

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA CENTRAL
FOTOVOLTAICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
TEJADOS DEL CAMPUS EL JARDÍN Y CSU DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA APOYADO POR UN ESTUDIO
DEL MERCADO DE PANELES SOLARES EN COLOMBIA**

SANDRA MILENA ZAFRA RODRÍGUEZ



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2015**

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA CENTRAL
FOTOVOLTAICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS
TEJADOS DEL CAMPUS EL JARDÍN Y CSU DE LA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA APOYADO POR UN ESTUDIO
DEL MERCADO DE PANELES SOLARES EN COLOMBIA**

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniera en Energía

Director: YECID ALFONSO MUÑOZ MALDONADO (MS.c)

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA
2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Director: Yecid Alfonso Muñoz Maldonado

Firma Evaluador: Carlos Alberto Rey Soto

Bucaramanga, Junio de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi gratitud a los docentes de la carrera, por su confianza y dedicación que hicieron posible este logro académico.

Un agradecimiento muy especial a mi familia por el apoyo incondicional que han presentado a lo largo de mi vida. A mis padres por haberme dado la oportunidad de tener una educación de calidad y por ser el ejemplo de vida a seguir.

A mis compañeros y amigos por apoyarme en la realización de mi vida profesional y personal y hacer de esta experiencia universitaria inolvidable.

A mis abuelos que aunque ya no se encuentran conmigo siempre estarán presentes en mi memoria y en mi corazón.

TITULO

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS TEJADOS DEL CAMPUS EL JARDÍN Y CSU DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA APOYADO POR UN ESTUDIO DEL MERCADO DE PANELES SOLARES EN COLOMBIA.

AUTOR

SANDRA MILENA ZAFRA RODRIGUEZ

DESCRIPCIÓN

Colombia es uno de los países afectados por el calentamiento global, el IDEAM prevé un aumento de temperatura de cuatro grados en los próximos cinco años en la ciudad de Bucaramanga. La Universidad Autónoma de Bucaramanga está ubicada en una ciudad con cuyo lema de Capital sostenible está implementando el concepto de sostenibilidad, y por consiguiente el consumo eficiente de la energía, el respeto por el medio ambiente y el uso de energías renovables. Este proyecto plantea la posibilidad de reemplazar parcialmente mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos, el consumo de energía eléctrica para las instalaciones de la universidad, disminuyendo por una parte, la compra de energía proveniente de la red eléctrica, y por otra, las emisiones de gases efecto invernadero causadas por la generación eléctrica de la energía a sustituir. El objetivo general del trabajo de grado es evaluar la factibilidad técnica y económica de la instalación de una central fotovoltaica en los tejados del campus El Jardín y Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU) de la Universidad Autónoma de Bucaramanga apoyado por un estudio del mercado de paneles solares fotovoltaicos en Colombia.

PALABRAS CLAVES

Energía solar fotovoltaica, Sistemas fotovoltaicos, Paneles solares fotovoltaicos, Energía limpia, Energía renovable.

TITLE

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF A PHOTOVOLTAIC CENTRAL FOR THE HARNESSING OF THE ROOFTOPS OF CAMPUS “EL JARDIN” AND “CSU” OF THE AUTONOMOUS UNIVERSITY OF BUCARAMANGA SUPPORTED BY A STUDY OF THE PHOTOVOLTAICS MARKET IN COLOMBIA.

AUTHOR

SANDRA MILENA ZAFRA RODRIGUEZ

ABSTRACT

Colombia is one of the countries affected by global warming; IDEAM foresees a temperature rise of four degrees in the next five years in the city of Bucaramanga. The Autonomous University of Bucaramanga is located in a city whose motto sustainable Capital is implementing the concept of sustainability, and therefore the efficient use of energy, respect for the environment and use of renewable energy.

This project raises the possibility of partially replacing the electricity consumption for the university facilities by installing photovoltaic solar panels, reducing the purchase of energy from the power grid, and other emissions greenhouse gases caused by the power generation to be replaced. The overall aim of the project is to evaluate the technical and economic viability of installing a photovoltaic plant on the rooftops of the campus El Jardín and University Services Center (CSU) of the Autonomous University of Bucaramanga supported by a market study of photovoltaic solar panels in Colombia.

KEYWORDS

Photovoltaic solar energy, Photovoltaic systems, PV solar panels, Clean energy, Renewable energy.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| OBJETIVO GENERAL | 15 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 15 |
| 1. MARCO TEORICO | 16 |
| 1.1 ENERGIA SOLAR..... | 16 |
| 1.1.1 Energía solar térmica | 16 |
| 1.1.2 Energía solar eléctrica..... | 17 |
| 1.2 MOVIMIENTOS DE LA TIERRA | 17 |
| 1.3 APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 19 |
| 1.4 DESCRIPCIÓN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 20 |
| 1.5 CELULAS FOTOVOLTAICAS | 24 |
| 1.6 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 26 |
| 1.7 GENERADORES FOTOVOLTAICOS..... | 27 |
| 1.8 CURVAS CARACTERISTICAS | 27 |
| 1.8.1 Condiciones estándar de medida (STC) | 28 |
| 1.8.2 Temperatura de Operación Nominal de la Célula | 29 |
| 1.8.3 Curvas de los módulos fotovoltaicos..... | 29 |
| 1.9 OTROS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS..... | 30 |
| 1.9.1 Baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos | 30 |
| 1.9.2 Controladores o reguladores de carga | 31 |
| 1.9.3 Inversores | 32 |
| 1.10 SOFTWARE | 32 |
| 1.11 ANÁLISIS FINANCIERO | 33 |
| 1.11.1 Valor Presente Neto..... | 33 |
| 1.11.2 Tasa Interna de Retorno (TIR) | 34 |
| 1.11.3 Flujo Neto de Caja | 34 |
| 1.11.4 Depreciación | 34 |
| 1.11.5 WACC..... | 35 |
| 3. CONSUMO DE ENERGÍA..... | 46 |
| 4.1 Campus El Jardín | 49 |
| 4.2 Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)..... | 51 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5. | ARREGLO FOTOVOLTAICO | 53 |
| 5.1 | Especificaciones del sistema..... | 53 |
| 5.1.3 | Paneles solares..... | 55 |
| 5.1.2 | Inversores | 59 |
| 5.2 | Esquemas de distribución de paneles solares sobre los tejados..... | 60 |
| 6. | ANÁLISIS FINANCIERO..... | 64 |
| 7. | ANÁLISIS DE MERCADO | 71 |
| 8. | CONCLUSIONES..... | 73 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 74 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama Cenit..... | 17 |
| Figura 2. Trayectoria Solar vista desde el Ecuador | 18 |
| Figura 3. Esquema clasificación de sistemas fotovoltaicos | 21 |
| Figura 4. Esquema sistema fotovoltaico autónomo | 22 |
| Figura 5. Esquema sistema de generación de energía híbrido..... | 23 |
| Figura 6. Esquema sistema fotovoltaico conectado a red..... | 23 |
| Figura 8. Célula solar monocristalina, policristalina y de película delgada | 25 |
| Figura 9. Capas de un panel solar monocristalino | 26 |
| Figura 10. Sistema solar fotovoltaico instalado en Cambridgeshire..... | 27 |
| Figura 11. Curva intensidad-tensión de una célula fotovoltaica | 27 |
| Figura 12. Condiciones estándar de medida (STC) | 29 |
| Figura 13. Inversor instalado en un arreglo fotovoltaico. | 32 |
| Figura 14. Mapa de Radiación Solar Global. Promedio Multianual. Colombia..... | 37 |
| Figura 15. Mapa de Brillo Solar. Promedio Multianual. Colombia..... | 38 |
| Figura 16. Mapa de Radiación Solar Global. Promedio Multianual. Santander | 39 |
| Figura 17. Mapa de Brillo Solar. Promedio Multianual. Santander..... | 39 |
| Figura 18. Irradiancia mensual años 2004-2014..... | 43 |
| Figura 19. Irradiancia promedio de un día del año 2014..... | 43 |
| Figura 20. Irradiancia promedio de tejados ubicados en sombra un día del año 2014..... | 44 |
| Figura 21. Trayectoria solar en Bucaramanga..... | 44 |
| Figura 22. Consumo histórico de Energía Eléctrica | 46 |
| Figura 23. Consumo del mes de septiembre de 2012 | 47 |
| Figura 24. Curva de Consumo de un día ordinario | 47 |
| Figura 25. Consumo de energía de un día de vacaciones..... | 48 |
| Figura 26. Vista aérea del campus El Jardín | 50 |
| Figura 27. Plano tejados del campus El Jardín..... | 50 |
| Figura 28. Vista aérea del campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)..... | 51 |
| Figura 29. Plano tejados Centro de Servicios Universitarios (CSU) | 52 |
| Figura 30. Panel solar fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 de 250Wp. | 56 |
| Figura 31. Dimensiones Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 | 58 |
| Figura 32. Logos certificados de calidad..... | 59 |
| Figura 33. Grafica pérdida de eficiencia del panel solar Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 durante 25 años..... | 59 |
| Figura 34. Inversor Fronius Eco 25.0-3-S | 60 |
| Figura 35. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín..... | 61 |
| Figura 36. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificios N, D, A, Administración y Auditorio Mayor..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 37. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificios de Biblioteca | 62 |
| Figura 38. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificio L | 62 |
| Figura 39. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus CSU | 63 |
| Figura 40. Paneles solares fotovoltaicos montados sobre un techo inclinado de teja | 63 |
| Figura 41. Ahorro costo de energía campus El Jardín..... | 65 |
| Figura 42. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización HELIOTERMICA) | 66 |
| Figura 44. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización GEMNYA) | 67 |
| Figura 46. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización EME INGENIERÍA) | 68 |
| Figura 48. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización AMERICA FOTOVOLTAICA) | 69 |
| Figura 50. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización GIE)..... | 70 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Irradiancia 2014, kWh/m ² /día..... | 41 |
| Tabla 2. Datos de radiación promedio mensual..... | 42 |
| Tabla 3. Irradiancia 2004-2014, kWh/m ² /día..... | 42 |
| Tabla 4. Área de tejados Campus El Jardín | 51 |
| Tabla 5. Área de tejados Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)..... | 52 |
| Tabla 6. Especificaciones de paneles solares e inversores para edificios del campus El Jardín de la UNAB..... | 54 |
| Tabla 7. Perdidas del sistema El Jardín..... | 54 |
| Tabla 8. Especificaciones de paneles solares e inversores para edificios del campus CSU de la UNAB..... | 55 |
| Tabla 9. Perdidas del sistema CSU | 55 |
| Tabla 10. Parámetros eléctricos para STC Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 56 |
| Tabla 11. Parámetros eléctricos para TONC Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 56 |
| Tabla 12. Características térmicas Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 57 |
| Tabla 13. Condiciones de operación Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 57 |
| Tabla 14. Materiales Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 57 |
| Tabla 15. Características generales Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2..... | 58 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo A. Artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014 | 76 |
| Anexo B. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Biblioteca | 77 |
| Anexo C. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio D..... | 80 |
| Anexo D. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Administración | 83 |
| Anexo E. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Auditorio Mayor | 86 |
| Anexo F. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio A | 89 |
| Anexo G. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio N..... | 92 |
| Anexo H. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio L | 95 |
| Anexo I. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Coliseo, CSU | 98 |
| Anexo J. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Bienestar, CSU..... | 101 |
| Anexo K. Flujo de Fondos neto cotización HELIOTERMICA | 104 |
| Anexo L. Flujo de Fondos neto cotización GEMNYA..... | 107 |
| Anexo M. Flujo de Fondos neto cotización EME INGENIERÍA..... | 110 |
| Anexo N. Flujo de Fondos neto cotización AMÉRICA FOTOVOLTAICA..... | 113 |
| Anexo O. Flujo de Fondos neto cotización GESTION INTEGRAL ENERGÉTICA | 116 |
| Anexo P. Tabla empresas de energía solar en Colombia..... | 119 |

NOMENCLATURA

| Símbolo | Descripción | Unidades |
|----------------|---------------------|------------------------|
| <i>T</i> | Temperatura | [C] |
| <i>P</i> | Presión | [Pa] |
| <i>A</i> | Área | [m ²] |
| <i>m</i> | Masa | [kg] |
| <i>V</i> | Voltaje | [V] |
| <i>I</i> | Corriente Eléctrica | [A] |
| <i>W</i> | Potencia | [W] |
| <i>v</i> | Velocidad | [m/s] |
| <i>E</i> | Irradiancia | [W/m ²] |
| <i>E</i> | Energía | [kW/m ² /h] |

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es una fuente de producción de electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película delgada.

La Universidad Autónoma de Bucaramanga a través del programa de pregrado ingeniería en energía cuenta con la oportunidad de implementar el concepto de sostenibilidad, y por consiguiente el consumo eficiente de la energía y el respeto por el medio ambiente, en consideración con esto y el gran potencial del recurso solar en la zona donde se encuentran ubicados el campus El Jardín y el campus Centro de Servicios Universitarios (CSU), determinado del análisis de los datos obtenidos por la estación meteorológica del laboratorio de energías renovables (LER), se plantea la posibilidad de remplazar parcialmente mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos, el consumo de energía eléctrica para las instalaciones, disminuyendo por una parte, la compra de energía proveniente de la red eléctrica, y por otra, las emisiones de gases efecto invernadero causadas por la generación eléctrica de la energía a sustituir.

Para la selección de proveedores y la determinación de costos se plantea realizar un estudio del mercado nacional de proveedores de paneles solares fotovoltaicos, tanto fabricantes como importadores, analizando tecnologías y precios para comparar el estado del mercado colombiano con el mercado internacional. Este estudio además de ser un input importante en el proyecto, genera una información valiosa para inversionistas, empresarios y entidades públicas y privadas involucradas en esta área, ya que al hacer una revisión del estado del arte no se encuentra un estudio de este tipo en el país.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del trabajo de grado es evaluar la factibilidad técnica y económica de la instalación de una central fotovoltaica en los tejados del campus El Jardín y Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU) de la Universidad Autónoma de Bucaramanga apoyado por un estudio del mercado de paneles solares fotovoltaicos en Colombia.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar la radiación solar en el campus El Jardín y Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU) y partir de mediciones in situ de la estación meteorológica del laboratorio de energías renovables (LER) de la UNAB.
- Establecer el área aprovechable de los tejados del campus y potencial energético.
- Establecer las curvas de demanda de potencia eléctrica y determinar cargas a sustituir mediante sistemas fotovoltaicos o esquemas de autoconsumo.
- Estudiar el mercado colombiano de proveedores de paneles solares fotovoltaicos, tanto fabricantes como importadores, relación entre tecnología y precio, y selección de posibles proveedores para el desarrollo del proyecto.
- Evaluar financieramente cada una de las opciones de suministro alternativo seleccionadas.

1. MARCO TEORICO

1.1 ENERGIA SOLAR

El sol está en el centro del sistema solar. Contiene 99,8 por ciento de la masa del sistema solar y es aproximadamente 109 veces el diámetro de la Tierra.

La parte visible del Sol es de unos 5.500 grados Celsius, mientras que las temperaturas en el núcleo llegan a más de 15 millones de grados Celsius, impulsadas por las reacciones nucleares que hace llegar a la tierra 1367 W/m² fuera de la atmosfera.

La energía solar es la energía derivada de la radiación del Sol. El Sol es una poderosa fuente de energía y proporciona la Tierra cada hora la energía que usamos en conjunto en un año en todo el mundo.

Ventajas:

- La energía solar es un recurso que no sólo es sostenible para el consumo de energía, es renovable indefinidamente.
- Los paneles solares requieren poco mantenimiento.
- Los paneles solares son un productor silencio de la energía.

Desventajas:

- La energía solar está limitada a las horas de sol y la nubosidad del área.
- La eficiencia en las tecnologías solares es baja en comparación a otros métodos de generación de energía.
- En sistemas aislados se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos.

1.1.1 Energía solar térmica

La energía solar térmica tiene dos aplicaciones en el campo de las energías renovables. Una aplicación es la energía solar concentrada (CSP por sus siglas en ingles), la cual se refiere a la concentración de la energía del sol para la creación de vapor utilizado para mover turbinas en la generación de electricidad de centrales eléctricas comerciales.

La otra aplicación de la energía solar térmica se refiere a la calefacción de agua a baja temperatura para el agua caliente sanitaria.

1.1.2 Energía solar eléctrica

La energía fotovoltaica genera energía eléctrica mediante el uso de células solares para convertir la energía del sol en un flujo de electrones.

1.2 MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

La rotación casi circular de la tierra alrededor del sol se realiza en un año en un plano llamado eclíptica. Además, La tierra gira sobre sí misma, efectuando una vuelta completa cada 24 horas, alrededor de un eje inclinado de 23.5 grados con respecto a la eclíptica. La primera de estas rotaciones explica la alternancia de las estaciones y la segunda la del día y de la noche.

El eje de rotación de la tierra pasa por su centro e intercepta su superficie en los dos polos. Define, además, sobre la tierra una infinidad de círculos perpendiculares a su dirección, los paralelos. Sólo uno de ellos, equidistante de los dos polos, es un gran círculo: el ecuador. Los demás paralelos son pequeños círculos.

Los solsticios de verano y de invierno corresponden respectivamente al día más largo y al más corto del año. En el hemisferio norte, el solsticio de verano ocurre el 21 de junio y el de invierno el 21 de diciembre.

En el hemisferio sur, es al revés. En los equinoccios de primavera y de otoño, el día y la noche tienen igual duración (12 horas). Los equinoccios están a medio camino de los solsticios, el 21 de marzo y el 21 de septiembre.

El cenit es un punto ubicado justo encima del observador. Corresponde a la intersección de la vertical con la bóveda celeste.

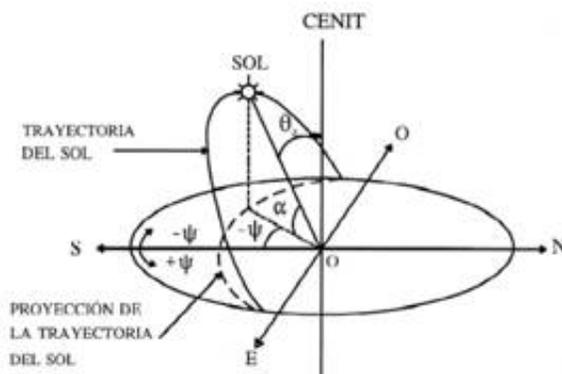


Figura 1. Diagrama Cenit

Fuente: AJPD soft

El azimut solar es el ángulo medido en el sentido de las agujas del reloj entre el punto cardinal Sur (en el hemisferio norte) o Norte (en el hemisferio sur) y la proyección sobre el plano horizontal local de la recta que una la tierra al sol. El ángulo se mide en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido contrario en el hemisferio sur, utilizando las proyecciones sobre el plano horizontal del punto de observación. El azimut solar es negativo por la mañana (dirección Este), nulo o igual a 180° a mediodía y positivo por la tarde (dirección Oeste), en todo el planeta.

Como consecuencia de los movimientos relativos de la Tierra y el Sol, en un determinado lugar de la Tierra, el Sol aparece en el horizonte (orto), va subiendo en la bóveda celeste hasta llegar a una altura máxima, para después ir bajando hasta llegar de nuevo al horizonte (ocaso).

Sobre el ecuador, la duración de los días y de las noches es invariablemente de doce horas. Del 21 de marzo al 21 de septiembre, está siempre al norte, desde el alba hasta el crepúsculo. En la otra mitad del año, está siempre al sur. Alcanza el cenit en ambos equinoccios.

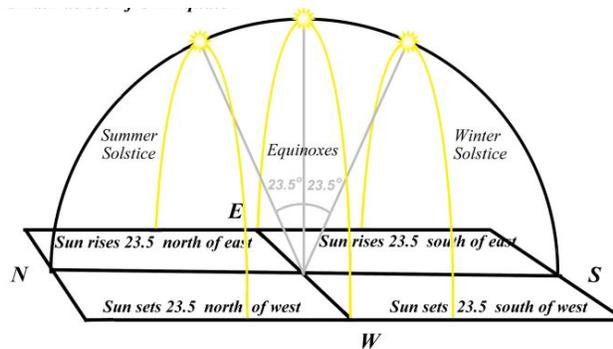


Figura 2. Trayectoria Solar vista desde el Ecuador

Fuente: Near Zero-Energy Buildings

La radiación directa o radiación de haz directo se utiliza para describir la radiación solar que viaja sobre una línea recta desde el sol a la superficie de la tierra.

La radiación difusa, describe la luz del sol que ha sido dispersada por las moléculas y partículas en la atmósfera, pero que han llegado hasta la superficie de la tierra.

La radiación reflejada proviene del suelo circundante, como consecuencia de la reflexión que las componentes directa y difusa han producido en el suelo.

1.3 APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica puede ser utilizada en todos los sectores, desde el uso residencial y comercial a pequeña y mediana escala, hasta el uso industrial para generación de energía a gran escala. Las siguientes son algunas de las aplicaciones de energía solar fotovoltaica en la actualidad.

Sistemas de calefacción solar

Sistemas de agua caliente solares utilizan la luz solar para calentar el agua. Los sistemas se componen de colectores térmicos solares y un tanque de almacenamiento, y pueden ser sistemas activos, pasivos o sistemas batch.

Residencial

El número de instalaciones fotovoltaicas en edificios conectados a la red eléctrica ha crecido en los últimos años. Programas de subsidio del gobierno (sobre todo en Alemania y Japón) y las políticas de precios verdes de los servicios públicos o los proveedores de servicios de electricidad han estimulado la demanda. La demanda también es impulsada por la voluntad de los individuos o empresas para obtener su electricidad a partir de una fuente limpia, no contaminante, renovable.

Comercial

En un edificio de oficinas, la superficie del techo se puede cubrir con módulos fotovoltaicos de vidrio, que pueden ser semi-transparente para proporcionar luz. En una fábrica o almacén, las grandes áreas del techo proveen la mejor ubicación para los módulos solares. Si el techo es plano, entonces las matrices se pueden montar utilizando técnicas que no infrinjan la membrana del techo impermeabilizado.

Las paredes verticales de los edificios de oficinas proporcionan varias oportunidades para la incorporación de paneles fotovoltaicos, así como balcones o células fotovoltaicas montadas entre hojas de vidrio que comprenden la ventana.

Industrial

La energía solar se utiliza para la generación de energía a gran escala, la concentración de energía solar (CSP por sus siglas en inglés) son generadores de gran escala que producen electricidad a partir de espejos o lentes para concentrar de manera eficiente la energía del sol. Las centrales de generación solar térmicas aprovechan la energía solar para aplicaciones prácticas de la calefacción solar para la generación de energía eléctrica por medio de turbinas.

La energía solar también se utiliza con frecuencia para la señalización de

transporte, como boyas de navegación en alta mar, los faros, las estructuras de luz de advertencia de aviones, y cada vez más en las señales de alerta de tráfico. La energía solar se utiliza para alimentar equipos ambientales de monitoreo y sistemas de protección contra la corrosión de las tuberías, así como cabezales, puentes y otras estructuras. Para las cargas eléctricas más grandes se utilizan sistemas híbridos de generación fotovoltaica con generadores diésel.

Aplicaciones remotas

Edificios remotos, tales como escuelas, centros comunitarios y clínicas, se pueden beneficiar de la energía solar. En las regiones en desarrollo, las plantas de energía centrales pueden proporcionar electricidad a los hogares a través de una red por cable local o actuar como una estación de carga de las baterías.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden utilizar para bombear agua en las zonas remotas como parte de un sistema de suministro de agua portátil. Bombas de agua solares especializadas están diseñadas para uso sumergible o para flotar en aguas abiertas.

Automóviles solares

Un vehículo solar es un vehículo eléctrico alimentado por completo o de manera significativa por la energía solar directa. Por lo general, las células fotovoltaicas (PV) que figuran en los paneles solares convierten la energía del sol directamente en energía eléctrica. El término "vehículo solar" por lo general implica que la energía solar se utiliza para alimentar la totalidad o parte de la propulsión de un vehículo. La energía solar puede también ser utilizado para proporcionar energía para las comunicaciones o los controles u otras funciones auxiliares.

1.4 DESCRIPCIÓN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico, es un sistema de energía diseñado para captar la energía del sol y transformarla en energía eléctrica. Se compone de una disposición de varios componentes, incluyendo paneles solares para absorber y convertir la luz solar en electricidad, un inversor solar para cambiar la corriente eléctrica de corriente directa (DC) a corriente alterna (AC), así como el montaje, cableado y otros accesorios eléctricos para configurar el sistema.

Componentes de un sistema fotovoltaico:

- **Generador fotovoltaico:** encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
- **Baterías o acumuladores:** Las baterías se utilizan para almacenar la electricidad producida por energía solar para la noche o energía de reserva de emergencia. Las baterías pueden ser necesarias en lugares que tienen

un acceso limitado a las redes de energía eléctrica, al igual que en algunas zonas remotas o aisladas.

- Regulador de carga: Si las baterías son parte del sistema, un regulador o controlador de carga se incluye para protegerlas de sobrecargas y garantizar el correcto funcionamiento de las baterías.
- Inversores: Un inversor convierte la corriente directa (DC) producida por los paneles en corriente alterna (AC) para alimentar algunas cargas o para introducir la energía en la red de distribución eléctrica.
- Interruptores de desconexión: Permiten que el sistema fotovoltaico se desactive para proporcionar seguridad durante el mantenimiento o en caso de emergencias.
- Seguidores solares: Los sistemas de seguimiento mueven mecánicamente los paneles fotovoltaicos en el transcurso del día para que se enfrentan directamente al sol en todo momento.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar mediante el siguiente esquema:

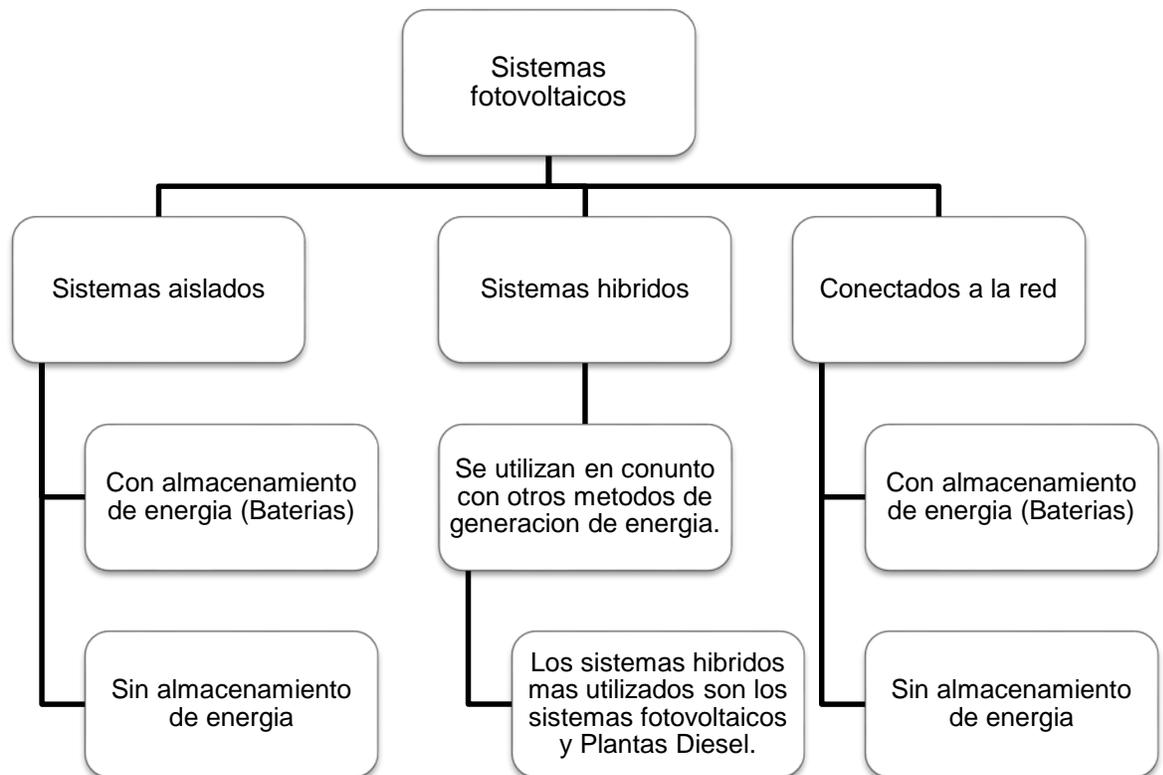


Figura 3. Esquema clasificación de sistemas fotovoltaicos

Fuente: Autor

Sistemas aislados

Los sistemas aislados o autónomos son sistemas que generan energía de manera autosuficiente sin depender de la red eléctrica. Estos sistemas cuentan con baterías para que la energía almacenada pueda ser usada en las horas de la noche. La principal aplicación de estos sistemas son las zonas rurales o aisladas que no cuentan con un suministro de energía eléctrica por parte del sistema interconectado.

