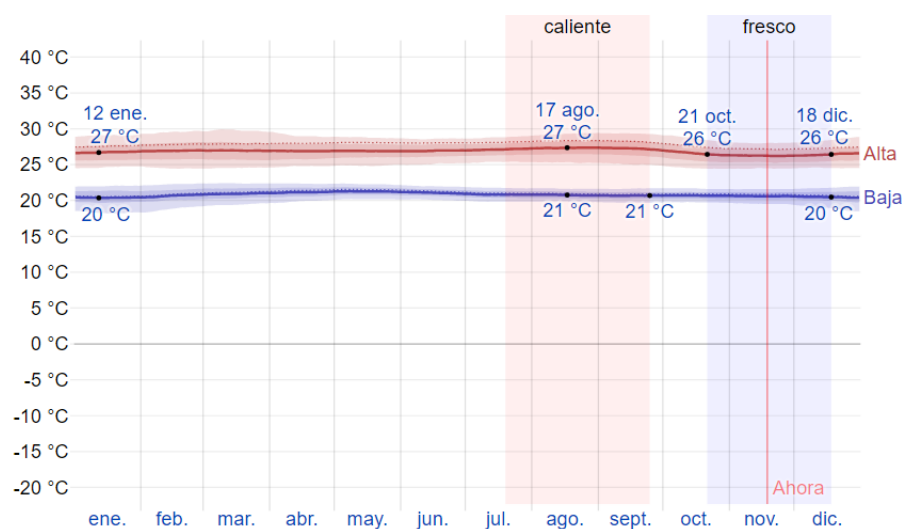
En la Figura 12 se indica la cantidad de precipitación que se da en la ciudad siendo abril y octubre los meses donde los valores están por encima de los 140mm durante el mes.

### 5.5. Temperatura

- ✓ Temperatura máxima y mínima

La ciudad de Bucaramanga presenta anualmente un poco más de 2 meses calurosos donde se registran temperaturas entre 25-27 °C, siendo el día más caluroso el 17 de agosto. Por otro lado, los meses más frescos son alrededor de 2 meses, donde el día más frío o de baja temperatura es el 12 de enero con una temperatura de 20°C.

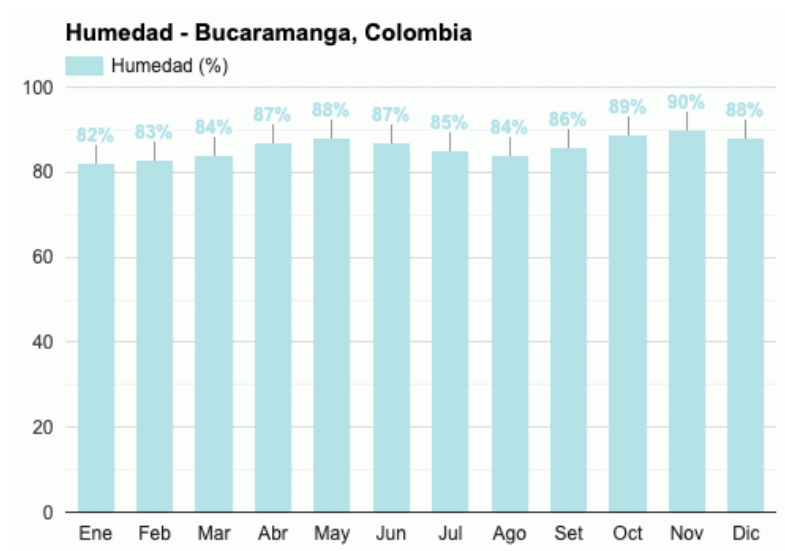
En la Figura 13 se muestra las temperaturas máximas y mínimas que se tienen mensualmente en Bucaramanga.



**Figura 13. Temperaturas mínimas y máximas en Bucaramanga**

## 5.6. Humedad

Bucaramanga es una ciudad que está considerada por tener un alto porcentaje de humedad exterior en su territorio, con más de un 80% anual. En la Figura 14 que se presenta a continuación, muestra mensualmente el máximo porcentaje de humedad que podría darse en la ciudad, siendo los meses de octubre, noviembre y diciembre aquellos meses donde el porcentaje está en casi el 90%.



**Figura 14. Humedad mensual**

La humedad de confort se basa en la comodidad con referencia al punto de rocío, dado que esta determina la cantidad de sudor que será evaporada de la piel y permitirá al cuerpo su enfriamiento o baja de temperatura corporal. Cuando estos puntos de rocío son más bajos, se siente más seco y, por el contrario, cuando son más altos se siente mayor humedad. A diferencia de la temperatura que va variando constantemente durante un día, el punto de rocío lentamente va teniendo pequeñas variaciones en el día. En la ciudad de Bucaramanga, se caracteriza por variar levemente.

El periodo más húmedo dura 9,7 meses con fechas del 4 de marzo al 26 de diciembre, donde se caracteriza por tener una humedad que genera bochorno opresivo o insostenible en un 60% del tiempo. El 5 de mayo es considerado uno de los días de mayor humedad, con más de 80%.

En la ciudad de Bucaramanga se puede resaltar el alto porcentaje de humedad que se tiene en la gran parte del año y considerando que entre temperaturas de 18-21°C considera que es una sensación térmica bochornosa, es decir, que es un calor intenso, húmedo y sofocante.

## 6. ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO

### 6.1. Pisos térmicos

Los pisos térmicos son un sistema que permite definir las temperaturas de una zona de acuerdo con la altura sobre el nivel de mar en el que se encuentre. Esto solo puede ser aplicado en el trópico americano, debido a sus características geográficas y atmosféricas. Los pisos térmicos son clasificados como se muestra en la siguiente imagen

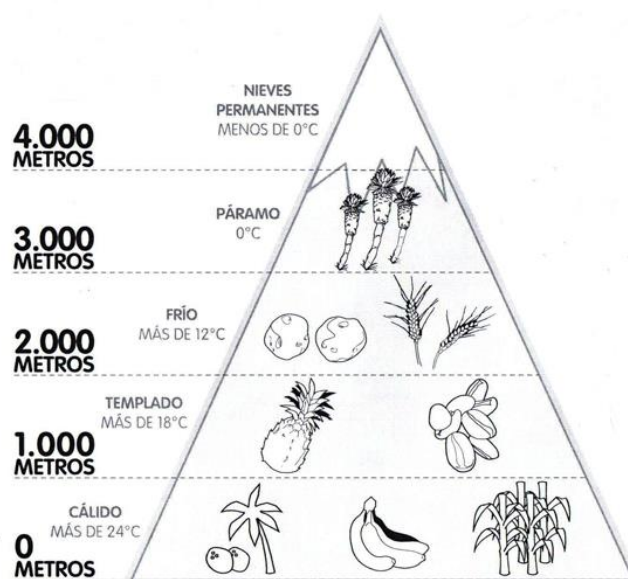


Figura 15. Clasificación de pisos térmicos

En Colombia los pisos térmicos son clasificados como cálidos, templado, frío, paramo y glacial. El piso **cálido**, se encuentra en alturas entre 0 y 100 msnm con una temperatura superior a 24°C, cubriendo un 80% del territorio nacional. El piso **templado o medio** son áreas de entre 1000 y 2000 msnm, con temperaturas entre 17 y 25°C, cubriendo un 10% del territorio nacional.

El piso **frío**, son áreas entre 2000 y 3000 msnm con temperaturas entre 12 y 17°C, con una cobertura de menos del 8% del territorio. El piso de **paramo** cuenta con zonas entre 3000 y 4000 msnm y una temperatura entre 6 y 12°C. El último piso es **glacial** un área que cuenta con alturas superiores a los 4000 msnm y con temperaturas menores de 6°C y una ocupación de menos de 0,1%.

## 6.2. Estaciones

### ❖ Colombia:

Colombia se encuentra ubicada en la línea ecuatorial, lo que hace que no tenga estaciones. Por esto, su clima predominante en su territorio es cálido y tropical. Solo existen periodos climáticos que se presentan en el año que son épocas húmedas o de lluvia y épocas de sequía.

Sin embargo, estas épocas se dividen en cuatro temporadas que hacen referencia teórica a las cuatro estaciones de un año.

Desde el **21 de diciembre al 21 de marzo**, es la temporada seca y con mayor intensidad en la zona norte del país. Lluvias moderadas en el sur del país. Niebla en la zona central del país y temporada de lluvia principalmente en la zona Pacífica. La siguiente estación es desde el **21 de marzo al 21 de junio**, es una temporada húmeda con mayor intensidad en el sur y centro del país. Se da un aumento en las precipitaciones de la zona pacífica.

La tercera estación está dada desde el **21 de junio al 21 de septiembre**, donde la zona central y sur del país tienen una temporada seca. Las lluvias se dan al norte del país. La última estación se da desde el **21 de septiembre al 21 de diciembre**, donde la temporada de lluvia se da principalmente en el centro y en el norte del país.

### ❖ Bucaramanga:

La temporada templada dura alrededor de 2,2 meses, del 19 de Julio al 24 de septiembre, siendo el día más caluroso el 17 de agosto. La temperatura fresca dura 1,9 meses, del 21 de octubre al 18 de diciembre. El día más frío es el 12 de enero.

## 6.3. Características de viviendas según zona climática

Se clasifican cuatro características climáticas que deben ser tenidas en cuenta para la construcción de una vivienda según las zonas climáticas

- Frío: Basada en mayor parte por el aislamiento contra el frío y protección para los vientos dominantes que suelen proceder del norte. La mejor orientación es hacia el sur, mayor cantidad de huecos en el sur y los mínimos en el norte.
- Cálido y árido: Debido a la diferencia de temperatura entre el día y la noche, las edificaciones deben tener una mayor inercia térmica así el calor es captado durante el día y se almacena para ser usado en la noche y frío disipado durante el día.
- Cálido y húmedo: En este tipo de clima se busca los vientos dominantes y que los huecos estén orientados de una forma que se genere una ventilación cruzada.
- Templado: Busca tenerse inercia térmica para poder almacenar calor del día y ser utilizado en la noche.

#### 6.4. Confort térmico interno

El confort térmico es aquella sensación que se expresa en satisfacción por parte de los habitantes de los edificios con el ambiente. Esta sensación térmica es la que genera la satisfacción de las personas y se puede ver influenciada negativamente por varios factores externos como clima, estación del año, hora, asoleamiento, iluminación, calidad de aire, entre otros.

Una de las principales funciones que tienen las edificaciones es proveer un ambiente confortable en el interior de la vivienda. Poder entender las necesidades del ser humano y las condiciones básicas que definen el confort es indispensable para el diseño y construcción de edificios.

Los factores que se tienen en cuenta para el confort interno de la vivienda son

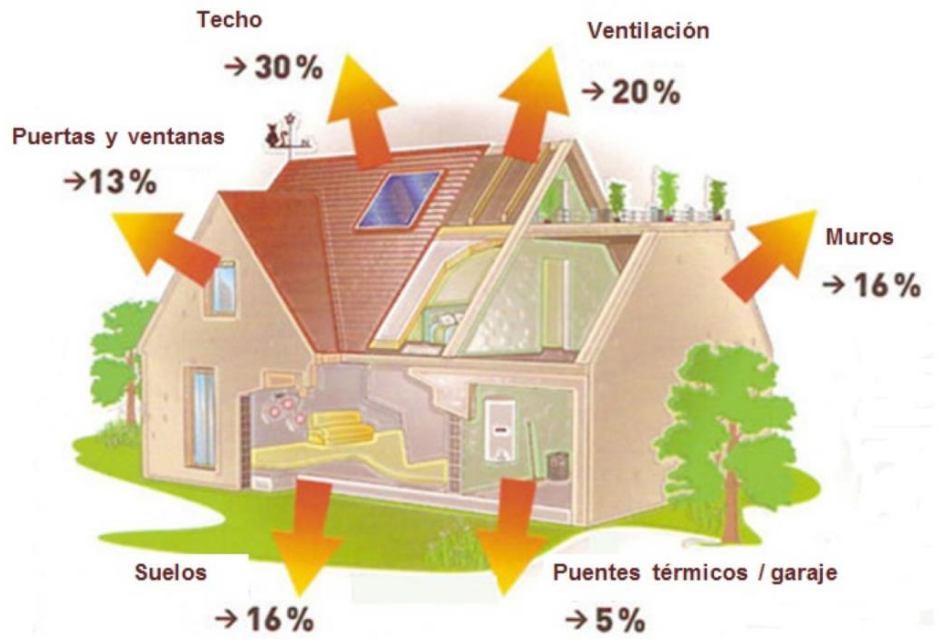
- Factores ambientales
- Temperatura del aire → Cantidad de calor que el cuerpo pierde hacia el aire, por medio de convección. Confort va entre 20 ° y 25°C.
- Humedad relativa del aire → Evaporación de humedad de la piel. El aire seco absorbe la humedad y enfría el cuerpo. Rangos favorables entre 30 y 40% como mínimo y 60 y 70% como máximo.
- Movimientos del aire
- Temperatura media radiante → Calor emitido en forma de radiación por los elementos del entorno.
- Eficiencia energética
- Vestimenta

#### 6.5. Pérdidas de calor en la vivienda

Las pérdidas de calor en una edificación se producen de diversas maneras. El calor se acumula en los cerramientos por radiación y es transportada por el interior de la vivienda mediante convección.

El calor tiende a escapar de la edificación por esta razón se debe impedir que se generen pérdidas mediante los aislamientos térmicos o particiones de la vivienda. Sin embargo, hay pérdidas que no siempre podrán ser recuperadas, estas pérdidas son provocadas por filtraciones en los puentes térmicos, que son generadas en los puntos de refuerzo o juntas de los cerramientos y se dan cuando existe una discontinuidad en el material que los conforma, o las renovaciones de aire, donde esta última es necesaria para dotar de mayor salubridad el interior de la edificación.

Es por esta razón que se debe dotar a la edificación con una correcta ventilación y poder así lograr las renovaciones de aires adecuadas. A continuación, se muestra las diferentes partes y el porcentaje de pérdidas de calor que pueden llegar a generar en la edificación si no son controladas.



**Figura 16. Porcentaje de pérdidas en la edificación**

Como se observa en la figura anterior, las zonas en las que se deberían hacer mejoras son

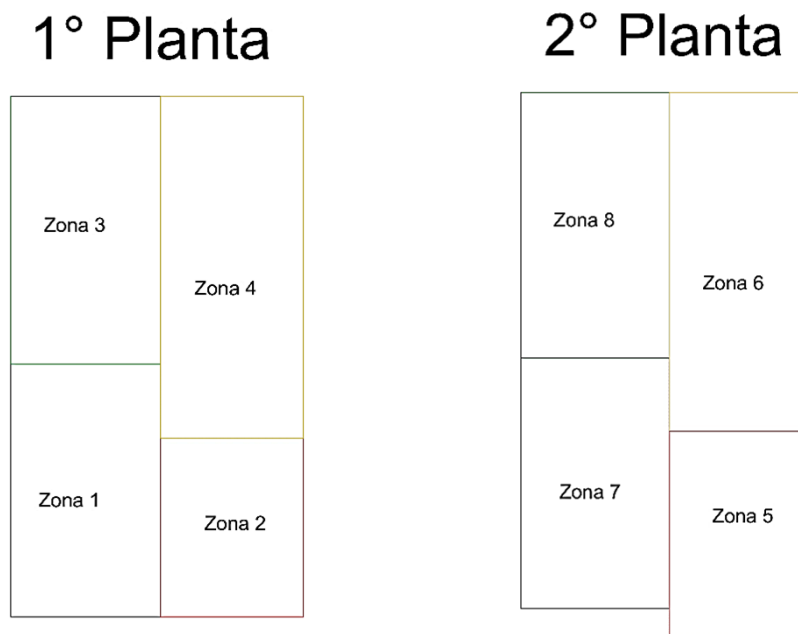
- ✓ Ventanas y puertas
- ✓ Techos y suelos
- ✓ Muros



# 7. CARACTERIZACIÓN VIVIENDA

## 7.1. Zonas

Como se ha mencionado anteriormente, la vivienda cuenta con dos plantas donde ha sido dividida en 8 zonas. A continuación, se muestra la distribución en plano de AutoCAD.



**Figura 17. Zonas vivienda analizada**

Donde

Zona 1 → Sala de estar

Zona 2 → Hall biblioteca

Zona 3 → Sala - comedor

Zona 4 → Cocina- lavadero

Zona 5 → Habitación 2

Zona 6 → Habitación 3

Zona 7 → Habitación 1

Zona 8 → Habitación 4

## 7.2. Consumo diario

El consumo diario de la vivienda se calcula para conocer la demanda diaria y mensual que se necesita cubrir con el sistema fotovoltaico. Esta demanda tiene en cuenta todos los equipos electrónicos y luminarias que generan algún tipo de consumo en la vivienda. Además de esto, se realiza un pequeño inventario donde junto con su potencia y las horas de uso estimado por día, para obtener el consumo de cada uno de estos equipos.

Se clasifican en tres grupos, el primero es el grupo de iluminación, que hace referencia a las luminarias de cada una de las habitaciones y zonas de la vivienda. El segundo grupo es el de equipos electrónicos, que se refiere a aquellos aparatos electrónicos como televisores, computadores, equipos de sonido, entre otros, que tienen una utilización continua durante el día y generan consumo. El último grupo es el de frigoríficos, que es el equipo de nevera que se tiene en la vivienda.

En el Anexo I se muestra una tabla con el inventario completo de cada uno de los tres grupos ya mencionados junto con su consumo y demás características. A continuación, se muestran tres tablas de los grupos donde se muestran aquellos que su potencia y/o horas de uso en el día es más alto.

Equipos electrodomésticos				
Equipo	Potencia W	Potencia kW	Horas uso por día	Consumo kWh día
Ventilador	62	0,062	17	1,054
Plancha pelo	110	0,11	0,16	0,018
Portátil HP	53	0,053	9	0,4223
Portátil Lenovo	56	0,056	6	0,336
Estéreo	160	0,16	0,15	0,024
Lavadora	1000	1	1,5	1,5

**Tabla 3. Consumos equipos electrodomésticos**

Como se muestra en la tabla anterior, estos equipos electrónicos cuentan con una potencia superior de 50 W y son electrodomésticos que son de uso continuo para cualquier persona durante la semana, ya que son indispensables en la vivienda.

<b>Equipos de frigorífico</b>				
<b>Equipo</b>	Potencia W	Potencia kW	Horas uso por día	Consumo kWh día
<b>Nevera</b>	125	0,125	8	1

**Tabla 4. Consumos equipos de frigoríficos**

<b>Luminarias</b>				
<b>Equipo</b>	Potencia W	Potencia kW	Horas uso por día	Consumo kWh día
<b>Bombillo circular LED</b>	120	0,12	1,5	0,18
<b>Bombillo tubo LED</b>	144	0,144	6	0,864
<b>Bombillo espiral fluorescente</b>	130	0,13	2,5	0,325
<b>Bombillo tubo fluorescente</b>	70	0,07	1,5	0,105

**Tabla 5. Consumos equipos de iluminación**

### **7.3. Consumo mensual**

El consumo mensual de la vivienda esta generado por la empresa electrificadora de Santander que es la ESSA. Este consumo mensual de la vivienda cuenta con el recibo de consumo del mes vigente de la vivienda, donde describen los costos individuales del precio unitario que se está cobrando en la factura.

Para los diferentes sectores o estratos económicos del departamento, varia el precio de este costo unitario. La vivienda estudiada hace parte del estrato 4, es decir, un estrato de clase media alta.

A continuación, se muestra una tabla que contiene los consumos mensuales facturados para la vivienda en el año analizado, que servirán de referencia y comparación en los cálculos solares de energía y demanda necesaria de los sistemas propuestos.

<b>Consumo Electricidad</b>	
<b>Mes</b>	<b>Consumo Factura (kWh)</b>
<b>Enero</b>	365
<b>Febrero</b>	341
<b>Marzo</b>	322
<b>Abril</b>	297
<b>Mayo</b>	357
<b>Junio</b>	308
<b>Julio</b>	304
<b>Agosto</b>	307
<b>Septiembre</b>	359
<b>Octubre</b>	366
<b>Noviembre</b>	363
<b>Diciembre</b>	364
<b>Promedio</b>	337,7

**Tabla 6. Consumo mensual facturado**

#### **7.4. Descripción huecos**

Los huecos de la vivienda hacen referencia a las ventanas en la misma. Para realizar el análisis de confort inicial de la vivienda se requiere conocer aquellas pérdidas térmicas que se generan durante el día y la noche. Las ventanas son uno de los grandes problemas a solucionar de las viviendas, ya que son aquellas partes donde se genera pérdidas de calor por no contar con aislamiento y/o por los materiales de las ventanas.

A continuación, se mostrará la descripción de las ventanas que se tienen en la vivienda donde son vidrios dobles con marco PVC. La vivienda cuenta con 7 huecos que son localizados en las fachadas frontal y trasera de la vivienda.

<b>Modelo</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>Tipo de vidrio</b>	Doble
<b>SGG Planitherm</b>	3 mm
<b>Especificación</b>	Vidrio que permite el paso de luz, bloqueando la entrada de calor y el sobrecalentamiento del interior
<b>Aire</b>	6mm
<b>SGG Planilux</b>	6 mm
<b>Especificación</b>	Hace referencia al vidrio transparente usualmente utilizado
<b>Altura</b>	1,28 m
<b>Ancho</b>	2,5 m
<b>Marco PVC</b>	0,03 mm
<b>Conductividad térmica del conjunto [W/mK]</b>	2

**Tabla 7. Huecos en la vivienda**

## 7.5. Humedad relativa interna

### 7.5.1. Medición datalogger

La humedad interna de confort es una de las variables importantes para tener en cuenta cuando se requiere hacer un análisis de la vivienda. Como se ha mencionado, Bucaramanga se caracteriza por ser una ciudad con alto porcentaje de humedad en el exterior y que por sus altas temperaturas llega a ser insatisfactorio para las personas en el interior de la vivienda. Mediante un datalogger de medición de temperatura y humedad relativa se miden estas variables en un día completo.

Estos datos serán tomados en cuenta para el análisis inicial de confort de la vivienda. La tabla que se muestra a continuación describe las ocho zonas de la vivienda donde se han puesto estos equipos junto con la medición de humedad relativa y temperatura, que representa el valor máximo que se genera en la zona medida.

Zona	Nombre	Humedad relativa %	Temperatura °C
Zona 1	Sala	79,6	26,1
Zona 2	Hall - Computador	77,7	26,8
Zona 3	Sala Tv - comedor	80,2	27,3
Zona 4	Cocina	79,5	28,8
Zona 5	Habitación 2	69	29,4
Zona 6	Habitación 3	66,8	28
Zona 7	Habitación 1	70,6	27,8
Zona 8	Habitación 4	68,9	28,2

**Tabla 8. Humedad relativa por zonas**

### 7.5.2. Humedad interna simulada

#### → Refrigeración

La humedad relativa de confort para la refrigeración de la vivienda se realiza mediante una pequeña simulación en Design Builder. Esta simulación tiene como finalidad conocer un estado inicial de las diferentes variables de confort en esta.

No obstante, como se ha expuesto anteriormente, la ubicación de la vivienda genera un alto porcentaje de humedad interna y externa que crea inconformidad en los habitantes de esta. Estos resultados de simulación mostraran aquellos meses y aquella hora del día que presenta un valor superior al 80% de humedad que hace referencia al máximo porcentaje que no genera inconformidad interna en los ocupantes.

Refrigeración	
Hora	Humedad relativa %
2:00 a. m.	82,7
4:00 a. m.	81,82
6:00 a. m.	82,52
8:00 a. m.	89,37
10:00 a. m.	81,21
12:00 p. m.	72,6
2:00 p. m.	68,32
4:00 p. m.	68,97
6:00 p. m.	73,72
8:00 p. m.	82,51
10:00 p. m.	88,16

**Tabla 9. Humedad relativa en un día**

En la Tabla 9 se muestra una humedad relativa alta en horas de 8 p.m. a 8 a.m., donde esos valores son superiores a los de confort interno. En esta franja de horario, mencionado anteriormente, se pueden tener presente otras variables que generen el aumento en el porcentaje de humedad en la vivienda, estas variables son, pérdidas de calor por cerramientos, la diferencia de temperatura entre exterior e interior, entre otras.

