

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES  
SOLARES EN EL SECTOR RESIDENCIAL

JOSÉ LUIS GARAY URBINA

DIANA CAROLINA JAIMES GARNICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES

Bucaramanga

2017

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES  
SOLARES EN EL SECTOR RESIDENCIAL

JOSÉ LUIS GARAY URBINA

DIANA CAROLINA JAIMES GARNICA

Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación para optar al título de Ingeniero  
Electrónico

Director

Ingeniero electricista. Magíster en potencia eléctrica. Jaime Guillermo Barrero  
Pérez

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES

Bucaramanga

2017

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso nuestro soberano señor y a su hijo Cristo Rey, que siempre han estado a mi lado sin importar lo que pensara yo de ellos y me han permitido alcanzar este gran logro en mi vida.

A mi papá, Luis Alberto que ha sido el mejor padre aconsejándome y apoyándome a lo largo de mi vida además de aportarme sus grandes conocimientos siempre.

A mi mamá, Lina Marlene que me ha enseñado a levantarme cuando las cosas se ponen difíciles y ha sido una madre ejemplar.

A mis hermanitas Sarah y Valentina, por su gracia, su compañía y los grandes momentos que me entregan.

A mi familia en general que siempre me han dado amor y cariño además de su apoyo incondicional, por todo lo que hemos compartido juntos.

A mis grandes amigos Edson, Jhoan, Naren, Diana, Victor y Elkin porque fueron la más valiosa compañía que pude tener a lo largo de mi carrera y estoy seguro de que serán grandes profesionales.

**Jose Luis Garay Urbina**

## **DEDICATORIA**

*En primera instancia a Dios,*

*A Lucy Garnica y Luis Jaimes, unos padres ejemplares, que me han apoyado en todo momento y han sido el motor de mi dedicación. Siempre me regalaron sus sonrisas, amor y me aconsejaron mediante sus experiencias.*

*A mi hermano Oscar Jaimes, quien me ha acompañado durante mi carrera universitaria, hemos compartido amistades y experiencias valiosas, me enseñó y tendió la mano cuando fue necesario.*

*A mis tías Jenny y Soledad, quienes siempre han estado atentas y me han dado su apoyo para poder culminar mis estudios.*

*A mi compañero José Garay, por ser un gran amigo, con gran compromiso y disciplina.*

*A David Barajas, por su apoyo incondicional, enseñarme a ser paciente, brindarme su compañía y buenos consejos.*

*A Sofia Portillo, por ser mi gran amiga, quien siempre me ha escuchado y con quien he compartido momentos muy gratos.*

**Diana Carolina Jaimes Garnica**

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN .....	19
1 ENERGÍA .....	22
1.1 ENERGÍA SOLAR .....	23
1.1.1 Radiación. ....	24
1.1.2 Radiación solar en Bucaramanga .....	26
1.2 ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN BUCARAMANGA .....	27
1.3 PERFILES DE CARGA POR ESTRATOS .....	30
1.3.1 Estrato 3 y 4 .....	30
1.3.2 Estrato 5 y 6 .....	33
2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	36
2.1 CELDAS SOLARES .....	36
2.1.1 Parámetros fundamentales de la celda solar .....	36
2.2 PANELES SOLARES .....	37
2.3 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO .....	38
2.4 REGULADOR DE CARGA .....	40
2.5 INVERSOR DC/AC .....	41
2.5.1 Tipos de inversores .....	41
2.6 TOPOLOGÍAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	44

2.6.1 OFF GRID o autónomos.....	44
2.6.2 ON GRID o conectados a la red.....	45
2.6.3 Híbridos conectados a la Red .....	46
3 <i>NORMATIVIDAD</i> .....	48
3.1 LEY 1715 DE 2014.....	50
3.1.1 Contextualización .....	50
3.1.2 Normas que regulan los incentivos.....	51
3.1.3 Descripción de los incentivos .....	52
4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	54
4.1 ESTRATO 3 Y 4 .....	54
4.1.1 Sistema On-Grid.....	54
4.1.2 Sistema de auto-consumo.....	65
4.1.3 Sistema Off-grid.....	69
4.2 Estrato 5 y 6 .....	74
4.2.1 Sistema On-Grid .....	74
4.2.2 Sistema de auto-consumo para estrato 5 – 6.....	81
4.2.3 Sistema “Off-Grid” .....	85
4.2.4 Sistema híbrido .....	89
5 CONCLUSIONES .....	93
6 RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS .....	102

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1 Consumo energético per cápita, 2014. ....	22
Tabla 2. Datos de insolación para la ciudad de Bucaramanga, Fuente: NASA - CDMB .....	26
Tabla 3. Tarifa media anual en Bucaramanga .....	30
Tabla 4. Características de los principales tipos de baterías .....	39
Tabla 5. Estudio económico preliminar para estrato 3 y 4. ....	55
Tabla 6. Módulos fotovoltaicos utilizados.....	55
Tabla 7. Datos del inversor seleccionado para sistema 1kW.....	56
Tabla 8. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 1kW utilizando inversor central.....	58
Tabla 9. Comparativa entre micro-inversores conectados a la red.....	58
Tabla 10. Micro inversor seleccionado.....	59
Tabla 11. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 1kW utilizando microinversor. ....	59
Tabla 12. Desempeño de sistema de 1 [kW] con inversor central y microinversor en el peor escenario de radiación.....	61
Tabla 13. Desempeño de sistema de 1 [kW] con inversor central y microinversor en el mejor escenario de radiación. ....	61

Tabla 14. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.....	62
Tabla 15. Ahorro en inversión inicial de sistema "Grid-Tie" de 1kW aplicando beneficios de IVA y aranceles.....	62
Tabla 16. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 1kW con inversor central a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes. ....	63
Tabla 17. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 1kW con microinversor a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes. ....	64
Tabla 18. Micro inversor seleccionado para sistema de autoconsumo de estrato 3-4.....	66
Tabla 19. Tabla de precios para SFV de 300W utilizando micro-inversor. ....	66
Tabla 20. Desempeño de sistema de 300 [W] con microinversor en el mejor y peor escenario de radiación.....	67
Tabla 21. Ahorro en inversión inicial de sistema de autoconsumo para estrato 3 y 4, aplicando beneficios de IVA y aranceles. ....	68
Tabla 22. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de autoconsumo para estrato 3 y 4. ....	69
Tabla 23. Baterías elegidas para sistema "OFF-GRID" .....	70
Tabla 24. Regulador de carga seleccionado para sistema de estrato 3 – 4 .....	71
Tabla 25. Inversor "Off-Grid" seleccionado.....	72
Tabla 26. Tabla de precios para sistema fotovoltaico "OFF-GRID" para estrato 3 y 4.....	73
Tabla 27. Ahorro en inversión inicial de sistema "Off-Grid" para estrato 3 y 4, aplicando beneficios de IVA y aranceles. ....	73
Tabla 28. Análisis financiero de sistema fotovoltaico autónomo para estrato 3 y 4. ....	73

Tabla 29. Estudio económico preliminar para estrato 5 y 6. ....	74
Tabla 30. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 2kW utilizando 2 inversores string. ....	76
Tabla 31. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 2kW utilizando microinversores.....	76
Tabla 32. Desempeño de sistema de 2 [kW] con inversor central y microinversor en el peor escenario de radiación. ....	77
Tabla 33. Desempeño de sistema de 2 [kW] con inversor central y microinversor en el mejor escenario de radiación. ....	78
Tabla 34. Ahorro en inversión inicial de sistema "Grid-Tie" de 2kW aplicando beneficios de IVA y aranceles.....	79
Tabla 35. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 2kW con inversor central a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes. ....	79
Tabla 36. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 2kW con microinversor a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes. ....	80
Tabla 37. Análisis económico teniendo en cuenta beneficios alusivos a la declaración de renta. ....	81
Tabla 38. Selección de potencia pico a partir de consumo energético, disponible para estratos 5 o 6. ....	82
Tabla 39. Micro inversor seleccionado para sistema de autoconsumo de estrato 5-6.....	82
Tabla 40. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 600W utilizando micro-inversor. ....	83
Tabla 41. Desempeño de sistema de 600 [W] con microinversor en el mejor y peor escenario de radiación. ....	84

Tabla 42. Ahorro en inversión inicial de sistema de autoconsumo para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles. ....	85
Tabla 43. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de autoconsumo para estrato 3 y 4. ....	85
Tabla 44. Tabla de precios para sistema fotovoltaico "OFF-GRID" para estrato 5 y 6 .....	87
Tabla 45. Ahorro en inversión inicial de sistema "Off-Grid" para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles. ....	88
Tabla 46. Análisis financiero de sistema fotovoltaico autónomo para estrato 5 y 6. ....	88
Tabla 47. Inversor híbrido seleccionado para sistema de estrato 5 - 6.....	90
Tabla 48. Tabla de precios para sistema fotovoltaico híbrido para estrato 5 y 6 ...	91
Tabla 49. Ahorro en inversión inicial de sistema híbrido para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles.....	91
Tabla 50. Análisis financiero de sistema fotovoltaico híbrido para estrato 5 y 6. ...	92
Tabla 51. Equipos domésticos típicos para estratos 5 y 6. ....	102
Tabla 52. Equipos domésticos típicos para estrato 3 y 4.....	104
Tabla 53. Descripción de los datos de entrada del análisis económico .....	125
Tabla 54. Salida del análisis económico. ....	126
Tabla 55. Descripción de los resultados del análisis económico .....	127
Tabla 56. Elementos de proyectos de inversión .....	136
Tabla 57. Elementos para el cálculo de VPN.....	138
Tabla 58. Regla de decisión .....	139
Tabla 59. Regla de decisión TIR.....	140

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Promedio anual del recurso solar en Colombia frente al resto del mundo .....	25
Figura 2. Radiación diaria promedio para enero de 2012 a 2014 en el club campestre de Bucaramanga.....	27
Figura 3. Consumo energético doméstico total en Bucaramanga para el año 2015. ....	28
Figura 4. Consumo energético doméstico per cápita en Bucaramanga para el año 2015.....	29
Figura 5. Distribución porcentual de la carga típica para estratos 3 y 4.....	31
Figura 6. Distribución porcentual del consumo diario para estratos 3 y 4.....	32
Figura 7. Perfil de carga por horas para vivienda de estrato 3 y 4.....	32
Figura 8. Distribución porcentual de la carga típica para estratos 5 y 6.....	34
Figura 9. Distribución porcentual del consumo diario para estratos 5 y 6.....	34
Figura 10. Perfil de carga por horas en vivienda de estrato 5 y 6.....	35
Figura 11. Tipos de inversores para sistemas fotovoltaicos de conexión a red. ....	42
Figura 12. Esquema de instalación FV aislada .....	44
Figura 13. Esquema de instalación conectada a la red .....	45
Figura 14. Esquema de instalación híbrida conectada a la red.....	46
Figura 15. Regulación de incentivos. ....	51

Figura 16. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.....	60
Figura 17. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.....	61
Figura 18. Desempeño del sistema fotovoltaico de 300W en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.....	67
Figura 19. Desempeño del sistema fotovoltaico de 300W en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.....	68
Figura 20. Desempeño del sistema fotovoltaico de 2kW en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.....	77
Figura 21. Desempeño del sistema fotovoltaico de 2kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.....	78
Figura 22. Desempeño del sistema fotovoltaico de 600W en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.....	83
Figura 23. Desempeño del sistema fotovoltaico de 600W en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.....	84
Figura 24. Índices de protección .....	115
Figura 25. Datos de entrada para análisis económico .....	124
Figura 26. Desempeño técnico del sistema fotovoltaico en Solarius - PV .....	128
Figura 27. Manejo de la radiación en Solarius - PV .....	129
Figura 28. Parámetros iniciales del análisis económico en Solarius - PV.....	130
Figura 29. Resultados del análisis económico en Solarius - PV .....	130
Figura 30. Comparación de ambos métodos (VPN - TIR). .....	140

## LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. Equipos domésticos típicos para estratos 5 y 6. ....	102
ANEXO B. Equipos domésticos típicos para estratos 3 y 4. ....	104
ANEXO C. Características y parámetros de los acumuladores electroquímicos. ....	105
ANEXO D. Tipos de acumuladores.....	106
ANEXO E. Parámetros de un inversor comercial.....	108
ANEXO F. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos conectados a la red .....	109
ANEXO G. Diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos.....	118
ANEXO H. Análisis económico – Procedimiento y ejemplo para sistema híbrido teniendo en cuenta todos los beneficios de ley 1715.....	124
ANEXO I. Descripción general del software Solarius PV .....	128
ANEXO J. Disposiciones generales del RETIE y el código eléctrico colombiano hacia los sistemas fotovoltaicos.....	131
ANEXO K. Análisis de inversiones.....	136
ANEXO L. Cotización módulos fotovoltaicos Yingli Solar .....	142
ANEXO M. Ficha técnica paneles yingli solar .....	143
ANEXO N. Ficha técnica inversores On-grid WOSN .....	145
ANEXO O. Estudio de mercado.....	148

## RESUMEN

**TITULO: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES EN EL SECTOR RESIDENCIAL<sup>1</sup>**

**AUTORES: JOSÉ LUIS GARAY URBINA, DIANA CAROLINA JAIMES GARNICA<sup>2</sup>**

**PALABRAS CLAVE: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, RADIACIÓN SOLAR, LEY 1715 DE 2014, PERFILES DE CARGA RESIDENCIALES, CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL, VALOR PRESENTE NETO, TASA INTERNA DE RETORNO.**

**DESCRIPCIÓN:** El presente proyecto tiene como objetivo determinar la viabilidad económica de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, híbridos y autónomos para el sector residencial en algunos estratos socio-económicos. Inicialmente se consultó información acerca de las características básicas del consumo eléctrico doméstico por estrato, a partir de datos proporcionados por empresas distribuidoras de energía y con esto se seleccionaron los estratos a estudio. Posteriormente, se plantearon casos que involucraban perfiles de carga para los cuales se dimensionaron sistemas fotovoltaicos teniendo en cuenta, potencia instalada, distribución de consumo energético durante el día y datos de radiación solar proporcionados por estaciones meteorológicas ubicadas en la ciudad de Bucaramanga. Finalmente, se realizó un análisis económico en períodos de 10 o 15 años, teniendo en cuenta los beneficios de la ley 1715 de 2014.

Los resultados del proyecto, determinan el desempeño económico de sistemas autónomos y conectados a la red ya sea para autoconsumo o venta de excedentes anticipándose a la reglamentación de la ley 1715 para autogeneradores a pequeña escala y brindando un criterio de decisión para un usuario residencial que desee utilizar el recurso solar como una alternativa más limpia e innovadora, obtener un beneficio financiero e incrementar la participación de las energías renovables en la matriz energética colombiana.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

<sup>2</sup> Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez, Magíster en Potencia Eléctrica

## **ABSTRACT**

**TITLE: ECONOMICAL AND TECHNICAL ANALYSIS OF SOLAR PANELS IMPLEMENTATION IN THE RESIDENTIAL SECTOR<sup>3</sup>**

**AUTHORS: JOSÉ LUIS GARAY URBINA, DIANA CAROLINA JAIMES GARNICA<sup>4</sup>**

**KEYWORDS: PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY, SOLAR RADIATION, OF LAW 1715 OF 2014, RESIDENTIAL LOAD PROFILES, RESIDENTIAL POWER CONSUMPTION, NET PRESENT VALUE, INTERNAL RETURN RATE.**

### **DESCRIPTION:**

This project aims to determine financial viability of On-Grid photovoltaic systems, hybrids and Off-Grids for the residential sector in some socio-economic levels. Initially, bibliographic review in basic characteristics of electrical consumption by social class was done, it was based in data provided by energy distribution companies and according to this case studies was selected. Following that, cases about consumption and load profiles were raised, photovoltaic systems were selected taking into account installed power, distribution of energy consumption during the day and solar radiation data supplied by meteorological stations located in Bucaramanga. Concerning to selection of equipment, it was found a technological offer competitive and cheaper abroad than national market. Finally, an economic analysis was performed in 10 and 15 years' periods, considering the benefits of Law 1715 of 2014.

The project results determine economic performance of On-Grid and Off-Grid systems to auto-consumption or sale of surplus, in anticipation with the Law 1715 regulation about the self-generation in small scale and with the intention of give to residential users a help to decide to use the solar energy like an cleaner and innovative alternative, obtain an economic benefit and increase participation of renewable energy in the Colombian energy field.

---

<sup>3</sup> Bachelor Thesis

<sup>4</sup> Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Jaime Guillermo Barrero Pérez, Magíster en Potencia Eléctrica

## INTRODUCCIÓN

Colombia, al poseer un vasto recurso hídrico tiene como principal fuente de energía las centrales hidroeléctricas, seguidas de fuentes no renovables como la generación térmica a través de recursos como gas y carbón. La dependencia de estos recursos, pone en riesgo el suministro continuo de la energía en caso de alteraciones climáticas lo que se traduce en un aumento de su costo. Por lo cual, al usar el recurso solar se busca contribuir a la diversificación energética y optar por una opción más limpia para el cuidado del medio ambiente.

La inclusión de energías renovables no convencionales puede verse como una oportunidad de negocio y un impulso a la economía colombiana, tal como sucede en Europa<sup>5</sup> y países como China<sup>6</sup> y Arabia Saudita<sup>7</sup>. De acuerdo al Atlas de radiación solar, zonas del norte y oriente colombiano, presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional, inclusive comparable con los niveles en algunas regiones con el mejor recurso en el mundo<sup>8</sup>.

---

<sup>5</sup> En Europa, la generación fotovoltaica aspira a crecer un 80% en 2019 y países como Alemania (38 [GW] de capacidad FV instalada), Italia (18.3 [GW] de capacidad FV instalada) y Grecia (2.5 [GW] de capacidad FV instalada) cubren más del 7% de su demanda mediante instalaciones fotovoltaicas.

<sup>6</sup> En enero del 2016, China superó a Alemania como mayor productor mundial de energía solar con una capacidad FV instalada de 43 [GW]. Las principales empresas dedicadas a la fabricación de módulos fotovoltaicos se encuentran allí, lo que facilita la inversión y el desarrollo de proyectos.

<sup>7</sup> Arabia Saudita anunció la instalación de una capacidad de 54 [GW] de energías renovables para el año 2030 (más de 3 veces la capacidad instalada actual en Colombia 15.7 [GW]) con el fin de reducir el consumo de petróleo y reposicionar su economía para exportar tecnologías de energía renovable.

<sup>8</sup> COLOMBIA, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas de radiación solar en Colombia. Bogotá: UPME., 2005. 40 p.

Inicialmente, para determinar la viabilidad técnico-económica de la implementación doméstica de sistemas fotovoltaicos, se definieron perfiles de carga y se consultaron datos de radiación provenientes de estaciones meteorológicas ubicadas en las zonas de Real de minas y Club campestre en la ciudad de Bucaramanga, que son representativas para usuarios de estratos 3-4 y 5-6, y permitirán establecer un criterio de decisión sobre implementar o no un sistema de este tipo a partir de los resultados y conclusiones obtenidas.

Partiendo de la normatividad vigente y de los beneficios tributarios establecidos por la ley 1715 de 2014, se llevó a cabo un estudio comparativo de tres sistemas fotovoltaicos (*On-Grid*, *Off-Grid* e Híbrido) con distintas tarifas de energía, en donde se presentó la selección, diseño y costo inicial de inversión de sistemas fotovoltaicos enfocados a dos públicos (estratos 3-4 y 5-6). Entre los datos suministrados se encuentran, la potencia pico a instalar, los equipos que se van a utilizar, su costo unitario y el costo final del sistema fotovoltaico diseñado. Además, se presentó la energía generada por cada sistema fotovoltaico a lo largo del día y el análisis de inversión para cada caso de estudio propuesto<sup>9</sup>.

Los cálculos se realizaron a partir de la hoja de cálculo proporcionada por la empresa española Icarus Solar, que está basada en el software PVSYST y permitió encontrar el valor presente neto y la tasa de rentabilidad en un período de 10 y 15 años. Finalmente, se agregaron algunos resultados proporcionados por el software

---

<sup>9</sup> Para realizar el análisis se tuvieron en cuenta algunos indicadores económicos como lo son el aumento estimado del precio de la energía igual al 5.2% anual (ESSA), una inflación de 5.8% (IPC 2016) el precio del kilovatio-hora actual y la tasa de descuento.

Solarius-PV de la organización italiana ACCA, con el fin de comprobar la validez de los resultados obtenidos.

Para la realización del proyecto se tomaron cursos y conferencias complementarias a las referencias encontradas en línea entre los que se encuentran, la conferencia en vivo “Invierta y gane con energía” dirigida por la UPME en el 2016, el curso de energía solar fotovoltaica dictado por el centro educativo CENTAC y la 1ª charla regional de energía fotovoltaica organizada por la ANDI en el 2017. Esto permitió obtener una visión actualizada del desarrollo de la energía solar fotovoltaica en Colombia.

# 1 ENERGÍA

A partir de la revolución industrial el consumo energético global ha estado en constante crecimiento, volviendo al uso de la energía algo cotidiano e indispensable desde hace décadas, indicadores como el consumo energético per cápita reflejan el nivel de vida de un país, e incluso, el nivel de eficiencia energética.

La energía es un factor esencial en el desarrollo económico y el mejoramiento de la calidad de vida, sin embargo, su producción, consumo y subproductos provocan graves consecuencias ambientales tanto por agotamiento de recursos como por contaminación. A largo plazo la agencia internacional de energía atómica propone mantener el ritmo de desarrollo y prosperidad por medio del aumento de la eficiencia energética con opciones respetuosas para el medio ambiente.

En la siguiente tabla, se pueden observar los niveles de consumo per cápita, que son notablemente mayores en países industrializados.<sup>10</sup>

Tabla 1 Consumo energético per cápita, 2014.

País	Consumo de energía <i>per cápita</i> [kWh]
Estados Unidos	12,186
China	3,926

---

<sup>10</sup> Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías [en línea]. Organización Internacional de Energía Atómica: Viena. 2008 [Citado el 31 de Marzo de 2017]. Disponible en: [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf). ISBN 978-92-0-306108-7.

Alemania	7,192
España	5,231
Finlandia	16,100
India	565
Colombia	981
México	1,765
Venezuela	2,946

Fuente: CIA World Factbook.

## 1.1 ENERGÍA SOLAR

La energía del Sol, en forma de luz solar, sustenta a casi todas las formas de vida en la Tierra a través de la fotosíntesis, determina el clima de la Tierra y la meteorología. Del sol se recibe actualmente una cantidad de energía de 1,6 millones de kWh, de los cuales solamente un 40% es aprovechable, cifra capaz de cubrir cientos de veces las necesidades de la humanidad<sup>11 12</sup>.

Según los datos recogidos por el informe **IEA PVPS**, en el año 2015 se instalaron 50 GW de energía solar fotovoltaica en todo el mundo, lo que supone un crecimiento del 25% con respecto al año 2014, en el que la potencia total instalada fue de 40

---

<sup>11</sup> ARGENTINA, SECRETARÍA DE ENERGÍA. Energías renovables 2008 – Energía solar [En línea]. [Capital Federal, Argentina] 2008 [Citado el 12 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/libro_energia_solar.pdf).

<sup>12</sup> DÍAZ, Jorge. y PABÓN, Luis. Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. En: Lampsakos. Enero-Junio de 2012. no. 7, p. 69-77.

GW<sup>13</sup>. Los costos de producción, el aumento de mercados y precios de tecnologías en el mercado internacional de los sistemas FV han estado presentando comportamiento favorable en los últimos 10 años y más drásticamente en los últimos 4 años, dando facilidad para usuarios residenciales y comerciales de acceder a este tipo de energía. Dicho aumento de potencia instalada y disminución de costos establecen un nuevo récord y confirman el buen momento de la solar fotovoltaica a nivel global.

**1.1.1 Radiación** La radiación electromagnética está compuesta por ondas producidas a causa de la oscilación o aceleración de una carga eléctrica, y es independiente de la materia para su propagación<sup>14</sup>.

La irradiancia solar, está definida como la densidad de flujo radiante solar, es la potencia de radiación solar por unidad de área incidente en una superficie  $[\frac{W}{m^2}]$ . Ahora bien, la radiación integrada en un periodo de tiempo, se define como la irradiación y por lo tanto es la energía de radiación solar por unidad de área  $[\frac{Wh}{m^2}]$ . Parte de la irradiancia solar es interceptada por el planeta tierra y dada la distancia de la tierra con el sol, se asume su valor constante en toda la superficie de la atmosfera, la Organización Meteorológica Mundial la llama constante solar  $B_0$  y su valor es  $1637 [W/m^2]$  <sup>15</sup>.

---

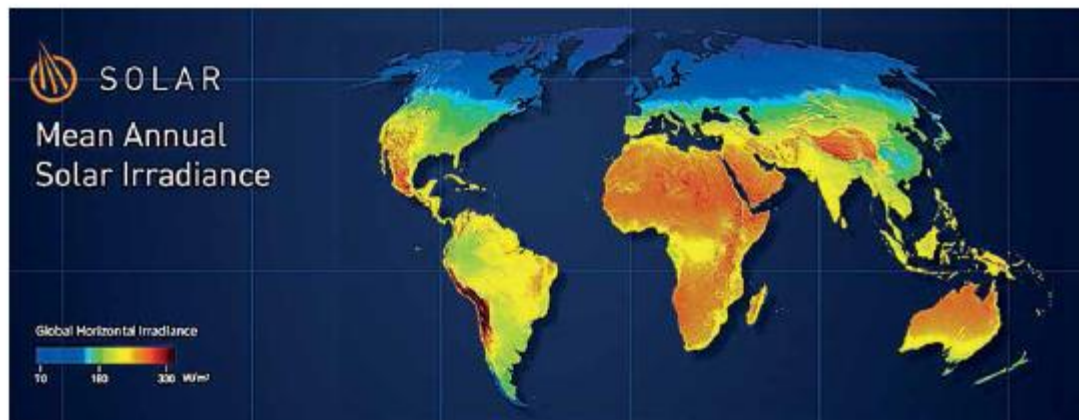
<sup>13</sup> INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. A snapshot of global PV (1992-2015). IEA PVPS [En línea], 2015 [Citado el 15 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2015 - Final\\_2\\_02.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS - A Snapshot of Global PV - 1992-2015 - Final_2_02.pdf). p. 13

<sup>14</sup> INZUNZA, Juan, Meteorología descriptiva [En línea]. [Lima, Perú]: Ministerio de Ambiente, 2007 [Citado el 20 de Marzo de 2017]. Disponible en: [http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion\\_doc\\_Univ\\_CHile.pdf](http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf).

<sup>15</sup> PERPIÑAN, Oscar. Energía solar fotovoltaica. Máster de Energías Renovables. España.: Escuela de Organización Industrial. 2013. 146 p.

Para el caso de Colombia, las fuentes disponibles de información de recurso solar, como los mapas solares y diferentes estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo del territorio nacional, determinan que la irradiación promedio es de 6 [kWh/m<sup>2</sup>/día]<sup>16</sup> superando el promedio mundial de 3.9 [kWh/m<sup>2</sup>/día] y muy por encima del recibido en otras latitudes, por ejemplo, Alemania de 3 [kWh/m<sup>2</sup>/día]. En la Figura 1, aunque se observa que regiones como África, Medio Oriente o Australia superan a Colombia en el recurso solar, este presenta buenos niveles a comparación de países nórdicos y una ventaja al no experimentar estaciones por su ubicación ecuatorial.

Figura 1. Promedio anual del recurso solar en Colombia frente al resto del mundo



Fuente: Vaisala Energy. Global solar dataset.

---

<sup>16</sup> ROLÓN. Op. Cit., p. 1.

**1.1.2 Radiación solar en Bucaramanga** A continuación, se presentan datos de insolación para la ciudad de Bucaramanga, tomada a partir de estaciones meteorológicas de la corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB y también vía Web por parte de los satélites de la NASA<sup>17</sup>.

Tabla 2. Datos de insolación para la ciudad de Bucaramanga, Fuente: NASA - CDMB

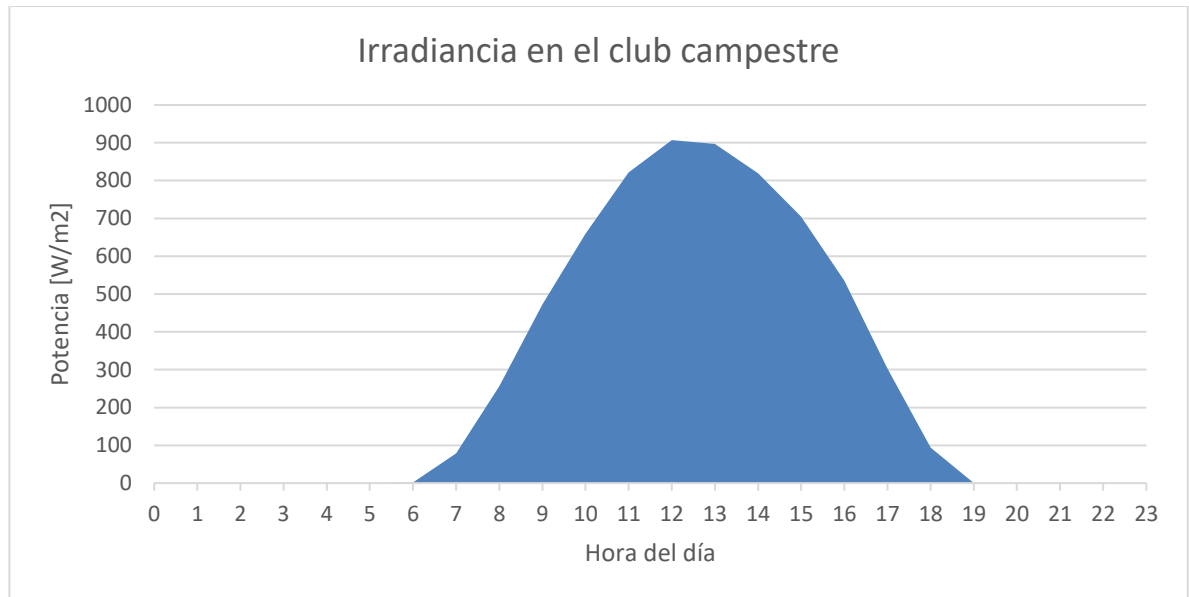
Mes	NASA 1980 – 2005 [kWh/m <sup>2</sup> ]	Club campestre 2012 – 2014 [kWh/m <sup>2</sup> ]	Real de minas 2014 – 2015 [kWh/m <sup>2</sup> ]
Enero	5.34	6.46	6.40
Febrero	5.34	7.32	6.97
Marzo	5.28	7.03	7.06
Abril	4.96	7.14	6.82
Mayo	5.01	6.60	6.48
Junio	5.16	6.86	6.26
Julio	5.57	6.96	6.77
Agosto	5.55	7.28	6.59
Septiembre	5.27	7.24	6.61
Octubre	4.80	7.17	6.01
Noviembre	4.72	6.79	6.18
Diciembre	4.86	6.51	6.14

Fuente: NASA- CDMB

---

<sup>17</sup> NASA, Surface meteorology and solar energy – Available tables [En línea]. [EE.UU]: 2005 [Citado el 10 de Enero de 2017], Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>.