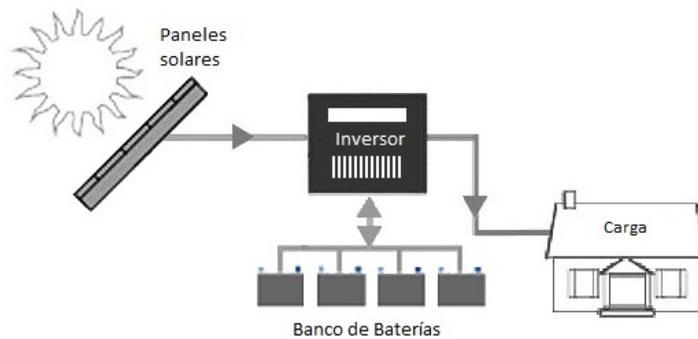


Figura 4. Esquema sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: Energy informative

Sistemas híbridos

Los sistemas de generación híbridos se utilizan cuando se necesita satisfacer grandes demandas, cuando se tienen recurso solar y eólico o para tener un sistema de reserva como en el caso de los generadores a partir de diésel. La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

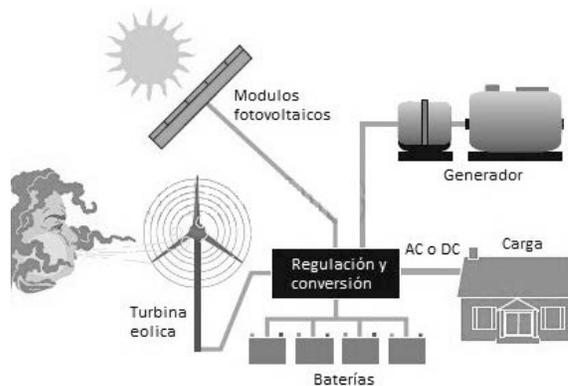


Figura 5. Esquema sistema de generación de energía híbrido

Fuente: Energy informative

Sistemas conectados a la red

En los sistemas conectados a la red la energía solar se utiliza durante el día por el propietario de la red. Por la noche, el propietario se basa en la energía de la red eléctrica. Un beneficio de la adición del sistema de la conectado a la red es que el sistema solar no necesita ser dimensionado para satisfacer las cargas pico ya que los excedentes se pueden extraer de la red. En muchos casos, los excedentes de energía generada durante el día pueden ser exportados a la red.

Los sistemas conectados a la red pueden tener sistemas de acumulación para garantizar la autonomía del sistema y utilizar la conexión a la red para casos de emergencia o en algunos países para suministrar los excedentes de la energía generada a la red para beneficio económico.

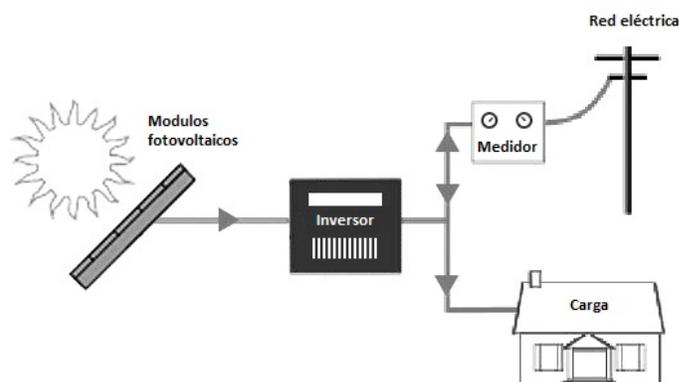


Figura 6. Esquema sistema fotovoltaico conectado a red

Fuente: Energy informative

1.5 CELULAS FOTOVOLTAICAS

La célula solar, también llamada célula fotovoltaica dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor. La célula fotovoltaica está hecha por una placa de silicio con aproximadamente 10 cm de lado y un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm, con una superficie promedio de 100 cm².

La célula fotovoltaica, es un dispositivo que convierte directamente la energía de la luz en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

El "efecto fotovoltaico" es el proceso físico básico a través del cual una célula solar convierte la luz solar en electricidad.

Los materiales usados en las células fotovoltaicas son los semiconductores.

La luz viaja en paquetes de energía llamados fotones. La generación de corriente eléctrica ocurre dentro de la zona de agotamiento de la unión PN. La región de agotamiento es el área alrededor de la unión PN donde los electrones del silicio de tipo N, se han difundido en los orificios del material de tipo P. Cuando un fotón de luz es absorbida por uno de estos átomos en el Tipo de silicio N se desprende un electrón creando un electrón libre y un agujero. El electrón libre y el agujero tienen energía suficiente para saltar fuera de la zona de agotamiento. Si un cable está conectado desde el cátodo (tipo de silicio N) hasta el ánodo (tipo silicio P) electrones fluirán a través del alambre. El electrón es atraído a la carga positiva del material de tipo P y viaja a través de la carga externa creando un flujo de corriente eléctrica. El agujero creado por el electrón desalojado es atraído a la carga negativa de material de tipo N y migra hacia la capa de contacto eléctrico trasera. En cuanto el electrón entra en el silicio de tipo P a partir del contacto eléctrico de vuelta se combina con el agujero de la restauración de la neutralidad eléctrica.

Las células solares de silicio

La mayoría de las células solares en el mercado hoy en día están hechas de algún tipo de silicio - según algunas estimaciones, el 90% de todas las células solares están hechas de silicio.

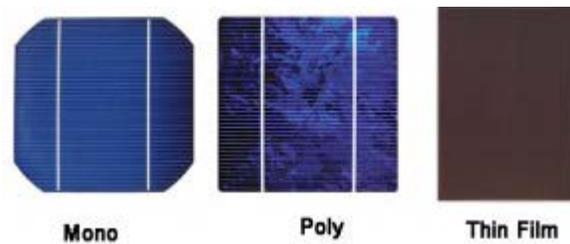


Figura 7. Célula solar monocristalina, policristalina y de película delgada

Fuente: Celan Energy Reviews

Silicio monocristalino

- Están hechas de lo que se llaman "lingotes de silicio", un diseño de forma cilíndrica que ayuda a optimizar el rendimiento.
- Son las más eficientes con respecto al espacio ocupado. Los arreglos fotovoltaicos integrados por células de silicio monocristalino ocupan la menor cantidad de espacio en relación con la intensidad de generación.
- Mayor tiempo de vida útil. Hasta 25 años.
- Eficiencia entre 15-20%

Silicio policristalino

- En su fabricación el silicio se funde y se vierte en un molde cuadrado, por lo tanto, la forma cuadrada de la célula.
- Baja eficiencia en altas temperaturas.
- Eficiencia entre 13-16%

Células de película delgada

- Se caracterizan por la manera en la que diversos tipos de materiales semi-conductores (incluyendo silicio en algunos casos) se disponen en capas uno encima del otro para crear una serie de películas delgadas.
- Las altas temperaturas y las sombras tienen menor impacto en las tecnologías de película delgada.
- Son poco eficientes en relación generación espacio.
- Utiliza diversas sustancias fotovoltaicas, incluyendo el silicio amorfo, telurio de cadmio, cobre, indio y galio seleniuro.
- Son paneles flexibles.
- Eficiencia entre 7-13%

Células de Silicio amorfo

- Se utilizan en aplicaciones a pequeña escala como paneles solares portátiles.
- Eficiencia hasta 8%

Células de Teluro de Cadmio

- Eficiencia entre 9–11%

Células de Cobre indio y galio selenio

- Eficiencia entre 10-12%

1.6 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Un módulo o panel fotovoltaico es un conjunto de células fotovoltaicas conectadas y montadas sobre una estructura de soporte.

Las células se organizan y se envuelven con un material encapsulante, (el más utilizado es el etil-vinil-acetileno) el cual protege a las células y sirve de adhesivo a las cubiertas. Las células encapsuladas están ensambladas entre un cristal y un material plástico (Tedlar) el cual pasa por un proceso a alta temperatura del cual resulta un bloque laminado, el bloque se monta sobre un marco, que confieren una resistencia mecánica adecuada y una protección de agentes ambientales externos. La caja de conexiones permite conectar los módulos entre sí y con la instalación eléctrica exterior.

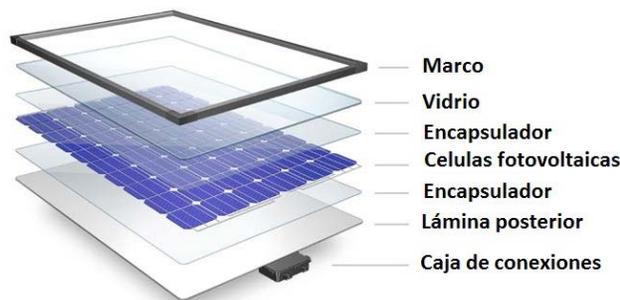


Figura 8. Capas de un panel solar monocristalino

Fuente: Colorado Solar

1.7 GENERADORES FOTOVOLTAICOS

Módulos fotovoltaicos conectados eléctricamente en serie forman ramas y las ramas conectadas en paralelo para obtener las características de tensión y de potencia necesaria para las diferentes aplicaciones constituyen un generador fotovoltaico o un sistema de generación fotovoltaica.



Figura 9. Sistema solar fotovoltaico instalado en Cambridgeshire

Fuente: Cambridge solar UK

1.8 CURVAS CARACTERISTICAS

Las curvas de las células fotovoltaicas las provee el fabricante para tener las especificaciones de la célula y saber el comportamiento de la célula al cambiar las condiciones estándar del comportamiento.

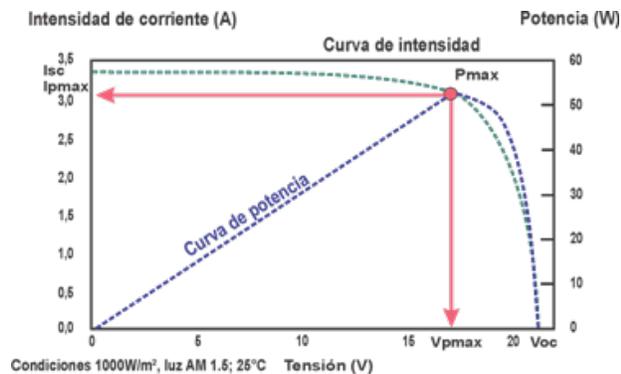


Figura 10. Curva intensidad-tensión de una célula fotovoltaica

Fuente: Linklight Solar

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): es la máxima intensidad que puede entregar una célula fotovoltaica a tensión nula en unas condiciones dadas de

radiación y temperatura. Se mide conectando un amperímetro a la salida de la célula fotovoltaica.

- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): Es la máxima tensión que puede entregar una célula con una corriente nula en unas condiciones dadas de radiación y temperatura. Se mide conectando un voltímetro entre bornes.
- Potencia Máxima o Pico (PM o P_p): es la máxima potencia que puede entregar una célula. Es el punto donde el producto de la tensión y la corriente es el máximo.
- Corriente a máxima potencia (I_{mp}): corriente que entrega la célula a potencia máxima bajo unas determinadas condiciones de radiación y temperatura. Se utiliza como corriente nominal de la célula.
- Tensión a máxima potencia (V_{mp}): tensión que entrega la célula a potencia máxima bajo unas determinadas condiciones de radiación y temperatura. Se utiliza como tensión nominal de la célula.
- Eficiencia total del panel: Es el cociente entre la potencia eléctrica producida y la potencia de la radiación que incide en el panel.
- Factor de forma (FF): concepto teórico que sirve para medir la forma de la curva que define las variables I y V .

1.8.1 Condiciones estándar de medida (STC)

Las condiciones estándar de medida (STC) son una referencia utilizada por los fabricantes para definir las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Las condiciones estándar son:

- Irradiancia: 1000 Watts/m^2 . (1kW/m^2)
- Temperatura de célula: 25°C
- Masa de Aire: AM 1,5.

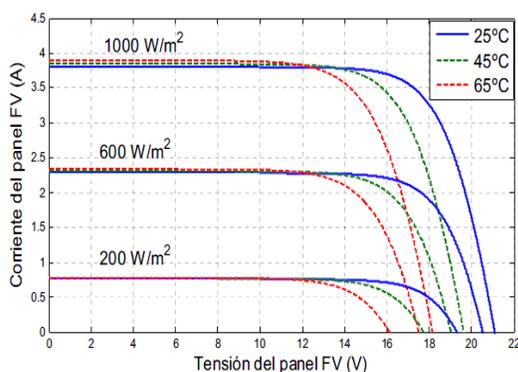


Figura 11. Condiciones estándar de medida (STC)

Fuente: Linklight Solar

1.8.2 Temperatura de Operación Nominal de la Célula

Es la temperatura de operación del módulo en circuito abierto a 800W/m^2 de irradiancia, 20°C de temperatura ambiente y 1m/s de velocidad del viento.

1.8.3 Curvas de los módulos fotovoltaicos

La curva de potencia de un módulo, se obtiene a partir de las curvas de las células que lo componen.

Intensidad: se multiplica el parámetro de corriente de las células por el número de las células en paralelo que tiene el módulo.

$$I_{SC\text{módulo}} = I_{SC\text{cédula}} * N_{\text{células en paralelo}} \quad (1)$$

Tensión: se multiplica el parámetro de tensión de las células por el número de las células en serie que tiene el módulo.

$$V_{OC\text{módulo}} = V_{OC\text{cédula}} * N_{\text{células en serie}} \quad (2)$$

Potencia: se multiplica el parámetro de potencia de las células por el número de células en paralelo y por el número de células en serie que tiene el módulo.

$$P_{\text{máx}\text{módulo}} = P_{\text{máx}} * N_{\text{células en paralelo}} * N_{\text{células en serie}} \quad (3)$$

1.9 OTROS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Las baterías, reguladores de carga e inversores son otros componentes utilizados en los sistemas fotovoltaicos para garantizar el almacenamiento de energía y las condiciones ideales de los sistemas.

1.9.1 Baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos

Una batería eléctrica es un dispositivo que consta de dos o más celdas electroquímicas que convierten energía química almacenada en energía eléctrica. Cada célula contiene un terminal positivo, o cátodo, y un terminal negativo, o ánodo. Los electrolitos permiten que los iones se muevan entre los electrodos y los terminales, lo que permite que la corriente fluya de la batería para realizar el trabajo.

En los sistemas fotovoltaicos las baterías se utilizan para almacenar energía producida durante el día para ser utilizada en las horas de la noche o en periodos donde la iluminación es escasa.

La capacidad de descarga en Amperios-hora (Ah), la profundidad de descarga y la vida útil son las características que definen el comportamiento de una batería.

Capacidad de descarga

La capacidad de descarga es la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa de la batería plenamente cargada. Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en Amperios hora (Ah).

Profundidad de Descarga

La profundidad de descarga de una batería es el porcentaje de la capacidad de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga-descarga. Las baterías se pueden clasificar según su profundidad de descarga como baterías de descarga superficial (descarga media de 10-15%, descarga máxima de 40-55%) y baterías de descarga profunda (descarga media de 20-25%, descarga máxima de 85%). Para las instalaciones fotovoltaicas se utilizan baterías de descarga profunda para garantizar una mayor vida útil.

Vida útil

La vida de una batería son el número de veces que se produce un ciclo de carga y descarga. Los factores de que depende la vida de una batería son: el espesor de las placas, la concentración del electrolito y la profundidad de descarga.

Baterías de plomo-Acido

La batería de plomo sigue siendo la batería de elección para el 99% de los sistemas de energía solar y de respaldo. Los electrodos son rejillas de plomo metálico que contienen óxidos de plomo que cambian de composición durante la carga y descarga. El electrolito es ácido sulfúrico diluido.

Con la mejor disponibilidad en los últimos años de las nuevas baterías de fibra de vidrio absorbente (AGM, Absorbent glass mat) y las baterías de ciclo profundo verdaderas son las baterías con mayor relación costo beneficio. Estas baterías pueden durar hasta 20 años con el cuidado moderado.

Baterías de Níquel Cadmio (NiCad)

Son acumuladores alcalinos en los que el material activo positivo es el óxido de níquel y el negativo contiene cadmio. Tienen un mayor costo que las baterías de plomo y el cadmio es considerado un material peligroso. Tienen voltajes no estándar y las curvas de carga pueden hacer que sea difícil de usar con inversores estándar. La corta vida útil no las hace buenas para sistemas con un ciclo diario.

Baterías de Níquel Hierro (NiFe)

Las celdas eléctricas de tipo alcalina utilizan hidróxido de potasio como electrolito y ánodos de sustrato de acero con material de hierro activo y cátodos de acero niquelado con sustrato acero con material de níquel activo. Tiene una larga vida útil pero un costo muy elevado y pueden reducir la eficiencia de un arreglo solar hasta en un 25% por las pérdidas de carga y descarga por lo cual no se recomiendan en sistemas fotovoltaicos.

1.9.2 Controladores o reguladores de carga

Un controlador de carga o regulador de carga de la batería limita la velocidad a la que la corriente eléctrica se añade o extrae de las baterías eléctricas. Previene la sobrecarga y protege contra sobretensión, que puede reducir el rendimiento de la batería o la vida útil. También puede prevenir por completo la descarga profunda

o realizar descargas controladas, dependiendo de la tecnología de las baterías, para proteger la vida de la batería.

1.9.3 Inversores

Un inversor es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). La tensión de entrada, tensión de salida, la frecuencia, y la manipulación general de energía dependen del diseño del dispositivo. El inversor no produce ninguna potencia; la potencia es proporcionada por la fuente de DC. Un inversor de potencia puede ser totalmente electrónica o puede ser una combinación de efectos mecánicos (tales como un aparato giratorio) y circuitos electrónicos. Los inversores estáticos no utilizan partes móviles en el proceso de conversión.



Figura 12. Inversor instalado en un arreglo fotovoltaico

Fuente: SMA Solar

Para la elección del inversor en sistemas fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta la forma de onda producida, ya que pueden ser: de onda senoidal pura, de onda trapezoidal y de onda cuadrada. Se recomienda utilizar inversores de onda senoidal ya que al reproducir una forma de onda prácticamente idéntica a la red eléctrica son más eficientes y permiten alimentar cualquier tipo de carga.

1.10 SOFTWARE

Se utilizó el software PVSYST para realizar la simulación del arreglo fotovoltaico, esta herramienta permite el análisis de datos, dimensionamiento y estudio de sistemas fotovoltaicos. El sistema trata con conexión a red, autónomo, bombeo y sistemas fotovoltaicos de corriente continua (transporte público) e incluye una extensa base de datos para los componentes de sistemas fotovoltaicos, así como herramientas de energía solar general.

PVSYST da la opción de realizar el dimensionamiento en dos niveles:

- Diseño preliminar: este es el paso de pre dimensionamiento de un proyecto.
- Diseño del proyecto: su objetivo es realizar un diseño de sistema exhaustivo mediante simulaciones detalladas por hora.

El valor de este software es que se pueden realizar diversos sistemas de simulación, funcionamientos y compararlos. Tiene para definir la orientación del plano y para elegir los componentes del sistema específico. Realiza la matriz FV (número de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo), dado un modelo elegido de inversor, batería o bomba. En un segundo paso, se pueden especificar más parámetros y analizar efectos como el comportamiento térmico, cableado, calidad del módulo, pérdidas por ángulo de desajuste e incidencia, y sombreados parciales de objetos cercanos a la matriz.

1.11 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero permite determinar los beneficios o pérdidas que puede generar la inversión de un proyecto, los resultados de este análisis se utilizan para tomar una decisión final. En estos análisis se utilizan indicadores económicos como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

1.11.1 Valor Presente Neto

El valor presente neto o valor actual permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

Este indicador permite determinar si la inversión cumple con el objetivo de maximizar la inversión.

El valor presente neto depende de las siguientes variables:

Inversión inicial, inversiones durante la operación, flujos netos de efectivo y el número de períodos del proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Presente Neto es:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (4)$$

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n es el número de períodos considerado.
 k es el tipo de interés.

Interpretación

- VAN > 0** Cuando el valor presente neto es mayor que cero la inversión generara ganancias por encima de la rentabilidad exigida.
- VAN < 0** Cuando el valor presente neto es menor que cero la inversión generara perdidas por debajo de la rentabilidad exigida.
- VAN = 0** La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.

1.11.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es la tasa que iguala el VPN a cero. La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

La fórmula que nos permite calcular la tasa interna de retorno (TIR) es:

$$VPN = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (5)$$

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .
 I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
 n es el número de períodos considerado.

1.11.3 Flujo Neto de Caja

Son los recursos generados por el proyecto de inversión (flujos de entradas y salidas de caja) en un determinado período de tiempo.
Es la sumatoria entre las utilidades contables con la depreciación y amortización de los activos.

1.11.4 Depreciación

La depreciación es la disminución del valor de los activos y la asignación del costo de los activos a los períodos en que se utilizan los activos.

1.11.5 WACC

El costo promedio ponderado de capital es medida de la cantidad de dinero que la planta o sistema fotovoltaico tiene que pagar a los bancos y los inversores con el fin de proporcionarles el rendimiento esperado de los activos. Los rendimientos son compartidos por los proveedores de deuda (bancos) y los inversores.

La WACC se ve afectada por el nivel de madurez de la tecnología, predictibilidad de la producción de energía, el riesgo de suministro de combustible y el riesgo político. El riesgo de la energía solar fotovoltaica es particularmente bajo debido a la previsión a que el rendimiento energético de los módulos solares es más preciso que la de otras fuentes.

2. MEDICIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

En general, Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m² (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m² y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento. En las figuras 18 y 19 se puede observar el mapa de radiación solar y el mapa de brillo solar en Colombia, en las figuras 20 y 21 se ilustra el mapa de radiación solar y el mapa de brillo solar en el departamento de Santander, en donde está ubicada la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

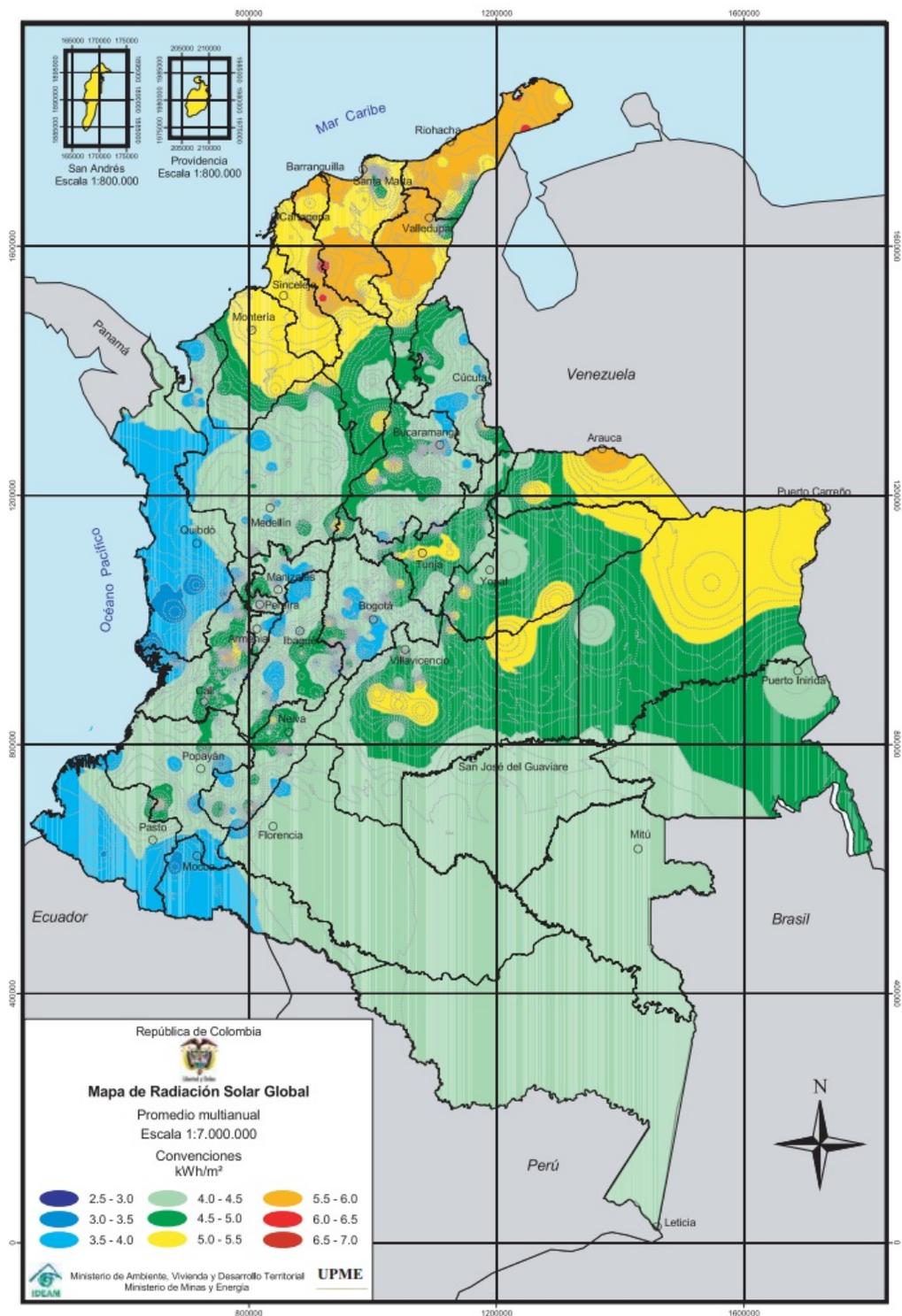


Figura 13. Mapa de Radiación Solar Global. Promedio Multianual. Colombia

Fuente: Unidad de planeación minero energética (UPME)

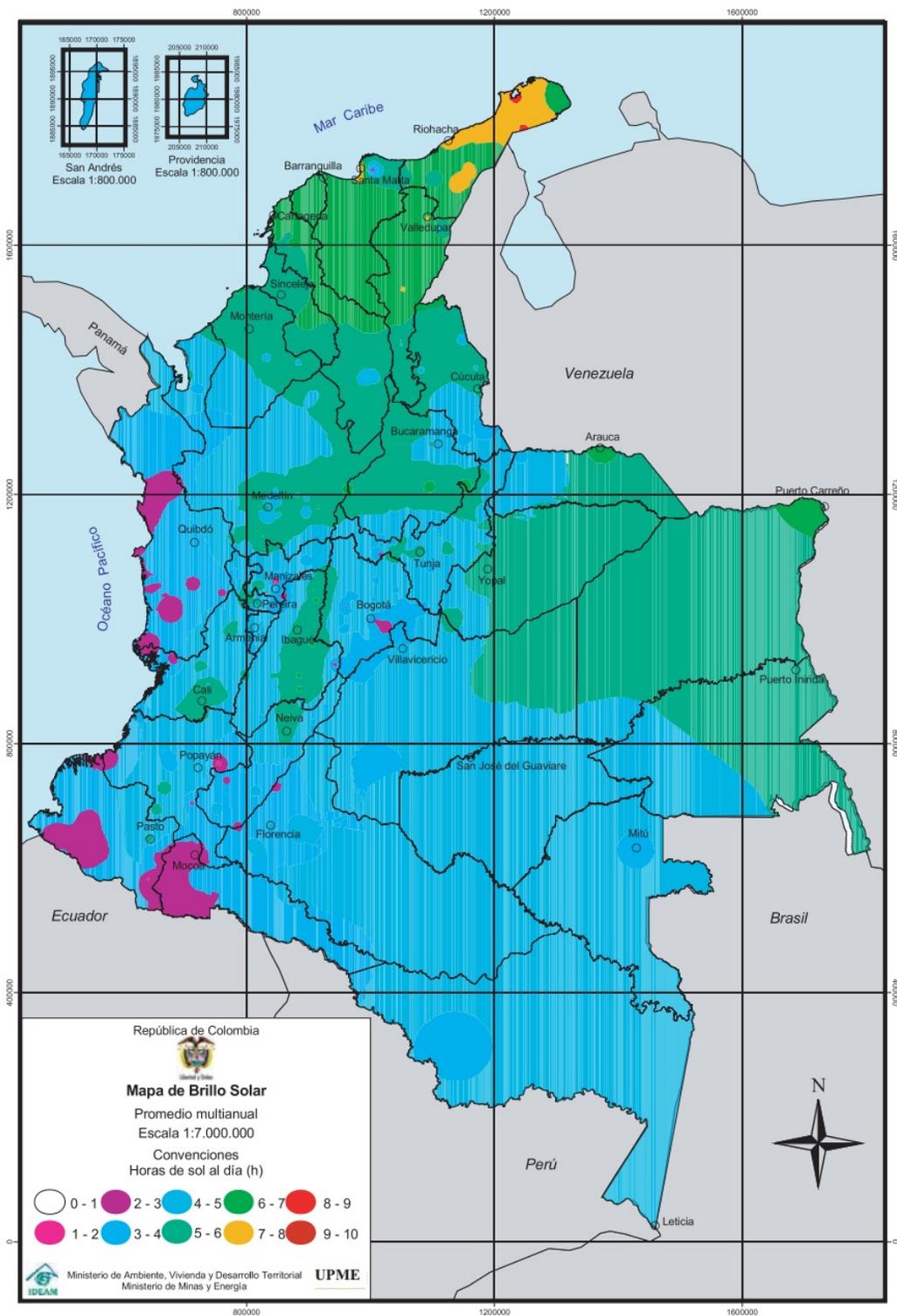


Figura 14. Mapa de Brillo Solar. Promedio Multianual. Colombia

Fuente: Unidad de planeación minero energética (UPME)

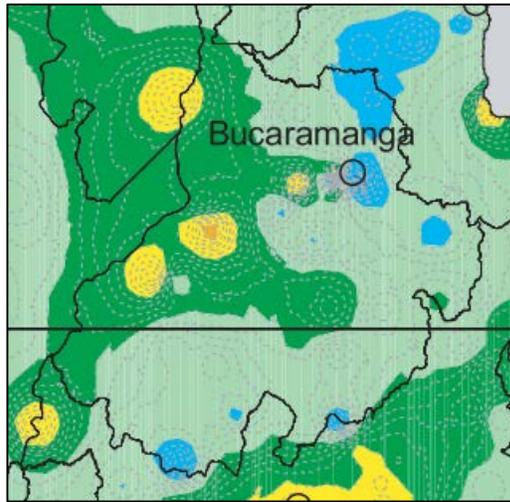


Figura 15. Mapa de Radiación Solar Global. Promedio Multianual. Santander

Fuente: Unidad de planeación minero energética (UPME)

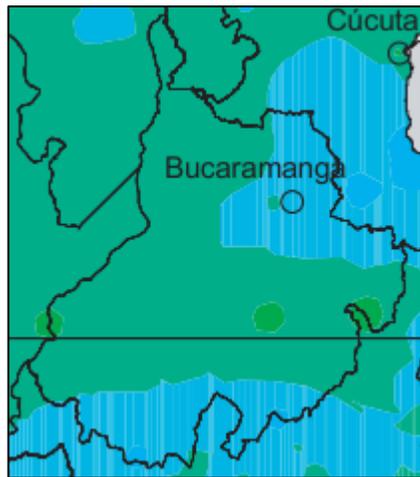


Figura 16. Mapa de Brillo Solar. Promedio Multianual. Santander

Fuente: Unidad de planeación minero energética (UPME)

Los campus El Jardín y CSU de la Universidad Autónoma de Bucaramanga están ubicados en el sector Cabecera del llano y Terrazas respectivamente, en la ciudad de Bucaramanga, Santander. Los campus se encuentran distanciados 450 metros el uno del otro. Se tomaron datos de radiación solar de la estación meteorológica del laboratorio de energías renovables (LER) de la UNAB ubicado en el campus El Jardín, durante un periodo de 12 meses para generar una caracterización solar. La estación meteorológica cuenta con un sistema DAVIS Cabled Vantage Pro2™ y un monitoreo de la data mediante el software WeatherLink®.