→ Mensual

<b>Anual</b>	
<b>Mes</b>	<b>Humedad relativa %</b>
<b>Enero</b>	84,44
<b>Febrero</b>	84,77
<b>Marzo</b>	82,34
<b>Abril</b>	89,28
<b>Mayo</b>	81,72
<b>Junio</b>	81,58
<b>Julio</b>	80,7
<b>Agosto</b>	79,81
<b>Septiembre</b>	78,73
<b>Octubre</b>	82,85
<b>Noviembre</b>	84,27
<b>Diciembre</b>	83,62

**Tabla 10. Humedad relativa anual**

En la Tabla 10, se describe los resultados de la humedad relativa mes a mes de la vivienda. Se puede observar que los valores en la gran parte de los meses son bastante elevados para el confort interno. Cabe resaltar que el mes de Abril, Noviembre, Febrero y Enero tienen los porcentajes más altos de humedad relativa.

Por consiguiente, este problema de humedad de confort es algo notorio durante el día y durante el año de análisis y es por esta razón que se harán propuestas de mejora en pro de la disminución de la humedad relativa y permitir así, generar un mejor confort interno en los habitantes de la vivienda.



## **8. ANALISIS SOLAR**

### **8.1. Datos climáticos**

Los datos climáticos del área metropolitana de Bucaramanga son registrados en la estación meteorológica del aeropuerto de Palonegro, es la estación más cercana al área metropolitana que registra los datos desde 1996 hasta el año 2013. El aeropuerto de la ciudad de Bucaramanga cuenta con la red de datos climáticos más completa de la ciudad y de donde se tiene mayor conocimiento de estos registros climáticos.

Este aeropuerto se localiza a 15 km de la ciudad. Sus temperaturas y condiciones climáticas son similares a las de la ciudad donde su temperatura varía entre los 20°C y los 26°C.

### **8.2. Simulación Ecotect**

La simulación de Ecotect tiene como finalidad realizar un breve estudio solar de la vivienda estudiada. Este software de simulación tiene como función el análisis ambiental, entre ellas, análisis de radiación solar, dirección de viento, entre otras.

El análisis solar de la vivienda permitirá conocer de una manera general la dirección de radiación que se da en las diferentes fachadas de la vivienda en diferentes horas del día, en el mes seleccionado. Esta simulación se enfocará en aquellos meses donde la radiación de la ciudad de Bucaramanga es alta y se analizará en horarios de 6 a.m., 9 a.m., 12 m, 3 p.m. Estas horas son escogidas debido a que representan el inicio del día siendo a las 6 a.m., media mañana siendo las 9 a.m. donde ya hay un aprovechamiento solar y de 12 de medio día a 3 p.m. debido a que son las horas donde mayor incidencia se tiene sobre las fachadas de la vivienda.

De esta misma manera, este estudio solar también tiene como objetivo conocer a futuro en que zonas de la vivienda se daría la pertinente instalación de los paneles solares, si bien, la vivienda cuenta con un área verde en su parte posterior pero este análisis permitirá conocer si la zona de tejado tendrá un mayor aprovechamiento.

Todos estos análisis estarán presentados en el Anexo II, donde se describirá la fecha, la hora y la imagen de ese momento, así como se muestra a continuación en el siguiente ejemplo

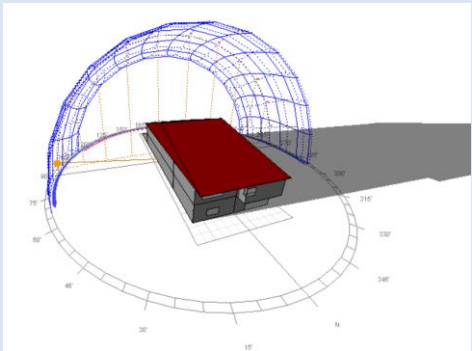
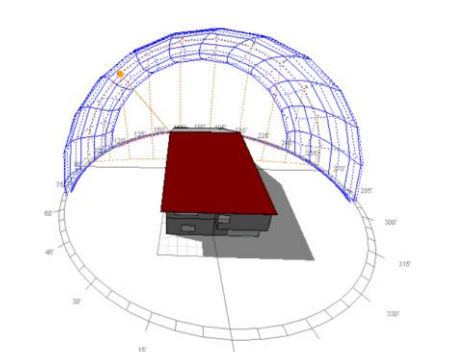
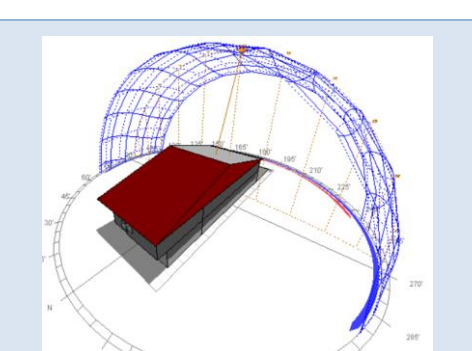
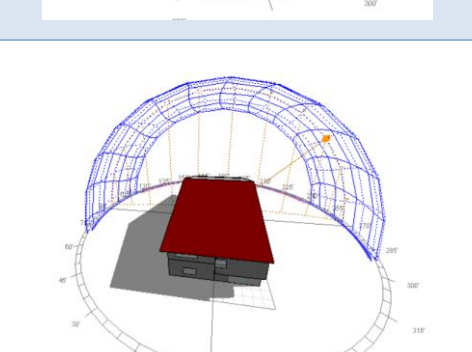
Mes	Radiación kWh/m2	Hora	Imagen
Octubre 1	141	6 am	
Octubre 1	141	9 am	
Octubre 1	141	12 am	
Octubre 1	141	3 pm	

Tabla 11. Análisis Solar Ecotect

## 9. SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 9.1. Descripción

La instalación fotovoltaica para proponer será para cubrir la demanda de la vivienda unifamiliar en Bucaramanga. Como se mostró en el capítulo de análisis solar, la vivienda cuenta con zona de techo donde la radiación a diferentes horas del día es óptima para el aprovechamiento solar por medio de paneles solares.

A continuación, se proponen dos tipos de instalación, la primera de sistema aislado donde la demanda es cubierta totalmente por sistema de paneles solares y baterías, y la segunda de conexión a red donde se pueda cubrir gran parte de esta demanda. Se buscara cubrir el peor mes de la ciudad de Bucaramanga, en este caso la radiación mensual de algunos meses será baja pero se toma en base al mes donde las precipitaciones son altas, es decir, el mes de Octubre donde tanto radiación como precipitaciones afectan a la ciudad.

### 9.2. Sistema autoconsumo

#### 9.2.1. Radiación solar

La radiación solar es aquella que es incidida durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada. La radiación solar en la ciudad de Bucaramanga se tiene en cuenta para la curva de aprovechamiento solar en los diferentes meses del año, teniendo así el peor y el mejor mes en la ciudad. A continuación, se muestran las coordenadas geográficas de la ciudad junto con la radiación solar durante el año en la Tabla 13.

COORDENADAS GEOGRAFICAS - BUCARAMANGA SANTANDER			
Latitud		Longitud	
7° 6' 50"	7,11	73° 7' 11"	-73,08

Tabla 12. Coordenadas geográficas Bucaramanga

Estas coordenadas geográficas permitirán conocer un factor de corrección de inclinación, este factor de inclinación representa el cociente entre la energía incidente del sitio en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada con un ángulo determinado. En este caso el factor de inclinación se toma en cuenta con la latitud de 7° de Bucaramanga y el ángulo de inclinación hacia el Ecuador de 10° que es el valor mínimo que se tendría en el país.

MES	Radiación solar horizontal kWh/m2		Factor Corrección Inclinación 10° a una Latitud de 7°	METEONORM
	Meteonorm	NASA		
Enero	4,5	7,21	1,04	4,66
Febrero	4,6	6,26	1,02	4,74
Marzo	4,6	5,18	1,00	4,65
Abril	4,5	4,64	0,97	4,33
Mayo	4,6	5,06	0,94	4,37
Junio	4,7	5,66	0,93	4,37
Julio	4,8	6,00	0,94	4,55
Agosto	5,2	5,69	0,97	5,01
Septiembre	5,0	5,13	1,00	4,97
Octubre	4,3	4,86	1,03	4,48
Noviembre	4,0	5,12	1,05	4,20
Diciembre	4,1	6,25	1,05	4,30
Anual	4,6	5,6		4,55

Tabla 13. Radiación solar con factor de corrección

La tabla anterior muestra datos obtenidos mensualmente por medio de Meteonorm y Nasa, se escogen los datos de Meteonorm debido a que son datos más actualizados que los de la Nasa.

### 9.2.2. Demanda

La demanda del usuario tiene como objetivo conocer el consumo promedio por horas y mensualmente de la vivienda y poder tener así la curva de carga diaria y mensual, que servirán para tener una aproximación de las horas donde el sistema solar fotovoltaico tendría funcionamiento y las horas donde el sistema de baterías debe cubrir la demanda necesaria para la vivienda.

A continuación, se muestra, la demanda diaria y la energía mensual de la vivienda.

<b>DEMANDA TOTAL DIARIA USUARIOS</b>			
<b>HORA</b>	<b>POTENCIA [W]</b>	<b>CONSUMO [Wh]</b>	<b>CONSUMO [kWh]</b>
0	573	417	0,42
1	582	417	0,42
2	573	417	0,42
3	573	417	0,42
4	573	417	0,42
5	704	558	0,56
6	573	573	0,57
7	683	540	0,54
8	344	275	0,28
9	459	390	0,39
10	559	490	0,49
11	459	459	0,46
12	359	290	0,29
13	481	343	0,34
14	359	221	0,22
15	359	221	0,22
16	412	265	0,27
17	464	308	0,31
18	945	518	0,52
19	1321	837	0,84
20	1332	852	0,85
21	3316	688	0,69
22	2212	674	0,67
23	1108	655	0,66
<b>TOTAL</b>	<b>3.316</b>	<b>11.243,6</b>	<b>11,2</b>

**Tabla 14. Demanda diaria usuario**

La demanda diaria está dada por el inventario previo realizado en la vivienda, donde se tienen todos aquellos equipos electrónicos, luminarias, frigoríficos y demás para poder tener un estimado de consumo hora en la vivienda. Esta demanda diaria necesaria es de **11.243,6 Wh**.

<b>ENERGÍA MENSUAL DEMANDADA POR TODO EL SISTEMA</b>		
<b>MES</b>	<b>DIAS</b>	<b>kWh/mes</b>
<b>Enero</b>	31	349
<b>Febrero</b>	28	315
<b>Marzo</b>	31	349
<b>Abril</b>	30	337
<b>Mayo</b>	31	349
<b>Junio</b>	30	337
<b>Julio</b>	31	349
<b>Agosto</b>	31	349
<b>Septiembre</b>	30	337
<b>Octubre</b>	31	349
<b>Noviembre</b>	30	337
<b>Diciembre</b>	31	349
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>4.103,9</b>

**Tabla 15. Energía mensual usuario**

La energía mensual está calculada con la demanda diaria necesaria a cubrir en la vivienda. Este consumo se mantendrá el mismo para todos los días del mes, asumiendo hipotéticamente que esta demanda es igual para todos los días.

### **9.2.3. Estimación de consumo**

Esta sección está destinada para poder tener un estimado del funcionamiento del sistema solar fotovoltaico en la vivienda. En la ciudad de Bucaramanga se tiene un aprovechamiento solar desde las 7 a.m. donde amanece y comienzan a salir los primeros rayos de luz, hasta las 4 p.m. donde la intensidad de estos baja y anochece. Por esta razón, se destina que el sistema solar tendría un aprovechamiento desde las 7 a.m. hasta las 4 p.m., mientras que el sistema de baterías tendría funcionamiento desde las 5 p.m. hasta las 6 a.m.

En la siguiente tabla se muestra el horario de cada uno de estos sistemas en funcionamiento junto con el consumo promedio que deberían tener para cubrir la demanda diaria en la vivienda.

Hora	SFV		Baterías	
	Potencia (W)	Consumo (Wh)	Potencia (W)	Consumo (Wh)
0			573	417
1			582	417
2			573	417
3			573	417
4			573	417
5			704	558
6			573	573
7	683	540		
8	344	275		
9	459	390		
10	559	490		
11	459	459		
12	359	290		
13	481	343		
14	359	221		
15	359	221		
16	412	265		
17			464	308
18			945	518
19			1321	837
20			1332	852
21			3316	688
22			2212	674
23			1108	655
<b>TOTAL</b>	<b>683</b>	<b>3.494,3</b>	<b>3.316</b>	<b>7.749,3</b>

Tabla 16. Horario sistema FV y baterías

#### 9.2.4. Performance ratio PR

El performance ratio o rendimiento de la instalación solar total, se tiene en cuenta para conocer las pérdidas de los diferentes equipos u otros factores que puedan afectar el sistema. Para este sistema se considerará dos días de autonomía, debido a las condiciones climáticas de la zona donde será instalado el sistema fotovoltaico.

El rendimiento se calcula por la siguiente formula

$$PR = k_{somb} * k_{ir} * k_t * k_{suc} * k_d * k_{ohm}$$

Donde

$k_{somb}$  → Perdidas por sombreado

$k_{ir}$  → Perdidas por irradiancia

$k_t$  → Perdidas por temperatura

$k_{suc}$  → Perdidas por suciedad

$k_d$  → Perdidas por dispersión

$k_{ohm}$  → Perdidas óhmicas

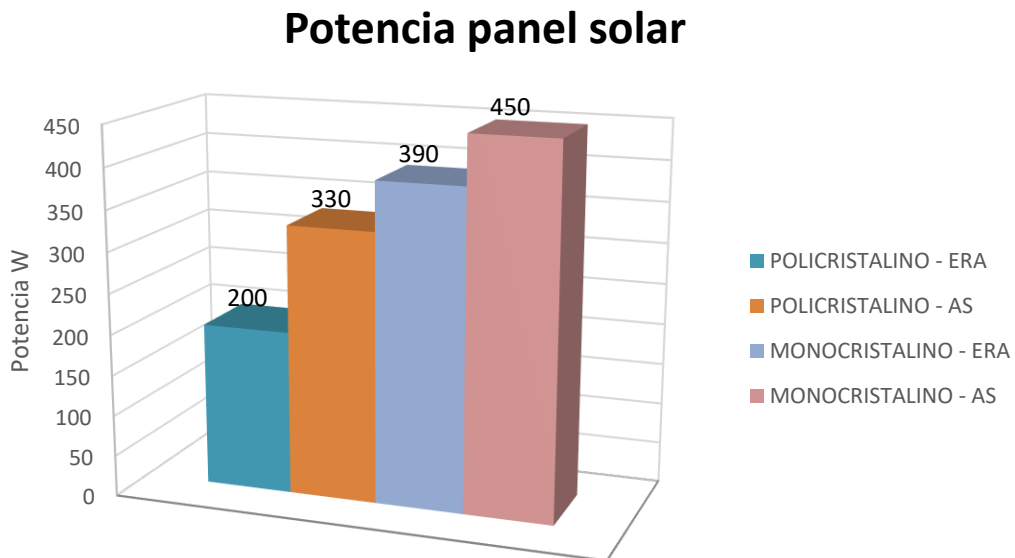
$$PR = 0,995 * 0,96 * 0,91 * 0,97 * 0,98 * 0,98$$

$$PR = 0,817 = 81\%$$

### 9.2.5. Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se deben seleccionar los diferentes equipos que estarán generando energía para la vivienda. El primer ítem para seleccionar es el panel solar. Se mostrarán 4 opciones de paneles solares, donde se tendrá en cuenta la potencia entregada y la eficiencia del panel para su selección.

La comparativa de potencia se muestra a continuación

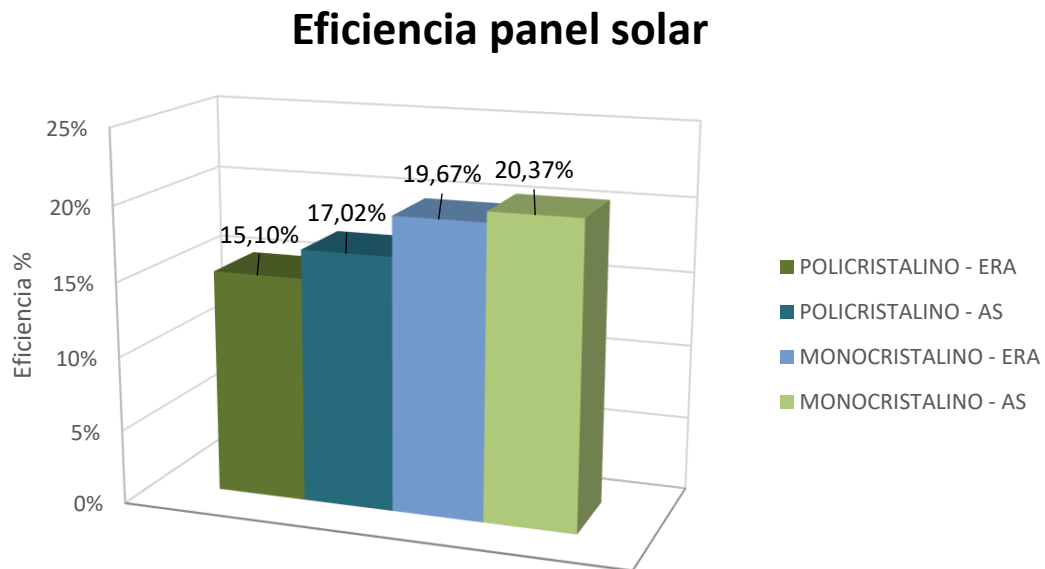


Gráfica 1. Comparación paneles solares potencia



Como se puede observar en la gráfica anterior, esta muestra dos opciones de paneles policristalinos y dos monocristalinos, los cuales tienen diferente potencia y son de diferentes empresas fabricantes, lo que lleva a analizar la eficiencia y costo de cada uno de estos para conocer el panel seleccionado.

La comparativa de eficiencia entre los paneles se muestra a continuación.



**Gráfica 2. Comparación paneles solares eficiencia**

La segunda comparativa en términos de eficiencia de cada uno de los módulos a seleccionar, muestra que el panel monocristalino de amerisolar tiene una eficiencia y potencia considerable lo que permitiría al sistema fotovoltaico no poner gran cantidad de módulos en el techo de la vivienda. Por esta razón, se selecciona este panel solar para el sistema fotovoltaico. Por otro lado, se tuvo en cuenta el costo de cada uno de estos módulos, pero la variación entre ellos era no más de 10 euros, el precio está entre los 170 y 150 euros por cada uno.

Los datos del módulo fotovoltaico de amerisolar seleccionado se muestran a continuación

→ Modulo fotovoltaico

Datos módulos fotovoltaicos (AS-6M144-HC)			
Tipo	MONOCRISTALINO		
Irradiancia en condiciones estándar de medida	GCEM	1000	W/m <sup>2</sup>
Potencia máxima	P <sub>M,MOD</sub>	450	W
Tensión máxima	V <sub>M,MOD</sub>	41,8	V
Tensión de circuito abierto	V <sub>OC,MOD</sub>	50,2	V
Intensidad máxima	I <sub>M,MOD</sub>	10,77	A
Intensidad de cortocircuito	I <sub>SC,MOD</sub>	11,28	A
Coefficiente de temperatura de V <sub>OC,MOD</sub>	θ <sub>VOC</sub>	-0,28%	1/°C
Coefficiente de temperatura de V <sub>M,MOD</sub>	θ <sub>VM</sub>	-0,36%	1/°C
Coefficiente de temperatura de I <sub>SC,MOD</sub>	θ <sub>ISC</sub>	0,05%	1/°C
Temperatura mínima de operación de los módulos	T <sub>min</sub>	-40	°C
Temperatura ambiente de los módulos en condiciones STC	T <sub>amb</sub>	25	°C
Temperatura máxima de operación de los módulos	T <sub>max</sub>	85	°C
Eficiencia	η <sub>MOD</sub>	20,37%	

Tabla 17. Panel solar seleccionado autoconsumo

→ Número total de módulos

Se calcula la energía media mensual

$$Energía\ media\ mensual = \frac{Demanda_{fv}}{k_{controlador}} + \frac{Demanda_{bat}}{k_{baterias} * k_{controlador} * k_{inv}}$$

$$Energía\ media\ mensual = \frac{3.494,3}{0,95} + \frac{7.749}{0,8 * 0,95 * 0,9} = 15.008\ Wh$$

Irradiancia media diaria peor mes → 4.481 Wh/m<sup>2</sup>

Factor de reducción potencia modulo fv → 80%

Irradiancia en condiciones estándar Bucaramanga → 1.000 W/m<sup>2</sup>

$$Modulos_{fvtot} = Energía_{mm} * \frac{Irra_{st}}{Pot_{fv} * Irra_{pm} * k_{reduccionfv} * PR * k_{inv}}$$

$$Modulos_{fvtot} = 15.008 * \frac{1.000}{450 * 4.481685 * 0,8 * 0,817 * 0,9}$$

$Modulos_{fvtot} = 12,92 \sim 13$
-----------------------------------

→ Módulos máximos en serie

$$Modulos_{serie} = \frac{V_{Econgridmax}}{V_{oc}}$$

$$Modulos_{serie} = \frac{450}{50,2}$$

$$Modulos_{serie} = 8,96 \sim 9 \text{ modulos}$$

→ Módulos en paralelo

$$Modulos_{paral} = \frac{Modulos_{fvtot}}{Modulos_{serie}}$$

$$Modulos_{paral} = \frac{13}{9}$$

$$Modulos_{paral} = 1,45 \sim 2$$

→ Potencia máxima del generador FV

$$P_{max} = Modulos_{fvtot} * P_{mMod}$$

$$P_{max} = 13 * 450$$

$$P_{max} = 5.850 \text{ W}$$

→ Regulador

Para la selección del regulador se cumple con los siguientes requisitos. La tensión del panel debe ser mayor que la tensión necesaria mínima en AC del regulador

Se selecciona el siguiente equipo para ver si cumple con los requisitos para su selección

REGULADOR	MPPT SR		
Tipo			
Tensión máxima entrada DC	$V_{E,MAX,CON,GRID}$	450,0	V
Rango Tensión entrada DC	$V_{E,CON,GRID,MIN}$	80,0	V
	$V_{E,CON,GRID,MAX}$	450,0	V
Intensidad máxima entrada DC	$I_{E,CON,GRID,MAX}$	200,0	A
Tensión salida AC	$V_{S,CON,GRID}$	48	V

Tabla 18. Inversor seleccionado autoconsumo

Primero se calcula los módulos en serie

→ Módulos en serie por regulador

$$Modulos_{sreg} = \frac{Modulos_{fvtot}}{Modulos_{paral}}$$

$$Modulos_{sreg} = \frac{13}{2}$$

$$Modulos_{sreg} = 6,5 \sim 7$$

→ Módulos en paralelo por regulador

$$Modulos_{sreg} = \frac{Modulos_{serie}}{Modulos_{fvtot}}$$

$$Modulos_{sreg} = \frac{8,96}{13}$$

$$Modulos_{sreg} = 1,45 \sim 2$$

Por tanto

→ Intensidad máxima del módulo fv generado por el regulador

$$I_{maxregu} = Modulos_{paral} * I_{mMod}$$

$$I_{maxregu} = 2 * 10,77$$

$$I_{maxregu} = 21,54 A$$

Entonces la tensión máxima del módulo generada por el regulador sería

→ Tensión máxima del módulo fv generado por el regulador

$$V_{maxreg} = V_{Mmod} * Modulos_{serie} * (1 + \theta_{VM} * (T_{max} - T_{amb}))$$

$$V_{maxreg} = 41,8 * 2 * (1 + (-0,36) * (85 - 25))$$

$$V_{maxreg} = 229 V$$

Lo cual comprueba de  $V_{maxreg} > V_{E, CON, GRID, MI}$  y que la selección del regulador es la adecuada. La potencia nominal del regulador sería

→ Potencia nominal del regulador

$$PN_{nomreg} = \frac{P_{max}}{N_{regu}}$$

$N_{regu} \rightarrow$  Numero de regualores

$$PN_{nomreg} = \frac{5.850}{1}$$

$$PN_{nomreg} = 5,85 kW$$

El siguiente ítem es la batería, la seleccionada se muestra a continuación.