Figura 2. Radiación diaria promedio para enero de 2012 a 2014 en el club campestre de Bucaramanga



Fuente: CDMB.

Se debe tener en cuenta que los datos de la NASA abarcan una zona geográfica mayor, debido a que son obtenidos a partir de coordenadas, y para este caso se tienen los mismos datos al introducir las coordenadas de las dos ubicaciones seleccionadas, mientras que los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas son distintos para ambos sitios y con valores más elevados.

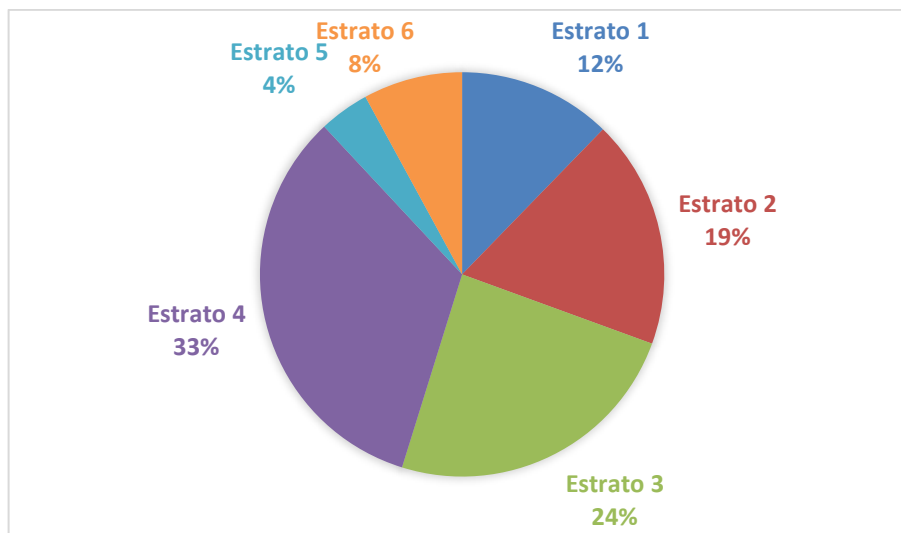
## 1.2 ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN BUCARAMANGA

La ciudad de Bucaramanga cuenta con tres empresas que prestan el servicio de energía eléctrica como lo son la electrificadora de Santander ESSA del grupo EPM, la empresa RUITOQUE S.A y VATIA S.A. La primera proporciona el servicio de

energía a todos los estratos de Bucaramanga, mientras que las dos últimas son de carácter privado y sus servicios se concentran en los estratos 3, 4, 5 y 6.

El consumo energético anual total en la ciudad de Bucaramanga, para el año 2015 fue de 292.2 [GWh]<sup>18</sup> en donde los estratos 3 y 4 abarcan más de la mitad del consumo, como se observa en la siguiente gráfica.

Figura 3. Consumo energético doméstico total en Bucaramanga para el año 2015.



Fuente: Colombia, Sistema único de información de servicios públicos.

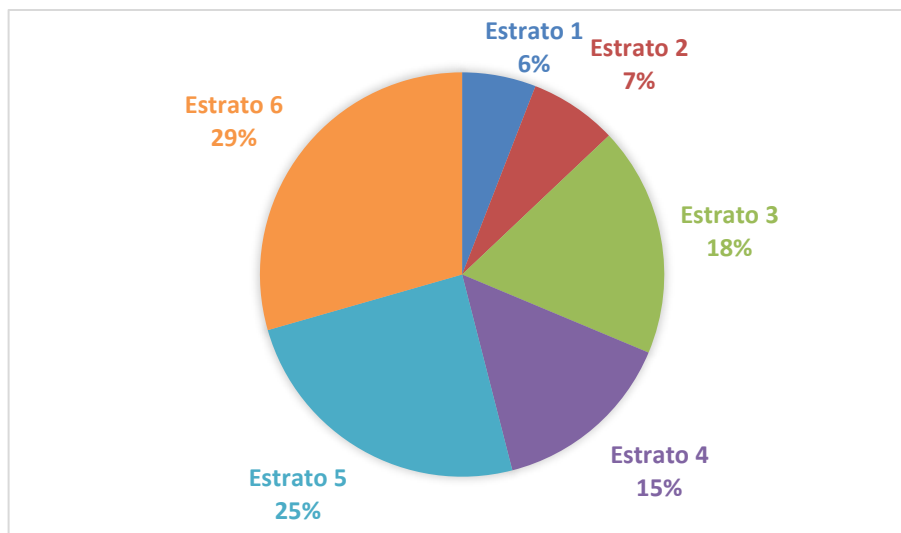
El consumo energético promedio es igual al consumo total dividido entre el número de usuarios, para el caso de la ciudad de Bucaramanga, éste es mayor en los

---

<sup>18</sup> COLOMBIA, SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS. [En línea]. Bogotá: SUI. [Citado el 13 de enero de 2017]. Disponible en: [http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele\\_com\\_096](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_com_096).

estratos 5 y 6, ya que abarca más del 50% del consumo total, como lo muestra la siguiente gráfica.

Figura 4. Consumo energético doméstico per cápita en Bucaramanga para el año 2015.



Fuente: Colombia, sistema único de información de servicios públicos.

Según la

Figura 3 y Figura 4, los estratos 3 y 4 tienen mayor consumo energético total, mientras que los estratos 5 y 6 abarcan el mayor consumo per cápita<sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Ibid. p. 2

El precio de la energía ha aumentado con el paso de los años, para la empresa electrificadora de Santander, que cubre la mayor parte de la demanda de energía eléctrica en la ciudad de Bucaramanga, la tarifa media anual aumentó de 314.5 [COP/kWh] en 2008 a 416.91 [COP/kWh]<sup>20</sup> en 2015 como se muestra en la siguiente gráfica. A partir de estos datos es posible predecir el comportamiento del precio del kWh para los años posteriores.

Tabla 3. Tarifa media anual en Bucaramanga

Tarifa	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
\$/kWh	314.5	351	371.01	384.3	381.6	374.4	396.27	416.91
%Var		11.6%	5.7%	3.6%	0.7%	1.9%	5.8%	5.2%

Fuente: ESSA, Informe de sostenibilidad 2015.

### 1.3 PERFILES DE CARGA POR ESTRATOS

Se definió la carga típica que poseen los usuarios residenciales en la ciudad de Bucaramanga, para diferentes estratos, así como sus patrones de consumo de manera que sea posible conocer la capacidad instalada que debe presentar la instalación fotovoltaica.

---

<sup>20</sup> ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P. Informe de sostenibilidad 2015. Bucaramanga: Área de gestión operativa., 2015. p. 138

**1.3.1 Estrato 3 y 4** La clase media bumanguesa presenta el mayor porcentaje en el consumo total anual de energía en el sector residencial con un 57%, por lo tanto, se pretende definir una carga doméstica típica que permita obtener la capacidad instalada y el consumo mensual de energía.

En el ANEXO B, se muestran los electrodomésticos que conforman la carga para estratos 3 y 4, con su respectiva potencia de trabajo y su consumo *stand-by*.

Conociendo la potencia instalada se determinó el consumo energético diario, a partir del factor de utilización y las horas de uso diarias definidas.

Es importante tener en cuenta que la carga anteriormente definida puede variar entre los distintos usuarios residenciales, dependiendo del número de habitantes por vivienda y sus patrones de consumo.

Figura 5. Distribución porcentual de la carga típica para estratos 3 y 4.

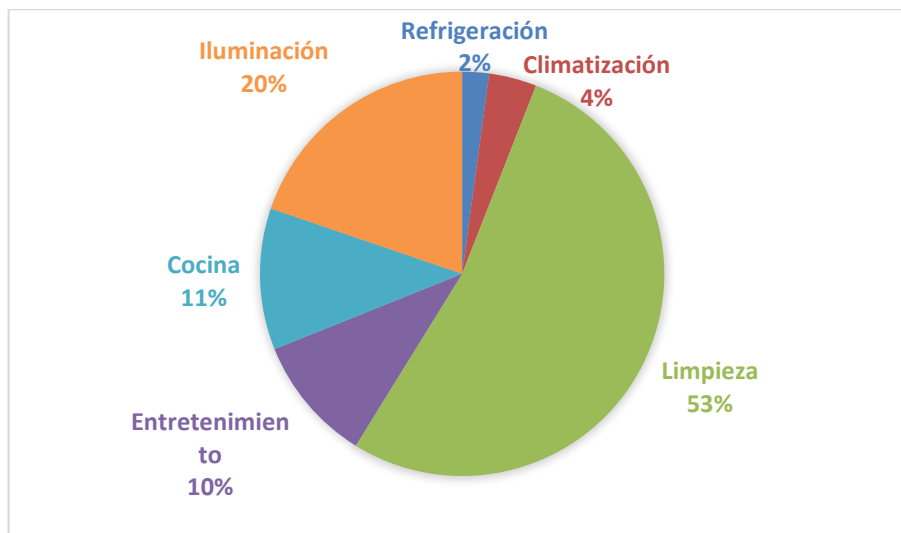


Figura 6. Distribución porcentual del consumo diario para estratos 3 y 4.

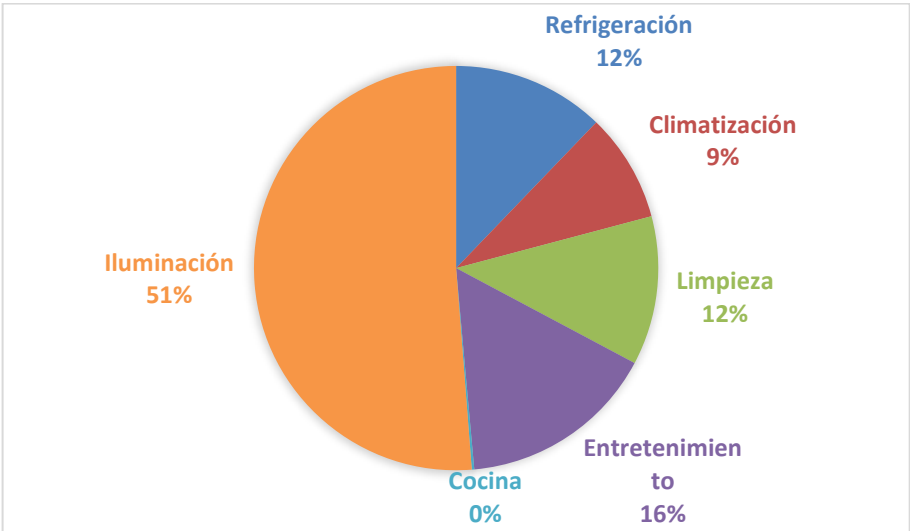
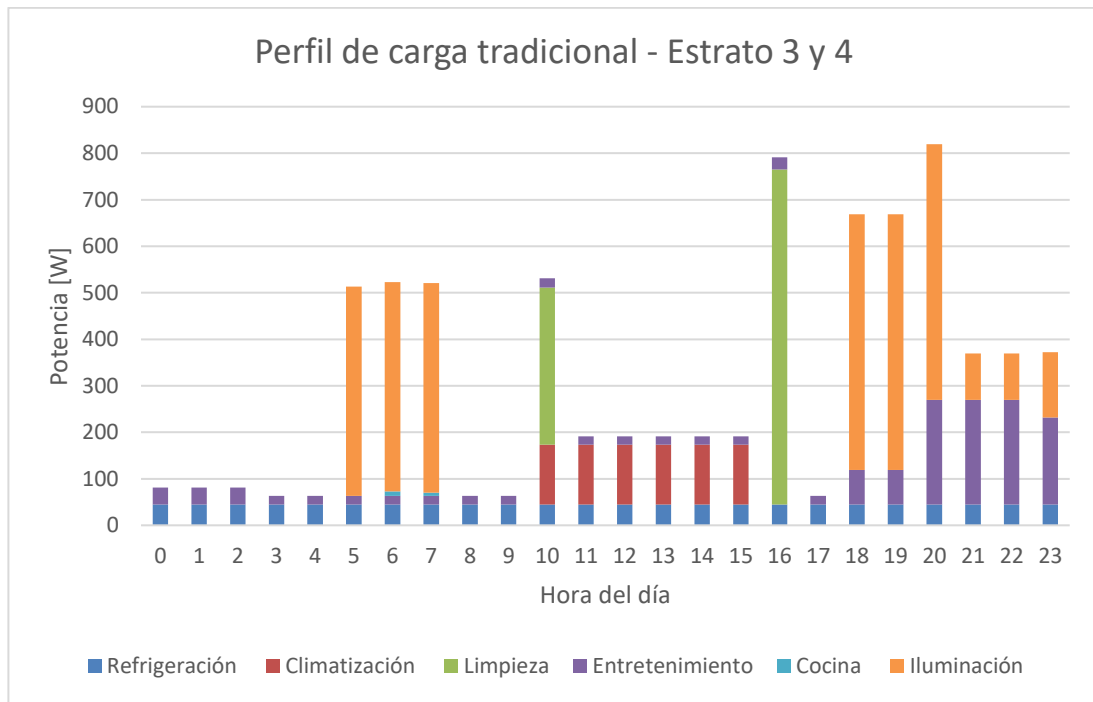


Figura 7. Perfil de carga por horas para vivienda de estrato 3 y 4.



**1.3.2 Estrato 5 y 6** En la ciudad de Bucaramanga, los estratos 5 y 6 presentan un consumo de energía elevado por usuario y un mayor costo por kWh. Teniendo en cuenta esto se procedió a determinar una carga doméstica típica para los estratos altos que incluye, equipos, potencia instalada, consumo diario y consumo mensual, basada en la metodología de conformación del perfil de carga realizada en el proyecto “Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial”<sup>21</sup>.

Inicialmente se tomaron consideraciones de potencia para cada uno de los equipos domésticos elegidos para la carga típica, se consultó su potencia nominal de trabajo y su consumo al estar en *stand-by* o espera.

<sup>21</sup> GÓMEZ, Walter y ARCHILA, Gustavo. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2012. 103 p.

Luego del análisis de potencia, se procedió a encontrar el consumo energético diario en vatios-hora teniendo en cuenta el factor de utilización de los equipos y el número de horas que se usan cada día definido a partir de experiencias de usuarios, los resultados del análisis de consumo se presentan en el ANEXO A.

Figura 8. Distribución porcentual de la carga típica para estratos 5 y 6.

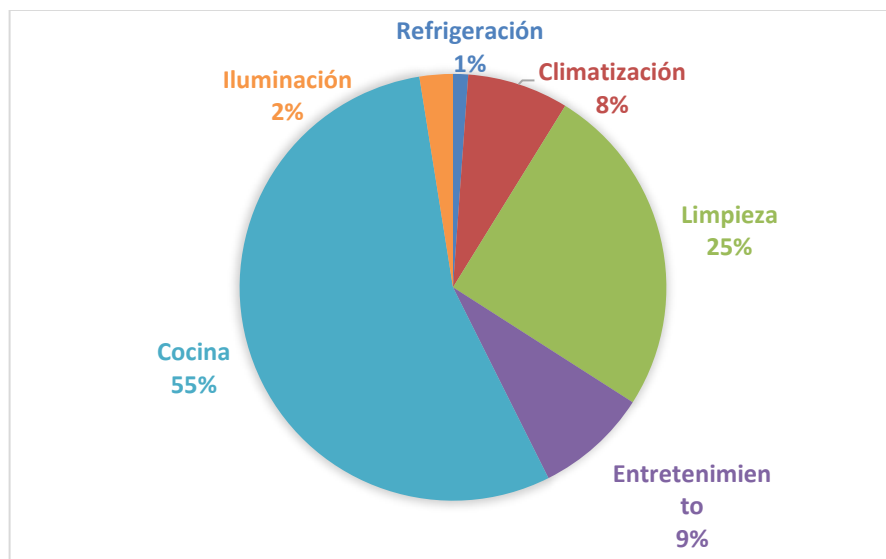
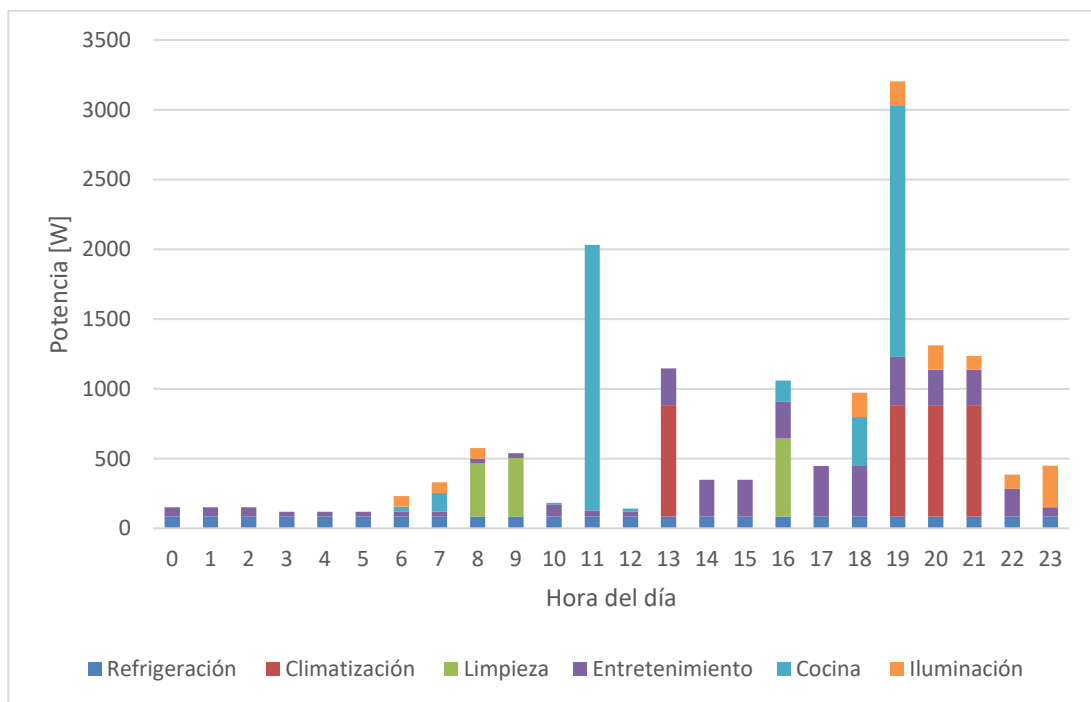


Figura 9. Distribución porcentual del consumo diario para estratos 5 y 6.



Figura 10. Perfil de carga por horas en vivienda de estrato 5 y 6.



## **2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

En este capítulo, se realizó una breve descripción y selección de los componentes que conforman los sistemas fotovoltaicos tenidos en cuenta para los casos de estudio del proyecto.

### **2.1 CELDAS SOLARES**

Son el elemento más básico que compone un generador fotovoltaico, convierten directamente en electricidad los fotones recibidos a partir de la radiación solar, su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> ALONSO ABELLA, Miguel. Sistemas fotovoltaicos [En línea]. [Madrid, España]: Escuela de Organización Industrial. Departamento de Energías Renovables. Centro de Investigaciones

La celda solar tiene un comportamiento similar al de un diodo, en donde la parte expuesta a la radiación presenta el semiconductor tipo N y la parte situada en la sombra, el tipo P.

### 2.1.1 Parámetros fundamentales de la celda solar

**Tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ):** La máxima tensión que se obtiene en los extremos de la celda solar cuando sus terminales no están conectados a ninguna carga.

**Corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ):** Máximo valor de corriente que puede circular por la celda cuando sus terminales están en corto-circuito<sup>23</sup>.

Al conectar la celda solar a una carga, los valores de tensión y corriente pueden variar, sin embargo, existen dos valores para los cuales la potencia entregada será máxima  $V_m$  (tensión máxima) e  $I_m$  (Corriente máxima) que son siempre menores a los valores  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$ <sup>24</sup>.

## 2.2 PANELES SOLARES

También llamado módulo fotovoltaico, está formado por varias celdas solares conectadas eléctricamente y montadas sobre una estructura de soporte. En su

---

Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2012 [Citado el 20 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf).

<sup>23</sup> PERPIÑAN. Op Cit., p. 49.

<sup>24</sup> CARMONA, G. y DÍAZ, T. Instalaciones solares fotovoltaicas [En línea]. [España] 2015 [Citado el 10 de Febrero de 2017]. Capítulo I. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. ISBN: 84-481-7169-1.

salida de conexión proporcionan un valor de tensión en DC que puede ser 6, 12, 24 [V] entre otros.

A continuación, se describen los principales tipos de paneles solares.

**Silicio Monocristalino:** presentan eficiencia del 15 al 18%, se caracterizan por tener un color azul homogéneo y se obtienen de silicio puro fundido y dopado con boro.

**Silicio Policristalino:** tienen eficiencia del 14 al 16%, presentan distintos tonos de azul y su fabricación es similar al monocristalino con un menor número de fases de cristalización.

**Silicio Amorfo:** presentan eficiencia menor al 10%, se fabrican depositando silicio sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Los paneles tipo silicio Policristalino, son los elegidos para trabajar en este proyecto porque, aunque su eficiencia sea ligeramente inferior a los monocristalinos, poseen mayor confiabilidad, resistencia al entorno y menor precio en el mercado.

### **2.3 ACUMULADOR ELECTROQUÍMICO**

El acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, que almacena energía eléctrica a partir de una transformación en energía electroquímica. Brinda autonomía a los sistemas fotovoltaicos al satisfacer los requisitos de consumo en cualquier momento con o sin la presencia de radiación solar y permite al usuario residencial aprovechar la energía del sistema fotovoltaico en horas de sombra.

El acumulador tiene un aporte significativo al buen funcionamiento del sistema fotovoltaico, proporciona picos de corriente superiores a los del generador y

estabiliza la tensión del sistema, evitando variaciones dañinas para los equipos de consumo.

A continuación, se describen los tipos de acumuladores que existen actualmente, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos utilizan casi en su totalidad la tecnología de plomo-ácido.

Tabla 4. Características de los principales tipos de baterías

Tipo de Batería	Tensión por vaso [V]	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5%	30-50 Wh/kg	<b>Bajo</b>
Niquel-cadmio	1.2	1 hora	20%	50-80 Wh/kg	Medio
Niquel-Metal	1.2	2-4 horas	20%	60-120 Wh/kg	Medio
Ión Litio	3.6	2-4 horas	6%	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Componentes de una instalación solar fotovoltaica<sup>25</sup>.

Para sistemas fotovoltaicos suelen utilizarse baterías “fotovoltaicas” que son de plomo-ácido, de tipo AGM y Gel. En el ANEXO D se encuentran los cuatro tipos de acumuladores a tener en cuenta para los sistemas fotovoltaicos, todos basados en la tecnología de ácido-plomo.

La elección de un tipo u otro debe realizarse teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos, recursos de mantenimiento disponibles, posibilidad de reemplazo en

---

<sup>25</sup> Ibid. p. 22

mercado local y capacidad de intervención del usuario<sup>26</sup>. Para el presente caso se eligieron baterías “fotovoltaicas” de plomo ácido tipo gel, por su capacidad de trabajo en ciclado profundo.

## 2.4 REGULADOR DE CARGA

La presencia del regulador de carga es necesaria cuando se trabaja en instalaciones fotovoltaicas con almacenamiento de energía a través de baterías, debido a que tiene como objetivo evitar situaciones de sobrecarga y sobredescarga de la batería para alargar su vida útil. Entre sus principales parámetros se encuentran:

**Voltaje máximo admitido:** Nivel de tensión máximo que el regulador permite aplicar a la batería.

**Intervalo de histéresis superior:** Consiste en la diferencia entre el voltaje máximo admitido y el voltaje al que se permite el paso de toda la corriente producida por los paneles solares. Conforme la tensión se acerca al valor máximo, el regulador deja pasar cada vez menos corriente de los módulos.

**Voltaje de desconexión:** Es el nivel de tensión al que se desconectan automáticamente las cargas de consumo para evitar una sobredescarga de la batería.

**Intervalo de histéresis inferior:** Es la diferencia entre el voltaje de desconexión y el voltaje al que se permite que los consumos se conecten de nuevo a la batería.

---

<sup>26</sup> PERPIÑAN. Op. Cit., p. 101.

Los reguladores de carga presentan una entrada para conectar los módulos fotovoltaicos, una salida para cargas DC y un terminal para incorporar las baterías.

Existen dos tipos básicos de reguladores en el mercado, los reguladores PWM y MPPT, los primeros alcanzan eficiencias del 60 al 80% mientras que los segundos, poseen eficiencias que superan el 90% en la mayoría de los casos, por lo tanto, son los empleados para el diseño de las propuestas presentadas en este proyecto.

## **2.5 INVERSOR DC/AC**

Un sistema fotovoltaico proporciona una corriente DC que puede alimentar algunos tipos de carga de iluminación, sin embargo, si se quiere pensar en conectar el sistema a la red y alimentar cargas en corriente alterna, es necesario un acondicionamiento que permita el correcto acoplamiento a la red. El equipo necesario para realizar este acondicionamiento se denomina inversor DC/AC el cual realiza la conversión de continua a alterna siguiendo determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia, seguridad eléctrica, entre otros.

El uso de los inversores es bastante común en aplicaciones industriales (propulsión de motores de alterna de velocidad variable, calefacción por inducción, fuentes de respaldo y de poder, alimentaciones ininterrumpibles de potencia). La entrada puede ser una batería, un panel solar, una celda de combustible u otra fuente de DC<sup>27</sup>.

En el ANEXO E se encuentran los parámetros principales de un inversor comercial.

---

<sup>27</sup> RASHID. Muhammad. Electrónica de potencia. Traducido por Gabriel Sánchez García. 2 ed. Bogotá D.C : Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1995. 621 p. ISBN 968-880-586-6.

**2.5.1 Tipos de inversores** De forma general, es posible agrupar a los inversores en tres categorías.

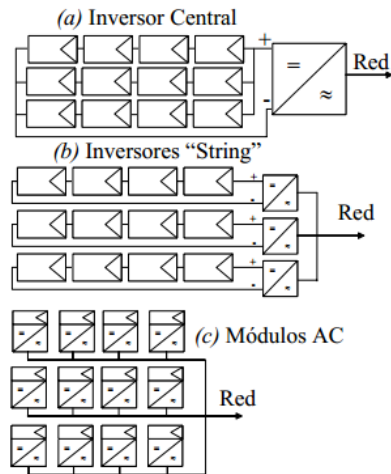
- Inversor central: Un único inversor dedicado a todo el generador (o a un conjunto de ramas), pueden ser útiles en sistemas de integración arquitectónica ya que tienen la capacidad de adaptarse a condiciones de funcionamiento con orientaciones e inclinaciones diversas.
- Inversor orientado a una rama (*string*-inverter): Inversor dedicado a una rama del generador, son recomendables para instalaciones de medio o gran tamaño debido a que permiten disminuir costos (de adquisición, instalación y mantenimiento) y aumentar fiabilidad y eficiencia.
- “Módulo-AC” (microinversores): Un inversor dedicado a un módulo del generador, deben relegarse a propósitos específicos como sistemas muy pequeños, o que presenten problemas de sombreado, orientación o necesidades de monitoreo individual<sup>28</sup>.

Para el sector residencial se utilizaron inversores *string* e inversores centrales, además se realizó una breve comparación de precios para determinar la viabilidad de los micro-inversores.

Figura 11. Tipos de inversores para sistemas fotovoltaicos de conexión a red.

---

<sup>28</sup> ALONSO ABELLA. Op. Cit., p. 50.



Fuente: Alonso Abella. Sistemas fotovoltaicos.

También es posible, clasificar a los inversores en función de la forma de onda de la tensión de salida, entre los que se encuentran los inversores de onda cuadrada, onda modificada y onda senoidal pura.

El inversor de onda senoidal pura, realiza un filtrado de la señal generada y no presenta problemas de distorsión armónica total o de regulación. El uso de este tipo de inversores se está imponiendo sobre los demás, incluso para las aplicaciones más sencillas, por ello, son los elegidos para los diseños presentados en este proyecto.

Según su aplicación los inversores pueden clasificarse en:

- Inversores *Off Grid*: Toman la energía DC de bancos de baterías y la entregan convertida en AC. Se utilizan en aplicaciones autónomas e independientes de cualquier red comercial, grupo electrógeno o similar.
- Inversores *On Grid*: Toman la energía DC a partir de los generadores fotovoltaicos (paneles solares) y la entregan en corriente alterna, sincronizada con la señal proveniente de la red eléctrica, grupo electrógeno o similar. Incorporan algunas funciones como la búsqueda del punto de

máxima potencia, la protección contra el funcionamiento en modo isla y la presencia de un transformador de salida.

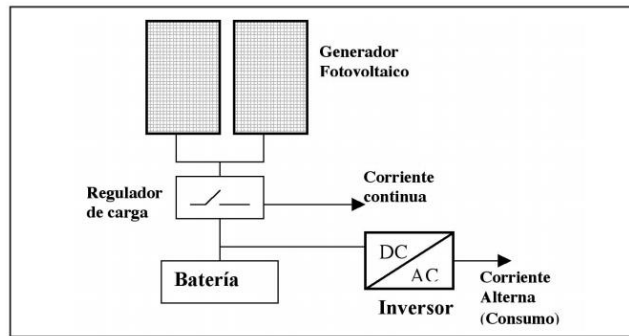
- Inversores bidireccionales: En presencia de la red eléctrica actúan como cargadores de baterías, en ausencia de la red se comportan como inversores aislados.
- Inversores híbridos: Pueden sincronizarse con la señal externa de la red eléctrica comercial, grupo electrógeno o similar, distribuye su producción entre la carga de la batería y la inyección a la red. En ausencia de red externa en AC, se comportan como inversores autónomos y toman la energía del banco de baterías.