La estación meteorológica almacena los datos de radiación solar, velocidad del viento, temperatura entre otros cada 5 minutos y los registra en la base de datos del Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la UNAB. En la tabla 1 se encuentran los datos de radiación solar promedio diaria y mensual del año 2014 en kWh/m²/día.

En la tabla 2 se encuentran los datos del promedio mensual de radiación solar, temperatura y velocidad del viento.

En la tabla 3 se encuentran los valores de radiación solar obtenidos mediante la base de datos del LER y datos de radiación solar de la base de datos de la NASA en del año 2005. Con esta tabla se verifica que la data almacenada por la estación meteorológica es coherente.

En la figura 23 se observa la radiación promedio de un día en el año 2014. Esta curva se halló promediando las curvas de radiación solar de todos los días del año 2014, las curvas diarias fueron graficadas con mediciones de radiación solar en intervalos de cinco minutos por 24 horas.

Tabla 1. Irradiancia 2014, kWh/m²/día

| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 5,12 | 2,89 | 5,35 | 5,16 | 4,27 | | 4,18 | 2,99 | 2,58 | | 4,94 |
| | 4,59 | 4,64 | 4,83 | 3,71 | 3,03 | | 3,54 | 5,22 | 3,25 | | 4,33 |
| | 3,39 | 4,62 | 3,79 | 4,56 | 5,06 | | 4,30 | 4,92 | 3,78 | | 5,76 |
| | 4,17 | 4,34 | 5,73 | 6,01 | 5,82 | | 3,32 | 5,25 | 2,85 | | 4,84 |
| | 4,76 | 5,05 | 5,76 | 5,20 | 3,79 | | 5,85 | 4,91 | 4,35 | | 2,62 |
| | 5,41 | 3,96 | 5,42 | 5,65 | 4,51 | | 5,36 | 2,91 | 4,98 | | 5,63 |
| | 4,73 | 5,40 | 3,07 | 3,09 | 3,54 | | 3,37 | 3,21 | 3,23 | | 3,85 |
| | 5,20 | 4,11 | 3,64 | 4,51 | 2,93 | | 3,90 | 3,18 | 3,63 | | 2,74 |
| 4,74 | 5,13 | 3,66 | 4,80 | 3,04 | 3,40 | | 4,71 | 4,57 | 4,71 | | 5,12 |
| 5,66 | 5,78 | 5,37 | 5,28 | 4,16 | 3,04 | | 3,35 | 4,32 | 7,59 | | 4,59 |
| 5,65 | 5,12 | 4,67 | 3,07 | 5,25 | 2,94 | | 6,00 | 4,07 | 4,35 | | 3,39 |
| 4,80 | 5,35 | 4,19 | 6,47 | 6,25 | 5,39 | | 4,82 | 4,51 | 4,98 | | 4,17 |
| 4,59 | 4,30 | 3,93 | 5,32 | 5,80 | 4,25 | 5,47 | 5,04 | 4,43 | 3,23 | | 4,76 |
| 3,79 | 5,42 | 2,42 | 3,01 | 3,97 | 2,74 | 4,43 | 5,23 | 5,26 | 3,25 | | 5,41 |
| 4,67 | 5,35 | 4,66 | 5,08 | 3,52 | 5,32 | 3,29 | 3,75 | 4,03 | 3,78 | | 4,73 |
| 4,79 | 5,61 | 5,47 | 2,34 | 3,60 | 4,11 | 4,91 | 4,52 | 4,05 | 2,85 | | 5,20 |
| 4,54 | 4,24 | 5,85 | 6,28 | 5,00 | 4,81 | 4,78 | 3,05 | 3,20 | | | 5,13 |
| 3,18 | 4,35 | 3,25 | 3,65 | 3,03 | 5,04 | 3,28 | 3,60 | 3,60 | | | 5,78 |
| 3,57 | 4,62 | 5,38 | 3,34 | 4,33 | 4,00 | 2,73 | 4,15 | 3,39 | | | 5,12 |
| 4,75 | 3,87 | 5,08 | 4,24 | 4,84 | 2,70 | 3,45 | 5,78 | 4,84 | | 3,43 | 5,35 |
| 4,27 | 4,94 | 4,84 | 3,94 | 4,79 | 3,75 | 4,09 | 3,82 | 5,92 | | 4,50 | 4,30 |
| 3,04 | 4,33 | 5,15 | 4,35 | 5,85 | 4,91 | 2,68 | 4,21 | 5,23 | | 5,47 | 5,42 |
| 4,26 | 5,76 | 5,09 | 4,46 | 4,76 | 3,44 | 3,90 | 4,37 | 5,14 | | 4,08 | 5,35 |
| 5,18 | 4,84 | 4,46 | 5,64 | 6,69 | | 6,05 | 3,33 | 6,51 | | 3,11 | 5,61 |
| 4,76 | 2,62 | 4,66 | 5,10 | 6,79 | | 4,50 | 4,38 | 4,64 | | 5,39 | 5,91 |
| 3,88 | 5,63 | 5,35 | 5,43 | 5,16 | | 2,46 | 4,38 | 3,66 | | 3,61 | 6,68 |
| 4,87 | 3,85 | 5,41 | 6,02 | 2,37 | | 2,83 | 5,13 | 3,94 | | 2,77 | 5,20 |
| 5,96 | 2,74 | 5,91 | 4,27 | 3,89 | | 3,18 | 4,72 | 4,84 | | 3,32 | 4,80 |
| 5,02 | | 6,68 | 3,30 | 4,04 | | 3,18 | 2,99 | 4,91 | | 3,44 | 5,15 |
| 4,92 | | 5,20 | | 4,58 | | 2,54 | 3,41 | 5,81 | | 3,90 | 5,09 |
| | | 4,80 | | 4,87 | | 5,09 | 4,25 | | | | 4,80 |
| 4,59 | 4,69 | 4,72 | 4,59 | 4,66 | 4,35 | 4,41 | 4,28 | 4,45 | 4,10 | 3,91 | 4,90 |

Fuente: Autor

Tabla 2. Datos de radiación promedio mensual

| Mes | Irradiancia Global (kWh/m ²) | Irradiancia Global (kWh/m ² /día) | Temperatura Ambiente (°C) | Velocidad del viento (m/s) |
|--------------|--|--|---------------------------|----------------------------|
| Enero | 4,87 | 191,064 | 23,3 | 2,0 |
| Febrero | 4,86 | 195,312 | 24,7 | 1,9 |
| Marzo | 4,99 | 196,859 | 24,5 | 1,7 |
| Abril | 4,47 | 191,074 | 23,7 | 1,6 |
| Mayo | 4,65 | 194,168 | 23,2 | 1,6 |
| Junio | 4,92 | 168,114 | 23,1 | 1,8 |
| Julio | 5,09 | 159,724 | 23,4 | 1,8 |
| Agosto | 5,01 | 178,504 | 23,6 | 1,8 |
| Septiembre | 5,02 | 185,378 | 23,0 | 1,6 |
| Octubre | 4,62 | 170,634 | 22,4 | 1,5 |
| Noviembre | 4,45 | 162,908 | 22,3 | 1,5 |
| Diciembre | 4,62 | 204,021 | 22,4 | 1,5 |
| Anual | 4,80 | 183,147 | 23,3 | 1,7 |

Fuente: Autor

Tabla 3. Irradiancia 2004-2014, kWh/m²/día

| | 2004 | 2014 |
|--------------|-------------|-------------|
| Enero | 4,87 | 4,59 |
| Febrero | 4,86 | 4,69 |
| Marzo | 4,99 | 4,72 |
| Abril | 4,47 | 4,59 |
| Mayo | 4,65 | 4,66 |
| Junio | 4,92 | 4,03 |
| Julio | 5,09 | 3,83 |
| Agosto | 5,01 | 4,28 |
| Septiembre | 5,02 | 4,45 |
| Octubre | 4,62 | 4,10 |
| Noviembre | 4,45 | 3,91 |
| Diciembre | 4,62 | 4,90 |
| Anual | 4,80 | 4,40 |

Fuente: Autor. Datos de irradiancia del año 2004 tomados de la NASA.

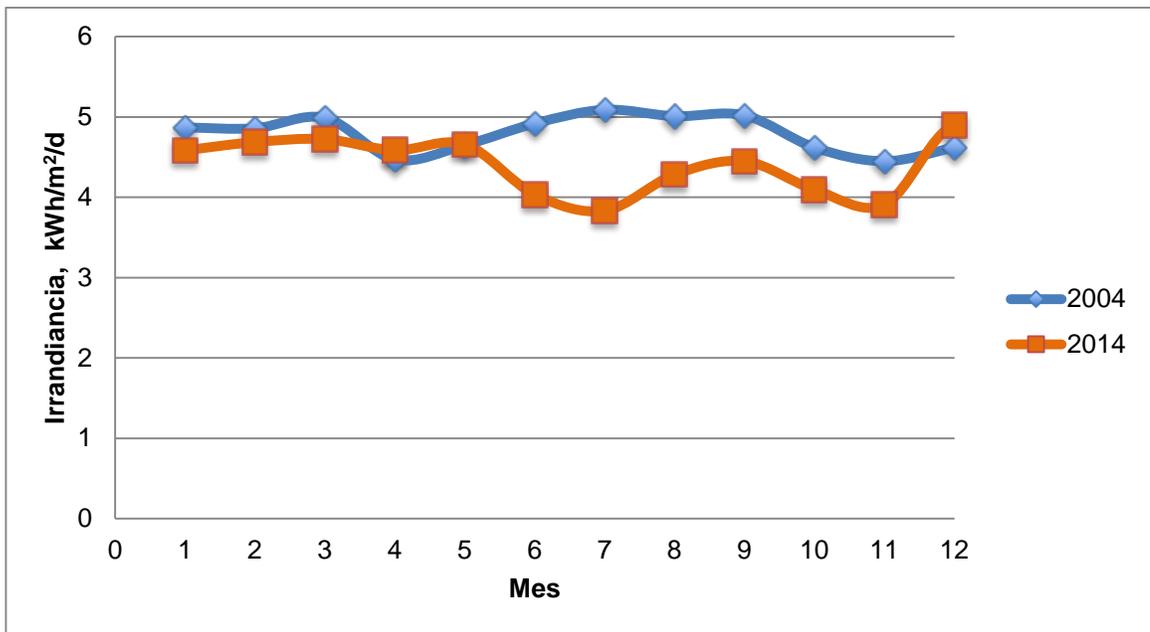


Figura 17. Irradiancia mensual años 2004-2014

Fuente: Autor. Datos de irradiancia del año 2004 tomados de la NASA.

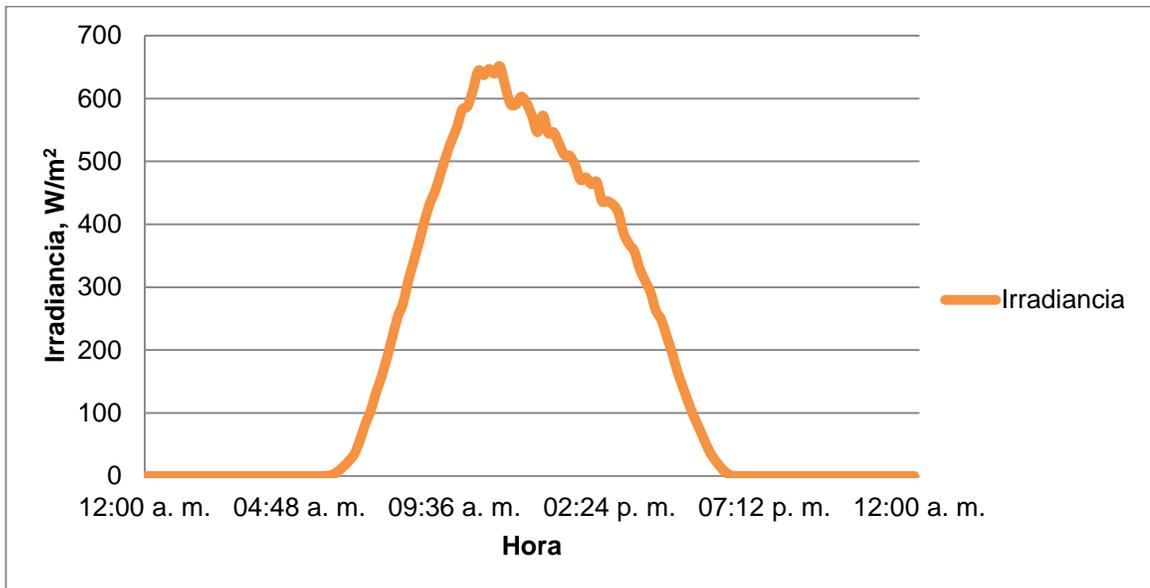


Figura 18. Irradiancia promedio de un día del año 2014

Fuente: Autor

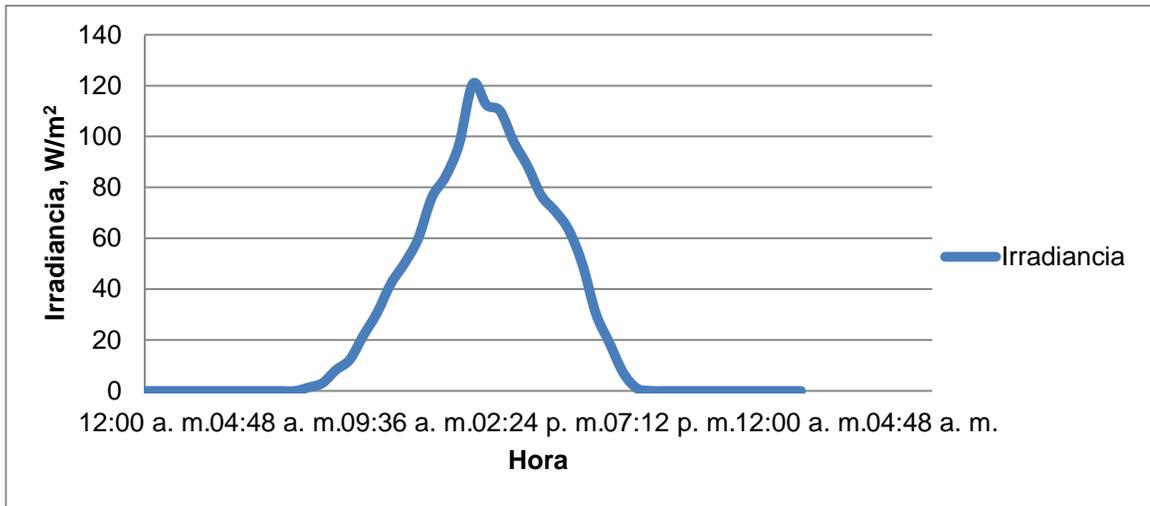


Figura 19. Irradiancia promedio de tejados ubicados en sombra un día del año 2014

Fuente: Autor

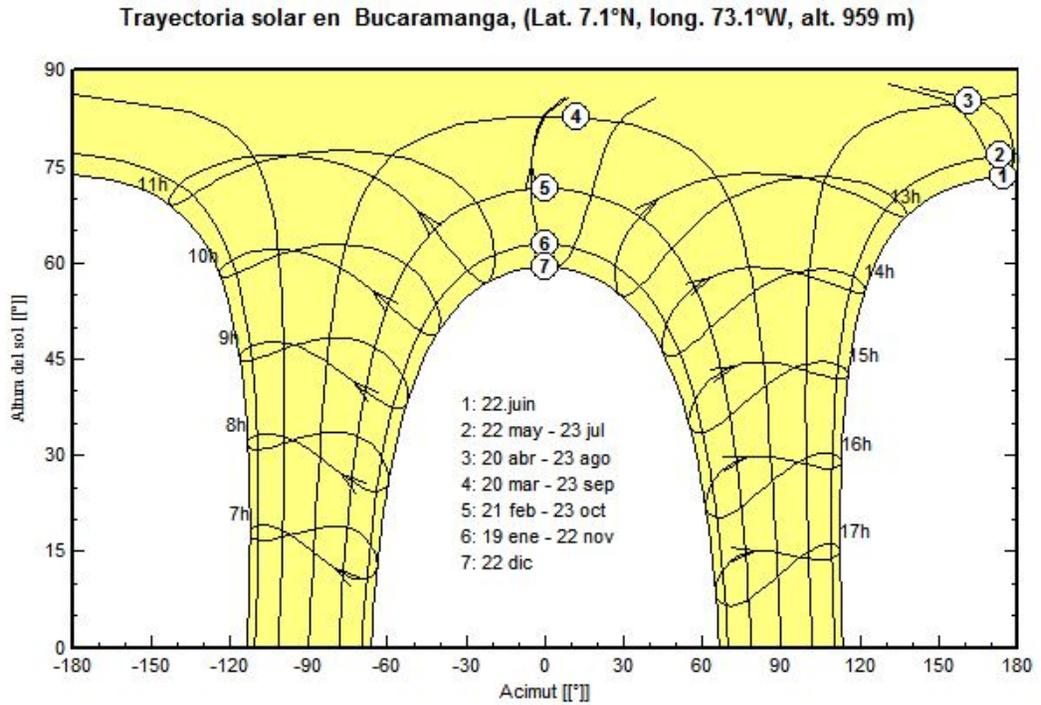


Figura 20. Trayectoria solar en Bucaramanga

Fuente: Software PVSyst

Tomando el promedio del año 2014 se puede establecer una irradiancia de 4,4 kWh/m², y con una irradiancia media de 1000 W/m², se obtienen 4,4 horas de sol pico, que representan las horas diarias en las que se va a tener la irradiancia media.

$$HSP = \frac{G_c}{1000 \text{ W/m}^2}$$

G_c Irradiancia global diaria sobre el plano horizontal

3. CONSUMO DE ENERGÍA

La empresa de servicios públicos Ruitoque S.A E.S.P. provee el servicio de energía eléctrica a la UNAB, la cual es un usuario no regulado de nivel 2 de tensión (Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV). Ruitoque S.A E.S.P suministró a la UNAB un histórico de consumo de energía eléctrica desde diciembre de 2011 hasta julio de 2014, esta información fue suministrada a través de un conjunto de planillas en Microsoft Excel que ofrecen información hora a hora del consumo del campus desde el mes de febrero de 2012 hasta el mes de marzo del 2014, esta información permitió construir la curva de consumo del periodo 2012-2014 que se muestra en la figura 25.

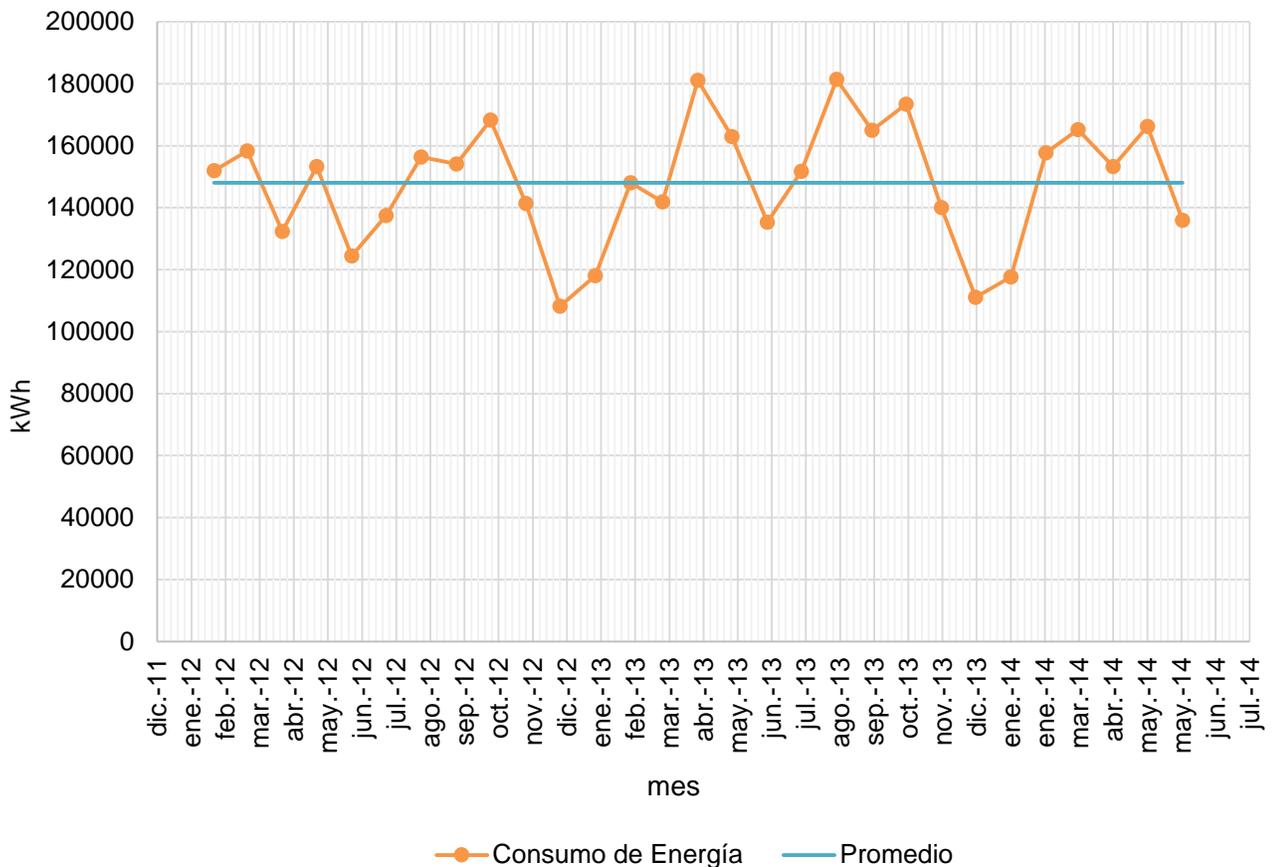


Figura 21. Consumo histórico de Energía Eléctrica

Fuente: Autor

El consumo mínimo mensual es de aproximadamente 110.000 kWh y el consumo máximo 180.000.

La universidad se encuentra en periodo de vacaciones los meses de Junio y Diciembre. En diciembre se registra el menor consumo en el año ya que tanto estudiantes como profesores y personal administrativo se encuentran en periodo de vacaciones.

La figura 27 muestra el consumo diario del mes de septiembre de 2012 (escogido al azar) y se puede ver claramente que el menor consumo se da el día domingo debido a la total inactividad en el campus. En la figura 28 y 29 se muestran la curvas diarias de un día ordinario y un día de vacaciones escogidos aleatoriamente donde se puede observar que para los días ordinarios existe un consumo diario base de aproximadamente 100 kWh y que se mantiene desde las 10 pm hasta las 6 am y que para los días de vacaciones se mantiene entre los 75 y los 85 kWh durante todo el día.

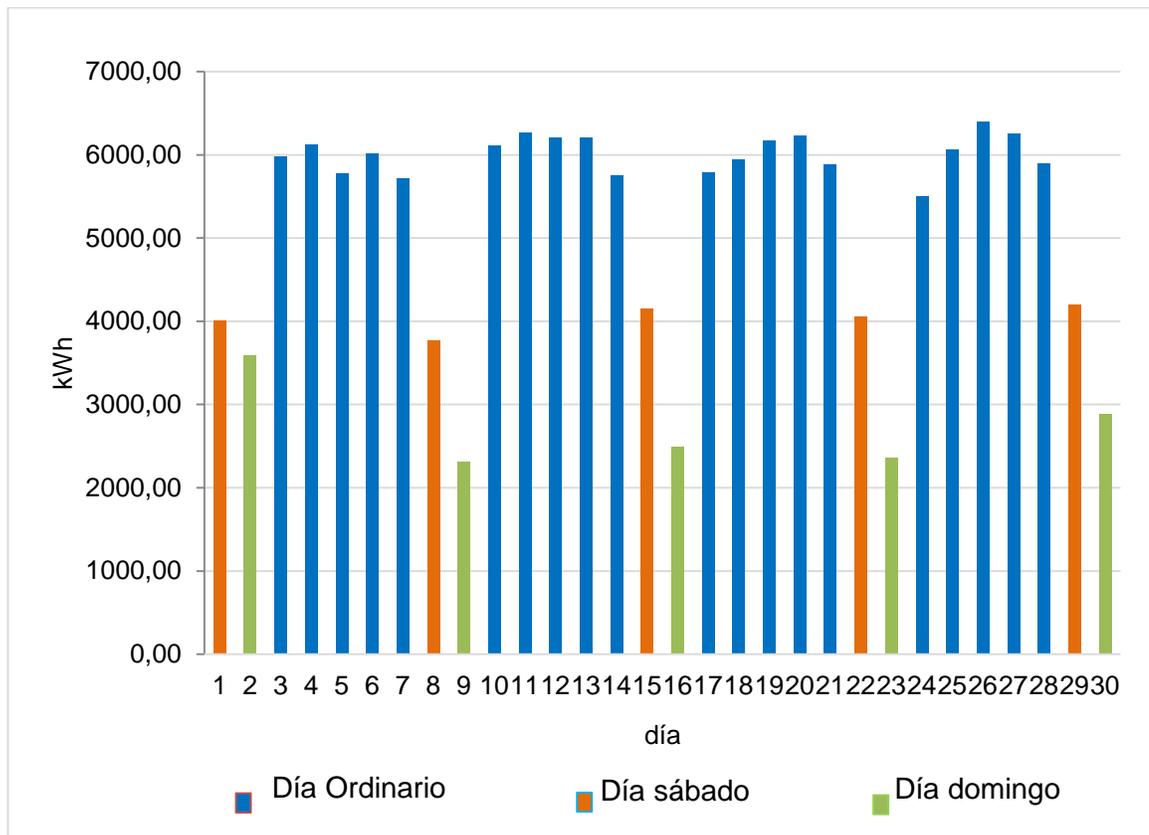


Figura 22. Consumo del mes de septiembre de 2012

Fuente: Autor

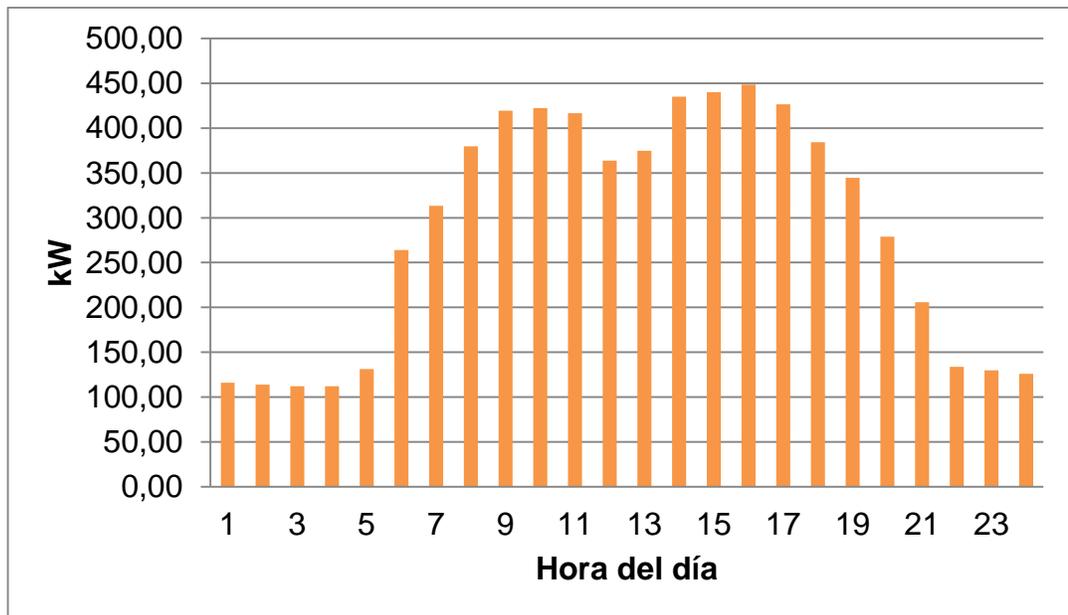


Figura 23. Curva de Consumo de un día ordinario (14 de Octubre de 2013)

Fuente: Autor

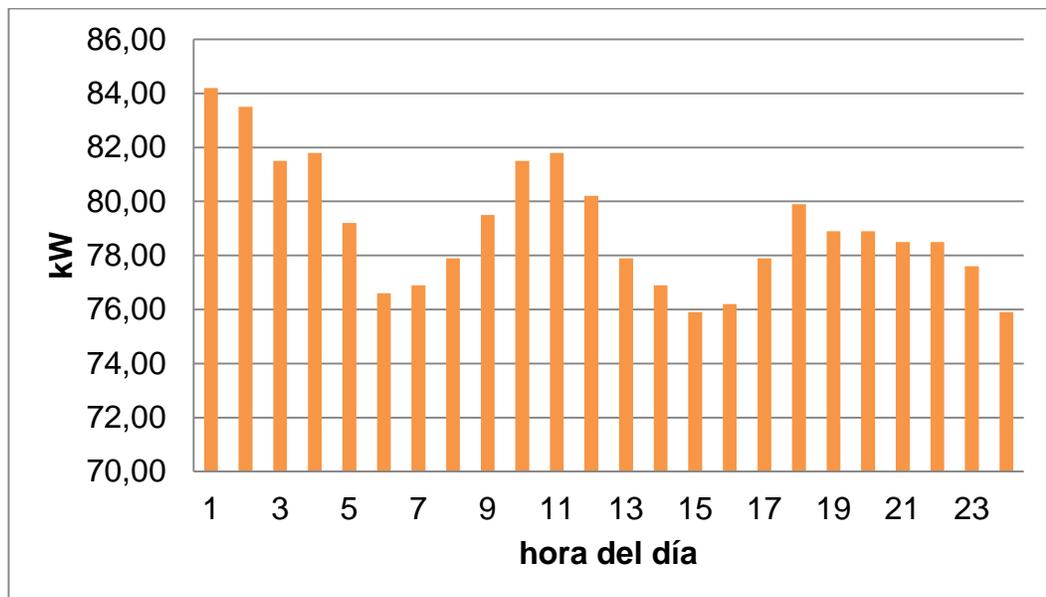


Figura 24. Consumo de energía de un día de vacaciones (31 de Diciembre de 2013)

Fuente: Autor

4. ÁREA DE APROVECHAMIENTO DE LOS TEJADOS

El diseño del sistema fotovoltaico se realizara sobre los tejados del campus El jardín y Centro de Servicios Universitarios (CSU).