→ Batería

Tipo	ULTRA-CELL		
Profundidad de descarga máxima de la batería	Pdmax	40%	
Autonomía de la batería	ABAT	2	Día
Tensión nominal batería	VN,BAT	6	V
Tensión banco de baterías	VB,BAT	24	V
Capacidad nominal de la batería seleccionada	CBAT,S,Ah	600	Ah

Tabla 19. Batería seleccionada autoconsumo

La profundidad de descarga máxima diaria de la batería es

→ Profundidad de descarga diaria de la batería

$$P_{descmax} = P_{dmax} * A_{bat}$$

$$P_{descmax} = 0,8 * 2$$

$$P_{descmax} = 0,4 = 40\%$$

Con una

→ Capacidad nominal diaria del banco de baterías

$$C_{descarbat} = \frac{C_{batWh}}{VB_{bat}}$$

$$C_{descarbat} = \frac{31.100 Wh}{24 V}$$

$$C_{descarbat} = 1.296 Ah$$

Por tanto, se tendría que el banco de baterías tendría

→ Numero de baterías en serie

$$N_{batserie} = \frac{VB_{bat}}{VN_{bat}}$$

$$N_{batserie} = \frac{24}{6}$$

$$N_{batserie} = 4$$

→ Numero de baterías en paralelo

$$N_{batpar} = \frac{C_{descarbat}}{C_{bat,Ah}}$$

$$N_{batpar} = \frac{1342}{600}$$

$$N_{batpar} = 2,2 \sim 2$$

→ Baterías en total

$$N_{batstot} = N_{batserie} * N_{batpar}$$

$$N_{batstot} = 2 * 4 = 8$$

Con una capacidad nominal total

→ Capacidad nominal del banco de baterías

$$C_{nomibat} = N_{batpar} * C_{bat,Ah}$$

$$C_{nomibat} = 600 * 2 = 1.200 Ah$$

→ Inversor

El inversor seleccionado cumpliendo con el requerimiento de tener al menos, 48 V de entrada en DC se muestra a continuación

INVERSOR	AXPERT		
Tensión entrada DC	$V_{E,INVBAT}$	48	V
Tensión salida AC	$V_{S,INVBAT}$	230	V
Frecuencia salida	$f_{S,INVBAT}$	60	Hz

Tabla 20. Inversor seleccionado autoconsumo

→ Potencia nominal del inversor

$$PN_{nominv} = 1,25 * \frac{Pot_{maxAC}}{1000}$$

$$PN_{nominv} = 1,25 * \frac{3.316}{1000}$$

$$PN_{nominv} = 4,1 \text{ kW}$$

9.2.6. Horas sol pico

→ Declinación solar

La declinación solar es la desviación solar en el eje de rotación para todo el planeta. Estos datos son obtenidos de la Nasa. Los valores que aparecen en color rojo hacen referencia al solsticio de invierno en Colombia, estos valores así sean negativos no afectan el cálculo.

DIAS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\delta$ Promedio	20,7	12,3	1,8	9,71	18,8	23	21,2	13,7	3,08	8,45	18,1	22,8

Tabla 21. Declinación solar

→ Inclinación optima

Para que una superficie reciba radiación solar optima, se necesita el ángulo de inclinación optima, que depende de la latitud del sitio y la declinación obtenida. Para el solsticio de verano se tiene

$$\beta_{opt} = f - d$$

Mientras que para el solsticio de invierno se tiene

$$\beta_{opt} = f + d$$

Para el equinoccio se tiene

$$\beta_{opt} = f = d$$

La inclinación óptima sería

TIPO	sols inv	sols inv	equi nox	sols ver	sols ver	sols ver	sols ver	sols ver	sols ver	equi nox	sols inv	sols inv	sols inv
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<b>Inclinación Óptima</b>	27,8	19,4	7,1	2,6	11,6	15,8	14,09	6,5	7,1	15,5	25,2	29,9	

Tabla 22. Inclinación óptima

→ Irradiación horizontal global

Datos obtenidos de meteonorm

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
<b>Radiación global</b>	4,48	4,64	4,65	4,47	4,65	4,70	4,84	5,17	4,97	4,35	4,00	4,10	4,58

Tabla 23. Radiación global horizontal

→ Radiación global diaria sobre una superficie inclinada y ángulo óptimo

Se calcula con la siguiente fórmula

$$G_{mb}(\beta_{opt}) = \frac{G_{\alpha}(0)}{1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta_{opt} - 1,19 * 10^{-4} * \beta_{opt}^2}$$

Donde

$$G_{\alpha} = \text{Irradiación global horizontal}$$

La radiación global sobre una superficie inclinada es

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
<b>G<sub>dm</sub></b>	5,01	4,91	4,69	4,48	4,75	4,88	4,99	5,21	5,01	4,51	4,38	4,65	4,81

Tabla 24. Radiación diaria sobre superficie inclinada

→ Factor de irradiancia

Es un factor que corrige los valores de irradiación obtenidos para una desorientación de X grados o en Azimut. Se calcula con la siguiente fórmula

$$FI = 1 - [1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2]$$

Donde

$$\beta = 15^\circ \text{ que es la inclinación de la cubierta}$$

El factor de irradiancia sería

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>FI</b>	0,91	0,95	0,99	1,00	0,98	0,97	0,98	0,99	0,99	0,97	0,92	0,89

Tabla 25. Factor de irradiancia



→ Horas sol pico

Las Hora Solar Pico, es frecuentemente utilizada para realizar cálculos fotovoltaicos. De forma sencilla decimos que la Hora Solar Pico (HSP) es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie.

La fórmula para calcular es

$$HSP = FI * Gdm(0, \beta)$$

Por tanto, las horas sol pico serian

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dic
HSP/día	4,54	4,68	4,66	4,47	4,67	4,73	4,87	5,18	4,98	4,38	4,05	4,15

**Tabla 26. Horas sol pico**

**9.2.7. Diagrama unifilar**

En el diagrama unifilar se mostrará las conexiones que se tendrá en el sistema solar fotovoltaico para autoconsumo de la vivienda. Dependiendo de los tramos y conexiones se utilizarán protecciones con un interruptor termomagnético y el cableado de cobre con su sección nominal seleccionada.

A continuación, se muestra una tabla con las protecciones y conductores de cada uno de los tramos del sistema. Se tiene en cuenta un sobredimensionamiento del 25% en las intensidades por protección.

SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES Y LOS CONDUCTORES				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
<b>1</b>	Salida de módulos FV			
	Intensidad: $I_{MOD,S} = 1.25 * I_{SC,MOD} * \text{Ramas paralelo}$	$I_{MOD,S}$	28,2	A
	Cable cobre encauchetado aislado 600 V - 75°C		2 x N°10	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 30 A DC		2 x 30	A
<b>2</b>	Entre los módulos fotovoltaicos y controlador			
	Intensidad: $I_{MOD,S} = 1.25 * I_{SC,MOD}$	$I_{MOD,S}$	92	A
	Cable cobre encauchetado aislado 600 V - 75°C		2 x N°3	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 50 A DC		2 x 50	A
<b>3</b>	Entre el banco de baterías en serie y el controlador			
	Intensidad: $I_{INVBAT,E} = 1.25 * P_{N,CONGRID} * 1000 / V_{S,CONGRID} =$	$I_{BAT,E}$	29	A
	Cable cobre batería aislado 600 V - 75°C		(2xNo.10)	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 30 A DC		2 x 30	A
<b>4</b>	Entre el banco de baterías y el inversor			
	Intensidad: $I_{INVBAT,E} = 1.25 * P_{N,INVBAT} * 1000 / V_{E,INV}$	$I_{INVBAT,E}$	26	A
	Cable cobre batería aislado 600 V - 75°C		2 x N° 10	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 30 A DC		2 x 30	A

**Tabla 27. Protecciones y cable autoconsumo**



### 9.2.8. Generación sistema autoconsumo

#### → Demanda y producción año 1

El sistema de autoconsumo instalado con los cálculos anteriores comprende los diferentes funcionamientos y cantidades de cada uno de los equipos necesarios para esta instalación. Sin embargo, es necesario conocer si esta instalación año tras año podría suplir la demanda mensual de la vivienda.

Inicialmente se tienen los datos de potencia instalada, que hace referencia a la cantidad de paneles solares por la potencia de este individual. La demanda para cubrir diaria calculada previamente y el performance ratio de los módulos se muestran a continuación

<b>Potencia instalada del sistema</b>	<b>5,85</b>	<b>[KWp]</b>
<b>Demanda diaria total</b>	11,24	[kWh/Día]
<b>Precio Promedio</b>	0,00	[\$/kWh]
<b>PF</b>	0,800	

**Tabla 28. Potencia y demanda generación autoconsumo**

En este caso, se plantea la generación y producción del primer año en la siguiente tabla. El mes subrayado hace referencia al mes donde se tiene mayores precipitaciones y unas HSP no tan altas.

DEMANDA DE ENERGIA Y PRODUCCIÓN AÑO-1					Porcentaje de ahorro		196%
Mes	Días	Año - 1			Generación año 1		Consumo - E. Generada
		Cons. E. activa [kWh/mes]	Demanda Diaria [kWh/Día ]	HSP [kWh/m2 Día]	(Wh/día)	(KWh/mes)	
<b>Enero</b>	31	365	11,8	4,54	21,2	658,7	-293,7
<b>Febrero</b>	28	341	12,2	4,68	21,9	613,3	-272,3
<b>Marzo</b>	31	322	10,4	4,66	21,8	676,1	-354,1
<b>Abril</b>	30	287	9,6	4,47	20,9	627,6	-340,6
<b>Mayo</b>	31	357	11,5	4,67	21,9	677,5	-320,5
<b>Junio</b>	30	268	8,9	4,63	21,7	650,1	-382,1
<b>Julio</b>	31	333	10,7	4,87	22,8	706,5	-373,5
<b>Agosto</b>	31	287	9,3	5,18	24,2	751,5	-464,5
<b>Septiembre</b>	30	359	12,0	4,98	23,3	699,2	-340,2
<b>Octubre</b>	31	366	11,8	4,38	20,5	635,5	-269,5
<b>Noviembre</b>	30	363	12,1	4,05	19,0	568,6	-205,6
<b>Diciembre</b>	31	364	11,7	4,15	19,4	602,1	-238,1
	Generación anual	4.012,0	11,00		Generación anual	7.866,6	(kWh/año)
						7,87	(MWh/año)

**Tabla 29. Generación y producción año 1**

La tabla anterior muestra el consumo de energía activa, que hace referencia al consumo del usuario. La demanda diaria con ese consumo de usuario. Las horas sol pico, que han sido calculadas previamente. Por tanto, para el año 1 la generación en un día estaría dado por

$$Wh_{día} = HSP * Pot_{inst} * PR$$

Y la generación mensual esa generación diaria por los días de cada mes. Por esta razón, la generación anual sería de **7.886,6 kWh/año**.

→ Generación día, mes e inyección a red

Este apartado hace referencia teniendo en cuenta el peor mes seleccionado para conocer los horarios de irradiación diaria de esa zona.

La generación día está dada por

$$G_{día} = Irrad * Pot_{inst} * PR$$

La generación mes por un mes general de 30 días. La demanda de L-D está dada por el horario de cargas de usuario mostradas anteriormente, esta demanda se pone como un caso donde todos los días es generada esa misma demanda. La casilla de generación de L-D es

$$G_{L-D} = D_{LD} - G_{día}$$

La casilla de color azul o valores negativos hace referencia a las horas donde el sistema fotovoltaico está realizando inyección a la red, es decir, está generando más en esa hora de lo que realmente necesita consumir.

Hora	Irradiación [kWh/m2]	Generación Dia kWh	Generación mes kWh	Demanda tipo L-D kWh	Demanda mensual kW	Gen L-D kWh
1	0	0,00	0	0,417	12,51	0,417
2	0	0,00	0	0,417	12,51	0,417
3	0	0,00	0	0,417	12,51	0,417
4	0	0,00	0	0,417	12,51	0,417
5	0	0,00	0	0,417	12,51	0,417
6	0,057	0,27	8	0,558	16,74	0,292
7	0,180	0,84	25	0,573	17,18	-0,271
8	0,284	1,33	40	0,540	16,20	-0,789
9	0,417	1,95	59	0,275	8,25	-1,677
10	0,493	2,31	69	0,390	11,70	-1,917
11	0,590	2,76	83	0,490	14,70	-2,271
12	0,626	2,93	88	0,459	13,77	-2,471
13	0,607	2,84	85	0,290	8,70	-2,549
14	0,398	1,86	56	0,343	10,290	-1,521
15	0,294	1,38	41	0,221	6,630	-1,154
16	0,114	0,54	16	0,221	6,630	-0,315
17	0,014	0,06	2	0,265	7,950	0,202
18	0	0,00	0	0,308	9,240	0,308
19	0	0,00	0	0,518	15,540	0,518
20	0	0,00	0	0,837	25,110	0,837
21	0	0,00	0	0,852	25,560	0,852
22	0	0,00	0	0,688	20,640	0,688
23	0	0,00	0	0,674	20,220	0,674
24	0	0,00	0	0,655	19,650	0,655
		19,07	572,05	11,24	337,31	
30	Días/mes					

Tabla 30. Generación y demanda

→ Autoconsumo día

El autoconsumo esta dado por el sistema fotovoltaico en su horario de uso y el sistema de baterías para cubrir las diferentes demandas de las 24 horas del día. Estos consumos hacen referencia a las cargas de usuario mostradas en la Tabla 16

<b>Hora</b>	<b>Autoconsumo SFV [kWh]</b>	<b>Autoconsumo por baterías</b>
<b>1</b>	0	0,417
<b>2</b>	0	0,417
<b>3</b>	0	0,417
<b>4</b>	0	0,417
<b>5</b>	0	0,417
<b>6</b>	0	0,558
<b>7</b>	0,573	0
<b>8</b>	0,540	0
<b>9</b>	0,275	0
<b>10</b>	0,390	0
<b>11</b>	0,490	0
<b>12</b>	0,459	0
<b>13</b>	0,290	0
<b>14</b>	0,343	0
<b>15</b>	0,221	0
<b>16</b>	0,221	0
<b>17</b>	0	0,265
<b>18</b>	0	0,308
<b>19</b>	0	0,518
<b>20</b>	0	0,837
<b>21</b>	0	0,852
<b>22</b>	0	0,688
<b>23</b>	0	0,674
<b>24</b>	0	0,655
	<b>3,802</b>	<b>7,441</b>

**Tabla 31. Autoconsumo SFV y baterías diarios**

→ Costos mensuales

Al ser un sistema de autoconsumo y por tener una generación más alta que la demandada por el usuario, se excluye del precio C.U, tan solo se tendrá en cuenta el precio de comercialización. Esto está regido por la CREG, que en la siguiente sección será explicada

<b>COSTO UNITARIO CON RECARGOS \$/kWh</b>			
<b>C.u.v</b>	<b>P.b</b>	<b>Cv</b>	<b>A.P</b>
<b>528,15</b>	0	60	0%

**Tabla 32. Costo unitario**

La factura de un mes de 30 días del peor mes sería el C.U mensual por el promedio de la energía consumida mensual del usuario. El ahorro de autoconsumo hace referencia al ahorro del sistema de baterías por los 30 días de un mes standard.

<b>FACTURA DEL MES STANDARD</b>		
<b>\$/kWh</b>	<b>Factura sin paneles</b>	<b>Ahorro en autoconsumo</b>
<b>\$ 528,15</b>	\$ 176,578	\$ 223

**Tabla 33. Factura mes**

→ Proyección ahorro por autoconsumo

Para los 25 años proyectados de vida para el sistema fotovoltaico se tiene en cuenta un precio unitario donde para el sistema de autoconsumo se dé un incremento en el precio de un 3% anual, como es usualmente dado en Colombia.

El autoconsumo esta dado tanto por la generación diaria del sistema solar fotovoltaico y el sistema de baterías, por los 365 días año, con un planteamiento hipotético donde este autoconsumo es igual para todos los años.

El ahorro anual de este sistema completo estaría dado por el autoconsumo anual por el precio unitario de ese año.

Año	C.u	Autoconsumo [kWh]	Ahorro Total	Ahorro acumulado real
1	\$ 528,2	4103,9	\$ 2.167.482	\$ 2.167.482
2	\$ 554,6	4103,9	\$ 2.275.856	\$ 4.443.338
3	\$ 582,3	4103,9	\$ 2.389.649	\$ 6.832.988
4	\$ 611,4	4103,9	\$ 2.509.132	\$ 9.342.119
5	\$ 642,0	4103,9	\$ 2.634.588	\$ 11.976.707
6	\$ 674,1	4103,9	\$ 2.766.318	\$ 14.743.025
7	\$ 707,8	4103,9	\$ 2.904.633	\$ 17.647.658
8	\$ 743,2	4103,9	\$ 3.049.865	\$ 20.697.523
9	\$ 780,3	4103,9	\$ 3.202.358	\$ 23.899.882
10	\$ 819,3	4103,9	\$ 3.362.476	\$ 27.262.358
11	\$ 860,3	4103,9	\$ 3.530.600	\$ 30.792.958
12	\$ 903,3	4103,9	\$ 3.707.130	\$ 34.500.088
13	\$ 948,5	4103,9	\$ 3.892.487	\$ 38.392.575
14	\$ 995,9	4103,9	\$ 4.087.111	\$ 42.479.686
15	\$ 1.045,7	4103,9	\$ 4.291.466	\$ 46.771.152
16	\$ 1.098,0	4103,9	\$ 4.506.040	\$ 51.277.192
17	\$ 1.152,9	4103,9	\$ 4.731.342	\$ 56.008.534
18	\$ 1.210,5	4103,9	\$ 4.967.909	\$ 60.976.442
19	\$ 1.271,1	4103,9	\$ 5.216.304	\$ 66.192.747
20	\$ 1.334,6	4103,9	\$ 5.477.120	\$ 71.669.866
21	\$ 1.401,3	4103,9	\$ 5.750.975	\$ 77.420.842
22	\$ 1.471,4	4103,9	\$ 6.038.524	\$ 83.459.366
23	\$ 1.545,0	4103,9	\$ 6.340.450	\$ 89.799.816
24	\$ 1.622,2	4103,9	\$ 6.657.473	\$ 96.457.289
25	\$ 1.703,3	4103,9	\$ 6.990.347	\$ 103.447.636
Aumento precio Cv		3%		

Tabla 34. Ahorro por autoconsumo



### 9.3. Sistema de conexión a red

#### 9.3.1. Descripción

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, inyecta directamente la energía, sin almacenamiento, a una red externa y es consumida por los usuarios de esa red.

El diagrama unifilar de un sistema conectado a red es el siguiente

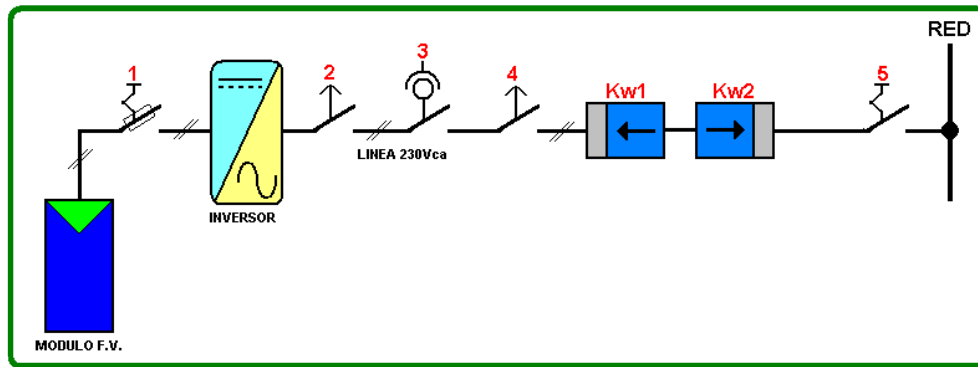


Figura 19. Diagrama unifilar de conexión a red

#### 9.3.2. Clasificación de la instalación por el tamaño Wp

Para saber el tamaño de la instalación se necesita la potencia instalada del sitio. Para una instalación residencial se puede contar con una potencia de entre 1 y 15 kWp. Una instalación arquitectónica entre 5 y 250 kWp. Por último, una central fotovoltaica entre 100 kWp y 10 MWp.

### Instalaciones para todas las necesidades

Pequeñas Instalaciones	Proyectos para PYMES	Soluciones Arquitectónicas	Parques Solares
<ul style="list-style-type: none"><li>3 - 20 kWp</li><li>Diseñadas a medida</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>20 kWp - 1MWp</li><li>Grandes superficies de tejado</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Tejados y Fachadas</li><li>Obra nueva / reformas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>100 kW - 4 MWp</li><li>Superficies Grandes</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Viviendas Unifamiliares</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Granjas</li><li>Polígonos Industriales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Edificios de uso general</li><li>Instituciones Públicas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Accionistas e inversores</li></ul>

Figura 20. Tipos de instalaciones por tamaño kWp

### 9.3.4. Topología de las instalaciones

Las instalaciones conectadas a red se distinguen dos líneas, las de corriente alterna (CA) y las de corriente continua (CC). Se dividen tres bloques para las conexiones, el primer bloque es de los generadores solares fotovoltaicos junto con sus protecciones y el convertidor. El segundo bloque, es la unidad de acondicionamiento de la potencia, es decir, los inversores. Y el último bloque es el de los contadores. Los tres bloques son explicados a continuación

- ✓ Bloque generador → Consta de los módulos fotovoltaicos, las cajas de conexiones, cableado y protecciones con magnetotérmico o fusibles. Además, lleva una estructura fija o sistema de seguimiento solar.
- ✓ Bloque conversor → Esta constituido por el inversor de conexión a red junto con sus protecciones magnetotérmicos, diferencial. Este bloque suele colocarse lo más cerca del generador fotovoltaico.
- ✓ Inversores que vayan a cubrir una potencia de más de 5 kW, deben ser inversores trifásicos.
- ✓ Bloque suministro → Este bloque es donde se ubican los elementos de medida, contadores y los interruptores generales.

Los contadores pueden ser del tipo convencional y se utilizan dos para cada instalación, mientras que los de tarificación electrónica son bidireccionales y es necesario uno por instalación.

La división de bloques de la instalación conectada a red es la siguiente

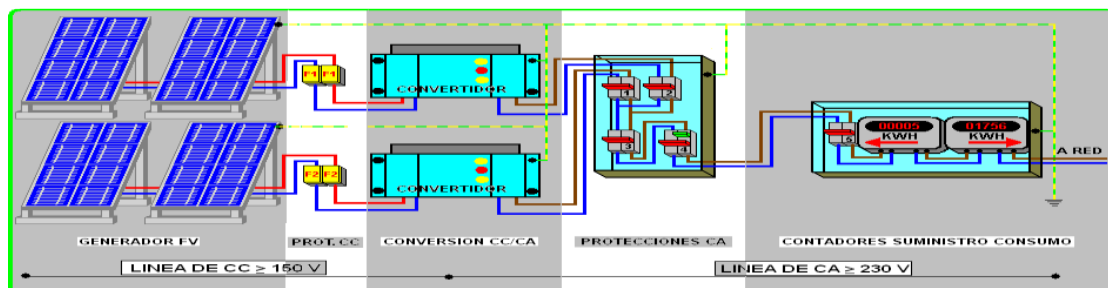


Figura 21. Distribución de bloques

### 9.3.5. Punto de conexión a la red eléctrica

Para las instalaciones de red monofásica o trifásica de 230 V / 400 V, la conexión a red se hará aguas arriba del contador de suministro de dicha red, es decir, en dirección a la fuente de energía.

Las instalaciones no requieren de mantenimiento continuo, simplemente revisiones periódicas en cuanto a conexiones y de manera esporádica para los módulos fotovoltaicos.