En los casos de estudio presentados se utilizan inversores *ON-GRID*, *OFF-GRID* e híbridos.

## **2.6 TOPOLOGÍAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

### **2.6.1 OFF GRID o autónomos**

Figura 12. Esquema de instalación FV aislada



Fuente: España, Comunidad de Madrid. Guía de la energía solar.

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica, tiene como fin satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica especialmente a aquellas zonas que no se encuentran interconectadas<sup>29</sup>. Los sistemas aislados deben contar con reguladores de carga y baterías de bajo valor de auto descarga, larga vida útil, manutención casi nula y elevado número de ciclos de carga-descarga con el fin de abastecer la demanda día y noche por medio de la energía generada durante las horas de sol<sup>30</sup>, las cargas eléctricas del hogar se conectan a la batería a través del inversor y así permiten el uso de las cargas básicas del hogar dependiendo de la capacidad del sistema fotovoltaico.

El funcionamiento del inversor puede ocasionar la circulación de transitorios de corriente que el regulador no es capaz de gestionar correctamente, por lo que se

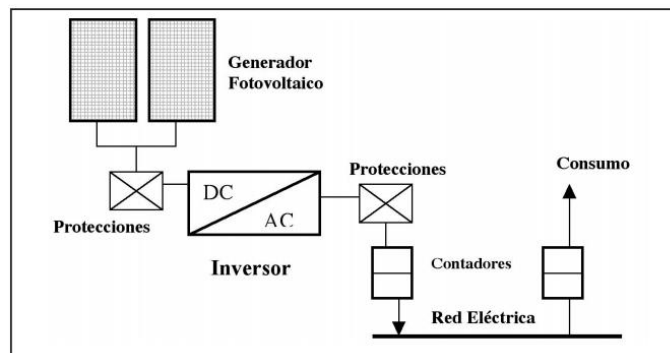
<sup>29</sup> ESPAÑA, COMUNIDAD DE MADRID, DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS. Guía de la energía solar. Madridsolar: Caja Madrid., 2006. p. 1-63.

<sup>30</sup> APROTEC. Energía solar fotovoltaica [En línea]. [Villavicencio, Colombia]: Mantix Publicidad, 2010 [Citado el 20 de Febrero de 2017]. Disponible en: [http://www.aprotec.com.co/pages/solar\\_pv.html](http://www.aprotec.com.co/pages/solar_pv.html).

recomienda que el inversor esté conectado directamente a la batería y no al regulador<sup>31</sup>, tal como lo indica la Figura 12.

## 2.6.2 ON GRID o conectados a la red

Figura 13. Esquema de instalación conectada a la red



Fuente España, Comunidad de Madrid. Guía de la energía solar.

La presente configuración está conformada por el generador fotovoltaico, inversor, contadores bidireccionales y protecciones, estas últimas encargadas de respaldar la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o sobrecarga. No tienen sistemas de acumulación, por lo tanto, no funcionan en zonas aisladas, la energía producida en las horas soleadas será consumida parcial o totalmente en el hogar y

---

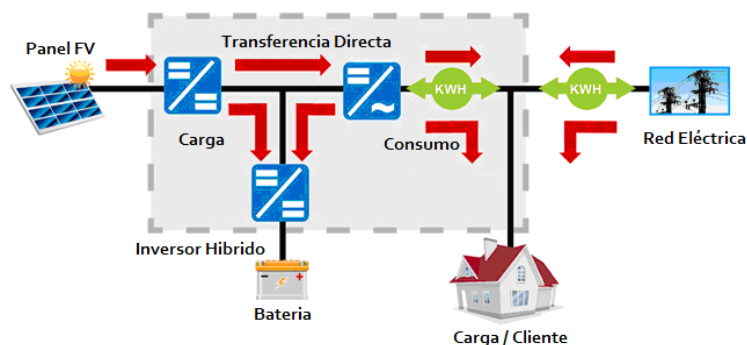
<sup>31</sup> ESPAÑA, COMUNIDAD DE MADRID, DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS. Op. Cit., p. 34

la sobrante será canalizada a la red, con respaldo de la red eléctrica en las horas de la noche.

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de tensión de la red de distribución para garantizar el correcto funcionamiento cuando se entrega energía, al no poseer baterías, se reduce en gran medida la inversión y los costos de mantenimiento y la hace una opción más económica, además de que su vida útil es más prolongada, por lo menos de 25 años.

### 2.6.3 Híbridos conectados a la Red

Figura 14. Esquema de instalación híbrida conectada a la red



Fuente: Energías inteligentes. Sistemas híbridos. principio de funcionamiento y preguntas frecuentes

Un sistema fotovoltaico solar híbrido es específicamente la combinación de la tecnología de la energía solar y la Red Eléctrica de forma de poder integrar de la mejor manera ambas fuentes de Energía, implica paneles solares, reguladores de carga, banco de baterías e inversor. Usar un sistema híbrido presenta ventajas

referentes a mayor equilibrio y estabilidad, reduciendo la dependencia de la salida antes los cambios externos como variaciones climáticas y escasez de suministro.<sup>32</sup>

Si la energía producida a través de generadores fotovoltaicos es suficiente para el consumo de los hogares, el inversor carga con los excedentes a la batería. Del mismo modo, si el consumo es superior a la energía fotovoltaica generada, la red pública cubrirá lo faltante. En ausencia de sol, el inversor, según el consumo de energía, se usará la energía exclusivamente a partir de baterías o podrá tomar energía de la red pública<sup>33</sup>. Al ser más complejos y poseer opciones de abastecimiento, hacen tentativa la opción de instalar circuitos de control y cambios automáticos de alimentación, que harían trabajar al sistema de mejor manera, pero incrementarían su costo.

### 3 NORMATIVIDAD

---

<sup>32</sup> ENERGÍAS INTELIGENTES, Sistemas híbridos. principio de funcionamiento y preguntas frecuentes [En línea]. [Buenos Aires, Argentina]: Energías Inteligentes S.A., 2014 [Citado el 20 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes>.

<sup>33</sup> DÍAZ, Jorge. Y PABÓN, Luis. Op. Cit., p. 70.

En Colombia implementar sistemas fotovoltaicos conectados a la red que permitan entrega de excedentes aún está en proceso, la Ley 143 de 1994 había definido el concepto de autogeneración como aquel generador que producía energía exclusivamente para atender sus propias necesidades<sup>34</sup>, y la reglamentación proporcionada por la CREG en la resolución 084 de 1996 indicaba que no se permitía a dichos agentes vender o entregar excedentes exceptuando cuando se presentaran situaciones de racionamientos<sup>35</sup>. Sin embargo con la aparición de la ley 1715 de 2014, en el literal a del numeral 1 del artículo 6 se estableció que le corresponde al Ministerio de Minas Y Energía expedir los lineamientos de política energética en materia de generación con FNCE en las Zonas no interconectadas, la entrega de excedentes de autogeneración a pequeña y gran escala en el SIN, la conexión y operación de la generación distribuida, el funcionamiento del Fondo de Energías no Convencionales y gestión eficiente de la energía y demás medidas para el uso eficiente de la energía.

Para lo que compete el sector residencial se debe considerar la generación a pequeña escala, la cual según lo establecido por la UPME mediante la resolución 281 de 2015 tiene un límite máximo de 1MW de capacidad instalada del sistema de generación<sup>36</sup>. La ley 1715 de 2014 define también que los excedentes de generadores a pequeña escala que utilicen FNCE serán reconocidos mediante un

---

<sup>34</sup> COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 143. (11, Julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1994. No. 41434. p. 1-34.

<sup>35</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 084. (15, Octubre, 1996). Por la cual se reglamentan las actividades del autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1996. No. 42906. p. 1-3.

<sup>36</sup> COLOMBIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Resolución 281, (5, Jun, 2015). Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2015. No. 49534. p. 1-2.

esquema de medición bidireccional como créditos de energía, según las normas que la CREG defina para tal fin<sup>37</sup>.

La CREG a la luz del 2016 solo ha establecido regulación para la generación a gran escala y hasta tanto no haya regulado la actividad de autogeneración a pequeña escala, todos los autogeneradores deberán cumplir las normas establecidas en la Resolución CREG 024 de 2015, por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones. Por lo tanto, la presente aplicación se considera atractiva para aquellos hogares en los que habiten pocas personas, el consumo sea poco, no se habite con frecuencia como parcelas o casas de campo, o se cuente con una cantidad de paneles considerable en donde haya excedente de producción de energía<sup>38 39</sup>.

### **3.1 LEY 1715 DE 2014**

---

<sup>37</sup> COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 1715. Op. Cit., p. 9.

<sup>38</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024. (13, Mar, 2015). Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., No. 49490. p. 1-19.

<sup>39</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Decreto 2469. (2, Dic, 2014). Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración. Diario Oficial. Bogotá, D.C., No. 49353. p. 1-3.

**3.1.1 Contextualización:** Impuesto sobre la renta: Es un impuesto que se declara y se paga cada año, recae sobre los ingresos de las personas o de las empresas. Para calcularlo se requiere conocer la renta líquida del contribuyente y para determinar la renta líquida se debe encontrar primero la renta bruta. La renta bruta es la cantidad que se obtiene con la sumatoria de todos los ingresos percibidos en el año, menos los costos necesarios en una empresa o actividad, o por un contribuyente, siempre y cuando no se trate de ingresos calificados por la ley como exceptuados del impuesto. La renta líquida es la cantidad obtenida una vez se le restan a la renta bruta, los gastos requeridos<sup>40</sup>.

Depreciación acelerada: Se define como la disminución del valor de los activos por el deterioro generado por el paso del tiempo. Línea recta, reducción de saldos y métodos previamente admitidos por la DIAN. Es un gasto deducible, la ley 1715 permite la utilización de una mayor cuota de deducción por depreciación cada año.

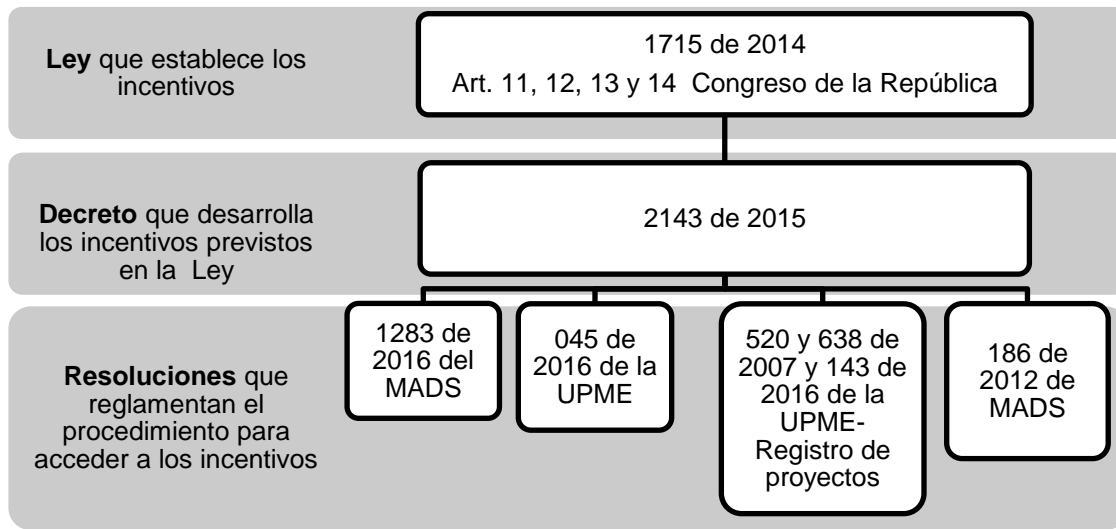
Tributos aduaneros: IVA y arancel de aduanas, son mecanismos para la protección de la industria nacional. Excepcionalmente se permiten tratamientos especiales para la importación de bienes según su origen u objetivo.

### **3.1.2 Normas que regulan los incentivos**

Figura 15. Regulación de incentivos.

---

<sup>40</sup> Finanzas personales. ¿Qué es el impuesto sobre la renta? [En línea]. [Bogotá, Colombia]: Publicaciones Semana S.A., 2013 [Citado el 12 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.finanzaspersonales.com.co/impuestos/articulo/que-como-calcula-impuesto-sobre-renta/51864>.



Fuente: UPME: Invierta y gane con energía.

- Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta

Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).

- Depreciación acelerada.

Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014. Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).

- Exclusión de bienes y servicios de IVA.

Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014. Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (incorporado al Decreto 1073 de 2015).

- Exención de gravámenes arancelarios.

Artículo 13 de la Ley 1715. Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1<sup>41</sup>

**3.1.3 Descripción de los incentivos:** A continuación, se presentan los beneficios que ofrece la ley 1715, el procedimiento para acceder a ellos, se regula por medio de la resolución 045 de 2016<sup>42</sup>.

3.1.3.1 *Deducción especial del impuesto de la renta* Incluye las inversiones relacionadas con investigación y desarrollo en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía FNCE o gestión eficiente de la energía. Para las cuales se realiza una deducción del 50% del total de la inversión en un periodo no mayor a 5 años, en el que por año no se puede superar el 50% de la renta líquida del contribuyente. Se podrá deducir el valor ordinario por depreciación o utilizar la depreciación acelerada de esta ley<sup>43</sup>.

---

<sup>41</sup> GOBIERNO DE COLOMBIA; MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA y UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. [diapositivas]. Invierta y gane con energía talleres sobre incentivos tributarios de la ley 1715. [2016].

<sup>42</sup> COLOMBIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Resolución 045. (03, febrero, 2016). Por la cual se establecen los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se toman otras determinaciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2016. No. 49776. p. 1-7.

<sup>43</sup> ARCE ZAPATA, Germán, et al. Invierta y gane con energía [En línea]. [Bogotá, Colombia]: UPME, 2016 [Citado el 22 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://ccenergia.org.co/nw/cartillaupme.pdf>.

3.1.3.2 *Depreciación acelerada* El beneficio cubre a generadores de Energía a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles adquiridos y/o construidos con posterioridad a la vigencia de la Ley 1715. Se registrará por la técnica contable y la tasa anual global de depreciación no podrá superar el 20%. El beneficiario definirá una tasa de depreciación igual para cada año gravable y la podrá modificar siempre y cuando le informe previamente a la DIAN de dicho cambio.

3.1.3.3 *Exclusión del impuesto a las ventas-IVA* El beneficio abarca la compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios dentro o fuera del país es decir nuevas inversiones y preinversiones para la producción y utilización de energía a partir de FNCE, y para la medición y evaluación de los potenciales recursos. Según el listado incluido en el Anexo de la Resolución 045 de 2016 y las normas que la modifiquen se podrá solicitar la actualización y/o ampliación del listado de bienes y servicios excluidos, aportando la justificación técnica de su uso en los proyectos FNCE.

3.1.3.4 *Exención del gravamen arancelario* Se encuentran respaldados por el beneficio, maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos FNCE que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición sea la importación. Una vez expedidas las certificaciones de la UPME y de la ANLA, se deberá remitir a la Ventanilla Única de Comercio Exterior – VUCE la solicitud de licencia previa, con un mínimo de 15 días hábiles antes de la importación.

## 4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Para el desarrollo del siguiente capítulo, se tuvieron en cuenta datos de radiación proporcionados por estaciones meteorológicas instaladas en la zona de Real de minas y Club campestre, cuyos datos fueron facilitados por la corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB.

Las fórmulas utilizadas pueden consultarse en los apartados de dimensionamiento presentados en el ANEXO F. y el ANEXO G.

El procedimiento para encontrar el VPN, TIR y el tiempo de retorno de la inversión puede consultarse en el ANEXO H.

Se realizó una validación de los datos de sistemas conectados a la red, utilizando el software ACCA Solarius PV, el cual es descrito brevemente en el ANEXO I.

### 4.1 ESTRATO 3 Y 4

**4.1.1 Sistema *On-Grid*** La vivienda de estrato 3 o 4 presenta una potencia instalada de aproximadamente 4 [kW] y un consumo energético diario que alcanza los 7.60 [kWh]. La insolación promedio diaria en el peor mes es de 6.01 [kWh/m<sup>2</sup>], la latitud es de 7.10° Norte.

Tabla 5. Estudio económico preliminar para estrato 3 y 4.

Potencia (W)	Energía FV (kWh)	Porcentaje	Costo inicial (USD)	TIR	IR
250	1.232	16.21%	342.5	13.15%	0.207
500	2.464	32.42%	505	19.32%	0.658
750	3.696	48.63%	667.5	22.25%	0.890
1000	4.928	64.84%	830	24.13%	1.043
1250	6.160	81.06%	1172.5	21.13%	0.944
1500	7.392	97.27%	1335	22.35%	0.898
1750	8.624	113.48%	1497.5	23.30%	0.975
2000	9.856	129.69%	1660	24.06%	1.037

Para la elección de la potencia del sistema FV se realizó un estudio comparativo en donde se calculó la tasa interna de retorno y el índice de rentabilidad para diferentes valores de potencia instalada (Tabla 5), y con ello se encontró que 1[kW] posee el mayor índice de rentabilidad y cubre un porcentaje del consumo sin sobrepasarlo, teniendo en cuenta que aún no se ha publicado la regulación para venta de excedentes, se eligió esta potencia para diseñar el sistema FV *On-Grid* para estrato 3 y 4.

La revisión de disponibilidad de inversores en el mercado en 2016 arroja que existe una gran oferta de inversores conectados a la red de 1[kW]. A continuación, se presenta el proceso de diseño del sistema fotovoltaico.

Tabla 6. Módulos fotovoltaicos utilizados.

Módulos fotovoltaicos policristalinos Yingli Modelo 60 Cell Series 2	
Potencia	270 [W]
Largo	1.64 [m]
Ancho	9.9 [m]
Área	1.62 [m <sup>2</sup> ]
Eficiencia	16.6 %

Tensión de circuito abierto	37.9 [V]
Corriente de corto circuito	9.27 [V]
Tensión de máxima potencia	30.7 [V]
Corriente de máxima potencia	8.80 [V]

Fuente: Yingli Solar.

Se eligieron los módulos de Yingli debido al gran reconocimiento mundial que presenta esta marca, su eficiencia y bajo costo.

A partir de la potencia total del sistema fotovoltaico y la potencia que proporciona cada módulo, es posible calcular el número total de paneles solares requeridos.

$$\#Módulos = \frac{1000 [W]}{270 [W]} = 3.7 \sim 4$$

El área mínima requerida para la instalación se calcula como sigue:

$$Area\ Mínima = 1.62 [m^2] * 4 = 6.48 [m^2]$$

El inversor seleccionado, corresponde a un equipo de bajo costo, cuyas características principales se muestran a continuación:

Tabla 7. Datos del inversor seleccionado para sistema 1kW.

Inversor monofásico YC Modelo 1000 Solar Inverter	
Potencia	1000 [W]
Eficiencia	90 %
Factor de Potencia	>97.5 %
THD	<5 %
Rango de tensión MPPT	26 – 36 [V]
Rango de tensión DC	20 – 45 [V]
Corriente DC Máxima	50 [A]

Tensión AC de salida	110 [VAC] 60 [Hz]
----------------------	-------------------

Fuente: eBay.

A partir de estos datos, se determina el número mínimo de módulos en serie como sigue:

$$N_{min} = \frac{20 [V]}{30.5 [V]} = 0.655 \sim 1$$

Ahora se procede a encontrar el número máximo de módulos en serie:

$$N_{max} = \frac{45 [V]}{37.9 [V]} = 1.18 \sim 1$$

Por lo tanto, los cuatro paneles deben conectarse en paralelo. Se procede a comprobar que la corriente de los módulos, cumpla con los requisitos de corriente del inversor.

$$I_{DC} = 4 * 9.27 = 37.08 < 50 [A]$$

De acuerdo con el valor de corriente, se determina el grosor de los cables en la instalación, en el caso del cable que conecta la entrada del inversor, con el arreglo de módulos fotovoltaicos, se necesitan 37 [A] para transmisión de potencia, por lo tanto, se elige el AWG6<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> LUND, Mark. Wire gauge and current limits including skin depth and strength [En línea]. [Utah, EE.UU]: PowerStream, 2017 [Citado el 3 de Marzo de 2017]. Disponible en: [http://www.powerstream.com/Wire\\_Size.htm](http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm).

Para las demás conexiones, basta con utilizar el AWG9, que es común en las instalaciones fotovoltaicas.

El sistema está conformado básicamente por 4 módulos fotovoltaicos en paralelo que alimentan un inversor de 1[kW] alcanzando una potencia pico teórica de 1.08 [kWp].

Tabla 8. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 1kW utilizando inversor central.

Instalación fotovoltaica 1kW inversor central				
Equipo	Valor de compra [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (4)	450	0%	19%	86
Inversor (1)	135	5%	19%	32
Conexiones y cables	45	0%	19%	9
Estructura	200	0%	19%	38

Se hizo una comparación entre el uso de inversores centrales, y el uso de micro-inversores más eficientes ubicados en la parte trasera del panel para determinar si una mayor eficiencia a pesar de su costo, permite alcanzar un mayor retorno económico, por ello se propone un diseño alternativo utilizando un micro-inversor, que es seleccionado de acuerdo a su relación potencia y precio, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 9. Comparativa entre micro-inversores conectados a la red.

Equipo	Precio Unitario sin envío [USD]	Precio de envío [USD]	Precio total [USD]

WVC-300 x 4	86	34	380
WVC-600 x 2	103	39	246
WVC-1200	189	56	245

Fuente: Aliexpress

Tabla 10. Micro inversor seleccionado

Inversor monofásico WVC Modelo 1200	
Potencia	1200 [W]
Eficiencia	92 %
Factor de Potencia	>98 %
THD	<5 %
Rango de tensión MPPT	25 – 40 [V]
Rango de tensión DC	17 – 50 [V]
Corriente DC Máxima	54.4 [A]
Tensión AC de salida	110 [VAC] 60 [Hz]

Fuente: WOSN Electron.

Tabla 11. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 1kW utilizando microinversor.

Instalación fotovoltaica 1kW micro inversor				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (4)	450	0%	19%	86
Inversor (1)	245	5%	19%	59
Conexiones y cables	45	0%	19%	9
Filtro de línea y sistema de monitoreo	90	5%	19%	22
Estructura	200	0%	19%	38

4.1.1.1 *Energía generada* El sistema propuesto de 1 [kW] está conformado por 4 paneles solares de 270 [W] y un inversor de conexión a red de 1000 [W], trabaja en la ciudad de Bucaramanga cuya latitud es de 7.10° Norte y presenta en el peor mes una insolación diaria de 6.01 [kWh/m<sup>2</sup>], mientras que, en el mejor mes, este valor alcanza los 7.06 [kWh/m<sup>2</sup>].

El desempeño diario del sistema en el mejor y peor mes es presentado a continuación, adicionalmente se superpone el perfil de carga de la vivienda de estrato 3 – 4.

Figura 16. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.

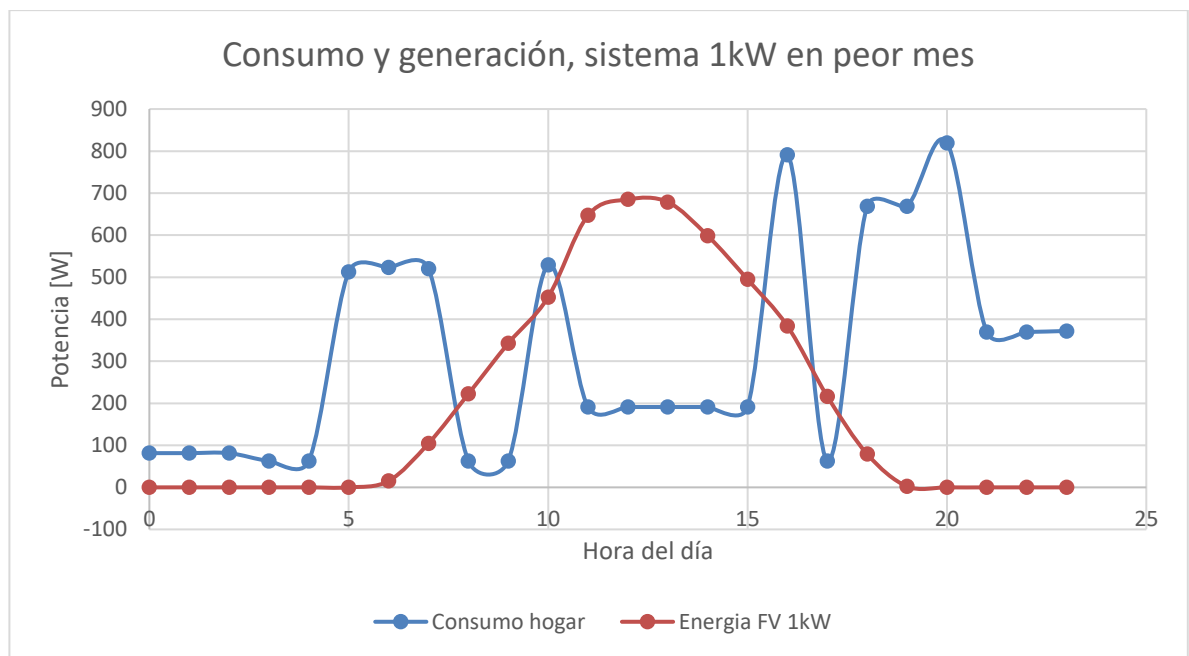


Tabla 12. Desempeño de sistema de 1 [kW] con inversor central y microinversor en el peor escenario de radiación.

Energía en el peor escenario	Sistema de 1kW con inversor central	Sistema de 1kW con microinversor
Diaria	4.92 [kWh/día]	5.05 [kWh/día]
Mensual	147 [kWh/mes]	151 [kWh/mes]
Anual	1.79 [MWh/año]	1.84 [MWh/año]

Figura 17. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.

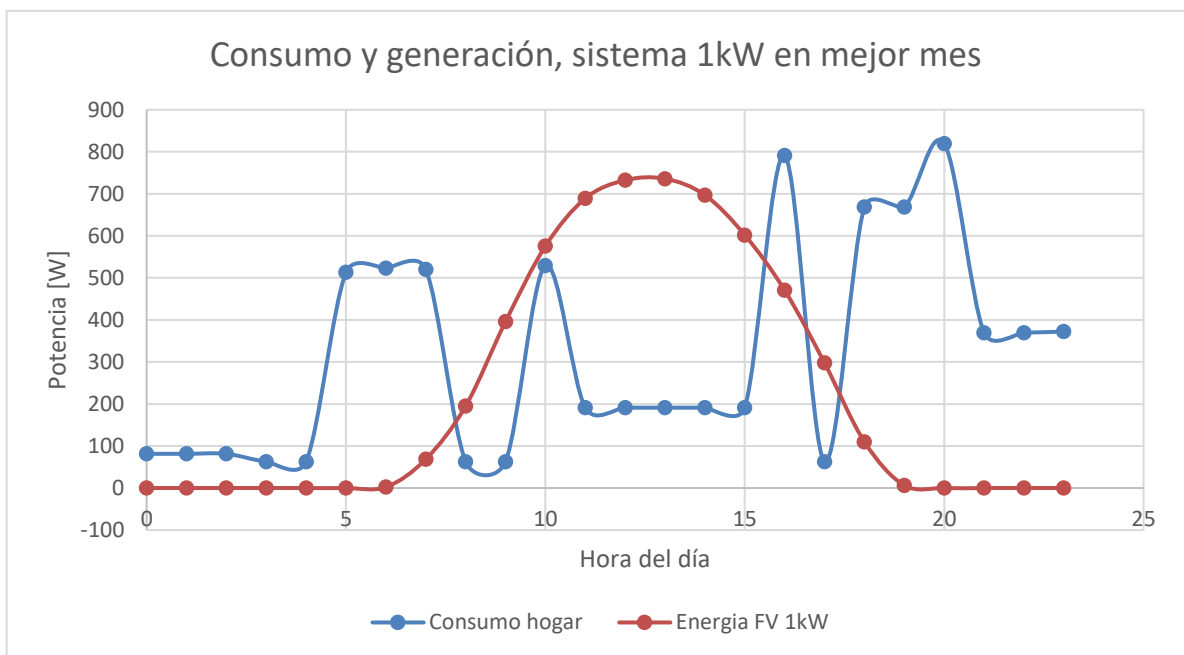


Tabla 13. Desempeño de sistema de 1 [kW] con inversor central y microinversor en el mejor escenario de radiación.

Energía en el mejor escenario	Sistema de 1kW con inversor central	Sistema de 1kW con microinversor
Diaria	5.57 [kWh/día]	5.72 [kWh/día]
Mensual	167 [kWh/mes]	172 [kWh/mes]

Anual	2.03 [MWh/año]	2.09 [MWh/año]
-------	----------------	----------------

Tabla 14. Desempeño del sistema fotovoltaico de 1kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.

Energía en el mejor escenario	Sistema de 1kW con inversor central	Sistema de 1kW con microinversor
Diaria	5.57 [kWh/día]	5.72 [kWh/día]

4.1.1.2 *Evaluación económica* De acuerdo a los beneficios económicos de exención de IVA y aranceles establecidos en la ley 1715 de 2014, es posible determinar el impacto en la evolución económica del proyecto. Inicialmente se presenta el ahorro en inversión inicial.

Tabla 15. Ahorro en inversión inicial de sistema "Grid-Tie" de 1kW aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica 1kW Inversor Central			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 994	\$ 164	20%
Con Incentivo	\$ 830		
Instalación fotovoltaica 1kW Microinversor			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 1,242	\$ 212	21%
Con Incentivo	\$ 1,030		

El análisis financiero se realiza en un período de 15 años, tomando diferentes tasas de compra de excedentes, debido a que la CREG aún no ha determinado

oficialmente como se realizará este proceso, sin embargo, debe hacerlo tal y como se estipula en el decreto 348 del 01 de marzo de 2017<sup>45</sup>.