Para encontrar la potencia máxima instalada se tomaron las dimensiones genéricas de un panel solar de 250Wp y se realizó una distribución sobre el plano de los tejados del campus utilizando la herramienta de AutoCAD, se realizó un conteo del número de paneles y con esto se halló el área de aprovechamiento y la potencia máxima instalada de cada edificio.

4.1 Campus El Jardín

El campus El Jardín tiene un área total de tejados de 5448 m². Los tejados sobre los cuales incide radiación solar directa representan un área de 2832m², los cuales cuentan con el diseño estructural que permite la instalación de paneles solares fotovoltaicos en ellos. En la figura 26 se observa una imagen satelital del campus.

Los edificios de biblioteca, el edificio de administración, el edificio del auditorio mayor, el bloque A, N, L y D son los edificios sobre los que se realizara el diseño fotovoltaico ya que son los edificios que cuentan con radiación solar directa.

Los edificios restantes se encuentran bajo una capa de árboles en donde la radiación solar máxima diaria es de 120 W/m². En la figura 20 se observa la irradiancia promedio de tejados ubicados en sombra un día del año 2014.

El área aprovechable del tejado representa el área que ocuparan los paneles solares, el área total no va a ser utilizada ya que se dejó espacio libre para facilitar el desplazamiento de instalación y mantenimiento de los paneles.

El edificio de Biblioteca no cuenta con un tejado uniforme y se recomienda la reestructuración completa del tejado, revisión de la estructura y reposicionamiento de las tejas previa a la instalación de los paneles solares.



Figura 25. Vista aérea del campus El Jardín

Fuente: Google Earth

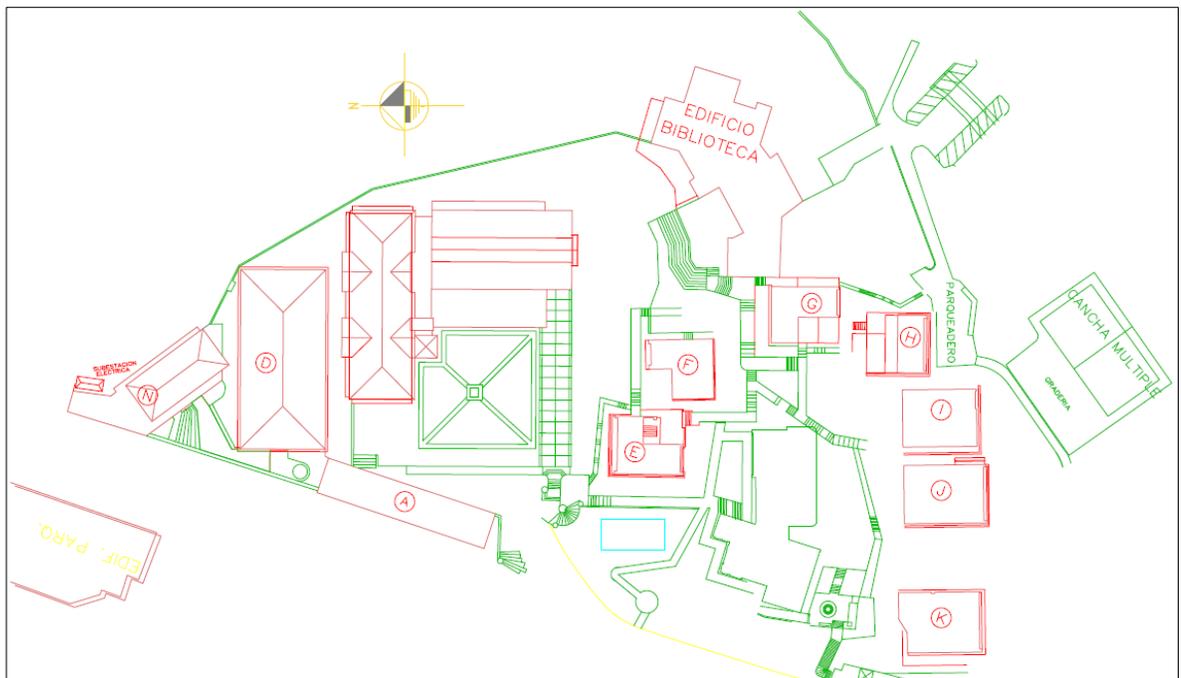


Figura 26. Plano tejados del campus El Jardín

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
Editado por: Autor

Tabla 4. Área de techados Campus El Jardín

| Edificio | Área (m²) | Área aprovechable (m²) | Potencia máxima instalada (kW) |
|------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| Biblioteca | 765,85 | 700 | 100 |
| D | 833,05 | 487 | 75 |
| Administración | 606,9 | 260 | 40 |
| Auditorio Mayor | 825,45 | 600 | 90 |
| A | 322,1 | 100 | 15 |
| N | 236,4 | 170 | 25 |
| L | 474 | 200 | 30 |

Fuente: Autor

4.2 Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)

El campus Centro de Servicios Universitarios (CSU) tiene un área de techados que cuentan con radiación solar de 1829m², de los cuales en su totalidad cuentan con el diseño estructural que permite la instalación de paneles solares fotovoltaicos en ellos. En la figura 28 se observa una imagen satelital del campus.



Figura 27. Vista aérea del campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)

Fuente: Google Earth

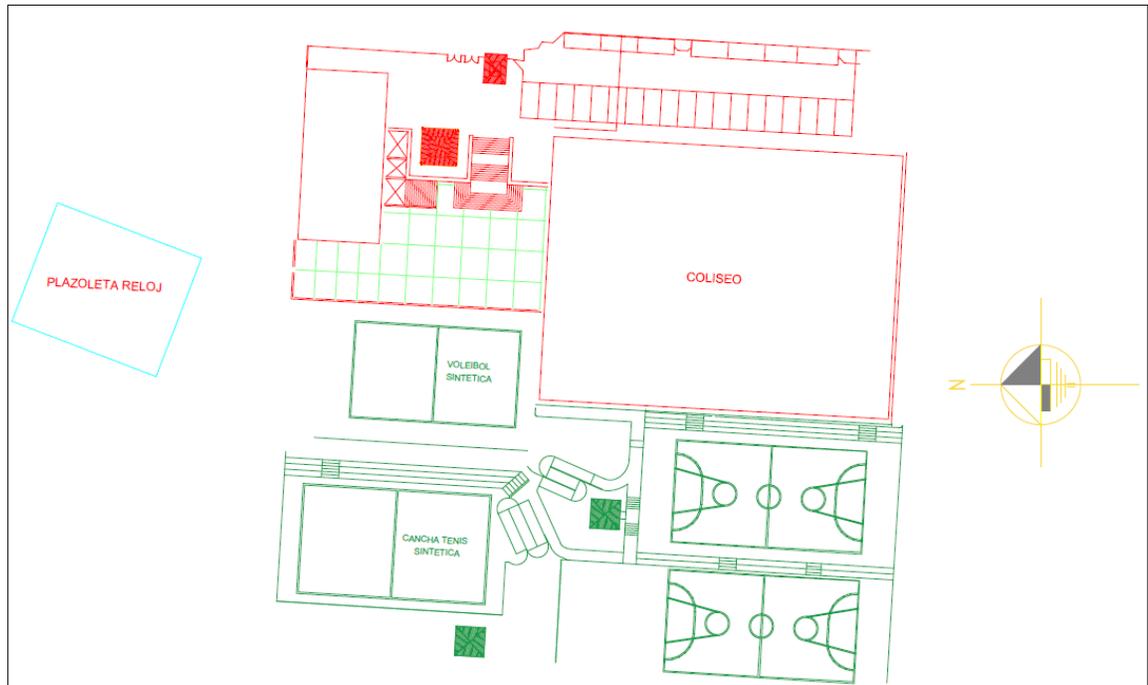


Figura 28. Plano tejados Centro de Servicios Universitarios (CSU)

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
Editado por: Autor

Tabla 5. Área de tejados Campus Centro de Servicios Universitarios (CSU)

| Edificio | Área en (m²) | Área Aprovechable (m²) | Potencia máxima instalada (kW) |
|---------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|
| Coliseo | 1700 | 1300 | 205 |
| Edificio bienestar | 129 | 100 | 15 |

Fuente: Autor

5. ARREGLO FOTOVOLTAICO

Una vez establecido el potencial energético aprovechable se indagaron en el mercado las diferentes opciones tecnológicas en cuanto a medios de captación, sistemas de regulación de carga, sistemas de almacenamiento, acondicionamiento de señal y medios de interconexión, que permitan el suministro energético parcial.

Para los cálculos del arreglo fotovoltaico se tomó en cuenta el área disponible de los tejados y mediante el software PVSyst se usaron datos genéricos de paneles solares e inversores para calcular una potencia máxima instalada en cada uno de los tejados de los edificios, estos fueron los datos que se les otorgaron a cuatro empresas de energía solar colombianas que realizaron las cotizaciones para el proyecto. En base a las especificaciones de las cotizaciones se realizó una nueva simulación con las características detalladas de cada sistema.

5.1 Especificaciones del sistema

5.1.1 Campus El Jardín

El arreglo fotovoltaico del campus El Jardín tendrá una potencia instalada de 400kW. Este arreglo estará integrado por 1125 paneles solares y por 11 inversores trifásicos con una potencia nominal de 12-24kW cada uno. La energía generada por cada instalación fotovoltaica será acondicionada de tal manera que se entregue a la red, en sistema trifásico y en una tensión normalizada para su uso.

Se hizo uso de menos del 50% del edificio L para la instalación de paneles solares, ya que en el área restante se encuentra el laboratorio de energías renovables de la universidad.

La eficiencia global del sistema en condiciones STC es de 15,40%. La eficiencia global del sistema en condiciones reales es de 12,32% con un factor de rendimiento del sistema de 80%.

El sistema suministrara a la red 553.000 kWh/año el primer año, y teniendo en cuenta la pérdida de eficiencia lineal del panel solar representada en la figura 33, en el año 25 suministrara a la red 457.757 kWh/año.

Tabla 6. Especificaciones de paneles solares e inversores para edificios del campus El Jardín de la UNAB

| Edificio | Producto | CANT | Potencia instalada (kW) |
|--------------------------|------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Edificio Bloque A | Panel Solar 250W YingliSolar | 56 | 15 |
| | Inversor 12kW Fronius | 1 | |
| Edificio Administración | Panel Solar 250W YingliSolar | 142 | 50 |
| | Inversor 20kW Fronius | 2 | |
| Edificio Auditorio Mayor | Panel Solar 250W 4 | 240 | 90 |
| | Inversor 20kW Fronius | 3 | |
| Edificio Biblioteca | Panel Solar 250W YingliSolar | 288 | 107 |
| | Inversor 24kW Fronius | 3 | |
| Edificio Bloque D | Panel Solar 250W YingliSolar | 192 | 75 |
| | Inversor 24kW Fronius | 2 | |
| Edificio Bloque L | Panel Solar 250W YingliSolar | 115 | 30 |
| | Inversor 20kW Fronius | 1 | |
| Edificio Bloque N | Panel Solar 250W YingliSolar | 92 | 25 |
| | Inversor 20kW Fronius | 1 | |

Fuente: Autor

Perdidas del sistema

Las pérdidas globales del sistema son del 20%. Estas están detalladas en la tabla 6.

Tabla 7. Perdidas del sistema El Jardín

| Factor de perdida | Porcentaje de perdidas (%) |
|--|-----------------------------------|
| Factor IAM en global | 3,3 |
| Pérdida FV debido a nivel de irradiancia | 0,7 |
| Pérdida FV debido a temperatura | 9,9 |
| Perdida cableado | 2,9 |
| Pérdida Mismatch | 1 |
| Perdidas inversor | 2,2 |

Fuente: PVSyst

5.1.2 Campus CSU

El arreglo fotovoltaico del campus CSU tendrá una potencia instalada de 220kW. Este arreglo estará integrado por 719 paneles solares y por 3 inversores trifásicos con una potencia nominal de 12-100kW cada uno. La energía generada por cada instalación fotovoltaica será acondicionada de tal manera que se entregue a la red, en sistema trifásico y en una tensión normalizada para su uso.

Tabla 8. Especificaciones de paneles solares e inversores para edificios del campus CSU de la UNAB

| Edificio | Producto | CANT | Potencia instalada (kW) |
|--------------------|------------------------------|------|-------------------------|
| Edificio Bienestar | Panel Solar 250W YingliSolar | 69 | 15 |
| | Inversor 12kW Fronius | 1 | |
| Coliseo | Panel Solar 250W YingliSolar | 650 | 205 |
| | Inversor 100kW Fronius | 2 | |

Fuente: Autor

Perdidas del sistema

Las pérdidas globales del sistema son del 18,5%. Estas están detalladas en la tabla 6.

Tabla 9. Perdidas del sistema CSU

| Factor de perdida | Porcentaje de perdidas (%) |
|--|----------------------------|
| Factor IAM en global | 3,3 |
| Pérdida FV debido a nivel de irradiancia | 0,7 |
| Pérdida FV debido a temperatura | 9,9 |
| Perdida cableado | 2 |
| Pérdida Missmatch | 1 |
| Perdidas inversor | 1,6 |

Fuente: PVSyst

5.1.3 Paneles solares

Se escogió el panel solar fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 de 250Wp al ser el panel utilizado por las empresas que realizaron una cotización para el proyecto. Este panel cuenta con las especificaciones de calidad y eficiencia óptimas para la instalación. Los paneles solares cuentan con los

siguientes certificados de calidad: IEC 61215, IEC 61730, CE, MCS, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000.



Figura 29. Panel solar fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 de 250Wp

Fuente: Yingli Solar

Tabla 10. Parámetros eléctricos para STC Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Parámetros eléctricos para STC | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|---|-------|------|------|------|------|
| Tipo de Modulo | YLxxxP-29b(xxx=Pmax) | | | | | | |
| Potencia de salida | P_{max} | W | 260 | 255 | 250 | 245 | 240 |
| Tolerancia | ΔP_{max} | W | 0/ +5 | | | | |
| Eficiencia del modulo | η_m | % | 16 | 15,7 | 15,4 | 15,1 | 14,8 |
| Tensión en P_{max} | V_{mpp} | V | 30,3 | 30 | 29,8 | 29,6 | 29,3 |
| Intensidad en P_{max} | I_{mpp} | A | 8,59 | 8,49 | 8,39 | 8,28 | 8,18 |
| Tensión en circuito abierto | V_{oc} | V | 37,7 | 37,7 | 37,6 | 37,5 | 37,5 |
| Intensidad en corto circuito | I_{sc} | A | 9,09 | 9,01 | 8,92 | 8,83 | 8,75 |

Fuente: Yingli Solar

Tabla 11. Parámetros eléctricos para TONC Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Parámetros eléctricos en Temperatura Operacional Nominal de la Célula (TONC) | | | | | | |
|--|-----------|---|-------|-------|-------|-------|
| Potencia de salida | P_{max} | W | 189,7 | 182,4 | 178,8 | 175,1 |
| Tensión en P_{max} | V_{mpp} | V | 27,6 | 27,2 | 27 | 26,8 |
| Intensidad en P_{max} | I_{mpp} | A | 6,87 | 6,71 | 6,62 | 6,54 |
| Tensión en circuito abierto | V_{oc} | V | 34,8 | 34,7 | 34,6 | 34,6 |
| Intensidad en corto circuito | I_{sc} | A | 7,35 | 7,21 | 7,14 | 7,07 |

Fuente: Yingli Solar

Tabla 12. Características térmicas Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Características térmicas | | | |
|---|-------------------|-------|----------|
| Temperatura de operación nominal de la célula | NOCT | ° C | 46 +/- 2 |
| Coeficiente de temperatura para P_{max} | γ | %/° C | -0,42 |
| Coeficiente de temperatura para V_{oc} | $\beta_{V_{oc}}$ | %/°C | -0,32 |
| Coeficiente de temperatura para I_{sc} | $\alpha_{I_{sc}}$ | %/°C | 0,05 |
| Coeficiente de temperatura para V_{mpp} | $\beta_{V_{mpp}}$ | %/°C | -0,42 |

Fuente: Yingli Solar

Tabla 13. Condiciones de operación Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Condiciones de operación | |
|---|---------------------|
| Máxima tensión del sistema | 1000V _{DC} |
| Valor máximo del fusible en serie | 15A |
| Limitación de corriente inversa | 15A |
| Rango de temperaturas de funcionamiento | -40°C - 85°C |
| Máxima carga estática frontal (nieve) | 5400Pa |
| Máxima carga estática posterior (viento) | 2400Pa |
| Max. impacto por granizo (diámetro / velocidad) | 25mm / 23m/s |

Fuente: Autor

Tabla 14. Materiales Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Materiales | |
|--|---|
| Cubierta frontal (material / espesor) | Vidrio templado de bajo contenido en hierro / 3.2 mm |
| Célula solar (cantidad / tipo / dimensiones / número de busbar) | 60 / silicio multicristalino / 156mm x 156mm / 2 o 3 |
| Marco (material / color / color del anodizado / sellado bordes) | Aluminio anodizado / plata / claro / silicona o pegamento |
| Caja de conexiones (grado de protección) | ≥ IP65 |
| Cable (longitud / sección) | 1000mm / 4mm ² |
| Conector (tipo / grado de protección) | MC4 / IP67 or YT08-1 / IP67 o Amphenol H4 / IP68 |

Fuente: Yingli Solar

Tabla 15. Características generales Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

| Características generales | |
|--|-----------------------|
| Dimensiones (longitud / ancho / profundidad) | 1640mm / 990mm / 35mm |
| Peso | 18.5kg |

Fuente: Yingli Solar

Unidades: mm

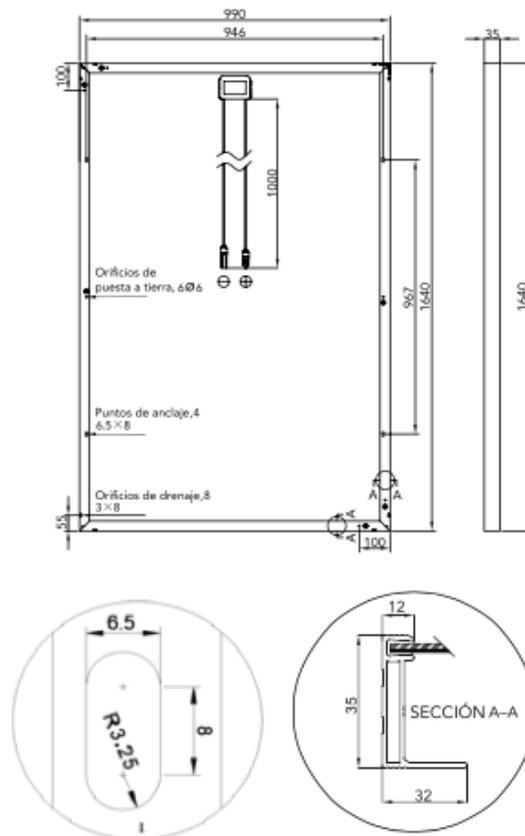


Figura 30. Dimensiones Panel fotovoltaico Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2

Fuente: Yingli Solar



Figura 31. Logos certificados de calidad

Fuente: Yingli Solar

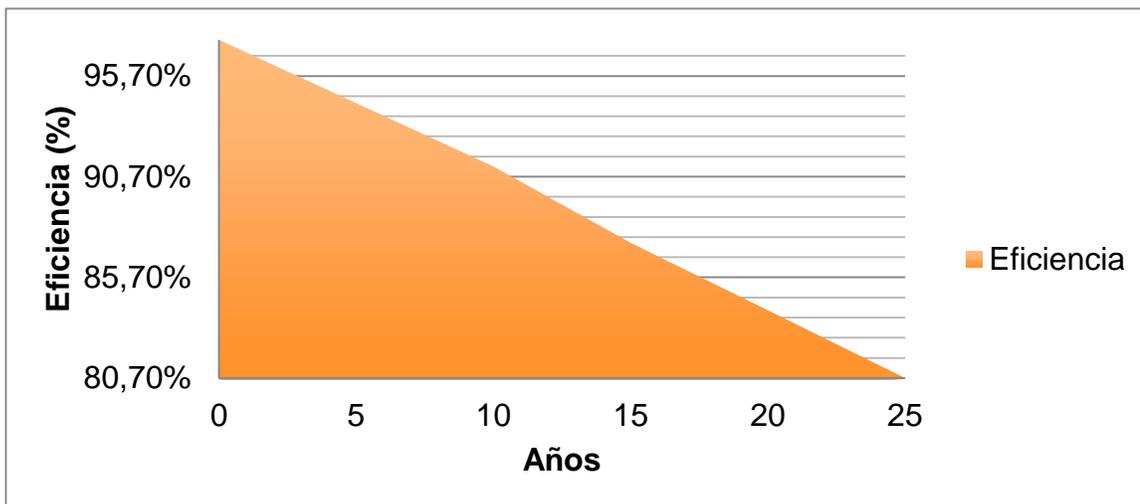


Figura 32. Grafica pérdida de eficiencia del panel solar Yingli Solar YGE 60 CELL SERIES 2 durante 25 años

Fuente: Yingli Solar
Editado por: Autor

5.1.2 Inversores

Los inversores Fronius son inversores fotovoltaicos conectados a la red, altamente funcionales, que trabajan a la perfección con todos los módulos solares y maneja interfaces para la conexión a internet que facilitan el mantenimiento del equipo. Estos tienen una amplia gama de potencias por lo cual pueden ser utilizados para pequeñas instalaciones fotovoltaicas hasta centrales fotovoltaicas a gran escala. Manejan un rango desde 1kW de potencia nominal hasta 460kW de potencia nominal.

El inversor trifásico Fronius Eco con las categorías de potencia entre 25 y 27 kW, ha sido especialmente diseñado para instalaciones de gran potencia. Este inversor sin transformador, con un peso muy ligero y sistema de montaje SnapINverter, permite una instalación muy rápida y sencilla tanto Indoor como Outdoor. Además, presume de un tipo de protección IP 66. Además, gracias al portafusibles y a la protección contra sobretensión opcional integrados, no se necesitan cajas de conexión CC o de

concentración.

Se escogieron los inversores marca Fronius ya que cuentan con la gama de especificaciones de potencia requeridos para el proyecto y cuentan con una vida útil de 10-12 años.



Figura 33. Inversor Fronius Eco 25.0-3-S

Fuente: Fronius

5.2 Esquemas de distribución de paneles solares sobre los tejados

En las figuras 35 se muestra la vista superior de la distribución de paneles solares sobre los tejados de los edificios del campus El Jardín. En las figuras 36,37 y 38 se puede observar más detalladamente la distribución de los paneles solares.

En las figuras 39 se muestra la vista superior de la distribución de paneles solares sobre los tejados de los edificios del campus CSU.

En la figura 40 se puede observar paneles solares instalados sobre un tejado inclinado con teja.