El esquema de punto de conexión del sistema se muestra a continuación

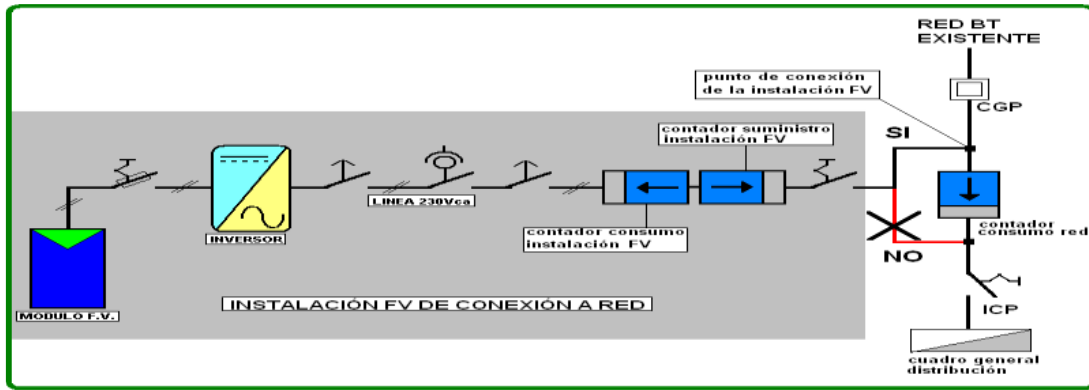


Figura 22. Conexión a red eléctrica

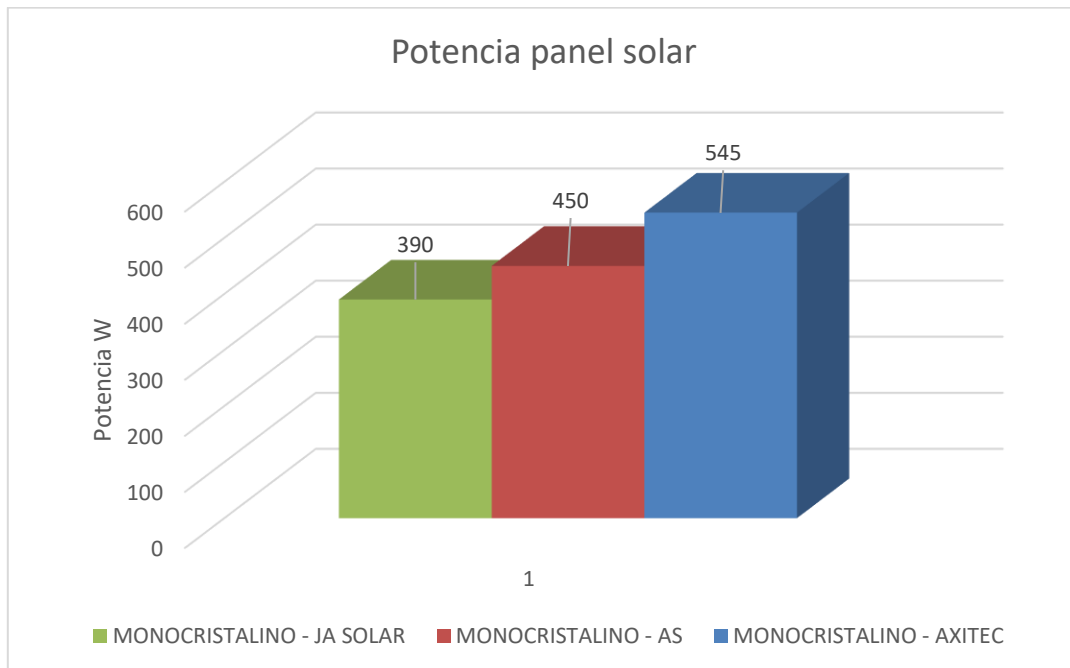
### 9.3.6. Dimensionamiento

#### → Demanda diaria

La demanda diaria para cubrir para la vivienda será la mostrada en la tabla de energía diaria de usuario. Esta demanda será de 11,24 kWh/día.

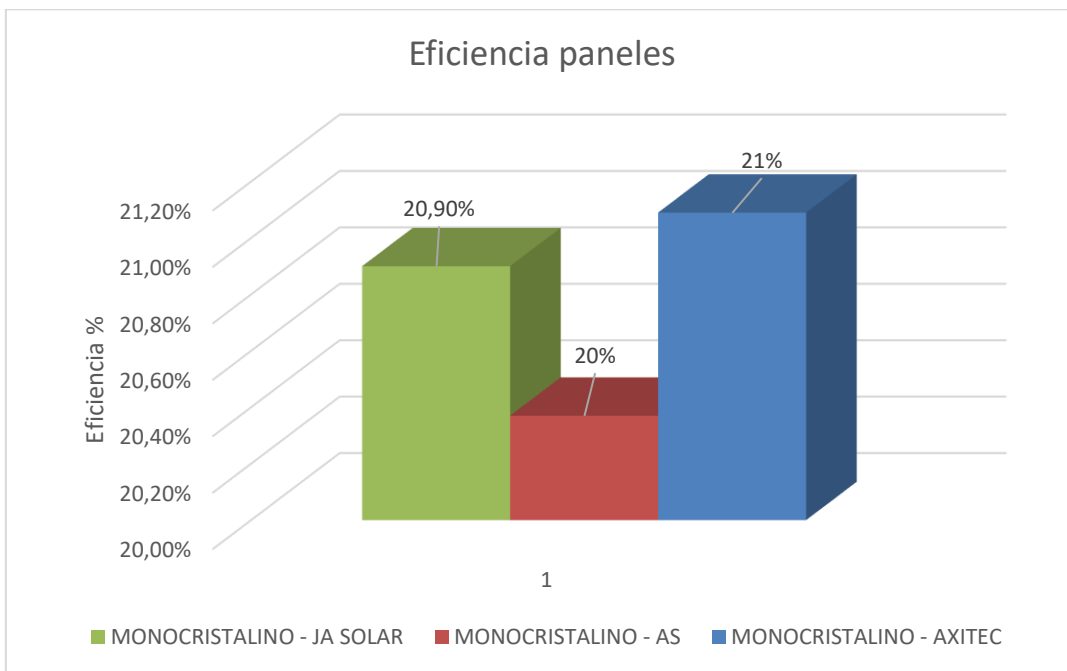
#### → Modulo fotovoltaico

Para la selección del módulo fotovoltaico se mostrarán 3 opciones de paneles solares, donde se tendrá en cuenta la potencia entregada y la eficiencia del panel para su selección.



Gráfica 3. Comparación panel solar conexión a red potencia

La primera comparativa es con respecto a la potencia entregada por el módulo, se puede ver como la potencia es de gran diferencia entre los tres módulos lo que da un indicio de cuál es el módulo más viable para seleccionar. Por tanto, se compara también la eficiencia y poder saber el módulo a utilizar.



**Gráfica 4. Comparación panel solar conexión a red eficiencia**

Como se puede observar en el gráfico anterior la eficiencia de aquel que tiene una mayor potencia, también va correlacionada con la eficiencia de este. Por esta razón, el panel a seleccionar es el monocristalino de AXITEC con una potencia de 545 W.

La tabla de especificaciones técnicas del panel se encuentra a continuación

Datos módulos fotovoltaicos (AXIpremium XXL HC)			
Tipo	MONOCRISTALINO		
Irradiancia en condiciones estándar de medida	$G_{CEM}$	1000	W/m <sup>2</sup>
Potencia máxima	$P_{M,MOD}$	545	W
Tensión máxima	$V_{M,MOD}$	41,85	V
Tensión de circuito abierto	$V_{OC,MOD}$	49,7	V
Intensidad máxima	$I_{M,MOD}$	13,03	A
Intensidad de cortocircuito	$I_{SC,MOD}$	13,92	A
Coefficiente de temperatura de $V_{OC,MOD}$	$\theta_{VOC}$	-0,28%	1/°C
Coefficiente de temperatura de $V_{M,MOD}$	$\theta_{VM}$	-0,35%	1/°C
Coefficiente de temperatura de $I_{SC,MOD}$	$\theta_{ISC}$	0,045%	1/°C
Temperatura mínima de operación de los módulos	$T_{min}$	-40	°C
Temperatura ambiente de los módulos en las condiciones STC	$T_{amb}$	25	°C
Temperatura máxima de operación de los módulos	$T_{max}$	85	°C
Eficiencia	$\eta_{MOD}$	21%	
Factor de reducción potencia módulos FV año 25	$FR_{MOD}$	0,8	
Rendimiento energético del módulo fotovoltaico	$PR_{MOD}$	0,8	

Tabla 35. Modulo fotovoltaico CR

→ Inversor

El inversor seleccionado junto con sus especificaciones se muestra a continuación

INVERSOR	FRONIUS		
Tipo	MPPT		
Corriente máxima DC	$I_{MAX}$	27	A
Corriente máxima salida	$I_{S,MAX}$	18	A
Corriente entrada total DC	$I_{S,IENT}$	43,5	A
Máxima corriente por MPPT	$I_{M,MPPT}$	40,5/ 24,8	A
Tensión mínima DC	$V_{,minDC}$	200	V
Tensión máxima DC	$V_{,maxDC}$	1000	V
Tensión entrada nominal	$V_{,entradaD}$	600	V
Frecuencia salida	$f_{S,INVBAT}$	60	Hz
Rango MPPT	MPPT	320 - 800	V
Constante por pérdidas en inversor	$K_{INVBAT}$	0,9	
Potencia nominal	$P_{nominal}$	12500	W

Tabla 36. Inversor conexión a red

→ Paneles en serie

El cálculo de los paneles solares en serie está dado por el voltaje máximo de entrega posible por parte del inversor y el voltaje de corto circuito del módulo. Por tanto

$$Mod_{ser} = \frac{V_{maxDC}}{V_{OCmod}}$$

$$Mod_{ser} = \frac{1000}{49,7}$$

$$Mod_{ser} = 20,12 \sim 20$$

→ Paneles en paralelo

Los paneles en paralelo son dados por la máxima corriente de MPPT del inversor y la máxima del módulo.

$$Mod_{par} = \frac{I_{MMppt}}{I_{Mmod}}$$

$$Mod_{par} = \frac{24,8}{13,03}$$

$$Mod_{par} = 1,9 \sim 2$$

→ Paneles totales

Los paneles se calculan con la demanda diaria necesaria por la vivienda y la potencia del módulo escogido.

$$Mod_{tot} = \frac{Demanda_{dia} * 1000}{P_{Mmod}}$$

$$Mod_{tot} = \frac{11,24 * 1000}{545}$$

$$Mod_{tot} = 20,62 \sim 21$$

→ Paneles en serie por MPPT

$$Mod_{sMPPT} = \frac{V_{mppt}}{V_{Mmod}}$$

$$Mod_{sMPPT} = \frac{800}{41,85}$$

$$Mod_{sMPPT} = 19,12 \sim 19$$

→ Paneles en paralelo por MPPT

$$Mod_{pMPPT} = \frac{I_{MMppt}}{I_{Mmod}}$$

$$Mod_{pMPPT} = \frac{24,8}{13,03}$$

$$Mod_{pMPPT} = 1,9 \sim 2$$

### 9.3.7. Diagrama unifilar

En el diagrama unifilar se mostrará las conexiones que se tendrá en el sistema solar fotovoltaico para conexión a red de la vivienda. Dependiendo de los tramos y conexiones se utilizarán protecciones con un interruptor termomagnético y el cableado de cobre con su sección nominal seleccionada.

A continuación, se muestra una tabla con las protecciones y conductores de los dos tramos del sistema. Se tiene en cuenta un sobredimensionamiento del 25% en las intensidades por protección.

<b>1 Salida de los módulos fotovoltaicos</b>				
	Intensidad: $I_{MOD,S} = 1.25 * I_{SC,MOD}$	$I_{MOD,S}$	35	A
	Cable cobre encauchetado aislado 600 V - 75°C		2 x N°8	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 40 A DC		2 x 40A	A
<b>2 Entre los módulos fotovoltaicos al inversor</b>				
	Intensidad: $I_{MOD,S} = 1.25 * I_{SC,MOD}$	$I_{MOD,S}$	191	A
	Cable cobre encauchetado aislado 600 V - 75°C		2 x 3/0	AWG
	Interruptor termomagnético 2P - 50 A DC		2 x 50A	A

**Tabla 37. Protecciones y cable conexión a red**

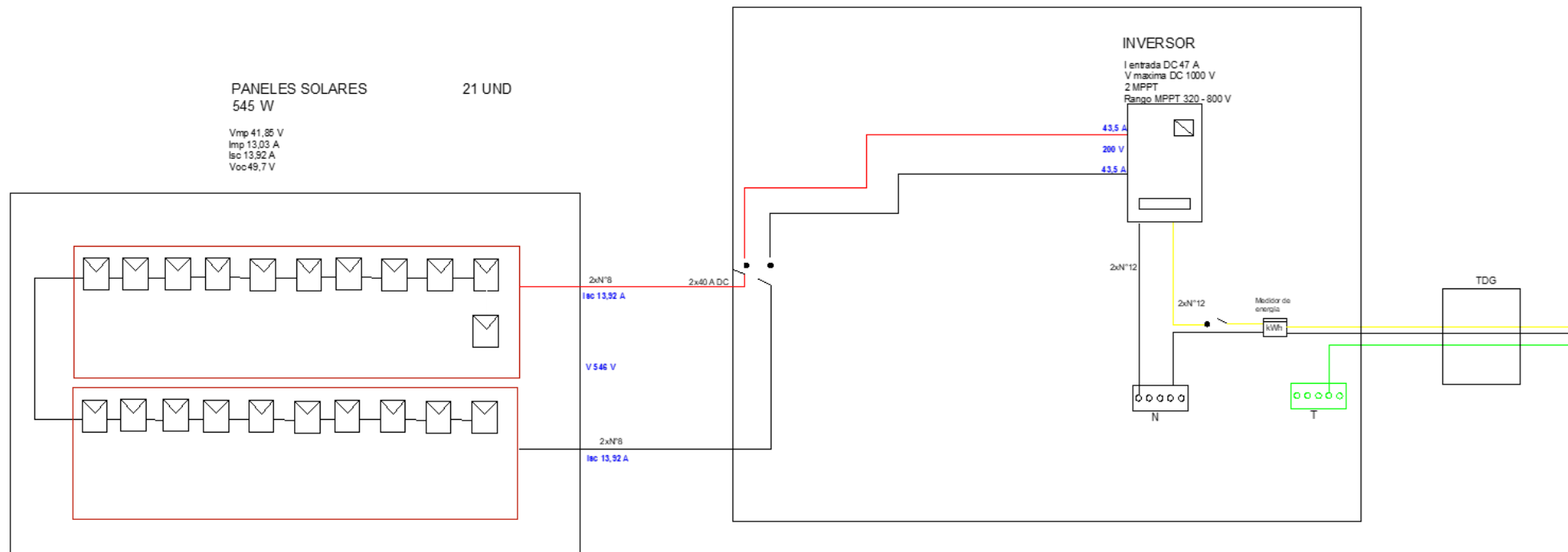


Figura 23. Diagrama unifilar conexión a red



### 9.3.8. Generación peor mes

El sistema de conexión a red instalado con los cálculos anteriores comprende los diferentes funcionamientos y cantidades de cada uno de los equipos necesarios para esta instalación. Sin embargo, es necesario conocer si esta instalación año tras año podría suplir la demanda mensual de la vivienda.

Inicialmente se tienen los datos de potencia instalada, que hace referencia a la cantidad de paneles solares por la potencia de este individual. La demanda para cubrir diaria calculada previamente, el costo unitario generado por la ESSA (electrificadora) y el performance ratio de los módulos se muestran a continuación

<b>Potencia instalada del sistema</b>	<b>11,445</b>	<b>[KWp]</b>
<b>Demanda diaria total</b>	11,24	[kWh/Día]
<b>Precio Promedio</b>	528,15	[\$/kWh]
<b>PF</b>	0,800	

**Tabla 38. Datos iniciales conexión a red**

#### → Demanda y energía primer año

La demanda y energía producida para el primer año, teniendo en cuenta el consumo de energía activa por el usuario, horas sol pico, generación día y mensual, y la generación anual que es de **15.447 kWh/año**.

DEMANDA DE ENERGIA Y PRODUCCIÓN AÑO-1					Porcentaje de ahorro		384%
Año - 1					Generación año 1		Consumo - E. Generada
Mes	Días	Cons. E. activa [kWh/mes]	Demanda total Diaria [kWh/Día]	HSP [kWh/m <sup>2</sup> Día]	(Wh/día)	(KWh/mes)	
Enero	31	365	11,8	4,54	41,6	1.288,6	-923,6
Febrero	28	341	12,2	4,68	42,9	1.199,8	-858,8
Marzo	31	322	10,4	4,66	42,7	1.322,7	-1.000,7
Abril	30	287	9,6	4,47	40,9	1.227,8	-940,8
Mayo	31	357	11,5	4,67	42,8	1.325,5	-968,5
Junio	30	268	8,9	4,63	42,4	1.271,8	-1.003,8
Julio	31	333	10,7	4,87	44,6	1.382,3	-1.049,3
Agosto	31	287	9,3	5,18	47,4	1.470,3	-1.183,3
Septiembre	30	359	12,0	4,98	45,6	1.367,9	-1.008,9
Octubre	31	366	11,8	4,38	40,1	1.243,2	-877,2
Noviembre	30	363	12,1	4,05	37,1	1.112,5	-749,5
Diciembre	31	364	11,7	4,15	38,0	1.177,9	-813,9
	Generación anual	4.012,0	11,00		Generación anual	15.390	(kWh/año)
						15,4	(MWh/año)

**Tabla 39. Demanda y producción año 1 CR**

→ Generación día, mes e inyección a red

La siguiente tabla muestra según la irradiación del peor mes, la generación del día, mes, la demanda de Lunes a Domingo también haciendo un caso de que la demanda es la misma para todos los días.

La casilla de generación de lunes a domingo subrayada o valores negativos hace referencia a las horas donde el sistema fotovoltaico está realizando inyección a la red, es decir, está generando más en esa hora de lo que realmente necesita consumir.

Hora	Irradiación [kWh/m2]	Generación Dia kWh	Generación mes kWh	Demanda tipo L-D kWh	Demanda mensual	Gen L-D kWh
1	0	0,00	0	0,417	12,519	0,417
2	0	0,00	0	0,417	12,519	0,417
3	0	0,00	0	0,417	12,519	0,417
4	0	0,00	0	0,417	12,519	0,417
5	0	0,00	0	0,417	12,519	0,417
6	0,057	0,52	16	0,558	16,740	0,037
7	0,180	1,65	50	0,573	17,184	-1,079
8	0,284	2,60	78	0,540	16,209	-2,061
9	0,417	3,82	115	0,275	8,250	-3,544
10	0,493	4,51	135	0,390	11,700	-4,123
11	0,590	5,40	162	0,490	14,700	-4,912
12	0,626	5,73	172	0,459	13,770	-5,274
13	0,607	5,55	167	0,290	8,700	-5,263
14	0,398	3,65	109	0,343	10,290	-3,304
15	0,294	2,69	81	0,221	6,630	-2,470
16	0,114	1,05	31	0,221	6,630	-0,827
17	0	0,00	0,0	0,265	7,950	0,265
18	0	0,00	0	0,308	9,240	0,307
19	0	0,00	0	0,518	15,540	0,518
20	0	0,00	0	0,837	25,110	0,837
21	0	0,00	0	0,852	25,560	0,852
22	0	0,00	0	0,688	20,640	0,688
23	0	0,00	0	0,674	20,220	0,674
24	0	0,00	0	0,655	19,650	0,655
	TOTAL	37,18	1.115,44	11,24	337,31	
30	días/mes					

Tabla 40. Generación día, mes e inyección a red en CR

→ Facturación L-D

En esta sección se muestra el autoconsumo hora de la generación de L-D en la Tabla 40, donde se enfatiza en aquellas horas donde se genere más de lo que se consume. El precio de autoconsumo es la potencia instalada, por el autoconsumo, por el PR. La importación es lo que se necesita traer de la red, es decir aquellas horas donde la demanda es mayor a la generación del sistema. El costo de importación es por el costo unitario de la ESSA.

La exportación hace referencia a la energía entregada en esa franja de horario. El costo de transacción es el costo que se debe pagar a la red por el uso en esa hora. Por último, la venta es lo que se vendería o entregaría a la red en esa hora. La venta total en un día sería **13.699,02 COP**.

En la siguiente tabla se mostrará la facturación de lunes a domingo, generada por la vivienda. A continuación, se presenta un breve resumen de las horas al día, la totalidad será presentada en el Anexo 3.

FACTURACIÓN L-D									
Hora	Autoconsumo [kWh]	Autoconsumo [COP]	Importó [kWh]	Importó [COP]	Exportó [kWh]	Exportó [COP]	Transacción [COP]	Venta [kWh]	Venta [COP]
1	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
6	0,521	\$ 275	0,04	\$ 20	0,00	\$ -	\$ 2,23	-0,04	-\$ 19,63
7	0,573	\$ 303	0	\$ -	1,08	\$ 570		1,08	\$ 569,86
8	0,540	\$ 285	0	\$ -	2,06	\$ 1.089		2,06	\$ 1.088,67
9	0,275	\$ 145	0	\$ -	3,54	\$ 1.872		3,54	\$ 1.871,86
10	0,390	\$ 206	0	\$ -	4,12	\$ 2.178		4,12	\$ 2.177,74
11	0,490	\$ 259	0	\$ -	4,91	\$ 2.595		4,91	\$ 2.594,53
<b>TOT</b>	<b>4,324</b>	<b>\$ 2.283,16</b>	<b>\$ 6,92</b>	<b>\$ 3.654,69</b>	<b>32,86</b>	<b>\$ 17.353,71</b>	<b>\$ 415,58</b>	<b>25,94</b>	<b>\$ 13.699,02</b>
								<b>factura día</b>	<b>\$ 5.938,31</b>
								<b>Ganancia</b>	<b>\$ 13.283,44</b>

Tabla 41. Facturación lunes a domingo CR

→ Costos unitarios mensuales

<b>COSTO UNITARIO CON RECARGOS \$/kWh</b>						
<b>C.u.v</b>	<b>P.b</b>	<b>Cv</b>	<b>A.P</b>			
<b>528,15</b>	399,07	60	10%			
<b>CONSUMOS DEL MES STANDARD</b>						
	<b>Demanda del mes</b>	<b>autoconsumo</b>	<b>exportación</b>	<b>importación</b>		
	<b>101%</b>	<b>10%</b>	<b>77%</b>	<b>16%</b>		
	334,33	129,71	985,73	207,59		
<b>FACTURA DEL MES STANDARD</b>						
<b>\$/kWh</b>	<b>Factura sin paneles + A.P</b>	<b>Ahorro en autoconsumo</b>	<b>Ahorro en exportación</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Costo de transacción</b>	<b>Venta</b>
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
528,15	176.578	68.495	520.611	589.106	12.467,42	410.970,647

**Tabla 42. Costo unitario y factura mensual**

➔ Ahorros anuales

Los ahorros anuales teniendo en cuenta cada uno de los precios unitarios, su incremento anual, la energía generada, autoconsumo. El costo de transacciones hace referencia a la energía generada anual por el precio de comercialización. El ahorro real acumulado es el total de lo que se generaría en ganancia total en los 25 años de uso del sistema solar fotovoltaico por el usuario.

A continuación, se presentará una tabla resumen para los primeros 5 años de funcionamiento del proyecto y el año final. La tabla en su totalidad será presentada en el Anexo 4.