La tasa de descuento se encuentra comparando distintas alternativas de inversión como CDT, fondos comunes y títulos de capital, en donde se alcanzan valores de rentabilidad inferiores al 10% anual. El valor elegido para realizar el análisis financiero corresponde entonces a ese 10%.

A continuación, se presentan los resultados del análisis económico para el sistema de 1 [kW] con inversor central, teniendo en cuenta un costo de mantenimiento anual de valor base igual a 60 [USD].

Tabla 16. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 1kW con inversor central a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes.

Sistema fotovoltaico de 1kW con inversor central					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 3 de 0.133 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Compra al 0%					
VPN	\$ -419.2	Retorno	15 años	TIR	0.11%
Compra al 20%					
VPN	\$ -162.6	Retorno	10 años	TIR	6.65%
Compra al 40%					
VPN	\$ 93.99	Retorno	8 años	TIR	11.78%
Compra al 60%					
VPN	\$ 350.6	Retorno	6 años	TIR	16.23%
Compra al 80%					
VPN	\$ 607.2	Retorno	5 años	TIR	20.29%
Compra al 100%					
VPN	\$ 863.5	Retorno	5 años	TIR	24.10%

<sup>45</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 348. (1, marzo, 2017). Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2017. No. 49436. p. 1-3.

Compra al 100% Solarius - PV <sup>46</sup>					
VPN	\$ 1,085	Retorno	4 años	TIR	27.28%

En la Tabla 16 se observa que el sistema es económicamente atractivo a partir de una tasa de compra de excedentes igual o superior al 40% debido a que presenta un TIR superior a la tasa de descuento establecida previamente (10%). Además el tiempo de retorno de la inversión es menor a 10 años.

Tabla 17. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 1kW con microinversor a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes.

Sistema fotovoltaico de 1kW con microinversor.					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 3 de 0.133 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Compra al 0%					
VPN	\$ -606.26	Retorno	> 15 años	TIR	-2.01%
Compra al 20%					
VPN	\$ -339.96	Retorno	12 años	TIR	4.11%
Compra al 40%					
VPN	\$ -73.66	Retorno	9 años	TIR	8.83%
Compra al 60%					
VPN	\$ 192.6	Retorno	7 años	TIR	12.87%
Compra al 80%					
VPN	\$ 458.9	Retorno	6 años	TIR	16.51%
Compra al 100%					
VPN	\$ 725.2	Retorno	6 años	TIR	19.90%
Compra al 100% Solarius - PV					
VPN	\$ 885.3	Retorno	5 años	TIR	21.86%

<sup>46</sup> ACCA, Solarius-PV [Software para análisis técnico y económico de sistemas fotovoltaicos conectados a la red]. Versión: 10.0h. Fecha de lanzamiento: 8 abril 2013. Requerimientos del sistema: Microsoft Windows XP Service Pack 2 o superior, Windows Vista, Windows 7 o Windows 8 (incluidas ambas versiones, 32-bits y 64-bits, pero no ediciones RT para tabletas). Disponible para la descarga en: <http://www.accasoftware.com/es/software-calculo-instalacion-fotovoltaica/>.

En la tabla anterior se observa que el sistema es económicamente atractivo a partir de una tasa de compra de excedentes igual o superior al 60% debido a que presenta un TIR superior a la tasa de descuento establecida previamente (10%).

**4.1.2 Sistema de auto-consumo** Estos sistemas están diseñados para que toda la energía generada durante el día, sea consumida ipso-facto y no se entreguen excedentes a la red eléctrica.

Para el diseño del generador, se toma como referencia el consumo a las 12 horas, que es cuando los sistemas fotovoltaicos presentan su pico de producción energética. De acuerdo con la Figura 7 este consumo corresponde a 191.16 [Wh].

Es posible adaptar la ecuación (1) para encontrar la potencia pico del generador fotovoltaico, el valor de DSP se puede asumir igual a 1, o entre 0 y 1, tomando el valor de insolación en esa franja horaria y dividiéndolo entre 1000 [W/m<sup>2</sup>].

$$P_p = \frac{191.16}{1 * 0.9} = 212.4 [W]$$

$$N = \frac{212.4}{270} = 0.78 \sim 1$$

El sistema consistirá de un panel solar, cuyas características se presentan en la Tabla 6, el inversor elegido consiste en un módulo-AC de 300 [W], a continuación, se presentan sus especificaciones técnicas.

Tabla 18. Micro inversor seleccionado para sistema de autoconsumo de estrato 3-4.

Inversor monofásico WVC Modelo 300	
Potencia	300 [W]
Eficiencia	92 %
Factor de Potencia	>96 %
THDI	<5 %
Rango de tensión MPPT	25 – 40 [V]
Rango de tensión DC	17 – 50 [V]
Corriente DC Máxima	9.8 [A]
Tensión AC de salida	110 [VAC] 60 [Hz]

Fuente: WOSN Electron.

El sistema presenta una potencia pico de 270 [W], y está compuesto por un módulo fotovoltaico y un micro-inversor.

Tabla 19. Tabla de precios para SFV de 300W utilizando micro-inversor.

Instalación fotovoltaica de 300W para auto-consumo				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (1)	116	0%	19%	22
Inversor (1)	120	5%	19%	29
Conexiones y cables	9	0%	19%	2
Estructura	50	0%	19%	10

#### 4.1.2.1 Energía generada

Figura 18. Desempeño del sistema fotovoltaico de 300W en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.

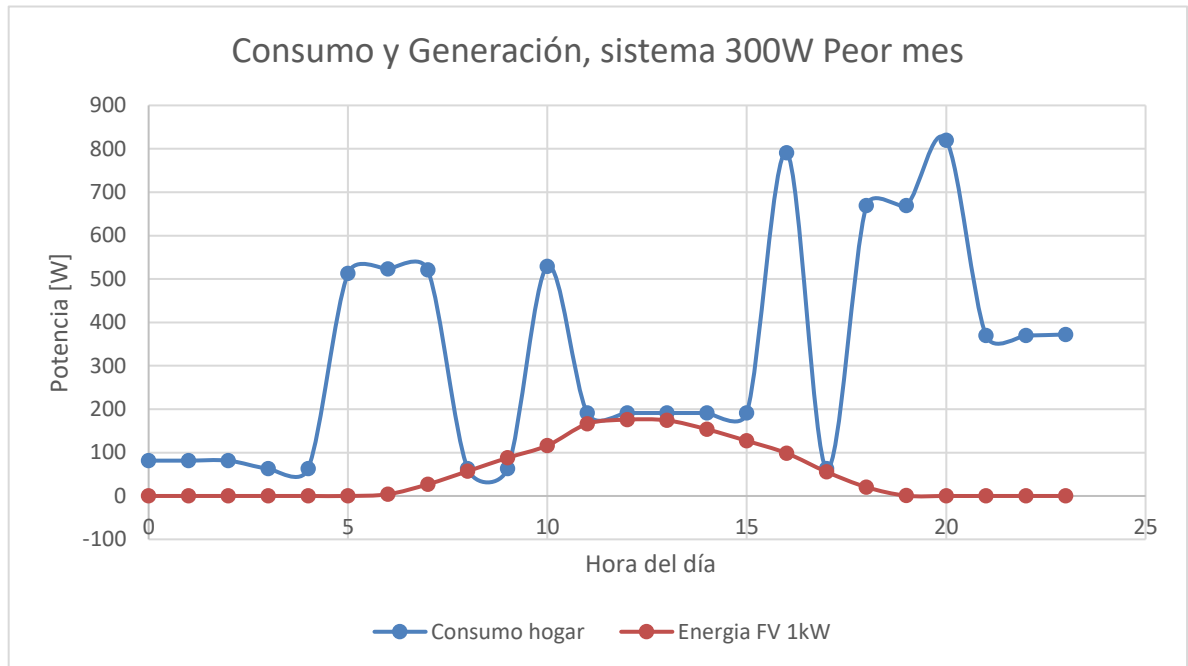
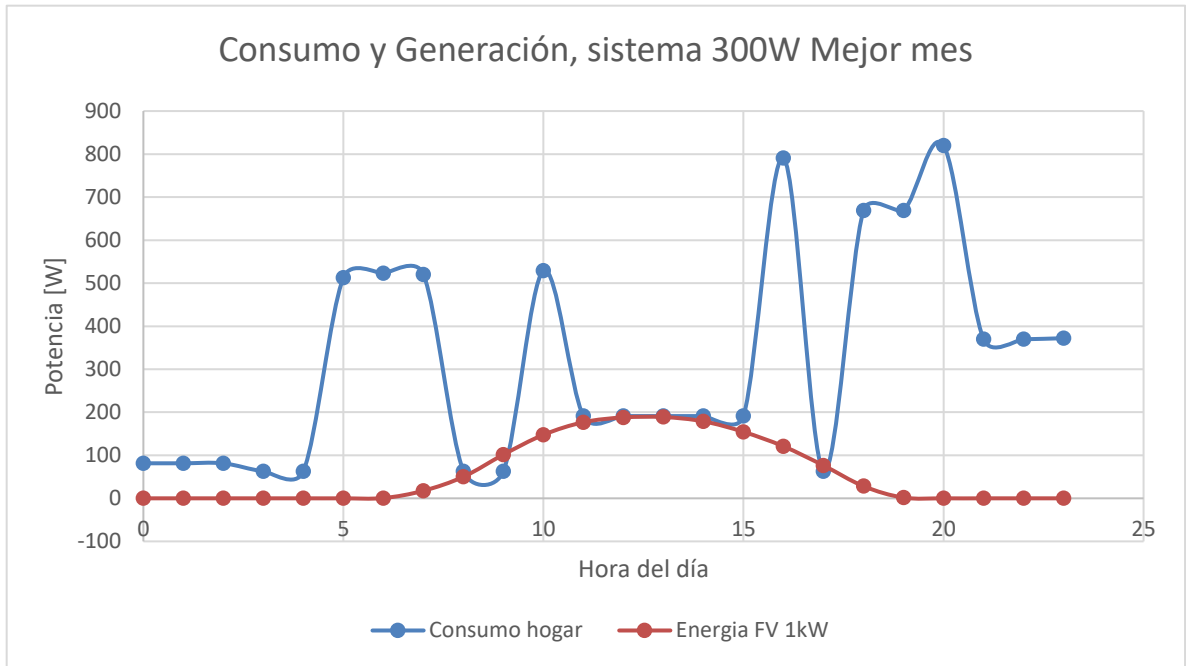


Tabla 20. Desempeño de sistema de 300 [W] con microinversor en el mejor y peor escenario de radiación.

Energía	Peor escenario	Mejor escenario
Diaria	1.26 [kWh]	1.43 [kWh]
Mensual	37.8 [kWh]	42.9 [kWh]
Anual	0.460 [MWh]	0.521 [kWh]

Figura 19. Desempeño del sistema fotovoltaico de 300W en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 3 y 4.



#### 4.1.2.2 Evaluación económica

Tabla 21. Ahorro en inversión inicial de sistema de autoconsumo para estrato 3 y 4, aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica de autoconsumo para estrato 3 y 4			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	357	62	21%
Con Incentivo	295		

Tabla 22. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de autoconsumo para estrato 3 y 4.

Sistema fotovoltaico de autoconsumo, estrato 3 y 4.					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 3 de 0.133 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Análisis a 15 años					
VPN	\$ 116.33	Retorno	9 años	TIR	15.81%

De acuerdo a la Tabla 22 este sistema es rentable y económicamente viable, ya que alcanza un TIR superior a la tasa de descuento del 10% y un retorno de la inversión inferior a 10 años.

**4.1.3 Sistema Off-grid** El sistema diseñado debe almacenar energía durante el día para utilizarse en horas de mayor actividad que se presentan a partir de las cuatro de la tarde de acuerdo al perfil de carga construido en la Figura 7.

El consumo energético en la tarde y noche alcanza los 4.1 [kWh], para encontrar el valor final a almacenar, se sobredimensiona teniendo en cuenta un 20% de seguridad, así como la eficiencia del inversor, regulador y conductores.

$$E_{diaria} = \frac{0 + \frac{4.1[kWh] * 1.2}{0.90}}{0.98 * 0.99} = 5.63 [kWh]/día$$

Se procede a calcular el número de módulos necesarios:

$$N_M = \frac{5.63 [kWh]}{270 [W] * 6.008 [h] * 0.9} = 3.85 \sim 4$$

Ahora, se requiere calcular el número de módulos en serie y paralelo.

$$N_s = \frac{24 [V]}{30.7 [V]} = 0.78 \sim 1$$

$$N_p = \frac{4}{1} = 4$$

Lo que indica que los 4 módulos se conectarán en paralelo, las características de los dispositivos utilizados pueden consultarse en la Tabla 6.

La profundidad de descarga máxima diaria se elige en 30%, con este valor, se encuentra el total de energía a almacenar.

$$E_{Bat} = \frac{5.63 [kWh]}{0.3 * 1} = 18.7 [kWh]$$

$$C_{Bat} = \frac{18.7 [kWh]}{24 [V]} = 779.16 [Ah]$$

Por lo tanto, la capacidad de las baterías debe ser igual o superior a 780 [Ah], asumiendo un régimen de descarga de 10 horas.

Durante la revisión del mercado de baterías, se encontró que entre mayor sea la capacidad unitaria, menor es su precio y peso total, por ello se eligieron baterías de 200 [Ah].

Tabla 23. Baterías elegidas para sistema “OFF-GRID”

Batería VRLA GEL Modelo NP200-12	
Capacidad C10	200 [Ah]
Tensión de trabajo	12 [V]
Tensión de stand-by	13.5 – 13.8 [V]
Tensión de ciclo	14.4 – 15.0 [V]
Corriente inicial máxima	50 [A]

Peso	58 [kg]
Tamaño Largo x Ancho x Alto	522*235*218 [mm]

Fuente: Shenzhen Matrix Battery Co.

La conexión de las baterías requiere que existan 2 de ellas en serie para alcanzar la tensión de trabajo y 4 en paralelo para alcanzar la capacidad requerida. El banco de baterías elegido tiene una capacidad de 800Ah@24V y requiere 8 Baterías de 200 [Ah] y 12 [V].

El regulador de carga se dimensiona a partir de su corriente de entrada y salida, en el primer caso se utiliza la corriente de corto circuito de los módulos fotovoltaicos y un factor de seguridad.

$$I_{Rin} = 9.27 [A] * 4 * 1.1 = 40.78 [A]$$

Para la corriente de salida, se tiene en cuenta la carga, compuesta por equipos de entretenimiento e iluminación, esta alcanza los 1.05 [kW].

$$I_{Rout} = \frac{1.1(1.05[kW])}{0.9} = 53.67 [A]$$

Las características del regulador elegido, se presentan a continuación.

Tabla 24. Regulador de carga seleccionado para sistema de estrato 3 – 4

Regulador MPPT Modelo Wiser 50 x 2	
Potencia de entrada	1300 [W]
Tensión de batería	24 [V]
Eficiencia	96 %
Máxima tensión FV Voc	150 [V]

Tensión del sistema	18 – 32 [V]
Corriente DC Salida	50 [A]

Fuente: MarsRockSolar.

La potencia del inversor viene determinada por la carga en AC, y un porcentaje de seguridad.

$$P_{inv} = 1.05 [kW] * 1.1 = 1.155 [kW]$$

A continuación, se presentan las características del inversor *Off-Grid* seleccionado.

Tabla 25. Inversor “*Off-Grid*” seleccionado.

Inversor monofásico CZ Modelo 2000S	
Potencia	2000 [W]
Eficiencia	85 %
Factor de Potencia	>98 %
THD	<5 %
Rango de tensión MPPT	25 – 40 [V]
Rango de tensión DC	17 – 50 [V]
Corriente DC Máxima	54.4 [A]
Tensión AC de salida	110 [VAC] 60 [Hz]

Fuente: SunShine Factory.

La tabla de precios de esta instalación es presentada a continuación:

Tabla 26. Tabla de precios para sistema fotovoltaico "OFF-GRID" para estrato 3 y 4.

Instalación fotovoltaica "OFF-GRID" para estrato 3 y 4				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (4)	450	0%	19%	86
Inversor (1)	300	5%	19%	32
Conexiones y cables	60	0%	19%	9
Baterías (8)	2000	0%	19%	380
Regulador de carga (2)	270	5%	19%	58
Estructura	200	0%	19%	38

#### 4.1.3.1 Evaluación económica

Tabla 27. Ahorro en inversión inicial de sistema "Off-Grid" para estrato 3 y 4, aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica autónoma para estrato 3 y 4			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 3,676	\$ 571	20%
Con Incentivo	\$ 3,073		

Para el análisis económico se toma un período de 10 años, que es la vida útil estimada de las baterías. Y se considera un costo de mantenimiento anual de 60 [USD] para el primer año.

Tabla 28. Análisis financiero de sistema fotovoltaico autónomo para estrato 3 y 4.

Sistema fotovoltaico autónomo para estrato 3 y 4
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 3 de 0.133 [USD] al 1 de enero de 2016.

Análisis a 10 años					
VPN	\$ -1,741	Retorno	>10 años	TIR	-5.18%

Según los resultados presentados, este sistema no es rentable y no debería implementarse si se busca obtener un beneficio económico.

## 4.2 ESTRATO 5 Y 6

4.2.1 **Sistema On-Grid** La vivienda de estrato 5 o 6 presenta una potencia instalada de aproximadamente 22 [kW] y un consumo energético diario que alcanza los 15 [kWh]. La insolación promedio diaria en el peor mes es de 6.4 [kWh/m<sup>2</sup>], la latitud es de 7.10° Norte.

Tabla 29. Estudio económico preliminar para estrato 5 y 6.

Potencia (W)	Energía FV (kWh)	Porcentaje	Costo inicial (USD)	TIR	IR
1000	5.28	35.20%	830	38.67%	2.326
1250	6.60	44.00%	1172.5	34.45%	1.945
1500	7.92	52.80%	1335	36.24%	2.106
1750	9.24	61.60%	1497.5	37.62%	2.231
2000	10.56	70.40%	1660	38.74%	2.332
2250	11.88	79.20%	2002.5	36.26%	2.108
2500	13.20	88.00%	2165	37.22%	2.195
2750	14.52	96.80%	2327.5	38.04%	2.270
3000	15.84	105.60%	2490	38.76%	2.334

Similar a lo propuesto para los estratos 3-4, se realizó un estudio comparativo en donde se calculó la tasa interna de retorno y el índice de rentabilidad para diferentes valores de potencia instalada (Tabla 29), y con ello se encontró que 2[kW] posee uno de los mejores índices de rentabilidad y cubre un porcentaje del consumo sin sobrepasarlo, teniendo en cuenta que aún no se ha publicado la regulación para venta de excedentes, se eligió esta potencia para diseñar el sistema FV *On-Grid* para estrato 5 y 6.

Se utilizan los mismos módulos fotovoltaicos presentados en la Tabla 6.

A partir de la potencia total del sistema fotovoltaico y la potencia que proporciona cada módulo, se calcula el número total de paneles solares requeridos.

$$\#Módulos = \frac{2000 [W]}{270 [W]} = 7.4 \sim 8$$

El área mínima requerida para la instalación se calcula como sigue:

$$Area\ Mínima = 1.62 [m^2] * 8 = 12.96 [m^2]$$

La distancia mínima de separación entre módulos corresponde a 1.75 [m]

El inversor seleccionado, corresponde a dos unidades del dispositivo presentado en la Tabla 7, debido a su bajo costo en comparación con un inversor comercial de 2[kW].

El sistema está conformado entonces, por dos inversores, cada uno alimentado por 4 módulos fotovoltaicos, alcanzando un total de 8 módulos, y una potencia pico teórica de 2.16 [kWp].

Tabla 30. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 2kW utilizando 2 inversores string.

Instalación fotovoltaica 2kW utilizando inversores string				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (8)	900	0%	19%	171
Inversor (2)	270	5%	19%	65
Conexiones y cables	90	0%	19%	17
Estructura	400	0%	19%	76

Para el caso del micro-inversor por disponibilidad y costo, se utilizan dos unidades del dispositivo presentado en la Tabla 10.

Tabla 31. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 2kW utilizando microinversores.

Instalación fotovoltaica 2kW utilizando microinversores				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (8)	900	0%	19%	86
Inversor (2)	434	5%	19%	104
Filtro de línea y sistema de monitoreo	90	0%	19%	17
Conexiones y cables	90	5%	19%	22
Estructura	400	0%	19%	76

#### 4.2.1.1 Energía generada

El sistema propuesto de 2 [kW] está conformado por 8 paneles solares de 270 [W] y un inversor de conexión a red de 2000 [W], trabaja en la ciudad de Bucaramanga cuya latitud es de 7.10° Norte y presenta en el peor mes una insolación diaria de 6.40 [kWh/m<sup>2</sup>], mientras que, en el mejor mes, este valor alcanza los 7.32 [kWh/m<sup>2</sup>].

Figura 20. Desempeño del sistema fotovoltaico de 2kW en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.

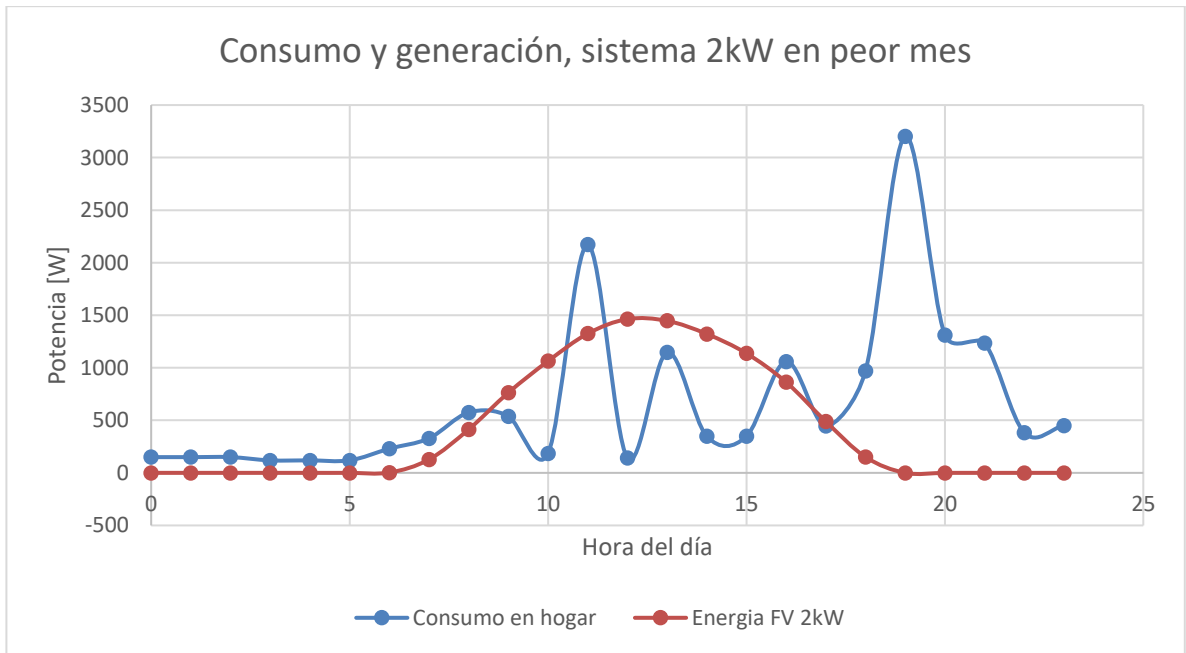


Tabla 32. Desempeño de sistema de 2 [kW] con inversor central y microinversor en el peor escenario de radiación.

Energía en el peor escenario	Sistema de 2kW con inversor central	Sistema de 2kW con microinversor
Diaria	10.5 [kWh/día]	10.8 [kWh/día]
Mensual	315 [kWh/mes]	324 [kWh/mes]
Anual	3.83 [MWh/año]	3.94 [MWh/año]

Figura 21. Desempeño del sistema fotovoltaico de 2kW en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.

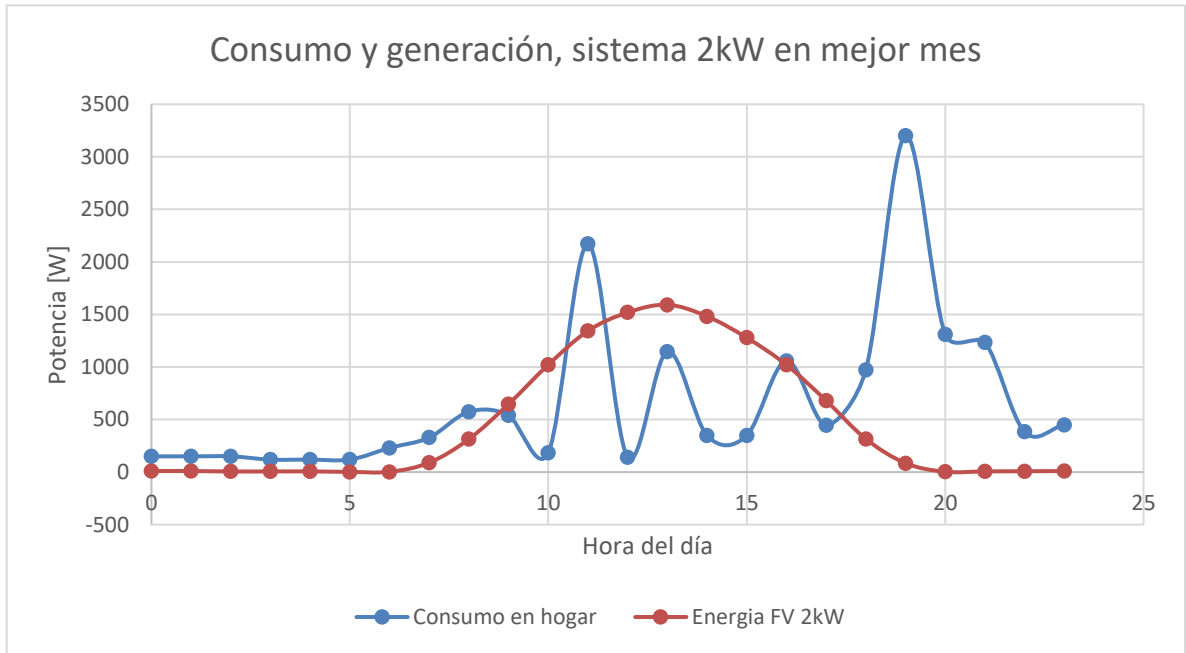


Tabla 33. Desempeño de sistema de 2 [kW] con inversor central y microinversor en el mejor escenario de radiación.

Energía en el mejor escenario	Sistema de 2kW con inversor central	Sistema de 2kW con microinversor
Diaria	11.4 [kWh/día]	11.7 [kWh/día]

4.2.1.2 *Evaluación económica* El ahorro en inversión inicial alcanzado gracias a los incentivos tributarios de la ley 1715 de 2014 es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 34. Ahorro en inversión inicial de sistema "Grid-Tie" de 2kW aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica 2kW Inversor Central			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 1,989	\$ 329	20%
Con Incentivo	\$ 1,660		
Instalación fotovoltaica 2kW Microinversor			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 2,304	\$ 390	20%
Con Incentivo	\$ 1,914		

A continuación, se presentan los resultados para el sistema fotovoltaico de 2 [kW] utilizando inversores convencionales y micro-inversores. Para este sistema se incluye el costo de mantenimiento anual estimado en 120 dólares para el primer año.

Tabla 35. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 2kW con inversor central a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes.

Sistema fotovoltaico de 2kW con inversor convencional					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Compra al 0%					
VPN	\$ 1,007	Retorno	6 años	TIR	18.68%
Compra al 20%					
VPN	\$ 1,587	Retorno	5 años	TIR	23.07%
Compra al 40%					
VPN	\$ 2,167	Retorno	4 años	TIR	27.23%
Compra al 60%					
VPN	\$ 2,748	Retorno	4 años	TIR	31.24%
Compra al 80%					
VPN	\$ 3,327	Retorno	4 años	TIR	35.14%
Compra al 100%					

VPN	\$ 3,903	Retorno	3 años	TIR	38.93%
Compra al 100% Solarius - PV					
VPN	\$ 3,993	Retorno	3 años	TIR	39.55%

La Tabla 35 permite afirmar que el sistema es rentable independientemente de si hay compra o no de excedentes. Por otra parte, los resultados arrojados por el software Solarius permiten validar que para una tasa de compra de 100%, se recupera la inversión en 3 años.

Tabla 36. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de 2kW con microinversor a 15 años y tomando diferentes tasas de compra de excedentes.

Sistema fotovoltaico de 2kW con microinversores.					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Compra al 0%					
VPN	\$ 802.2	Retorno	6 años	TIR	16.16%
Compra al 20%					
VPN	\$ 1,409	Retorno	5 años	TIR	20.32%
Compra al 40%					
VPN	\$ 2,015	Retorno	5 años	TIR	24.21%
Compra al 60%					
VPN	\$ 2,621	Retorno	4 años	TIR	27.94%
Compra al 80%					
VPN	\$ 3,228	Retorno	4 años	TIR	31.55%
Compra al 100%					
VPN	\$ 3,834	Retorno	4 años	TIR	35.08%
Compra al 100% Solarius - PV					
VPN	\$ 3,738	Retorno	4 años	TIR	34.55%

Analizando la Tabla 35 y Tabla 36, se encontró que los inversores centrales presentan una rentabilidad ligeramente superior a los micro-inversores. Por lo tanto, se concluyó que los micro-inversores son una opción rentable y válida para quienes

deseen invertir un poco más en su sistema fotovoltaico y tener un mayor control y eficiencia en su producción energética doméstica.

Teniendo en cuenta los beneficios alusivos a la declaración de renta se presenta la siguiente tabla, asumiendo una tasa de compra de excedentes del 0%.

Tabla 37. Análisis económico teniendo en cuenta beneficios alusivos a la declaración de renta.

Sistema fotovoltaico de 2kW con microinversores – Sin incentivo					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Análisis a 15 años					
VPN	\$ 802.2	Retorno	6 años	TIR	16.16%
Sistema fotovoltaico de 2kW con microinversores – Con incentivo					
Análisis a 15 años					
VPN	\$1,200.55	Retorno	5 años	TIR	19.88%

Se observa una reducción de un año en el tiempo de retorno de la inversión, así como un aumento de la rentabilidad del proyecto.