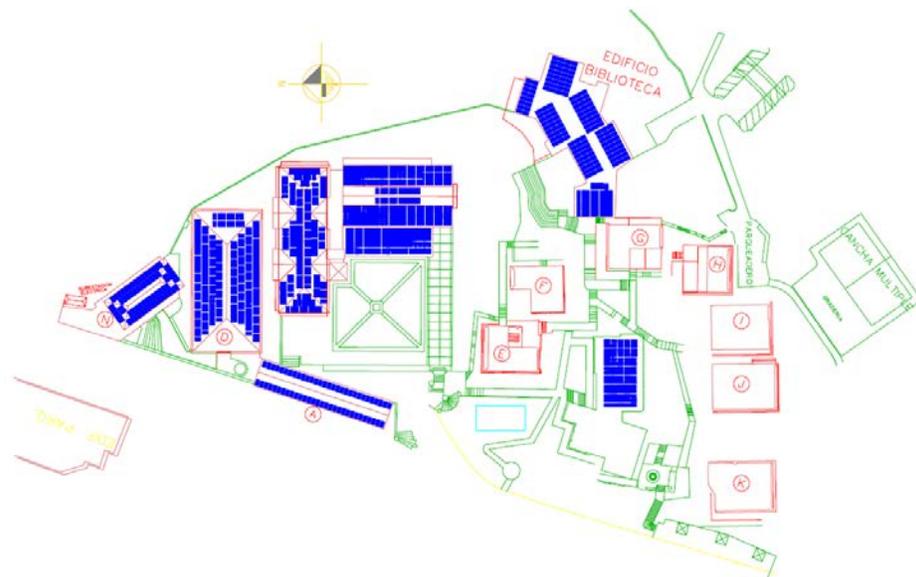


Figura 34. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
 Editado por: Autor

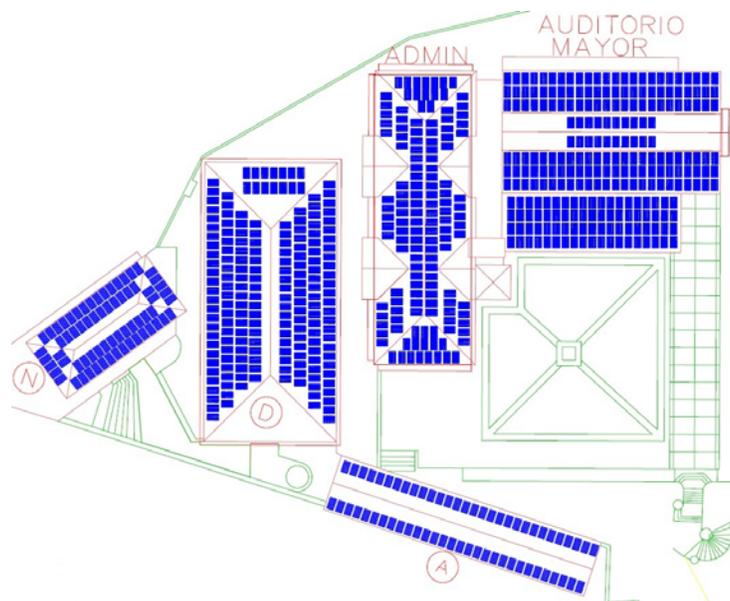


Figura 35. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificios N, D, A, Administración y Auditorio Mayor

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
 Editado por: Autor

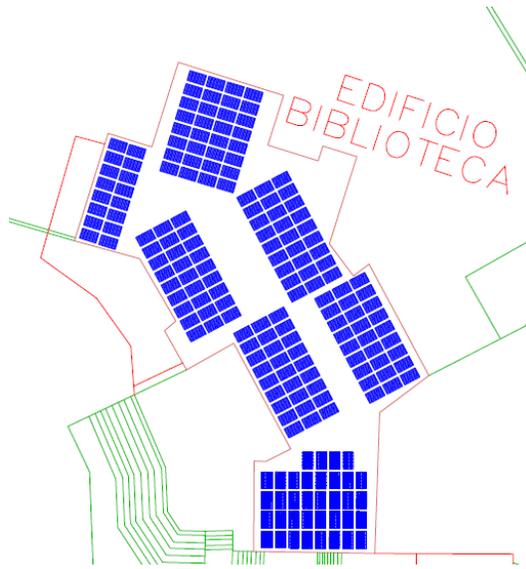


Figura 36. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificios de Biblioteca

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
Editado por: Autor

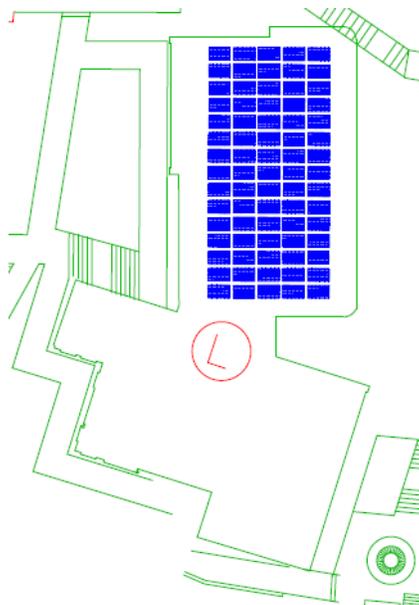


Figura 37. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus El Jardín. Edificio L

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
Editado por: Autor

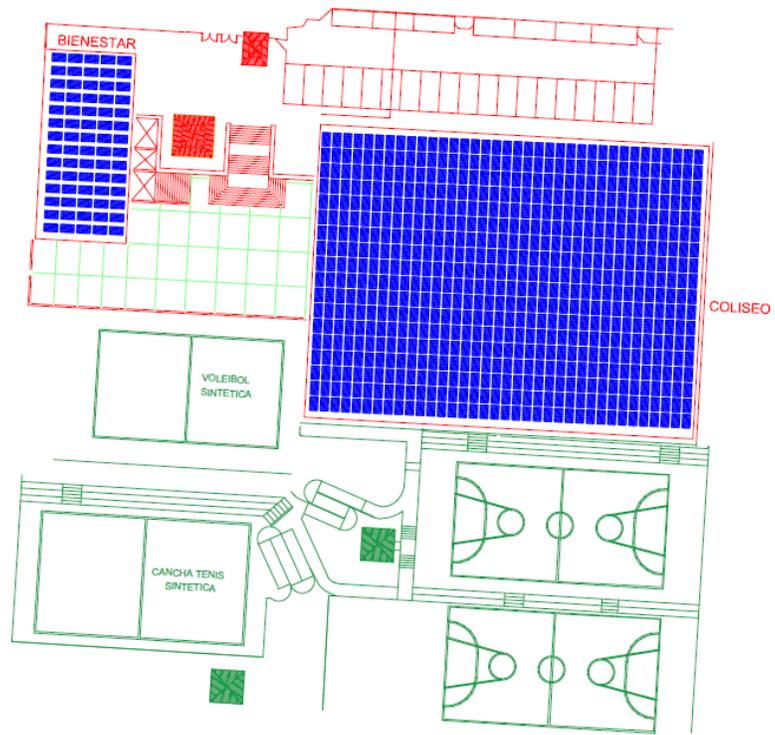


Figura 38. Esquema ubicación de paneles solares sobre tejados del campus CSU

Fuente: Universidad Autónoma de Bucaramanga
Editado por: Autor



Figura 39. Paneles solares fotovoltaicos montados sobre un techo inclinado de teja.

Fuente: S. Swenson & son, Inc

6. ANÁLISIS FINANCIERO

El costo de la energía comprada que maneja actualmente la Universidad Autónoma de Bucaramanga es de 340,6 \$/kWh (trescientos cuarenta coma seis pesos por kilowatt hora), siendo este valor el que constituye la viabilidad del proyecto, pues entre más alto sea, más viable será cualquier proyecto de inversión de energías alternativas, ya que la compra de energía es lo que se sustituirá.

El análisis financiero está dirigido al campus El Jardín, no se realizó análisis financiero al campus del CSU ya que no se tienen los datos de consumo energético.

Se consideró una disminución de energía inyectada por los paneles del 15% a 25 años, por pérdidas por uso, temperatura y deterioro de las celdas fotovoltaicas.

Dentro de los costos de inversión están incluidos los costos de obras civiles, diseños arquitectónicos, y diseños estructurales, que representan un alto porcentaje en la implementación del sistema fotovoltaico y que es imprescindible su consideración dentro de la evaluación financiera.

La evaluación del proyecto se realizó con una proyección de 25 años, que es el tiempo de vida estipulado para los paneles solares, con reemplazo de inversores cada 10 años, siendo este periodo conservativo promedio para la durabilidad de un inversor Fronius.

Los costos de obra y mantenimiento representan un 1% del costo anual de energía y están incluidos en la evaluación del VPN así como un aumento anual del 0,5% del valor de la energía suministrada por la red y un aumento anual del 1% del consumo energético de la universidad.

El impuesto a la renta en Colombia es del 33%, y se consideró este valor aplicado después del ahorro y los descuentos por inversión.

Para el análisis financiero se utilizó un escenario con financiación del 50% de la inversión a 5 años, con un interés efectivo anual de 12%. Se tomó en cuenta una deducción del 50% de la inversión FV en un plazo de 5 años (artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014, ver Anexo 1). Para poder disponer de dicha deducción se requiere tramitar el certificado de beneficio ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se tomó un WACC de 6% basado en la literatura de proyectos fotovoltaicos en el mundo.

Cinco empresas de energía solar colombianas presentaron cotizaciones para el

proyecto, las cuales son: HELIOTERMICA, GEMNYA, EME INGENIERÍA, AMERICA FOTOVOLTAICA y GESTIÓN INTEGRAL ENERGÉTICA.

La empresa GEMNYA S.A radicada en Bucaramanga presento la mejor opción al ser la más económica ofreciendo el precio del Watt instalado a 4,700COP (cuatro mil setecientos pesos colombianos) con especificaciones de sistema de calidad.

El campus El Jardín de la Universidad Autónoma de Bucaramanga tiene un consumo promedio mensual de 150.000 kWh/mes, es decir 1.800 MWh/año. El sistema fotovoltaico cubriría en 25 años el 25% de la demanda energética, con un ahorro de energía anual de \$188.157.797 (ciento ochenta y ocho millones de pesos).

El flujo de fondos neto se realizó teniendo en cuenta que se tomó un préstamo del 50% de la inversión en el año cero.

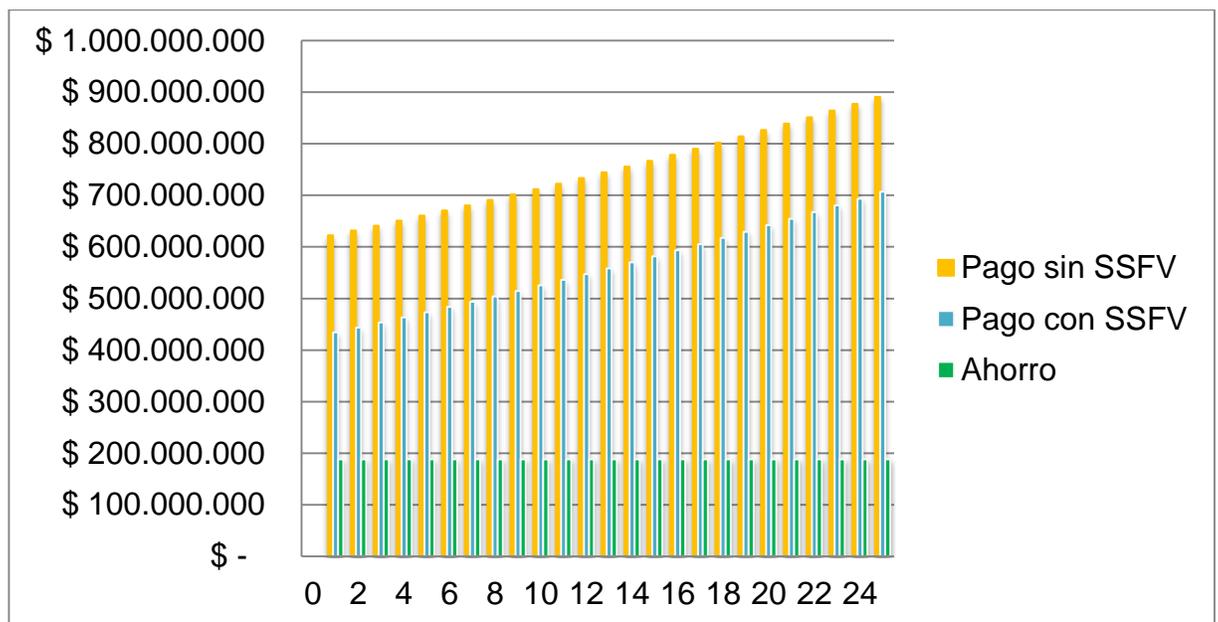


Figura 40. Ahorro costo de energía campus El Jardín

6.1 HELIOTERMICA

La empresa HELIOTERMICA presentó una cotización del sistema fotovoltaico de \$830.073.496 (ochocientos treinta millones de pesos) la cual incluye módulos fotovoltaicos e inversores. La empresa HELIOERMICA presento cotización de productos sin costos de instalación por lo cual se tomó un costo de instalación promedio de 2,500 COP (Dos mil quinientos pesos colombianos) para realizar un análisis financiero más acertado. Este costo de instalación no es oficial de la empresa HELIOTERMICA y fue utilizado solo por motivos académicos del estudio.

La recuperación de la inversión se da en 6 años, el Valor Presente Neto es de \$ 3.316.041.388 (Tres mil trescientos diez y seis millones de pesos) y la Tasa Interna de Retorno es del 41%.

Fuente: Autor

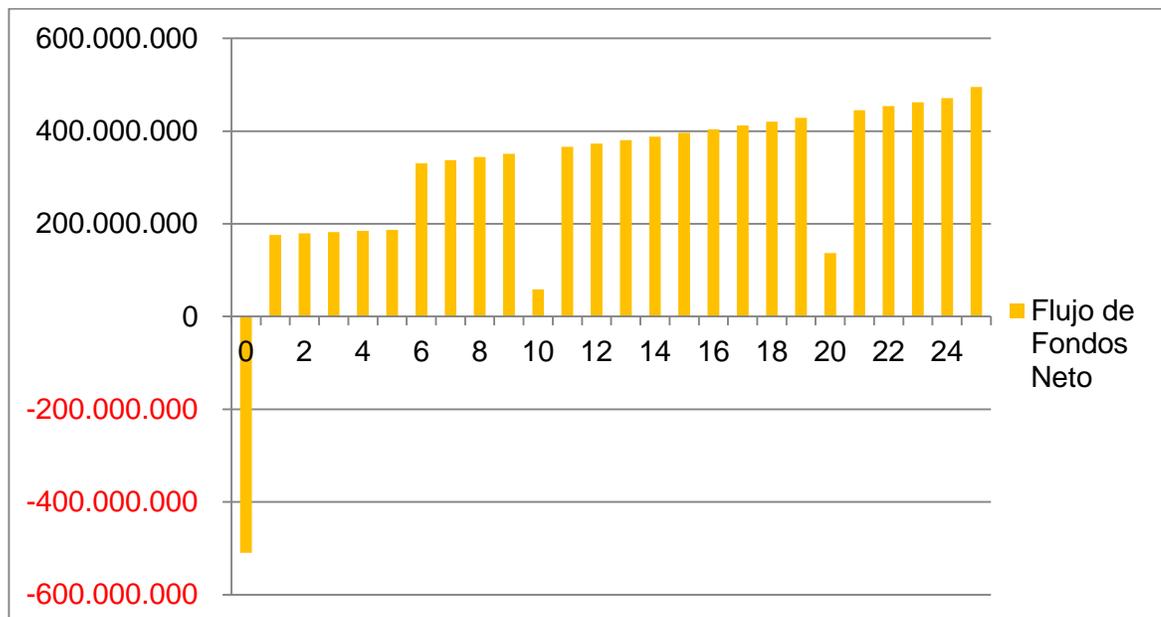


Figura 41. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización HELIOTERMICA)

Fuente: Autor

6.2 GEMNYA

La empresa GEMNYA presentó una cotización del sistema fotovoltaico de \$1.883.450.240 (Mil ochocientos ochenta y cuatro millones de pesos), con el 50% de la reducción de la renta del valor total de la inversión realizada el sistema tendría un costo de \$ 941.725.120 (novecientos cuarenta y dos millones de pesos), el cual incluye módulos fotovoltaicos, inversores, tarjeta de comunicación, datalogger, estructura de fijación, protecciones, tubería y cableado, mano de obra y puesta en marcha.

La recuperación de la inversión se da en 5 años. El Valor Presente Neto es de \$ 3.388.916.607 (Tres mil trescientos ochenta y nueve millones de pesos) y la Tasa Interna de Retorno es del 45%.

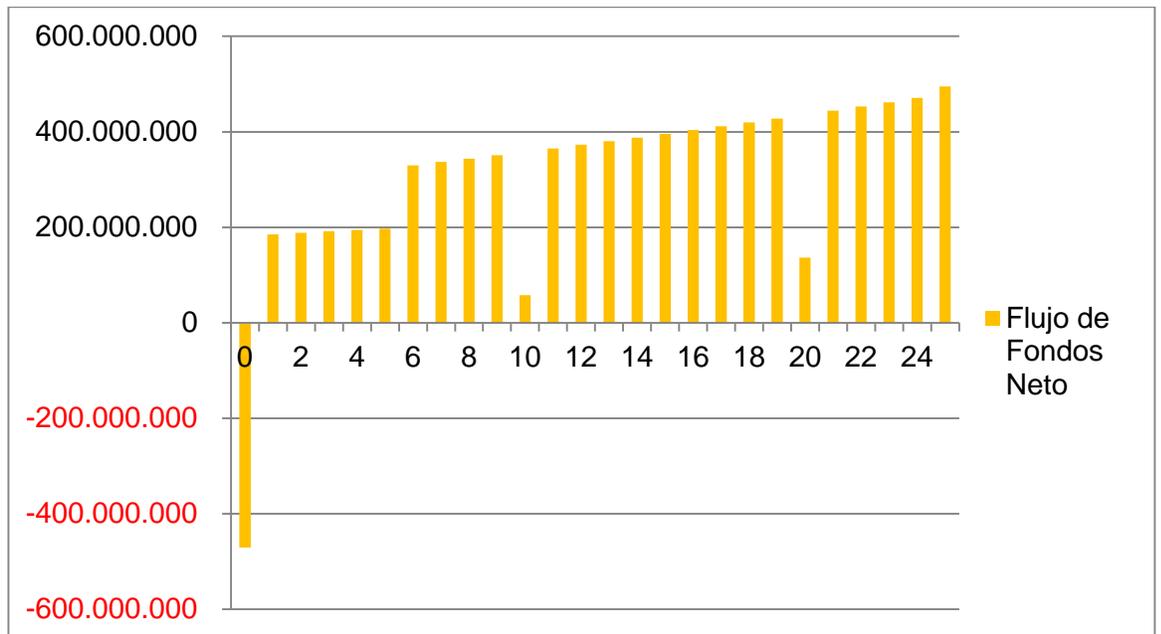


Figura 42. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización GEMNYA)

Fuente: Autor

6.3 EME INGENIERIA

La empresa EME INGENIERÍA presentó una cotización del sistema fotovoltaico de \$ 4.405.500.000 (Cuatro mil cuatrocientos cinco millones de pesos), con el 50% de la reducción de la renta del valor total de la inversión realizada el sistema tendría un costo de \$ 2.202.750.000 (Dos mil doscientos dos millones de pesos), el cual incluye los costos de los equipos y la instalación y puesta en marcha.

La recuperación de la inversión se da en 12 años. El Valor Presente Neto es de \$ 2.196.539.644 (Dos mil ciento noventa y siete millones de pesos) y la Tasa Interna de Retorno es del 16%.

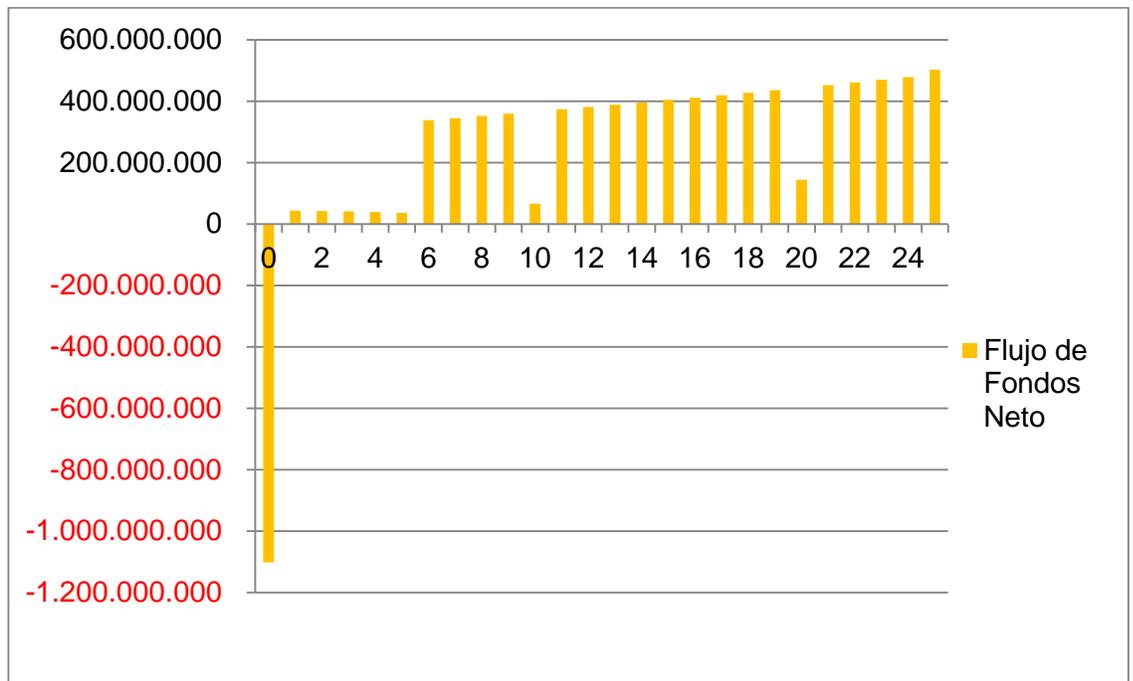


Figura 43. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización EME INGENIERÍA)

Fuente: Autor

6.4 AMERICA FOTOVOLTAICA

La empresa AMERICA FOTOVOLTAICA presentó una cotización del sistema fotovoltaico de \$ 3.068.160.000 (Tres mil sesenta y ocho millones de pesos), con el 50% de la reducción de la renta del valor total de la inversión realizada el sistema tendría un costo de \$ 1.534.080.000 (Mil quinientos treinta y cuatro millones de pesos), el cual incluye los costos de los equipos y la instalación y puesta en marcha.

La recuperación de la inversión se da en 7 años. El Valor Presente Neto es de \$ 2.828.808.457 (Dos mil ochocientos veintiocho millones de pesos) y la Tasa Interna de Retorno es del 25%.

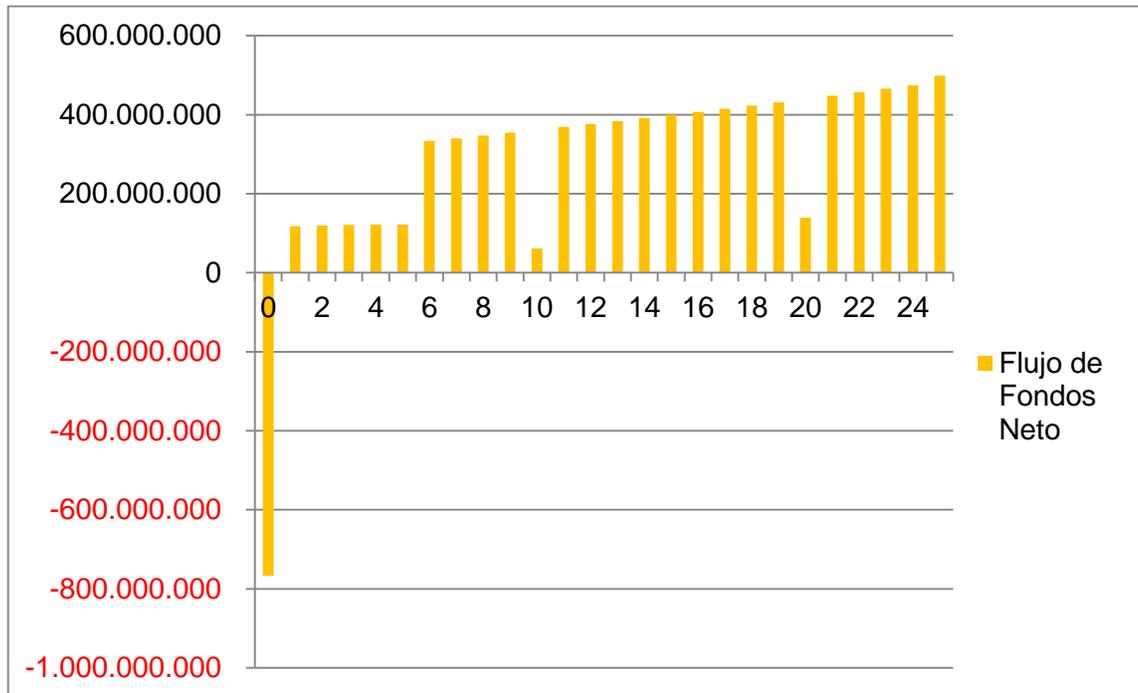


Figura 44. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización AMERICA FOTOVOLTAICA)

Fuente: Autor

6.5 GESTION INTEGRAL ENERGÉTICA

La empresa GESTION INTEGRAL ENERGÉTICA presentó una cotización del sistema fotovoltaico de \$ 4.782.003.075 (Cuatro mil setecientos ochenta y dos millones de pesos), con el 50% de la reducción de la renta del valor total de la inversión realizada el sistema tendría un costo de \$ 1.534.080.000 (Mil quinientos treinta y cuatro millones de pesos), el cual incluye los costos de los equipos y la instalación y puesta en marcha.

La recuperación de la inversión se da en 7 años. El Valor Presente Neto es de \$ 2.018.536.181 (Dos mil diecinueve millones de pesos) y la Tasa Interna de Retorno es del 15%.

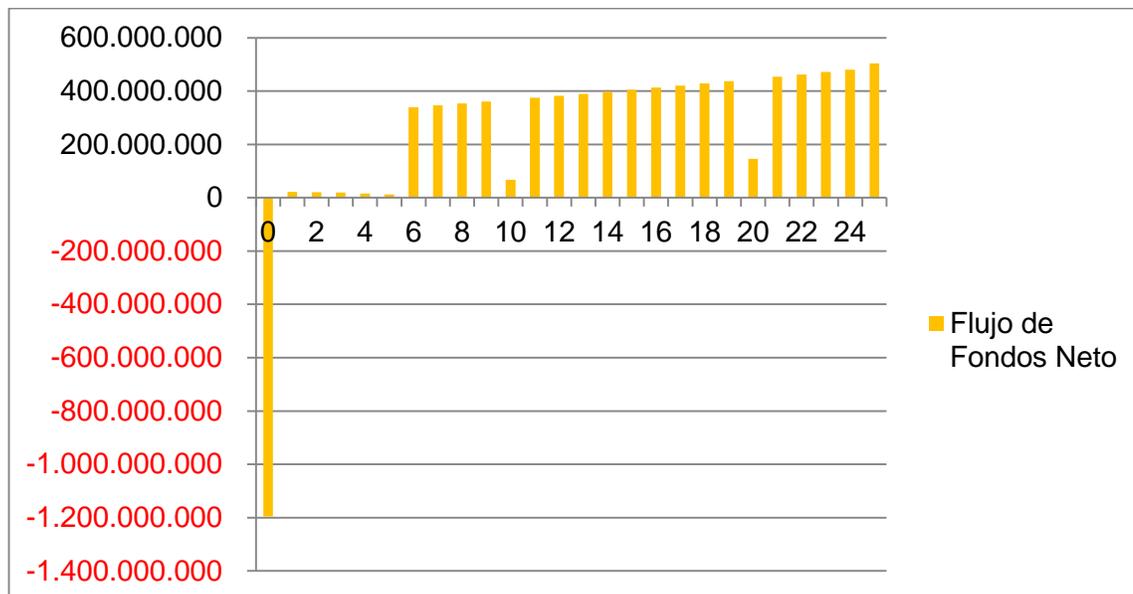


Figura 45. Flujo de fondos neto Campus El Jardín (Cotización GIE)

Fuente: Autor

7. ANALISIS DE MERCADO

En el año 2014 se instalaron alrededor del mundo al menos 38,4 gigawatts (GW) de energía fotovoltaica (PV) con lo cual en la actualidad hay una capacidad instalada mundial de 138,9 GW.

De los 6 MW de energía solar instalados en Colombia (equivalente a cerca de 78.000 paneles de tamaño estándar), el 57 por ciento se distribuye en aplicaciones rurales y el 43% en las torres de comunicación y señalización vial.

En el análisis de Mercado se investigaron los precios de kW instalado de 19 empresas que ofrecen venta e instalación de paneles solares fotovoltaicos con el objetivo de comparar el mercado colombiano con el mercado internacional. Para este estudio no se tuvo en cuenta la venta libre o unitaria de paneles solares en el mercado minoritario.

Con los nuevos beneficios financieros y tributarios en Colombia se busca promover la instalación de la energía solar fotovoltaica. En caso que la totalidad de la producción FV no sea consumida por el usuario este podría hacer venta de los excedentes a la red de distribución (balance neto). Las condiciones de dicha venta a la red de suministro se definirán por parte del Ministerio de Minas y la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. La venta de excedentes requiere la configuración de un contador bi-direccional. El artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014 ofrece una deducción en el impuesto de la renta hasta el 50% de la inversión FV en un plazo de 5 años. Para poder disponer de dicha deducción se requiere tramitar el certificado de beneficio ambiental que expide el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Las empresas investigadas en el análisis de mercado fueron las siguientes: ALTA INGENIERIA, AMÉRICA FOTOVOLTAICA, AMPA SOLAR, COLOMBIAN SOLAR SYSTEMS, EME INGENIERIA, ENERGÍA Y POTENCIA, ENERGREENCOL, ERCO ENERGÍA, ERGEA, GEMNYA, GESTIÓN INTEGRAL ENERGÉTICA, GREEN ENERGY LATIN AMERICA, HELIOTERMICA, IDELECT, SAECSA, SOLAIRE ENERGIA E ILUMINACION, SOLEN.

En Colombia el costo promedio del Watt instalado es de 7.500COP (siete mil quinientos pesos colombianos) lo que equivale a 2,95USD (dos dólares con noventa y cinco centavos).

En los Estados Unidos el costo de instalación promedio es de 3,48USD (cuatro dólares con 60 centavos). En Europa el costo de instalación promedio es de 2,20 (dos dólares con veinte centavos).

El costo del watt instalado en Colombia se encuentra dentro del mercado

competitivo en el panorama mundial.

Los paneles solares más utilizados en Colombia son los paneles de la multinacional Yingli solar, la cual es la líder en manufactura de paneles solares fotovoltaicos en el mundo.

La tecnología más utilizada por las empresas de energía solar son los paneles solares policristalinos, mientras que en el mercado informal o venta unitaria de paneles solares se comercializa en su mayoría paneles solares monocristalinos.

Los paneles solares de película delgada y los paneles solares de telurio de cadmio son utilizados por las empresas bajo pedido específico.

8. CONCLUSIONES

La variable que tiene una mayor influencia en la eficiencia de la instalación fotovoltaica es la temperatura, ya que es la que ocasiona mayores pérdidas debido a que disminuye el voltaje del módulo.

Una de las grandes limitantes para suplir la mayor cantidad de demanda de energía es el área disponible de los tejados del campus El Jardín, ya que menos del 50% del área de los tejados cuenta con radiación solar directa.

Teniendo en cuenta un aumento en la demanda de energía en la universidad y la pérdida de la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos, el primer año el arreglo va a suministrar el 30,7% de la energía consumida por el campus El Jardín, y en el año 25 va a representar el 20,6% de la demanda.

