

DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMO Y CONECTADO A RED, Y SU ANÁLISIS FINANCIERO MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA FINANCIERA.



WILLIAM FERNANDO OSORIO ZÁRATE



**Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB)
Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas
Programa de Ingeniería en Energía
Bucaramanga
2013**



**SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNAB
ADQUISICIONES**

D. Jardín B. Bosque B. Caldas CENIM Precio \$ 20000
Clasificación T6/33.13/058d ejemplar 1
Proveedor _____
Compra _____ Donación Canje _____ UNAB _____
Fecha de Ingreso: DD 17 MM 06 AA 2014



Universidad Autónoma de Bucaramanga

unab

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BUCARAMANGA (UNAB)**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-
MECÁNICAS**

PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

**DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMO Y CONECTADO A
RED, Y SU ANÁLISIS FINANCIERO MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA
HERRAMIENTA FINANCIERA.**

**PROYECTO DE GRADO:
QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE INGENIERO EN ENERGÍA**

Presenta:

WILLIAM FERNANDO OSORIO ZÁRATE

Director: YECID ALFONSO MUÑOZ. (PHD)

**BUCARAMANGA
COLOMBIA
2013**

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no habría sido posible sin la ayuda directa o indirecta de muchas personas que colaboraron y estuvieron en las diferentes etapas de la elaboración y el resto de la vida profesional.

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de haber llegado aquí y seguirme guiando en mi carrera profesional.

A mi profesor Yecid Muñoz director de proyecto, por dirigir mi trabajo, por su confianza, colaboración y apoyo en mi proceso.

Agradezco a mi profesor Julio Cesar Paba, más que un docente un modelo a seguir, me enseñó a desenvolverme a nivel personal y académico.

A todos los docentes de la Universidad Autónoma de Bucaramanga quienes compartieron quienes compartieron sus conocimientos dentro y fuera de clase, haciendo posible que mi formación sea resumida en satisfacciones, alegría y disposición. A mis amigos que compartieron para mi formación dentro y fuera del claustro poniendo lo mejor de su ENERGÍA. A mi familia y mis seres queridos, mis hermanos, abuelos, mi tío Carlos por su apoyo permanente. A mis padres Fernando y Vilma alegrándolos con su particular modo de ver, de ser y hacer en su constante y difícil labor de ser los mejores padres que cualquiera pudiera imaginar.

Agradecimientos a GIE S.A.S, la empresa que me dio la oportunidad de realizar mis prácticas, poner todos mis conocimientos con ustedes y poder desempeñarme en proyectos de Energía solar.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	15
Objetivo General:.....	15
Objetivos Específicos:	15
CAPÍTULO 1	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. ENERGÍA SOLAR	16
1.1.1. Transformación en Calor:.....	16
1.1.2. Transformación en electricidad:.....	16
1.1.3. Radiación Solar:	17
◦ Tipos de Radiación Solar:.....	18
1.1.4. Movimiento del sol:.....	18
Altura solar (α):	19
Azimuth solar:	19
1.1.5. Aplicaciones y ventajas de la energía solar:	20
1.1.6. Descripción de sistemas fotovoltaicos:.....	21
Sistemas Autónomos.....	22
Sistemas de conexión a red:.....	23
Sistemas Híbridos:.....	24
1.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	24
1.2.1. Efecto fotovoltaico:.....	24
1.2.2. Materiales semiconductores:	26
Unión p-n:	27
Ancho de banda prohibido:.....	27
1.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	28
1.3.1. Células fotovoltaicas	28
1.3.2. Tipos de células fotovoltaicas.....	28
1.3.3. Módulos Fotovoltaicos.....	31
Curva Característica	33
Curva de las células fotovoltaicas.....	33
Manteniendo la radiación constante y variando la temperatura:	34

Curvas de los módulos fotovoltaicos	35
1.4. OTROS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	35
1.4.1. Acumuladores o baterías eléctricas	35
Conceptos generales:.....	36
1.4.1.1. Conexión de Baterías.....	38
• Conexión en serie (positivo a negativo):	38
1.4.1.2. Tipos de Baterías.....	38
1.4.2. Reguladores o controladores de carga.....	40
Funcionamiento	41
1.4.3. Inversores de corriente	42
1.5. CERTIFICACIÓN LEED	43
1.5.1. Tipos de certificación leed	43
1.5.2. Uso de Energías alternativas en la Certificación LEED	44
• Intención	44
• Tecnologías y Estrategias Potenciales.....	44
1.6. ANÁLISIS FINANCIERO	45
1.6.1. VPN (Valor Presente Neto):	45
1.6.2. TIR (Tasa Interna de Retorno):	45
1.6.3. Flujo Neto de Caja:.....	46
1.6.4. Depreciación:	46
CAPITULO 2.....	47
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE 27KW, PARA EL HOMENCENTER DE CAJICÁ.....	47
2.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA A SUPLIR:	47
2.2. CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO:	47
2.3. DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR.....	48
• Trayectoria solar.....	50
2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	50
• Dimensionamiento de los paneles solares.....	50
2.4.1. Módulos fotovoltaicos:	51
2.5. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE INVERSIÓN DC/ AC DE CONEXIÓN A RED: 55	
2.6. RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN (PR):.....	56

2.7. DETERMINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL SISTEMA:.....	60
• Terminales MC4	61
2.8. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTVOLTAICOS.....	62
2.8.1. Soporte liviano en fibra de vidrio	62
2.9. COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYST	63
2.9.1. Resumen de simulación en PVsyst	65
CAPITULO 3	66
DISEÑO DE UN SISTEMAS FOTVOLTAICOS AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW, EN ZONAS RURALES DE VILLAVIEJA.....	66
3.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA SUPLIR:.....	66
3.1.1. Parámetros de diseño	66
• Vivienda tipo 1 residencial rural	67
• Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural	67
3.2. DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR.....	68
3.2.1. Radiación Solar y Horas Solares Pico (HSP).....	68
• Trayectoria solar en la localidad de la Tatacoa.....	70
Performance Ratio	71
3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	73
3.3.1. Vivienda tipo 1 residencial rural	73
3.3.2. Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural.....	74
3.4. DETERMINACIÓN DE EQUIPOS.....	76
3.4.1. Módulos fotovoltaicos.....	76
3.4.2. Banco de baterías	77
3.4.3. Controlador de carga.....	77
3.4.4. Inversor	78
3.4.5. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN Y EQUIPOS	78
3.5. DATOS TÉCNICOS	79
3.5.1. Módulos fotovoltaicos.....	79
3.5.2. Baterías	82
3.5.3. Protecciones.....	83
3.5.4. Terminales de conexión.....	84

3.6. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	85
3.7. COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYST	86
3.7.1. Sistema 1KW.....	86
• Resumen de simulación en PVSyst	87
3.7.2. Sistema 2KW.....	88
• Resumen de simulación en PVSyst	88
CAPITULO 4.....	90
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO.....	90
4.1. SISTEMA CONECTADO A RED 27KW.....	90
4.1.1. Costos del proyecto Escenario Moderado	91
4.1.2. Amortización Escenario Moderado.	94
4.2. SISTEMA AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW.....	96
4.2.1. Costos del proyecto casa tipo1.....	96
4.2.2. Comparación de los sistemas	100
Figura 40. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo I	100
4.2.3. Costos del proyecto casa tipo2.....	100
Tabla 31. Costos sistema fotovoltaico casa tipo II	100
4.2.4. Comparación de los sistemas	104
Figura 41. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo II	104
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	107

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Irradiación solar en superficie	14
Figura 2. Movimiento del sol.....	16
Figura 3. Altura solar	16
Figura 4. Azimuth.....	16
Figura 5. Tipos de sistemas fotovoltaicos	18
Figura 6. Diagrama de bloques de una instalación fotovoltaica autónoma	20
Figura 7. Diagrama de bloques de una instalación fotovoltaica conectada a red.....	20
Figura 8. Átomo	22
Figura 9. Red de silicio.....	22
Figura 10. Funcionamiento de los materiales semiconductores	23
Figura 11. Unión p-n	24
Figura 12. Módulo Fotovoltaico	30
Figura 13. Curva intensidad-tensión de una célula fotovoltaica	30
Figura 14. Efectos de la variación de la temperatura en una célula fotovoltaica	31
Figura 15. Efectos de la variación de radiación en una célula fotovoltaica	32
Figura 16. Componentes de una batería	33
Figura 17. Conexión en serie de acumuladores	35
Figura 18. Conexión en paralelo de acumuladores.....	35
Figura 19. Batería plomo-ácido.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Regulador o controlador de carga	38
Figura 21. Inversor de carga	39
Figura 22. Plano cubierta Homecenter Cajicá	45
Figura 23. Trayectoria solar Cajicá.....	47
Figura 24. Modulación de los paneles sobre cubierta	51
Figura 25. Zona de trastienda y ubicación de los 108 módulos solares....	59
Figura 26. Sistema de soporte No invasivo sobre cubierta en fibra de vidrio.....	60

Figura 27. Vista general de sistemas instalados con soporte en fibra de vidrio.....	60
Figura 28. Interfaz inicial PVSyst.....	61
Figura 29. Trayectoria solar de la localidad de la Tatacoa	67
Figura 30. Curva característica de un módulo policrystalino de 250W y la influencia de la temperatura	74
Figura 31. Esquema general	76
Figura 32. Vista del módulo fotovoltaico con sus componentes	77
Figura 33. Mordaza metálica para fijación sobre cubierta	83
Figura 34. Vista general de módulos instalados con sistemas de fijación sobre cubierta inclinada.....	83
Figura 35. Precios del KWh en el sector no residencial de Bogotá.	87
Figura 36. Diagrama de metodología de la herramienta desarrollada en Microsoft Excel	88
Figura 37. Flujo de caja sistema conectado a red de 27 KW escenario moderado	82
Figura 38. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo I	97
Figura 39. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo II	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes de la puntuación Leed

INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS.....	15
Objetivo General:.....	15
Objetivos Específicos:	15
CAPÍTULO 1	16
MARCO TEÓRICO	16
1.1. ENERGÍA SOLAR.....	16
1.1.1. Transformación en Calor:.....	16
1.1.2. Transformación en electricidad:	16
1.1.3. Radiación Solar:	17
• Tipos de Radiación Solar:.....	18
1.1.4. Movimiento del sol:.....	18
Altura solar (α):	19
Azimuth solar:	19
1.1.5. Aplicaciones y ventajas de la energía solar:	20
1.1.6. Descripción de sistemas fotovoltaicos:.....	21
Sistemas Autónomos.....	22
Sistemas de conexión a red:.....	23
Sistemas Híbridos:.....	24
1.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	24
1.2.1. Efecto fotovoltaico:.....	24
1.2.2. Materiales semiconductores:	26
Unión p-n:	27
Ancho de banda prohibido:.....	27
1.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	28
1.3.1. Células fotovoltaicas	28
1.3.2. Tipos de células fotovoltaicas.....	28
1.3.3. Módulos Fotovoltaicos.....	31
Curva Característica	33
Curva de las células fotovoltaicas.....	33

Manteniendo la radiación constante y variando la temperatura:	34
Curvas de los módulos fotovoltaicos	35
1.4. OTROS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	35
1.4.1. Acumuladores o baterías eléctricas	35
Conceptos generales:	36
1.4.1.1. Conexión de Baterías.....	38
• Conexión en serie (positivo a negativo):	38
1.4.1.2. Tipos de Baterías.....	38
1.4.2. Reguladores o controladores de carga.....	40
Funcionamiento	41
1.4.3. Inversores de corriente	42
1.5. CERTIFICACIÓN LEED	43
1.5.1. Tipos de certificación leed	43
1.5.2. Uso de Energías alternativas en la Certificación LEED	44
• Intención	44
• Tecnologías y Estrategias Potenciales.....	44
1.6. ANÁLISIS FINANCIERO	45
1.6.1. VPN (Valor Presente Neto):	45
1.6.2. TIR (Tasa Interna de Retorno):	45
1.6.3. Flujo Neto de Caja:	46
1.6.4. Depreciación:	46
CAPITULO 2	47
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE 27KW, PARA EL HOMECENTER DE CAJICÁ.....	47
2.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA A SUPLIR:	47
2.2. CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO:	47
2.3. DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR.....	48
• Trayectoria solar	50
2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA	50
• Dimensionamiento de los paneles solares.....	50
2.4.1. Módulos fotovoltaicos:	51
2.5. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE INVERSIÓN DC/ AC DE CONEXIÓN A RED:	55

2.6.	RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN (PR):.....	56
2.7.	DETERMINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL SISTEMA:.....	60
•	Terminales MC4	61
2.8.	DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTVOLTAICOS.....	62
2.8.1.	Soporte liviano en fibra de vidrio	62
2.9.	COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYST	63
2.9.1.	Resumen de simulación en PVSyst	65
CAPITULO 3		66
DISEÑO DE UN SISTEMAS FOTVOLTAICOS AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW, EN ZONAS RURALES DE VILLAVIEJA.....		66
3.1.	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA SUPLIR:.....	66
3.1.1.	Parámetros de diseño	66
•	Vivienda tipo 1 residencial rural	67
•	Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural	67
3.2.	DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR.....	68
3.2.1.	Radiación Solar y Horas Solares Pico (HSP)	68
•	Trayectoria solar en la localidad de la Tatacoa.....	70
Performance Ratio		71
3.3.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA	73
3.3.1.	Vivienda tipo 1 residencial rural	73
3.3.2.	Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural.....	74
3.4.	DETERMINACIÓN DE EQUIPOS.....	76
3.4.1.	Módulos fotovoltaicos.....	76
3.4.2.	Banco de baterías	77
3.4.3.	Controlador de carga.....	77
3.4.4.	Inversor	78
3.4.5.	ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN Y EQUIPOS	78
3.5.	DATOS TÉCNICOS	79
3.5.1.	Módulos fotovoltaicos.....	79
3.5.2.	Baterías	82
3.5.3.	Protecciones.....	83
3.5.4.	Terminales de conexión.....	84

3.6. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTVOLTAICOS.....	85
3.7. COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYST.....	86
3.7.1. Sistema 1KW.....	86
• Resumen de simulación en PVSyst.....	87
3.7.2. Sistema 2KW.....	88
• Resumen de simulación en PVSyst.....	88
CAPITULO 4.....	90
RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO.....	90
4.1. SISTEMA CONECTADO A RED 27KW.....	90
4.1.1. Costos del proyecto Escenario Moderado.....	91
4.1.2. Amortización Escenario Moderado.	94
4.2. SISTEMA AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW.....	96
4.2.1. Costos del proyecto casa tipo1.....	96
4.2.2. Comparación de los sistemas.....	100
Figura 40. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo I.....	100
4.2.3. Costos del proyecto casa tipo2.....	100
Tabla 31. Costos sistema fotovoltaico casa tipo II.....	100
4.2.4. Comparación de los sistemas.....	104
Figura 41. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo II.....	104
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA.....	106

INTRODUCCIÓN

Debido al interés mostrado por empresas, entidades del estado, como particulares; en la implementación de sistemas alternativos de generación para abastecer sus necesidades energéticas, la energía fotovoltaica aparece como una gran opción; Por esto es de gran importancia soportar las propuestas presentadas a cada solicitante con los diseños ingenieriles, memorias de cálculo y la viabilidad financiera, y así demostrar la importancia y factibilidad de implementar un sistema solar para la generación de energía eléctrica.

Para obtener la mejor solución a los requerimientos del solicitante, se seguirá la siguiente metodología:

1. Determinar el tipo de sistema que se requiere implementar ya sea autónomo o conectado a red.
2. Determinar la demanda o la potencia pico que se podría instalar según el tipo de sistema que se vaya a implementar.
3. Obtener los datos meteorológicos y el recurso solar de acuerdo a la ubicación geográfica del proyecto.
4. Dimensionar el sistema escogiendo los equipos que tengan el mejor desempeño para suplir la carga del sistema.
5. Determinar y escoger el tipo de cable y las protecciones necesarias del sistema.
6. Dimensionamiento de las obras civiles necesarias y los materiales necesarios.
7. Determinación de costos de equipos, materiales y mano de obra.
8. Evaluar la viabilidad del proyecto por medio del desarrollo de un programa financiero, teniendo en cuenta indicadores como: VPN, TIR, etc. Para ser comparado con otro sistema de generación.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar y dimensionar sistemas fotovoltaicos de acuerdo a los requerimientos del emplazamiento, con sus respectivas especificaciones técnicas.

Objetivos Específicos:

- Diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico conectado a red, teniendo en cuenta las variables pertinentes como: localización, demanda eléctrica, etc; con sus respectivos cálculos y escogencia de equipos.
- Diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo, teniendo en cuenta las variables pertinentes como: localización, demanda eléctrica, etc; con sus respectivos cálculos y escogencia de equipos.
- Desarrollar una herramienta de cálculo con indicadores económicos para el estudio de inversión de sistemas fotovoltaicos, y a la vez ser comparados con otro tipo de sistema convencional.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. ENERGÍA SOLAR

La Energía Solar es aquella energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol.

Esa energía que emana del sol, los seres humanos la podemos convertir en energía útil, es decir, ya sea para calentar algo o bien para producir electricidad, entre las aplicaciones más comunes y relevantes que se realizan con ella.

Según diferentes estudios, cada año, el sol produce 4 mil veces más energía de la que los seres humanos somos capaces de consumir, por lo cual su potencial es realmente ilimitado y una de las energías renovables más desarrolladas y empleadas en casi todo el mundo.

Ventajas

- Escaso impacto ambiental.
- No tiene más costos una vez instalada que el mantenimiento, el cual es sencillo.
- No hay dependencia de las compañías suministradoras.
- No produce residuos perjudiciales para la salud.

Inconvenientes

- Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.

1.1.1. Transformación en Calor:

Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para piscinas, duchas, etc.

1.1.2. Transformación en electricidad:

Es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos

solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

1.1.3. Radiación Solar:

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura de 5500 C, en cuyo interior tiene lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se trasmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

La radiación solar en el sol es $63.450.720 \text{ W/m}^2$. Si suponemos que el sol emite en todas las direcciones y construimos una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir que tenga un radio de la distancia de 149,6 millones de Km podremos determinar cuál es la radiación en este punto. Este valor de radiación solar recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar (1353 W/m^2), variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

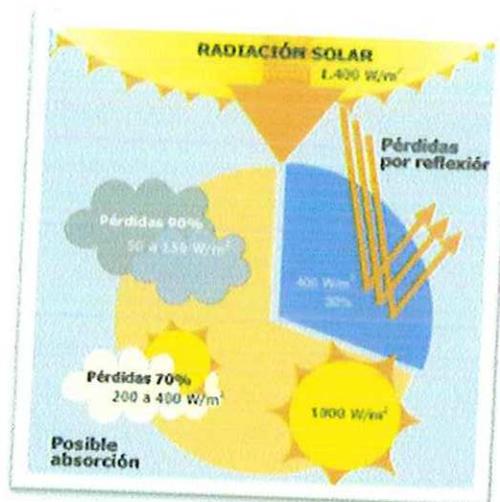


Figura 1. Irradiación solar en superficie

A la Tierra sólo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

- **Tipos de Radiación Solar:** En función de cómo inciden los rayos en la Tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar:

Directa Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera

Difusa Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.