Año	Cv	C.u	Pb	Costo unitario final	Energía generada [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Exportación [kWh]	Costo de transacciones	Ahorro Total	Ahorro por Autoconsumo	Ahorro Exportación P.b	Ahorro real	Ahorro acumulado real
1	\$ 60,06	\$ 528,2	\$ 399,1	\$ 581,0	15390,2	1556,6	11828,7	\$ 710.395	\$ 8.230.789	\$ 904.312	\$ 4.010.091	\$ 4.914.403	\$ 4.914.403
2	\$ 61,86	\$ 554,6	\$ 411,0	\$ 610,0	15267,1	1544,1	11734,1	\$ 725.853	\$ 8.587.285	\$ 941.932	\$ 4.097.350	\$ 5.039.282	\$ 9.953.685
3	\$ 63,71	\$ 582,3	\$ 423,4	\$ 640,5	15145,0	1531,8	11640,2	\$ 741.648	\$ 8.958.917	\$ 981.116	\$ 4.186.509	\$ 5.167.625	\$ 15.121.310
4	\$ 65,63	\$ 611,4	\$ 436,1	\$ 672,5	15023,8	1519,5	11547,1	\$ 757.786	\$ 9.346.322	\$ 1.021.930	\$ 4.277.607	\$ 5.299.538	\$ 20.420.848
5	\$ 67,59	\$ 642,0	\$ 449,2	\$ 706,2	14903,6	1507,4	11454,7	\$ 774.275	\$ 9.750.163	\$ 1.064.443	\$ 4.370.688	\$ 5.435.131	\$ 25.855.978
25	\$ 122,08	\$ 1.703,3	\$ 811,2	\$ 1.873,7	12691,9	1283,7	9754,8	\$ 1.190.895	\$ 22.589.462	\$ 2.405.148	\$ 6.722.452	\$ 9.127.600	\$ 169.854.342
<b>Caída eficiencia PV %</b>				0,8%									
<b>Aumento precio kWh</b>				5%									
<b>Aumento precio Cv</b>				3%									
<b>Aumento precio Pb</b>				3%									

**Tabla 43. Ahorro anual**

#### 9.4. Emisiones CO2

Las emisiones de CO2 se calculan con el consumo de kWh mensual de la vivienda estudio. Junto a ella se calculan las emisiones de CO2 que se generan, multiplicado por un factor de emisión de generación en Colombia que es 164,38 gCO2/kWh.

El promedio de las emisiones de CO2 se muestran en la siguiente tabla

Consumo eléctrico		
Mes	Consumo (kWh)	HC
Enero	365	59,999
Febrero	341	56,054
Marzo	322	52,930
Abril	287	47,177
Mayo	357	58,684
Junio	268	44,054
Julio	274	45,040
Agosto	297	48,821
Septiembre	359	59,012
Octubre	366	60,163
Noviembre	363	59,670
Diciembre	364	59,834
Promedio	330,25	54,286

Tabla 44. Consumo eléctrico vivienda

Como propuesta de mejora para la reducción de estas emisiones, se plantea el uso de energías renovables en la vivienda. Al hacer esta instalación se desea cubrir en su totalidad o en porcentajes que permitan reducir los consumos mensuales.

En la Tabla 45 se propone porcentajes a reemplazar con esta energía, junto con el promedio de consumo eléctrico de la vivienda y el factor de emisión anteriormente mencionado.

Esta tabla describe aquellos porcentajes donde se buscaría la reducción total con el sistema de autoconsumo propuesto. Por otro lado, el sistema de conexión a red tendría porcentajes del 25%, 50% y 75% de cubrimiento por el sistema FV.

Reducción de emisiones CO2					
Porcentaje de energía reemplazar con FV		Porcentaje de consumo a cubrir	Factor de emisión	HC	Reducción
25%	0,25	82,56	0,16438	3,393	50,894
50%	0,5	165,13	0,16438	13,572	40,715
75%	0,75	247,69	0,16438	30,536	23,750
100%	1	330,25	0,16438	54,286	0

Tabla 45. Reducción de emisiones %

## **10. OTRAS PROPUESTAS DE MEJORA**

### **10.1. Descripción**

El planteamiento de otras propuestas de mejora para la vivienda analizada se desarrolla en este capítulo. Anteriormente, se mencionaban los diferentes problemas de la vivienda con relación a la humedad de confort y los consumos energéticos que día a día se daban en esta. El primer planteamiento se da con la propuesta de diseño de un sistema solar fotovoltaico para cubrir dicha demanda y permitir la inclusión de energías renovables para el aporte de reducción de emisiones.

Por otro lado, el problema de humedad y de confort se plantea como un análisis inicial en la vivienda donde se proponen dos soluciones que a pequeño plazo permitirán el mejoramiento de confort interno en la vivienda. Estas dos soluciones son un sistema de contraventanas y un sistema multi-split.

El sistema de contraventanas servirá y será utilizado para aquellas pérdidas de calor y aumento del porcentaje de humedad en horas de noche y madrugada en la ciudad de Bucaramanga. El sistema multi-split, estará puesto en el interior de la vivienda en los dos pisos con la finalidad de disminuir esos porcentajes mensuales que generan malestar de confort interno de los habitantes.

### **10.2. Contraventanas**

Una pérdida de calor generada en las ventanas en las horas de la noche lleva a buscar una solución para que no se suceda. Las contraventanas son unas pequeñas puertas utilizadas en el exterior de las ventanas que regulan el clima interior de la habitación automáticamente sin aumentar el gasto energético. Estas son ubicadas según el lugar climático donde serán puestas. Si son lugares donde los veranos son muy calurosos, estos sistemas son puestos en el exterior, así se consigue impedir la entrada de radiación solar y no haya sobrecalentamiento de la cámara de aire de la ventana.

Por otro lado, estas contraventanas en las noches tienen como función la reducción de pérdidas de calor indeseables por medio de las ventanas, debido a que son uno de los puntos donde mayor cantidad de calor se puede perder.

La propuesta para las ventanas es la instalación de contraventanas de aluminio de la marca EHRET. Estas contraventanas plegables contienen aislantes de EHRET que cumplen con los requisitos estructurales con respecto a eficiencia energética y desarrollo sostenible. Se utilizarán las contraventanas abatibles que son lamas fijas puestas en el exterior de los huecos.

Las características de la contraventana son

Especificación	Valor
Modelo	TIZO
Espesor	27 mm
Interior	Espuma dura de poliestireno
Perfil de marco	Aluminio 47 mm x 32mm
Distancia entre la contraventana y ventana	25 mm
Resistencia térmica	0,26 W/m K

**Tabla 46. Características contraventana**

Al instalar estas contraventanas se necesita saber la cantidad de pérdida de calor, por medio de la siguiente fórmula

$$Q = \frac{k}{e} * \Delta T * A$$

Para el caso inicial sin sistema de contraventanas, se cuenta con los siguientes datos

$$T_1 = 26\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 299\text{ K}$$

$$T_2 = 18\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 291\text{ K}$$

$$e = 9\text{ mm} \rightarrow 0,009\text{ m}$$

$$k = 2 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$A = 4,5\text{ m}$$

Resolviendo la ecuación

$$Q = \frac{2}{0,009} * (299 - 291) * 4,5$$

$$Q = 8000\text{ W}$$



Con la instalación de las contraventanas el cálculo de pérdidas de calor sería

$$T_1 = 26\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 299\text{ K}$$

$$T_2 = 18\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 291\text{ K}$$

$$e = 36\text{ mm} \rightarrow 0,036\text{ m}$$

$$k = 2,26 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$A = 4,5\text{ m}$$

$$Q = \frac{2,26}{0,036} * (299 - 291) * 4,5$$

$$Q = 2260\text{ W}$$

La pérdida de calor con la instalación de contraventanas ha disminuido en cerca de un 70%. Lo que permite es que teniendo inicialmente las ventanas con una resistencia térmica una vez instalada estas contraventanas se le añaden ese valor de resistencia térmica de las mismas. La transmitancia térmica es el indicador de flujo de energía a través de la ventana desde el lado más caliente al lado más frío.

Al tener un valor mayor de resistencia térmica permite que ese flujo de energía sea menor y por tanto esa pérdida de calor sea menor.

### 10.3. Sistema multi-split

La implementación de este sistema de aire acondicionado en la vivienda tiene como finalidad bajar el porcentaje de humedad en el interior de esta. Como se notó en los resultados iniciales, el porcentaje de humedad sobrepasaba el 80% de humedad de confort que se debería tener. Esto se debe a que tanto en las condiciones externas como internas en la que se encuentra, tanto la temperatura como el porcentaje de humedad es elevado y por tanto se requiere de un sistema auxiliar que permita disminuir esas condiciones cuando se presenten.

Por esta razón, se opta por un sistema de aire acondicionado Split un sistema que cuenta con una unidad interior Split que se encarga de extraer aire caliente y ceder el calor que contiene al gas refrigerante para que el ventilador se encargue de distribuirlo en el interior donde ha sido situado. La otra unidad, es la exterior que se encarga de expulsar ese aire caliente que se produce en el interior. Esta unidad trabaja con un condensador donde ese gas refrigerante pasa de gas a líquido.

En esta ocasión se utilizará un sistema multi-split de baja potencia, donde se tendrán dos unidades interiores y una exterior. Estas dos unidades interiores se instalarán en las dos plantas de la vivienda.

La unidad exterior es de marca Toshiba RAS-5M34U2AVG-E. Cuenta con un COP de 4,24 y SEER de 6,3 junto con una capacidad de calefacción de 12 kW y refrigeración de 10 kW. Las unidades interiores es un sistema Shorai de Toshiba de referencia RAS-B24J2KVSG-E que cuenta con una potencia individual de 7 kW que cuenta con una etiqueta energética A++ y un SEER de 6,3.

Como se observa en la siguiente tabla, al instalar el sistema de multi-split en la vivienda la humedad relativa en un año está por debajo de los porcentajes óptimos que se deberían tener en la zona. Anteriormente, se notaba que en el mes de abril y en el mes de noviembre se tenían valores por encima y cerca del 87% de confort respectivamente. Al realizar la instalación de este sistema, anualmente se permite observar una reducción considerable en aquellos meses donde el porcentaje de humedad relativa era elevado. Si bien, en algunos de estos sigue sin ser el porcentaje adecuado de confort interno que se requiere como se nota en el mes de abril, para futuras mejoras de optimización energética se tendría en cuenta otras opciones para complementar este sistema ya instalado y permitir que haya confort en el interior de la vivienda para los ocupantes.

<b>Mes</b>	<b>Humedad relativa anterior (%)</b>	<b>Humedad relativa con sistema (%)</b>
<b>Enero</b>	84,4	78,94
<b>Febrero</b>	84,7	78,7
<b>Marzo</b>	82,34	77,22
<b>Abril</b>	89,28	85,37
<b>Mayo</b>	81,72	79,30
<b>Junio</b>	81,58	80,18
<b>Julio</b>	80,70	79,34
<b>Agosto</b>	79,81	78,16
<b>Septiembre</b>	78,73	76,90
<b>Octubre</b>	82,85	79,64
<b>Noviembre</b>	84,27	79,66
<b>Diciembre</b>	83,62	78,43

**Tabla 47. Sistema multi-split confort**

# 11. PRESUPUESTO ECONOMICO

## 11.1. Normativa

- CREG 030 – Sistemas de autogeneración

La comisión de regulación de energía y gas (CREG) ha sacado una normativa para los sistemas de autogeneración que quieran ser implementados en el país. Para poder montar un sistema de autogeneración se deben cumplir con ciertos requisitos. Por ejemplo, que el tamaño de la instalación sea menor que 1MW, el operador está obligado a comprar toda la producción de energía, contar con un medidor bidireccional.

Dentro de los beneficios de esta normativa se tiene

- ✓ Reducción del valor de factura mensual de energía
- ✓ Precio unitario no es cobrado, tan solo el precio de comercialización
- ✓ Recibir ingresos extra si los excedentes de energía son entregados al sistema de red

El procedimiento de conexión consta de los siguientes pasos

- ✓ revisión de disponibilidad de la vivienda o sitio de instalación donde se dará una aprobación por paleta de colores.
  - ✓ Llenado de formulario simplificado encontrado en la página de la ESSA o empresa de energía asociada
  - ✓ Instalación del sistema, se tendrá un máximo de 6 meses para realizar el procedimiento
  - ✓ El operador revisa la instalación y mensualmente puede revisar la misma
- Ley 1715 – 2014

Una de las leyes de beneficio económico para aquellas empresas o personas naturales que promuevan la utilización de sistemas de carácter renovable en los diferentes sectores y actividades con criterio sostenible, medioambiental, social y económico del país. Esta ley busca remunerar la autogeneración y la generación distribuida de excedentes a la red eléctrica.

Los requisitos para contar con esta remuneración es contar con un sistema de fuente no convencional instalado y funcional.

Los beneficios tanto para la empresa como persona natural son

- ✓ 50% de reducción de inversión distribuidos en los primeros 5 años donde se tenga una instalación funcional.
- ✓ Excepción de costo arancelario de equipos, insumos y/o servicios de instalación
- ✓ Reducción de no más del 20% de la tasa de depreciación de los equipos por no más de 5 años

## 11.2. Flujo de caja sistema de autoconsumo

El flujo de caja del proyecto para el sistema de autoconsumo muestra los precios por unidad de los elementos a utilizar en el proyecto. Este costo está en precio de euros y es puesto a precio de pesos colombianos. El margen de venta del 16% hace referencia a impuesto de las ventas de algunos equipos para la construcción de obras.

En este caso, se muestra en la tabla las mejoras utilizadas en la vivienda como son las contraventanas y el sistema multi-split, sin embargo, para los beneficios y cálculo de flujo de caja no son tenidos en cuenta debido a que esto es solo para sistemas de energías renovables.

El costo de inversión inicial sin las mejoras incluidas es de **50.408.188 COP**.

COSTOS DEL PROYECTO CON MARGEN DE VENTA				16%
Componente	Precio por Unidad	Cantidad	Valor Total [COP]	Precio por kW Instalado [US/kW]
Paneles solares	\$ 150	13	\$ 8.970.000	\$ 393
Inversor	\$ 2.526	1	\$ 11.621.808	\$ 509
Batería	\$ 400	8	\$ 14.720.000	\$ 645
Cableado	\$ 73	1	\$ 333.500	\$ 15
Regulador	\$ 626	2	\$ 5.762.880	\$ 253
Interruptor termomagnético	-	1	\$ 235.000	\$ 10
Contraventanas	\$ 500	6	\$ 13.800.000	\$ 605
Multi-split	\$ 4.500	1	\$ 20.700.000	\$ 907
		Mano de obra	\$ 7.000.000	\$ 307
		Medidor bidireccional	\$ 800.000	\$ 35
		Instalación ESSA	\$ 1.200.000	\$ 53
		<b>TOTAL, sin mejoras</b>	<b>\$ 50.408.188</b>	<b>\$ 2.220</b>

Tabla 48. Costo proyecto autoconsumo

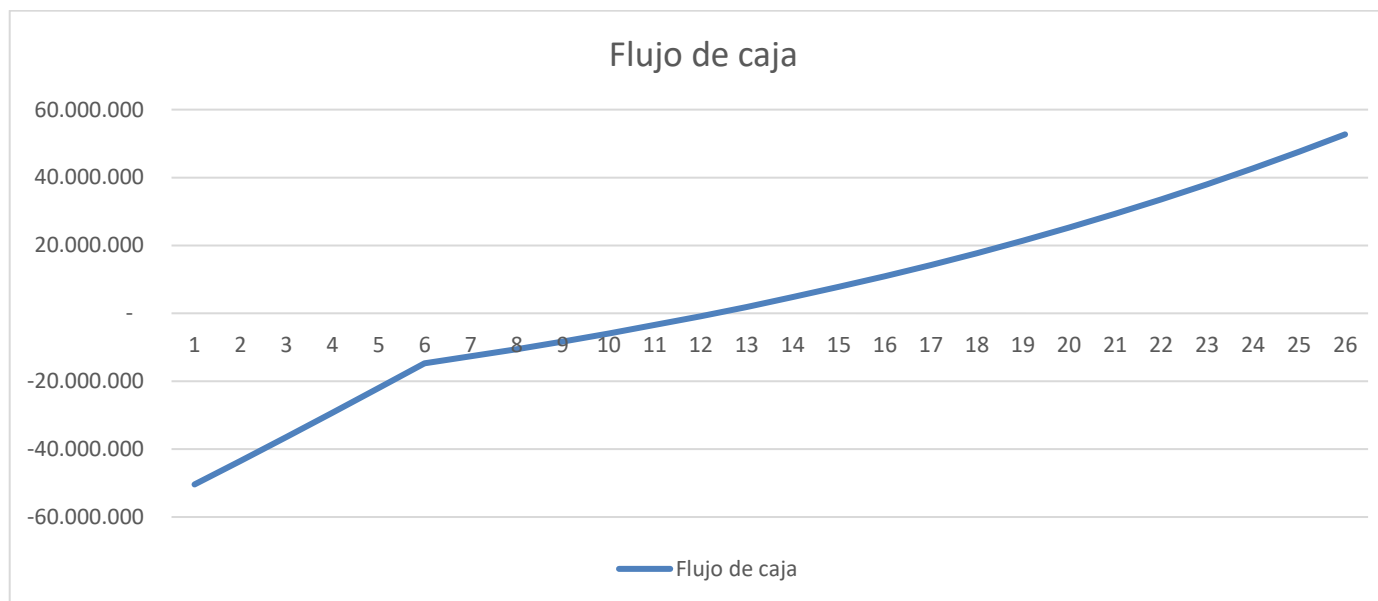
<b>Inflación:</b>						
	5,00%					
<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>+Sistema solar fotovoltaico</b>						
<b>Precio kWh Año (COP)</b>	528	554	582	611	642	674
<b>Desempeño del panel</b>	0,99	0,983	0,976	0,969	0,962	0,955
<b>Generación (kWh/año)</b>		4103,91	4103,91	4103,91	4103,91	4103,91
<b>Ahorro anual (COP)</b>		\$ 2.167.482,18	\$ 2.275.856,29	\$ 2.389.649,10	\$ 2.509.131,56	\$ 2.634.588,14
<b>Inversiones de capital que crean beneficio CAPEX (bienes y servicios)</b>	- 50.408.188					
<b>Costo O&amp;M</b>		570.000	598.500	628.425	659.846	692.839

<b>+Beneficios tributarios Ley 1715</b>						
<b>Incentivo renta (50%)</b>	-	5.040.819	5.040.819	5.040.819	5.040.819	5.040.819
<b>Depreciación activos (20%)</b>	-	333.146	333.146	333.146	333.146	333.146

<b>Flujo de caja operativo</b>	-	-	-	-	-	-
	<b>50.408.188</b>	<b>6.969.566,48</b>	<b>7.051.320,59</b>	<b>7.135.188,41</b>	<b>7.223.249,61</b>	<b>7.315.713,88</b>
<b>Flujo de caja acumulado</b>	-	-	-	-	-	-
	<b>50.408.188</b>	<b>43.438.621,52</b>	<b>36.387.300,92</b>	<b>29.252.112,52</b>	<b>22.028.862,91</b>	<b>14.713.149,03</b>
<b>VPN</b>	\$ 52.702.943,34					
<b>IRR (%)</b>	7%					
<b>RETORNO (años)</b>	11,31					

**Tabla 49. Flujo de caja autoconsumo**

Se puede observar en la siguiente tabla de flujo de caja para los primeros 5 años de funcionamiento del sistema, un retorno en el **año 11,3** aproximadamente. Donde tiene el VPN tiene un valor de más de **52 millones COP** para los **25 años** de funcionamiento esperado del sistema total.



**Gráfica 5. Flujo de caja autoconsumo**

### 11.3. Flujo de caja sistema conexión a red

Como se explicó anteriormente, este es el costo del proyecto de conexión a red donde se tiene en cuenta el mismo porcentaje de venta del 16% de la propuesta anterior.

El costo de inversión inicial sin las mejoras incluidas es de **35.604.424 COP**.

COSTOS DEL PROYECTO CON MARGEN DE VENTA				16%
Componente	Precio por Unidad	Cantidad	Valor Total [COP]	Precio por kW Instalado [US/kW]
Paneles solares	\$ 110	21	\$ 10.626.000	\$ 238
Inversor	\$ 3.248	1	\$ 14.940.800	\$ 335
Cableado	\$ 111	4	\$ 2.049.024	\$ 46
Interruptores termomagnéticos	-	4	\$ 188.600	\$ 4
Contraventanas	\$ 580	6	\$ 16.008.000	\$ 359
Multi-split	\$ 5.220	1	\$ 24.012.000	\$ 538
		Mano de obra	\$ 7.000.000	\$ 157
		Medidor bidireccional	\$ 800.000	\$ 18
		<b>TOTAL, sin mejoras</b>	<b>\$ 35.604.424</b>	<b>\$ 798</b>

**Tabla 50. Costo proyecto conexión a red**

<b>Inflación:</b>						
	5,00%					
<b>Años</b>	0	1	2	3	4	5
<b>+Sistema solar fotovoltaico</b>						
<b>Precio kWh Año (COP)</b>	528	554	582	611	642	674
<b>Desempeño del panel</b>	0,99	0,983	0,976	0,969	0,962	0,955
<b>Generación (kWh/año)</b>	15.447	15.337,77	15.228,55	15.119,33	15.010,11	14.900,89
<b>Ahorro anual (COP)</b>		\$ 4.940.321,99	\$ 5.066.279,18	\$ 5.195.744,96	\$ 5.328.827,62	\$ 5.465.639,12
<b>Inversiones de capital que crean beneficio CAPEX (bienes y servicios)</b>	- 35.604.424					
<b>Costo O&amp;M</b>		1.500.000	1.575.000	1.653.750	1.736.438	1.823.259

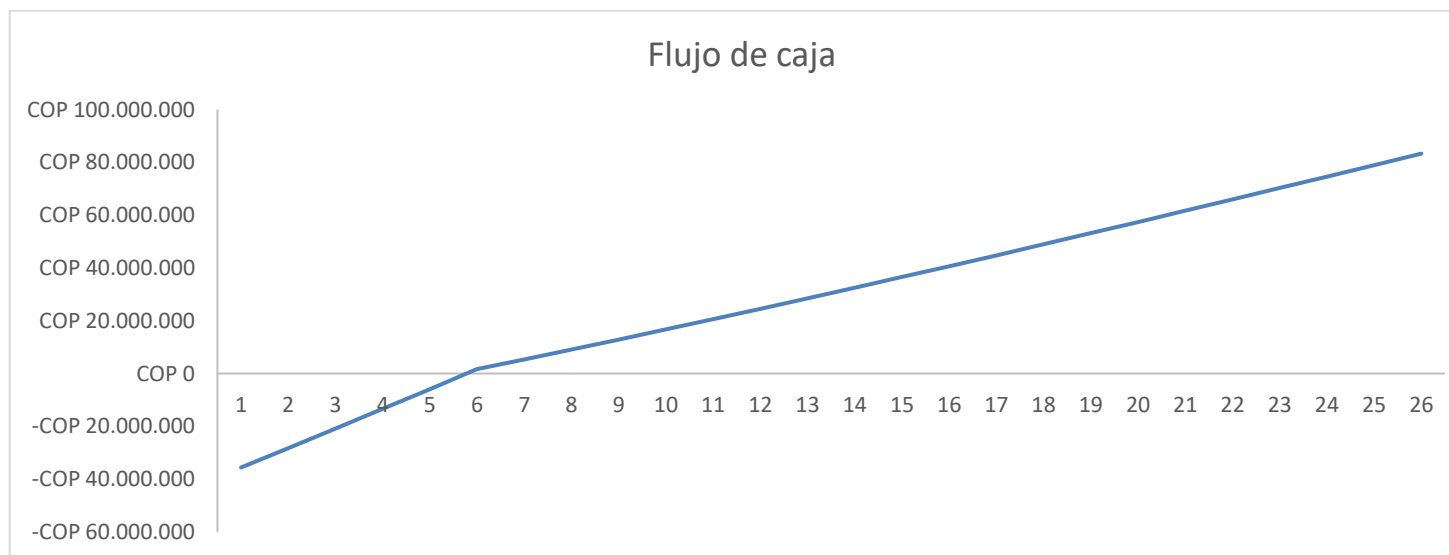
<b>+Beneficios tributarios Ley 1715</b>						
<b>Incentivo renta (50%)</b>	-	3.560.442	3.560.442	3.560.442	3.560.442	3.560.442
<b>Depreciación activos (20%)</b>	-	350.499	350.499	350.499	350.499	350.499



Flujo de caja operativo	-	35.604.424	7.351.263,78	7.402.220,97	7.452.936,76	7.503.331,91	7.553.321,54
Flujo de caja acumulado	-	35.604.424	28.253.160,22	20.850.939,24	13.398.002,49	5.894.670,57	1.658.650,97
VPN	\$ 83.316.952,77						
IRR (%)	16%						
RETORNO (años)	5,78						

Tabla 51. Flujo de caja conexión a red

Se puede observar en la siguiente tabla de flujo de caja para los primeros 5 años de funcionamiento del sistema, un retorno en el **año 6** aproximadamente. Donde tiene el VPN tiene un valor de más de **83 millones COP** para los **25 años** de funcionamiento esperado del sistema total.