El costo del watt instalado en Colombia se encuentra dentro del mercado competitivo en el panorama mundial, pero dado que el poder adquisitivo colombiano es menor, la inversión es mayor. Con el Artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014 en el cual los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada, aumenta considerablemente la viabilidad de un proyecto de utilización de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DAVISNET. Sistema de monitoreo de recurso solar DAVIS Cabled Vantage Pro2 y software WeatherLink [en línea]. <<http://www.davisnet.com/weather/products/weather-reporting-software.asp>>[citado en 20 de febrero de 2015].
- [2] EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INSTITUTE ASSOCIATION. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018. Edición No. 44. (2004).
- [3] INSTITUTE FOR ENERGY AND TRANSPORT, RENEWABLE ENERGY UNIT. JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORT: PV Status Report 2013. (Septiembre de 2013).
- [4] MASTERS, Gilbert. Renewable and efficient electric power systems. John Wiley & Sons, 2004, 416 p.
- [5] MESA, Juan D. ESCOBAR, Andres. HINCAPIE, Ricardo. Descripción y análisis del efecto fotovoltaico en la región: Analysis and description of the photovoltaic effect in the zone. En: Scientia et Technica Año XV. No. 42. (Agosto de 2009); ISSN 0122-1701.
- [6] NASA DATA BASE, SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY, *A renewable energy resource web site. sponsored by NASA's Applied Science Program in the Science Mission Directorate developed by POWER: Prediction of WorldwideEnergy Resource Project.* [en línea]. <<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>> [citado en 20 de febrero de 2015].
- [7] NATIONAL GEOGRAPHIC. Global warming and solar power profile [en línea]. <<http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/solar-power-profile/>> [citado en 20 de febrero de 2015].
- [8] L. El Chaara, L.A. lamont, N. El Zein. Review of photovoltaic technologies. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011.
- [9] PVSYST SOFTWARE
- [10] Sorenson B. Renewable energy. 2nd ed. Academic Press; 2000. p. 3.
- [11] RODRIGUEZ MURCIA, Humberto. Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas: Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. En: Revista de ingeniería Universidad de los Andes. No. 28 (Noviembre de 2008).

[12] RIUTOQUE ESP, EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS

[13] TIMILSINA, Govinda. KURDGELASHVILI, Lado. NARBEL, Patrick. A Review of Solar Energy: Markets, Economics and Policies. En: The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team. No 5485. (Octubre de 2011).

[14] UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA (UPME). Atlas de radiación solar [en línea]. <http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf> [citado en 20 de febrero de 2015].

[15] UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA (UPME). Mapas de radiación solar [en línea]. <http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf> [citado en 20 de febrero de 2015].

Anexo A. Artículo 11 de la ley 1715 de mayo 2014

Artículo 11. Incentivos a la generación de energías no convencionales. Como fomento a la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE, la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada.

El valor a deducir por este concepto, en ningún caso podrá ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.

Para los efectos de la obtención del presente beneficio tributario, la inversión causante del mismo deberá obtener la certificación de beneficio ambiental por el Ministerio de Ambiente y ser debidamente certificada como tal por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, en concordancia con lo establecido en el artículo 158-2 del Estatuto Tributario.

Anexo B. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Biblioteca

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud 73.0°W | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud 959 m | | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : | Biblioteca | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h43 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut 0° | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso Erbs, Meteonorm | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 18 módulos | En paralelo 23 cadenas | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 414 | Pnom unitaria 250 Wp | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 104 kWp | En cond. funciona. 92.5 kWp (50°C) | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 486 V | I mpp 190 A | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 672 m² | Superf. célula 604 m² | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 460-820 V | Pnom unitaria 100 kWac | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total 100 kWac | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 43 mOhm | Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas 1.3 % | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas -0.8 % | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PVSYST Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

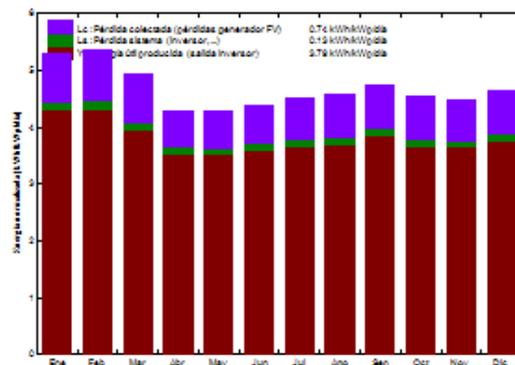
Variante de simulación : Biblioteca

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 414 | Pnom total | 104 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | Pnom | 100 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

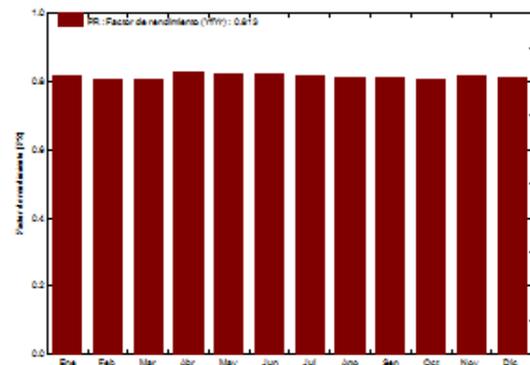
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 143.1 MWh/año | prod. específico | 1382 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 81.3 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp Instalado): Potencia nominal 104 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Biblioteca

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 14.25 | 13.78 | 12.96 | 12.53 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 12.92 | 12.49 | 12.85 | 12.43 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 13.14 | 12.89 | 12.81 | 12.37 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 11.32 | 10.94 | 13.14 | 12.69 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 11.67 | 11.28 | 13.08 | 12.64 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 128.7 | 11.58 | 11.19 | 13.10 | 12.65 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 12.19 | 11.77 | 12.98 | 12.53 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 12.30 | 11.88 | 12.94 | 12.50 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 12.36 | 11.94 | 12.94 | 12.50 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 12.13 | 11.71 | 12.86 | 12.42 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 11.70 | 11.31 | 13.01 | 12.58 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 12.49 | 12.07 | 12.95 | 12.51 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 148.06 | 143.06 | 12.96 | 12.53 |

| | | | | |
|-----------|---------|--|---------|---|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| | T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| | GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

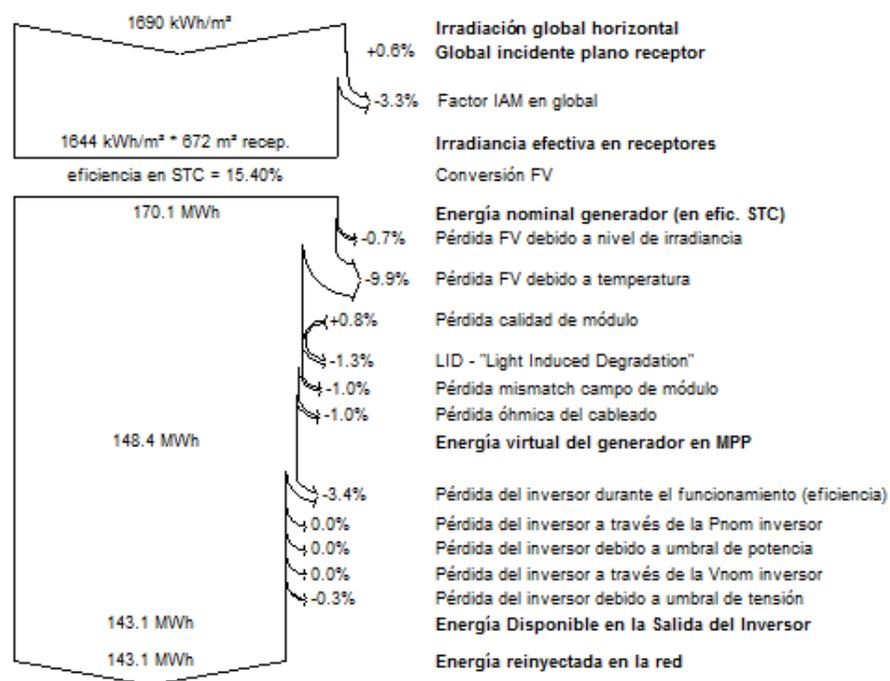
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Biblioteca

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 414 | Pnom total | 104 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | Pnom | 100 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo C. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio D

| | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|--|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud 959 m | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Edificio D | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h46 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut 0° | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso Erbs, Meteonorm | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo YL250P-29b | | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 18 módulos | En paralelo 17 cadenas | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 306 | Pnom unitaria 250 Wp | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 76.5 kWp | En cond. funciona. 68.4 kWp (50°C) | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 486 V | I mpp 141 A | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 497 m² | Superf. célula 447 m² | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | AGILO 75.0-3 | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 460-820 V | Pnom unitaria 75 kWac | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total 75 kWac | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 58 mOhm | Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas 1.3 % | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas -0.8 % | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

Pvsyst: Evaluation mode

Traducción sin garantía. Solo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

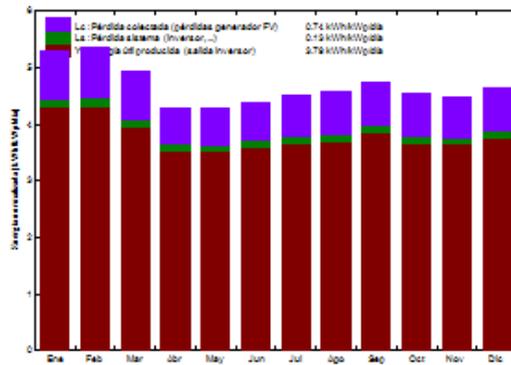
Variante de simulación : Edificio D

| | | | | | |
|---|---------------|------------------------|------------|---------------------------|--|
| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 306 | Pnom total | 76.5 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 75.0-3 | Pnom | 75.0 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | | Carga ilimitada (red) | | | |

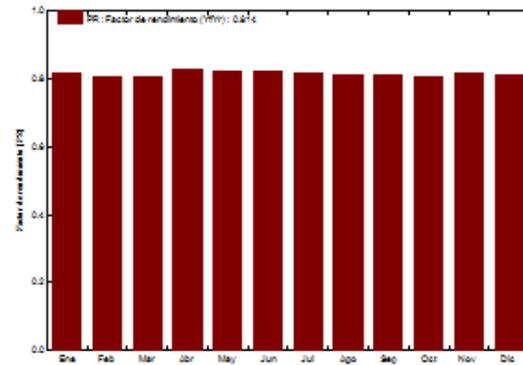
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 105.8 MWh/año | Producción específica | 1383 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 81.4 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 76.5 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Edificio D

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 10.53 | 10.19 | 12.96 | 12.54 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 9.55 | 9.24 | 12.85 | 12.44 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 9.71 | 9.39 | 12.81 | 12.38 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 8.37 | 8.09 | 13.14 | 12.70 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 8.63 | 8.34 | 13.08 | 12.64 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 8.56 | 8.27 | 13.10 | 12.65 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 9.01 | 8.71 | 12.98 | 12.54 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 9.09 | 8.79 | 12.94 | 12.51 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 9.13 | 8.83 | 12.94 | 12.51 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 8.96 | 8.66 | 12.86 | 12.43 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 8.65 | 8.36 | 13.01 | 12.59 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 9.24 | 8.93 | 12.95 | 12.52 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 109.43 | 105.80 | 12.96 | 12.53 |

| | | | | |
|-----------|---------|--|---------|---|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| | T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| | GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

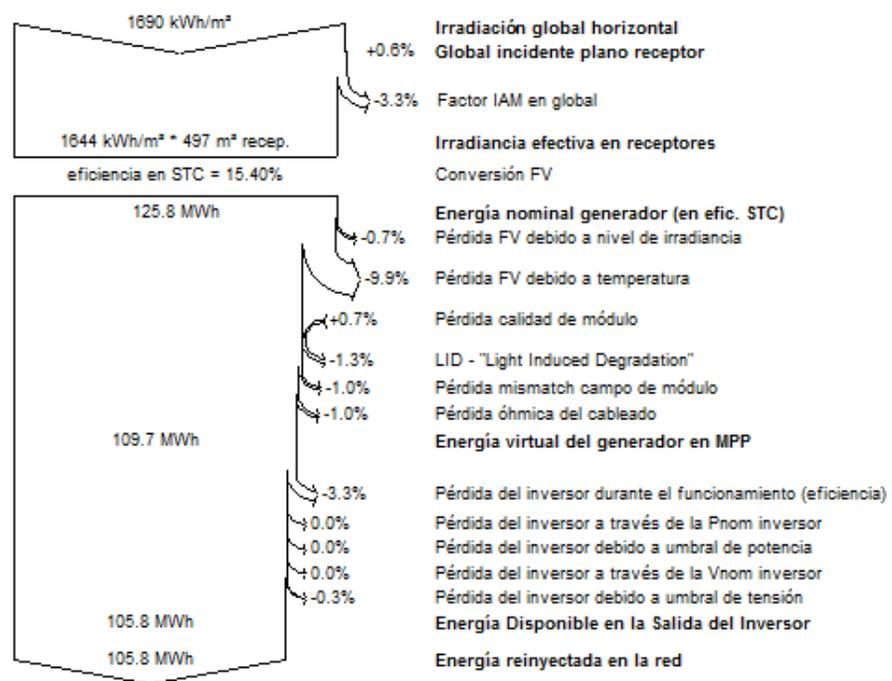
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio D

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 306 | Pnom total | 76.5 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 75.0-3 | Pnom | 75.0 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo D. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Administración

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 03/06/15 | Página 1/3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación | Latitud 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud 959 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteororm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variante de simulación : Administracion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 03/06/15 18h57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut 0° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso Erbs, Meteororm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 14 módulos | En paralelo 11 cadenas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 154 | Pnom unitaria 250 Wp | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 38.5 kWp | En cond. funciona. 34.4 kWp (50°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 378 V | I mpp 91 A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 250 m² | Superf. célula 225 m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Modelo | CL 36.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 230-500 V | Pnom unitaria 36.0 kWac | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total 36 kWac | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 70 mOhm | Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas 1.3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas -0.8 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>0°</td> <td>20°</td> <td>40°</td> <td>60°</td> <td>70°</td> <td>75°</td> <td>80°</td> <td>85°</td> <td>90°</td> </tr> <tr> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.96</td> <td>0.88</td> <td>0.80</td> <td>0.67</td> <td>0.43</td> <td>0.00</td> </tr> </table> | | | | | | | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Pvsyst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

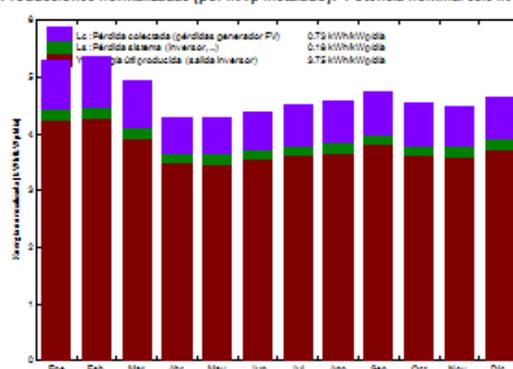
Variante de simulación : Administracion

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Conectado a la red | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut 0° |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom 250 Wp |
| Generador FV | N° de módulos | 154 | Pnom total 38.5 kWp |
| Inversor | Modelo | CL 36.0 | Pnom 36.0 kW ac |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | |

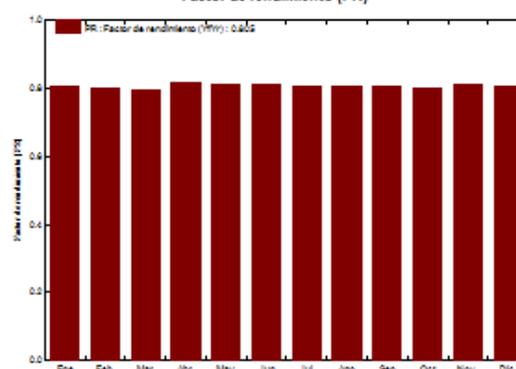
Resultados principales de la simulación

| | | | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 52.65 MWh/año | Produc. específico 1368 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 80.5 % | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 38.5 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Administracion

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m ² | T Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 5.316 | 5.070 | 13.00 | 12.40 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 4.825 | 4.800 | 12.90 | 12.30 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 4.909 | 4.878 | 12.88 | 12.28 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 4.215 | 4.022 | 13.15 | 12.55 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 4.348 | 4.149 | 13.10 | 12.50 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 4.310 | 4.113 | 13.10 | 12.50 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 4.538 | 4.328 | 12.99 | 12.39 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 4.581 | 4.369 | 12.96 | 12.36 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 4.613 | 4.401 | 12.98 | 12.38 |
| Octubre | 138.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 4.527 | 4.316 | 12.91 | 12.31 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 4.365 | 4.164 | 13.05 | 12.45 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 4.660 | 4.444 | 12.98 | 12.38 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 55.208 | 52.654 | 13.00 | 12.39 |

| | | | | |
|-----------|---------|--|---------|---|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| | T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| | GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

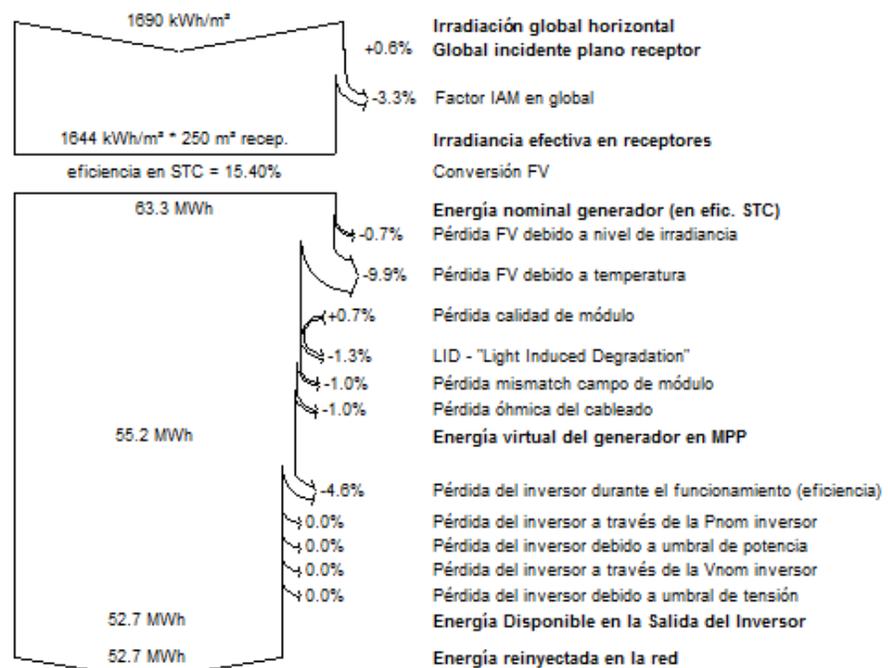
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Administracion

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 154 | Pnom total | 38.5 kWp | |
| Inversor | Modelo | CL 36.0 | Pnom | 36.0 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo E. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Auditorio Mayor

| | | | | | | | | | |
|--|---|---|----------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud | 959 m | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteornorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Auditorio MAyor | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h50 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut | 0° | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso | Erbs, Meteornorm | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 18 módulos | En paralelo | 20 cadenas | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 360 | Pnom unitaria | 250 Wp | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 90.0 kWp | En cond. funciona. | 80.4 kWp (50°C) | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 486 V | I mpp | 166 A | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 584 m² | Superf. célula | 526 m² | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 460-820 V | Pnom unitaria | 100 kWac | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total | 100 kWac | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 49 mOhm | Fracción de Pérdidas | 1.5 % en STC | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas | 1.3 % | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas | -0.8 % | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas | 1.0 % en MPP | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PVSyst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

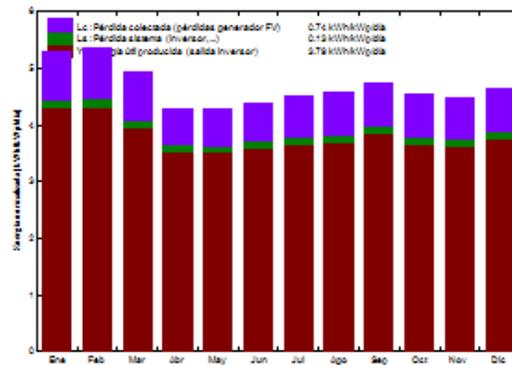
Variante de simulación : Auditorio MAyor

| | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------|
| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema | Conectado a la red | | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp |
| Generador FV | N° de módulos | 360 | Pnom total | 90.0 kWp |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | Pnom | 100 kW ac |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | |

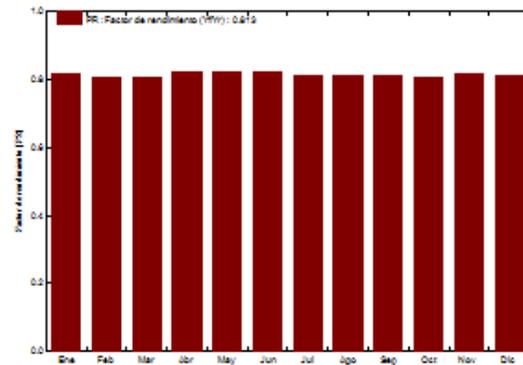
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 124.3 MWh/año | Produc. específico | 1382 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 81.3 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp Instalado): Potencia nominal 90.0 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Auditorio MAyor

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 12.39 | 11.98 | 12.96 | 12.53 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 11.24 | 10.86 | 12.85 | 12.43 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 11.43 | 11.04 | 12.81 | 12.37 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 9.84 | 9.50 | 13.14 | 12.69 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 10.15 | 9.80 | 13.08 | 12.83 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 10.07 | 9.72 | 13.10 | 12.64 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 10.60 | 10.23 | 12.98 | 12.52 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 10.69 | 10.32 | 12.94 | 12.49 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 10.75 | 10.38 | 12.94 | 12.50 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 10.54 | 10.18 | 12.86 | 12.42 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 10.17 | 9.83 | 13.01 | 12.57 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 10.66 | 10.50 | 12.95 | 12.51 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 128.74 | 124.34 | 12.96 | 12.52 |

| | | | | |
|-----------|---------|--|---------|---|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| | T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| | GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

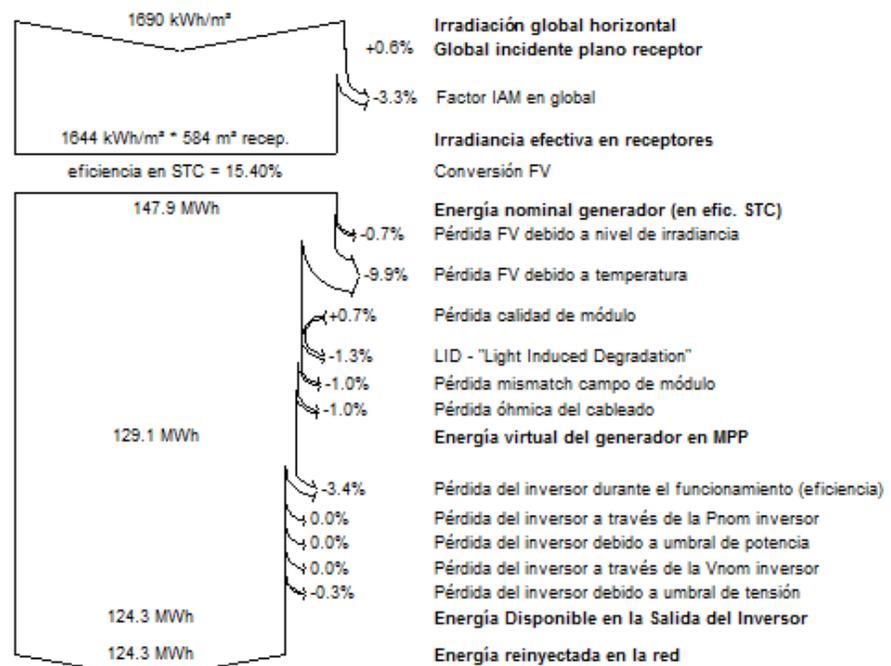
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Auditorio MAyor

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 360 | Pnom total | 90.0 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 Outdoor | Pnom | 100 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo F. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio A

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud 73.0°W | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud 959 m | | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Edificio A | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h54 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut 0° | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso Erbs, Meteonorm | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 14 módulos | En paralelo 4 cadenas | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 56 | Pnom unitaria 250 Wp | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 14.00 kWp | En cond. funciona. 12.51 kWp (50°C) | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 378 V | I mpp 33 A | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 90.9 m² | Superf. célula 81.7 m² | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | IG Plus 150 V-3 | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 230-500 V | Pnom unitaria 12.0 kWac | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total 12.0 kWac | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 192 mOhm | Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas 1.3 % | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas -0.8 % | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PVSYST Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

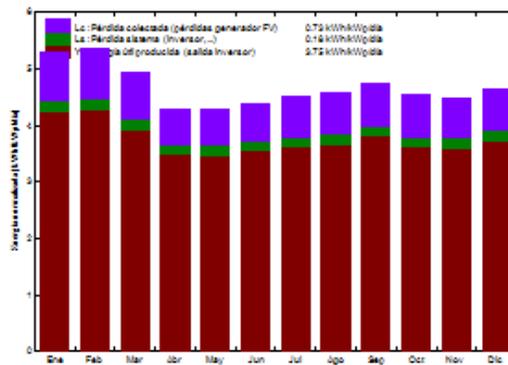
Variante de simulación : Edificio A

| | | | | | |
|---|---------------|------------------------|------------|---------------------------|--|
| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 56 | Pnom total | 14.00 kWp | |
| Inversor | Modelo | IG Plus 150 V-3 | Pnom | 12.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | | Carga ilimitada (red) | | | |

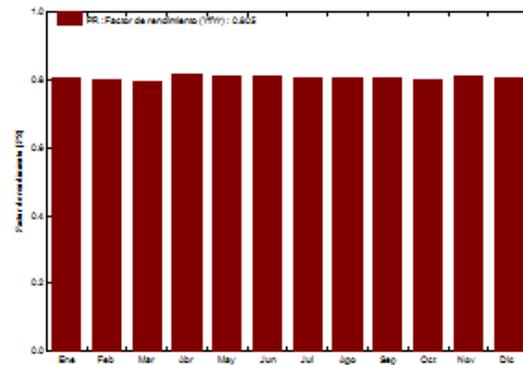
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 19.15 MWh/año | Produc. específico | 1368 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 80.5 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 14.00 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Edificio A

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 1.933 | 1.844 | 13.00 | 12.40 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 1.754 | 1.672 | 12.90 | 12.30 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 1.785 | 1.701 | 12.88 | 12.26 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 1.533 | 1.462 | 13.15 | 12.55 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 1.581 | 1.508 | 13.10 | 12.50 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 1.567 | 1.495 | 13.10 | 12.50 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 1.650 | 1.574 | 12.99 | 12.39 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 1.666 | 1.589 | 12.96 | 12.36 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 1.677 | 1.600 | 12.98 | 12.38 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 1.646 | 1.570 | 12.91 | 12.31 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 1.587 | 1.514 | 13.05 | 12.45 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 1.695 | 1.616 | 12.98 | 12.38 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 20.074 | 19.146 | 12.99 | 12.39 |

| | | | | |
|-----------|---------|--|---------|---|
| Leyendas: | GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| | T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| | GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| | GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

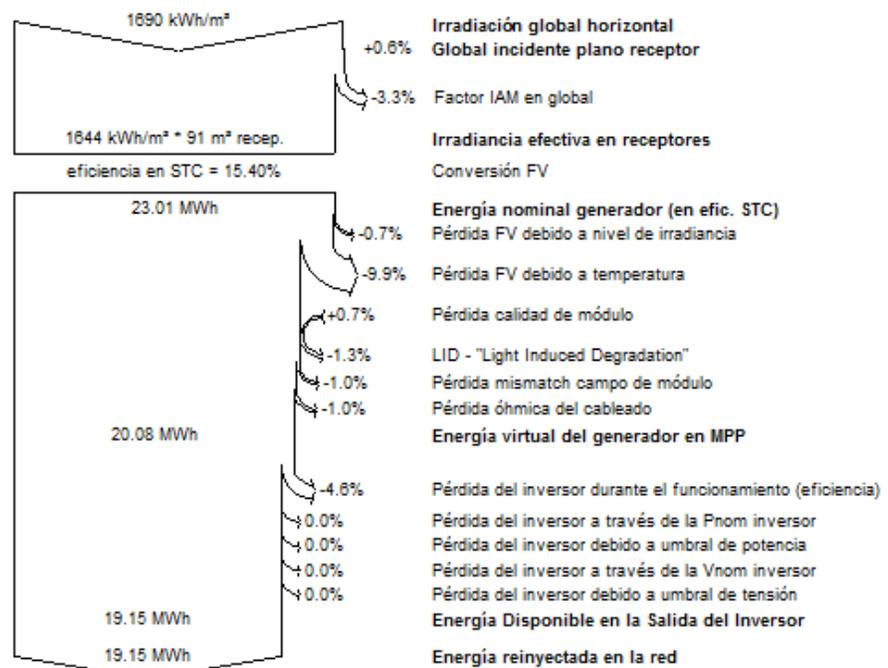
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio A