Albedo Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Aunque las tres componentes están presentes en la radiación total que recibe la Tierra, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área en sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa.

- **Proporciones de Radiación** Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo que recibe una superficie dependen de:

Condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente difusa, mientras que en uno soleado es directa.

Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada.

Presencia de superficies reflectantes: las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.

1.1.4. Movimiento del sol:

El sol dibuja trayectorias según la estación del año. En invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras. Para conocer el movimiento del sol se utiliza un sistema de coordenadas con dos ángulos, que permite saber en cada momento donde se encuentra. Aunque en países como el nuestro este efecto no se nota mucho debido a que no existen las cuatro estaciones.

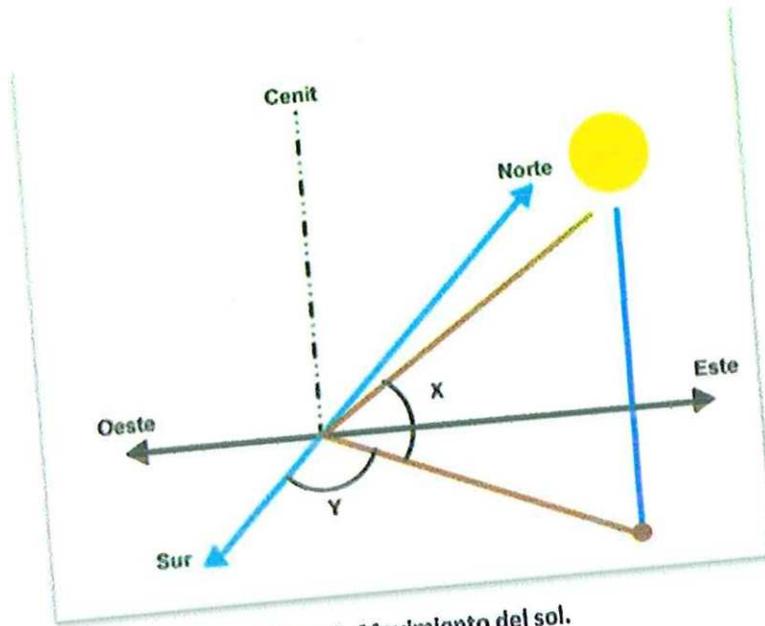


Figura 2. Movimiento del sol.

Altura solar (α): es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar.



Figura 3. Altura Solar

Azimuth solar: es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur.

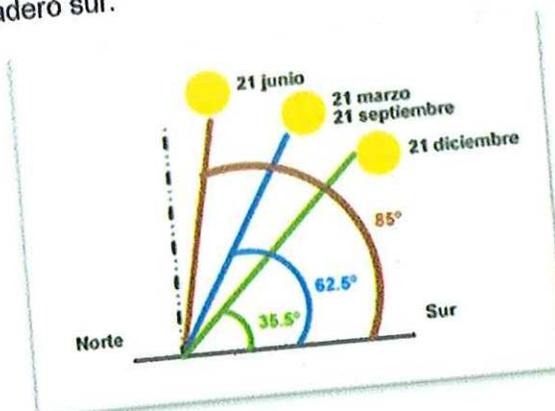


Figura 4. Azimuth

1.1.5. Aplicaciones y ventajas de la energía solar:

Aunque la red convencional de suministro eléctrico se encuentra muy extendida, quedan muchos casos en los que un generador fotovoltaico puede competir con ella.

La tecnología fotovoltaica permite realizar instalaciones que alimentan sistemas alejados de la red de distribución, incluso se pueden realizar sistemas de generación distribuida, de tal forma que se genere la energía en lugares próximos a los puntos de consumo, mediante la formación de una pequeña red de distribución.

Aplicaciones

Generalmente es utilizada en zonas excluidas de la red de distribución eléctrica o de difícil acceso a ella, pudiendo trabajar de forma independiente o combinada con sistemas de generación eléctrica convencional. Sus principales aplicaciones son:

- Electrificación de: sistema de bombas de agua, repetidores de TV y telefonía, etc.
- Electrificación de edificaciones aisladas: alumbrado, pequeños electrodomésticos, pequeños consumos no destinados a calentamientos.
- Alumbrado público aislado: aparcamientos, áreas de descanso, etc.
- Balizado y señalización: marítimos, viales, antenas, etc.
- Protección catódica.
- Conexión a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas que permiten disminuir las pérdidas en la red, ya que se acerca el consumo a la generación. Esta solución es la que está generando actualmente el mayor desarrollo de esta energía, ya que se vende a la red con un precio muy atractivo.

Ventajas

- No produce polución ni contaminación ambiental.
- Silenciosa.
- Tiene una vida útil superior a 20 años.
- Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.
- No requiere mantenimiento complejo, sólo limpieza del módulo solar y estado de baterías.
- Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación, incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente.
- No consume combustible.

1.1.6. Descripción de sistemas fotovoltaicos:

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar según el esquema siguiente:

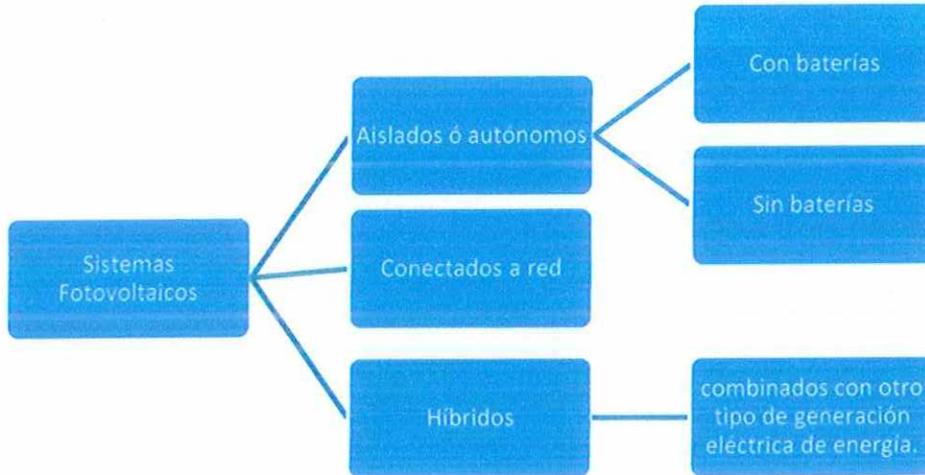


Figura 5. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente hay los siguientes componentes:

- **Generador fotovoltaico:** encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
- **Baterías o acumuladores:** almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en periodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.
- **Regulador de carga:** encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla.
- **Inversor o acondicionador:** de la energía eléctrica; encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica.
- **Elementos de protección del circuito:** como interruptores de conexión, diodos de bloqueo, etc., dispuestos entre diferentes elementos del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

Puede haber la necesidad de un generador auxiliar para complementar la energía del generador fotovoltaico cuando éste no pueda mantener la demanda y no pueda ser interrumpida.

Sistemas Autónomos:

Dado que los paneles solares (o módulos fotovoltaicos) no almacenan energía, usualmente se conectan aun banco de baterías para que la energía almacenada en este pueda ser usada durante la noche o en períodos nublados.

Los sistemas solares a base de baterías pueden funcionar de manera autónoma y autosuficiente si está bien diseñado y dimensionado.

Las principales aplicaciones de este tipo de sistemas son: electrificación de casas rurales en zonas apartadas, luminarias solares para alumbrado público, sistemas para repartidoras de microondas.

La consideración más importante en el diseño de este tipo de sistemas es que sea del tamaño adecuado para que la energía que consuman las cargas, sea la misma que la energía producida por el sistema fotovoltaico. Asimismo que el banco de baterías sea lo suficientemente grande tanto para almacenar la energía suministrada por el arreglo fotovoltaico como para guardar un reserva que satisfaga las necesidades en períodos de baja insolación.

Principales Componentes

- **Módulos fotovoltaicos:** captan la energía solar y la transforman en energía eléctrica.
- **Regulador de Carga:** protege a los acumuladores de un exceso de carga, y de la descarga por exceso de uso.
- **Sistema de acumulación:** almacena la energía sobrante para que pueda ser reutilizada cuando se demande energía.
- **Inversor:** transforma la corriente continua producida por los módulos, en corriente alterna para la alimentación de las cargas que así lo necesiten.
- **Elementos de protección del circuito:** protegen la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.



Figura 6. Diagrama de bloques de una instalación fotovoltaica autónoma

Sistemas de conexión a red:

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación, se vierte directamente en la red de distribución eléctrica mediante un inversor de corriente específico para este tipo de instalaciones.

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de las mismas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo como en tiempo, evitando situaciones peligrosas.

Por otra parte, se eliminan las baterías que son la parte más cara y compleja de una instalación (ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.).

Principales Componentes

- **Módulo Fotovoltaico:** captan la energía solar.
- **Inversor para la conexión a red:** es uno de los componentes más importantes, maximiza la producción, transforma la corriente continua en corriente alterna y decide el momento de introducirla en la red de distribución.
- **Elementos de protección:** protegen la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.
- **Contador de energía:** mide la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su período de funcionamiento.



Figura 7. Diagrama de bloques de una instalación fotovoltaica conectada a red.

Sistemas Híbridos:

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad.

Cuando un sistema fotovoltaico además del generador incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido, y en general se utiliza la energía eólica o los grupos electrógenos.

Estas combinaciones se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía.

Normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otra generación eléctrica.

La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

1.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe a la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

1.2.1. Efecto fotovoltaico:

El efecto fotoeléctrico o fotovoltaico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La materia está constituida por átomos, que tienen dos partes bien diferenciadas:

Núcleo: carga eléctrica positiva.

Electrones: carga eléctrica negativa.

Los electrones giran alrededor del núcleo en distintas bandas de energía y compensan la carga positiva de éste, formando un conjunto estable y eléctricamente neutro.

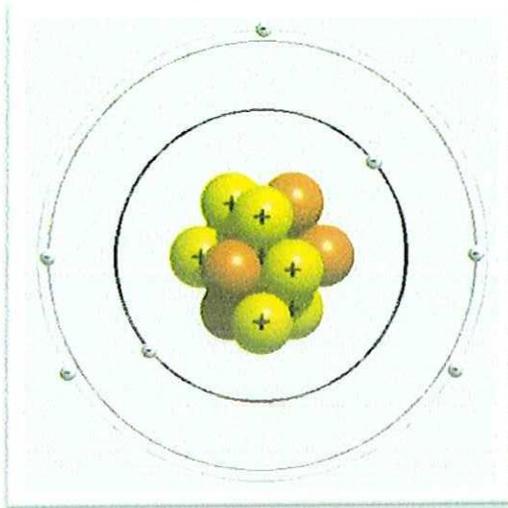


Figura 8. Átomo

Los electrones de la última capa se llaman electrones de valencia, y se interrelacionan con otros similares formando una red cristalina.

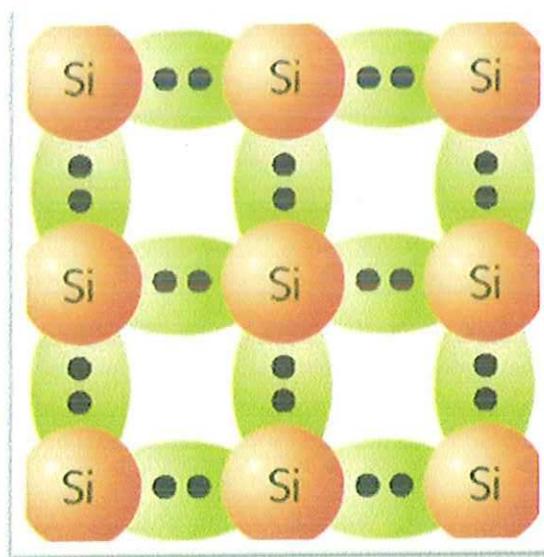


Figura 9. Red de silicio

Eléctricamente hablando, existen tres tipos de materiales:

Conductores Los electrones de valencia están poco ligados al núcleo y pueden moverse con facilidad dentro de la cristalina con un pequeño agente externo.

Semiconductores Los electrones de valencia están más ligados al núcleo

pero basta una pequeña cantidad de energía para que se comporten como conductores.

Aislantes

Tienen una configuración muy estable, con los electrones de valencia muy ligados al núcleo; la energía necesaria para separarlos de éste es muy grande.

Los materiales usados en las células fotovoltaicas son los semiconductores.

1.2.2. Materiales semiconductores:

La energía que liga a los electrones de valencia con su núcleo es similar a la energía de los fotones (partículas que forman los rayos solares).

Cuando la luz solar incide sobre el material semiconductor, se rompen los enlaces entre núcleo y electrones de valencia, que quedan para circular por el semiconductor.

Al lugar que deja el electrón al desplazarse se le llama hueco y tiene carga eléctrica positiva (de igual valor que la del electrón pero de signo contrario).

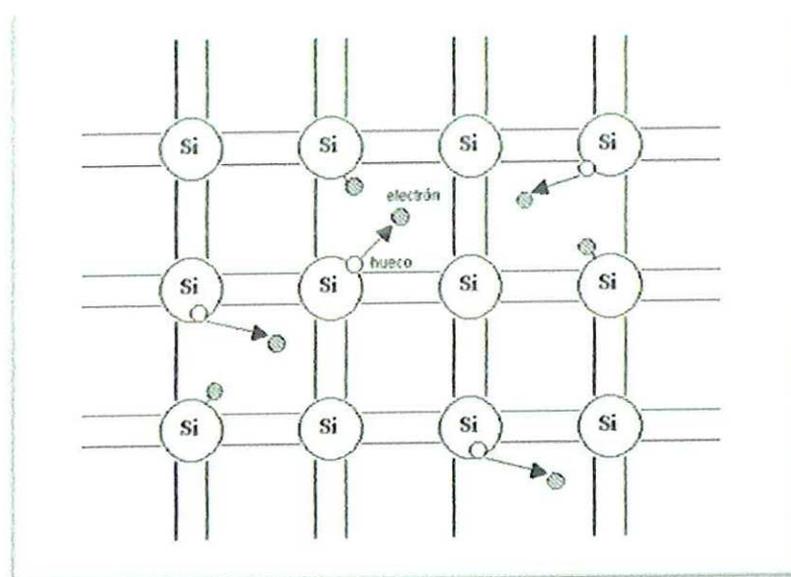


Figura 10. Funcionamiento de los materiales semiconductores.

Los electrones libres y los huecos creados por la radiación tienden a recombinarse perdiendo su actividad. Para que esto no ocurra, y poder aprovechar esta libertad de los electrones, hay que crear en el interior del semiconductor un campo eléctrico.

El material más utilizado en la fabricación de las células solares es el silicio, que tiene cuatro electrones de valencia.

Para crear un campo eléctrico en este tipo de semiconductores se unen dos regiones de silicio tratadas químicamente (unión "p-n").

Unión p-n: Para conseguir un semiconductor de silicio tipo "n" se sustituyen algunos átomos del silicio por átomos de fósforo, que tiene cinco electrones de valencia.

Como se necesitan cuatro electrones para formar los enlaces con los átomos contiguos, queda un electrón libre.

De forma análoga, si se sustituyen átomos de silicio por átomos de boro que tiene tres electrones de valencia, se consigue un semiconductor tipo "p".

Al igual que el caso anterior, al formar los enlaces, falta un electrón, o dicho de otra forma, hay un hueco disponible.

Para conseguir una "unión p-n" se pone en contacto una superficie de semiconductor tipo "n" con la de un semiconductor tipo "p".

Los electrones libres del material tipo "n" tienden a ocupar los huecos del material tipo "p" y viceversa, creándose así un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los electrones y los huecos continúan difundiéndose hacia lados opuestos.

El proceso continúa hasta que ya no se pueden intercambiar más electrones y huecos, consiguiéndose un campo eléctrico permanente sin la ayuda de los campos eléctricos externos.

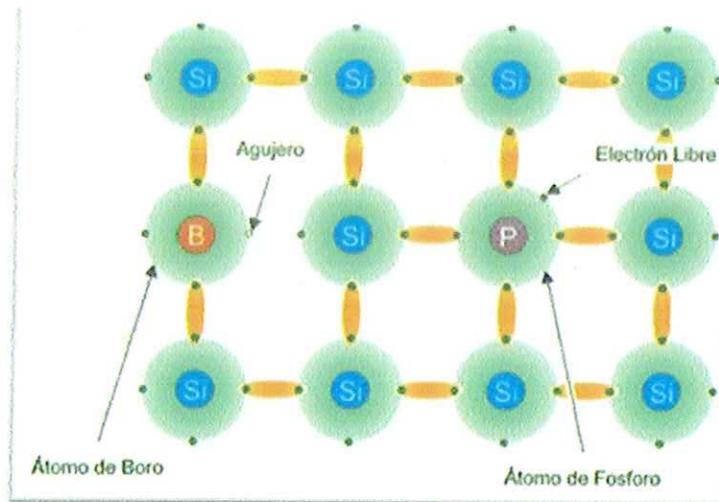


Figura 11. Unión p-n

Ancho de banda prohibido: para que se produzca el efecto fotovoltaico, es decir, para que se produzca una corriente eléctrica cuando incide energía sobre el material semiconductor, es necesario que los fotones tengan una energía

mayor que un valor mínimo determinado, que se denomina ancho de banda prohibida (E_g).

A este valor mínimo también se le denomina "gap" de energía y se suele expresar en electrón-voltios.

$$1\text{eV (electrón-voltio)} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

La energía que se aprovecha de cada fotón es la E_g . Si los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas tienen un E_g muy pequeña, se desaprovecharía mucha energía.

Si la E_g es muy grande, las células se mostrarían transparentes a la mayoría de los fotones incidentes ya que el espectro de la luz solar se distribuye sobre un rango de longitudes de onda que va desde $0,35\mu\text{m}$ hasta algo más de $3\mu\text{m}$.

El valor óptimo de E_g está en torno a $1,5\text{eV}$.

1.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.3.1. Células fotovoltaicas

La conversión de la radiación solar en corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica.

Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los $0,25\text{mm}$ y los $0,35\text{mm}$, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100cm^2 .

Cada célula fotovoltaica se compone de una delgada capa de material tipo "n" y otra de mayor espesor de material tipo "p".

Ambas capas separadas son eléctricamente neutras, y al juntarlas se genera un campo eléctrico en la unión "p-n".

Cuando la luz incide sobre las células los fotones rompen el par electrón-hueco. El campo eléctrico de la unión los separa para evitar que se recombinen, llevando los electrones a la zona "n" y los huecos a la zona "p". Mediante un conductor externo, se conecta la capa negativa a la zona positiva, generándose así un flujo de electrones (corriente eléctrica) de la zona "p" a la zona "n".

La superficie de la zona "n" es la cara que se ilumina.

Mientras la luz siga incidiendo habrá corriente eléctrica, y su intensidad será proporcional a la cantidad de luz que reciba la célula.

1.3.2. Tipos de células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas más utilizadas son las formadas por la unión "p-n" y construidas con silicio monocristalino, aunque existen diversos procedimientos y tipos de materiales para su construcción.

Hay una serie de aspectos que afectan a todos los materiales semiconductores:

Cristalinidad Indica la ordenación de los átomos en la estructura cristalina. El silicio, como otros materiales, puede aparecer en varias formas: monocristalinos, policristalino o amorfo.