Gráfica 6. Flujo de caja conexión a red

## **12. CONCLUSIONES**

Este trabajo tenía como principal objetivo la propuesta de cálculo de una instalación fotovoltaica para una vivienda en Colombia, esta propuesta fue llevado a cabo por medio de análisis climatológico de la ciudad, teniendo en cuenta los diferentes consumos que se veían reflejados en la vivienda, el análisis solar que se realiza al sitio donde está ubicada la vivienda y a partir de ahí proponer dos tipos de instalación fotovoltaica.

El sistema de conexión a red es económicamente viable para cualquier tipo de instalación que se quiera poner, debido a que no requiere de gran inversión en la parte de acumular la energía para ser utilizada en la noche. Este sistema buscaría cubrir la demanda de la vivienda mes a mes y aquellos excedentes generados poder ser planteados para vender a la red. Por otro lado, el sistema de autoconsumo propuesto a pesar de que tenga un costo de inversión mayor buscaría la inclusión total de sistemas de energía renovable en la vivienda, lo cual en la actualidad es altamente llamativo y necesario de implementación. Estas dos propuestas adicionalmente van de la mano con los incentivos tributarios que se realizan en el país, que busca generar el crecimiento mas acelerado en la utilización de energías renovables en los sectores económicos del país.

Por otro lado, en Colombia el sistema de tipo aislado no está en alta demanda debido a los altos costos de las baterías o sistemas de acumulación que se necesitarían instalar, pero cabe resaltar que al no ser tan demandado podría ser una manera de incentivo para el sector residencial a nivel nacional a tomar medidas en el crecimiento de estos sistemas, ya que a futuro serían ellos los que más contribuirían a la reducción de porcentaje de emisión de GEI.

Por otro lado, se planteó un análisis inicial de confort interno de la vivienda. La finalidad de este análisis era conocer a priori el comportamiento bioclimático que tenía la vivienda. Si bien hay diferentes variables que juegan un papel importante en el confort interno de una edificación, que va desde, materiales de construcción, orientación, temperatura, humedad relativa, aprovechamiento de viento, entre otras, que tendrán un papel importante para la optimización energética de una vivienda.

En este caso, se realizó un análisis inicial donde se pretendía conocer el confort interno, es decir, variables como humedad y temperatura interna, que papel jugaban en los ocupantes de la vivienda. A partir de este conocimiento, se plantean pequeñas mejoras a esta que permitirán el crecimiento en el rendimiento de confort interno. Para detalles más completos y de carácter

bioclimático se requiere de analizar a profundidad otras variables que también están en juego en la vivienda, debido a que es una construcción antigua se deberá tener en cuenta todas esas partes que impidan que la vivienda sea óptima energéticamente, cause pérdidas de calor y genere inconformidad en los ocupantes.

A priori, propuestas como, mejoras de equipos electrónicos, aislante térmico en las zonas de pérdidas de calor, mejora de sistemas de agua caliente sanitaria, entre otras son mejoras que podrían ser implementadas en el futuro.

Finalmente, este trabajo concluye que tanto a nivel de Colombia como a nivel mundial el crecimiento en la implementación de diferentes tecnologías energéticas para la mejora de los sectores económicos debe ser aún más reforzado. Cada uno de estos sectores tiene un porcentaje de emisión de GEI, que mes a mes y anualmente están causando daño al medio ambiente. La transición energética específicamente en Colombia ha tomado años en desarrollar e implementar los diferentes proyectos para diversificar la matriz energética lo que ha llevado a Colombia a ralentizar el crecimiento en esta implementación. Por esta razón, se buscaría la implementación y el crecimiento en utilización de tecnologías para la obtención de energía limpia, que permita el progreso de Colombia en su disminución en las emisiones de GEI.

## 13. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. León, “Zonas bioclimaticas de Colombia y sus características.” [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/zonas-bioclimaticas-colombia/>.
- [2] M. A. Blanco, “Diseño de un sistema de contraventanas con aislamiento e inercia termica.,” 2017.
- [3] W. Spark, “Clima promedio bucaramanga.” [Online]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/24381/Clima-promedio-en-Bucaramanga-Colombia-durante-todo-el-año>.
- [4] A. D. M. Hernández, “INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOCONSUMO DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR,” 2018.
- [5] OVACEN, “Tipos de sistemas de climatización y ejemplos.” <https://ovacen.com/tipos-sistemas-de-climatizacion-ejemplos/>.
- [6] S. Montserrat Serrano and M. Villarrubia López, “Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética,” pp. 3–97, 2012, [Online]. Available: [http://catalog.upc.edu/record=b1412883~S1\\*cat](http://catalog.upc.edu/record=b1412883~S1*cat).
- [7] C. Lirola, “Viviendas bioclimaticas.”
- [8] UPME, “Plan de acción indicativo de eficiencia energetica.” [Online]. Available: [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf).
- [9] J. Manzanero, “Medidas bioclimaticas que pueden aplicarse en tu casa.” [Online]. Available: <https://ecoemas.com/9-medidas-bioclimaticas-que-puedes-aplicar-facilmente-en-tu-propia-casa/>.
- [10] M. Idea, “¿Qué es un aire acondicionado split?” [Online]. Available: <https://www.midea.es/blog/que-es-un-aire-acondicionado-split/>.
- [11] J. A. Moreno, “Incentivos tributarios para generación de energia a traves de fuentes no convencionales en Colombia,” 2017. .
- [12] C. Fernando and A. Rodríguez, “Comfort in Colombian social housing,” 2017.
- [13] C. M. E. REY, “GUIA METODOLOGICA PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A PEQUEÑA ESCALA EN COLOMBIA,” vol. 4, pp. 9–15, 2017.
- [14] E. Mejahed and J. Ahmed, “Cálculo y diseño de una instalación fotovoltaica, situada en el polígono Riu Clar de Tarragona,” 2014.
- [15] N. P. Roman, “La eficiencia energetica en el uso de la vivienda.”
- [16] ACCEFYN, “Factores de emisión de los combustibles colombianos. Informe final, presentado a UPME.,” p. 26, 2003.
- [17] L. Republica, “Colombia potencia energetica,” 2020.

<https://www.larepublica.co/especiales/colombia-potencia-energetica/en-colombia-el-factor-de-emision-de-co2-por-generacion-electrica-es-de-16438-gramos-por-kwh-2966236#:~:text=En Colombia el factor de,164%2C38 gramos por kWh.>


- [18] T. Colombia, "Pisos termicos Colombia." [Online]. Available: <https://www.todacolombia.com/geografia-colombia/pisos-termicos.html>.
- [19] J. C. P. Álvarez, "GUÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CONECTADOS Y APLICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN CREG 030 DE 2018 PARA INYECTAR EXCEDENTES DE ENERGÍA A LA RED," 2019.
- [20] E. Carrasco, "Margen de ventas," 2020. <https://www.stelorder.com/blog/margen-de-venta/>.
- [21] J. C. Pinilla, "Aplicaciones Fotovoltaicas .," no. 1, pp. 4–8.
- [22] IDEAM, "Inventario nacional y departamental de gases de efecto invernadero - Colombia."
- [23] L. R. Chaparro, M. P. Cuervo, J. Gomez, and M. A. Toro, "Emisiones al medio ambiente en Colombia."
- [24] F. Energia, "¿Qué es la eficiencia energetica?" <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>.
- [25] Calendar, "Estaciones del año Colombia." [Online]. Available: <https://www.calendarr.com/colombia/estaciones-del-ano/>.
- [26] C. J. G. GÓMEZ and CASTILLO MARITZA LILIANA JIMÉNEZ, "PROPUESTA CONSTRUCTIVA PARA LA MEJORA DEL CONFORT TÉRMICO DE UNA VIVIENDA. CASO DE ESTUDIO - VEREDA SABANETA, SAN FRANCISCO CUNDINAMARCA.," 2015.
- [27] Roto, "Transmitancia termica de una ventana," 2017. [Online]. Available: <https://www.rotofrank-aluvision.com/transmitancia-termica-de-una-ventana/>.
- [28] Vilssa, "Contraventanas." [Online]. Available: <https://vilssa.com/contraventana>.
- [29] W. Atlas, "Previsión meteorologica bucaramanga." [Online]. Available: <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/bucaramanga-clima>.
- [30] Alcaldia de Bucaramanga, "División politica Bucaramanga," Bucaramanga. [Online]. Available: <https://www.bucaramanga.gov.co/el-mapa/division-politico-urbana/>.
- [31] E. y Sociedad, "Eficiencia Energetica." [Online]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/>.
- [32] Infonavit, "Estudio de la optimizacion de la eficiencia energetica en viviendas de interes social."
- [33] D. Macro, "Colombia - Emisiones CO2." <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/colombia#:~:text=En Colombia se incrementan las emisiones de CO2&text=Las emisiones de CO2 en 2019 han sido de 86.550,de menos a más contaminantes.>
- [34] PrevencionIntegral&ORP, "Que sectores economicos contribuyen más a la emisión de CO2," 2019. <https://www.prevencionintegral.com/actualidad/noticias/2019/07/28/dato-dia-que-sectores-economicos-contribuyen-mas-emision-co2>.
- [35] G. De Catalunya, C. Interdepartamental, and D. C. Climático, "Gases, Emisiones D E


- Invernadero, D E Efecto,” pp. 0–66, 2011.
- [36] J. A. Ladrón, *Diseño y calculo de una instalacion fotovoltaica aislada*. 2018.
- [37] UPME and L. Escobar, “Plan energetico nacional 2020 - 2050,” 2020.
- [38] P. A. R. MARTINEZ, “COMPORTAMIENTO Y VARIACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO, A PARTIR DEL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN Y ADECUACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y ENVOLVENTE DE LA EDIFICACIÓN,” 2018.
- [39] J. C. Pinilla, “TEMA 3: APLICACIONES FOTOVOLTAICAS 3.1 Instalaciones Autónomas,” pp. 1–35.
- [40] F. Rodríguez Buitrago and A. M. Gutiérrez Fernández, “de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero . caso de estudio anaira hostel Carbon footprint reduction , through the implementation of a photovoltaic system in the hospitality industry . study case,” 2017.
- [41] C. Data, “Bucaramanga clima.” [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/santander/bucaramanga-5923/>.
- [42] FABIO DE JESÚS ACEVEDO GARCÉS, “DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILO,” vol. 147, pp. 11–40, 2016.

# 1. ANEXOS




## 1. ANEXO I – INVENTARIO





### LUMINARIAS



Foto	Nombre	Potencia [W]	Tipo	Cantidad	Potencia total [W]	Potencia [kW]	Lumen
	Bombillo espiral pequeño	9	Fluorescentes	4	36	0,036	540

	Bombillo tubo	10	LED	2	20	0,02	900
	Bombillo circular	6	Fluorescentes	2	12	0,012	490
	Bombillo circular grande	20	LED	6	120	0,12	1600



	Bombillo tubo largo	36	LED	4	144	0,144	1600
	Bombillo exterior farol	60	Fluorescentes	1	60	0,06	2160
	Bombillo circular 2	6	Fluorescentes	3	18	0,018	490

	Bombillo espiral grande	65	Fluorescentes	2	130	0,13	3600
	Bombillo araña circular	5	LED	5	25	0,025	250
	Bombillo araña espiral	3	LED	5	15	0,015	90
	Tubo	14	Fluorescentes	5	70	0,07	1300

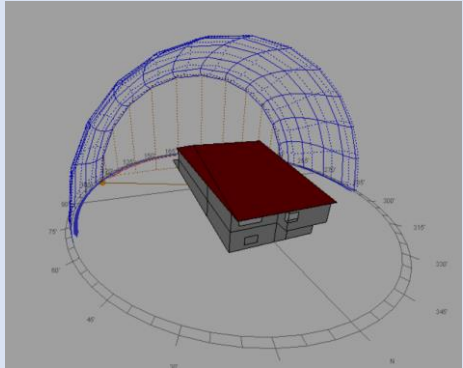
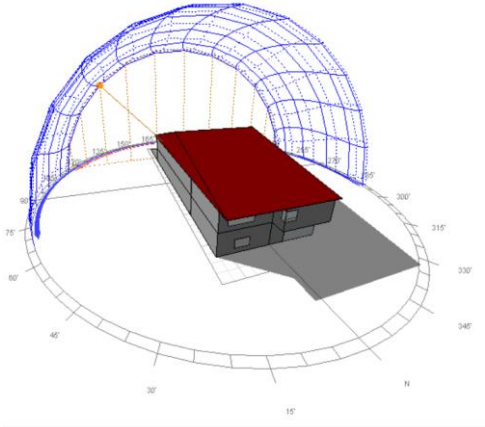
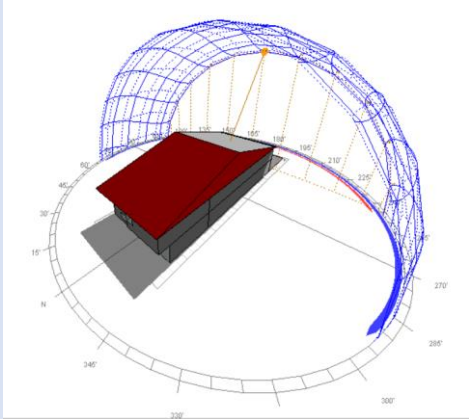
	Circular plano	32	Fluorescentes	1	32	0,032	1100
	Bombillo circular pequeño	6	LED	12	72	0,072	1440

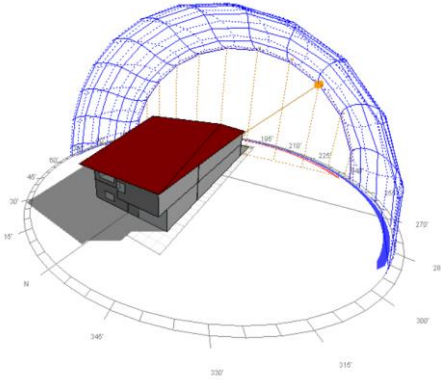
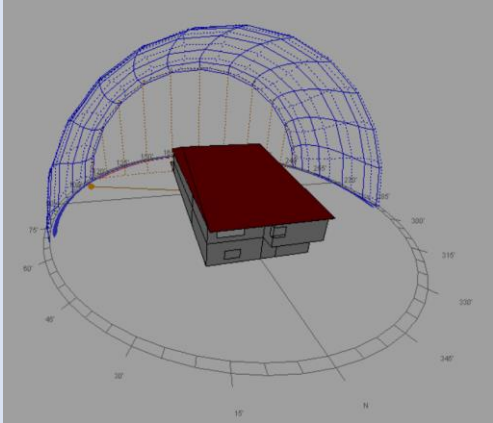
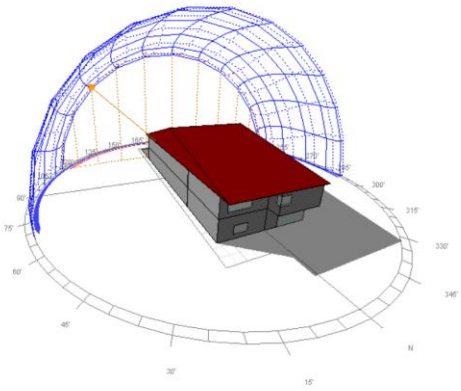
## ELECTRODOMESTICOS

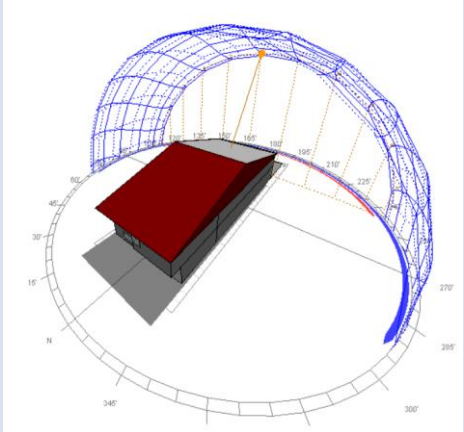
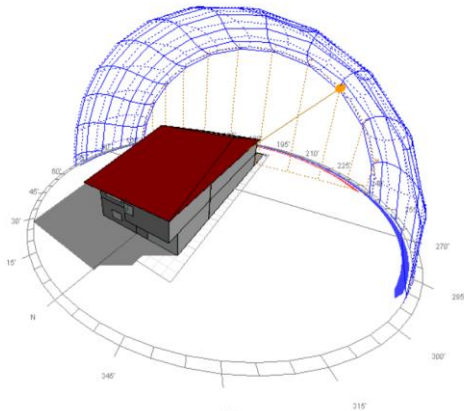
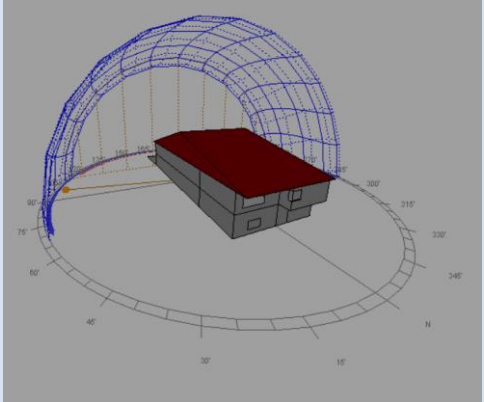
Descripción	Potencia [kW]	Horas encendidas		Consumo [kWh]
Televisor LG	<b>Normal</b> 0,085	0,5	día	0,0425
	<b>StanBy</b> 0,0002	23,5	día	0,0047
Televisor LG - Tipo 2	<b>Normal</b> 0,29	0,5	día	0,145
	<b>StanBy</b> 0,0002	23,5	día	0,0047
Televisor Sony	<b>Normal</b> 0,2	1	día	0,2
	<b>StanBy</b> 0,0002	23	día	0,0046
Televisor Samsung	<b>Normal</b> 0,2	3	día	0,6
	<b>StanBy</b> 0,0002	21	día	0,0042
Ventilador Sankey	0,062	17	día	1,0540
Ventilador Sankey	0,06	7	día	0,4200
Portátil Lenovo	0,052787	8	día	0,4223
Cargador iPhone -Tipo1	0,005	3	día	0,0150
Internet Amplificador	0,012	24	día	0,2880
Cargador iPhone -Tipo1	0,005	6	día	0,0300
Plancha pelo	0,11	0,167	día	0,0183
Cargador iPhone -Tipo1	0,005	3	día	0,0150
Aire Acondicionado	1,09	0,05	día	0,0519
Cargador iPhone -Tipo1	0,005	6	día	0,0300
Radio Sony	0,005	24	día	0,1200

Nevera On	0,1250	8	día	1,0000
Nevera Standby	0,1250	16	día	2,0000
Portátil HP	0,065	10	día	0,6500
Modem Internet	0,012	24	día	0,2880
Cargador iPhone -Tipo2	0,018	1,5	día	0,0270
Portátil Lenovo	0,05607	7	día	0,3925
Impresora Epson	0,009	0,5	día	0,0045
Cargador Apple Watch	0,005	3	día	0,0150
Lavadora	0,100	2,5	día	0,2500
Estéreo	0,16	0,15	día	0,0240
Grabadora	0,015	10	día	0,1500
Teléfono inalámbrico Standby	0,0006	24	día	0,0144

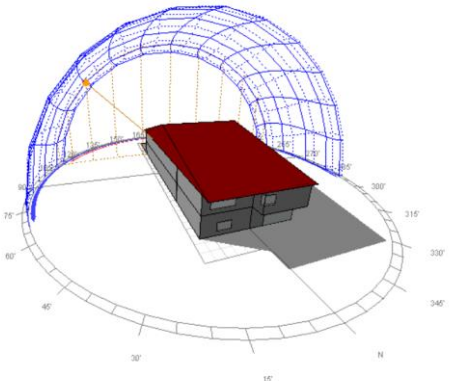
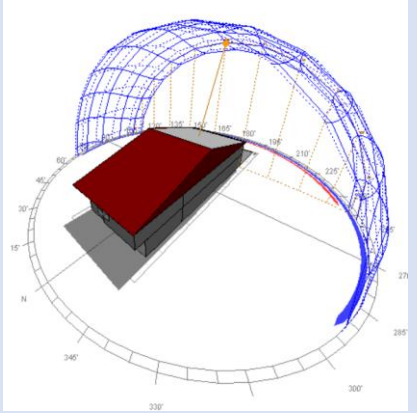
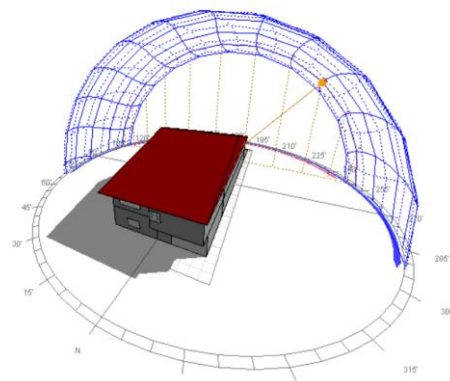
**2. ANEXO II – ANALISIS SOLAR**

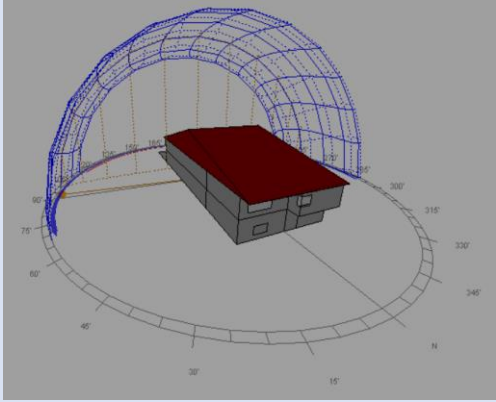
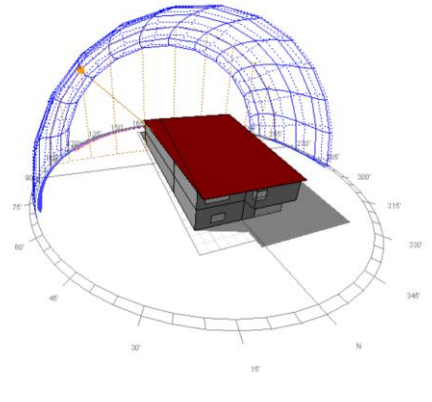
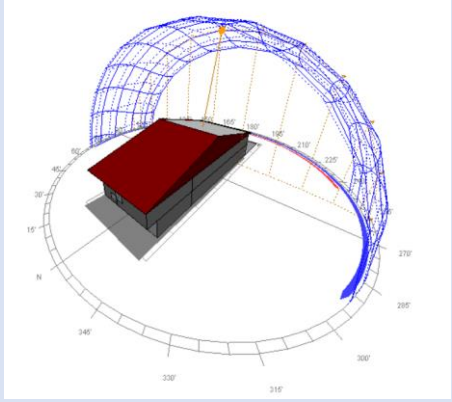
Mes	Radiación kWh/m2	Hora	Imagen
Enero 1	139	6 am	
Enero 1	139	9 am	
Enero 1	139	12 am	