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 56 | Pnom total | 14.00 kWp | |
| Inversor | Modelo | IG Plus 150 V-3 | Pnom | 12.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo G. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio N

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación | Latitud 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal Huso hor. UT-5 | Altitud | 959 m | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variante de simulación : Edificio N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h57 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación 10° | Acimut | 0° | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición Perez | Difuso | Erbs, Meteonorm | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo YL250P-29b | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie 23 módulos | En paralelo | 4 cadenas | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos 92 | Pnom unitaria | 250 Wp | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) 23.00 kWp | En cond. funciona. | 20.55 kWp (50°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp 621 V | I mpp | 33 A | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos 149 m² | Superf. célula | 134 m² | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Modelo ECO 25.0-3-S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fabricante Fronius International | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. 580-850 V | Pnom unitaria | 25.0 kWac | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores 1 unidades | Potencia total | 25 kWac | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) 20.0 W/m²K | Uv (viento) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador 315 mOhm | Fracción de Pérdidas | 1.5 % en STC | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | Fracción de Pérdidas | 1.3 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | Fracción de Pérdidas | -0.8 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | Fracción de Pérdidas | 1.0 % en MPP | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>0°</td><td>20°</td><td>40°</td><td>60°</td><td>70°</td><td>75°</td><td>80°</td><td>85°</td><td>90°</td> </tr> <tr> <td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>0.96</td><td>0.88</td><td>0.80</td><td>0.67</td><td>0.43</td><td>0.00</td> </tr> </table> | | | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° | | | | | | | | | | | | | |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Pvsyst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

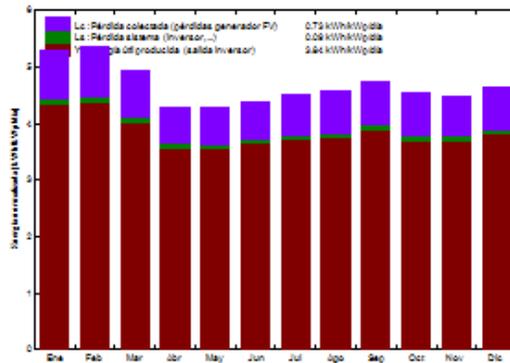
Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio N

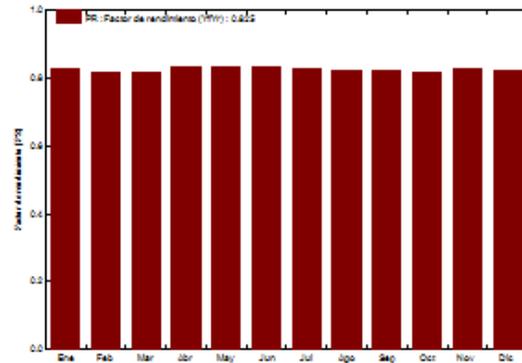
| | | | | | |
|---|---------------|------------------------|------------|---------------------------|--|
| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 92 | Pnom total | 23.00 kWp | |
| Inversor | Modelo | ECO 25.0-3-S | Pnom | 25.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | | Carga ilimitada (red) | | | |

| | | | |
|--|----------------------------|----------------------|--|
| Resultados principales de la simulación | | | |
| Producción del Sistema | Energía producida | 32.22 MWh/año | Producción específica 1401 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 82.5 % | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 23.00 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Edificio N

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 3.171 | 3.104 | 12.98 | 12.71 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 2.876 | 2.816 | 12.87 | 12.60 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 2.926 | 2.863 | 12.83 | 12.56 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 2.517 | 2.461 | 13.15 | 12.85 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 2.596 | 2.538 | 13.09 | 12.80 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 2.575 | 2.517 | 13.10 | 12.80 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 2.710 | 2.650 | 12.98 | 12.69 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 2.735 | 2.675 | 12.95 | 12.67 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 2.750 | 2.691 | 12.95 | 12.67 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 2.699 | 2.640 | 12.88 | 12.60 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 2.603 | 2.546 | 13.03 | 12.74 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 2.780 | 2.720 | 12.97 | 12.69 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 32.939 | 32.221 | 12.98 | 12.70 |

| | | | |
|-------------------|--|---------|---|
| Leyendas: GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

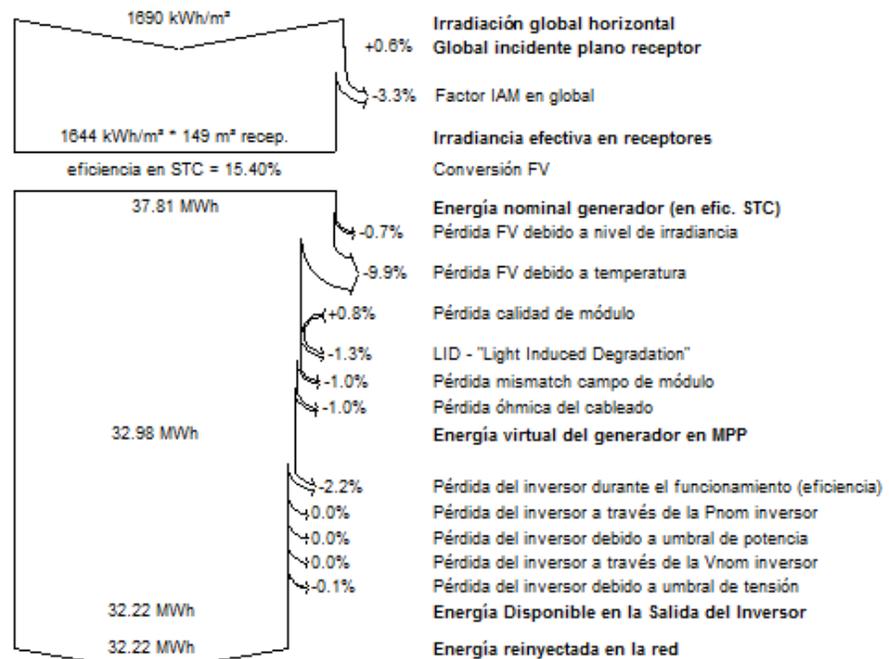
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio N

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 92 | Pnom total | 23.00 kWp | |
| Inversor | Modelo | ECO 25.0-3-S | Pnom | 25.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo H. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio L

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud 73.0°W | | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud 959 m | | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Edificio L | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 02h59 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut 0° | | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso Erbs, Meteonorm | | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo YL250P-29b | | | | | | | |
| | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 23 módulos | En paralelo 5 cadenas | | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 115 | Pnom unitaria 250 Wp | | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 28.75 kWp | En cond. funciona. 25.69 kWp (50°C) | | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 621 V | I mpp 41 A | | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 187 m² | Superf. célula 168 m² | | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | ECO 27.0-3-S | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 580-850 V | Pnom unitaria 27.0 kWac | | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total 27 kWac | | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s | | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 252 mOhm | Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC | | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas 1.3 % | | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas -0.8 % | | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP | | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PV Syst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

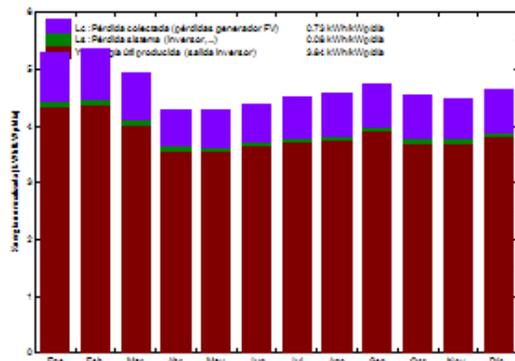
Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio L

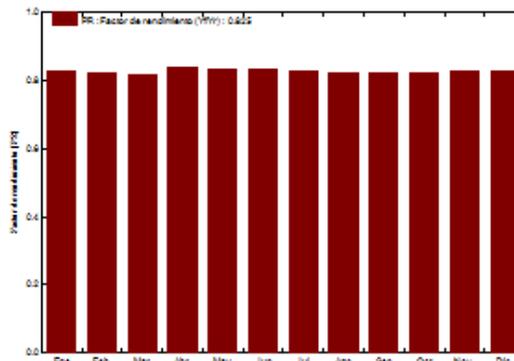
| | | | | | |
|---|---------------|------------------------|------------|---------------------------|--|
| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 115 | Pnom total | 28.75 kWp | |
| Inversor | Modelo | ECO 27.0-3-S | Pnom | 27.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | | Carga ilimitada (red) | | | |

| | |
|--|--|
| Resultados principales de la simulación | |
| Producción del Sistema | Energía producida 40.32 MWh/año |
| Factor de rendimiento (PR) | 82.5 % |
| | Producción específica 1402 kWh/kWp/año |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 28.75 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Edificio L

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 3.964 | 3.883 | 12.98 | 12.72 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 3.595 | 3.522 | 12.87 | 12.61 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 3.658 | 3.582 | 12.83 | 12.57 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 3.146 | 3.080 | 13.15 | 12.87 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 3.245 | 3.178 | 13.09 | 12.82 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 3.218 | 3.150 | 13.10 | 12.82 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 3.388 | 3.316 | 12.98 | 12.71 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 3.419 | 3.347 | 12.95 | 12.68 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 3.438 | 3.366 | 12.95 | 12.69 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 3.374 | 3.303 | 12.88 | 12.61 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 3.254 | 3.186 | 13.03 | 12.76 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 3.475 | 3.404 | 12.97 | 12.70 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 41.174 | 40.317 | 12.98 | 12.71 |

| | | | |
|-------------------|--|---------|---|
| Leyendas: GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

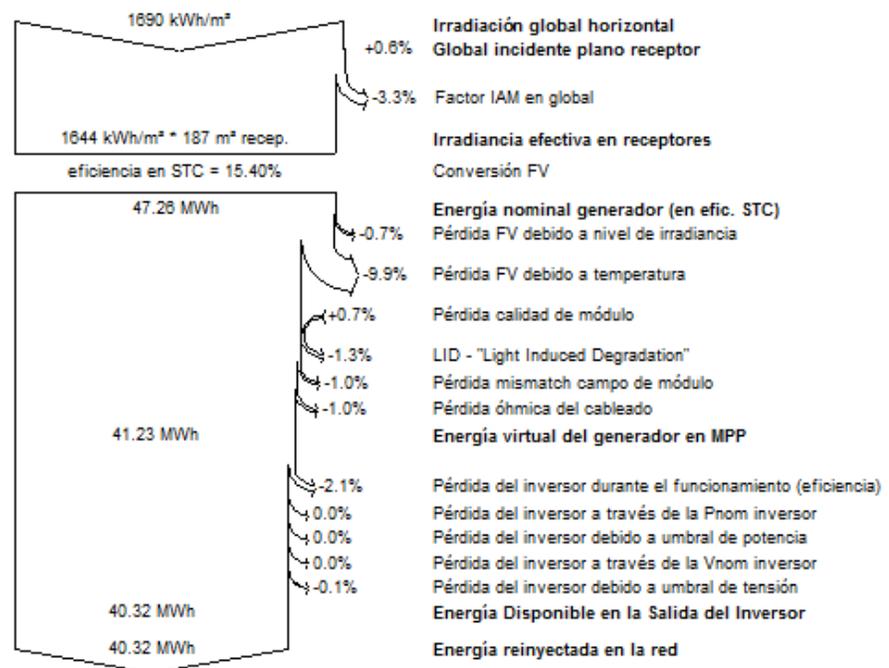
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio L

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 115 | Pnom total | 28.75 kWp | |
| Inversor | Modelo | ECO 27.0-3-S | Pnom | 27.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo I. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Coliseo, CSU

| | | | | | | | | | |
|--|---|--|----------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : | Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud | 959 m | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Coliseo | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 22h15 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut | 0° | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso | Erbs, Meteonorm | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 18 módulos | En paralelo | 36 cadenas | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 648 | Pnom unitaria | 250 Wp | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 162 kWp | En cond. funciona. | 145 kWp (50°C) | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 486 V | I mpp | 298 A | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 1052 m² | Superf. célula | 946 m² | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | AGILO 100.0-3 | | | | | | | |
| | Fabricante | Fronius International | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 460-820 V | Pnom unitaria | 100 kWac | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 2 unidades | Potencia total | 200 kWac | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 27 mOhm | Fracción de Pérdidas | 1.5 % en STC | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas | 1.3 % | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas | -0.8 % | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas | 1.0 % en MPP | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PV Syst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

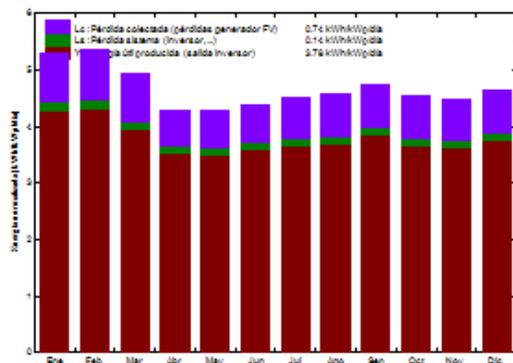
Variante de simulación : Coliseo

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 648 | Pnom total | 162 kWp | |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 | Pnom | 100 kW ac | |
| Banco de inversores | N° de unidades | 2.0 | Pnom total | 200 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

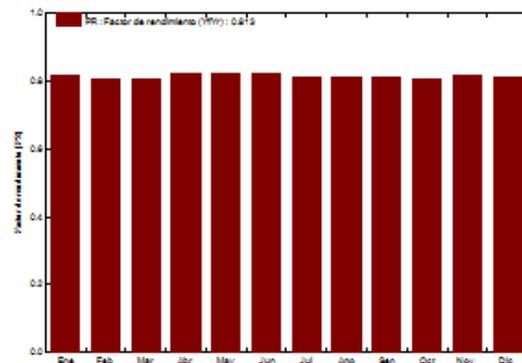
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 223.7 MWh/año | Producción específica | 1381 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 81.3 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 162 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Coliseo

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 22.30 | 21.55 | 12.96 | 12.53 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 20.23 | 19.54 | 12.85 | 12.42 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 20.57 | 19.85 | 12.81 | 12.36 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 17.72 | 17.09 | 13.14 | 12.67 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 18.27 | 17.62 | 13.08 | 12.62 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 18.13 | 17.48 | 13.10 | 12.63 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 19.08 | 18.40 | 12.98 | 12.51 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 19.25 | 18.57 | 12.94 | 12.48 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 19.34 | 18.67 | 12.94 | 12.49 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 18.98 | 18.31 | 12.86 | 12.41 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 18.31 | 17.68 | 13.01 | 12.56 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 19.56 | 18.88 | 12.95 | 12.50 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 231.74 | 223.65 | 12.96 | 12.51 |

| | | | |
|-------------------|--|---------|---|
| Leyendas: GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

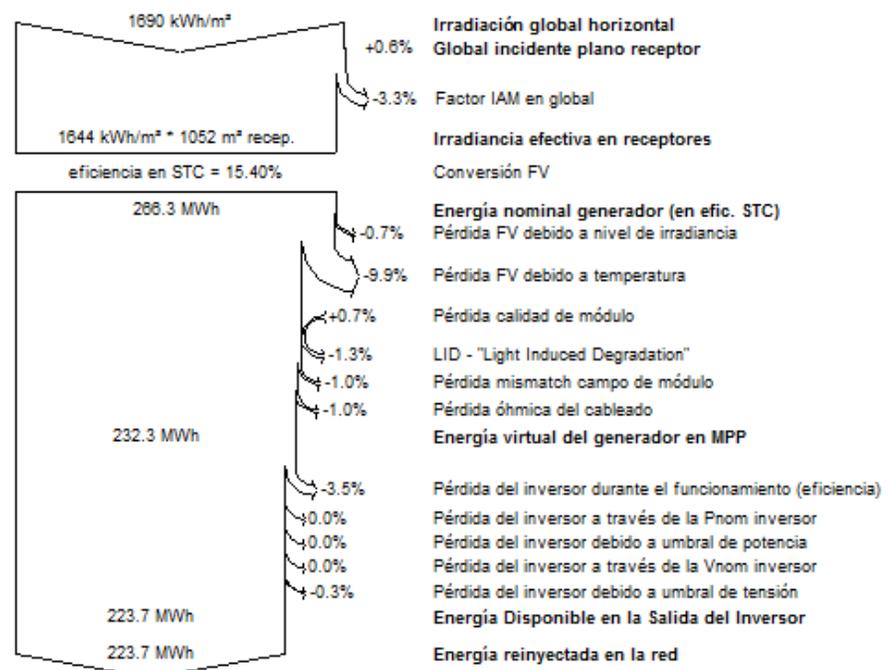
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Coliseo

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp |
| Generador FV | N° de módulos | 648 | Pnom total | 162 kWp |
| Inversor | Modelo | AGILO 100.0-3 | Pnom | 100 kW ac |
| Banco de inversores | N° de unidades | 2.0 | Pnom total | 200 kW ac |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo J. Datos obtenidos de simulación en PVSyst, Edificio Bienestar, CSU

| | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|--|----------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| PVSYST V6.38 | | 01/06/15 | Página 1/3 | | | | | | |
| Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga | | | | | | | | | |
| Lugar geográfico | Bucaramanga | País | Colombia | | | | | | |
| Ubicación | Latitud | 7.1°N | Longitud | 73.0°W | | | | | |
| Hora definido como | Hora Legal | Huso hor. UT-5 | Altitud | 959 m | | | | | |
| | Albedo | 0.20 | | | | | | | |
| Datos climatológicos: | Bucaramanga | Síntesis - Meteonorm 7.1 (1964-1998), Sat=100% | | | | | | | |
| Variante de simulación : Edificio Bienestar | | | | | | | | | |
| | Fecha de simulación | 01/06/15 03h12 | | | | | | | |
| Parámetros de la simulación | | | | | | | | | |
| Orientación Plano Receptor | Inclinación | 10° | Acimut | 0° | | | | | |
| Modelos empleados | Transposición | Perez | Difuso | Erbs, Meteonorm | | | | | |
| Perfil obstáculos | Sin perfil de obstáculos | | | | | | | | |
| Sombras cercanas | Sin sombreado | | | | | | | | |
| Características generador FV | | | | | | | | | |
| Módulo FV | Si-poly | Modelo | YL250P-29b | | | | | | |
| | | Fabricante | Yingli Solar | | | | | | |
| Número de módulos FV | En serie | 23 módulos | En paralelo | 3 cadenas | | | | | |
| N° total de módulos FV | N° módulos | 69 | Pnom unitaria | 250 Wp | | | | | |
| Potencia global generador | Nominal (STC) | 17.25 kWp | En cond. funciona. | 15.41 kWp (50°C) | | | | | |
| Caract. funcionamiento del generador (50°C) | V mpp | 621 V | I mpp | 25 A | | | | | |
| Superficie total | Superficie módulos | 112 m² | Superf. célula | 101 m² | | | | | |
| Inversor | | | | | | | | | |
| | Modelo | Sunny Tripower 15000TLEE-10 | | | | | | | |
| | Fabricante | SMA | | | | | | | |
| Características | Tensión Funciona. | 580-800 V | Pnom unitaria | 15.0 kWac | | | | | |
| Banco de inversores | N° de inversores | 1 unidades | Potencia total | 15.0 kWac | | | | | |
| Factores de pérdida Generador FV | | | | | | | | | |
| Factor de pérdidas térmicas | Uc (const) | 20.0 W/m²K | Uv (viento) | 0.0 W/m²K / m/s | | | | | |
| Pérdida Óhmica en el Cableado | Res. global generador | 420 mOhm | Fracción de Pérdidas | 1.5 % en STC | | | | | |
| LID - "Light Induced Degradation" | | | Fracción de Pérdidas | 1.3 % | | | | | |
| Pérdida Calidad Módulo | | | Fracción de Pérdidas | -0.8 % | | | | | |
| Pérdidas Mismatch Módulos | | | Fracción de Pérdidas | 1.0 % en MPP | | | | | |
| Efecto de incidencia, perfil definido por | | | | | | | | | |
| | 0° | 20° | 40° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
| | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.88 | 0.80 | 0.67 | 0.43 | 0.00 |
| Necesidades de los usuarios : Carga ilimitada (red) | | | | | | | | | |

PVSyst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

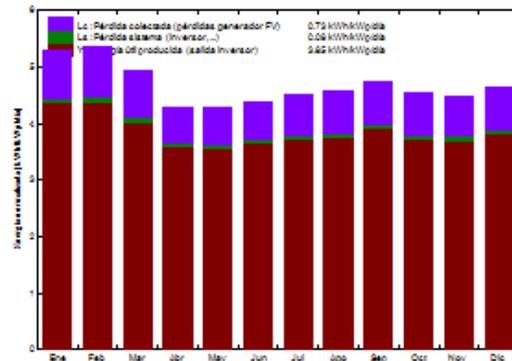
Variante de simulación : Edificio Bienestar

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 69 | Pnom total | 17.25 kWp | |
| Inversor | Modelo | Sunny Tripower 15000TLEE-10 | | 15.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

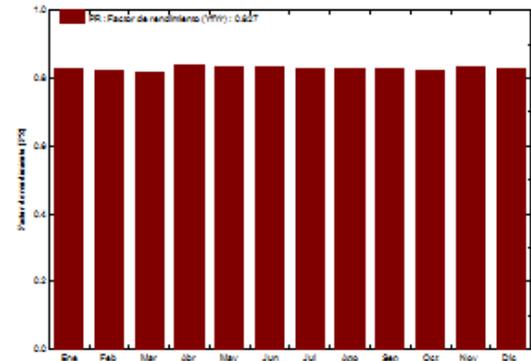
Resultados principales de la simulación

| | | | | |
|------------------------|----------------------------|---------------|--------------------|------------------|
| Producción del Sistema | Energía producida | 24.23 MWh/año | Produc. específico | 1405 kWh/kWp/año |
| | Factor de rendimiento (PR) | 82.7 % | | |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 17.25 kWp



Factor de rendimiento (PR)



Edificio Bienestar

Balances y resultados principales

| | GlobHor kWh/m² | T Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | EffArrR % | EffSysR % |
|------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Enero | 152.8 | 20.50 | 163.6 | 159.0 | 2.378 | 2.333 | 12.98 | 12.73 |
| Febrero | 142.7 | 20.80 | 149.6 | 145.4 | 2.157 | 2.116 | 12.87 | 12.63 |
| Marzo | 150.5 | 21.13 | 152.7 | 148.1 | 2.195 | 2.152 | 12.83 | 12.59 |
| Abril | 130.7 | 21.02 | 128.2 | 123.6 | 1.888 | 1.851 | 13.15 | 12.89 |
| Mayo | 138.7 | 21.49 | 132.7 | 128.0 | 1.947 | 1.909 | 13.09 | 12.84 |
| Junio | 140.0 | 21.09 | 131.6 | 126.7 | 1.931 | 1.893 | 13.10 | 12.84 |
| Julio | 148.4 | 21.38 | 139.8 | 134.7 | 2.033 | 1.993 | 12.98 | 12.73 |
| Agosto | 147.3 | 21.80 | 141.4 | 136.3 | 2.051 | 2.012 | 12.95 | 12.70 |
| Septiembre | 142.5 | 21.50 | 142.1 | 137.4 | 2.063 | 2.024 | 12.96 | 12.71 |
| Octubre | 136.0 | 21.31 | 140.3 | 135.8 | 2.025 | 1.986 | 12.88 | 12.64 |
| Noviembre | 126.5 | 20.71 | 133.8 | 129.4 | 1.953 | 1.916 | 13.03 | 12.78 |
| Diciembre | 133.5 | 20.90 | 143.5 | 139.3 | 2.085 | 2.045 | 12.97 | 12.72 |
| Año | 1689.5 | 21.14 | 1699.1 | 1643.7 | 24.706 | 24.231 | 12.98 | 12.73 |

| | | | |
|-------------------|--|---------|---|
| Leyendas: GlobHor | Irradiación global horizontal | EArray | Energía efectiva en la salida del generador |
| T Amb | Temperatura Ambiente | E_Grid | Energía reinyectada en la red |
| GlobInc | Global incidente plano receptor | EffArrR | Eficiencia Esal campo/superficie bruta |
| GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | EffSysR | Eficiencia Esal sistema/superficie bruta |

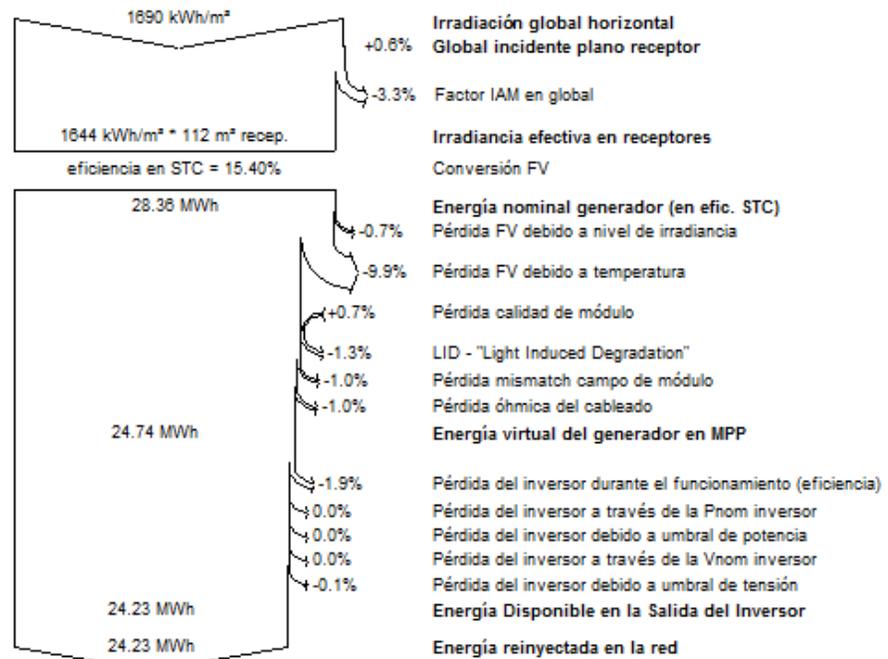
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Conectado a la Red at Bucaramanga

Variante de simulación : Edificio Bienestar

| Parámetros principales del sistema | | Tipo de sistema | | Conectado a la red | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------|--------------------|--|
| Orientación Campos FV | inclinación | 10° | acimut | 0° | |
| Módulos FV | Modelo | YL250P-29b | Pnom | 250 Wp | |
| Generador FV | N° de módulos | 69 | Pnom total | 17.25 kWp | |
| Inversor | Modelo | Sunny Tripower 15000TLEE-10 | | 15.00 kW ac | |
| Necesidades de los usuarios | Carga ilimitada (red) | | | | |