Coefficiente de Absorción Indica cómo la luz lejana, que tiene una longitud de onda específica, puede penetrar el material antes de ser absorbida.

Un coeficiente de absorción pequeño significa que la luz no es absorbida fácilmente por el material.

Depende de dos factores:

- Material que hay encima de la célula: tiene que tener un mínimo coeficiente de absorción.
- Longitud de onda o energía de la luz que es absorbida.

Las células de silicio cristalino son de un espesor grande ya que tienen un coeficiente de absorción de la luz incidente relativamente reducido.

Coste y complejidad de fabricación

Varían dependiendo del material o materiales utilizados en las capas del semiconductor según los factores:

- Deposición en diversos compartimentos.
- Necesidad de trabajar en un ambiente determinado.
- Cantidad y tipo de material utilizado.
- Número de pasos implicados.
- Necesidad de mover las células.

Las partes más importantes de una célula solar son las capas del semiconductor, ya que es en ellas donde se liberan los electrones y se produce la corriente eléctrica. Para hacer las capas de las distintas células solares se utilizan diferentes materiales semiconductores, y cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

Células de silicio

Monocristalino

- Presenta una estructura completamente ordenada.
- Su comportamiento uniforme lo hace buen conductor.
- Es de difícil fabricación.
- Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
- Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica.
- Su rendimiento oscila entre 15-18 %.

Policristalino

- Presenta una estructura ordenada por regiones separadas.
- Los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la célula.
- Se obtiene de igual forma que la de silicio monocristalino pero con menos fases de cristalización.
- Su superficie está estructurada en cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos.
- Su rendimiento oscila entre 12-14%.

Amorfo

- Presenta un alto grado de desorden.
- Contiene un gran número de defectos estructurales y de enlaces.
- Su proceso de fabricación es más simple que en los anteriores y es menos costoso.
- Se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico.
- Son eficientes bajo iluminación artificial.
- Tiene un color marrón homogéneo.
- Su rendimiento es menor del 10%.

Célula de película delgada

- Una de las células más desarrolladas de este tipo es la de sulfuro de cadmio (Cd S) y sulfuro cuproso (Cu₂ S).
- Están formadas por la unión de dos materiales.
- Se necesita poco material activo.
- Su proceso de fabricación es sencillo.

Célula de Arseniuro de Gallo (Ga As)

- Los materiales utilizados están poco estudiados.
- La tecnología para su obtención está poco desarrollada.
- Tiene un rendimiento del 5% aproximadamente.
- Tiene buenos rendimientos con pequeños espesores.
- Mantiene sus características a elevadas temperaturas.
- Presenta tolerancia a radiaciones ionizantes.
- Elevado coste de producción.
- Material raro y poco abundante.
- Tiene un rendimiento del 27%.

1.3.3. Módulos Fotovoltaicos

Los paneles o módulos fotovoltaicos son un conjunto de células conectadas convenientemente de forma que reúnan unas condiciones determinadas que los hagan compatibles con las necesidades y equipos existentes en el mercado.

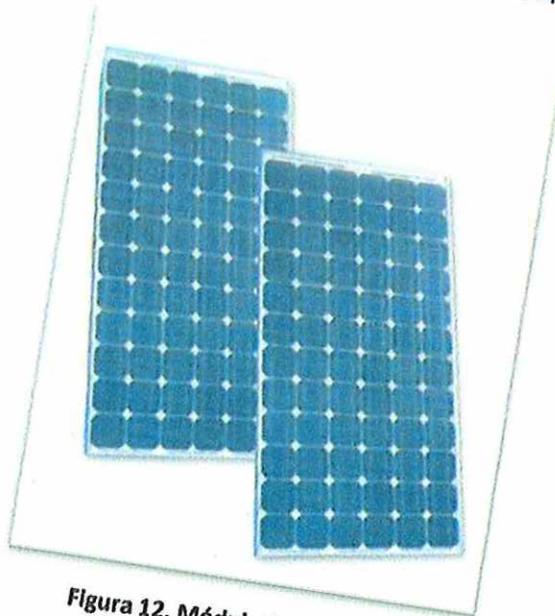


Figura 12. Módulo fotovoltaico.

- Los módulos proporcionan a las células:
- Resistencia mecánica.
 - Protección contra los agentes ambientales externos.

- Aislamiento eléctrico que garantiza su duración y la seguridad de las personas y animales que se encuentran en su entorno.

Unos de los objetivos principales de los módulos respecto a las células es favorecer la máxima captación solar evacuando el calor para mejorar el rendimiento.

Las células que se utilizan para construir un panel fotovoltaico han de tener los mismos parámetros eléctricos (se admiten pequeñas desviaciones) para que no se produzcan descompensaciones que limiten su funcionamiento.

Por ejemplo, la intensidad de toda una rama de células conectadas en serie queda limitada por la célula que tenga menor intensidad de corriente.

Por eso son muy importantes los ensayos finales que permitan clasificar y garantizar la igualdad de los parámetros y características eléctricas de las células.

El módulo fotovoltaico tiene varias capas que recubren a las células tanto por arriba como por abajo, dándoles protección mecánica y contra agentes ambientales, sobre todo contra el agua que puede llegar a causar la oxidación de los contactos que utilizarían la célula.

Estructura del Módulo Fotovoltaico

- La cubierta superior es de un vidrio templado especial, resistente a los golpes y con una superficie exterior sumamente lisa para que no retenga la suciedad. Es muy importante su calidad óptica para asegurar la mayor transparencia posible a la radiación solar.
- La cubierta inferior suele ser opaca y sólo tiene una función de protección contra los agentes externos. Se suelen utilizar materiales sintéticos, Tedlar u otro vidrio.
- Entre las dos cubiertas y envolviendo las células y las conexiones eléctricas, se encuentra el material encapsulante, que debe ser transparente a la radiación solar, no alterarse con la radiación ultravioleta y no absorber humedad. Además, protege a las células ante posibles vibraciones y sirve de adhesivo a las cubiertas. Los materiales que se utilizan son siliconas, polivinilos y sobretodo EVA (etil-vinil-acetileno).
- Todo esto, se monta sobre un soporte metálico, de aluminio anodizado o acero inoxidable, que confiere al panel rigidez y protección mecánica sobre todo contra el viento. Este soporte tiene taladros que permiten anclarlo y fijarlo sobre otros paneles.
- Por último, se encuentran los elementos eléctricos externos (cables, bornes, caja de conexiones, etc.) que permiten interconectar los paneles entre sí y con la instalación eléctrica exterior.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS UNAB



BIBLIOTECA

Curva Característica

La representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico (célula, módulo, sistema) se denomina curva intensidad-tensión (curva I-V).

La corriente y la tensión a las que opera un dispositivo fotovoltaico están determinadas por:

- Radiación solar incidente.
- Temperatura ambiente.
- Características de la carga conectada al mismo.

Curva de las células fotovoltaicas

La curva intensidad-tensión que define el comportamiento de una célula fotovoltaica es la representada en la figura:

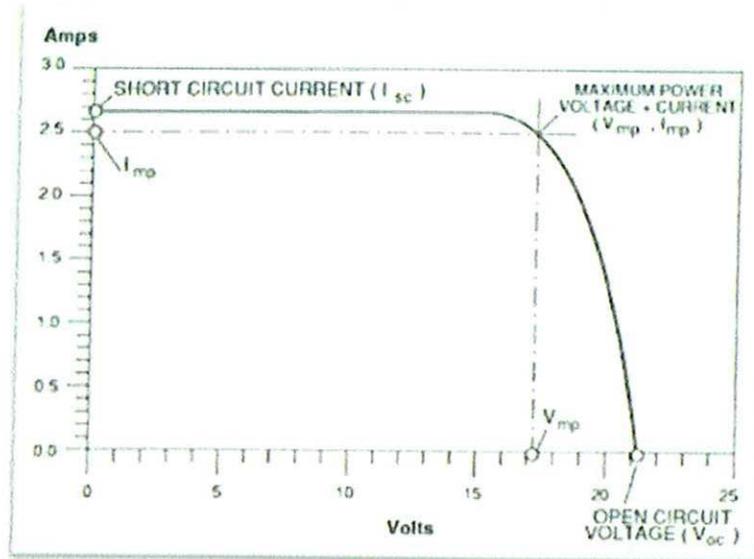


Figura 13. Curva Intensidad-tensión de una célula fotovoltaica.

Parámetros que definen una célula

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** es la máxima corriente que puede entregar una célula a tensión nula, en determinadas condiciones de radiación y temperaturas. Se puede medir directamente con un amperímetro conectado a la salida de la célula fotovoltaica.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** es la máxima tensión que puede entregar una célula a corriente nula, en determinadas condiciones de radiación y temperatura. Su medida se realiza conectando un voltímetro entre bornes.

- **Potencia pico ($P_{p\acute{o}Vmp \cdot Imp}$):** es la máxima potencia que puede suministrar una célula, y corresponde al punto de la curva donde el producto de la tensión por la corriente es el máximo. Todos los restantes puntos de la curva generan valores inferiores.
- **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.

Hay que tener en cuenta que:

- La tensión varía en función de la temperatura.
- La corriente que la célula suministra a una carga exterior es proporcional a la intensidad de la radiación y a la superficie de la célula.

Manteniendo la radiación constante y variando la temperatura:

Se observa que la tensión se va haciendo cada vez más pequeña a medida que va aumentando la temperatura mientras la corriente permanece prácticamente constante.

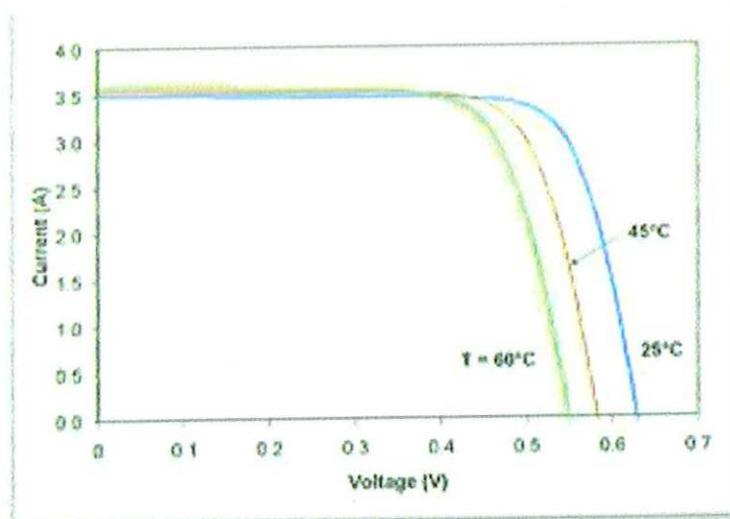


Figura 14. Efectos de la variación de la temperatura en una célula fotovoltaica.

Si por el contrario, se mantiene constante la temperatura y se varía la radiación: Se observa que la corriente se va haciendo más pequeña a medida que disminuye la radiación, mientras que la tensión casi no sufre variaciones.

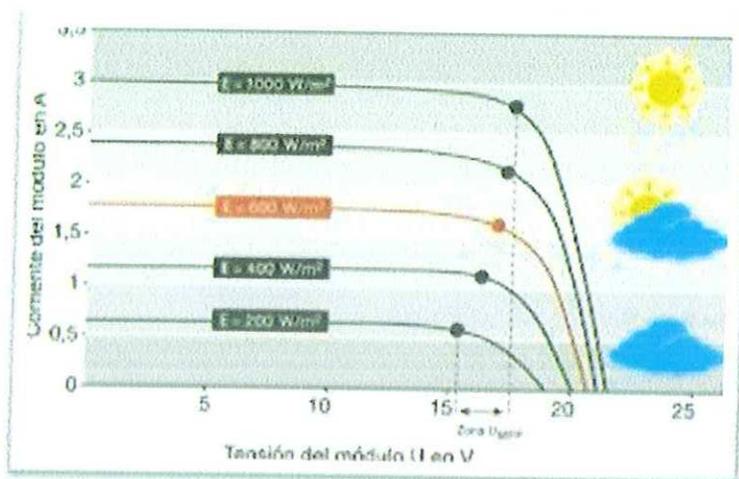


Figura 15. Efectos de la variación de radiación en una célula fotovoltaica.

Curvas de los módulos fotovoltaicos

La curva intensidad-tensión de un módulo, se obtienen a partir de las curvas de las células que lo componen.

Como todas las células de un módulo han de tener características iguales, para hallar la intensidad y corriente del módulo se hace lo siguiente:

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

$$I_{sc\text{módulo}} = I_{sc\text{célula}} * N_{células\text{paralelo}} \quad (1)$$

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

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

- 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.

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

1.4. OTROS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.4.1. Acumuladores o baterías eléctricas

Un acumulador o batería es un dispositivo electroquímico capaz de transformar una energía potencial química en energía eléctrica.

La misión principal de una batería dentro de un sistema solar fotovoltaicos es la de acumular la energía producida para que pueda ser utilizada en períodos donde la iluminación es escasa o incluso nula.

Conceptos generales: Una batería se compone esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas debidas a la carga o descarga.

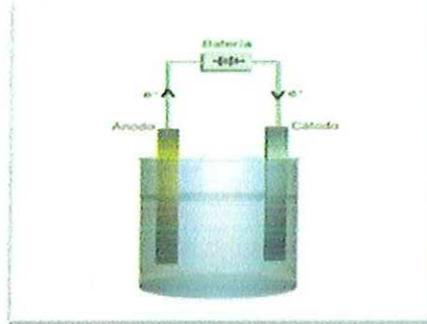


Figura 16. Componentes de una batería

Electrolito Puede ser un líquido, sólido o en pasta. Es un conductor iónico (con carga), que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

Electrodos Son conductores metálicos sumergidos en un electrolito. Uno de ellos es positivo, de donde parten los electrones al establecerse la corriente eléctrica, y el otro negativo, al que llegan.

La mayoría de las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un determinado número de celdas electroquímicas.

El voltaje o tensión de la batería viene dada por el número de celdas que posea, siendo el voltaje de cada celda de 2V.

Las características que definen el comportamiento de una batería son fundamentalmente:

- Capacidad de descarga en Amperios hora (Ah).
- Profundidad de descarga.
- Vida útil en ciclos.

Capacidad de descarga

Se define la capacidad como 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).

Una batería de 200Ah puede suministrar 200 A durante 1 hora, 50 A durante 4 hora, etc.

Existen factores que pueden variar la capacidad de una batería:

- **Tiempo de descarga:**
 - Si es corto disminuye la capacidad.
 - Si es largo aumenta la capacidad.

Los tiempos de descarga se refieren a 10, 20 ó 100h principalmente. En consecuencia se define la capacidad de descarga de una batería en un tiempo establecido, mediante la nomenclatura XX Ah C_{yy} donde XX es la capacidad de la batería e YY el tiempo de descarga de la misma.

- **Temperatura de la batería y de su entorno:**
 - Si es inferior a la temperatura a la que se cataloga la batería, la capacidad disminuye.
 - Si es superior, la capacidad aumenta pero puede reducir el número de ciclos de vida de la batería.
- **Conexión de baterías :**
 - En paralelo (positivo o positivo y negativo a negativo) se suman las capacidades. Sólo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

En serie (positivo a negativo) no afecta a la capacidad.

Profundidad de Descarga

Se denomina profundidad de descarga el porcentaje de la capacidad de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga-descarga.

En función de la profundidad de descarga las baterías se clasifican en :

- Baterías de descarga superficial: entre el 10-15% de descarga media, puede llegar hasta el 40-50%.
- Baterías de descarga profunda: entre el 20-25% de descarga media, pudiendo llegar hasta el 80%.

Para las aplicaciones fotovoltaicas se emplean baterías de descarga profunda.

Vida útil

La vida de una batería se expresa en ciclos, que se definen como el número de veces que se produce una carga-descarga.

Los factores de que depende la vida de una batería son:

- Espesor de las placas.
- Concentración del electrolito.
- Profundidad de descarga.

El factor más importante es la profundidad de descarga, cuanto más profunda sea la descarga, menor será el número de ciclos y por tanto menor será la vida

útil de la batería, al producirse constantes ciclos de carga y descarga profundas.

El número de baterías de ciclos de una batería así como la profundidad de descarga deben ser facilitados por el fabricante.

1.4.1.1. Conexión de Baterías

Las baterías se pueden conectar entre sí para incrementar el voltaje, la capacidad, o el voltaje y la capacidad:

- **Conexión en serie (positivo a negativo):** las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose baterías de 4, 6, 12 voltios, etc.



Figura 17. Conexión en serie de acumuladores.

- **Conexión en paralelo (positivo ya positivo y negativo a negativo):** las capacidades de las celdas se suman, manteniendo la misma.

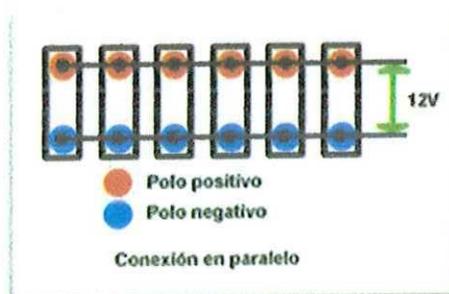


Figura 18. Conexión en paralelo de acumuladores.

1.4.1.2. Tipos de Baterías

Básicamente las baterías se dividen en dos grupos:

No recargables

- Son conocidas como pilas.
- La reacción química que se produce durante su uso es irreversible.
- Su vida dura lo que tardan en descargarse.

- Sólo necesitan normas básicas de conservación: evitar calores o fríos excesivos, evitar el sol y la humedad, etc.

Recargables

- Son conocidas como acumuladores.
- La reacción química que se produce durante su uso es reversible.
- Su vida útil depende del número de ciclos y de la profundidad de descarga.
- Necesitan algunas normas mantenimiento.

Existen diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se puede hablar de baterías de:

- Plomo-ácido.
- Níquel-cadmio.

Aunque estas últimas presentan unas cualidades excepcionales, no son muy recomendables para los sistemas fotovoltaicos ya que su costo es elevado.

Por el contrario los plomo-ácido son las más usadas ya que se adaptan a cualquier corriente de carga con un costo poco elevado.

- **Baterías de plomo-acido**

Este tipo de batería se usa en aplicaciones en las que el tamaño y el peso no son factores determinantes.



Figura 19. Batería Plomo-ácido.

Dentro de la categoría plomo-ácido las más comunes son:

- Plomo-antimonio
- Plomo-selenio
- Plomo-calcio

Características

- Tensión de celda: 2V.
- Capacidades de servicio típicas: 1-10000 Ah.
- Pueden ser abiertas o cerradas.
- Tienen un costo bajo.
- Requieren un alto mantenimiento.
- Necesitan ventilación y protección contra ambientes corrosivos (ácido y potencialmente explosivos (por desprendimiento de hidrógeno en la carga).
- Tienen un peso y tamaño considerable.

Las denominadas estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción para los sistemas fotovoltaicos.

Hay otros tipos de baterías de plomo que permiten su colocación casi en cualquier posición, ya que no derraman electrolito:

Selladas

- El electrolito es tipo gel.
- No admiten descargas profundas.

De electrolito absorbido

- El electrolito está absorbido en una fibra de vidrio.
- Permiten descargas moderadas.

- **Baterías de Níquel-cadmio**

Al igual que las baterías de plomo-ácido, se pueden encontrar en versión estándar y sellada.