#### 4.2.2 Sistema de auto-consumo para estrato 5 – 6 De acuerdo con la

Figura 10, se aprecia un perfil de carga irregular, así que la potencia pico se calcula a partir del sistema que permita el mayor aprovechamiento del consumo local y que a su vez, no presente valores elevados de excedentes.

La siguiente tabla muestra el desempeño de varios sistemas por día, los cálculos se realizaron aplicando la ecuación (1) en cada franja horaria, y sumando para las 24 horas del día.

Tabla 38. Selección de potencia pico a partir de consumo energético, disponible para estratos 5 o 6.

Selección de potencia pico				
Consumo Hogar [kWh]	Potencia del sistema FV [W]	Energía diaria autoconsumida del sistema FV [kWh]	Energía FV no aprovechada [kWh]	Relación entre pérdida y consumo
15.8	270	1.30	0.046	3.5 %
	540	2.39	0.32	13.3 %
	810	3.17	0.89	28.0 %
	1080	3.88	1.54	39.7 %

Se elige una potencia pico de 540 [W], que requiere dos módulos de acuerdo a las características presentadas en la Tabla 6. A continuación, se describe el inversor seleccionado para el sistema.

Tabla 39. Micro inversor seleccionado para sistema de autoconsumo de estrato 5-6.

Inversor monofásico WVC Modelo 600	
Potencia	600 [W]
Eficiencia	92 %
Factor de Potencia	>96 %
THDI	<5 %
Rango de tensión MPPT	25 – 40 [V]
Rango de tensión DC	17 – 50 [V]
Corriente DC Máxima	25 [A]
Tensión AC de salida	110 [VAC] 60 [Hz]

Fuente: WOSN Electron.

El sistema está compuesto por dos módulos fotovoltaicos de 270 [W] y un micro-inversor de 600 [W].

Tabla 40. Tabla de precios para sistema fotovoltaico de 600W utilizando micro-inversor.

Instalación fotovoltaica de 600W para auto-consumo				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (2)	232	0%	19%	44
Inversor (1)	142	5%	19%	34
Conexiones y cables	18	0%	19%	3
Estructura	100	0%	19%	19

#### 4.2.2.1 Energía generada

Figura 22. Desempeño del sistema fotovoltaico de 600W en el peor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.

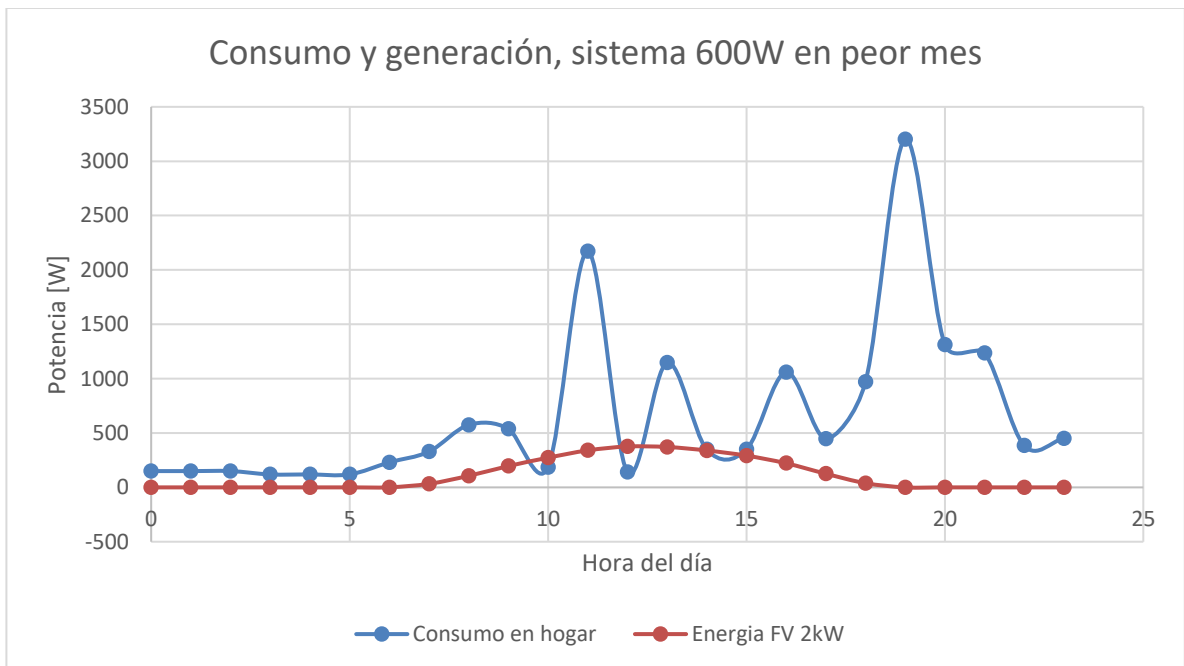
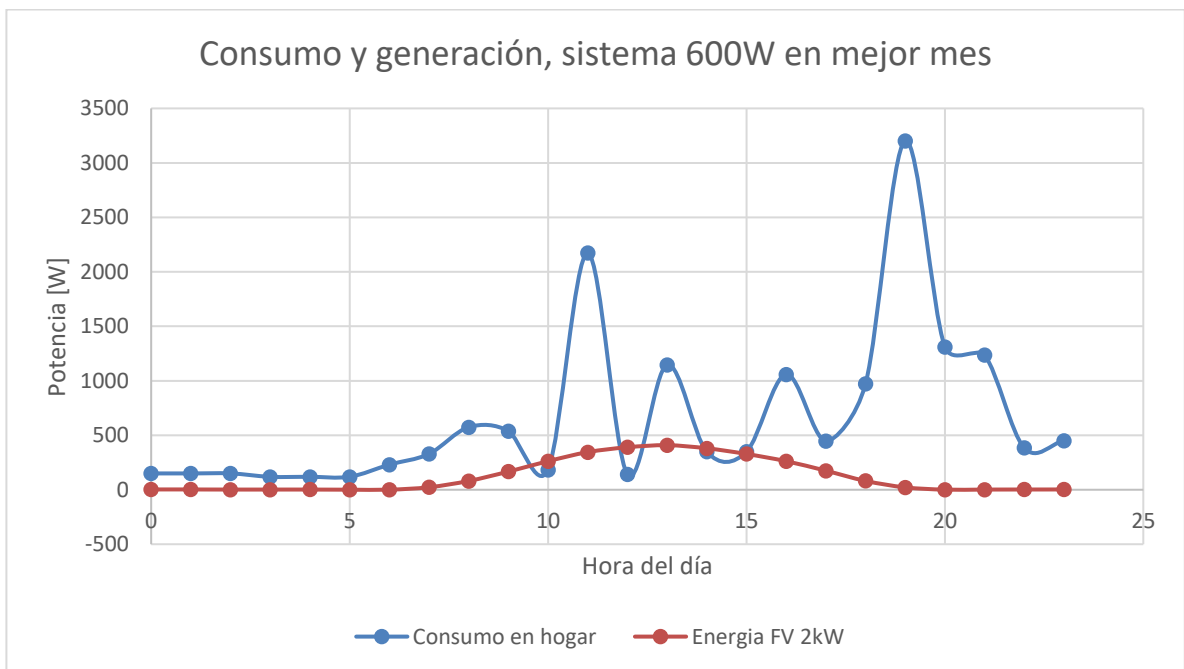


Tabla 41. Desempeño de sistema de 600 [W] con microinversor en el mejor y peor escenario de radiación.

Energía	Peor escenario	Mejor escenario
Diaria	2.71 [kWh]	2.94 [kWh]
Mensual	81.3 [kWh]	87.9 [kWh]
Anual	0.989 [MWh]	1.07 [MWh]

Figura 23. Desempeño del sistema fotovoltaico de 600W en el mejor mes, comparación con el consumo del hogar de estrato 5 y 6.



#### 4.2.2.2 Evaluación económica

Tabla 42. Ahorro en inversión inicial de sistema de autoconsumo para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica de autoconsumo para estrato 3 y 4			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	593	101	20%
Con Incentivo	492		

Tabla 43. Análisis financiero de sistema fotovoltaico de autoconsumo para estrato 3 y 4.

Sistema fotovoltaico de autoconsumo 5 y 6					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Análisis a 15 años					
VPN	\$ 415.38	Retorno	5 años	TIR	29.08%

La Tabla 43 mostró que el sistema es rentable y atractivo económicamente al tener un TIR superior al 10% y un tiempo de retorno menor a los 10 años.

4.2.3 **Sistema “Off-Grid”** El sistema diseñado debe almacenar energía durante el día para utilizarse en horas de mayor actividad que se presentan a partir de las cuatro de la tarde de acuerdo al perfil de carga construido en la

4.2.4 Figura 10.

El consumo energético en la tarde y noche alcanza los 9.06 [kWh], para encontrar el valor final a almacenar, se sobredimensiona teniendo en cuenta un 20% de seguridad, así como la eficiencia del inversor, regulador y conductores.

$$E_{diaria} = \frac{0 + \frac{9.06[kWh] * 1.2}{0.90}}{0.98 * 0.99} = 12.45 [kWh]/día$$

Como sigue, se calcula el número de módulos necesarios para la instalación.

$$N_M = \frac{12.45 [kWh]}{270 [W] * 6.4 [h] * 0.9} = 7.99 \sim 8$$

El número de módulos en serie y paralelo viene determinado por la tensión de máxima potencia del panel y la tensión del sistema.

$$N_s = \frac{24 [V]}{30.7 [V]} = 0.78 \sim 1$$

$$N_p = \frac{8}{1} = 8$$

Los paneles solares utilizados se muestran en la Tabla 6.

Eligiendo una profundidad de descarga máxima diaria de 30%, se encuentra el valor de energía a almacenar.

$$E_{Bat} = \frac{12.45 [kWh]}{0.3 * 1} = 41.5 [kWh]$$

$$C_{Bat} = \frac{41.5 [kWh]}{24 [V]} = 1729.2 [Ah]$$

Por lo tanto, la capacidad de las baterías debe ser igual o superior a 1730 [Ah], asumiendo un régimen de descarga C10. La solución elegida consiste en un arreglo de 18 baterías con las características mostradas en la Tabla 23. Se conectan 2 arreglos de 9 baterías en serie, así, se alcanzan 1800Ah@24V con el banco elegido de 18 baterías de 200 [Ah] y 12 [V].

El siguiente paso, es dimensionar el regulador de carga, a partir de la corriente de entrada, teniendo en cuenta la corriente de corto circuito de los módulos fotovoltaicos.

$$I_{Rin} = 9.27 [A] * 8 * 1.1 = 81.57 [A]$$

Para la corriente de salida, se tiene en cuenta la carga, compuesta por equipos de entretenimiento e iluminación, esta alcanza los 1.64 [kW].

$$I_{Rout} = \frac{1.1(1.64[kW])}{0.9} = 83.51 [A]$$

Las características del regulador elegido, se presentan en la Tabla 24.

La potencia del inversor viene determinada por la carga en AC, y un porcentaje de seguridad.

$$P_{inv} = 1.64 [kW] * 1.1 = 1.804 [kW]$$

Las características del inversor seleccionado pueden observarse en la Tabla 25.

A continuación, se presenta la tabla de costos del sistema fotovoltaico “Off-Grid” para estrato 5 – 6.

Tabla 44. Tabla de precios para sistema fotovoltaico “OFF-GRID” para estrato 5 y 6

Instalación fotovoltaica “OFF-GRID” para estrato 5 y 6				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Paneles Solares (8)	900	0%	19%	171
Inversor (1)	300	5%	19%	72

Conexiones y cables	120	0%	19%	23
Baterías (18)	4000	0%	19%	760
Reguladores de carga (2)	243	5%	19%	58
Estructura	400	0%	19%	76

Fuente: Autor

#### 4.2.4.1 Evaluación económica

Tabla 45. Ahorro en inversión inicial de sistema "Off-Grid" para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica autónoma para estrato 5 y 6			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 6,647	\$ 1,084	19%
Con Incentivo	\$ 5,563		

De forma similar al caso anterior se toma un período de 10 años, que es la vida útil estimada de las baterías. Y se considera un costo de mantenimiento anual de 120 [USD] para el primer año.

Tabla 46. Análisis financiero de sistema fotovoltaico autónomo para estrato 5 y 6.

Sistema fotovoltaico autónomo para estrato 5 y 6					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Análisis a 10 años					
VPN	\$ -1,354	Retorno	9 años	TIR	4.31%
Análisis a 10 años – Con incentivo de renta					

VPN	-\$169.4	Retorno	7 años	TIR	9.26%
-----	----------	---------	--------	-----	-------

La anterior tabla permite descartar en primera instancia a los sistemas autónomos, debido a que la tasa de retorno es inferior al 10%, e incluso es menor al porcentaje de inflación esperado (5.8%) por lo tanto, teniendo en cuenta que a los 10 años es muy probable que las baterías deban ser cambiadas, el sistema no es viable económicamente y no se recomienda su implementación.

Teniendo en cuenta los beneficios de deducción de renta y depreciación acelerada, el proyecto mejoró su desempeño económico y ahora puede ser tenido en cuenta ya que su tasa de rentabilidad supera la inflación y el retorno de la inversión se reduce a 7 años.

**4.2.5 Sistema híbrido** El sistema híbrido se diseña con el objetivo de que la energía del generador fotovoltaico sea consumida instantáneamente y en caso de que existan excedentes, estos sean almacenados en baterías o inyectados a la red, dando prioridad a la carga de las baterías.

La potencia del sistema se selecciona para cubrir un 60% del consumo, como se muestra aplicando la ecuación (1). Se asume un rendimiento del 75% para el sistema fotovoltaico.

$$P_s = \frac{15.7 [kWh] * 0.6}{6.4 [h] * 0.75} = 1.96 [kW]$$

Las características de los módulos se pueden consultar en la Tabla 6, a continuación, se presenta el inversor híbrido seleccionado.

Tabla 47. Inversor híbrido seleccionado para sistema de estrato 5 - 6

Inversor monofásico IGrid-SS 2KW	
Máxima potencia FV	2250 [W]
Potencia de salida nominal	2000 [W]
Max VDC de entrada	350 [V]
Rango MPP	120 – 320 [V]
FP	0.99
Eficiencia Grid-Tie	94%
Eff Max	95%
Eficiencia Off-Grid	90%
Tensión Batería	48 [V]
Tensión de salida nominal	101/110/120/127 VAC

Fuente: EASUN Power.

Se procede a determinar el número de módulos en serie.

$$N_s = \frac{1960}{270} = 7.28 \sim 8$$

El proceso de dimensionamiento de baterías se realiza con el fin de almacenar la energía que no es consumida durante el día. Según el perfil de carga equivale a 4.52 [kWh]. Se procede a diseñar con un sobredimensionamiento del 10% y una profundidad de descarga diaria máxima del 30%. Finalmente se toma el rendimiento del inversor, regulador y cables como 0.9, 0.98 y 0.99 respectivamente.

$$E_{Bat} = \frac{4.52 [kWh] * 1.1}{0.3 * 0.9 * 0.98 * 0.99} = 19.01 [kWh]$$

$$C_{Bat} = \frac{19.01 [kWh]}{48 [V]} = 396.2 [Ah]$$

La Tabla 23, muestra las características de la batería utilizada, ésta tiene una tensión nominal de 12 [V] por lo tanto se requiere conectar 4 en serie, en paralelo con otras 4, con lo que se alcanzan 400Ah@48V y un total de 8 baterías.

Tabla 48. Tabla de precios para sistema fotovoltaico híbrido para estrato 5 y 6

Instalación fotovoltaica híbrida para estrato 5 y 6				
Equipo	Precio [USD]	Gravamen arancelario	IVA	Ahorro Ley 1715 [USD]
Inversor (1)	1071	5%	19%	203
Paneles (8)	900	0%	19%	216
Estructura	400	0%	19%	48
Baterías (8)	2000	0%	19%	380
Cables	60	0%	19%	58

Fuente: Autor

#### 4.2.5.1 Evaluación económica

Tabla 49. Ahorro en inversión inicial de sistema híbrido para estrato 5 y 6, aplicando beneficios de IVA y aranceles.

Instalación fotovoltaica híbrida			
Concepto	Valor compra [USD]	Diferencia	Porcentaje de ahorro
Sin Incentivo	\$ 5,321	\$ 890	20%
Con Incentivo	\$ 4,431		

Para el sistema híbrido se asume un costo de mantenimiento de 120 [USD] para el primer año y se realiza el análisis a 10 años debido a la presencia de baterías.

Tabla 50. Análisis financiero de sistema fotovoltaico híbrido para estrato 5 y 6.

Sistema fotovoltaico híbrido para estrato 5 y 6					
Las tasas de compra de excedentes toman como referencia el precio del kWh para estrato 5 y 6 de 0.182 [USD] al 1 de enero de 2016.					
Análisis a 10 años					
VPN	\$ -223.61	Retorno	7 años	TIR	8.88%
Análisis a 10 años – Con incentivo de renta y depreciación					
VPN	\$ 697.55	Retorno	6 años	TIR	13.62%

A partir de la información proporcionada por la Tabla 50, se encontró que los sistemas híbridos permiten recuperar la inversión a una tasa del 8.88% por lo que según los criterios definidos el sistema es rentable al proporcionar ganancias, pero no es viable al tener un TIR inferior al 10% y por consiguiente un VPN negativo.

Sin embargo, al tener en cuenta los beneficios de renta y depreciación acelerada, el proyecto pasa a ser viable y rentable económicamente, superando la tasa de descuento y reduciendo en 1 año el retorno de la inversión.

## 5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten afirmar que los sistemas conectados a la red para autoconsumo o entrega de excedentes son una oportunidad de negocio, ahorro y cuidado al medio ambiente para el usuario residencial, muy por encima de los sistemas aislados, con la única restricción de no otorgar independencia energética de la red. Esto se debe al elevado costo de baterías que incrementan notablemente la inversión inicial (Mayor o igual al 100%). Se resaltan los beneficios de la ley 1715 (exclusión de IVA y aranceles) que permiten alcanzar un ahorro que oscila entre el 20% y 21% del costo original de todos los proyectos. Mientras que, los beneficios alusivos a la declaración de renta reducen en 1 o 2 años el tiempo de retorno de la inversión.

Para la realización de los cálculos, se asumió que los paneles se ubican en una superficie plana, y se utilizó el criterio de latitud para determinar su inclinación apropiada. La selección de potencia pico se realizó a partir del consumo energético de cada población, así, para el caso de estrato 3 y 4 se tiene un consumo de 7.6 [kWh/día] y se eligió una instalación de 1 [kW] (CI) mientras que para estrato 5 y 6, se tiene un consumo superior de 16 [kWh/día] y se seleccionó una instalación de 2 [kW]. Se incluyó también un aspecto técnico inherente a los módulos fotovoltaicos, su pérdida anual de eficiencia, que fue fijada en 0.008% anual.

Los sistemas fotovoltaicos con micro-inversores presentaron un VPN menor al que se obtuvo utilizando inversores centrales y tuvieron un mayor costo de inversión inicial, lo que permitió descartarlos sin utilizar el criterio del índice de rentabilidad. Sin embargo, para potencias mayores, esa diferencia de eficiencia podría traducirse en un beneficio económico.

Si se desea independencia energética además de ahorro económico, resulta interesante el uso de sistemas híbridos conectados a la red, sin embargo, hay que tener en cuenta que para potencias inferiores a 3 [kW], hay escasa disponibilidad de inversores híbridos que trabajen con tensión de salida de 110VAC@60Hz y sean de baja potencia.

A partir del estudio de mercado realizado se consultaron precios de equipos en Europa, EE. UU y China principalmente, y se encontró que China tiene una ventaja comercial muy importante ya que sus precios son muy competitivos y la calidad de sus equipos no se queda atrás comparados con sus pares europeos y norteamericanos, por ello los equipos elegidos para los casos de estudio provienen del país de la gran muralla.

## 6 RECOMENDACIONES

La viabilidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red está sujeta a la reglamentación que debe emitir la CREG para entrega de excedentes de autogeneradores a pequeña escala de acuerdo al decreto 348 del 01 de marzo de 2017. Los sistemas conectados a la red serán más viables en la medida que el reconocimiento de excedentes incluya un sistema de créditos de energía o sea igual o mayor al 40% del costo actual de la energía, debido a que su tiempo de recuperación se reduce a menos de 10 años y por ende, se consideran proyectos atractivos económicamente.

Se recomienda realizar un estudio de carga a partir de mediciones en las viviendas de Bucaramanga, con el objetivo de caracterizar los perfiles de carga residenciales en diferentes estratos. Esto permite que exista un registro de los equipos y patrones de consumo reales que sirvan de base para trabajos subsiguientes.

El país deberá tomar medidas para seguir garantizando el suministro eléctrico a los colombianos, como la concientización de los usuarios en una cultura de ahorro y el incremento del uso de energías renovables. Con la implementación de estas fuentes se pretende que petróleo, gas y carbón al ser recursos limitados y contaminantes tengan una participación más reducida, logrando una diversificación de la matriz energética colombiana.

Teniendo en cuenta el crecimiento que la energía solar fotovoltaica está a punto de experimentar en Colombia, y la existencia de estudios de posgrado sobre este tema en distintas universidades del mundo, resulta interesante considerar la opción de agregar una asignatura electiva en dónde los estudiantes de la E3T conozcan los fundamentos y principios de esta tecnología y puedan impulsar al país a alcanzar

las metas propuestas de generación distribuida y de diversificación energética, ya sea como empleados o empresarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- COLOMBIA, SISTEMA DE INFORMACIÓN ELÉCTRICO COLOMBIANO. Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano. Bogotá: UPME, 2015.
- COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 697, (5, octubre, 2001), Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2001. No. 44573. p. 1-5.
- COLOMBIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Resolución 045. (03, febrero, 2016). Por la cual se establecen los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE), con miras a obtener el beneficio de la exclusión del IVA y la exención de gravamen arancelario de que tratan los artículos 12 y 13 de la Ley 1715 de 2014, y se toman otras determinaciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2016. No. 49776. p. 1-7.
- COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA, Ley 1715, (13, mayo, 2014), Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2014. No. 49150. p. 1-26.
- LÓPEZ-ARGUMEDO, Esther. Estudio técnico-económico de una instalación solar fotovoltaica conectada a red de 5 kW. Leganés.: Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Tecnología Electrónica, 2009, 81 p.
- ARCE ZAPATA, Germán, et al. Invierta y gane con energía [En línea]. [Bogotá, Colombia]: UPME, 2016 [Citado el 22 de Abril de 2017]. Disponible en: <http://ccenergia.org.co/nw/cartillaupme.pdf>.
- ROLÓN, Mariana. Radiación solar en Colombia se parece a la del Sahara. Ciencia [En línea]. Bogotá: El Espectador, 2017 [Citado el 31 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/ciencia/radiacion-solar-en-colombia-se-parece-la-del-sahara-articulo-681279>
- Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías [en línea]. Organización Internacional de Energía Atómica: Viena. 2008 [Citado el 31 de Marzo de 2017]. Disponible en:

[http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s\\_web.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222s_web.pdf). ISBN 978–92–0–306108–7.

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P. Informe de sostenibilidad 2015. Bucaramanga: Área de gestión operativa., 2015.

COLOMBIA, SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS. [En línea]. Bogotá: SUI. [Citado el 13 de enero de 2017]. Disponible en: [http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele\\_com\\_096](http://reportes.sui.gov.co/fabricaReportes/frameSet.jsp?idreporte=ele_com_096).

GÓMEZ, Walter y ARCHILA, Gustavo. Caracterización tecnológica de la topología de un sistema de gestión energética residencial. Trabajo de grado Ingeniero Electricista. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, 2012. 103 p.

ARGENTINA, SECRETARÍA DE ENERGÍA. Energías renovables 2008 – Energía solar [En línea]. [Capital Federal, Argentina] 2008 [Citado el 12 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.inti.gob.ar/e-renova/erTO/pdf/libro_energia_solar.pdf).

DÍAZ, Jorge. y PABÓN, Luis. Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. En: Lampsakos. Enero-Junio de 2012. no. 7, p. 69-77.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. A snapshot of global PV (1992-2015). IEA PVPS [En línea], 2015 [Citado el 15 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2015\\_-\\_Final\\_2\\_02.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final_2_02.pdf).

PERPIÑAN, Oscar. Energía solar fotovoltaica. Máster de Energías Renovables. España.: Escuela de Organización Industrial. 2013. 146 p.

SEBASTIÁN, Eliseo. Hora solar pico – Radiación solar [En línea]. [Lima, Perú]: 2016 [Citado el 20 de Marzo de 2017]. Disponible en: <http://eliseosebastian.com/hora-solar-pico-uso-en-paneles-solares-fotovoltaicos/>.

COLOMBIA, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas de radiación solar en Colombia. Bogotá: UPME., 2005. 40 p.

NASA, Surface meteorology and solar energy – Available tables [En línea]. [EE.UU]: 2005 [Citado el 10 de Enero de 2017], Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>.

ALONSO ABELLA, Miguel. Sistemas fotovoltaicos [En línea]. [Madrid, España]: Escuela de Organización Industrial. Departamento de Energías Renovables. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, 2012 [Citado el 20 de Enero de 2017]. Disponible en: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf).

CARMONA, G. y DÍAZ, T. Instalaciones solares fotovoltaicas [En línea]. [España] 2015 [Citado el 10 de Febrero de 2017]. Capítulo I. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. ISBN: 84-481-7169-1.

RASHID, Muhammad. Electrónica de potencia. Traducido por Gabriel Sánchez García. 2 ed. Bogotá D.C : Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1995. 621 p. ISBN 968-880-586-6.

ESPAÑA, COMUNIDAD DE MADRID, DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS. Guía de la energía solar. Madridsolar: Caja Madrid., 2006. p. 1-63.

APROTEC. Energía solar fotovoltaica [En línea]. [Villavicencio, Colombia]: Mantix Publicidad, 2010 [Citado el 20 de Febrero de 2017]. Disponible en: [http://www.aprotec.com.co/pages/solar\\_pv.html](http://www.aprotec.com.co/pages/solar_pv.html).

COLOMBIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Resolución 281 del 2015, (5, Jun, 2015). Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2015. No. 49534. p. 1-2.

COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 143. (11, Julio, 1994). Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1994. No. 41434. p. 1-34.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 084. (15, Octubre, 1996). Por la cual se reglamentan las actividades del autogenerador conectado al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1996. No. 42906. p. 1-3.

COLOMBIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA – UPME. Resolución 281, (5, Jun, 2015). Por la cual se define el límite máximo de potencia

de la autogeneración a pequeña escala. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2015. No. 49534. p. 1-2.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 024. (13, Mar, 2015). Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., No. 49490. p. 1-19.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Decreto 2469. (2, Dic, 2014). Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración. Diario Oficial. Bogotá, D.C., No. 49353. p. 1-3.

CHILE, CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos, conectados a red. Santiago de Chile: CDT, 2013. 58 p. ISBN 978-956-7911-27-1.

ENERGÍAS INTELIGENTES, Sistemas híbridos. principio de funcionamiento y preguntas frecuentes [En línea]. [Buenos Aires, Argentina]: Energías Inteligentes S.A., 2014 [Citado el 20 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.energiasinteligentes.com/noticias/9/sistemas-hibridos-principio-de-funcionamiento-y-preguntas-frecuentes>.

LUND, Mark. Wire gauge and current limits including skin depth and strength [En línea]. [Utah, EE.UU]: PowerStream, 2017 [Citado el 3 de Marzo de 2017]. Disponible en: [http://www.powerstream.com/Wire\\_Size.htm](http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC, 60529. (noviembre, 1989). Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Dansk Standard. Ginebra., 1991. p. 1-79.

GÓMEZ DE MARZOA, Lope. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas [En línea]. [A Coruña, España]: SunFields Europe, 2011 [Citado el 22 de Marzo de 2017]. Disponible en: [https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields\\_Manual-Calculo\\_Fotovoltaica\\_Autonomas.pdf](https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields_Manual-Calculo_Fotovoltaica_Autonomas.pdf).

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 90708. (30, agosto, 2013). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2013. No. 48904. p. 1-3.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma técnica colombiana. NTC 2050. Bogotá D.C.: ICONTEC., 1998. 754 p.

Finanzas personales. ¿Qué es el impuesto sobre la renta? [En línea]. [Bogotá, Colombia]: Publicaciones Semana S.A., 2013 [Citado el 12 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.finanzaspersonales.com.co/impuestos/articulo/que-como-calcula-impuesto-sobre-renta/51864>.

GOBIERNO DE COLOMBIA; MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA y UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. [diapositivas]. Invierta y gane con energía talleres sobre incentivos tributarios de la ley 1715. [2016].

SECO BENEDICTO, Maite. Análisis de inversiones y proyectos de inversión. España: Escuela de Organización Industrial., 2014 [Citado el 10 de Marzo de 2017]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/17027/download?token=8jFSTfIF>.

PARK, Chan. Evaluación del negocio y de los activos en ingeniería. En: Fundamentos de ingeniería económica. Traducido por: Luis Miguel Cruz. 2 ed. México: Pearson Educación, 2009. p. 160-192.

PARK, Chan. Análisis de la tasa de retorno. En: Fundamentos de ingeniería económica. Traducido por: Luis Miguel Cruz. 2 ed. México: Pearson Educación, 2009. p. 248-276.

ACCA, Solarius-PV [Software para análisis técnico y económico de sistemas fotovoltaicos conectados a la red]. Versión: 10.0h. Fecha de lanzamiento: 8 abril 2013. Requerimientos del sistema: Microsoft Windows XP Service Pack 2 o superior, Windows Vista, Windows 7 o Windows 8 (incluidas ambas versiones, 32-bits y 64-bits, pero no ediciones RT para tabletas). Disponible para la descarga en: <http://www.accasoftware.com/es/software-calculo-instalacion-fotovoltaica/>.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Decreto 348. (1, marzo, 2017). Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2017. No. 49436. p. 1-3.

Vaisala Energy. Global solar dataset [En línea]. [Helsinki, Finlandia] 2015 [Citado el 22 de Febrero de 2017]. Disponible en: <http://www.vaisala.com/en/energy/Documents/WEA-ERG-3TIER-Global%20Solar%20Validation.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A. Equipos domésticos típicos para estratos 5 y 6.

Se incluye la respectiva potencia de trabajo, consumo stand-by, horas de uso y factor de utilización.