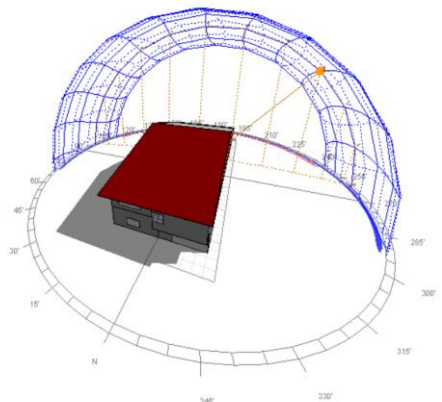
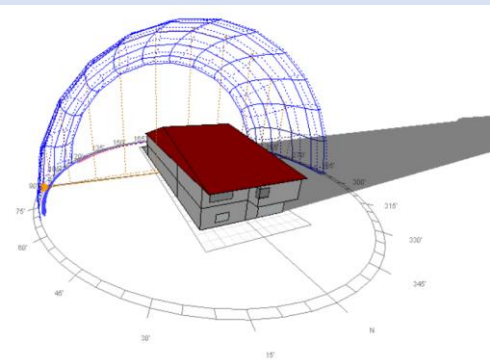
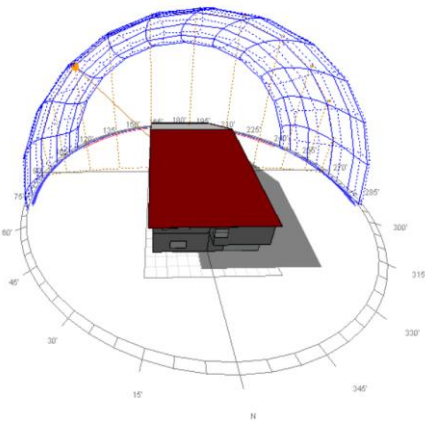
<p><b>Enero 1</b></p>	<p>139</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Enero 12</b></p>	<p>139</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Enero 12</b></p>	<p>139</p>	<p>9 am</p>	

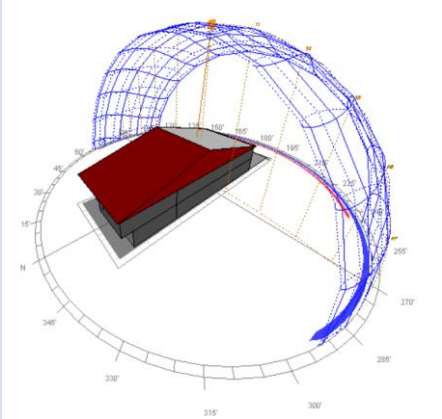
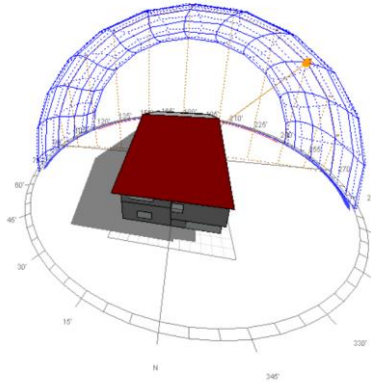
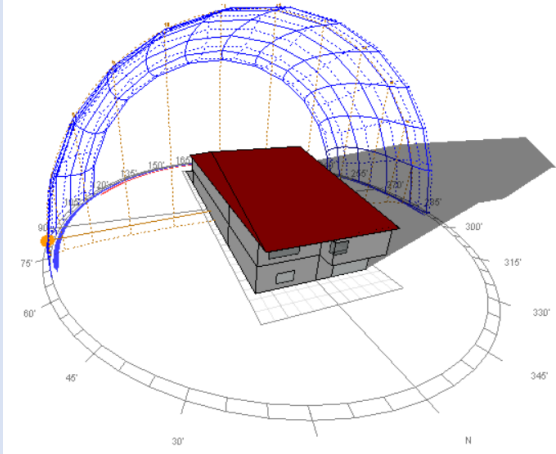
<b>Enero 12</b>	139	12 am	
<b>Enero 12</b>	139	3 pm	
<b>Enero 31</b>	139	6 am	

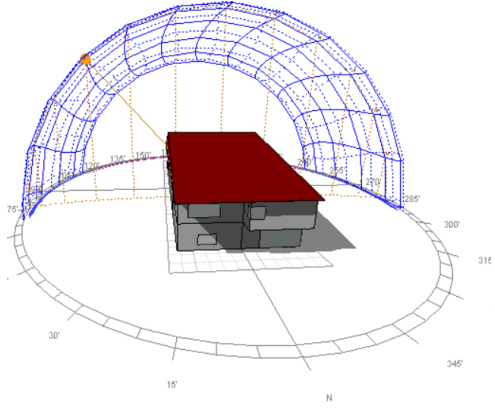
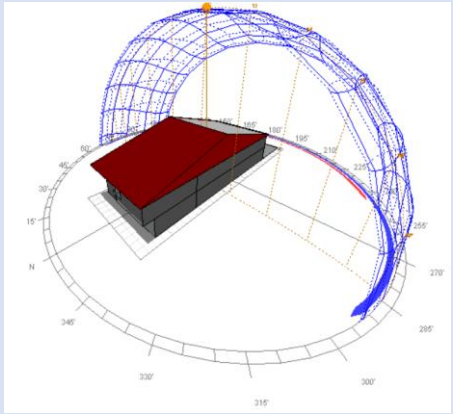
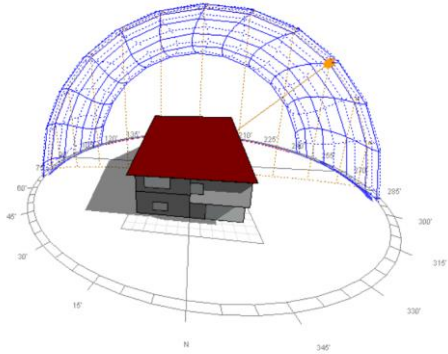


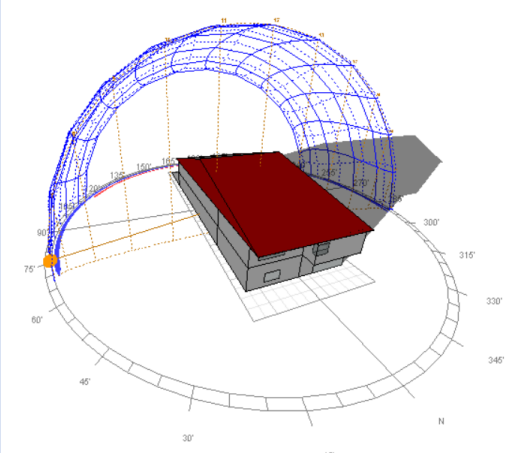
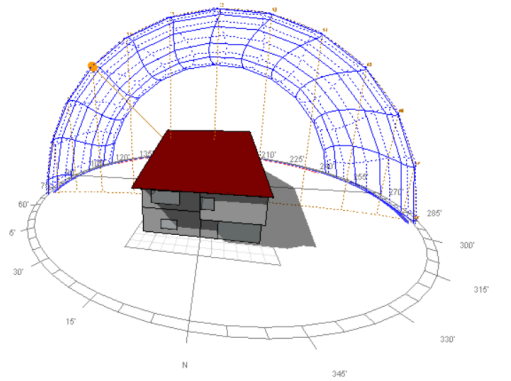
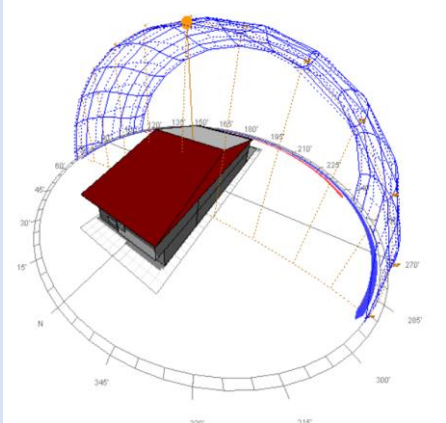
<p><b>Enero 31</b></p>	<p>139</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Enero 31</b></p>	<p>139</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Enero 31</b></p>	<p>139</p>	<p>3 pm</p>	

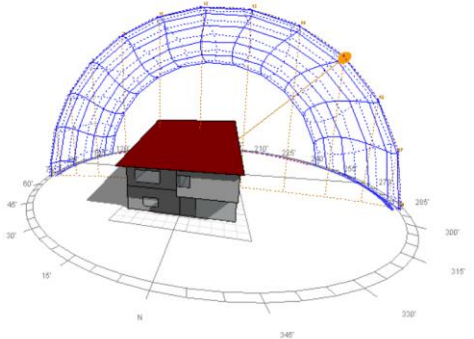
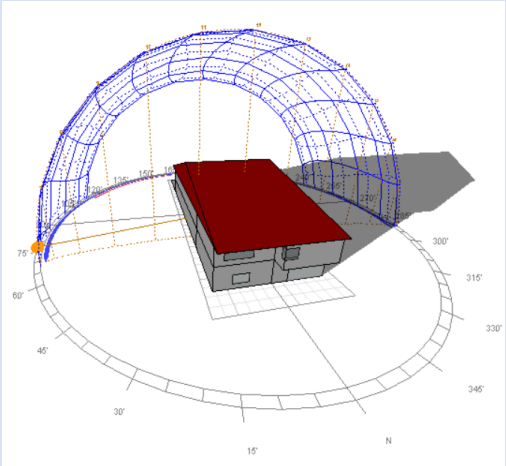
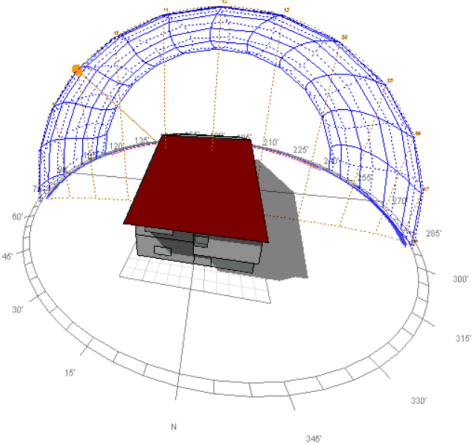
<p><b>Marzo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Marzo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Marzo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>12 am</p>	

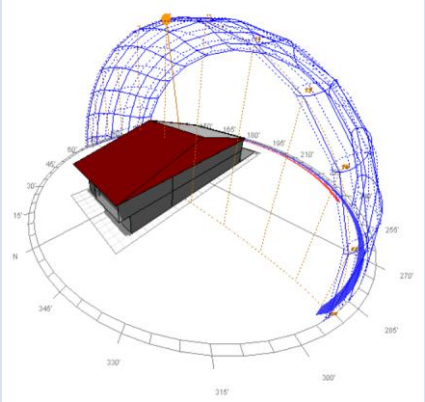
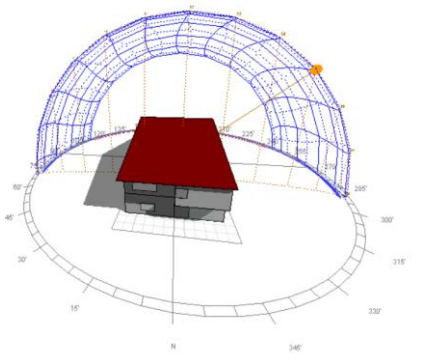
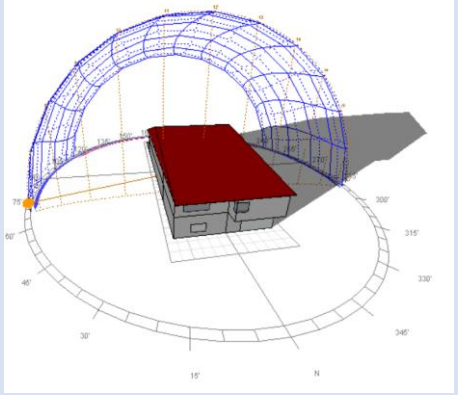
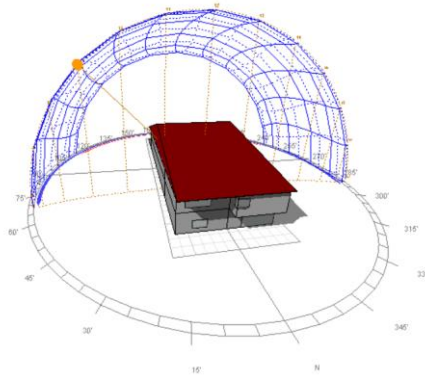
<p><b>Marzo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Marzo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Marzo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>9 am</p>	

<b>Marzo 31</b>	144	12 am	
<b>Marzo 31</b>	144	3 pm	
<b>Mayo 1</b>	144	6 am	

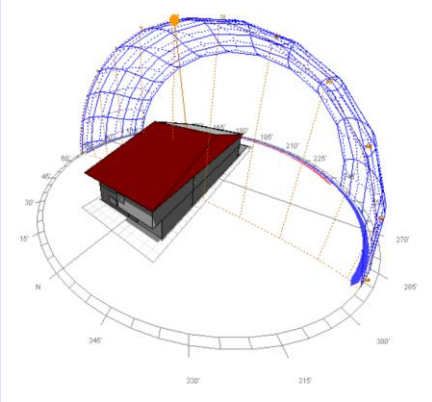
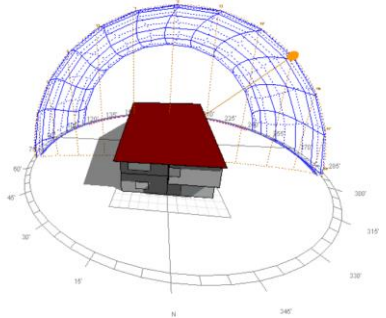
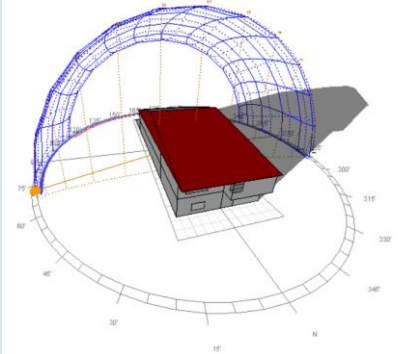
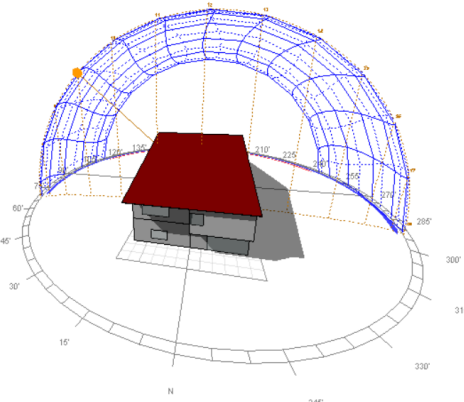
<p><b>Mayo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Mayo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Mayo 1</b></p>	<p>144</p>	<p>3 pm</p>	

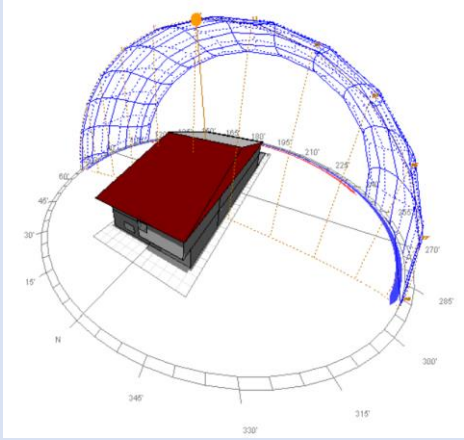
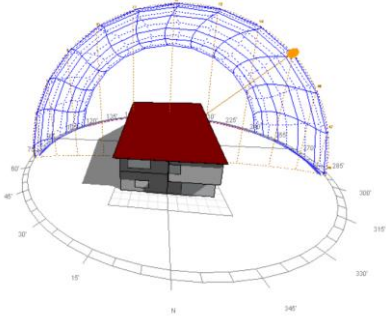
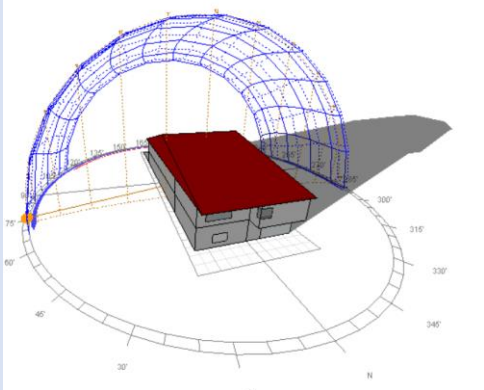
<p><b>Mayo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Mayo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Mayo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>12 am</p>	

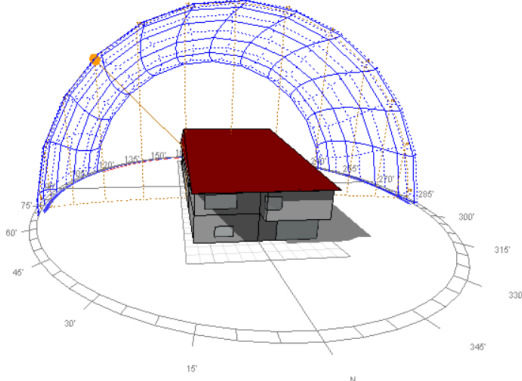
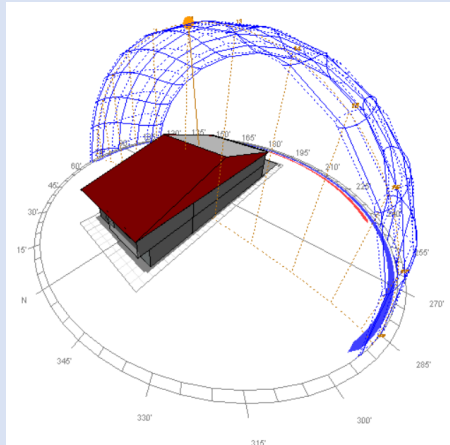
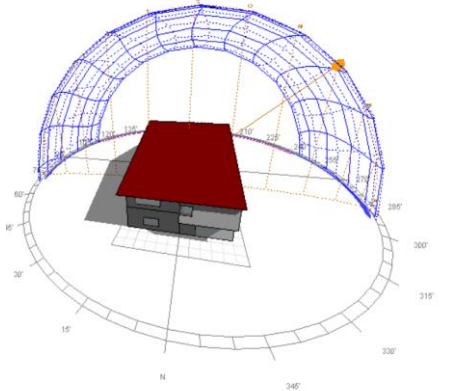
<p><b>Mayo 31</b></p>	<p>144</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Junio 1</b></p>	<p>141</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Junio 1</b></p>	<p>141</p>	<p>9 am</p>	

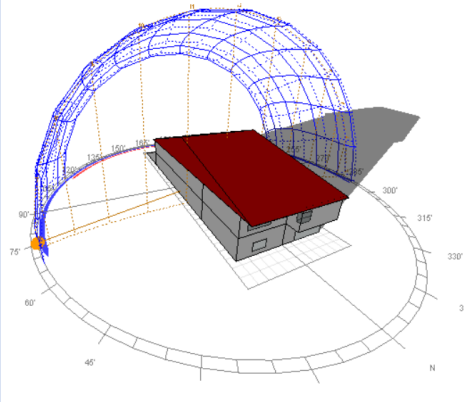
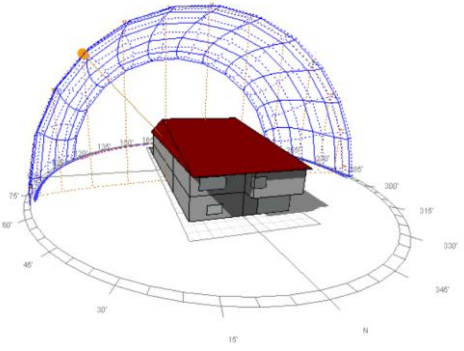
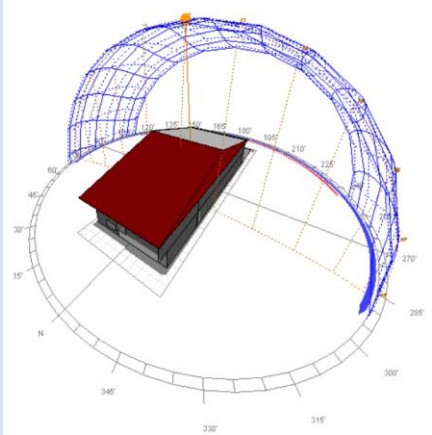
<p><b>Junio 1</b></p>	<p>141</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Junio 1</b></p>	<p>141</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Junio 30</b></p>	<p>141</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Junio 30</b></p>	<p>141</p>	<p>9 am</p>	

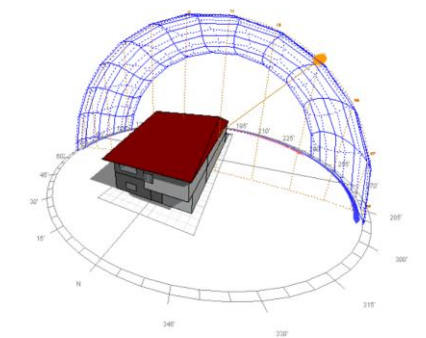
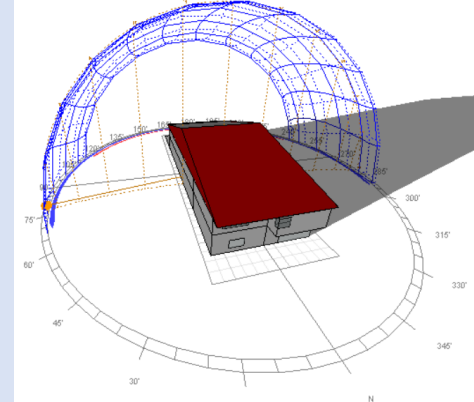
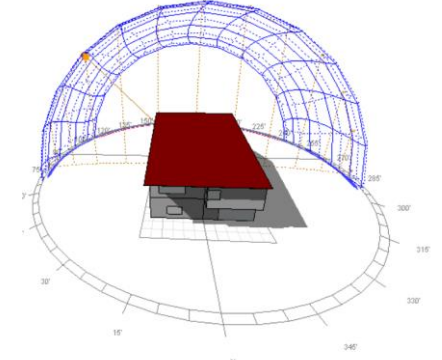


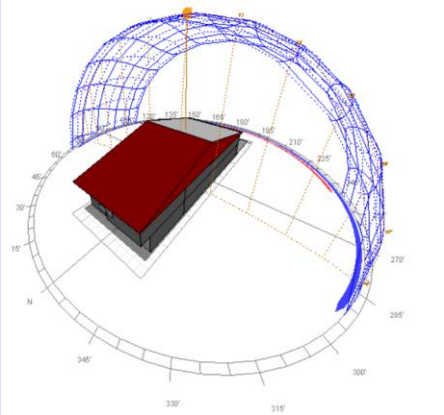
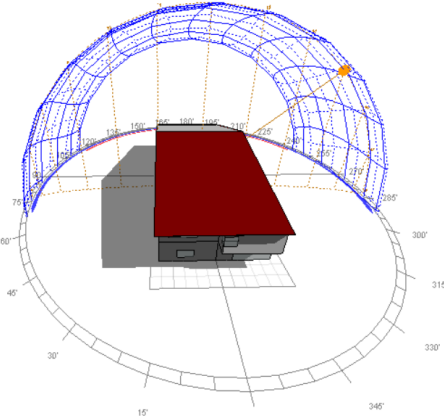
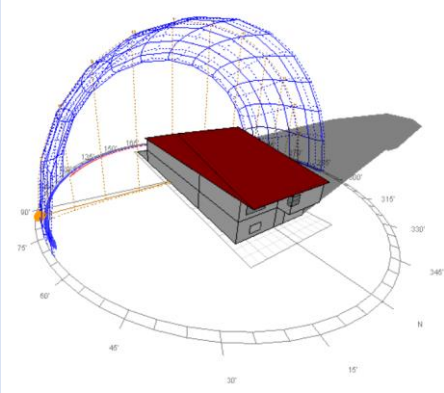
<p><b>Junio 30</b></p>	<p>141</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Junio 30</b></p>	<p>141</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Julio 1</b></p>	<p>150</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Julio 1</b></p>	<p>150</p>	<p>9 am</p>	