Características

- El electrolito es alcalino.
- Admiten descargas profundas de hasta el 90% de la capacidad nominal.
- Bajo coeficiente de autodescarga.
- Alto rendimiento ante variaciones extremas de temperatura.
- Muy alto costo comparado con las baterías ácidas.

1.4.2. Reguladores o controladores de carga

En general, la primera necesidad es evitar la descarga de las baterías sobre los paneles, para ello básicamente se emplea un diodo que evite este tránsito de energía en forma inversa.

Por otra parte se debe disponer de un sistema de regulación que la batería se sobrecargue o que se descargue más de la cuenta porque podría deteriorarse.



Figura 20. Regulador o controlador de carga.

Los elementos que hacen estas dos funciones son los reguladores que conectan el campo fotovoltaico con las baterías.

Tipos de reguladores

- Una etapa**
- Es el diseño más simple.
 - Involucra una sola etapa de control: la descarga o la carga.
 - Se necesitan dos reguladores, uno para cada etapa.
- Dos etapas**
- Son más complejos
 - Controlan la carga y la descarga simultáneamente
 - Son los más habituales en las instalaciones fotovoltaicas.

Funcionamiento

El regulador monitorea constantemente la tensión de las baterías. Cuando dicha tensión alcanza un valor para el cual se considera que la batería se encuentra cargada (aproximadamente 14,1V para una batería de 12 V nominales) el regulador interrumpe el proceso de carga.

Cuando el consumo hace que la batería comience a descargarse y por lo tanto a bajar su tensión, el regulador reconecta el generador a la batería y vuelve a comenzar el ciclo.

Estas operaciones actualmente se realizan con el apoyo de un microprocesador que además puede gestionar la forma en que se carga la batería, optimizando la energía que producen los paneles fotovoltaicos.

En el caso de reguladores de carga cuya etapa de control opera en dos pasos, la tensión de carga a fondo de la batería puede ser algo mayor a 14,1V.

El regulador queda definido especificando su nivel de tensión (que coincidirá con el valor de tensión del sistema) y la corriente máxima que deberá manejar.

Algunos reguladores están equipados con un dispositivo electrónico que permite extraer la máxima potencia, paso por paso, del generador fotovoltaico (MPPT). Este dispositivo sigue el punto de máxima potencia y, obliga al generador fotovoltaico a trabajar en dicho punto. Tiene la función de adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga

1.4.3. Inversores de corriente

Los inversores de corriente, también llamados convertidores, son dispositivos que transforman la corriente continua en alterna.

Se basan en el uso de dispositivos electrónicos que actúan como interruptores que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

Existen, básicamente, dos tipos de inversores en función del tipo de instalación a la que se destinan:

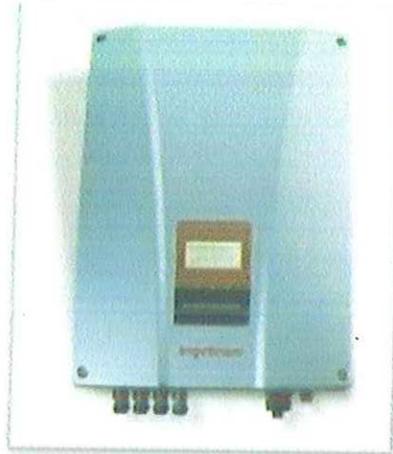


Figura 21. Inversor de carga

Instalaciones conectadas a la red de distribución de baja tensión

Los inversores de este tipo de instalación utilizan una fuente exterior (la red de distribución) para realizar la conmutación. La señal de salida del inversor sigue la tensión y frecuencia de la red a la que vierte la energía.

Instalaciones aisladas de la red de distribución de baja tensión.

Los inversores en este tipo de instalación tienen una conmutación forzada (autoconmutados), no necesitan la red porque ellos mismo fuerzan la conmutación.

Para la elección del inversor de sistemas aislados, es necesario tener en cuenta también la forma de onda producida, ya que existen diferentes tipos en función de estas características:

- De onda senoidal pura.
- De onda trapezoidal.
- De onda cuadrada.

Los primeros son los que reproducen una forma de onda prácticamente idéntica a la red eléctrica y, por consiguiente, permiten alimentar cualquier tipo de carga. Son los más caros.

Los otros dos tipos puede que no alimenten de forma correcta cargas de tipo electrónico, además producirán más pérdidas en equipos de consumo senoidal. SU elección está justificada cuando las cargas no son elevadas y la forma de onda es determinante para su correcto funcionamiento.

1.5. CERTIFICACIÓN LEED

Se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres y la selección de materiales.

1.5.1. Tipos de certificación leed

Existen cuatro niveles de certificación:

Certificado (LEED Certificate)



Plata (LEED Silver)



CER Oro (LEED Gold)



Platino (LEED Platinan)



Qué puntos se necesitan para cada certificación LEED



Puntos
40-49



Puntos
60-69



Puntos
50-59



Puntos
80-1

1.5.2. Uso de Energías alternativas en la Certificación LEED

- **Intención**

Para estimular y reconocer el aumento de los niveles de auto-suministro de energía renovable de un lugar, para reducir los impactos ambientales y económicos asociados con el uso de energía de combustibles fósiles.

- **Requerimientos**

Utilizar los sistemas de energía renovable in situ para compensar los costos de energía del edificio. Calcular el rendimiento del proyecto mediante la expresión de la energía producida por los sistemas renovables como un porcentaje del costo anual de energía del edificio y el uso de la siguiente tabla.

El porcentaje de energía renovable mínima para cada punto de umbral es de la siguiente manera:

Tabla 1. Porcentajes de la puntuación Leed

Porcentaje de Energía Renovable	Puntos
1%	1
3%	2
5%	3
7%	4
9%	5
11%	6
13%	7

- **Tecnologías y Estrategias Potenciales**

Evaluar el proyecto de energía renovable no contaminante y potencial, de bajo impacto incluyendo, eólica, geotérmica, solar, hidroeléctrica, la biomasa y las estrategias de bio - gas. Al aplicar estas estrategias, tomar ventaja de la medición neta con la compañía eléctrica local.

1.6. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis de proyectos es una técnica financiera y analítica a través de la cual se determinan los beneficios o las pérdidas en los que se puede incurrir en el momento de realizar una inversión, los resultados obtenidos sirven de sustento para la toma de una decisión final.

En estos análisis financieros se utilizan indicadores que permiten evaluar una futura inversión por ejemplo el VPN y la TIR.

1.6.1. VPN (Valor Presente Neto):

Es el método más conocido en el momento de evaluar proyectos de inversión a largo plazo, 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.

Se calcula a partir de la siguiente fórmula

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I0 \quad (4)$$

Vt representa los flujos de caja de cada período t

$I0$ es el valor del desembolso inicial de inversión.

n es el número de períodos considerados.

1.6.2. TIR (Tasa Interna de Retorno):

Tasa que iguala el VPN a cero; también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje.

Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I0 = 0 \quad (5)$$

Vt representa los flujos de caja de cada período t

$I0$ es el valor del desembolso inicial de inversión.

n es el número de períodos considerados.

1.6.3. Flujo Neto de Caja:

Es la sumatoria entre las utilidades contables con la depreciación y amortización de los activos.

1.6.4. Depreciación:

Es el mecanismo el cual reconoce el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él. Cuando un activo es utilizado para generar ingresos, este sufre un desgaste normal durante su vida útil que al final lo lleva a ser inutilizable

CAPITULO 2

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE 27KW, PARA EL HOMENCENTER DE CAJICÁ

2.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA A SUPLIR:

De acuerdo al interés de Homencenter por utilizar una fuente renovable de energía para abastecer parte de su demanda eléctrica, contacta a GIE S.A.S, para realizar el dimensionamiento y diseño para el SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO sobre cubierta, en el municipio de Cajicá, como aporte de un porcentaje de la demanda energética del edificio, de tal forma que se puedan obtener un ahorro en el consumo energético del establecimiento y aprovechar el área disponible en cubierta.

Este sistema se ha diseñado a partir de los requerimientos exigidos para obtener los puntos por energías renovables para la certificación LEED.

El diseño se ha realizado según la documentación facilitada por el solicitante, la cual se relaciona a continuación en la tabla (2), presentándose la demanda total anual y mensual.

Tabla 2. Demanda eléctrica Homecenter Cajicá

Demanda energética mensual estimada	96.250kWh/mes
Demanda energética anual estimada	1.155.000 kWh/año

2.2. CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO:

Para este proyecto el diseño se desarrolla de acuerdo al área disponible, por esto Homencenter proporciona un plano de la cubierta, el cual se toma como punto de partida para el dimensionamiento. Área disponible: 270 m²

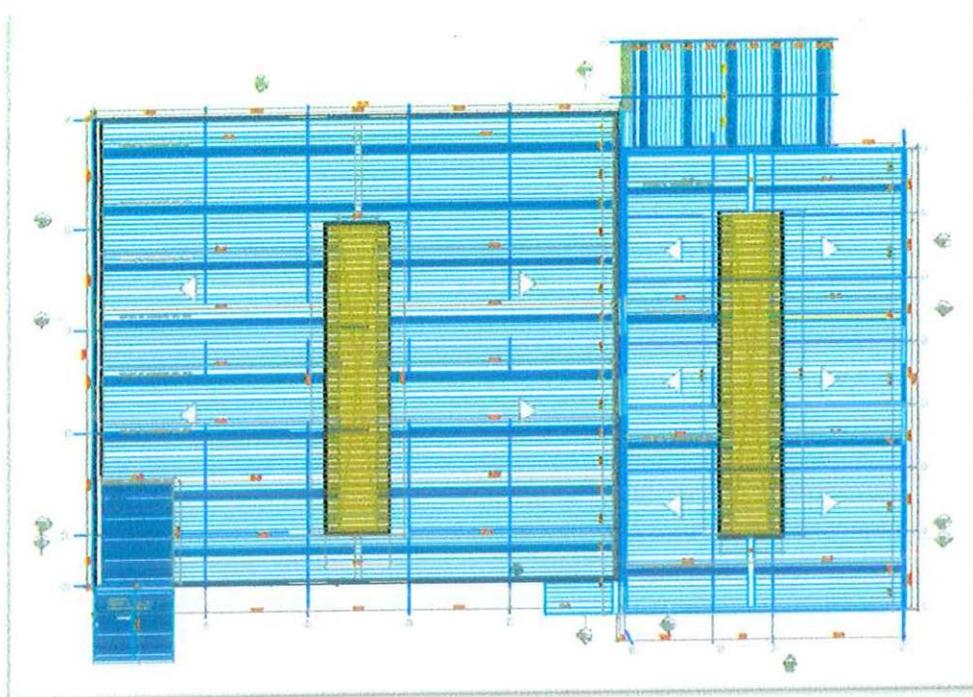


Figura 22. Plano cubierta Homecenter Cajicá

2.3. DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR

Para saber la cantidad de energía que se dispone hay que tener la ubicación específica del lugar, ya que la radiación varía según la ubicación geográfica, la producción de energía se ve afectada por las condiciones meteorológicas, para el diseño es importante tener valores promedios de irradiación solar tomados en una estación con equipos especializados; debido a la falta de un centro especializado que pueda facilitar estos datos, se toman de una fuente confiable a nivel mundial como la agencia de la NASA y RETScreen, la cual nos da una buena aproximación debido a la calidad de los equipos utilizados para la toma de datos.

Para esto es necesario conocer datos puntuales como: país, región, latitud, longitud, altitud y zona horaria, para el Cajicá los datos son:

Tabla 3. Datos de localización de Cajicá

Localización	CAJICA
País	Colombia

Región	América del Sur
Latitud	4,88° N
Longitud	74,03° W
Altitud	2300 msnm
Zona horaria	GMT -5

Con base en los datos suministrados se obtienen los datos de irradiación promedio mensual para el municipio de Cajicá.

Tabla 4. Irradiación, temperatura y velocidad del viento promedio mensual de Cajicá

	Irradiación Global	Irradiación Difusa	Temperatura Amb.	Vel. de Viento
	kWh/m²	kWh/m²	°C	m/s
Enero	150.7	70.98	19.20	1.6
Febrero	135.2	67.66	19.70	1.7
Marzo	152.2	78.39	19.70	1.7
Abril	139.5	81.76	19.60	1.6
Mayo	146.3	74.72	19.40	1.6
Junio	144.9	69.86	18.90	1.9
Julio	155.0	69.91	18.90	2.0
Agosto	157.2	73.89	19.70	1.8
Septiembre	150.9	78.50	20.20	1.7
Octubre	145.7	72.71	19.70	1.5
Noviembre	138.0	67.30	19.20	1.5
Diciembre	142.6	60.65	19.00	1.7
Anual	1758.2	866.32	19.43	1.7

- Trayectoria solar

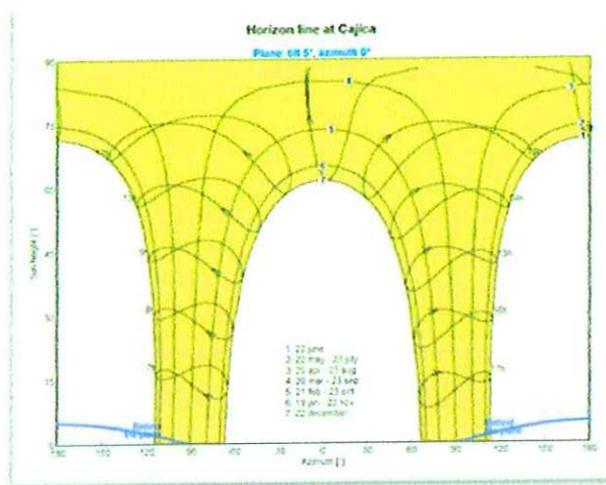


Figura 23. Trayectoria solar de Cajicá

2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

- Dimensionamiento de los paneles solares

Número de módulos fotovoltaicos:

Como se había explicado anteriormente se necesita suplir un porcentaje del consumo eléctrico del almacén, teniendo en cuenta esto se toma como base la demanda mensual de energía eléctrica. Pero antes de esto debemos tener en cuenta el recurso solar disponible.

Las Horas Solares Pico: son una unidad que mide la irradiación solar de un lugar determinado, y puede ser definido como el tiempo en horas en que permanece la constante de radiación solar de 1000 W/m^2 :

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

G_c : Irradiancia global diaria sobre el plano horizontal

$$HSP = \frac{4,85 \frac{KWh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HSP = 4,85 \text{ h}$$

Una vez se sabe la cantidad de energía solar disponible, y sabiendo el área disponible se realiza el cálculo de la cantidad de potencia que se podría instalar; debido al gran consumo del almacén se decide suplir el 3% de la

demanda, debido a que no existe una mayor área disponible para ubicar los paneles.

Tabla 4. Demanda energética del almacén

Demanda energética mensual estimada	96.250	kWh/mes
Demanda energética diaria estimada	3.208	kWh/día
Demanda energética diaria estimada (3%)	96,25	kWh/día

$$PotenciaInstalada = \frac{DemandadeEnergíadiaria}{HSP * PR}$$

PR: Performance ratio (el cálculo de este parámetro se explicará más adelante).

$$PotenciaInstalada = \frac{96,25 \text{ Kwh/día}}{4,85h * 0,8}$$

$$PotenciaInstalada = 24,8 \text{ Kw}$$

A partir del cálculo anterior y viendo la disponibilidad de área se decide por instalar un sistema de 27KW.

2.4.1. Módulos fotovoltaicos:

Para este caso se escogen módulos fotovoltaicos de 250W; debido a su alta transmisividad, bajo contenido de hierro de vidrio templado, excelente eficiencia y alta resistencia a las presiones del viento; para hacer uso del área total de 270 m², esto a su vez se ubicarán sobre una estructura metálica de en cubierta.

$$Número \ de \ paneles \ solares = \frac{Potencia \ Instalada}{250W}$$

$$Número \ de \ paneles \ solares = \frac{27Kw}{250W}$$

$$Número \ de \ paneles \ solares = 108 \text{ módulos}$$

Según el Pliego de Condiciones del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), la inclinación de los módulos solares se define mediante el ángulo de inclinación β , que es el ángulo que forma la superficie de los

módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulo horizontal y 90° para módulos verticales.

Para utilizar este método ha de tenerse en cuenta, la latitud del emplazamiento donde estarán instalados los paneles solares.

Por esto los paneles fotovoltaicos tendrán una inclinación no mayor a 10 grados, orientados hacia el sur geográfico (esto debido a su latitud, cercana al Ecuador, hace que la radiación solar incida casi perpendicularmente), teniendo en cuenta que el Municipio de Cajicá se encuentra ubicado en una latitud de 4,916°. Para evitar acumulación de agua y ayudar a la limpieza del panel, se diseña el arreglo fotovoltaico con una inclinación de 10 grados.

Según las condiciones que se requieren para implementar la instalación de energía solar fotovoltaica, se diseña un sistema con una potencia instalada total de 27kWp correspondiente al uso de un área total de 255 m².

La instalación tendrá las siguientes características:

Tabla 5. Resumen de la instalación fotovoltaica

Potencia pico a instalar	27kWp
Número de módulos fotovoltaicos	108 unidades
Potencia pico del módulo fotovoltaico	250Wp
Área del módulo PV	1,63 m²
Área intervenida	255 m²

El diseño propuesto cuenta con una instalación fotovoltaica de 27kW de potencia instalada, distribuida en 3 arreglos independientes desde el punto de vista de la generación, cada uno con una potencia instalada de 8,0 kW. Con esta configuración es posible conseguir una distribución de energía eléctrica más homogénea en cada una de las fases del sistema trifásico.

Cada una de las tres instalaciones tendría las siguientes características:

Tabla 6. Características de los 3 arreglos fotovoltaicos.

Potencia pico instalada	9,0kWp
Número de módulos fotovoltaicos	36 unidades
Potencia pico del módulo fotovoltaico	250 W
Número de Inversores	1 monofásico
Potencia nominal de inversor	8.000 W

El arreglo fotovoltaico estará integrado a tres (03) inversores trifásicos, cada uno de ellos con una potencia nominal de 8000W para una potencia total instalada de 24000W. La energía generada por la instalación fotovoltaica será acondicionada de tal manera que se entregue a la red, en sistema trifásico y en una tensión normalizada para su uso de 208 VAC.