Tabla 51. Equipos domésticos típicos para estratos 5 y 6.

Estrato 5 y 6 - Potencia									
Función	Equipo	Marca	Modelo	Potencia por unidad [W]	Número de equipos	Consumo Stand-by [W]	Horas de uso diarias	Factor de utilización	Consumo energético [Wh]
Refrigeración	Nevera	Haceb	SBS 656 L BAR SE 2P T	170	1	-	24	50%	2040
Climatización	AA	LG	LS120HEV1	1140	1	-	4	70%	3192
Limpieza	Lavadora	Samsung	18 kg   WF18H5200AP/AX	950	1	-	0.5	80%	380
	Aspiradora	Karcher	000000K1DS5600	1400	1	-	0.5	60%	420
	Plancha	Black&Decker	IR1160S1	1400	1	-	0.5	80%	560
Entretenimiento	TV	LG	43UH661V	52	1	0.3	3	80%	125.52
		LG	32LH604V	30	3	0.5	2	80%	146.4
	Decodificador	Directv	Standard receiver	25	4	1	3	-	312
	Computador Portatil	Dell	Inspiron 15 5000	65	3	-	2	50%	195
	Computador de mesa	Dell	XPS 8900	460	1	-	6	50%	1380

	Consola de videojuegos	Sony	Play Station 4	165	1	-	2	-	330
	Teatro en casa	LG	LHB725	130	1	0.5	1	40%	52.2
	Minicomponente	Panasonic	HC19PHK	20	1	-	0.5	80%	8
	Router	Asus	RT-AC68U	34	1	-	24	-	816
	Cargador de smartphone	Asus	Zenfone 2	5	5	1.15	4	-	123
Cocina	Licuada	OSTER	BLSTEG7806B-013 1.5L	450	1	-	0.1	50%	22.5
	Fogón de inducción	Smeg	SIM62B	1800	4	-	0.5	50%	1800
	Microondas	Whirlpool	0.7 Pc Silver	700	1	-	0.5	100%	350
	Sanduchera	Oster	CKSTPA3880	1500	1	-	0.1	-	150
	Tostadora	Oster	6544	850	1	-	0.1	-	85
	Batidora	Oster	2532	250		-	0.05	-	12.5
	Cafetera	Oster	BVSTEM4188-053	900	1	-	0.1	40%	36
	Extractor/Exprimidor	Oster	FPSTJE318C	1000	1	-	0.05	-	50
	Olla Arrocera	Oster	CKSTRC7029-013	700	1	-	0.5	30%	105
Lavavajillas	Whirlpool	WDT920SADM	1800	1	-	1	-	1800	
Iluminación	Bombilla LED	Philips	929000198411	5	15	-	6	100%	450
	Bombilla MasterLED	Philips	929000195608	10	10	-	6	100%	600
	Lámpara de mesa	-	E14	40	5	-	1	100%	200
Total				21956 [W]					15881.4 [Wh]

## ANEXO B. Equipos domésticos típicos para estratos 3 y 4.

Se incluye la respectiva potencia de trabajo, consumo stand-by, horas de uso y factor de utilización.

Tabla 52. Equipos domésticos típicos para estrato 3 y 4.

Estrato 3 y 4 - Potencia									
Función	Equipo	Marca	Modelo	Potencia por unidad [W]	Número de equipos	Consumo Stand-by [W]	Horas de uso diarias	Factor de utilización	Consumo energético [Wh]
Refrigeración	Nevera	Haceb	220L SE 2P DA	90	1	-	24	50%	1080
Climatización	Ventilador	Electrolux	VM18M	80	2	0.1	6	80%	768.96
Limpieza	Lavadora	Electrolux	EWIE09F3W 20L	400	1	-	1	80%	336
	Plancha	Tefal	FV-1230 EO	1800	1	-	0.5	80%	1440
Entretenimiento	Computador de mesa	-	Genérico	300	1	1.4	4	50%	602.8
	Minicomponente	LG	LG CM1560	10	1	-	0.5	40%	2
	Router	Technicolor	TC7200.20	18	1	-	24	-	432
	Cargador de celular	Samsung	J1	5	3	1.15	4	-	73.8
	TV	Samsung	24" Hd Lt24e310lt	35	2	-	5	80%	280
	DVD	LG	DP132	11	1	9	0.5	80%	8
Cocina	Licuadaora	Kalley	K-LPV40	400	1	-	0.05	50%	10
	Sanduchera	Premium	PSM269	75	1	-	0.1	-	7.5
Iluminación	CFL	Philips	45	45	10	-	6	100%	450
	CFL	Philips	20	20	5	-	6	100%	100
	Lámpara mesa	-	E27	40	2	-	0.5	100%	80
				3999	[W]			Total	7761 [Wh]

## **ANEXO C. Características y parámetros de los acumuladores electroquímicos.**

**Capacidad nominal ( $C_b$ ):** Carga eléctrica que puede ser tomada de una batería hasta que se llegue a la descarga total.

**Régimen de carga/descarga:** Corriente aplicada a una batería para extraer o restablecer su capacidad nominal. Por lo general se presenta como una relación entre la capacidad nominal y la corriente. Por ejemplo, si la capacidad es de 200 [Ah], se habla de un régimen de carga (descarga)  $C_{10}$  cuando se aplican (extraen) 20 [A], de tal forma que en 10 horas se restablece (extrae) la capacidad.

**Estado de carga (SoC):** Capacidad de una batería parcialmente cargada, dividida por su capacidad nominal. Oscila entre 0 y 1.

**Profundidad de descarga (PD):** Complemento del estado de carga.

**Tensión de corte:** Tensión en la que termina la descarga de la batería. Depende del régimen de descarga y tipo de batería. De él, se deduce la profundidad de descarga máxima, PDmax y la capacidad útil  $C_U$  de acuerdo con la siguiente expresión.

$$C_U = PD_{max} * C_b$$

**Eficiencia energética:** Relación entre la energía extraída durante la descarga y la carga necesaria para retornar al estado inicial.

**Autodescarga:** Pérdida de capacidad de una batería cuando se encuentra en circuito abierto.

## **ANEXO D. Tipos de acumuladores**

Un acumulador incorporado a un sistema fotovoltaico debe ser capaz de funcionar bajo condiciones de ciclado diarias de carga y descarga, teniendo en cuenta que la carga entregada por el generador depende de la radiación solar.

**Baterías de arranque** (SLI: *Starting, Lighting, Ignition*): Son utilizadas habitualmente en automóviles y por lo tanto se consiguen fácilmente en cualquier mercado local. Su precio es relativamente bajo y suelen utilizarse como reemplazo de baterías dañadas y en sistemas de electrificación rural de pequeño tamaño.

Tienen buen comportamiento en descarga de alta intensidad y un rendimiento decente de descarga a bajas temperaturas, pero su resistencia al ciclado es muy baja y su vida útil se reduce sustancialmente al trabajar en un sistema fotovoltaico.

**Baterías de tracción:** Son utilizadas, por ejemplo, en carretillas elevadoras. Presentan una resistencia suficiente al ciclado, pero requieren aportación de agua y mantenimiento frecuente, por lo tanto, su uso en sistemas fotovoltaicos está limitado a casos en donde exista la seguridad de que el usuario cuidará el elemento de forma regular.

**Baterías estacionarias:** Son comúnmente empleadas en sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) o instalaciones remotas (por ejemplo, radioenlaces). Funcionan en régimen de flotación, es decir, entregan carga en situaciones esporádicas. En este modo de funcionamiento utilizan poca agua pero deben tener gran reserva de electrolito. Estas baterías presentan alta resistencia a la corrosión y elevada fiabilidad lo que las hace muy interesantes para su uso en sistemas fotovoltaicos, teniendo en cuenta que su precio es más elevado frente a las opciones anteriores.

**Baterías “fotovoltaicas”:** Consisten en algunos de los tipos de baterías anteriormente mencionados que son modificados para trabajar en instalaciones

fotovoltaicas, existen versiones de bajo costo que son baterías de arranque adaptadas a las condiciones de funcionamiento de un sistema fotovoltaico, así como alternativas más costosas como baterías estacionarias modificadas.

## **ANEXO E. Parámetros de un inversor comercial**

**Potencia nominal y máxima:** representa el porcentaje de sobrecarga que el equipo puede soportar durante un determinado período de tiempo.

Ventana de búsqueda del punto de máxima potencia (MPP en siglas inglesas): Es el rango de tensiones en las que el inversor aplica un algoritmo de búsqueda del MPP del generador fotovoltaico.

**Tensión máxima de entrada:** Es el valor máximo de tensión que el inversor puede soportar sin que presente una avería. Sobrepasar este valor de tensión puede afectar algunos componentes de entrada del inversor.

**Tensión nominal de salida:** Es la tensión de red a la que se puede conectar el inversor.

**Eficiencia máxima:** Es el valor máximo que toma la relación entre potencia de salida y potencia de entrada.  $\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$

**Umbral de arranque:** Según las unidades en las que se exprese, puede referirse a radiación solar incidente en el generador ( $W/m^2$ ) o la potencia de entrada (W) que se necesita para que el inversor comience el proceso de conversión.

## **ANEXO F. Dimensionado de sistemas fotovoltaicos conectados a la red**

La energía solar fotovoltaica trae grandes beneficios a quienes la utilizan, siempre y cuando se aproveche al máximo el potencial que esta tecnología posee, por ello es necesario realizar correctamente el diseño del sistema teniendo en cuenta las múltiples variables que presenta como la tecnología del generador, la distribución de inversores, el área, el lugar, entre otras.

El objetivo de este capítulo no es definir una regla general, sino presentar algunas consideraciones, etapas y restricciones de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

### **Potencia y energía**

Son las magnitudes más relevantes en una instalación fotovoltaica, la potencia del sistema indica la capacidad de generación eléctrica, mientras que la energía hace referencia a la potencia por unidad de tiempo, generalmente horas. Las unidades de potencia se expresan en watt (W) y las unidades de energía mayormente se expresan en watt-hora (Wh).

Para el generador fotovoltaico, se denomina potencia pico ( $W_p$ ) a la potencia total que pueden generar los módulos, bajo condiciones estándar ( $1.000 \text{ W/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$  y AM 1,5).

En la siguiente imagen se observa la irradiancia durante el día (potencia por metro cuadrado) en el mes de enero para los años 2012 – 2014 en el club campestre de Bucaramanga, el área bajo la curva representa la insolación recibida durante el día (energía por metro cuadrado).

### **Dimensionado**

Entre las variables a considerar en el diseño del sistema de generación fotovoltaico se encuentran factores de tipo económico, energético, geográfico y regulatorio entre otros, en el presente capítulo se propone un método de diseño a partir de la potencia pico que se desea instalar como indica la siguiente secuencia y teniendo en cuenta el peor mes de radiación.

1. Potencia pico a instalar.
2. Número de módulos.
3. Superficie requerida.
4. Selección del inversor.
5. Disposición de los módulos.
6. Cableado.
7. Protecciones.

#### **Dimensionado del generador fotovoltaico**

En sistemas conectados a la red, no se tiene un criterio unificado para determinar la potencia pico que se requiere instalar, sin embargo, existen algunos factores que permiten orientar esta decisión como lo son, el consumo energético, la potencia instalada, el presupuesto y espacio físico disponible y en menor medida el tipo de carga.

$$E = DSP * P_p * E_{ff} \quad (1)$$

En donde DSP es el día solar pico, que se encuentra dividiendo el valor de insolación entre  $1 \text{ kW/m}^2$ ,  $P_p$  es el valor de potencia pico de la instalación FV, y  $E_{ff}$  es un porcentaje de eficiencia que, para efectos prácticos, se deja fijo en 90% para los cálculos iniciales.

La potencia pico puede despejarse de la ecuación (1) seleccionando la energía que se quiere obtener del sistema fotovoltaico, a su vez, esta energía se determina seleccionando el porcentaje de consumo doméstico que se desea cubrir.

A partir de la potencia pico, se encuentra el número de módulos requerido a partir de la siguiente expresión.

$$N = \frac{P_{MAX}}{P_{PICO}} \quad (2)$$

En donde N es el número de módulos,  $P_{MAX}$ , la potencia pico que desea instalar (Potencia del campo generador) y  $P_{PICO}$  la potencia pico de cada módulo. Si el resultado no es entero, se redondea el número al entero próximo hacia adelante.

Conociendo las dimensiones del módulo y su número, es posible calcular la superficie mínima que requiere la instalación. Para ello se multiplica la cantidad de módulos por las dimensiones de un panel.

$$S_T = N * A \quad (3)$$

Donde  $S_T$  es el área requerida para la instalación, N es el número de paneles a instalar y A es el área de un panel.

### **Selección del inversor**

Para la selección del inversor se tienen en cuenta factores como la potencia instalada y de conexión a red, los tipos de módulos utilizados y demás factores del medio ambiente, propios del lugar geográfico de la instalación, también se tienen en

cuenta rendimiento, autoconsumo, forma de onda AC, precio, corriente de entrada, rango de tensión de entrada, distorsión armónica y factor de potencia.

Por lo general, la potencia nominal del inversor debe ser aproximadamente igual a la potencia pico de la instalación y debe contar con seguimiento de máximo punto de potencia.

Nota: El inversor debe ser para instalaciones conectadas a la red (“*Grid-tie*”) y no para sistemas aislados.

### **Conexión de módulos en serie o paralelo**

Los parámetros de entrada del inversor (tensión y corriente máxima) se tienen en cuenta para la disposición de los paneles solares en serie o paralelo.

Para calcular el número mínimo de módulos por *string*, se utiliza la siguiente fórmula:

$$N_{Mmin} = \frac{V_{MIN}}{V_{MPPmin}} \quad (4)$$

En donde  $N_{Mmin}$  es el número mínimo de módulos en serie,  $V_{MIN}$  la tensión mínima de entrada del inversor y  $V_{MPPmin}$  la tensión mínima efectiva de máxima potencia del módulo a la máxima temperatura efectiva de la celda.

La tensión máxima de entrada del inversor determina el número máximo de módulos en serie por arreglo, a partir de la expresión.

$$N_{Mmax} = \frac{V_{MAX}}{V_{OCmax}} \quad (5)$$

Siendo  $N_{Mmax}$  el número máximo de módulos en serie,  $V_{MAX}$  la tensión máxima de entrada del inversor y  $V_{OCmax}$  la tensión en circuito abierto máxima de cada módulo a la temperatura mínima del día.

Se debe procurar que la tensión del sistema se encuentre en el rango de tensión MPP del inversor.

Para calcular los valores de tensión requeridos, se utiliza la siguiente fórmula en donde se tiene en cuenta el efecto de la temperatura en los parámetros de los módulos fotovoltaicos:

$$V = V_{STC} + [Y(T - T_{STC})] \quad (6)$$

En donde  $V_{STC}$  es el valor del parámetro medido a la temperatura de referencia,  $Y$  es un parámetro que indica el cambio del voltaje con respecto a la temperatura y se encuentra en las hojas de datos de los módulos,  $T$  representa la temperatura real de la celda y  $T_{STC}$  es la temperatura de referencia.

En el caso de la corriente, es importante recordar que la intensidad de corto circuito total del generador fotovoltaico no debe superar el valor máximo de corriente DC de entrada que soporte el inversor.

Nota: Se prefiere elegir módulos del mismo modelo para que existan tensiones idénticas y evitar flujos de corriente hacia el generador.

### **Inclinación de los módulos**

Para sistemas sin dispositivos de seguimiento solar, es necesario definir una inclinación óptima del módulo que garantice en la medida de lo posible la máxima producción durante todo el año. El criterio utilizado para definir la inclinación fue el de latitud, el cual, dependiendo de la ubicación, define la inclinación como igual a la

latitud y con la dirección contraria. Por ejemplo: La ciudad de Bucaramanga presenta una latitud de 7.11 Norte, por lo tanto, los módulos se ubicarán con una inclinación de 7.11 grados hacia el sur.

$$\beta_{opt} = |\phi| \quad (7)$$

### **Conductores**

La selección del cableado depende de la corriente máxima que circula por el sistema fotovoltaico, este valor de corriente se obtiene a partir de los valores de corriente máximos del generador o de la carga, que pueden obtenerse como sigue:

$$I_G = \frac{P_{MAX}}{V} \quad I_L = \frac{P_{AC}}{V_{AC}} \quad (8)$$

En donde  $I_G$  corresponde a la corriente del generador,  $P_{MAX}$  es la potencia instalada, y  $V$  la tensión del sistema. Mientras tanto,  $I_L$  hace referencia a la corriente de carga,  $P_{AC}$  es la potencia en AC del sistema y  $V_{AC}$  la tensión de la red.

















En la tabla anterior se aprecian algunos de los tipos de cable que se pueden elegir para el sistema fotovoltaico, su resistencia por kilómetro y la corriente máxima que soportan, de acuerdo a la norma americana.

### **Protecciones físicas**

La protección física está definida con respecto a la resistencia que ofrece la cubierta del equipo eléctrico a la entrada de polvo y agua. La comisión electrotécnica internacional define la norma IEC 529 en donde se establece un código numérico

que define los grados de protección del equipo. Este código se compone de las letras IP (índice de protección) seguidas por una combinación de dos cifras.

Figura 24. Índices de protección

1º dígito	Grados de protección con respecto a cuerpos extraños y objetos sólidos	2º dígito	Grado de protección con respecto al ingreso perjudicial de agua
0	Sin Protección 	0	Sin protección 
1	Protección contra objetos sólidos con $\varnothing$ 50 mm y superior 	1	Protección contra caídas verticales de agua 
2	Protección contra objetos sólidos con $\varnothing$ 12.5 mm y superior 	2	Protección contra caídas verticales de gotas de agua para una inclinación máxima de 15° 
3	Protección contra objetos sólidos con $\varnothing$ 2.5 mm y superior 	3	Protección contra salpicaduras de agua de un ángulo hasta 60° en ambos lados 
4	Protección contra objetos sólidos con $\varnothing$ 1.0 mm y superior 	4	Protección contra salpicaduras de agua en todas direcciones 
5	Protección contra polvo a una presión de 200 mm de columna de agua 	5	Protección contra chorros de agua a baja presión 
6	Protección total contra polvo 	6	Protección contra agua que por momentos inunda el equipo por ejemplo mares embravecidos 
		7	Protección contra inmersión 
		8	Protección contra sumersión 

Fuente: Comisión electrotécnica internacional.

Para sistemas fotovoltaicos conectados a la red, se aplica el índice de protección a los inversores, conductores, conectores, medidores y cajas de conexión, para los

equipos cercanos a los módulos se recomienda un IP65 o superior para prevenir salpicaduras de agua provenientes de labores de limpieza <sup>47</sup>.

### **Protecciones eléctricas**

Se encargan de resguardar a los usuarios y equipos de un funcionamiento erróneo que puede producirse por diversas causas.

Como primera medida de protección se recomienda conectar todas las partes metálicas de la instalación a la tierra, esto incluye los marcos de los módulos y estructuras de soporte, así como las carcasas de los equipos, teniendo en cuenta las recomendaciones de cada fabricante.

El inversor dependiendo de sus características, también provee elementos de protección como lo son el aislamiento galvánico (transformador) y la protección frente al funcionamiento en modo isla.

Se recomienda también, la presencia de un interruptor entre el generador y el inversor para posibilitar su desconexión y facilitar las labores de mantenimiento.

Además de las protecciones anteriormente mencionadas, es importante incluir protecciones contra sobrecorriente como disyuntores y fusibles, los primeros se encargan de proteger la parte de corriente alterna y los últimos protegen la parte de corriente continua.

El dimensionamiento del disyuntor se realiza de manera tal que supere la corriente máxima del inversor y sea menor que la corriente de servicio del cable asociado.

---

<sup>47</sup> INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION – IEC, 60529. (noviembre, 1989). Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Dansk Standard. Ginebra., 1991. p. 1-79.

En el caso del fusible, existe la posibilidad de que el fabricante del módulo entregue un valor a utilizar en la instalación, en caso contrario es necesario determinar la corriente máxima inversa del arreglo fotovoltaico.

$$I_{MAX} = I_{SC}(N_p - 1) \quad (9)$$

En donde  $I_{MAX}$  es la corriente inversa máxima,  $I_{SC}$  es la corriente de cortocircuito y  $N_p$  es el número de arreglos en paralelo. El resultado obtenido se compara con la resistencia a la corriente inversa del módulo, si  $I_{MAX}$  es superior a este último, se debe utilizar un fusible de valor 1.7 veces superior a la corriente de MPP del módulo y menor a la corriente máxima admitida del conductor.

## ANEXO G. Diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Al implementar un sistema sin conexión a la red, aparecen nuevos elementos como lo son el regulador, las baterías y más elementos de protección, los cuales agregan nuevos parámetros de diseño que se describen en el siguiente apartado.

### Estimación del consumo

El estudio de caso va dirigido hacia el sector residencial de Bucaramanga que cuenten con el suministro eléctrico, por lo tanto el cálculo del consumo, se realiza teniendo en cuenta las horas nocturnas, con la premisa de que los paneles almacenen la energía en el día, y a partir de las horas de la tarde y noche secciones del hogar se conecten a las baterías para aprovechar lo almacenado por los paneles.

Para el cálculo de la energía diaria media, se necesita construir la tabla de consumos, en donde se evidencia la energía necesaria con el estimado de las cargas y horas de funcionamiento al día, aplicando un margen de seguridad del 20%. También es importante considerar las pérdidas por rendimiento de la batería, inversor y regulador, por lo tanto para el dimensionado se tomara un rendimiento de 98%, inversor 90% y para los conductores 99%.

$$E_{diaria} = \frac{E_{diariaDC} + \frac{E_{diariaAC} * 1.2}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{conductores}} \quad (10)$$

Siendo  $E_{diaria}$  la energía media diaria,  $E_{diariaAC}$  y  $E_{diariaDC}$ , el consumo para cargas en alterna y continúa respectivamente.

## Dimensionado del generador fotovoltaico

Es pertinente conocer cuántos paneles son necesarios para generar la energía que demanda el hogar. Para eso se necesita conocer la energía que genera cada panel

$$E_p = P_{MPP} * DSP_{cri} * PR \quad (11)$$

Dividiendo la energía diaria entre la generada por cada panel, se tiene el número total de módulos necesarios para la instalación

$$N_M = \frac{E_{diariacri}}{P_{MPP} * DSP_{cri} * PR} \quad (12)$$

$E_{diariacri}$  es la energía diaria crítica, que en el presente caso es igual a la  $E_{diaria}$ , ya que el consumo diario se asume constante en todo el año

$P_{MPP}$  es la potencia pico del módulo en condiciones estándar de medida (STC)

$DSP_{cri}$  son las horas de sol pico del mes crítico

$PR$  es el factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 y 0.9. Se usa 0.9 por defecto.

Si se trabaja con un regulador MPPT, la conexión de los módulos en serie y en paralelo se calcula en las ecuaciones (13) y (14).

$$N_s = \frac{V_{bat}}{V_{panelMPP}} \quad (13)$$

$$N_p = \frac{N_m}{N_{serie}} \quad (14)$$

$V_{bat}$  Tensión de batería

$N_s$  Número de paneles en serie

$N_p$  Número de paneles en paralelo

### **Dimensionado del sistema de acumulación**

Las más recomendadas para las instalaciones autónomas son de plomo ácido, con vasos de 2V cada uno, que se dispondrán en serie y/o paralelo para completar los 12, 24 o 48 Vcc que sea adecuado en cada caso. Al seleccionar la tensión de trabajo, se tiene en cuenta la potencia de demanda por las cargas, de tal manera que la batería cumpla las especificaciones de corriente y a su vez el regulador para dicho sistema no demande una alta intensidad de corriente, ya que presentan costos más elevados.

A la hora del diseño del banco de baterías y para proteger la duración de las mismas, las profundidades de descarga máximas que se suelen considerar para un ciclo diario (profundidad de descarga máxima diaria) están en torno al 15-30%, contrario al caso de ciclos estacionales en donde el ciclo se hace entre 4 – 10 días, lo que hace que puedan llegar a profundidades de descarga del 70%. En instalaciones

fotovoltaicas no se buscan descargas agresivas, sino más bien progresivas, pues cuanto más intensa es la descarga de una batería menos energía es capaz de suministrarlos.

Por lo tanto, para el dimensionado de baterías se tiene en cuenta la autonomía que se va a otorgar en la instalación debe ser sobredimensionada, diseñándose para profundidades de descarga no mayores al 30%, ya que el hogar cuenta con suministro de energía y se necesitan ciclados diarios.

$$E_{Bat} = \frac{E_{diaria}}{P_{Dmax,d} * F_{CT}} \quad (15)$$

Una vez encontrada la energía en Wh de la batería, se divide entre la tensión de la batería y con esto se obtiene la capacidad mínima necesaria para el sistema de acumulación.

$$C_{Bat} = \frac{E_{Bat}}{V_{bat}} \quad (16)$$

$P_{Dmax,d}$  Profundidad de descarga máxima diaria

$F_{CT}$  Factor de corrección de la temperatura. (Se asume 1)

$E_{bat}$  Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria

Por lo tanto, para dimensionar la cantidad de baterías en serie y en paralelo, se forman arreglos de baterías en serie que suman sus tensiones y en paralelo que sumen sus capacidades de acumulación.

### **Dimensionado del regulador**

Las intensidades máximas de entrada y salida del regulador dependerán de la corriente máxima que pueda producir el sistema de generación fotovoltaico para la entrada y la corriente máxima de las cargas para la salida. Para tener en cuenta los posibles picos de irradiancia o los cambios de temperatura, se selecciona un 10% superior a la corriente de cortocircuito del panel FV que es la máxima corriente que podría ser generada por el módulo o de la que puede consumir la carga del sistema. La elección del regulador será aquel que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas<sup>48</sup>.

Para calcular la corriente de entrada al regulador, se multiplica la corriente de cortocircuito del panel y se multiplica por el número de arreglos en paralelo.

$$I_{Rin} = 1.1 * I_{MOD,SC} * N_p \quad (17)$$

$I_{Rin}$  Corriente de entrada del regulador

$I_{MOD,SC}$  Corriente unitaria del modulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito.

Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador.

---

<sup>48</sup> GÓMEZ DE MARZOA, Lope. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas [En línea]. [A Coruña, España]: SunFields Europe, 2011 [Citado el 22 de Marzo de 2017]. Disponible en: [https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields\\_Manual-Calculo\\_Fotovoltaica\\_Autonomas.pdf](https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields_Manual-Calculo_Fotovoltaica_Autonomas.pdf).

$$I_{Rout} = \frac{1.1 \left( P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{Inv}} \right)}{V_{bat}} \quad (18)$$

$I_{Rout}$  Corriente de salida del regulador

$P_{DC}$  Potencia de las cargas en continua

$P_{AC}$  Potencia de las cargas en alterna

$\eta_{Inv}$  Eficiencia del inversor

### **Dimensionado del inversor**

Uno de los limitantes de los sistemas *Grid Tie*, es su funcionamiento en modo isla, ya que su uso se enfoca en configuraciones que suministran energía a la red, y cuando no se encuentra presente la red, el inversor trabaja en modo seguro y deja de proporcionar energía. Esta es una característica propia del inversor y que en el caso *Off Grid* no se tiene en cuenta, ya que está diseñado para funcionar sin sincronización con la red.

A la hora de dimensionar el inversor, se elegirá un inversor cuya potencia sea un 10% superior a la demandada por las cargas, suponiendo su funcionamiento al mismo tiempo y de onda senoidal pura.

$$P_{inv} = 1.1 * P_{AC} \quad (19)$$

## ANEXO H. Análisis económico – Procedimiento y ejemplo para sistema híbrido teniendo en cuenta todos los beneficios de ley 1715

Figura 25. Datos de entrada para análisis económico

### ANÁLISIS ECONÓMICO DE INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

#### TIPO DE INSTALACIÓN: 2kw sobre tejado

POTENCIA DE LOS INVERSORES	<input type="text" value="2"/>	KW
POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	<input type="text" value="2200"/>	wp
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ESTIMADA ANUAL	<input type="text" value="3857"/>	kWh/año
INGRESOS DEL PRIMER AÑO	<input type="text" value="702"/>	USD

#### DATOS GENERALES

PERIODO EN EL QUE EL FABRICANTE GARANTIZA UNA POTENCIA EN SU PRODUCTO DEL 80% DE LA POTENCIA NOMINAL	<input type="text" value="25"/>	años
P.V.P. DEL kWh	<input type="text" value="0.182"/>	USD
INCREMENTO ESTIMADO DEL PRECIO DE LA ENERGÍA	<input type="text" value="5.2"/>	% anual
I.P.C. ESTIMADO	<input type="text" value="5.8"/>	% anual

#### COSTES

COSTE APROXIMADO TOTAL DE LA INSTALACIÓN	<input type="text" value="4431"/>	USD
PERIODO DE AMORTIZACIÓN	<input type="text" value="8"/>	años
COSTE ANUAL DE MANTENIMIENTO AÑO DE REFERENCIA	<input type="text" value="113"/>	USD
COSTE ANUAL DEL SEGURO INTEGRAL DE LA INSTALACIÓN	<input type="text" value="1"/>	USD

#### FINANCIACIÓN

FONDOS PROPIOS	100%	<input type="text" value="4431"/>	USD
SUBVENCIÓN		<input type="text" value="0"/>	USD
PRÉSTAMO		<input type="text" value="0"/>	USD
TIPO DE INTERÉS		<input type="text" value="5"/>	%
PLAZO		<input type="text" value="15"/>	años
PAGO MENSUAL DE CRÉDITO		<input type="text" value="0.00"/>	USD

Tabla 53. Descripción de los datos de entrada del análisis económico

<b>Análisis económico de instalación solar fotovoltaica</b>	
Potencia del inversor	Se refiere a la potencia nominal de la instalación.
Potencia del campo fotovoltaico	Potencia instalada en módulos.
Producción energética estimada anual	Calculada automáticamente.
Periodo en el que el fabricante garantiza una potencia en su producto del 80% de la potencia nominal	Determinado por hoja de datos del módulo.
P.V.P. DEL kWh	Precio del kWh para el estrato deseado en USD.
Incremento estimado del precio de la energía	Determinado a partir del aumento porcentual del último año.
I.P.C. estimado	Estimación macroeconómica, tomado del porcentaje de inflación del último año
<b>Costos</b>	
Coste total de la instalación	Costo total en USD
Periodo de amortización	Vida útil de equipos según beneficio de depreciación acelerada
Coste anual de mantenimiento año de referencia	Mantenimiento en el primer año en USD, cada año aumenta con el I.P.C
Coste anual del seguro integral de la instalación	Coste del seguro (No considerado para este análisis)
<b>Financiación: Para todos los análisis, se consideró que los proyectos se implementaban con un 100% de fondos propios</b>	
Fondos propios	Parte de la inversión que se pagará sin financiación.
Subvención	Se asumió cero y se consideraron los beneficios (IVA y aranceles) en el coste inicial.
Préstamo	N/A
Tipo de interés	N/A
Plazo	N/A
Pago mensual de crédito	N/A

Tabla 54. Salida del análisis económico.

ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PÉRDIDA ANUAL DE EFICIENCIA	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ANUAL PORCENTUA	1.000	0.992	0.983	0.975	0.967	0.958	0.950	0.942	0.933	0.925	0.917	0.908	0.900	0.892	0.883
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ANUAL (kWh)	3857	3825	3793	3761	3729	3696	3664	3632	3600	3568	3536	3504	3471	3439	3407
INCREMENTO DEL PRECIO DE LA ENERGÍA (%)	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20
PRECIO DEL kWh FOTOVOLTAICO	0.182	0.191	0.201	0.212	0.223	0.235	0.247	0.260	0.273	0.287	0.302	0.318	0.334	0.352	0.370
<b>ENTRADAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
VENTA DE ENERGÍA	702	732	764	797	831	867	904	943	983	1025	1068	1114	1161	1210	1261
DESGRAVACIÓN FISCAL	243	243	243	243	243										
<b>TOTAL ENTRADAS</b>	<b>945</b>	<b>975</b>	<b>1007</b>	<b>1040</b>	<b>1074</b>	<b>867</b>	<b>904</b>	<b>943</b>	<b>983</b>	<b>1025</b>	<b>1068</b>	<b>1114</b>	<b>1161</b>	<b>1210</b>	<b>1261</b>
<b>SALIDAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
MANTENIMIENTO	113	120	126	134	142	150	158	168	177	188	199	210	222	235	249
CUOTAS DE CRÉDITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAGO DE INTERESES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AMORTIZACIÓN DEL CRÉDITO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEGURO INTEGRAL DE LA INSTALACIÓN	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
<b>TOTAL SALIDAS</b>	<b>114</b>	<b>121</b>	<b>128</b>	<b>135</b>	<b>143</b>	<b>151</b>	<b>160</b>	<b>169</b>	<b>179</b>	<b>189</b>	<b>200</b>	<b>212</b>	<b>224</b>	<b>237</b>	<b>251</b>
<b>TESORERÍA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
TESORERÍA INICIAL	-4431	-3600	-2745	-1866	-961	-30	686	1430	2204	3007	3843	4711	5613	6549	7522
FLUJO PERÍODO ENTRADAS-SALIDA	831	855	879	905	931	716	744	773	804	835	868	902	937	973	1010
<b>TESORERÍA FINAL</b>	<b>-3600</b>	<b>-2745</b>	<b>-1866</b>	<b>-961</b>	<b>-30</b>	<b>686</b>	<b>1430</b>	<b>2204</b>	<b>3007</b>	<b>3843</b>	<b>4711</b>	<b>5613</b>	<b>6549</b>	<b>7522</b>	<b>8532</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
RESULTADO BRUTO	588	855	636	662	688	716	744	773	804	835	868	902	937	973	1010
AMORTIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN	554	554	554	554	554	554	554	554	0	0	0	0	0	0	0
BENEFICIOS ANTES DE INTERESES E IMPUESTO:	34	301	82	108	134	162	190	220	804	835	868	902	937	973	1010
PAGO DE INTERESES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>BENEFICIO ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>34</b>	<b>301</b>	<b>82</b>	<b>108</b>	<b>134</b>	<b>162</b>	<b>190</b>	<b>220</b>	<b>804</b>	<b>835</b>	<b>868</b>	<b>902</b>	<b>937</b>	<b>973</b>	<b>1010</b>
RENTABILIDAD ECONÓMICA DEL EJERCICIO (%)	0.770	6.790	1.861	2.437	3.034	3.652	4.293	4.956	18.143	18.854	19.589	20.350	21.137	21.951	22.792
<b>RENTABILIDAD FINANCIERA (%)</b>	<b>0.77%</b>	<b>6.79%</b>	<b>1.86%</b>	<b>2.44%</b>	<b>3.03%</b>	<b>3.65%</b>	<b>4.29%</b>	<b>4.96%</b>	<b>18.14%</b>	<b>18.85%</b>	<b>19.59%</b>	<b>20.35%</b>	<b>21.14%</b>	<b>21.95%</b>	<b>22.79%</b>
<b>ACUMULADOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
BENEFICIOS ACUMULADOS	34	335	417	525	660	822	1012	1232	2035	2871	3739	4641	5577	6550	7560
RENTABILIDAD ACUMULADA (%)	0.77	7.56	9.42	11.86	14.89	18.55	22.84	27.79	45.94	64.79	84.38	104.73	125.87	147.82	170.61
RENTABILIDAD MEDIA ANUAL (%)	0.77	3.78	3.14	2.96	2.98	3.09	3.26	3.47	5.10	6.48	7.67	8.73	9.68	10.56	11.37
VALOR PRESENTE NETO TIR 15%	<b>-\$3,675.04</b>	<b>\$2,969.14</b>	<b>-\$2,308.46</b>	<b>-\$1,690.42</b>	<b>-\$1,112.15</b>	<b>\$708.15</b>	<b>-\$326.31</b>	<b>\$34.52</b>	<b>\$375.46</b>	<b>\$697.55</b>	<b>\$1,001.78</b>	<b>\$1,289.09</b>	<b>\$1,560.39</b>	<b>\$1,816.52</b>	<b>\$2,058.28</b>
TASA INTERNA DE RENTABILIDAD -TIR						4.31%	7.69%	10.22%	12.14%	13.62%	14.77%	15.68%	16.41%	16.99%	17.46%

En este caso, se seleccionó el VPN y TIR del año 10 y como a partir del año 6 la TIR es positiva, en ese año se recupera la inversión inicial.

Tabla 55. Descripción de los resultados del análisis económico

<b>Análisis económico de instalación solar fotovoltaica</b>	
Pérdida anual de eficiencia	Según este valor los paneles deben mantener una eficiencia del 80% en 25 años
Producción energética anual porcentual	Índice de producción respecto al año de referencia
Producción energética anual (kWh)	Producción energética de ese año
Incremento del precio de la energía (%)	Tomado del porcentaje del último año.
Precio del kWh	Precio en USD del kWh para el estrato deseado
<b>Entradas</b>	
Venta de energía	Total de ganancias en USD producto del ahorro y venta de excedentes de energía
Desgravación fiscal	Deducciones por beneficio de declaración de renta y depreciación acelerada en USD
<b>Salidas</b>	
Mantenimiento	Coste del mantenimiento en USD para el primer año
Cuotas de crédito	N/A
Seguro integral de la instalación	N/A
<b>Tesorería</b>	
Tesorería inicial	Dinero en caja al principio del año
Flujo período entradas-salidas	Diferencia entre entradas y salidas
Resultado bruto	Ingresos menos gastos
Beneficios antes de intereses e impuestos	N/A
Rentabilidad financiera (%)	Ganancias divididas entre los fondos propios.
<b>Acumulados</b>	
Valor presente neto (USD)	Suma de todos los valores presentes hasta ese año tomando en cuenta la tasa de descuento.
Tasa interna de rentabilidad -TIR	Rentabilidad de la inversión tomando en cuenta entradas y salidas de capital. Criterio de valoración

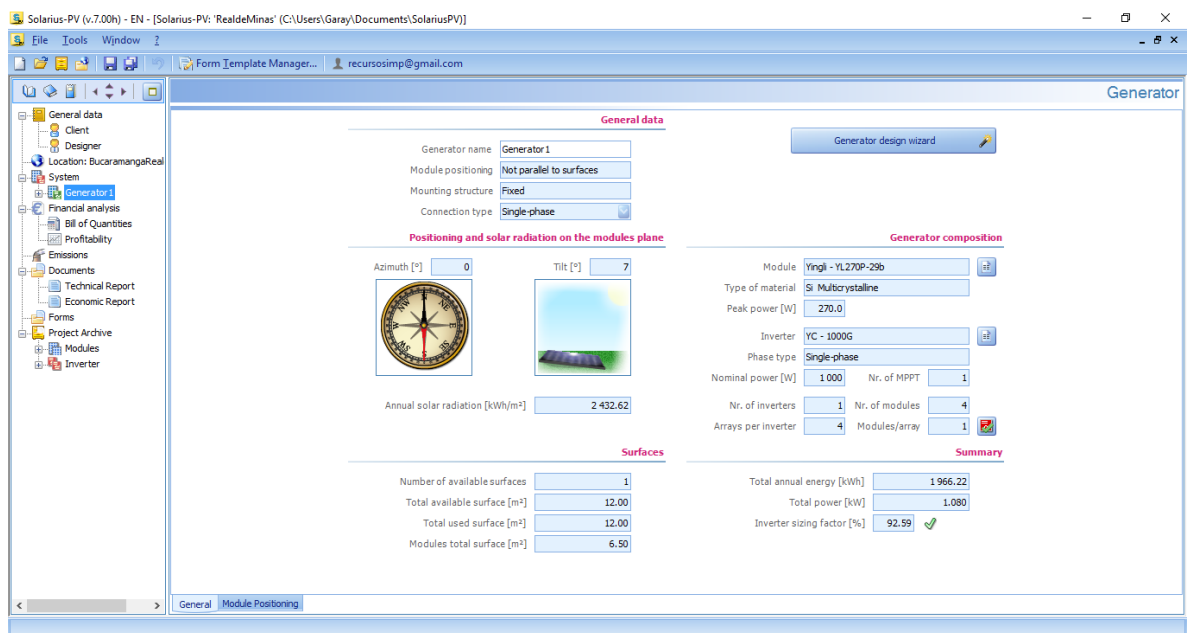
## ANEXO I. Descripción general del software Solarius PV

El software Solarius – PV se utiliza para el dimensionamiento, cálculo y análisis financiero de instalaciones fotovoltaicas.

### Sistema fotovoltaico

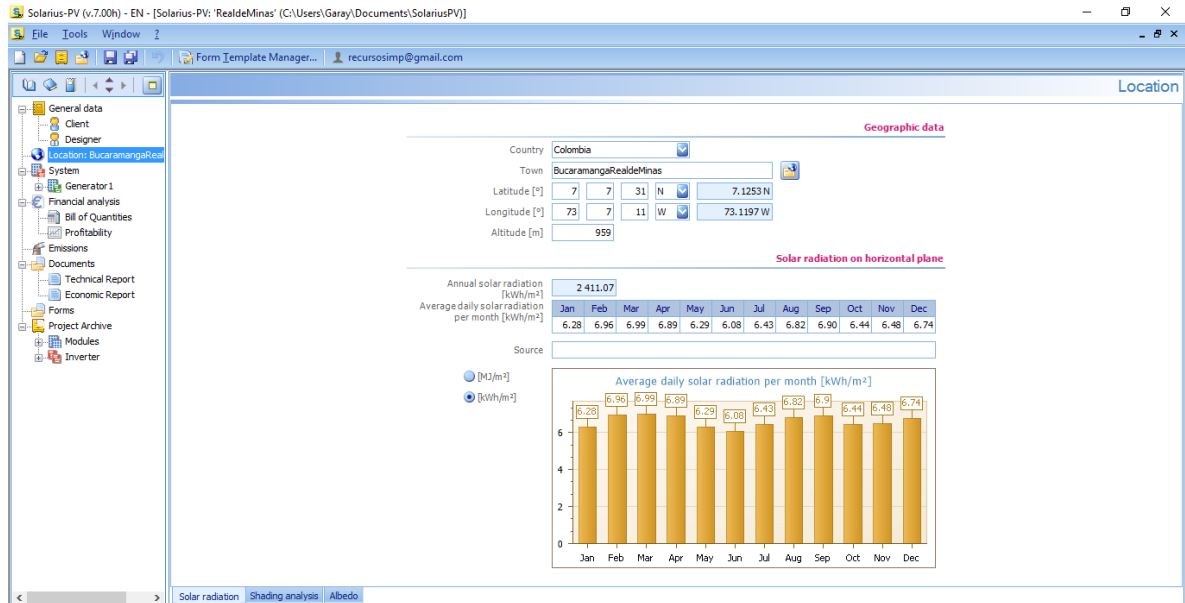
Este software trabaja con un entorno gráfico en donde se ubican los módulos ya sea en techo o en terreno y permite calcular el desempeño de la instalación teniendo en cuenta las características de los equipos seleccionados.

Figura 26. Desempeño técnico del sistema fotovoltaico en Solarius - PV



Para la estimación del rendimiento el software puede utilizar datos PVGIS dependiendo de la ubicación geográfica o solicitar el ingreso manual de datos, en donde se especifica el nivel de irradiación para cada mes del año.

Figura 27. Manejo de la radiación en Solarius - PV



## Análisis económico

A partir del diseño del sistema fotovoltaico, es posible valorar la rentabilidad y amortización de la inversión tomando en cuenta, la producción de energía, el consumo y la presencia de financiaciones como préstamos o leasing.

El software proporciona resultados de forma numérica o gráfica y permite personalizar parámetros como el precio de la energía, la tasa de descuento, tarifas “feed-in” y el tiempo en años del análisis.

Figura 28. Parámetros iniciales del análisis económico en Solarius - PV.

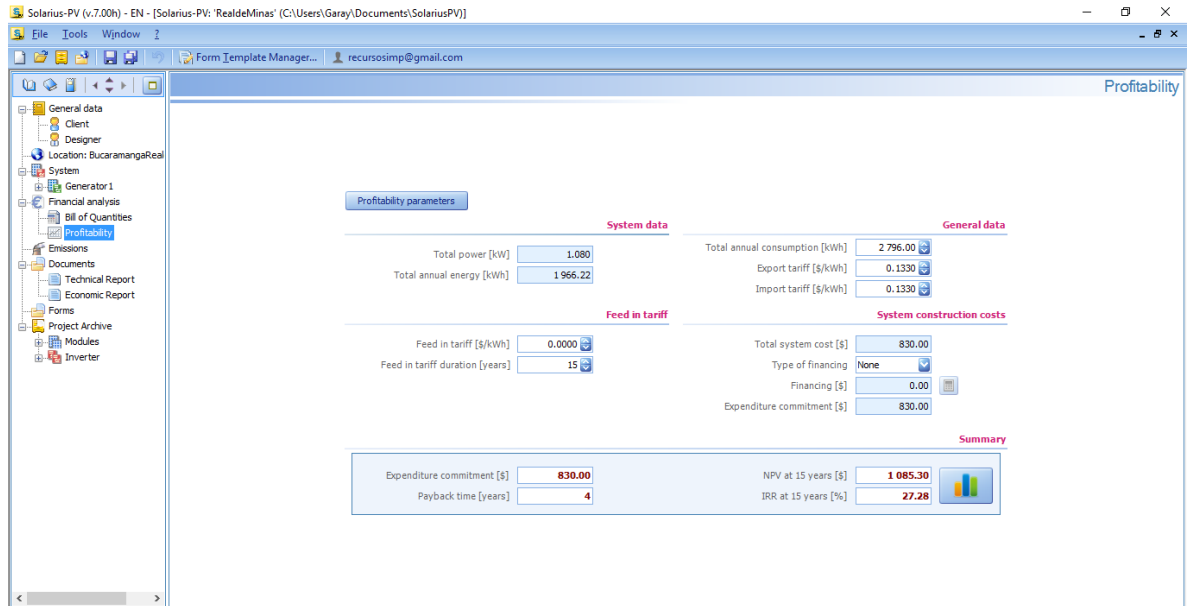


Figura 29. Resultados del análisis económico en Solarius - PV

Profitability Analysis

Profitability Analysis

**Summary**

Expenditure commitment [\$] **830.00** Payback time [years] **4** NPV at 15 years [\$] **1 085.30** IRR at 15 years [%] **27.28**

**Annual budget table**

Export

Year	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Energy (*)</b>										
Produced energy	1 879.32	1 862.40	1 845.64	1 829.03	1 812.57	1 796.26	1 780.09	1 764.07	1 748.19	1 732.46
Exported energy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Self consumed energy	1 879.32	1 862.40	1 845.64	1 829.03	1 812.57	1 796.26	1 780.09	1 764.07	1 748.19	1 732.46
<b>Annual Budget (**)</b>										
Total revenue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Feed in tariff revenue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exported energy revenue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bill savings	321.36	335.23	350.67	365.81	380.64	396.97	412.98	430.43	449.28	467.76
Operating costs	75.56	79.94	84.58	89.49	94.68	100.17	105.98	112.13	118.63	125.51
One-off costs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Periodic costs	75.56	79.94	84.58	89.49	94.68	100.17	105.98	112.13	118.63	125.51
Income	245.80	255.29	266.09	276.32	285.96	296.80	307.00	318.30	330.65	342.25
Cash flow	245.80	255.29	266.09	276.32	285.96	296.80	307.00	318.30	330.65	342.25
Cumulative cash flow	519.65	774.94	1 041.03	1 317.35	1 603.31	1 900.11	2 207.11	2 525.41	2 856.06	3 198.31
NPV	139.68	270.68	394.81	512.00	622.25	726.28	824.10	916.30	1 003.37	1 085.30
IRR	15.37%	18.94%	21.40%	23.15%	24.42%	25.35%	26.04%	26.57%	26.97%	27.28%

(\*) Energy is expressed in kWh  
 (\*\*) The annual budget amounts are expressed in [\$]

Table Charts Customize

Close

## **ANEXO J. Disposiciones generales del RETIE y el código eléctrico colombiano hacia los sistemas fotovoltaicos**

### **RETIE**

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas, es un documento de carácter técnico expedido por el ministerio de minas y energía con el objetivo de garantizar que las instalaciones, equipos y productos utilizados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía cumplan con los siguientes objetivos:

Protección de la vida y la salud humana.

Protección de la vida animal y vegetal.

Preservación del medio ambiente.

Prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

### **Paneles solares**

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas en su resolución 90708 de agosto 30 de 2013 indica que los paneles solares fotovoltaicos destinados a proveer energía eléctrica a instalaciones domiciliarias, deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional o de reconocimiento internacional y demostrarlo mediante *Certificado de Conformidad de Producto* expedido por un organismo de certificación acreditado<sup>49</sup>.

---

<sup>49</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 90708. (30, agosto, 2013). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2013. No. 48904. p. 1-3.

La instalación eléctrica y el montaje de los paneles deben hacerse conforme a la sección 690 de la Norma técnica colombiana NTC 2050, por un profesional competente que debe declarar el cumplimiento del RETIE.

### **Inversores**

Deben cumplir los requisitos de una norma internacional como la IEC/TC 115 o equivalente.

### **Reguladores de carga**

El RETIE cubre únicamente a reguladores de baja tensión de potencia mayor o igual a 500 VA, los cuales deben cumplir los requisitos de una norma técnica internacional, de reconocimiento internacional que le aplique o la NTC 2540.

### **Baterías**

El RETIE en el capítulo 4 titulado “Requisitos para el proceso de generación” en el artículo 21.1 dedicado a las edificaciones, estipula que en los cuartos de baterías no deben existir vapores de alcohol, amoníaco, ácido acético, clorhídrico, nítrico o residuos volátiles. Tampoco deben tener comunicación directa con el centro de control, deben ser secos, bien ventilados y no estar sujetos a vibraciones perjudiciales que puedan originar desprendimientos de gases y desgastes prematuros, se debe disponer de un dispositivo para lavado de ojos y manos en caso de emergencia.

### **Sistemas solares fotovoltaicos**

El RETIE indica que las instalaciones de sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, incluyendo reguladores de tensión, cargadores e inversores, deben cumplir lo establecido en la sección 690 de la NTC 2050. En unidades de vivienda o similares no se permite la conexión de sistemas solares a más de 220

[V]. Cuando la carga de acumulación en las baterías supere los 1000 [Ah], se deben instalar en un cuarto aireado, independiente al lugar donde se alojen los demás equipos del sistema solar.

## **NTC 2050**

El código eléctrico colombiano NTC 2050, entregado por el instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC es la versión física de las necesidades nacionales en temas de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan al usuario seguridad y confiabilidad en las instalaciones eléctricas.

### **Sección 690. Sistemas solares fotovoltaicos**

Las disposiciones de esta sección se aplican a los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, que incluye los circuitos eléctricos, unidades de regulación y controladores de dichos sistemas. Asimismo, estos sistemas pueden estar interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos con presencia o no de acumuladores. Su salida puede ser de corriente continua o alterna<sup>50</sup>.

A continuación, se subrayan de forma general los aspectos tratados en la sección 690 del código eléctrico colombiano:

1. Generalidades
  1. Instalación.
    1. Sistema fotovoltaico.
    2. Conductores de distintos sistemas.
    3. Conexiones de los módulos.

---

<sup>50</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma técnica colombiana. NTC 2050. Bogotá D.C.: ICONTEC., 1998. 754 p.

4. Equipos.
  2. Detección e interrupción de fallas a tierra.
2. Requisitos de los circuitos
  1. Tensión máxima.
    1. Tensión nominal.
    2. Circuitos de utilización de c.c
    3. Circuitos de fuente y de salida fotovoltaica.
    4. Circuitos de más de 150 [V] a tierra.
  2. Dimensionamiento y corriente de los circuitos.
    1. Capacidad de corriente y dispositivos de protección contra sobrecorriente.
    2. Cálculo de la corriente del circuito.
      1. Circuitos de la fuente fotovoltaica.
      2. Circuito de salida fotovoltaica.
      3. Circuito de salida del inversor.
      4. Circuito de entrada de inversor autónomo.
    3. Sistemas con varias tensiones de c.c
  3. Protección contra sobrecorriente.
    1. Circuitos y equipos.
    2. Transformadores de potencia.
    3. Circuitos de fuente fotovoltaica
    4. Valores nominales de c.c.
3. Medios de desconexión
  1. Para todos los conductores.
  2. Desconexión de equipos fotovoltaicos.
  3. Fusibles.
  4. Interruptores o interruptores automáticos.
4. Métodos de alambrado
  1. Métodos permitidos.
    1. Sistemas de alambrado.
    2. Cables de conductor sencillo (unipolares).
    3. Cables y cordones flexibles.
    4. Cables de conductores con sección transversal pequeña.
  2. Interconexión de componentes.
  3. Conectores.
    1. Configuración.
    2. Resguardo.
    3. Tipo.
    4. Miembro de puesta a tierra.
    5. Interrupción del circuito.
  4. Acceso a las cajas.
5. Puesta a tierra
  1. Puesta a tierra del sistema.
  2. Punto de conexión a puesta tierra del sistema.
  3. Puesta a tierra de equipos.

4. Sección transversal del conductor de puesta a tierra de equipos.
5. Sistema de electrodo de puesta a tierra.
6. Rotulado
  1. Módulos fotovoltaicos.
  2. Fuente de energía fotovoltaica.
7. Conexión a otras fuentes de energía
8. Baterías de acumuladores
  1. Instalación.
    1. Generalidades.
    2. Viviendas.
    3. Limitación de corriente.
  2. Estado de carga.
  3. Puesta a tierra.
  4. Interconexiones de las baterías.

## ANEXO K. Análisis de inversiones

Una inversión hace referencia a destinar capital en una operación, proyecto o iniciativa en aras de recuperarlo y obtener beneficios en el futuro.

Todo proyecto de inversión, requiere la elaboración de un análisis cuidadoso que determine su viabilidad, más si se trata de proyectos de energía solar fotovoltaica en dónde la inversión inicial es muy elevada y pueden tenerse enormes pérdidas en caso de que se realice un análisis erróneo de la inversión.

### Aspectos claves para la valoración de un proyecto

Para conocer el estado del proyecto se analiza el flujo de caja, el cual brinda información acerca de las entradas y salidas de caja, a lo largo de un período de tiempo en el que el proyecto va a generar ganancias, este puede ser anual, mensual o trimestral dependiendo de la duración del proyecto.

El procedimiento para calcular el flujo de caja, *cash-flow*, consiste en tomar como punto de partida un resultado o beneficio contable y modificarlo agregando o quitando valores hasta llegar al flujo de caja libre.

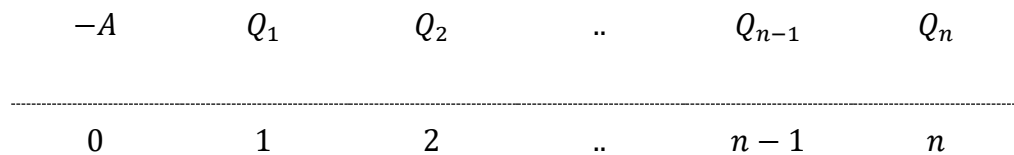
### Técnicas de valoración de proyectos

Tabla 56. Elementos de proyectos de inversión

$A$	Desembolso inicial
$Q_t$	Flujo Neto de caja ( <i>cash-flow</i> )
$t$	Tiempo (años, meses, trimestres)
$n$	Duración de la inversión

Fuente: Análisis de inversiones y proyectos de inversión<sup>51</sup>.

Estos elementos pueden verse gráficamente en un diagrama temporal, en el que el momento cero se refiere al instante en que se desembolsa el dinero o se materializa la inversión.



Para la valoración de un proyecto es necesario emplear técnicas que evalúen su liquidez, rentabilidad y riesgo, entre ellas se encuentran:

**Técnica del período de recuperación o payback (liquidez):** El período de recuperación es el lapso de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión o el tiempo que tarda el proyecto en llevar a cero el flujo de caja, *cash-flow* acumulado.

Si todos los flujos de caja  $Q_t$  son positivos e iguales, el período de recuperación  $P$  vendrá dado por:

$$P = \frac{A}{Q} \quad (20)$$

---

<sup>51</sup> SECO BENEDICTO, Maite. Análisis de inversiones y proyectos de inversión. España: Escuela de Organización Industrial., 2014 [Citado el 10 de Marzo de 2017]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/17027/download?token=8jFSTfIF>.

Si  $Q_t$  no es constante, el plazo de recuperación se calculará acumulando los sucesivos flujos de caja hasta que su suma sea igual al desembolso inicial  $A$ .

**Técnica del valor presente neto VPN (rentabilidad):** El valor presente (o actualizado) neto de una inversión es igual al valor actualizado de todos los flujos de dinero esperados, es decir, es igual a la diferencia entre el valor actual de los cobros que genera y los pagos que origina.

Para calcular el VPN se define:

Tabla 57. Elementos para el cálculo de VPN

$A$	Costo del proyecto o desembolso inicial
$C_t$	Cobros o flujos de entrada de caja que se esperan recibir al final de cada período
$P_t$	Pagos o salidas de caja previstas al final de cada período
$Q_t$	Flujo neto de caja de cada período ( $Q_t = C_t - P_t$ ).
$n$	Duración u horizonte temporal del proyecto
$K$	Tipo de descuento o coste de capital de la empresa

Fuente: Análisis de inversiones y proyectos de inversión<sup>52</sup>.

El tipo de descuento o tasa de actualización es el coste de oportunidad de los recursos financieros o rentabilidad de una inversión alternativa, con el mismo nivel de riesgo que se está considerando, que se podría obtener invirtiendo hasta el momento final del período ( $n$ ).

De manera que, el VPN se calcula de la siguiente forma:

---

<sup>52</sup> Ibid. p. 11.

$$VPN = -A + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1 + K)^t} \quad (21)$$

A medida que pasa el tiempo el factor de descuento es menor debido a que se eleva a una potencia cada vez mayor. Esto hace que los flujos valgan menos porque el dinero generado vale menos cuanto más tarde se obtenga.

En resumen, lo que calcula el VPN es la riqueza neta que genera el proyecto de inversión, si es positivo, indica que es el exceso de riqueza que se crea por encima de la tasa de descuento utilizada.

Tabla 58. Regla de decisión

VPN > 0	Significa que el proyecto genera unos flujos netos de caja más que suficientes para amortizar y retribuir el capital invertido y debe ponerse en marcha.
VPN < 0	Indica que el proyecto no debe ser emprendido.

Fuente: Fundamentos de ingeniería económica<sup>53</sup>.

**Tasa interna de retorno o TIR (r):** La TIR de una inversión es el rendimiento o tipo de descuento que hace cero al VPN de la misma, es una medida de la rentabilidad anual del proyecto que está implícita en sus flujos de caja.

---

<sup>53</sup> PARK, Chan. Evaluación del negocio y de los activos en ingeniería. En: Fundamentos de ingeniería económica. Traducido por: Luis Miguel Cruz. 2 ed. México: Pearson Educación, 2009. p. 160-192.

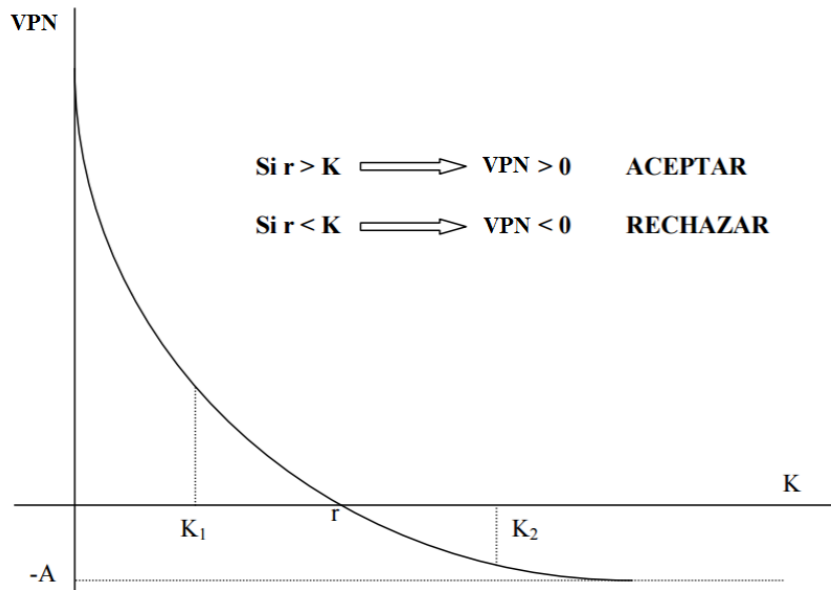
Se define  $K$  como la rentabilidad mínima aceptable para el proyecto:

Tabla 59. Regla de decisión TIR

$TIR(r) > K$	Aceptar proyecto
$TIR(r) < K$	Rechazar proyecto

Fuente: Fundamentos de ingeniería económica<sup>54</sup>.