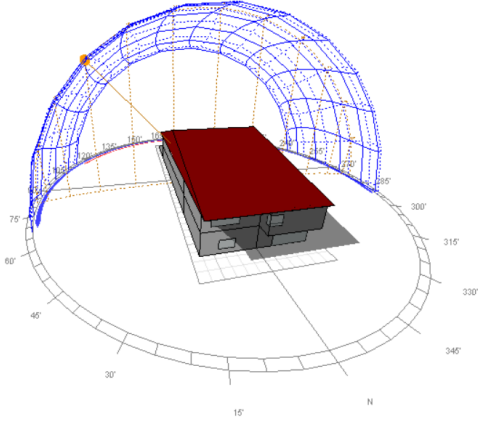
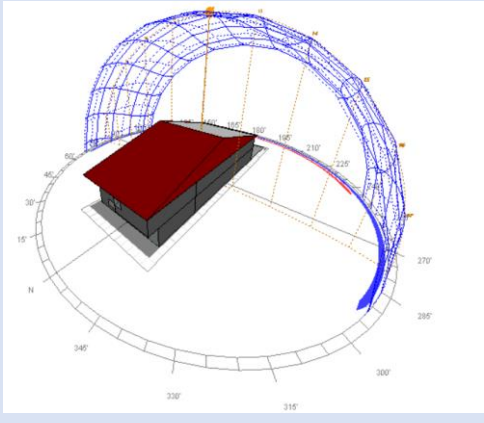
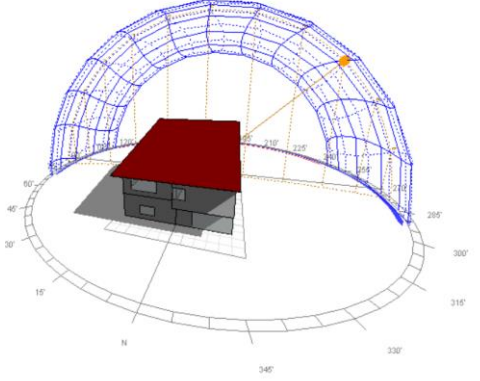
<p><b>Julio 1</b></p>	<p>150</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Julio 1</b></p>	<p>150</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Julio 31</b></p>	<p>150</p>	<p>6 am</p>	

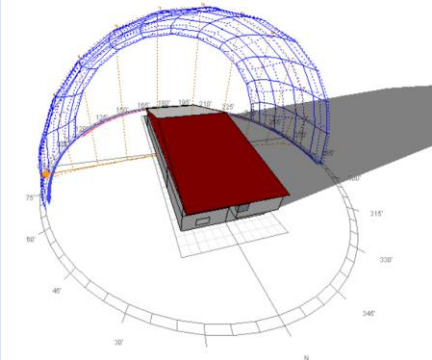
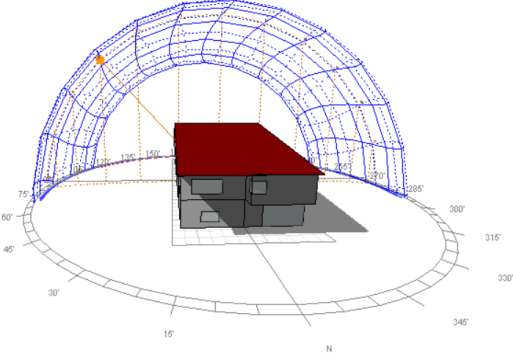
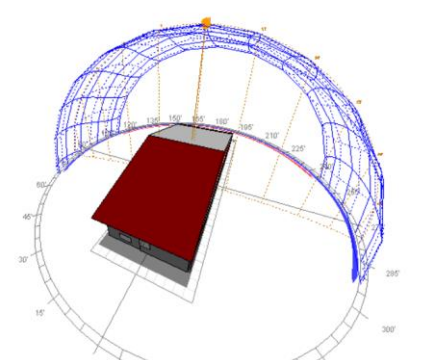
<p><b>Julio 31</b></p>	<p>150</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Julio 31</b></p>	<p>150</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Julio 31</b></p>	<p>150</p>	<p>3 pm</p>	

<p><b>Agosto 1</b></p>	<p>155</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Agosto 1</b></p>	<p>155</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Agosto 1</b></p>	<p>155</p>	<p>12 am</p>	

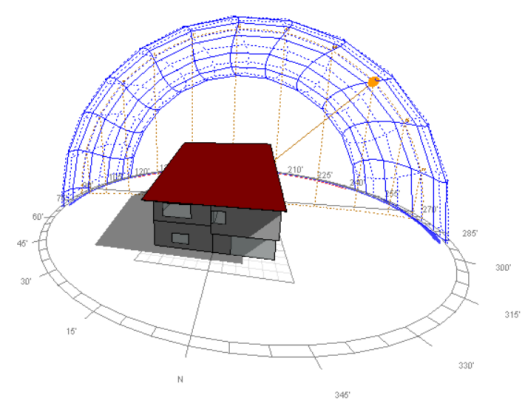
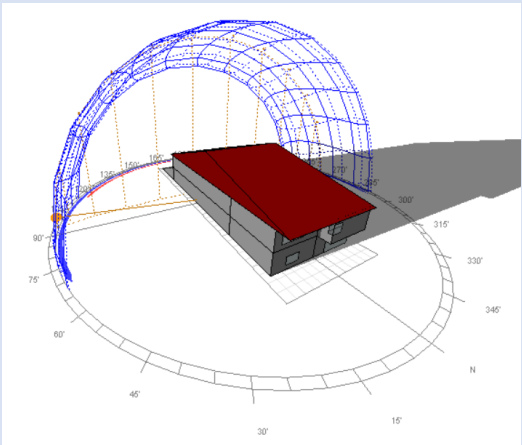
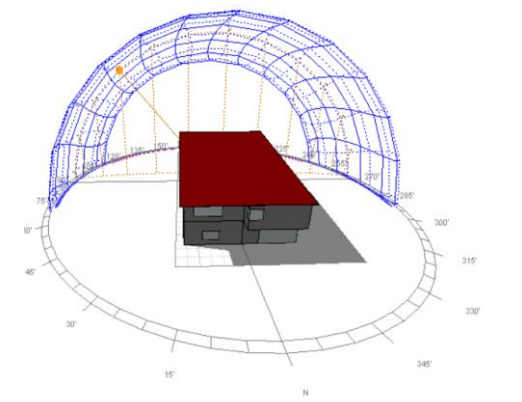
<p><b>Agosto 1</b></p>	<p>155</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Agosto 17</b></p>	<p>155</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Agosto 17</b></p>	<p>155</p>	<p>9 am</p>	

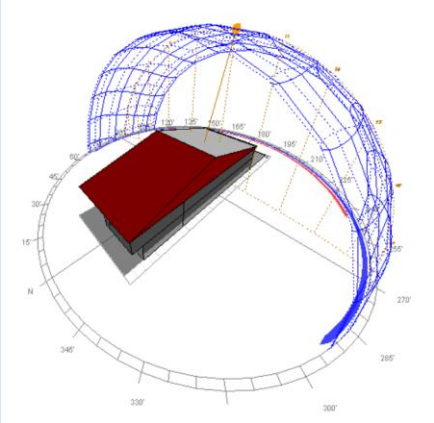
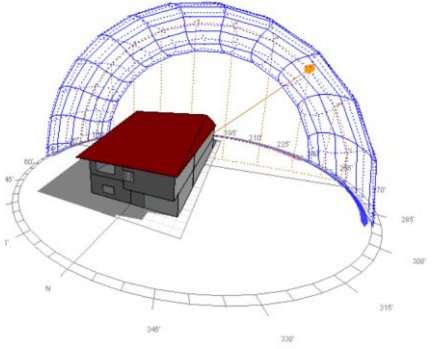
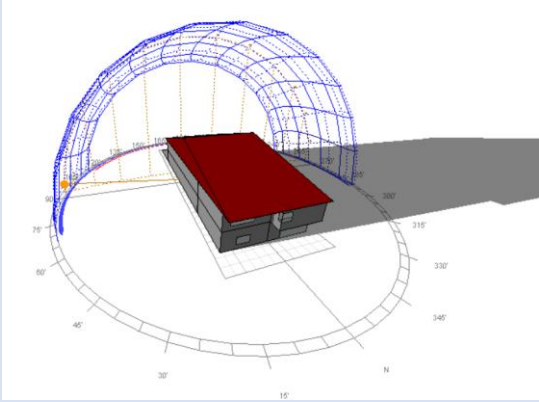
<p><b>Agosto 17</b></p>	<p>155</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Agosto 17</b></p>	<p>155</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Agosto 31</b></p>	<p>155</p>	<p>6 am</p>	

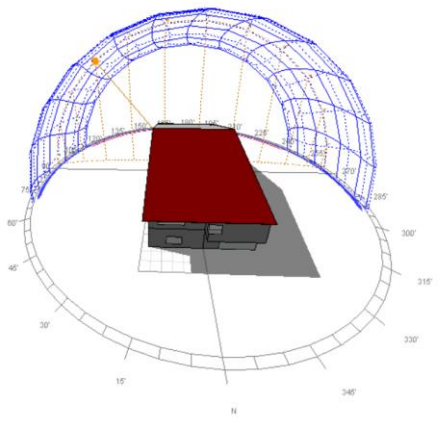
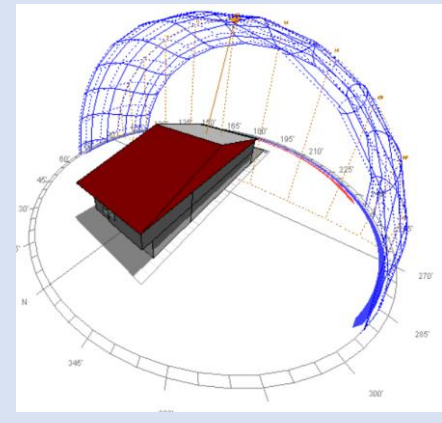
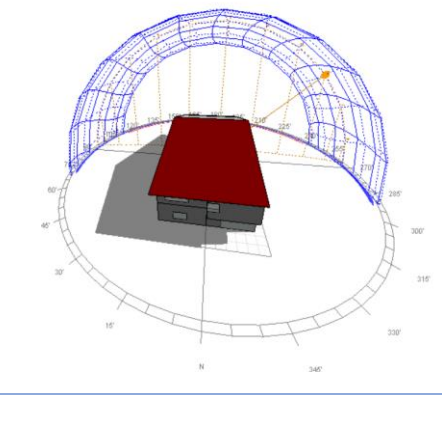
<p><b>Agosto 31</b></p>	<p>155</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Agosto 31</b></p>	<p>155</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Agosto 31</b></p>	<p>155</p>	<p>3 pm</p>	

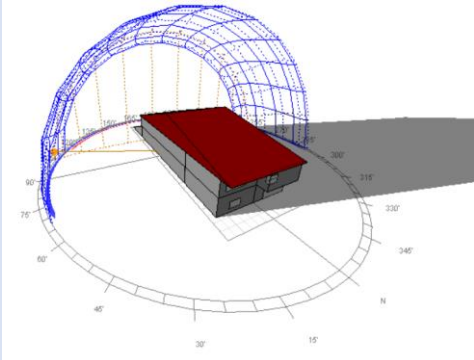
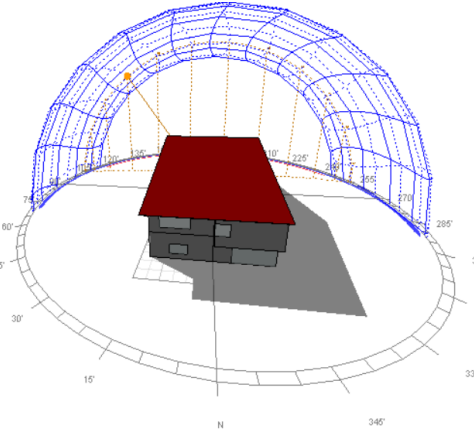
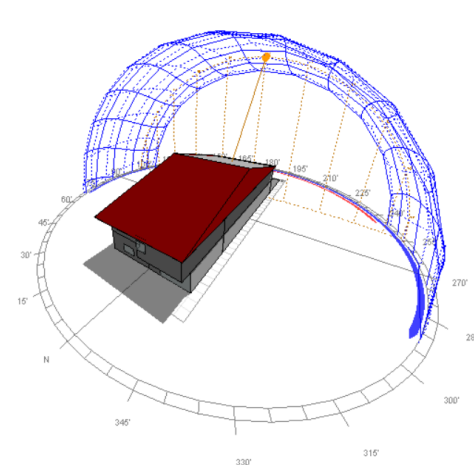
<p><b>Septiembre 1</b></p>	<p>149</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Septiembre 1</b></p>	<p>149</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Septiembre 1</b></p>	<p>149</p>	<p>12 am</p>	



<p><b>Septiembre 1</b></p>	<p>149</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Septiembre 30</b></p>	<p>149</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Septiembre 30</b></p>	<p>149</p>	<p>9 am</p>	

<p><b>Septiembre 30</b></p>	<p>149</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Septiembre 30</b></p>	<p>149</p>	<p>3 pm</p>	
<p><b>Octubre 1</b></p>	<p>141</p>	<p>6 am</p>	

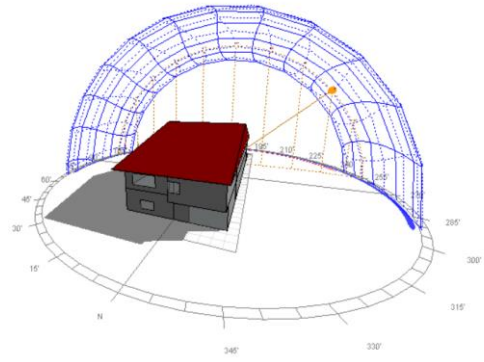
<p><b>Octubre 1</b></p>	<p>141</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Octubre 1</b></p>	<p>141</p>	<p>12 am</p>	
<p><b>Octubre 1</b></p>	<p>141</p>	<p>3 pm</p>	

<p><b>Octubre 31</b></p>	<p>141</p>	<p>6 am</p>	
<p><b>Octubre 31</b></p>	<p>141</p>	<p>9 am</p>	
<p><b>Octubre 31</b></p>	<p>141</p>	<p>12 am</p>	

**Octubre 31**

141

3 pm



### 3. Facturación L-D Conexión a red

#### FACTURACIÓN L-D

Hora	Autoconsumo [kWh]	Autoconsumo [COP]	Importó [kWh]	Importó [COP]	Exportó [kWh]	Exportó [COP]	Transacción [COP]	Venta [kWh]	Venta [COP]
1	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
2	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
3	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
4	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
5	0	\$ -	0,42	\$ 220	0,00	\$ -	\$ 25,06	-0,42	-\$ 220,40
6	0,521	\$ 275	0,04	\$ 20	0,00	\$ -	\$ 2,23	-0,04	-\$ 19,63
7	0,573	\$ 303	0	\$ -	1,08	\$ 570	0	1,08	\$ 569,86
8	0,540	\$ 285	0	\$ -	2,06	\$ 1.089	0	2,06	\$ 1.088,67
9	0,275	\$ 145	0	\$ -	3,54	\$ 1.872	0	3,54	\$ 1.871,86

10	0,390	\$ 206	0	\$ -	4,12	\$ 2.178	0	4,12	\$ 2.177,74
11	0,490	\$ 259	0	\$ -	4,91	\$ 2.595	0	4,91	\$ 2.594,53
12	0,459	\$ 242	0	\$ -	5,27	\$ 2.785	0	5,27	\$ 2.785,29
13	0,290	\$ 153	0	\$ -	5,26	\$ 2.780	0	5,26	\$ 2.779,80
14	0,343	\$ 181	0	\$ -	3,30	\$ 1.745	0	3,30	\$ 1.744,86
15	0,221	\$ 117	0	\$ -	2,47	\$ 1.304	0	2,47	\$ 1.304,45
16	0,221	\$ 117	0	\$ -	0,83	\$ 437	0	0,83	\$ 436,64
17	0,000	\$ -	0,27	\$ 140	0,00	\$ -	\$ 15,92	-0,27	-\$ 139,96
18	0,0	\$ -	0,31	\$ 162	0,00	\$ -	\$ 18,45	-0,31	-\$ 162,21
19	0,0	\$ -	0,52	\$ 274	0,00	\$ -	\$ 31,11	-0,52	-\$ 273,58
20	0,0	\$ -	0,84	\$ 442	0,00	\$ -	\$ 50,27	-0,84	-\$ 442,06
21	0,0	\$ -	0,85	\$ 450	0,00	\$ -	\$ 51,17	-0,85	-\$ 449,98
22	0,0	\$ -	0,69	\$ 363	0,00	\$ -	\$ 41,32	-0,69	-\$ 363,37
23	0,0	\$ -	0,67	\$ 356	0,00	\$ -	\$ 40,48	-0,67	-\$ 355,97

24	0,0	\$ -	0,66	\$ 346	0,00	\$ -	\$ 39,34	-0,66	-\$ 345,94
	4,324	\$ 2.283,16	\$ 6,92	\$ 3.654,69	32,86	\$ 17.353,71	\$ 415,58	25,94	\$ 13.699,02
								<b>factura día</b>	\$ 5.938,31
								<b>Ganancia</b>	\$ 13.283,44



#### 4. Cálculos anuales conexión a red

##### PROYECCIÓN DE AHORROS POR AUTOGENERACIÓN

Año	Cv	C.u	Pb	Costo unitario final	Energía generada [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Exportación [kWh]	Costo de transacciones	Ahorro Total	Ahorro por Autoconsumo	Ahorro exportación P.b	Ahorro real	Ahorro acumulado real
1	\$ 60,06	\$ 528,2	\$ 399,1	\$ 581,0	15390,2	1556,6	11828,7	\$ 710.395	\$ 8.230.789	\$ 904.312	\$ 4.010.091	\$ 4.914.403	\$ 4.914.403
2	\$ 61,86	\$ 554,6	\$ 411,0	\$ 610,0	15267,1	1544,1	11734,1	\$ 725.853	\$ 8.587.285	\$ 941.932	\$ 4.097.350	\$ 5.039.282	\$ 9.953.685
3	\$ 63,71	\$ 582,3	\$ 423,4	\$ 640,5	15145,0	1531,8	11640,2	\$ 741.648	\$ 8.958.917	\$ 981.116	\$ 4.186.509	\$ 5.167.625	\$ 15.121.310
4	\$ 65,63	\$ 611,4	\$ 436,1	\$ 672,5	15023,8	1519,5	11547,1	\$ 757.786	\$ 9.346.322	\$ 1.021.930	\$ 4.277.607	\$ 5.299.538	\$ 20.420.848
5	\$ 67,59	\$ 642,0	\$ 449,2	\$ 706,2	14903,6	1507,4	11454,7	\$ 774.275	\$ 9.750.163	\$ 1.064.443	\$ 4.370.688	\$ 5.435.131	\$ 25.855.978
6	\$ 69,62	\$ 674,1	\$ 462,6	\$ 741,5	14784,4	1495,3	11363,1	\$ 791.123	\$ 10.171.132	\$ 1.108.724	\$ 4.465.794	\$ 5.574.518	\$ 31.430.496
7	\$ 71,71	\$ 707,8	\$ 476,5	\$ 778,5	14666,1	1483,3	11272,2	\$ 808.338	\$ 10.609.947	\$ 1.154.846	\$ 4.562.970	\$ 5.717.816	\$ 37.148.312
8	\$ 73,86	\$ 743,2	\$ 490,8	\$ 817,5	14548,8	1471,5	11182,0	\$ 825.928	\$ 11.067.358	\$ 1.202.888	\$ 4.662.260	\$ 5.865.148	\$ 43.013.460

9	\$ 76,08	\$ 780,3	\$ 505,5	\$ 858,3	14432,4	1459,7	11092,5	\$ 843.900	\$ 11.544.146	\$ 1.252.928	\$ 4.763.711	\$ 6.016.639	\$ 49.030.099
10	\$ 78,36	\$ 819,3	\$ 520,7	\$ 901,3	14316,9	1448,0	11003,8	\$ 862.263	\$ 12.041.126	\$ 1.305.050	\$ 4.867.369	\$ 6.172.419	\$ 55.202.519
11	\$ 80,71	\$ 860,3	\$ 536,3	\$ 946,3	14202,4	1436,4	10915,8	\$ 881.026	\$ 12.559.144	\$ 1.359.340	\$ 4.973.283	\$ 6.332.623	\$ 61.535.142
12	\$ 83,13	\$ 903,3	\$ 552,4	\$ 993,6	14088,8	1424,9	10828,4	\$ 900.197	\$ 13.099.084	\$ 1.415.889	\$ 5.081.502	\$ 6.497.390	\$ 68.032.532
13	\$ 85,63	\$ 948,5	\$ 569,0	\$ 1.043,3	13976,1	1413,5	10741,8	\$ 919.785	\$ 13.661.866	\$ 1.474.790	\$ 5.192.075	\$ 6.666.865	\$ 74.699.397
14	\$ 88,20	\$ 995,9	\$ 586,0	\$ 1.095,5	13864,3	1402,2	10655,9	\$ 939.800	\$ 14.248.448	\$ 1.536.141	\$ 5.305.055	\$ 6.841.196	\$ 81.540.593
15	\$ 90,84	\$ 1.045 ,7	\$ 603,6	\$ 1.150,3	13753,3	1391,0	10570,6	\$ 960.250	\$ 14.859.829	\$ 1.600.044	\$ 5.420.493	\$ 7.020.537	\$ 88.561.130
16	\$ 93,57	\$ 1.098 ,0	\$ 621,7	\$ 1.207,8	13643,3	1379,9	10486,1	\$ 981.145	\$ 15.497.049	\$ 1.666.606	\$ 5.538.443	\$ 7.205.049	\$ 95.766.179
17	\$ 96,37	\$ 1.152 ,9	\$ 640,4	\$ 1.268,2	13534,2	1368,8	10402,2	\$ 1.002.495	\$ 16.161.192	\$ 1.735.937	\$ 5.658.959	\$ 7.394.896	\$ 103.161.075

18	\$ 99,26	\$ 1.210 ,5	\$ 659,6	\$ 1.331,6	13425,9	1357,9	10319,0	\$ 1.024.309	\$ 16.853.387	\$ 1.808.152	\$ 5.782.098	\$ 7.590.250	\$ 110.751.325
19	\$ 102,24	\$ 1.271 ,1	\$ 679,4	\$ 1.398,2	13318,5	1347,0	10236,4	\$ 1.046.598	\$ 17.574.810	\$ 1.883.371	\$ 5.907.917	\$ 7.791.288	\$ 118.542.613
20	\$ 105,31	\$ 1.334 ,6	\$ 699,8	\$ 1.468,1	13211,9	1336,3	10154,5	\$ 1.069.372	\$ 18.326.687	\$ 1.961.719	\$ 6.036.473	\$ 7.998.192	\$ 126.540.805
21	\$ 108,47	\$ 1.401 ,3	\$ 720,8	\$ 1.541,5	13106,3	1325,6	10073,3	\$ 1.092.642	\$ 19.110.294	\$ 2.043.327	\$ 6.167.827	\$ 8.211.153	\$ 134.751.959
22	\$ 111,72	\$ 1.471 ,4	\$ 742,4	\$ 1.618,5	13001,4	1315,0	9992,7	\$ 1.116.417	\$ 19.926.960	\$ 2.128.329	\$ 6.302.038	\$ 8.430.368	\$ 143.182.326
23	\$ 115,08	\$ 1.545 ,0	\$ 764,7	\$ 1.699,5	12897,4	1304,4	9912,8	\$ 1.140.711	\$ 20.778.071	\$ 2.216.868	\$ 6.439.171	\$ 8.656.039	\$ 151.838.365
24	\$ 118,53	\$ 1.622 ,2	\$ 787,6	\$ 1.784,4	12794,2	1294,0	9833,5	\$ 1.165.533	\$ 21.665.071	\$ 2.309.090	\$ 6.579.287	\$ 8.888.377	\$ 160.726.742
25	\$ 122,08	\$ 1.703 ,3	\$ 811,2	\$ 1.873,7	12691,9	1283,7	9754,8	\$ 1.190.895	\$ 22.589.462	\$ 2.405.148	\$ 6.722.452	\$ 9.127.600	\$ 169.854.342