De esta forma la cantidad de módulos que se podrían instalar, tendrían las características son:

Tabla 7. Características del módulo de 250 W

Fabricante	YINGLI SOLAR
Potencia del módulo fotovoltaico	250 W
Tecnología del módulo	Silicio Policristalino
Eficiencia del módulo fotovoltaico	15,37%
Peso NETO por módulo	19,1 Kg
Dimensiones	1650 mm x 990 mm x 40 mm
Área del módulo	1,6335 m²
Potencia por metro cuadrado	153,04 Wp/m²

Características de los módulos fotovoltaicos

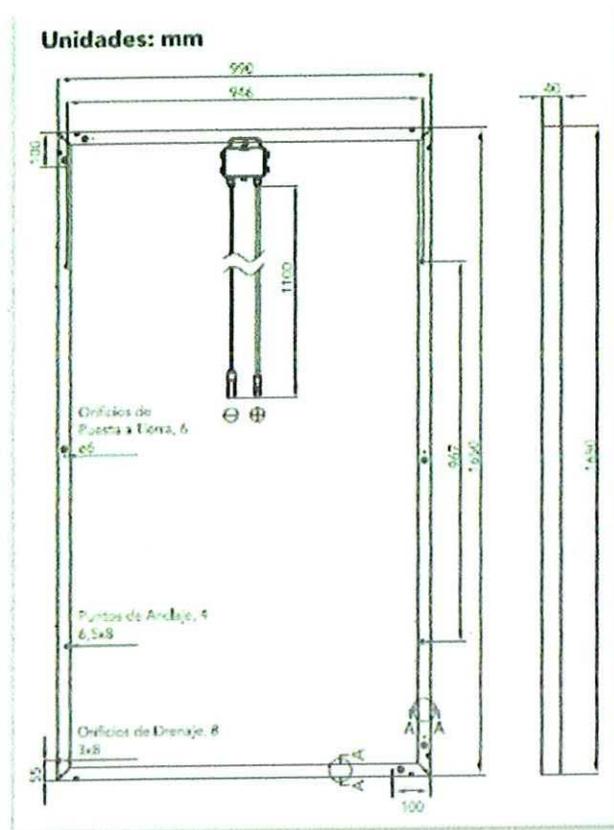


Figura 24. Modulación de los paneles sobre cubierta

Los módulos deben contar con certificaciones de calidad reconocidas a nivel mundial como: IEC 61215, IEC61730, ISO9001:2008, ISO14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PVCycle.

Tabla 8. Parámetros del módulo fotovoltaico

PARAMETROS ELECTRICOS PARA STC		
Potencia de salida	250	W
Eficiencia del módulo	>15%	
Tensión en Pmax	30,4	V
Intensidad en Pmax	8,24	A
Tensión en circuito abierto	38,4	V

Intensidad en cortocircuito	8,79	A
CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS		
Coefficiente de temperatura para Pmax	-0,45	%/C
Coefficiente de temperatura para Voc	-0,33	%/C
Coefficiente de temperatura para Isc	-0,06	%/C
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Dimensiones	1650/990/40	Mm
Peso	19,1	Kg
Máxima tensión del sistema	1000	V
Rango de temperatura de funcionamiento		C
Célula solar (Cantidad/tipo)	60/Silicio policristalino	

2.5. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE INVERSIÓN DC/ AC DE CONEXIÓN A RED:

Para el diseño se ha contemplado el uso de 3 inversores de 8000W cada uno, para un total de 24000W, que deben cumplir con las siguientes características mínimas:

Tabla 9. Parámetros del Inversor

DATOS TÉCNICOS		
ENTRADA CC		
Potencia Máxima en CC (FP=1)	8750	W
Voltaje máximo en CC	600	V
Voltaje nominal CC	310	V
Rango de Voltaje en PMM	250 – 480	V

Voltaje mínimo en CC	250 / 300	V
Corriente máxima por String	25 / 20	A
SALIDA CA		
Potencia Nominal en CA	7000	W
Voltaje Nominal CA Ajustable	208 / 240 / 277	V
Frecuencia de la Red	59,3 - 60,5	Hz
Corriente Máxima de salida	33 / 25 / 22	A
Armónicos	< 4%	
CARACTERISTICAS GENERALES		
Eficiencia	95 / 96 / 97,0	%
Dimensiones	470/615/240	mm
Peso	35	Kg
Garantía	10 años	
Consumo Interno	0,1	W

Al igual que los módulos fotovoltaicos, los inversores requieren certificaciones internacionales necesarias para la instalación y garantía de calidad del equipo:

UL1741 (Second Ed.), UL1998, UL1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CSA C22.2 No. 107.1-2001.

2.6. RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE LA INSTALACIÓN (PR):

Se define Pr como la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño.

Este factor considera las pérdidas en la eficiencia energética debidas a:

- Efecto de la temperatura en las células fotovoltaicas
- Dispersión de los módulos solares.
- Suciedad de los módulos solares.
- Pérdidas en el cableado.
- Errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.

- Otros

Los elementos integrantes del campo solar definen la mayoría de estos parámetros.

PR puede englobar tantos factores como el diseñador pueda cuantificar, a fin de establecer un valor de eficiencia de la instalación de lo más aproximado a las condiciones reales.

Se estima mediante la siguiente expresión y su valor varía en el tiempo en función de las distintas condiciones a las que se ve sometida la instalación:

$$PR(\%) = (100 - A - Ptemp) * B * C * D * E * F$$

Cada uno de los términos de PR se Explicará por separado.

- A: es la suma de otros tres parámetros.

$$A = A1 + A2 + A3$$

A1 Representa la dispersión de los parámetros entre los módulos, debido a que no operan normalmente en las mismas condiciones que las reconocidas como estándar de medida, CEM (Condiciones Estándar de Medida).

Un rango de valores del 10% es de una dispersión elevada, entre un 5% y un 3% es un valor adecuado.

Se asume del 3%.

A2 Representa el efecto del polvo y la suciedad depositados sobre los módulos solares

Es un valor muy variable, puesto que depende del emplazamiento de la instalación.

La posibilidad de realizar mantenimientos periódicos en este aspecto influye a la hora de estimar este coeficiente.

El rango de valores estaría entre el 2% para instalaciones poco afectadas por el polvo y suciedad, hasta el 8% donde este aspecto puede tener una mayor influencia.

Se asume del 2,7%.

A3 Contempla las pérdidas por reflectancia angular y espectral.

El acabado superficial de las células tiene influencia sobre este coeficiente, también la estacionalidad influye en este parámetro, aumentando las pérdidas en invierno, así como la latitud.

Un rango de valores puede estar entre el 2% para pérdidas bajas, un 4% para pérdidas moderadas y el 6% para pérdidas altas.

Se asume del 2%.

$$A = 0,03 + 0,027 + 0,02$$

$$A = 0,0776 \text{ 7,7\%}$$

Ptemp: Representa las pérdidas medias anuales debidas al efecto de la temperatura sobre las células fotovoltaicas.

$$P_{tem}(\%) = 100 * (1 - 0,0035 * (T_c - 25))$$

Siento Tc la temperatura de trabajo de las células solares.

$$T_c = T_{amb} + (TONC - 20) * \frac{E}{800}$$

Tamb Temperatura del ambiente en C. T = 19C

TONC Temperatura de operación nominal del módulo fotovoltaico. Este valor lo proporciona el fabricante.

$$T = 25C$$

E Irradiación solar en W/m²

$$T_c = 19 + (25 - 20) * \frac{4850}{800}$$

$$T_c = 49,3135 C$$

$$P_{tem}(\%) = 100 * (1 - 0,0035 * (49,3125 - 25))$$

$$P_{tem}(\%) = 91,49$$

La temperatura de las células se eleva por encima de la temperatura ambiente de forma proporcional a la irradiancia incidente, lo que tiene como consecuencia una reducción del rendimiento de las mismas.

- B: Coeficiente relacionado con las pérdidas en el cableado de la parte de corriente continua, es decir, entre los módulos fotovoltaicos y el inversor. Se incluyen las pérdidas en los fusibles, conmutadores, conexiones, etc.

$$B = (1 - L_{cabcc})$$

El valor máximo admisible para Lcabcc es de 1,5% por lo que el valor mínimo de B será 0,985.

Para el diseño se asume un valor de Lcabcc = 1%, por lo tanto:

$$B = 1 - 0,01 = 0,99$$

- C: coeficiente que, al igual que el anterior, está relacionado con las pérdidas en el cableado, pero en este caso en la parte de corriente alterna.

$$C = (1 - L_{cabca})$$

El valor máximo admisible para L_{cabca} es 2% y un valor recomendable es el 0,5%, por lo que C tendrá unos valores comprendidos entre 0,980 y 0,995.

Para el diseño se asume un valor de $L_{cabca} = 0,5\%$, por lo tanto:

$$C = 1 - 0,005 = 0,995$$

- D : está relacionado con las pérdidas por disponibilidad de la instalación. Con este coeficiente se cuantifican las pérdidas debidas al paro de la misma, de forma parcial o total, debido a fallos en la red, mantenimientos, etc.

$$D = (1 - L_{disp})$$

Un valor adecuado para las pérdidas por dispersión es el 5%, por lo que el valor mínimo de D será 0,95.

Para el diseño se asume un valor de $L_{disp} = 3\%$ por lo tanto:

$$D = (1 - 0,03) = 0,97$$

- E : representa los valores de eficiencia del inversor. En este caso hay que atender a los valores de rendimiento europeo y a la potencia del inversor a utilizar. Teniendo en cuenta los valores dados por el fabricante la eficiencia del inversor es 0,98%.
- F : está relacionado con las pérdidas por el no seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT ó PMP) y en los umbrales de arranque del inversor.

$$F = (1 - L_{pmp})$$

Unos valores de referencia para estas pérdidas pueden ser entre el 5% y el 10% pudiendo tomar como valor de referencia el 8%, por lo que F tendrá valores comprendidos entre 0,95 y 0,90.

Para el diseño se asume un valor de $L_{disp} = 5\%$ por lo tanto:

$$F = (1 - 0,05) = 0,95$$

Ya teniendo todas las variables que afectan el rendimiento energético de la instalación se hace el cálculo final, por lo tanto:

$$PR(\%) = (100 - A - P_{temp}) * B * C * D * E * F$$

$$PR(\%) = (100 - 7,6 - 91,49) * 0,99 * 0,995 * 0,97 * 0,98 * 0,95$$

$$PR(\%) = 0,809 \text{ o } 80,9\%$$

2.7. DETERMINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL SISTEMA:

El arreglo fotovoltaico debe contar con protecciones en corriente continua para sobretensiones y rayos que puedan impactar sobre cubierta y afectar los componentes fotovoltaicos instalados sobre ésta.

Las protecciones deben en general cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

Tabla 10. Parámetros de las protecciones

DATOS TÉCNICOS		
Tensión máx. PV		600 Vdc
Modo de Protección	MC	
Tensión máx. de operación		720 Vdc
Corriente de corto circuito	> 1000	A
Corriente de funcionamiento	< 0,1	mA
Corriente de fuga	< 0,1	mA
Corriente de descarga nominal		15 kA
Corriente de descarga máx.		40 kA
Nivel de protección MC/MD		2,2 kV
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Dimensiones	90 / 67 / 36	Mm
Modo de final de vida	desconexión del descargador de la líneaPV	
Indicador de desconexión	por indicador mecánico	
Teleseñalización	Opcional	
Montaje	Carril DIN 35 mm	
Temperatura de	- 40/85°C	

funcionamiento**Clase de protección**

IP20

Material de la caja

Termoplástico UL94-V0

- **Terminales MC4**

Los módulos fotovoltaicos cuentan con conexión de terminales MC4 (cableado 10 y 12 AWG), que facilitan la instalación de los módulos fotovoltaicos y garantizan una conexión segura entre éstos. Los terminales MC4 deben tener las siguientes características:

Tabla 11. Parámetros de las terminales MC4

DATOS TÉCNICOS		
Sistema Conector (diámetro)	4	Mm
Voltaje nominal	600	
Corriente nominal (90°C)	30 A	(10 AWG)
Voltaje de prueba	6.0	kV
Temperatura de operación	-40°C / 90°C	°C
Temperatura máxima	105 °C	
Grado de protección	IP68	
Categoría sobrevoltaje	CATIII/2	
Resistencia de los conectores	0,5	mOhm
Safety Class	II	

2.8. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

2.8.1. Soporte liviano en fibra de vidrio

La propuesta que aquí se realiza considera integrar una zona de la cubierta, equivalente a aproximadamente 255 m². La zona seleccionada es una cubierta de la trastienda que posee 270 m², con azimut respecto al sur de aproximadamente 32°, donde según planos especificados, no se impactarán sombras sobre el arreglo fotovoltaico.

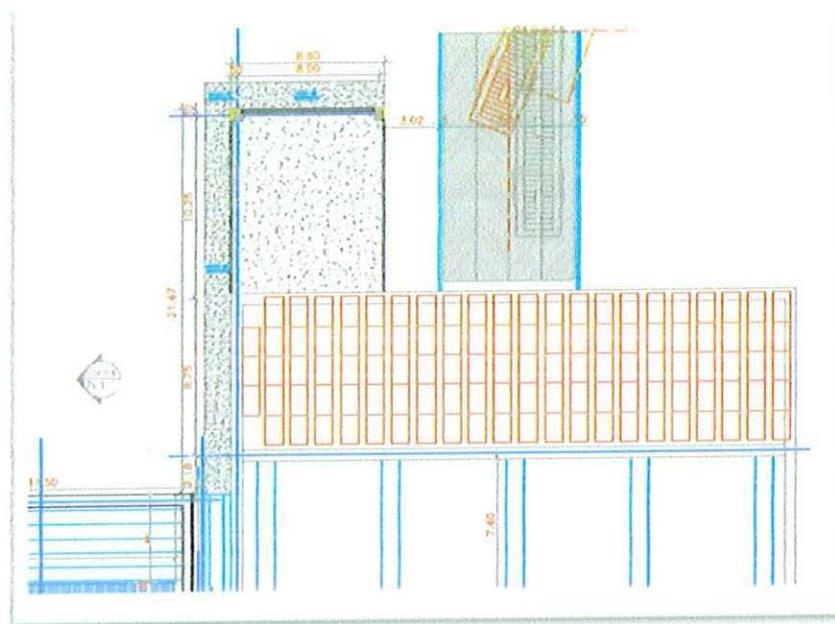


Figura 25. Zona de la trastienda y ubicación de los 108 módulos solares

Para la instalación de este tipo de montaje, es necesario que se cumpla con las siguientes dimensiones de área mínimas:

- Largo: 30,9 metros
- Ancho: 8,25 metros

El sistema de soporte de los módulos fotovoltaicos que se plantea es de tipo no penetrante sobre cubierta plana. Esto con la intención de no intervenir la cubierta de la trastienda lo que permite una instalación rápida y liviana pero lo suficientemente resistente para soportar las velocidades de viento promedio de la zona.

Los soportes son de fiberglass o fibra de vidrio, que son estructuras livianas pero lo suficientemente resistentes para soportar el peso de los módulos fotovoltaicos que pesan 19kg aproximadamente. Estos soportes de fibra de

vidrio se complementan con bloques de concreto de aproximadamente 35Kg por módulo. Al tener en cuenta el peso de los soportes en fibra de vidrio, los bloques de concreto, los módulos fotovoltaicos y pequeños elementos del sistema de soporte, la cubierta de la trastienda estaría soportando una carga de 30kg/m² teniendo en cuenta un factor de seguridad del 15%.

Los requisitos para la instalación de este sistema de soporte son los siguientes:

- Cubierta plana de 255 m² según el plano especificado anteriormente.
- Inclinación de cubierta mínima para recolección de aguas lluvias.
- Capacidad de carga mínima de 30kg/m².

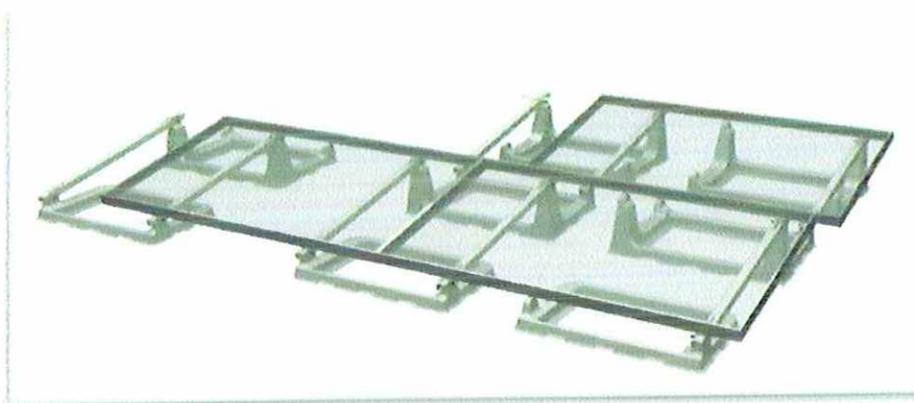


Figura 26. Sistema de soporte No Invasivo sobre cubierta en Fibra de vidrio



Figura 27. Vista general de sistemas instalados con soporte en fibra de vidrio.

2.9. COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYS

PVsys es una herramienta que sirve para desarrollar instalaciones fotovoltaicas que permite el estudio, la simulación y análisis de datos completa de los sistemas fotovoltaicos. Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación.

Para poder hacer uso del simulador es necesario introducir los siguientes datos tipo de instalación, datos de ubicación, demanda energética e inclinación de los módulos, los cuales se relacionan a continuación.

Tabla 12. Datos de entrada para simulación

Tipo de instalación	Conectado a red	
Latitud	4,88	N
Longitud	74,03	W
Altura	2300	Msnm
Inclinación	10	Grados
Demanda Energética	34650	KWh/año

Datos introducidos a PVSyst de 27 KW

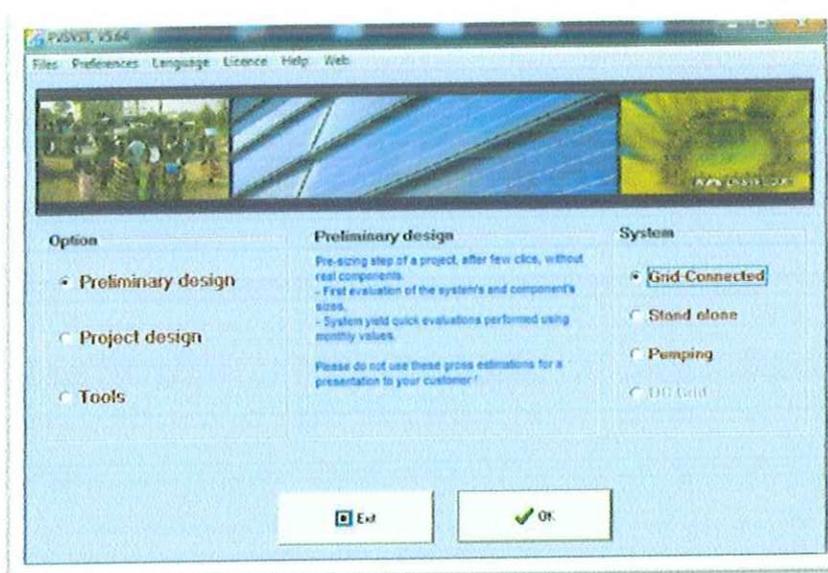


Figura 28. Interfaz inicial PVSyst.

2.9.1. Resumen de simulación en PVSyst

Tabla 13. Datos simulación Pvsyst Conectado a red 27 KW

Datos de simulación PvSyst		
Tipo de sistema	Conectado a red	
Tipo de Módulo	Yingli 250P-29b	
Potencia pico del módulo	250	W
Potencia pico de la instalación	27000	W
Cantidad de módulos	108	Unidades
Módulos en serie	12	Unidades
Módulos en paralelo	9	Ramas
Tipo de inversor	SunnyBoy SB 8000 US-12-277	
Cantidad de inversores	3	Unidades
Energía producida por sistema FV	37,67	MWh/año
Performance Ratio	79,50%	

El reporte dado en la simulación de PVSyst se adjunta en el (anexo 1), junto con el diagrama unifilar (anexo 2) del sistema.