Diagrama de pérdida durante todo el año



Anexo K. Flujo de Fondos neto cotización HELIOTERMICA

| | |
|--|---------------|
| Costo del Capital (WACC) | 6% |
| Energía mensual (kWh/mes) | 150000 |
| Energía anual (kWh/año) | 1800000 |
| Energía anual generada por paneles solares (kWh/año) | 553000 |
| Precio energía comprada (\$/kWh) | 340,6 |
| Precio energía generada (\$/kWh) | 0 |
| Inversión (COP) | 2.037.591.870 |
| Inversión con 50% financiación | 1.018.795.935 |
| Overhaul (año 5) | 300.000.000 |
| Costos de OyM | 10.187.959 |
| Vida útil (años) | 25 |
| Valor salvamento (año 25) | 15.000.000 |
| Cuotas | 5 |
| Tasa de interés | 12% |
| Valor del crédito | 509.397.968 |
| Impuesto Renta | 33% |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| + Ahorro compra de energía | | 434.149.056 | 443.708.577 | 453.408.852 |
| -Costos de Mantenimiento | | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| -Intereses Crédito | | -56.503.507 | -47.609.305 | -37.647.799 |
| -Depreciación | | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| =Ganancias Operativas Gravables | | 331.159.293 | 349.613.016 | 369.274.797 |
| -Impuesto a la renta | | -109.282.567 | -115.372.295 | -121.860.683 |
| +Ingreso Venta de Activos (Valor Venta -Saldo Libros) | | | | |
| -Impuesto sobre Ingreso Venta Activos | | | | |
| +Valor en libros activos vendidos | | | | |
| +Otros ingresos no gravables | | | | |
| -Costos No deducibles | | | | |
| =Ganancias Netas Contables | | 221.876.726 | 234.240.721 | 247.414.114 |
| +Depreciación | | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| -Costos de Inversión | -941.725.120 | | | |
| -Overhaul | | | | |
| +Crédito Recibido | 470.862.560 | | | |
| -Amortización Crédito | | -74.118.349 | -83.012.551 | -92.974.057 |
| +Valor de salvamento | | | | |
| =Flujo de Fondos Neto | -470.862.560 | 184.827.382 | 188.297.174 | 191.509.061 |

| Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 463.252.003 | 473.240.184 | 483.375.580 | 493.660.410 | 504.096.927 | 514.687.416 | 525.434.198 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| -26.490.912 | -13.995.199 | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| 390.274.835 | 412.758.729 | 436.889.324 | 447.174.154 | 457.610.671 | 468.201.160 | 478.947.942 |
| -128.790.696 | -136.210.381 | -144.173.477 | -147.567.471 | -151.011.521 | -154.506.383 | -158.052.821 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 261.484.139 | 276.548.348 | 292.715.847 | 299.606.683 | 306.599.149 | 313.694.777 | 320.895.121 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | |
| | | | | | | -300.000.000 |
| | | | | | | |
| -104.130.944 | -116.626.658 | | | | | |
| | | | | | | |
| 194.422.200 | 196.990.696 | 329.784.852 | 336.675.688 | 343.668.154 | 350.763.782 | 57.964.126 |
| Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 |
| 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| 536.339.628 | 547.406.097 | 558.636.033 | 570.031.897 | 581.596.192 | 593.331.454 | 605.240.260 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| | | | | | | |
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| 489.853.372 | 500.919.841 | 512.149.777 | 523.545.641 | 535.109.936 | 546.845.198 | 558.754.004 |
| -161.651.613 | -165.303.548 | -169.009.426 | -172.770.062 | -176.586.279 | -180.458.915 | -184.388.821 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 328.201.759 | 335.616.294 | 343.140.350 | 350.775.580 | 358.523.657 | 366.386.283 | 374.365.183 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 365.270.764 | 372.685.298 | 380.209.355 | 387.844.584 | 395.592.662 | 403.455.287 | 411.434.187 |

| | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año 18 | Año 19 | Año 20 | Año 21 | Año 22 | Año 23 | Año 24 | Año 25 |
| 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
| 617.325.225 | 629.589.004 | 642.034.290 | 654.663.818 | 667.480.365 | 680.486.749 | 693.685.828 | 707.080.508 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| | | | | | | | |
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |

| | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 570.838.969 | 583.102.748 | 595.548.034 | 608.177.562 | 620.994.109 | 634.000.493 | 647.199.572 | 660.594.252 |
| -188.376.860 | -192.423.907 | -196.530.851 | -200.698.596 | -204.928.056 | -209.220.163 | -213.575.859 | -217.996.103 |
| | | | | | | | -0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 15.000.000 |
| | | | | | | | |
| 382.462.109 | 390.678.841 | 399.017.183 | 407.478.967 | 416.066.053 | 424.780.330 | 433.623.714 | 457.598.149 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | | |
| | | -300.000.000 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 419.531.114 | 427.747.846 | 136.086.187 | 444.547.971 | 453.135.058 | 461.849.335 | 470.692.718 | 494.667.154 |

| | |
|-----|---------------|
| VPN | 3.388.916.607 |
| TIR | 45% |

Servicio de la Deuda
Cifras en Millones de Pesos Constantes el 2015

Datos Crédito

| | |
|-----------------|-------------|
| Tasa de Interés | 12% |
| Valor Crédito | 470.862.560 |
| Plazo (años) | 5 |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Saldo Inicial | 470.862.560 | 470.862.560 | 396.744.211 | 313.731.659 | 220.757.602 | 116.626.658 |
| Intereses | 0 | 56.503.507 | 47.609.305 | 37.647.799 | 26.490.912 | 13.995.199 |
| Amortización | 0 | 74.118.349 | 83.012.551 | 92.974.057 | 104.130.944 | 116.626.658 |
| Cuota Fija | 0 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 |
| Saldo Final | 470.862.560 | 396.744.211 | 313.731.659 | 220.757.602 | 116.626.658 | 0 |

Anexo L. Flujo de Fondos neto cotización GEMNYA

| | |
|--|---------------|
| Costo del Capital (WACC) | 6% |
| Energía mensual (kWh/mes) | 150000 |
| Energía anual (kWh/año) | 1800000 |
| Energía anual generada por paneles solares (kWh/año) | 553000 |
| Precio energía comprada (\$/kWh) | 340,6 |
| Precio energía generada (\$/kWh) | 0 |
| Inversión (COP) | 1.883.450.240 |
| Inversión con 50% financiación | 941.725.120 |
| Overhaul (año 5) | 300.000.000 |
| Costos de Oym | 9.417.251 |
| Vida útil (años) | 25 |
| Valor salvamento (año 25) | 15.000.000 |
| Cuotas | 5 |
| Tasa de interés | 12% |
| Valor del crédito | 470.862.560 |
| Impuesto Renta | 33% |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| + Ahorro compra de energía | | 434.149.056 | 443.708.577 | 453.408.852 |
| -Costos de Mantenimiento | | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| -Intereses Crédito | | -56.503.507 | -47.609.305 | -37.647.799 |
| -Depreciación | | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| =Ganancias Operativas Gravables | | 331.159.293 | 349.613.016 | 369.274.797 |
| -Impuesto a la renta | | -109.282.567 | -115.372.295 | -121.860.683 |
| +Ingreso Venta de Activos (Valor Venta -Saldo Libros) | | | | |
| -Impuesto sobre Ingreso Venta Activos | | | | |
| +Valor en libros activos vendidos | | | | |
| +Otros ingresos no gravables | | | | |
| -Costos No deducibles | | | | |
| =Ganancias Netas Contables | | 221.876.726 | 234.240.721 | 247.414.114 |
| +Depreciación | | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| -Costos de Inversión | -941.725.120 | | | |
| -Overhaul | | | | |
| +Crédito Recibido | 470.862.560 | | | |
| -Amortización Crédito | | -74.118.349 | -83.012.551 | -92.974.057 |
| +Valor de salvamento | | | | |
| =Flujo de Fondos Neto | -470.862.560 | 184.827.382 | 188.297.174 | 191.509.061 |

| Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 463.252.003 | 473.240.184 | 483.375.580 | 493.660.410 | 504.096.927 | 514.687.416 | 525.434.198 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| -26.490.912 | -13.995.199 | | | | | |
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| 390.274.835 | 412.758.729 | 436.889.324 | 447.174.154 | 457.610.671 | 468.201.160 | 478.947.942 |
| -128.790.696 | -136.210.381 | -144.173.477 | -147.567.471 | -151.011.521 | -154.506.383 | -158.052.821 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 261.484.139 | 276.548.348 | 292.715.847 | 299.606.683 | 306.599.149 | 313.694.777 | 320.895.121 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | -300.000.000 |
| | | | | | | |
| -104.130.944 | -116.626.658 | | | | | |
| | | | | | | |
| 194.422.200 | 196.990.696 | 329.784.852 | 336.675.688 | 343.668.154 | 350.763.782 | 57.964.126 |

| Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| 536.339.628 | 547.406.097 | 558.636.033 | 570.031.897 | 581.596.192 | 593.331.454 | 605.240.260 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| | | | | | | |
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| 489.853.372 | 500.919.841 | 512.149.777 | 523.545.641 | 535.109.936 | 546.845.198 | 558.754.004 |
| -161.651.613 | -165.303.548 | -169.009.426 | -172.770.062 | -176.586.279 | -180.458.915 | -184.388.821 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 328.201.759 | 335.616.294 | 343.140.350 | 350.775.580 | 358.523.657 | 366.386.283 | 374.365.183 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 365.270.764 | 372.685.298 | 380.209.355 | 387.844.584 | 395.592.662 | 403.455.287 | 411.434.187 |

| Año 18 | Año 19 | Año 20 | Año 21 | Año 22 | Año 23 | Año 24 | Año 25 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
| 617.325.225 | 629.589.004 | 642.034.290 | 654.663.818 | 667.480.365 | 680.486.749 | 693.685.828 | 707.080.508 |
| -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 | -9.417.251 |
| | | | | | | | |
| -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 | -37.069.005 |
| 570.838.969 | 583.102.748 | 595.548.034 | 608.177.562 | 620.994.109 | 634.000.493 | 647.199.572 | 660.594.252 |
| -188.376.860 | -192.423.907 | -196.530.851 | -200.698.596 | -204.928.056 | -209.220.163 | -213.575.859 | -217.996.103 |
| | | | | | | | -0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 15.000.000 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 382.462.109 | 390.678.841 | 399.017.183 | 407.478.967 | 416.066.053 | 424.780.330 | 433.623.714 | 457.598.149 |
| 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 | 37.069.005 |
| | | | | | | | |
| | | -300.000.000 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 419.531.114 | 427.747.846 | 136.086.187 | 444.547.971 | 453.135.058 | 461.849.335 | 470.692.718 | 494.667.154 |

| | |
|-----|---------------|
| VPN | 3.388.916.607 |
| TIR | 45% |

Servicio de la Deuda Cifras en Millones de Pesos Constantes el 2015

Datos Crédito

| | |
|-----------------|-------------|
| Tasa de Interés | 12% |
| Valor Crédito | 470.862.560 |
| Plazo (años) | 5 |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Saldo Inicial | 470.862.560 | 470.862.560 | 396.744.211 | 313.731.659 | 220.757.602 | 116.626.658 |
| Intereses | 0 | 56.503.507 | 47.609.305 | 37.647.799 | 26.490.912 | 13.995.199 |
| Amortización | 0 | 74.118.349 | 83.012.551 | 92.974.057 | 104.130.944 | 116.626.658 |
| Cuota Fija | 0 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 | 130.621.857 |
| Saldo Final | 470.862.560 | 396.744.211 | 313.731.659 | 220.757.602 | 116.626.658 | 0 |

Anexo M. Flujo de Fondos neto cotización EME INGENIERÍA

| | |
|--|---------------|
| Costo del Capital (WACC) | 6% |
| Energía mensual (kWh/mes) | 150000 |
| Energía anual (kWh/año) | 1800000 |
| Energía anual generada por paneles solares (kWh/año) | 553000 |
| Precio energía comprada (\$/kWh) | 340,6 |
| Precio energía generada (\$/kWh) | 0 |
| Inversión (COP) | 4.405.500.000 |
| Inversión con 50% financiación | 2.202.750.000 |
| Overhaul (año 5) | 300.000.000 |
| Costos de OyM | 22.027.500 |
| Vida útil (años) | 25 |
| Valor salvamento (año 25) | 15.000.000 |
| Cuotas | 5 |
| Tasa de interés | 12% |
| Valor del crédito | 1.101.375.000 |
| Impuesto Renta | 33% |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| + Ahorro compra de energía | | 434.149.056 | 443.708.577 | 453.408.852 |
| -Costos de Mantenimiento | | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 |
| -Intereses Crédito | | -132.165.000 | -111.360.943 | -88.060.399 |
| -Depreciación | | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 |
| =Ganancias Operativas Gravables | | 192.446.556 | 222.810.134 | 255.810.953 |
| -Impuesto a la renta | | -63.507.364 | -73.527.344 | -84.417.615 |
| +Ingreso Venta de Activos (Valor Venta -Saldo Libros) | | | | |
| -Impuesto sobre Ingreso Venta Activos | | | | |
| +Valor en libros activos vendidos | | | | |
| +Otros ingresos no gravables | | | | |
| -Costos No deducibles | | | | |
| =Ganancias Netas Contables | | 128.939.193 | 149.282.790 | 171.393.339 |
| +Depreciación | | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 |
| -Costos de Inversión | -2.202.750.000 | | | |
| -Overhaul | | | | |
| +Crédito Recibido | 1.101.375.000 | | | |
| -Amortización Crédito | | -173.367.144 | -194.171.201 | -217.471.745 |
| +Valor de salvamento | | | | |
| =Flujo de Fondos Neto | -1.101.375.000 | 43.082.049 | 42.621.589 | 41.431.594 |

| Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 463.252.003 | 473.240.184 | 483.375.580 | 493.660.410 | 504.096.927 | 514.687.416 | 525.434.198 |
| -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 |
| -61.963.789 | -32.735.587 | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 |
| 291.750.714 | 330.967.097 | 373.838.080 | 384.122.910 | 394.559.427 | 405.149.916 | 415.896.698 |
| -96.277.736 | -109.219.142 | -123.366.566 | -126.760.560 | -130.204.611 | -133.699.472 | -137.245.910 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 195.472.978 | 221.747.955 | 250.471.514 | 257.362.350 | 264.354.816 | 271.450.444 | 278.650.787 |
| 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 |
| | | | | | | -300.000.000 |
| | | | | | | |
| -243.568.354 | -272.796.557 | | | | | |
| | | | | | | |
| 39.414.624 | 36.461.398 | 337.981.514 | 344.872.350 | 351.864.816 | 358.960.444 | 66.160.787 |

| Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| 536.339.628 | 547.406.097 | 558.636.033 | 570.031.897 | 581.596.192 | 593.331.454 | 605.240.260 |
| -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 |
| | | | | | | |
| -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 |
| 426.802.128 | 437.868.597 | 449.098.533 | 460.494.397 | 472.058.692 | 483.793.954 | 495.702.760 |
| -140.844.702 | -144.496.637 | -148.202.516 | -151.963.151 | -155.779.368 | -159.652.005 | -163.581.911 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 285.957.426 | 293.371.960 | 300.896.017 | 308.531.246 | 316.279.323 | 324.141.949 | 332.120.849 |
| 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 373.467.426 | 380.881.960 | 388.406.017 | 396.041.246 | 403.789.323 | 411.651.949 | 419.630.849 |

| Año 18 | Año 19 | Año 20 | Año 21 | Año 22 | Año 23 | Año 24 | Año 25 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
| 617.325.225 | 629.589.004 | 642.034.290 | 654.663.818 | 667.480.365 | 680.486.749 | 693.685.828 | 707.080.508 |
| -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 | -22.027.500 |
| | | | | | | | |
| -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 | -87.510.000 |

| | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 507.787.725 | 520.051.504 | 532.496.790 | 545.126.318 | 557.942.865 | 570.949.249 | 584.148.328 | 597.543.008 |
| -167.569.949 | -171.616.996 | -175.723.941 | -179.891.685 | -184.121.146 | -188.413.252 | -192.768.948 | -197.189.193 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 15.000.000 |
| | | | | | | | |
| 340.217.776 | 348.434.507 | 356.772.849 | 365.234.633 | 373.821.720 | 382.535.997 | 391.379.380 | 415.353.815 |
| 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 | 87.510.000 |
| | | | | | | | |
| | | -300.000.000 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 427.727.776 | 435.944.507 | 144.282.849 | 452.744.633 | 461.331.720 | 470.045.997 | 478.889.380 | 502.863.815 |

| | |
|-----|---------------|
| VPN | 2.196.539.644 |
| TIR | 16% |

Servicio de la Deuda Cifras en Millones de Pesos Constantes el 2015

Datos Crédito

| | |
|-----------------|---------------|
| Tasa de Interés | 12% |
| Valor Crédito | 1.101.375.000 |
| Plazo (años) | 5 |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Saldo Inicial | 1.101.375.000 | 1.101.375.000 | 928.007.856 | 733.836.656 | 516.364.911 | 272.796.557 |
| Intereses | 0 | 132.165.000 | 111.360.943 | 88.060.399 | 61.963.789 | 32.735.587 |
| Amortización | 0 | 173.367.144 | 194.171.201 | 217.471.745 | 243.568.354 | 272.796.557 |
| Cuota Fija | 0 | 305.532.144 | 305.532.144 | 305.532.144 | 305.532.144 | 305.532.144 |
| Saldo Final | 1.101.375.000 | 928.007.856 | 733.836.656 | 516.364.911 | 272.796.557 | 0 |

Anexo N. Flujo de Fondos neto cotización AMÉRICA FOTOVOLTAICA

| | |
|--|---------------|
| Costo del Capital (WACC) | 6% |
| Energía mensual (kWh/mes) | 150000 |
| Energía anual (kWh/año) | 1800000 |
| Energía anual generada por paneles solares (kWh/año) | 553000 |
| Precio energía comprada (\$/kWh) | 340,6 |
| Precio energía generada (\$/kWh) | 0 |
| Inversión (COP) | 3.068.160.000 |
| Inversión con 50% financiación | 1.534.080.000 |
| Overhaul (año 5) | 300.000.000 |
| Costos de OyM | 15.340.800 |
| Vida útil (años) | 25 |
| Valor salvamento (año 25) | 15.000.000 |
| Cuotas | 5 |
| Tasa de interés | 12% |
| Valor del crédito | 767.040.000 |
| Impuesto Renta | 33% |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| + Ahorro compra de energía | | 434.149.056 | 443.708.577 | 453.408.852 |
| -Costos de Mantenimiento | | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 |
| -Intereses Crédito | | -92.044.800 | -77.556.053 | -61.328.656 |
| -Depreciación | | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 |
| =Ganancias Operativas Gravables | | 266.000.256 | 290.048.524 | 315.976.196 |
| -Impuesto a la renta | | -87.780.085 | -95.716.013 | -104.272.145 |
| +Ingreso Venta de Activos (Valor Venta -Saldo Libros) | | | | |
| -Impuesto sobre Ingreso Venta Activos | | | | |
| +Valor en libros activos vendidos | | | | |
| +Otros ingresos no gravables | | | | |
| -Costos No deducibles | | | | |
| =Ganancias Netas Contables | | 178.220.172 | 194.332.511 | 211.704.052 |
| +Depreciación | | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 |
| -Costos de Inversión | -1.534.080.000 | | | |
| -Overhaul | | | | |
| +Crédito Recibido | 767.040.000 | | | |
| -Amortización Crédito | | -120.739.561 | -135.228.308 | -151.455.705 |
| +Valor de salvamento | | | | |
| =Flujo de Fondos Neto | -767.040.000 | 118.243.811 | 119.867.403 | 121.011.547 |

| Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 463.252.003 | 473.240.184 | 483.375.580 | 493.660.410 | 504.096.927 | 514.687.416 | 525.434.198 |
| -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 |
| -43.153.971 | -22.798.324 | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 |
| 343.994.032 | 374.337.860 | 407.271.580 | 417.556.410 | 427.992.927 | 438.583.416 | 449.330.198 |
| -113.518.031 | -123.531.494 | -134.399.621 | -137.793.615 | -141.237.666 | -144.732.527 | -148.278.965 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 230.476.002 | 250.806.366 | 272.871.959 | 279.762.795 | 286.755.261 | 293.850.889 | 301.051.232 |
| 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 |
| | | | | | | |
| | | | | | | -300.000.000 |
| | | | | | | |
| -169.630.390 | -189.986.036 | | | | | |
| | | | | | | |
| 121.608.812 | 121.583.529 | 333.635.159 | 340.525.995 | 347.518.461 | 354.614.089 | 61.814.432 |

| Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| 536.339.628 | 547.406.097 | 558.636.033 | 570.031.897 | 581.596.192 | 593.331.454 | 605.240.260 |
| -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 |
| | | | | | | |
| -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 |
| 460.235.628 | 471.302.097 | 482.532.033 | 493.927.897 | 505.492.192 | 517.227.454 | 529.136.260 |
| -151.877.757 | -155.529.692 | -159.235.571 | -162.996.206 | -166.812.423 | -170.685.060 | -174.614.966 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 308.357.871 | 315.772.405 | 323.296.462 | 330.931.691 | 338.679.768 | 346.542.394 | 354.521.294 |
| 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 369.121.071 | 376.535.605 | 384.059.662 | 391.694.891 | 399.442.968 | 407.305.594 | 415.284.494 |

| Año 18 | Año 19 | Año 20 | Año 21 | Año 22 | Año 23 | Año 24 | Año 25 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
| 617.325.225 | 629.589.004 | 642.034.290 | 654.663.818 | 667.480.365 | 680.486.749 | 693.685.828 | 707.080.508 |
| -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 | -15.340.800 |
| | | | | | | | |
| -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 | -60.763.200 |

| | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 541.221.225 | 553.485.004 | 565.930.290 | 578.559.818 | 591.376.365 | 604.382.749 | 617.581.828 | 630.976.508 |
| -178.603.004 | -182.650.051 | -186.756.996 | -190.924.740 | -195.154.201 | -199.446.307 | -203.802.003 | -208.222.248 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 15.000.000 |
| | | | | | | | |
| 362.618.221 | 370.834.952 | 379.173.294 | 387.635.078 | 396.222.165 | 404.936.442 | 413.779.825 | 437.754.260 |
| 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 | 60.763.200 |
| | | | | | | | |
| | | -300.000.000 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 423.381.421 | 431.598.152 | 139.936.494 | 448.398.278 | 456.985.365 | 465.699.642 | 474.543.025 | 498.517.460 |

| | |
|-----|---------------|
| VPN | 2.828.808.457 |
| TIR | 25% |

Servicio de la Deuda Cifras en Millones de Pesos Constantes el 2015

Datos Crédito

| | |
|-----------------|-------------|
| Tasa de Interés | 12% |
| Valor Crédito | 767.040.000 |
| Plazo (años) | 5 |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Saldo Inicial | 767.040.000 | 767.040.000 | 646.300.439 | 511.072.131 | 359.616.426 | 189.986.036 |
| Intereses | 0 | 92.044.800 | 77.556.053 | 61.328.656 | 43.153.971 | 22.798.324 |
| Amortización | 0 | 120.739.561 | 135.228.308 | 151.455.705 | 169.630.390 | 189.986.036 |
| Cuota Fija | 0 | 212.784.361 | 212.784.361 | 212.784.361 | 212.784.361 | 212.784.361 |
| Saldo Final | 767.040.000 | 646.300.439 | 511.072.131 | 359.616.426 | 189.986.036 | 0 |

Anexo O. Flujo de Fondos neto cotización GESTION INTEGRAL ENERGÉTICA

| | |
|--|---------------|
| Costo del Capital (WACC) | 6% |
| Energía mensual (kWh/mes) | 150000 |
| Energía anual (kWh/año) | 1800000 |
| Energía anual generada por paneles solares (kWh/año) | 553000 |
| Precio energía comprada (\$/kWh) | 340,6 |
| Precio energía generada (\$/kWh) | 0 |
| Inversión (COP) | 4.782.003.075 |
| Inversión con 50% financiación | 2.391.001.538 |
| Overhaul (año 5) | 300.000.000 |
| Costos de OyM | 23.910.015 |
| Vida útil (años) | 25 |
| Valor salvamento (año 25) | 15.000.000 |
| Cuotas | 5 |
| Tasa de interés | 12% |
| Valor del crédito | 1.195.500.769 |
| Impuesto Renta | 33% |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 |
|---|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| + Ahorro compra de energía | | 434.149.056 | 443.708.577 | 453.408.852 |
| -Costos de Mantenimiento | | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 |
| -Intereses Crédito | | -143.460.092 | -120.878.078 | -95.586.221 |
| -Depreciación | | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 |
| =Ganancias Operativas Gravables | | 171.738.887 | 203.880.423 | 238.872.554 |
| -Impuesto a la renta | | -56.673.833 | -67.280.539 | -78.827.943 |
| +Ingreso Venta de Activos (Valor Venta -Saldo Libros) | | | | |
| -Impuesto sobre Ingreso Venta Activos | | | | |
| +Valor en libros activos vendidos | | | | |
| +Otros ingresos no gravables | | | | |
| -Costos No deducibles | | | | |
| =Ganancias Netas Contables | | 115.065.054 | 136.599.883 | 160.044.611 |
| +Depreciación | | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 |
| -Costos de Inversión | -2.391.001.538 | | | |
| -Overhaul | | | | |
| +Crédito Recibido | 1.195.500.769 | | | |
| -Amortización Crédito | | -188.183.456 | -210.765.470 | -236.057.327 |
| +Valor de salvamento | | | | |
| =Flujo de Fondos Neto | -1.195.500.769 | 21.921.660 | 20.874.474 | 19.027.346 |

| Año 4 | Año 5 | Año 6 | Año 7 | Año 8 | Año 9 | Año 10 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 463.252.003 | 473.240.184 | 483.375.580 | 493.660.410 | 504.096.927 | 514.687.416 | 525.434.198 |
| -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 |
| -67.259.342 | -35.533.237 | | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 |
| 277.042.584 | 318.756.870 | 364.425.503 | 374.710.333 | 385.146.850 | 395.737.339 | 406.484.121 |
| -91.424.053 | -105.189.767 | -120.260.416 | -123.654.410 | -127.098.460 | -130.593.322 | -134.139.760 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 185.618.532 | 213.567.103 | 244.165.087 | 251.055.923 | 258.048.389 | 265.144.017 | 272.344.361 |
| 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 |
| | | | | | | -300.000.000 |
| | | | | | | |
| -264.384.206 | -296.110.311 | | | | | |
| | | | | | | |
| 16.274.387 | 12.496.854 | 339.205.149 | 346.095.985 | 353.088.451 | 360.184.079 | 67.384.422 |

| Año 11 | Año 12 | Año 13 | Año 14 | Año 15 | Año 16 | Año 17 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 |
| 536.339.628 | 547.406.097 | 558.636.033 | 570.031.897 | 581.596.192 | 593.331.454 | 605.240.260 |
| -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 |
| | | | | | | |
| -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 |
| 417.389.551 | 428.456.020 | 439.685.956 | 451.081.820 | 462.646.115 | 474.381.377 | 486.290.183 |
| -137.738.552 | -141.390.487 | -145.096.365 | -148.857.001 | -152.673.218 | -156.545.854 | -160.475.760 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 279.650.999 | 287.065.534 | 294.589.590 | 302.224.820 | 309.972.897 | 317.835.523 | 325.814.423 |
| 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 374.691.061 | 382.105.595 | 389.629.652 | 397.264.881 | 405.012.958 | 412.875.584 | 420.854.484 |

| Año 18 | Año 19 | Año 20 | Año 21 | Año 22 | Año 23 | Año 24 | Año 25 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2033 | 2034 | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 |
| 617.325.225 | 629.589.004 | 642.034.290 | 654.663.818 | 667.480.365 | 680.486.749 | 693.685.828 | 707.080.508 |
| -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 | -23.910.015 |
| | | | | | | | |
| -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 | -95.040.062 |

| | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 498.375.148 | 510.638.927 | 523.084.213 | 535.713.741 | 548.530.288 | 561.536.672 | 574.735.752 | 588.130.431 |
| -164.463.799 | -168.510.846 | -172.617.790 | -176.785.535 | -181.014.995 | -185.307.102 | -189.662.798 | -194.083.042 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 15.000.000 |
| | | | | | | | |
| 333.911.349 | 342.128.081 | 350.466.423 | 358.928.207 | 367.515.293 | 376.229.570 | 385.072.954 | 409.047.389 |
| 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 | 95.040.062 |
| | | -300.000.000 | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 428.951.411 | 437.168.142 | 445.506.484 | 453.968.268 | 462.555.355 | 471.269.632 | 480.113.015 | 504.087.450 |

| | |
|-----|---------------|
| VPN | 2.018.536.181 |
| TIR | 15% |

Servicio de la Deuda Cifras en Millones de Pesos Constantes el 2015

Datos Crédito

| | |
|-----------------|---------------|
| Tasa de Interés | 12% |
| Valor Crédito | 1.195.500.769 |
| Plazo (años) | 5 |

| | Año 0 | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Concepto | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Saldo Inicial | 1.195.500.769 | 1.195.500.769 | 1.007.317.313 | 796.551.843 | 560.494.516 | 296.110.311 |
| Intereses | 0 | 143.460.092 | 120.878.078 | 95.586.221 | 67.259.342 | 35.533.237 |
| Amortización | 0 | 188.183.456 | 210.765.470 | 236.057.327 | 264.384.206 | 296.110.311 |
| Cuota Fija | 0 | 331.643.548 | 331.643.548 | 331.643.548 | 331.643.548 | 331.643.548 |
| Saldo Final | 1.195.500.769 | 1.007.317.313 | 796.551.843 | 560.494.516 | 296.110.311 | 0 |

Anexo P. Tabla empresas de energía solar en Colombia

| EMPRESA | PAGINA WEB | |
|--------------------------------|---|--|
| ALTA INGENIERIA | www.altaingenieriaxxi.com 57-1-4738969 |  |
| AMÉRICA FOTOVOLTAICA | www.americafotovoltaica.com |  |
| AMPA SOLAR | www.ampasolar.com 3155860072 3113345061 proyectos@ampasolar.com |  |
| COLOMBIAN SOLAR SYSTEMS | www.colombiansolarsystems.com 312 2766 635 |  |
| EME INGENIERIA | www.emeingenieria.com.co 6 30 64 40 Comercial3@emeingenieria.com.co |  |
| ENERGÍA Y POTENCIA | www.energiaypotencia.com 018000123523 6700080 Rosa.garcia@energiaypotencia.com |  Energía & Potencia |
| ENERGRENCOL | www.energrecol.com 3106279422 comercial@energrecol.com |  |
| ERCO ENERGÍA | www.ercoenergia.com.co +57 317 383 44 14 +57 317 516 83 68 |  |
| ERGEA | www.ergea.com.co (57) 321.725.33.85 (57) 321.230.35.99 |  |

| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| GEMNYA | www.gemnya.com.co |  |
| GESTIÓN INTEGRAL ENERGÉTICA | www.gie.com.co PBX: (57) 1 466 01 51 Tel: (57) 1 466 01 61 |  |
| GREEN ENERGY LATIN AMERICA | www.greenenergy-latinamerica.com +57 (5) 645 5932 (+57) 317 640 9377 (+57) 317 513 9600 (+57) 317 404 5629 |  |
| HELIOTERMICA | www.heliotermica.com |  |
| IDELECT | www.idelect.net Tel: (+571)544-3003 - (+571)544-7408 Telefax: (+571)541-4506 Móvil: (+57)310-337-9035 |  |
| SAECSA | www.saecsa.com |  |
| SOLAIRE ENERGIA E ILUMINACION | www.solaire-ei.com +(57) 321 963 6944 +(57) 315 704 9557 +(057) 4-403-1939 |  |
| SOLEN | www.solentechnology.com 57(1) 8044345 320 4204278 57(5) 6436600 310 7524773 |  |