Figura 30. Comparación de ambos métodos (VPN - TIR).



Fuente: Análisis de inversiones y proyectos de inversión.

<sup>54</sup> PARK, Chan. Análisis de la tasa de retorno. En: Fundamentos de ingeniería económica. Traducido por: Luis Miguel Cruz. 2 ed. México: Pearson Educación, 2009. p. 248-276.

Las técnicas del VPN y TIR no son equivalentes, ya que la primera arroja un valor absoluto y la segunda la rentabilidad porcentual de una inversión, son más bien complementarios y gráficamente se comprueba que ambos métodos llevan a las mismas decisiones en la mayoría de los casos<sup>55</sup>.

En el gráfico se observa que para que el VPN sea positivo, debe aplicarse un descuento menor que el TIR (  $K < r$  ).

**Riesgo:** El riesgo de un proyecto es la incertidumbre asociada a las ganancias futuras que aumenta de manera proporcional a la duración del proyecto. No existen técnicas específicas para el análisis de riesgo, por lo tanto, se adecúan o modifican las técnicas empleadas para liquidez y rentabilidad.

**Índice de rentabilidad:** Es una técnica diseñada para elegir entre varios proyectos, cuál es el que aporta mayor valor, esto se hace mediante la comparación del valor actual de los flujos que genera cada uno frente a la inversión inicial. De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$I.R = \frac{VA}{A} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}}{A} \quad (22)$$

En el caso de se tengan dos proyectos a elegir, se selecciona el que presente mayor índice de rentabilidad.

---

<sup>55</sup> SECO BENEDICTO. Op. Cit., p. 15.

## ANEXO L. Cotización módulos fotovoltaicos Yingli Solar

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.  
英利绿色能源控股有限公司  
3399 North Chaoyang Avenue  
Baoding 071051, China  
中国保定国家高新区朝阳北大街 3399 号 (071051)  
T +86 312 8929700  
F +86 312 8929800  
[yingli@yingli.com](mailto:yingli@yingli.com)  
[www.yinglisolar.com](http://www.yinglisolar.com)



### QUOTATION

Page : 1 of 1

Quotation No : YL- Universidad industrial  
de Santander/17001

Date : March 10, 2017

TO : Universidad industrial de Santander ATTN: Cordial Saludo Fax/E-mail: diana.j895@gmail.com	P.I.C : Rebecca Du E-mail : xumeng.du@yingli.com Tel : 0086-312-8631520
--	---

SUBJECT: Inquiry of P.V Module

We feel many thanks for your continued cooperation and your new inquiry.

Regarding your request about the above mentioned inquiry, we are pleased to offer the best quotation as following:


No.	Item	Specification	Quantity	Unit Price (/Wp)
1	Solar Module	YL270P-29b	2,160W(8pcs)	USD0.43/Wp

#### Sales Condition

1. Price Condition: CIF Colombia main port
2. Delivery: YingLi shall deliver the products to the port of loading within 30 business days after receiving the down payments.
3. Payment: 100% down payment before delivering goods to port of loading.
4. Output power: guaranteed output power, 0-+5Wp of labeled nominal output power.
5. Packaging: Factory Standard
6. Validity: Until 30th, April, 2017.
7. Warranty: Factory Standard

## ANEXO M. Ficha técnica paneles yingli solar

**YGE  
60 CELL  
SERIES 2**

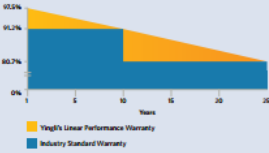


**18.5%**  
CELL EFFICIENCY

**10 YEAR**  
PRODUCT WARRANTY

**0 - 5W**  
POWER TOLERANCE

**25 Years Linear Warranty**



Years	Yingli Linear Performance Warranty (%)	Industry Standard Warranty (%)
1	92.5	91.2
10	91.2	91.2
25	80.7	80.7

■ Yingli Linear Performance Warranty  
■ Industry Standard Warranty

[YINGLISOLAR.COM](http://YINGLISOLAR.COM)



## PROVEN PERFORMANCE AND VERSATILITY

Independently tested for proven product quality and long-term reliability. Millions of PV systems installed worldwide demonstrate Yingli's industry leadership.



### Durability

Durable PV modules, independently tested for harsh environmental conditions such as exposure to salt mist, ammonia and known PID risk factors.



### Advanced Glass

Our high-transmission glass features a unique anti-reflective coating that directs more light on the solar cells, resulting in a higher energy yield.



### Top Selling Module Size

First choice for millions of banks and investors, this size is well-suited for almost all PV applications.



### PID Resistant

Tested in accordance to the standard IEC 62804, our PV modules have demonstrated resistance against PID (Potential Induced Degradation), which translates to security for your investment.

### Yingli Green Energy

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE), known as "Yingli Solar," is one of the world's leading solar panel manufacturers with the mission to provide affordable green energy for all. Deploying more than 60 million solar panels worldwide, Yingli Solar makes solar power possible for communities everywhere by using our global manufacturing and logistics expertise to address unique local challenges.

# YGE 60 CELL SERIES 2

## ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)								
Module type	YLxxxP-29b (xxx=P <sub>max</sub> )							
Power output	P <sub>max</sub>	W	275	270	265	260	255	250
Power output tolerances	ΔP <sub>max</sub>	W	0 / + 5					
Module efficiency	η <sub>m</sub>	%	16.9	16.6	16.3	16.0	15.7	15.4
Voltage at P <sub>max</sub>	V <sub>mpp</sub>	V	31.0	30.7	30.5	30.3	30.0	29.8
Current at P <sub>max</sub>	I <sub>mp</sub>	A	8.90	8.80	8.70	8.59	8.49	8.39
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	V	37.9	37.9	37.8	37.7	37.7	37.6
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	A	9.35	9.27	9.18	9.09	9.01	8.92

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.  
Average relative efficiency reduction of 3.3% at 200V/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)								
Power output	P <sub>max</sub>	W	200.6	196.9	193.3	189.7	186.0	182.4
Voltage at P <sub>max</sub>	V <sub>mpp</sub>	V	28.2	28.0	27.8	27.6	27.4	27.2
Current at P <sub>max</sub>	I <sub>mp</sub>	A	7.12	7.04	6.96	6.87	6.79	6.71
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	V	35.0	35.0	34.9	34.8	34.8	34.7
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	A	7.56	7.49	7.42	7.35	7.28	7.21

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

## THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of P <sub>max</sub>	γ	%/°C	-0.42
Temperature coefficient of V <sub>oc</sub>	β <sub>oc</sub>	%/°C	-0.32
Temperature coefficient of I <sub>sc</sub>	α <sub>sc</sub>	%/°C	0.05

## OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V <sub>DC</sub>
---------------------	---------------------

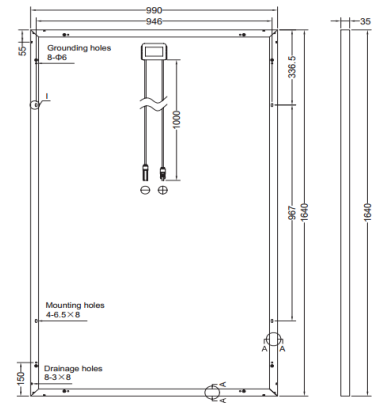
## GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1640mm / 990mm / 35mm
Weight	18.5kg

## PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	30
Number of pallets per 40' container	28
Packaging box dimensions (L / W / H)	1700mm / 1135mm / 1165mm
Box weight	588kg

Unit: mm



## ANEXO N. Ficha técnica inversores On-grid WOSN



### MGI-1000W Grid Tie Micro Inverter



#### Features

1. 10.5-28VDC: Specific design for 18V/36 cell PV module.
2. 20-45VDC: Specific design for 24V/60 cells and 36V/72 cells PV module; but also suitable for 24V/36V battery and small wind turbine system with built-in AC-DC charging controller which's output voltage is 36V.

#### Main Technical Data

额定功率/Rated Power	1000W		
推荐太阳能板/Matched solar panel	Vmp:18-21V, Voc:20-24V	Vmp:26-33V, Voc:34-38V	Vmp:35-39V, Voc: 42-46V
DC输入电压/DC Input Voltage	10.5-28V	20-45V	
MPPT电压/MPPT Voltage	15-23VDC	23-40VDC	
DC最大输入电流/Max. DC Input Power	80A	60A	
AC输出电压范围/AC Output Voltage Range	120VAC(90-140VAC) or 230VAC(190-260VAC)		
频率范围/Frequency Range	50Hz (48-52Hz) 60Hz (58-62Hz)		
功率因数/Power Factor	>0.975		
总谐波失真/THD	<5%		
相移率/Phase Shift	<2%		
防水等级/Waterproof Grade	室内设计/Indoor design		
峰值效率/Peak Efficiency (110V)	82%	87%	
欧洲效率/Euro Efficiency (110V)	79%	85%	
冷却方式/Cooling	风扇 Fan		
峰值效率/Peak Efficiency (220V)	82%	89%	
欧洲效率/Euro Efficiency (220V)	80%	85%	
保护/Protection	孤岛保护, 短路保护, 反接保护, 低压保护, 高压保护, 高温保护等 Islanding; Short-circuit; Reverse polarity protection; Low voltage; Over voltage; Over temperature; etc.		
工作温度/Working Temperature	-25℃ ~+65℃ :		
电磁兼容/EMC	EN61000-6-3:2007 EN61000-6-1:2007		
电网干扰/Grid Disturbance	EN 50178+EN 62109-1+VDE0126-1-12		
电网检测/Grid Detection	DIN VDE 1026 UI1741		
认证/Certificate	CE		

## SMG Series Micro Inverter



### Features

1. Specific design for the characteristics of widely used monocrystal and polycrystal PV modules in the market; better applicability.
2. IP65 waterproof design and MC4 connector are suitable for outdoor installation.
3. Built-in communication module is support for monitoring at any time.
4. Double AC output connectors, more convenience for cable connecting.
5. Adapt to high speed DSP (Digital Signal Processor) and precise sensing IC, which are able to measure various electrical parameters precisely, working with data sender and mini PC, real-time monitor for power generation data.

### Main Technical Data

额定功率/Rated Power	260W	
推荐太阳能板/Matched solar panel	Vmp: 26-30V, Voc: 34-38V	Vmp: 35-39V, Voc: 41-46V
DC输入电压/DC Input Voltage	20-40V	24-45V
MPPT电压/MPPT Voltage	24-33VDC	28-36VDC
DC最大输入电流/Max. DC Input Power	15A	
AC输出电压范围/AC Output Voltage Range	120VAC(90-140VAC) or 230VAC(190-260VAC)	
频率范围/Frequency Range	50Hz/60Hz (Intelligent Detection)	
功率因数/Power Factor	>0.985	
总谐波失真/THD	<5%	
相移率/Phase Shift	<1%	
防水等级/Waterproof Grade	IP65	
效率/Efficiency	120VAC(90-140VAC)	230VAC(190-260VAC)
峰值效率/Peak Efficiency	95%	95%
欧洲效率/Euro Efficiency	92%	92%
冷却方式/Cooling	自然冷却 Natural Convection	
保护/Protection	孤岛保护, 短路保护, 反接保护, 低压保护, 高压保护, 高温保护等 Islanding; Short-circuit; Reverse polarity protection; Low voltage; Over voltage; Over temperature; etc.	
工作温度/Working Temperature	-25℃ ~+65℃	
电磁兼容/EMC	EN61000-6-3:2007 EN61000-6-1:2007	
电网干扰/Grid Disturbance	EN 50178+EN 62109-1+VDE0126-1-12	
电网检测/Grid Detection	DIN VDE 1026 UI1741	
认证/Certificate	CE	

## WVC-I200W Grid Tie Inverter

1. High Performance maximum power point tracking(MPPT)
2. Reverse power transmission
3. Intelligent monitoring management
4. Input/output is fully isolated to protect the electrical safety
5. Multiple parallel stacking
6. Digital control system
7. Simplify maintenance(user serviceable)
8. Operation and maintenance costs low
9. Flexible installation



### Main Technical Data

Model	WVC-1200	
Recommend solar panel	4PCS 300W /Vmp>34V/ Voc<50V	
Max DC input voltage	50V	
Peak power tracking voltage	25-40V	
Operating Voltage Range	17-50V	
Min /Max start voltage	22-50V	
Max DC short current	80A	
Max input current	54.4A	
Output Data	120VAC	230VAC
Peak power output	1200W	1200W
Rated output current	9.58A	5A
Rated voltage range	80-160AC	180-260VAC
Rated frequency range	57-62.5Hz	47-52.5Hz
Power factor	>98%	>98%
Max output efficiency	92%	92%
Ambient Temperature	-40℃ ~+60℃	
Operating Temperature	-25℃ ~+82℃	
Waterproof grade	IP65	
Cooling	Self-cooling	
EMC	EN50081.part1 EN50082.part1	
Grid Disturbance	EN61000-3-2 Safety EN62109	
Grid Detection	DIN VDE 1026 UI1741	
Certificate	CE	

## ANEXO O. Estudio de mercado

### Paneles

#### Mercado Colombiano

Tienda – Mercado libre				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio (USD)
Policristalino	100	15.27	1100 x 870 x 35	90
Monocristalino	100	15	1020 x 670 x 30	123
Policristalino	320	16	1956 x 992 x40	341.3
Policristalino	270	16.6	1640 x 992 x35	297
Policristalino	240	14.75	1640 x 990 x 40	252.77
Policristalino	250	15.4	1640 x 992 x 40	258.33
Policristalino	130	14.38	1350 x 670 x 35	125.66
Policristalino	190	13.8	1320 x 990 x 35	183.66
Policristalino	320	16.5	1955 x 992 x 40	330.66
Tienda – Ambiente soluciones				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio (USD)
Policristalino	100	12.9	1180 x 660 x 25	134.333
Policristalino	110	14.2	1180 x 660 x 25	160.333
Policristalino	140	14.11	1485 x 668 x 35	186
Policristalino	145	14.62	1485 x 668 x 35	210.666
Policristalino	150	15.12	1485 x 668 x 35	220.333
Policristalino	180	15.72	1640 x 990 x 35	262
Policristalino	230	14.1	1640 x 990 x 35	283.066
Policristalino	240	14.7	1640 x 990 x 35	308.566
Policristalino	250	15.4	1640 x 990 x 35	320.566
Policristalino	255	15.7	1640 x 990 x 35	328.666
Policristalino	260	16	1640 x 990 x 35	333.33
Policristalino	300	15.5	1960 x 990 x 40	400
Policristalino	310	16	1960 x 990 x 40	407.66
Tienda – DMC solar				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio (COP)

Monocristalino	150	18.02	1460 x 680 x 35	276.312
Monocristalino	250	19	1640 x 990 x 50	460.056
Monocristalino	190	14.88	1580 x 808 x 35	331.992

## Mercado extranjero

Tienda – alibaba China				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio/Watt (US)
Monocristalino	270	17.2	1640 x 992 x 40	0.4 – 0.52
Policristalino	200	14.9	1325 x 990 x 35	0.5 – 0.6
Policristalino	250	15.4	1640 x 990 x 45	0.4 - 0.5
Policristalino	150	14.5	1480 x 680 x 35	0.3 – 0.5
Monocristalino	100	14.5	1200 x 540 x 35	0.3
Policristalino	320	16.51	1956 x 992 x 45	0.35 - 0.45
Policristalino	250	15.29	1640 x 992 x 40	0.35 - 0.44
Policristalino	300	15.48	1956 x 992 x 40	0.33 - 0.43
	310	15.9		
	320	16.51		
Monocristalino	270	16.51	1650 x 992 x 40	0.38 - 0.5
Monocristalino	300	15.48	1956*992*50	0.36 – 0.47
Monocristalino	170	16.87	1480 x 680 x 35	0.38- 0.5
Monocristalino	250	15.4	1640 x 992 x 50	0.55
	260	16		
Policristalino	250	15.67	1640 x 992 x 40	0.55-0.65
Policristalino	280	17.12	1650 x 992 x 45	0.35-0.45
Madeinchina				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio (US)
Monocristalino	300	17	1950 x 992 x 40	98-110 (unidad)
Monocristalino	270-310	17.6 – 18.6	1950*992*45	0.4 / W
Policristalino	250	15.4	1650x990x40	0.35-0.4 / W
Tienda –Enfsolar China				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio/Watt (US)
Monocristalino	270	16,6	1640 x 992x 40	0.42
Monocristalino	260	16	1640 x 991 x 35	0.43
	265	16.31		
	270	16.61		
	275	16.92		

	280	17.23		
Policristalino	300	15.5	1956 x 990 x 40	0.4
	305	15.73		
	310	15.99		
	315	16.25		
	320	16.52		
Policristalino	255	15.67	1640 x 992 x 40	0.4
Monocristalino	190	14.8	1580 x 808 x 40	0,6
	200	15.7		
	210	16.4		
Tienda –Enfsolar India				
Tipo	Potencia [W]	Eficiencia (%)	Dimensiones [mm]	Precio/Watt (USD)
Monocristalino	340	18	1071 x 1579 x 40	0.37
Policristalino	280	17	1970 x 1000 x 50	0.37
Policristalino	310	18	1960 x 990 x 42	0.37
Policristalino	250	18	1660 x 990 x 42	0.37

## INVERSORES

### Mercado Colombiano

Tienda – Mercado libre					
	Potencia [W]	Tensión entrada (VAC)	Tensión salida (VAC)	Eficiencia (%)	Precio (USD)
OFF GRID	300	12	110	89-92	121.33
OFF GRID	600	12	110	89-92	229.33
OFF GRID	1000	12	120	89-92	313.435
Microinversor GRID TIE	1200	17-50	110	91.2	333.33
Tienda – Imsoltec y energía en casa					
Tipo	Potencia [W]	Tensión entrada (VAC)	Tensión salida (VAC)	Eficiencia (%)	Precio (USD)
Cotek off grid	1000	12, 24, 48	100 / 110 / 115 /120	92-94	351.66
Cotek off grid	4000	12, 24, 48	100 / 110 / 115 / 120	91	1331.66
Micro APsystems	500	22 -55	110/120	95.5	423.33

## Mercado extranjero

Tienda – China: ebay, madeinchina, Aliexpress					
Tipo	Potencia [W]	Tensión entrada (VAC)	Tensión salida (VAC)	Eficiencia (%)	Precio (USD)
GRID TIE	1000	18 / 24 / 36	90-140	87	95
GRID TIE	250	10.8-30 / 22-60	110 / 220	92	50-65
GRID TIE	1000	22-60 / 45-90	110 / 220	92	247
GRID TIE	600	10.5 – 30	100 - 260	-	199.8
GRID TIE	1000	10.8-30 / 20-45	110 / 220	-	107.99
GRID TIE	1200	28-48	110	88	205.99
GRID TIE	2000	45-90	90-140	92	250
Micro GRID TIE	1200	22-50	80-160	92	228
Micro GRID TIE	600	22-50	80-160	92	155
Micro GRID TIE	1200	22-50	80-160	92	199.9
GRID TIE	1000	22-60 / 45-90	110	92	295
Tienda – Victron energy. Europa					
Tipo	Potencia [W]	Tensión (Entrada/ Salida) (VAC)	Tensión salida (VAC)	Eficiencia (%)	Precio (Euros)
Phoenix	350	10.5 – 15.5	120	87	89.78
	400	9.2 – 17	120	87	100.22
	700	10.5 – 15.5	120	88	115.87
	900	9.2 – 17	120	90	187.90
	1600	9.2 – 17	120	91	324.65
	2400	9.2 – 17	120	92	474.98
	400	18.4 – 34	120	89	100.22
	700	21-31	120	89	129.44
	900	18.4 – 34	120	91	187.90
	1600	18.4 – 34	120	93	324.65
	2400	18.4 – 34	120	94	474.98
	400	36-62	120	88	116.92
	700	36.8-62	120	90	146.15
	900	36.8-62	120	91	210.87
	1600	36-68	120	94	347.62
	2400	36-68	120	94	507.34
	6000	9.5-17	120	93	1,290.27

	6000	19-33	120	94	1,290.27
Inversor cargador	4000	9.5-17	120	92	1,228.68
	4000	19-33	120	94	1,228.68
	6000	9.5-17	120	93	1,517.84
	6000	19-33	120	94	1,517.84
Quattro	10000	9.5-17	120	94	3,593.13
	10000	19-33	120	94	3,004.36
	10000	37.2-64.4	120	95	3,004.36
	6000	37.2-64.4	120	94	2,192.20
Tienda – Mwands , WHOLE SOLAR Estados Unidos					
Tipo	Potencia [W]	Tensión (Entrada/ Salida) (VAC)	Tensión salida (VAC)	Eficiencia (%)	Precio (USD)
GRID TIE Schneider	5500	105.5 – 132	120	95.7	3,875
GRID TIE Schneider	6800	105.5 – 132	120	95.7	4,564
GRID TIE SMA SB 5.0 US	5300	100-600	110	97	1798
GRID TIE SMA 3800 TL-US	3840	128-150	110	97.5	1,639
GRID TIE SMA 7700 TL-US	8000	125-150	110	97.3	3,049.49
GRID TIE outback Power	2500	24	120	92	1,755
GRID TIE outback Power	3000	48	120	93	1,895

## BATERÍAS

### Mercado Colombiano

Proveedor – Hybrytec				
Nombre	Tensión	Capacidad [Ah] C10	Tipo	
Mtek MT	2 VDC	300 – 1000	VRLA – AGM	
Mtek M6	6 VDC	225	VRLA – AGM	
Mtek MT12	12 VDC	7.8 - 300	VRLA – AGM	
Tienda – Mercadolibre				
Nombre	Tensión [V]	Capacidad [Ah] C10	Precios [USD]	Tipo
FL2x000SL	2 VDC	100 - 300	50.51 – 101.06	VRLA – AGM
FL12xx00SL	12 VDC	5 - 100	13.44 – 265.88	VRLA – AGM
Ub12xxx	12 VDC	12 - 100	91.94 – 264.17	VRLA – AGM
NPG12-150Ah	12 VDC	150	808.73	VRLA - GEL

NP12-1xx	12 VDC	100-200	355.50 – 838.23	VRLA – AGM
----------	--------	---------	-----------------	------------

## Mercado extranjero

Tienda – Europe solar store				
Nombre	Tensión [V]	Capacidad [Ah] C100	Precios [USD]	Tipo
Hoppecke – solar.bloc 6	6 VDC	200 – 370	184.89 – 561.02	VRLA – AGM
Hoppecke – solar.bloc 12	12 VDC	58 - 180	154.25 – 607.51	VRLA – AGM
Hoppecke OPzV solar.power 12	12 VDC	70 - 180	316.96 – 607.51	VRLA-GEL
Hoppecke OPzS solar.power 24	24 VDC	280 - 4700	1527.75 – 14403.81	VRLA – AGM
Hoppecke OPzV solar.power 24	24 VDC	250 - 3500	1906 – 16545.42	VRLA – GEL
Hoppecke OPzS solar.power 48	48 VDC	280 - 4700	3055.51 – 28807.63	VRLA – AGM
Hoppecke OPzZ solar.power 48	48 VDC	250 - 3500	3813.05 – 33090.85	VRLA - GEL
Tienda – Victron energy				
Nombre	Tensión [V]	Capacidad [Ah]	Precios [USD]	Tipo
OPzV – BAT702xxx260	2 VDC	200 – 3000 C10	284.59 – 3173.83	VRLA - GEL
OPzS Solar BAT802xxx280	2 VDC	640 – 3208 C10	444.34 – 1915.93	VRLA - AGM
BAT406225080	6 VDC	240 C20	317.38	VRLA – AGM
BATx12xxxxx80	12 VDC	8 – 220 C20	24.33 – 546.96	VRLA - AGM
BAT412xNxx100	12 VDC	60 – 220 C20	178.79 – 569.17	VRLA - GEL

Tienda – Shenzhen Eagle Battery Co., Ltd. <a href="http://eaglebatt.en.made-in-china.com/product-group/wobmxFIkkRcd/Deep-Cycle-Series-catalog-1.html">http://eaglebatt.en.made-in-china.com/product-group/wobmxFIkkRcd/Deep-Cycle-Series-catalog-1.html</a>				
Nombre	Tensión [V]	Capacidad [Ah]	Precios [USD]	Tipo
EM100-12	12	100	120	VRLA - AGM
ED150-12	12	150	150	VRLA - AGM
EC200-12	12	200	195	VRLA - AGM

Tienda – Shenzhen Matrix Battery Co. Ltd. <a href="https://spanish.alibaba.com/supplier_wc4BAAJ0A6kA1Zq%5Bun6B2l4gFXS%5B">https://spanish.alibaba.com/supplier_wc4BAAJ0A6kA1Zq%5Bun6B2l4gFXS%5B</a>				
Nombre	Tensión [V]	Capacidad [Ah]	Precios [USD]	Tipo
NP100-12	12	100	115	VRLA - AGM
NP150-12	12	150	140	VRLA - AGM
NP200-12	12	200	175	VRLA - AGM
GEL100-12	12	100	150	VRLA - GEL

GEL150-12	12	150	200	VRLA - GEL
GEL200-12	12	200	250	VRLA - GEL

## REGULADORES DE CARGA

### Mercado Colombiano

Tienda – Mercadolibre- MPPT					
Nombre	Potencia FV Máxima [W]	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Eficiencia máxima	Precio [USD]
LCD 10-80a	FV – 12V: 130-1000 W FV – 24V: 260-2000 W	10 – 80	12/24 Cap 100-800 Ah	-	49.09 – 126.81
5-30 CMTP02	-	5 - 30	12/24	97%	17.35 – 29.5
PowerJack	FV – 12/24 V 1200-2400	50 - 100	12/24	97%	61.75 – 127.82
Tienda – Mercadolibre - PWM					
Nombre	Tensión FV o Potencia Máxima	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Autoconsumo	Precio [USD]
ICharger 2430-R	FV – 12V: 360 W FV – 24V: 720 W	30	12/24	<10 mA	30.3
R0Z3	40 V	20	12/24	-	32.33
Solar 30/60/80	FV – 12V: 360-960 W FV – 24V: 720-1920 W	30-80	12/24	-	45.53 – 194.08

### Mercado extranjero

Tienda – Victron energy - MPPT					
Nombre	Potencia FV Máxima [W]	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Eficiencia máxima	Precio [USD]
BlueSolar MPPT 75-100/10-15	FV – 12V: 135-200 FV – 24V: 270-400	10 - 15	12/24	98%	85.93 – 106.59
BlueSolar MPPT 100/30-50	FV – 12V: 440-700 FV – 24V: 880-1400	30 - 50	12/24	98%	212.18 – 318.27

BlueSolar MPPT 150/45-100	FV – 12V: 650-1450 FV – 24V: 1300-2900 FV – 48V: 2600-5800	45 - 100	12/24/48	98%	477.4 – 795.67
BlueSolar MPPT 250/85-100	FV – 12V: 1200-1450 FV – 24V: 2400-2900 FV – 48V: 4900-5800	85 - 100	12/24/48	98%	901.76 – 1007.85
BlueSolar MPPT 150/70-85	FV – 12V: 1000-1200 FV – 24V: 2000-2400 FV – 36V: 3000-3600 FV – 48V: 4000-4850	70 - 85	12/24/36/48	12V-95% 24V-96.5% 36V-97% 48V-97.5%	689.58 – 901.76
Tienda – Victron energy - PWM					
Nombre	Tensión FV Máxima [V]	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Autoconsumo	Precio [USD]
BlueSolar PWM-Light 12/24 xx A	FV – 12V: 28 V FV – 24V: 55 V	5 - 30	12/24	<10 mA	26.52 – 58.35
BlueSolar PWM-Light 48V- xx A	100 V	10 - 30	48	<10 mA	63.65 – 95.48
BlueSolar PWM-Pro 12/24V xx A	FV – 12V: 28 V FV – 24V: 55 V	5 - 30	12/24	<10 mA	37.13 – 116.7
BlueSolar PWM DUO 12/24V 20A	FV – 12V: 28 V FV – 24V: 55 V	20	12/24	4 mA	148.52

Nota: El primer número en el nombre indica el valor máximo de tensión de circuito abierto.

Tienda – Aliexpress – MPPT China					
Nombre	Potencia FV Máxima [W]	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Eficiencia máxima	Precio [USD]
FLEXmax 60-80	FV – 12V: 750-1000 FV – 24V: 1500-2000 FV – 48V: 3000-4000 FV – 60V: 3750-5000	60 - 80	12/24/36/48/60	97.5 – 98.1%	285.94 – 339.06
MarsRockSolar 20-100A	FV – 12V: 284-1420 FV – 24V: 568-2840 FV – 48V: 1136-4260	20 - 100	12/24/48	99%	61.01 – 452.96

Wiser (15-50)A	FV – 12V: 200-650 FV – 24V: 400-1300	15 - 50	12/24	98%	76.57 – 142.92
Tienda – Aliexpress – PWM China					
Nombre	Tensión FV Máxima [V]	Corriente de carga [A]	Tensión Batería [V]	Autoconsumo	Precio [USD]
MarsRockSolar PWM Controller	FV – 24V: 50 V FV – 48V: 100 V FV – 96V: 200 V FV – 110V: 230 V FV – 120V: 250 V FV – 192V: 400 V FV – 216V: 430 V FV – 220V: 430 V FV – 240V: 450 V	50 - 200	29 - 290	-	347.7 – 649.07
SS(60-100)(12-192)	FV – 12V: 36 V FV – 24V: 55 V FV – 48V: 100 V FV – 96V: 220 V FV – 110V: 240 V FV – 120V: 260 V FV – 192V: 320 V	60 - 100	12 - 192	< 30mA	76.47 – 371.38
LS(05-20)(12-24)E	FV – 12V: 30V FV – 24V: 50V	5 – 20	12 - 24	< 6mA	19.91 – 22.97