Beneficios de la Certificación Leed

Beneficios económicos: pueden llamar la atención de los inversionistas y los fondos de inversión como una alternativa que genera valor; aunque en un principio el costo de inversión es más elevado que un sistema convencional, pero esto a su vez retorna un retorno adicional, debido al ahorro de energía y a la disminución del costo de los residuos.

Beneficios ambientales: Sin duda, la implementación del sistema LEED es sinónimo de aprovechamiento racional y sustentable de los recursos naturales y el medio ambiente para satisfacer las necesidades productivas y económicas de un proyecto, uno de los objetivos del sistema LEED es aprovechar al máximo los materiales regionales de la zona que permita, satisfacer las necesidades energéticas sin dañar el medio ambiente.

CAPITULO 3

DISEÑO DE UN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW, EN ZONAS RURALES DE VILLAVIEJA

3.1. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE DEMANDA Y POTENCIA SUPLIR:

De acuerdo a la necesidad comunicada por el Observatorio de La Tatacoa, se realiza el diseño de SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS – para electrificación en zonas rurales del municipio de Villavieja - Huila, con el fin de abastecer el consumo de cargas eléctricas de diferentes zonas con energía solar fotovoltaica.

El siguiente diseño se hace abastecer consumo de energía eléctrica las diferentes zonas rurales del observatorio La Tatacoa (Villavieja – Huila), aprovechando el recurso solar disponible. El diseño se ha realizado según la documentación facilitada por el solicitante.

Se detallan los parámetros contemplados para el diseño y la selección de equipos requeridos para cada tipo de instalación.

3.1.1. Parámetros de diseño

El diseño del sistema fotovoltaico se realiza a partir del levantamiento de cargas y consumos de una vivienda promedio de la zona, también en cuenta los datos meteorológicos y de radiación de la zona en donde se encuentran ubicadas las viviendas.

Este levantamiento de cargas comprende todos los equipos eléctricos y electrónicos instalados en las viviendas, su tiempo de uso y potencia instalada, y así realizar una estimación del consumo de energía promedio diario.

Para el proyecto se denominan 2 tipos de instalaciones para dos tipos de aplicaciones diferentes:

TIPO 1: Vivienda promedio en zona rural (122 viviendas).

TIPO 2: Aplicación Residencial/comercial para turistas de la zona (17 viviendas).

Tabla 14. Cuadros de Carga casa tipo I y tipo II

• Vivienda tipo 1 residencial rural

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS DE USO (h)	ENERGÍA (Wh)
TV	1	160	160	5	800
Ventilador	2	80	160	4	640
Luminaria	5	20	100	5	500
Radio	1	40	40	4	160
Tomas	3	65	195	2	390
Nevera	1	100	100	8	800
TOTAL			755		3290

• Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS DE USO (h)	ENERGÍA (Wh)
TV	2	160	320	5	1600
Ventilador	4	80	320	4	1280
Luminaria	7	20	140	5	700
Radio	2	40	80	4	320
Tomas	5	65	325	4	1300
Nevera	1	100	100	8	800
Horno M	1	800	800	0,4	320
TOTAL			2085		6320

3.2. DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR

En las siguientes páginas se plantea la propuesta de ubicar en cubierta tecnología solar fotovoltaica con arreglo de baterías como sistema de almacenamiento de energía.

Tabla 15. Datos de localización de Villavieja

Localización	Villavieja
País	Colombia
Región	América del Sur
Latitud	3,2° N
Longitud	75,2° W
Altitud	450 m
Zona horaria	GMT -5

En este caso se propone la integración de tecnología de silicio cristalino instalado sobre cubierta plana. Esta es la tecnología que mejor ratio kWh/m² ofrece entre todas las tecnologías y supondrá un aumento notable de la producción fotovoltaica.

Esta integración se propone dadas las condiciones geográficas de Villavieja. Su latitud, cercana al Ecuador, hace que la radiación solar incida perpendicularmente sobre cubierta. Es por ello que integrar en la cubierta es una opción de integración muy recomendable para este caso concreto.

Para realizar un dimensionamiento y diseño adecuado de los sistemas fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta las condiciones meteorológicas y de radiación solar del lugar de implementación del proyecto de generación eléctrica con energía solar fotovoltaica.

3.2.1. Radiación Solar y Horas Solares Pico (HSP)

La radiación solar es la energía radiante emitida por el sol. Normalmente se asume como constante de radiación solar en la tierra el valor de 1000 W/m², como la máxima cantidad de radiación solar que puede pasar por los niveles de la atmosfera hacia la tierra. Cada parte del planeta tiene diferentes valores de radiación, dependiendo de las estaciones del año, la cercanía a la línea del ecuador, temperaturas, entre otras.

En este caso, el proyecto se encuentra localizado en zona rural del municipio de Villavieja Huila, un municipio con una irradiación global de aproximadamente 1611.9 kWh/día, y una componente difusa de 884,4 kWh/día

Idealmente, estos datos deberían ser tomados en base de mediciones propias hechas con los equipos de medición necesarios durante un periodo considerable de tiempo (mínimo 6 meses) para un dimensionamiento adecuado del sistema. Pero, debido a que realizar estas mediciones puede aplazar considerablemente el tiempo de ejecución de un proyecto, se puede recurrir a bases de datos ya establecidas a nivel mundial, y por organismos confiables. La NASA de Estados Unidos, y el RETscreen de Canadá, poseen una base de datos abierta a todo público, y con la cual funcionan algunos software de simulación (Entre ellos el PVsyst), que reúne datos meteorológicos de cualquier punto del mundo, y que comprenden variables como Irradiación Global, Temperatura ambiente, velocidad de viento y humedad relativa, que podemos utilizar como punto de partida para realizar el dimensionamiento de una forma rápida y confiable.

Tabla 16. Datos de radiación promedio mensual

Mes	Irradiación Global kWh/m ²	Irradiación Difusa kWh/m ²	Temperatura Ambiente °C	Velocidad de viento m/s
Enero	140.1	76.60	19.60	1.4
Febrero	127.7	68.05	19.90	1.4
Marzo	141.0	75.16	20.00	1.4
Abril	130.2	76.07	20.00	1.3
Mayo	133.3	75.39	20.00	1.4
Junio	129.3	69.45	19.60	1.7
Julio	138.3	74.57	20.10	1.7
Agosto	139.2	79.64	21.20	1.7
Septiembre	134.7	74.75	21.50	1.6
Octubre	136.4	77.02	20.70	1.5
Noviembre	127.8	70.35	19.70	1.5

Diciembre	133.9	67.36	19.50	1.6
Anual	1611.9	884.40	20.15	1.5

Fuente: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=3.22&lon=-75.2&submit=Submit>

Estos datos fueron tomados teniendo en cuenta las siguientes coordenadas:

Latitud: 3.22 N Longitud: 75.2 W

- **Trayectoria solar en la localidad de la Tatacoa**

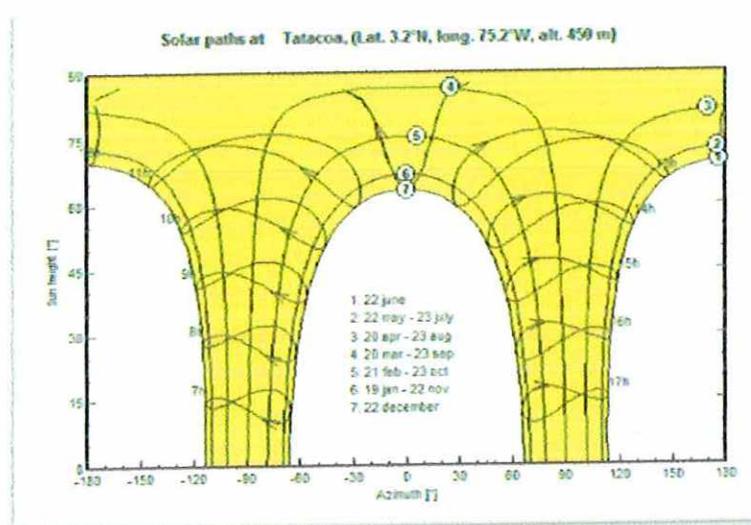


Figura 29. Trayectoria solar de la localidad de la Tatacoa

Las Horas Solares Pico, son una unidad que mide la irradiación solar de un lugar determinado, y puede ser definido como el tiempo en horas en que permanece la constante de radiación solar de 1000 W/m²:

$$HSP = \frac{G_e}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (17)$$

Dónde:

- G_e es la Irradiación Global incidente sobre plano horizontal

Tenemos entonces, que para el caso de Villa Vieja, las Horas Solares Pico son:

$$HSP = \frac{4,42 \frac{kWh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 4,42 \text{ Horas}$$

Esto quiere decir, que durante 4,42 horas tendremos una radiación incidente de 1000 W/m², por lo que durante este periodo de tiempo el modulo fotovoltaico

trabajará a condiciones estándar o datos de placa suministrados por el fabricante.

Performance Ratio

Posteriormente se procede a realizar el cálculo del Performance Ratio que es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, que tiene en cuenta:

- La dependencia de la eficiencia con la temperatura.
- La eficiencia del cableado.
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.
- La eficiencia energética del inversor

Las pérdidas por temperatura son posibles de ser calculadas realizando un análisis de la curva característica y utilizando las herramientas que posee el software PVsyst. También es posible calcular estas pérdidas por medio del coeficiente de temperatura característico del tipo de tecnología que se vaya a implementar. Para el caso del proyecto de casas zonas Rurales de La Tatacoa se ha seleccionado la tecnología de silicio policristalino cuyo desempeño es adecuado para las temperaturas presentadas en Villa Vieja según lo mostrado en el capítulo anterior del presente estudio. El coeficiente de temperatura del módulo seleccionado es de $-0,45\%/^{\circ}\text{C}$. Si se considera que bajo la temperatura promedio de Villa Vieja es de 30°C , la temperatura sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos puede llegar a los 65°C , un incremento en 30° sobre la temperatura de condiciones nominales. De esta forma las pérdidas por temperatura para este caso en específico pueden llegar al orden del $13,5\%$.

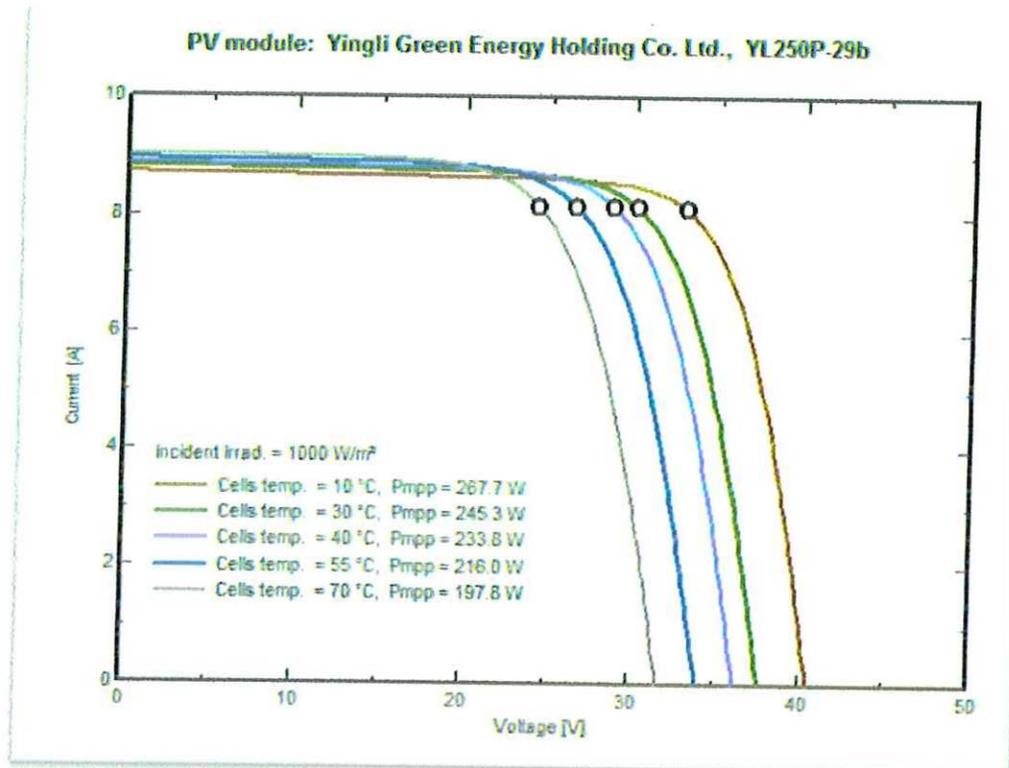


Figura 30. Curva característica de un módulo policristalino de 250W y la influencia de la temperatura.

Asumiendo los demás valores de pérdidas, se calcula el performance ratio para éste sistema.

$$PR = P_T * E_C * P_S * E_{MP} * E_{INV} \quad (18)$$

Dónde:

- P_T Pérdidas por temperatura = 0,865
- E_C Eficiencia de cableado = 0,95
- P_S Pérdidas por suciedad = 0,95
- E_{MP} Pérdidas por rastreo del máximo punto de potencia.= 0,97
- E_{INV} Eficiencia del inversor = 0,97

Por lo tanto:

$$PR = 0,865 * 0,95 * 0,95 * 0,97 * 0,97 = 0,7345$$

El performance ratio para esta instalación es de 73,45%, que es coherente con los análisis previos realizados de tecnologías fotovoltaicas, en este caso de tipo policristalino en el municipio de Villa Vieja.

3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

3.3.1. Vivienda tipo 1 residencial rural

La potencia instalada del sistema fotovoltaico determina la cantidad de paneles fotovoltaicos que pueda utilizar, dependiendo de la disponibilidad y tecnología seleccionada para este fin. Como se ha mencionado anteriormente, la tecnología de silicio policristalino fue seleccionado para este proyecto.

La potencia instalada es calculada de la siguiente manera:

$$P_{ins} = \frac{E_D}{HSP * PR}$$

Dónde:

- E_D = Energía demandada
- HSP = Horas Solares Pico
- PR = Performance Ratio

Reemplazando valores conocidos:

$$P_{ins} = \frac{3290 \frac{Wh}{dia}}{4,42 \frac{h}{dia} * 0,7345}$$

$$P_{ins} = 1013,5 W$$

La instalación fotovoltaica será entonces de 1000 W y de éste valor depende la selección de paneles solares y equipos complementarios para el sistema híbrido en general.

La carga total instalada de cada una de las casas TIPO 1 es de 755 W. A partir de ésta carga se dimensiona el inversor, pues es el equipo que soporta la totalidad de las cargas conectadas en las viviendas. Se prevé un aumento en la carga instalada de un 20%, por lo que la potencia tomada como parámetro de diseño es de 910 W.

- **Diseño del sistema fotovoltaico autónomo.**

El sistema fotovoltaico autónomo es definido por los componentes faltantes por dimensionar, como lo son el banco de baterías y el controlador de carga, estos últimos generalmente vienen integrados con sistemas de inversión con posibilidad de integración a red, por lo que es sencillo elegir una solución completa de un solo fabricante.

- **Determinación de días de autonomía y banco de baterías:**

Se ha diseñado el banco de baterías para una autonomía de 1 día y medio de funcionamiento, en los que el consumo de energía de cada casa será soportado por la energía almacenada en el banco de baterías.

El banco de baterías trabajará a 24V para una demanda energética de 3290 Wh/día se dimensiona de la siguiente manera:

$$Ah(C100) = \frac{E_D}{V} \quad (20)$$

Donde la capacidad C100 (Razón de descarga a 100 horas, considerado también por PVsyst) del banco de baterías es igual a la energía demandada sobre el voltaje de trabajo del sistema fotovoltaico autónomo.

Tenemos entonces:

$$Ah(C100) = \frac{3290 \text{ Wh/día}}{24 \text{ V}}$$

$$Ah(C100) = \frac{137,1 \text{ Ah/día}}{0,5} = 274,2 \text{ Ah/día}$$

Como se ha especificado, el sistema tendría una autonomía de 1 día y medio, por lo que la energía almacenada por el banco de baterías sería igual a 411 Ah en configuración de 24V, teniendo en cuenta una descarga del 50% de las baterías.

Se han seleccionado baterías de 200Ah a 12V para el banco, por lo que estará compuesto de 4 baterías en serie para un total de 400Ah a 24V que garantizan el almacenamiento de energía para la casa TIPO 1 por 3 días.

Los anteriores datos y consideraciones son simulados en PVsyst, tomando consideraciones de temperatura y velocidad de viento. El diagrama de Sankey resultante de la simulación realizada nos muestra que al realizar el análisis por un año, el sistema tiene una producción estimada de 1203 kWh/año.

3.3.2. Vivienda tipo 2 Comercial/residencial rural

La potencia instalada del sistema fotovoltaico determina la cantidad de paneles fotovoltaicos que pueda utilizar, dependiendo de la disponibilidad y tecnología seleccionada para este fin. Como se ha mencionado anteriormente, la tecnología de silicio policristalino fue seleccionado para este proyecto.

La potencia instalada es calculada de la siguiente manera:

$$P_{\text{ins}} = \frac{E_D}{\text{HSP} * \text{PR}} \quad (21)$$

Dónde:

- E_D = Energía demandada
- HSP = Horas Solares Pico
- PR = Performance Ratio

Reemplazando valores conocidos:

$$P_{ins} = \frac{6320 \frac{Wh}{dia}}{4,42 \frac{h}{dia} * 0,7345}$$

$$P_{ins} = 1950 W$$

La instalación fotovoltaica sería de 2000 W y de éste valor depende la selección de paneles solares y equipos complementarios para el sistema híbrido en general.

La carga total instalada de cada una de las casas TIPO 2 es de 2085 W según cuadro de cargas especificado. A partir de ésta carga se dimensiona el inversor, pues es el equipo que soporta la totalidad de las cargas conectadas en las viviendas. Se prevé un aumento en la carga instalada de un 20%, por lo que la potencia tomada como parámetro de diseño es de 2502 W.

- **Diseño del sistema fotovoltaico autónomo.**

Un sistema fotovoltaico autónomo es diseñado en casos en que no hay cubrimiento de energía proveniente de la red eléctrica convencional, y es necesario un sistema de apoyo para garantizar el abastecimiento constante de energía.

El sistema fotovoltaico autónomo es definido por los componentes faltantes por dimensionar, como lo son el banco de baterías y el controlador de carga, estos últimos generalmente vienen integrados con sistemas de inversión con posibilidad de integración a red, por lo que es sencillo elegir una solución completa de un solo fabricante.

- **Determinación de días de autonomía y banco de baterías:**

Se ha diseñado el banco de baterías para una autonomía de 1 día y medio de funcionamiento, en los que el consumo de energía de cada casa será soportado por la energía almacenada en el banco de baterías.

El banco de baterías trabajará a 48V para una demanda energética de 6320 Wh/día se dimensiona de la siguiente manera:

$$Ah(C100) = \frac{E_D}{V} \quad (22)$$

Donde la capacidad C100 (Razón de descarga a 100 horas, considerado también por PVsyst) del banco de baterías es igual a la energía demandada sobre el voltaje de trabajo del sistema fotovoltaico autónomo.

Tenemos entonces:

$$Ah(C100) = \frac{6320 \text{ Wh/día}}{48 \text{ V}}$$
$$Ah(C100) = \frac{131,6 \text{ Ah/día}}{0,5} = 263,2 \text{ Ah/día}$$

Como se ha especificado, el sistema tendrá una autonomía de 1 día y medio, por lo que la energía almacenada por el banco de baterías es igual a 395 Ah en configuración de 48V; teniendo en cuenta una descarga del 50% de las baterías.

Se han seleccionado baterías de 200Ah a 12V para el banco, por lo que estará compuesto de 8 baterías 4 en serie y 2 paralelo para un total de 400 Ah a 48V que garantizan el almacenamiento de energía para el sistema de iluminación de la casa TIPO II por 3 días.

Los anteriores datos y consideraciones son simulados en PVsyst, tomando consideraciones de temperatura y velocidad de viento. El diagrama de Sankey resultante de la simulación realizada nos muestra que al realizar el análisis por un año, el sistema tiene una producción estimada de 2306,8kWh/año.

3.4. DETERMINACIÓN DE EQUIPOS.

Cada tipología de vivienda contará con un sistema completo de equipos para instalaciones fotovoltaicas. Estos equipos son:

- Arreglo de paneles fotovoltaicos
- Banco de baterías
- Controlador de carga
- Inversor CC/CA

3.4.1. Módulos fotovoltaicos.

Conociendo el tamaño de las instalaciones fotovoltaicas para cada tipología de vivienda (TIPO I y TIPO II), es posible determinar los equipos requeridos para completar el sistema solar fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico para las viviendas TIPO I como para las de TIPO II son respectivamente de 1000 W y 2000W de potencia instalada. Tomando en cuenta estos resultados, se ha tomado como referencia un voltaje de trabajo del sistema de 24V y de 48V para las casas TIPO I y TIPO II respectivamente.

Utilizando módulos fotovoltaicos de 250W tenemos entonces:

- TIPO I: 4 módulos de 250 Wp. 1 módulos en serie X 4 módulos en paralelo.
- TIPO II: 8 módulos de 250 Wp. 2 módulos en serie X 4 módulos en paralelo.

3.4.2. Banco de baterías

Como se ha especificado en el dimensionamiento del banco de baterías, se han tomado de referencia baterías de 200Ah a 12V (en capacidad de descarga C100). Las necesidades en Amper-hora de cada sistema fotovoltaico para cada tipología son las siguientes:

- TIPO I: 205 Ah.
- TIPO II: 400 Ah.

El sistema trabajará a 24V para TIPO I y a 48V para TIPO II, por lo que el banco de baterías debe suministrar 400Ah al voltaje de referencia seleccionado. Teniendo en cuenta las baterías seleccionadas de 200Ah a 12V, el banco de baterías para cada tipología quedaría conformado de la siguiente manera:

- TIPO I: 2 baterías en serie X 2 batería en paralelo. (400 Ah @ 24VDC).
- TIPO II: 4 baterías en serie X 2 baterías en paralelo. (400Ah @ 48VDC).

3.4.3. Controlador de carga

Se ha dimensionado el controlador de carga, de acuerdo a la tensión y la sumatoria de la corriente de corto circuito de los módulos en paralelo del sistema, las necesidades de cada sistema fotovoltaico para cada tipología son las siguientes:

- TIPO I: 24V, 35,16 A.
- TIPO II: 48V, 35,16 A.

El sistema trabajará a 24V y a 48V, por lo que el controlador de carga debe también trabajar a esta tensión y soportar una corriente superior a la sumatoria de la corriente de corto circuito de los módulos en paralelo del sistema, el controlador de carga para cada tipología quedaría conformado de la siguiente manera:

Los controladores MPPT utilizan la tecnología de detección de punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés) para obtener máxima potencia del sistema solar.

El algoritmo de detección es totalmente automático y no necesita reajustes. La tecnología sigue y detecta el punto de máxima potencia a medida que varía

con las condiciones climáticas para asegurar que se obtenga la máxima potencia de los paneles durante el transcurso del día.

El controlador de carga para cada tipología quedaría conformado de la siguiente manera:

- TIPO I: 1 Controlador de Carga MPPT. (45 A @ 24VDC).
- TIPO II: 1 Controlador de Carga MPPT. (45 A @ 48VDC).

3.4.4. Inversor

Su función es alinear la tensión y características de la intensidad que reciben convirtiéndola a la adecuada para los usos que necesitan (suministros). Para este caso se del tipo CC/CA, que convierte la tensión del banco de baterías a consumos de 120 volts de corriente alterna.

Para la potencia del inversor de corriente continua a alterna, se elegirá el inversor cuya potencia nominal o de salida sea el valor inmediatamente superior al de todo el consumo de corriente alterna de la instalación. También habrá que tener en cuenta que tener el valor de la tensión de corriente continua.

Las necesidades de cada sistema fotovoltaico para cada tipología son las siguientes:

- TIPO I: 910W, 24VDC/120VAC.
- TIPO II: 2502W, 48VDC/120VAC.

El inversor para cada tipología quedaría conformado de la siguiente manera:

- TIPO I: 1 Unidad 2000W @24V 120/240 VAC
- TIPO II: 1 Unidad 3600W @48V 120/240 VAC

3.4.5. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN Y EQUIPOS

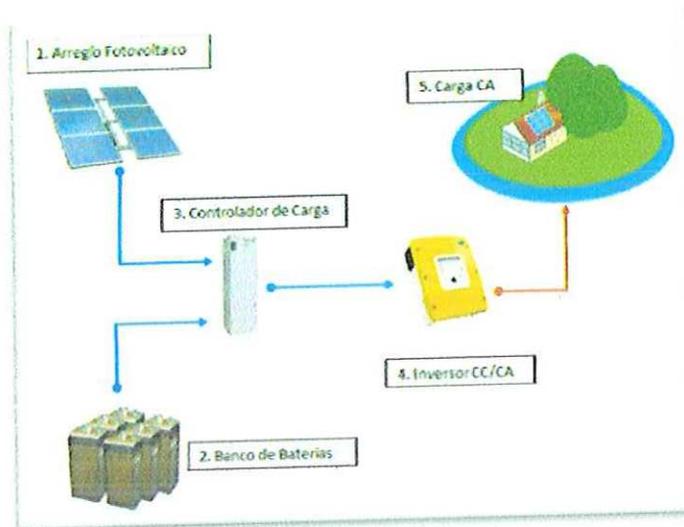


Figura 31. Esquema general

- **TIPO I:**

1. Arreglo Fotovoltaico: 4 Módulos de 250Wp. Total: 1,0kWp Instalados
2. Banco de baterías: 4 Unidades de 900Ah @2V
3. Controlador de carga: 1 Unidad MPPT 45A 48V
4. Inversor CC/CA: 1 Unidad 2000W @24V 120/240 VAC
5. Carga CA: Carga CA Comercial/residencial.

- **TIPO II:**

1. Arreglo Fotovoltaico: 8 Módulos de 250Wp. Total: 2,0kWp Instalados
2. Banco de baterías: 8 Unidades de 900Ah @2V
3. Controlador de carga: 1 Unidad MPPT 80A 48V
4. Inversor CC/CA: 1 Unidad 3600W @48V 120/240 VAC
5. Carga CA: Carga CA Comercial/residencial.

3.5. DATOS TÉCNICOS

3.5.1. Módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos en general se encuentran protegidos por vidrio templado de 4 mm, donde se encuentran las 60 células de silicio policristalino a su vez conectadas por láminas de estaño con cobertura encapsulante estándar EVA y protegido en su parte posterior por una lámina TEDLAR para reforzar el conjunto tanto en resistencia como en estanqueidad.

Los módulos deben contar con certificaciones de calidad reconocidas a nivel mundial como: IEC 61215, IEC61730, ISO9001:2008, ISO14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PVCycle.

Detalle de la sección del módulo fotovoltaico.

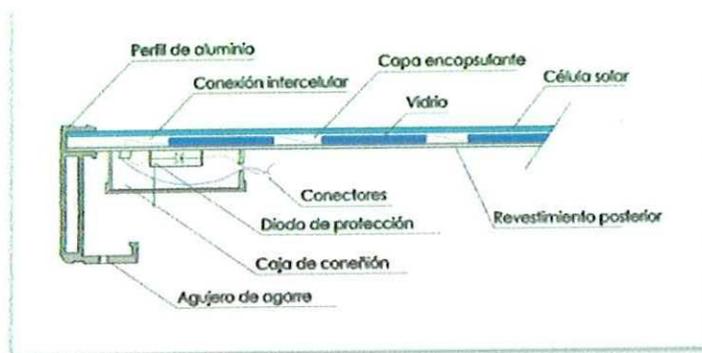


Figura 32. Vista del módulo fotovoltaico con sus componentes

Se ha especificado para el diseño el uso de módulos fotovoltaicos de 250W. Se aceptan los módulos que cumplan con los siguientes requisitos:

Tabla 17. Características de los módulo fotovoltaicos

PARAMETROSELECTRICOS PARA STC		
Potencia de salida	250	W
Eficiencia del módulo	>15%	
Tensión en Pmax	30,4	V
Intensidad en Pmax	8,24	A
Tensión en circuito abierto	38,4	V
Intensidad en corto circuito	8,79	A
CARACTERISTICASTERMICAS		
Coefficiente de temperatura para Pmax	-0,45	%/C
Coefficiente de temperatura para Voc	-0,33	%/C
Coefficiente de temperatura para Isc	-0,06	%/C
CARACTERISTICAS GENERARLES		

Dimensiones	1650/990/40	mm
Peso	19,1	Kg
Máxima tensión del sistema	1000	V
Rango de temperatura de funcionamiento		C
Célula solar (Cantidad/tipo)	60/Silicio policristalino	

El vidrio fotovoltaico tendría una dimensión de 1650 x 990 mm. (Superficie de 1,63 m²) y una potencia nominal de 153,3 Wp/m².

- El arreglo de paneles solares debe estar formado por la cantidad de módulos resultante de la potencia instalada requerida según el prototipo, siempre y cuando correspondan al mismo fabricante, modelo y de la misma potencia pico normalizada por el fabricante.
- La tensión nominal de salida de la configuración de paneles solares estará definida por el intervalo de barrido permitido según el controlador de carga MPPT.
- Los módulos fotovoltaicos a utilizar deben estar constituidos por células de Silicio POLICRISTALINO texturizadas y con capa antirrefleтора. Cada módulo debe tener una caja de conexión intemperie en la parte trasera del mismo, que debe contener los diodos de bypass y contar con certificación IEC 61215.
- Los interconectores de los paneles deben ser de tipo MC4 de forma estandarizada.
- Los cables utilizados para la instalación deben quedar perfectamente sujetos a los módulos para evitar movimientos que puedan ocasionar deterioros o roturas de los mismos, así como deben ir correctamente protegidos.
- Los módulos o compañía fabricante debe tener las siguientes certificaciones: Certificaciones IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PVCycle.
- El módulo irá laminado en estructura tipo sándwich, estando formada la capa frontal por vidrio templado de alto coeficiente de transmisión, la capa posterior por Tedlar (fluoruro de polivinilo) y el relleno a base de láminas de EVA (acetato de vinilo-etileno) transparente, asegurando así su durabilidad en exposición a la intemperie.
- Cada módulo tendrá una caja de conexión impermeable y resistente a la radiación ultravioleta, los microbios y la temperatura, situada en la parte

trasera del mismo, con una protección IP65 y contará con diodos de bypass. De la misma saldrán dos cables claramente marcados con + (positivo) y - (negativo), resistentes a la abrasión y el desgaste, e irán rematados por conectores tipo MC4, de tipo encapsulante, preservando las uniones de la intemperie a la vez que asegurando la conexión.

- Además del marcado CE o en su defecto el marcado TÜV o ETL, cada módulo deberá de estar marcado de forma clara, visible e indeleble: modelo, nombre o logotipo del fabricante, número de serie trazable a la fecha de fabricación que permita su identificación individual, polaridad de los terminales, la máxima tensión e intensidad de corriente que soporta, así como su potencia nominal, tolerancia y valores de la tensión e intensidad de corriente en el punto de máxima potencia.

3.5.2. Baterías

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de poca iluminación.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar.

Para el diseño se ha contemplado el uso de baterías de 12 V y 200 Ah que deben cumplir con las siguientes características mínimas:

Tabla 18. Características de las baterías

PARAMETROSELECTRICOS		
Voltaje nominal	12	V
Capacidad	205 a 20C	Ah
Resistencia interna	3,1	mΩ
Corriente máxima de carga	61,5	A
CARACTERISTICASTERMICAS		
Porcentaje de auto descarga	3% a 25C	por mes
Descarga	de -15 a 50	C
Carga	de 5 a 35	C

Almacenamiento	de 0 a 40	C
CARACTERISTICAS GENERALES		
Dimensiones	546 x 125 x 317	mm
Peso	57	Kg

Para todos los sistemas las baterías deben tener las siguientes características:

- Las baterías deben ser de plomo ácido, selladas, libres de mantenimiento, con tecnología WET/FLOODED o AGM, de descarga profunda o de tipo solar con una profundidad de descarga admisible sin daño del 60%. Las baterías deberán ser fabricadas conforme a las normas DIN 40734 ó IEC 61417. Además, el recipiente de la batería debe ser resistente a impactos, según IEC 707 FVD.
- No se permitirá el uso de baterías de arranque.
- La disposición de las baterías debe tener una tensión operacional nominal de 12V, 24V o 48V
- Preferiblemente, se evitarán conexiones en paralelo de las baterías.
- El banco de baterías se diseñará para un mínimo de 2 días de autonomía.- Preferiblemente, se evitarán conexiones en paralelo de las baterías.
- El banco de baterías se diseñará para un mínimo de 2 días de autonomía.
- La máxima profundidad de descarga de las baterías no superará el 60% de su capacidad.
- Se protegerá especialmente contra sobrecargas.
- Los ciclos de vida de la batería, a 25°C, deben exceder 5.000 a una profundidad media de descarga del 20%.
- La batería debe estar etiquetada con la siguiente información:
 - Tensión nominal (V)
 - Polaridad de los terminales
 - Capacidad nominal (Ah)
 - Fabricante (nombre o logotipo) y número de serie.

3.5.3. Protecciones

El arreglo fotovoltaico debe contar con protecciones en corriente continua para sobretensiones y rayos que puedan impactar sobre cubierta y afectar los componentes fotovoltaicos instalados sobre ésta.

Las protecciones deben en general cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

Tabla 19. Características de las protecciones

DATOS TÉCNICOS		
Tensión máx. PV		100 Vdc
Modo de Protección	MC	
Tensión máx. de operación		150 Vdc
Corriente de corto circuito	> 40	A
Corriente de funcionamiento	< 0,1	mA
Corriente de fuga	< 0,1	mA
Corriente de descarga nominal		150 A
Corriente de descarga máx.		200 A
Nivel de protección MC/MD		600 V
CARACTERÍSTICAS GENERALES		
Modo de final de vida	desconexión del descargador de la línea PV	
Indicador de desconexión	por indicador mecánico	
Teleseñalización	Opcional	
Montaje	Carril DIN 35 mm	
Temperatura de funcionamiento	- 40/85°C	
Clase de protección	IP20	
Material de la caja	Termoplástico UL94-V0	

3.5.4. Terminales de conexión

Los módulos fotovoltaicos cuentan con conexión de terminales MC4 (cableado 10 y 12 AWG), que facilitan la instalación de los módulos fotovoltaicos y

garantizan una conexión segura entre éstos. Los terminales MC4 deben tener las siguientes características:

Tabla 20. Características de los conectores y tipo de cable

DATOS TÉCNICOS		
Sistema Conector (diámetro)	4	mm
Voltaje nominal	600	
Corriente nominal (90°C)	30 A	(10 AWG)
Voltaje de prueba	6.0	kV
Temperatura de operación	-40°C / 90°C	°C
Temperatura máxima	105 °C	
Grado de protección	IP68	
Categoría sobrevoltaje	CATIII/2	
Resistencia de los conectores	0,5	mOhm
Safety Class	II	

3.6. DETERMINACIÓN ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Se propone la instalación de un sistema pre-ensamblado universal para montaje de paneles solares sobre cubierta inclinada. Este tipo de montaje puede ser usado con cualquier tipo de panel con marco metálico y en cualquier configuración sin modificación del producto.

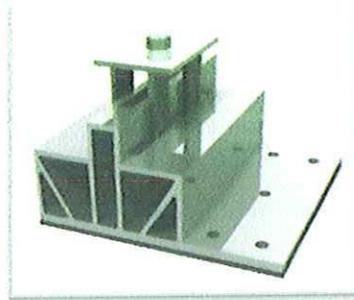


Figura 33. Mordaza metálica para fijación sobre cubierta



Figura 34. Vista general de módulos instalados con sistema de fijación sobre cubierta inclinada

3.7. COMPARACIÓN CON EL SIMULADOR PVSYST

Para poder hacer uso del simulador es necesario introducir los siguientes datos tipo de instalación, datos de ubicación, demanda energética e inclinación de los módulos, los cuales se relacionan a continuación:

3.7.1. Sistema 1KW

Tabla 21. Datos de entrada para simulación sistema 1KW

Item		
Tipo de instalación	Autónomo	
Latitud	4,88	N
Longitud	74,03	W
Altura	450	Msnm

Inclinación	10	Grados
Demanda Energética	3290	KWh/año

- Resumen de simulación en PVSyst

Tabla 22. Datos simulación Pvsyst sistema 1 KW

Tipo de sistema	Autónomo	
Tipo de Módulo	Yingli 250P-29b	
Potencia pico del módulo	250	W
Potencia pico de la instalación	1000	W
Cantidad de módulos	4	unidades
Módulos en serie	1	unidades
Módulos en paralelo	4	ramas
Cantidad de baterías	4	unidades
Baterías en serie	2	unidades
Baterías en paralelo	2	unidades
Voltaje de arreglo de baterías	24	V
Corriente de arreglo de baterías	416	Ah
Producción anual de energía	1319	Kwh/año
Performance Ratio	72,80%	

El reporte dado en la simulación de PVSyst se adjunta en el (anexo 4), junto con el diagrama unifilar (anexo 6) del sistema.

3.7.2. Sistema 2KW

Tabla 23. Datos entrada para simulación sistema 2KW

Item	Autónomo	
Tipo de instalación		
Latitud	4,88	N
Longitud	74,03	W
Altura	450	Msnm
Inclinación	10	Grados
Demanda Energética	6320	KWh/año

- Resumen de simulación en PVSyst

Tabla 24. Datos simulación Pvsyst sistema 2 KW

Datos de simulación PvSyst		
Tipo de sistema	Autónomo	
Tipo de Módulo	Yingli 250P-29b	
Potencia pico del módulo	250	W
Potencia pico de la instalación	2000	W
Cantidad de módulos	8	Unidades
Módulos en serie	2	Unidades
Módulos en paralelo	4	Ramas
Cantidad de baterías	4	Unidades
Voltaje de arreglo de baterías	48	V
Corriente de arreglo de baterías	416	416 Ah

Baterías en paralelo	2	Unidades
Producción anual de energía	2773	Kwh/año
Performance Ratio	71,80%	

El reporte dado en la simulación de PVSyst se adjunta en el (anexo 5), junto con el diagrama unifilar (anexo 6) del sistema.

CAPITULO 4

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO

4.1. SISTEMA CONECTADO A RED 27KW

Para el desarrollo de la herramienta financiera en Microsoft Excel, se utilizó la siguiente metodología; la cual tiene en cuenta los costos de inversión del proyecto y los indicadores financieros como el VPN y la TIR, además se hace una proyección del aumento del 5% en el precio del KWh cada año, en los próximos 25 años teniendo en cuenta los precios de CODENSA, esto para un escenario moderado; y se evaluó otro escenario optimista con un aumento del 10% en el precio del KWh cada año, también para los próximos 25 años. El precio de la red se toma como base para poder hacer una comparación.

SECTOR NO RESIDENCIAL								
			NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/KWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/KWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/KWh)	NIVEL 2 (11,4 y 13,2 KW) (\$/KWh)	NIVEL 3 (24,5 KW) (\$/KWh)	NIVEL 4 (115,6 KW) (\$/KWh)
OFICIAL E INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	Monomía	358.7041	329.4360	344.0701	280.3322	254.0938	222.3363
		Punta	362.0942	332.8261	347.4602	283.3538	255.5811	222.7761
		Fuera de Punta	357.4768	328.2087	342.8428	279.2713	250.7307	220.4896
INDUSTRIAL Y COMERCIAL CON CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	Monomía	430.4449	395.3232	412.8841	336.3986	304.9126	266.8036
		Punta	434.5130	399.3913	416.9522	340.0246	306.6973	267.3313
		Fuera de Punta	428.9722	393.8504	411.4114	335.1256	300.8768	264.5875
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	DOBLE HORARIA	Nocturna	360.4135	331.1454	345.7795	281.8622	255.6862	
		Día	358.304	329.0359	343.670	279.9929	253.3950	
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	DOBLE HORARIA	Nocturna	432.4962	397.3745	414.9354	338.2346	306.8234	
		Día	429.9648	394.8431	412.4040	335.9915	304.0740	

Figura 35. Precios del KWh en el sector no residencial de Bogotá. Fuente CODENSA.

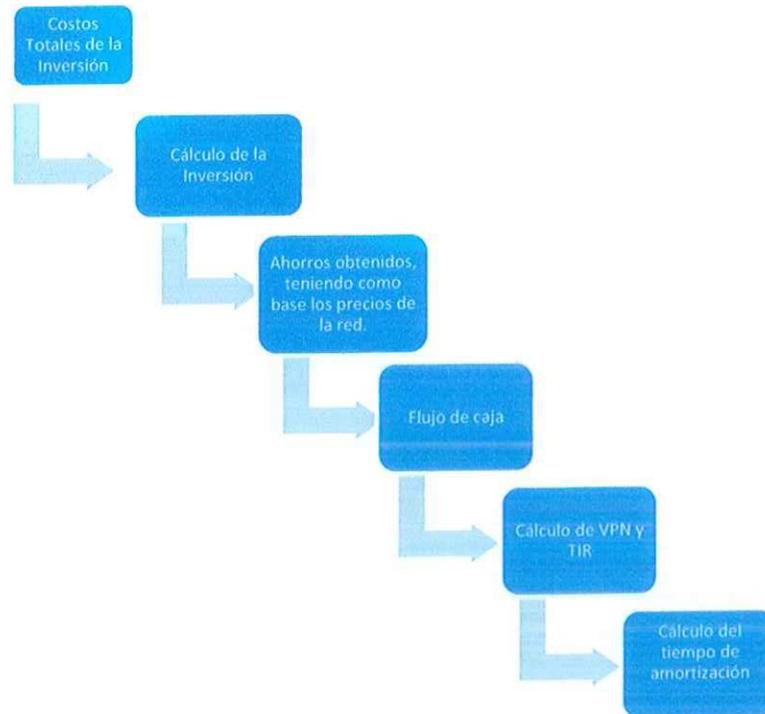


Figura 36. Diagrama de metodología de la Herramienta desarrollada en Microsoft Excel.

4.1.1. Costos del proyecto Escenario Moderado

Los costos del proyecto, se toman de acuerdo a la base de datos de proveedores manejada por la empresa.

Tabla 25. Costos sistema conectado a red 27KW

SISTEMA FOTOVOLTAICO 27 KW					
ITEM	DESCRIPCION - SUMINISTRO E INSTALACION	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MODULO FOTOVOLTAICO					
1	Generador fotovoltaico de 250Wp. Con unas dimensiones de 1650 mm x 990 mm	UN	108	\$ 630.000	\$ 68.040.000
INVERSOR Y MONITOREO DE DATOS					
2	Inversor SMASUNNYBOY 8000US Inversor DC/AC 8kWp para inyección a red eléctrica. 208/240/277 VAC	UN	3	\$ 8.120.000	\$ 24.360.000
3	SMA RS 485 Sunny Boy Communication Card para inversores SMA SunnyBoy	UN	3	\$ 315.000	\$ 945.000

4	DATALOGGERSMAWEBBOX, Mediante RS 485 , ethernet de 10/100Mbits, alcance de 1200 m	UN	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
ESTRUCTURA					
5	Sistema de fijación metálico sobre cubierta plana inclinada, perforante	UN	1	\$ 23.775.000	\$ 23.775.000
PROTECCIONES					
6	PROTECCIONES EN AC PARA CONEXIÓN A RED INVERSOR - BARRAJE 208/240VAC 35ª	UN	3	\$2485.000	\$ 705.000
7	PROTECCIONES EN DC PARA SOBRETENSIONES -- RAYOS	UN	3	\$ 375.000	\$ 1.125.000
TUBERIA Y CABLEADO					
8	TUBERIAIMC 3/4"	ML	50	\$ 5.175	\$ 258.750
9	TUBERIAIMC 1"	ML	20	\$ 5.888	\$ 117.760
10	DC COMBINER BOX	UN	9	\$ 193.750	\$ 1.743.750
11	CABLE 10 AWG ARREGLO -- INVERSORES	ML	50	\$ 13.200	\$ 660.000
12	CABLE 10 AWG ARREGLO FV	ML	35	\$ 13.200	\$ 462.000
13	PRENSAESTOPA 1/2"	UN	50	\$ 5.188	\$ 259.400
INSTALACIÓN					
14	HORAS DE TRABAJO (4 SEMANAS X 1 INGENIERO + 3 TÉCNICOS)	HR	280	\$ 49.500	\$ 11.060.000
15	ALIMENTACIÓN	UN	40	\$ 10.000	\$ 400.000
16	TRANSPORTE - ALQUILER CAMIONETA	DIA	15	\$ 75.000	\$ 1.125.000
PUESTA EN MARCHA Y CAPACITACION					
17	MANO DE OBRA	HR	20	\$ 33.750	\$ 675.000
COSTOS DIRECTOS					\$ 137.511.660
IMPREVISTOS				5%	\$ 6.875.583

VALOR ANTES DEL IVA		\$ 144.387.243
IVA	16%	\$ 23.101.959
VALOR TOTAL		\$ 167.489.202

4.1.2. Amortización Escenario Moderado.

A continuación se muestra la tabla resumen y la gráfica del flujo de caja, del análisis económico, realizado con la herramienta desarrollada en Microsoft Excel.

Tabla 26. Resumen análisis inversión sistema conectado a red 27KW escenario moderado

DATOS GENERALES DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE 27 KWP		
Consumo Anual Total	1.155.000	kWh
Energía Anual Producida SSFV	37.787	kWh
APORTE FOTOVOLTAICO	3,3%	
Precio Energía base	257	\$/kWh
Tiempo de Amortización	24,03	Años
Costo estimado del sistema	\$ 167.489.202	
Aumento precio anual Energía	0,00%	

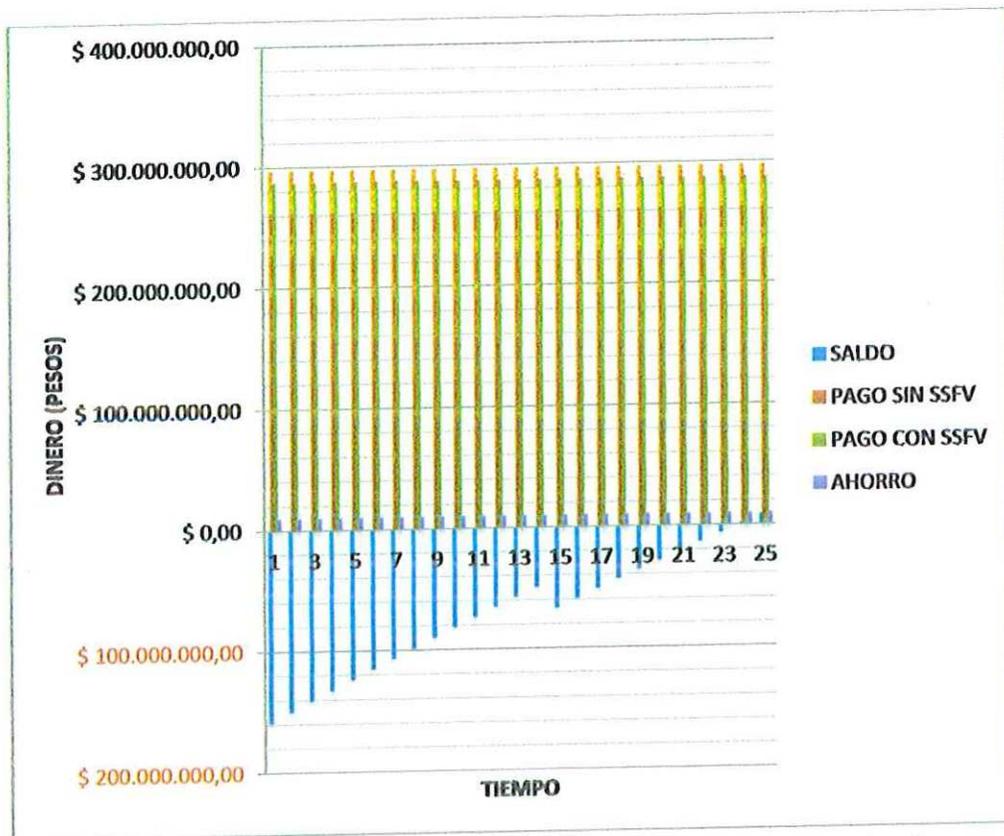


Figura 37. Flujo de caja Sistema conectado a red de 27KW escenario moderado

4.2. SISTEMA AUTÓNOMOS DE 1KW Y 2KW

El desarrollo de la herramienta financiera en Microsoft Excel, utilizó la misma metodología que el sistema conectado a red; pero para estos casos los sistemas fotovoltaicos se compararon con un sistema de generación diesel de 2KW para el sistema fotovoltaico de 1KW, y con un sistema de generación diesel de 2,2KW para el sistema fotovoltaico de 2KW; se asumió que los sistemas de generación diesel funcionan 6 horas diarias con un consumo de 1 - 1,2 litros por hora.

4.2.1. Costos del proyecto casa tipo1

- Sistema Fotovoltaico

Tabla 29. Costos sistema fotovoltaico casa tipo 1

SISTEMA FOTOVOLTAICO CASA 1 KW					
ITEM	DESCRIPCION - SUMINISTRO E INSTALACION	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MODULO FOTOVOLTAICO					
1	Generador fotovoltaico de 250Wp. Con unas dimensiones de 1650 mm x 990 mm, compuesto por 60 células de silicio monocristalino, encapsulante EVA, vidrio templado de 4 mm y trasera de lámina TEDLAR	UN	4	\$ 955.000	\$ 3.820.000
BANCO DE BATERIAS					
2	Batería 200Ah 12V	UN	4	\$ 675.000	\$ 2.700.000
CONTROLADOR DE CARGA					
3	Controlador de carga 45A 48VDC	UN	1	\$ 2.200.000	\$ 2.200.000
INVERSOR					
4	INVERSOR 2000W onda senoidal pura,	UN	1	\$ 2.800.000	\$ 2.800.000
ESTRUCTURA					
5	Estructura de fijación sobre cubierta para módulos fotovoltaicos de 250W c/u	UN	1	\$ 1.250.000	\$ 1.250.000

6	Gabinete y rack para banco de baterías	UN	1	\$ 750.000	\$ 750.000
TUBERIA Y CABLEADO					
7	TORNILLERIA Y ACCESORIOS	UN	1	\$ 215.000	\$ 215.000
8	TUBERÍA IMC 3/4"	ML	1	\$ 400.000	\$ 400.000
9	CAJAS RADWELL 4X4	UN	1	\$ 120.000	\$ 120.000
10	CABLE 10 AWG	ML	1	\$ 450.000	\$ 450.000
11	BARRAJES	UN	1	\$ 250.000	\$ 250.000
12	PRENSAESTOPA 1/2"	UN	1	\$ 750.000	\$ 750.000
INSTALACIÓN					
13	ALOJAMIENTO 4 PERSONAS	DIA	1	\$ 360.000	\$ 360.000
14	HORAS DE TRABAJO (1 DIA X 1 INGENIERO + 3 TÉCNICOS)	HR	32	\$ 30.000	\$ 960.000
15	ALIMENTACIÓN	DIA	4	\$ 35.000	\$ 140.000
16	TRANSPORTE - ALQUILER CAMIONETA	DIA	1	\$ 35.000	\$ 35.000
TRANSPORTE					
17	TRANSPORTE DE EQUIPOS	UN	1	\$ 2.048.410	\$ 2.048.410
COSTOS DIRECTOS					\$ 19.248.410
				IMPREVISTOS	5%
					\$ 962.421
VALOR ANTES DEL IVA					\$ 20.210.831
				IVA (SOBRE UTILIDAD)	16%
					\$ 3.233.733
VALOR TOTAL					\$ 23.444.563

- **Generador Diesel**

Tabla 30. Costos generador diesel casa tipo I

SISTEMA GENERADOR DIESEL 2KW PARA CASA TIPO 1					
ITEM	DESCRIPCION - SUMINISTRO E INSTALACION	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
GENERADOR DIESEL					
1	GENERADOR DIESEL DE 2KW 3600RPM 120-240V, 68Kg, 66,5x52,5x52 cm	UN	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
TUBERIA Y CABLEADO					
2	TORNILLERIA Y ACCESORIOS	UN	1	\$ 75.000	\$ 75.000
3	TUBERÍA IMC 3/4"	ML	1	\$ 280.000	\$ 280.000
4	CAJAS RADWELL 4X4	UN	1	\$ 120.000	\$ 120.000
5	CABLE 10 AWG	ML	1	\$ 100.000	\$ 100.000
6	BARRAJES	UN	1	\$ 50.000	\$ 50.000
7	PRENSAESTOPA 1/2"	UN	1	\$ 25.000	\$ 25.000
INSTALACIÓN					
6	ALOJAMIENTO 3 PERSONAS	DIA	1	\$ 360.000	\$ 360.000
7	HORAS DE TRABAJO (1 DIA X 1 INGENIERO + 2 TÉCNICOS)	HR	20	\$ 30.000	\$ 600.000
8	ALIMENTACIÓN	DIA	2	\$ 35.000	\$ 70.000
9	TRANSPORTE - ALQUILER CAMIONETA	DIA	1	\$ 35.000	\$ 35.000
TRANSPORTE					
10	TRANSPORTE DE EQUIPOS	UN	1	\$ 1.880.000	\$ 1.880.000
COSTOS DIRECTOS					\$ 4.345.000
				IMPREVISTOS	5%
					\$ 217.250
VALOR ANTES DEL IVA					\$ 4.562.250
				IVA (SOBRE UTILIDAD)	16%
					\$ 729.960

	VALOR TOTAL \$ 5.292.210
--	---------------------------------

4.2.2. Comparación de los sistemas

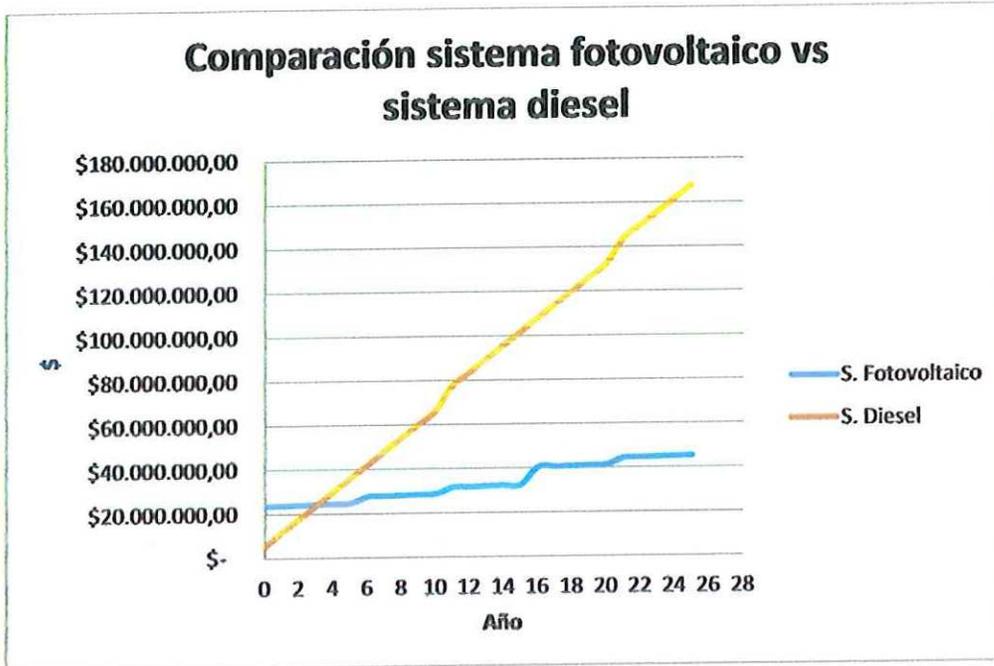


Figura 40. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo I

4.2.3. Costos del proyecto casa tipo2

- Sistema Fotovoltaico

Tabla 31. Costos sistema fotovoltaico casa tipo II

SISTEMA FOTOVOLTAICO CASA 2 KW					
ITEM	DESCRIPCION - SUMINISTRO E INSTALACION	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MODULO FOTOVOLTAICO					
1	Generador fotovoltaico de 250Wp. Con unas dimensiones de 1650 mm x 990 mm, compuesto por 60 células de silicio monocristalino, encapsulante EVA, vidrio templado de 4 mm y trasera de laminaTEDLAR	UN	8	\$ 955.000	\$ 7.640.000
BANCO DE BATERIAS					
2	Bateria 200Ah 12V	UN	8	\$ 675.000	\$ 5.400.000
CONTROLADOR DE CARGA					
3	Controlador de carga 80A 48VDC	UN	1	\$ 2.600.000	\$ 2.600.000

INVERSOR					
4	Inversor Outback VFX3648 3.6 kW 48VDC/120AC	UN	1	\$ 6.900.000	\$ 6.900.000
ESTRUCTURA					
5	Estructura de fijación sobre cubierta para modulos fotovoltaicos de 250W c/u	UN	1	\$ 2.150.000	\$ 2.150.000
6	Gabinete y rack para banco de baterías	UN	1	\$ 1.450.000	\$ 1.450.000
TUBERIA Y CABLEADO					
7	TORNILLERIA Y ACCESORIOS	UN	1	\$ 280.000	\$ 280.000
8	TUBERÍA IMC 3/4"	ML	1	\$ 750.000	\$ 750.000
9	CAJAS RADWELL 4X4	UN	1	\$ 250.000	\$ 250.000
10	CABLE 10 AWG	ML	1	\$ 700.000	\$ 700.000
11	BARRAJES	UN	1	\$ 350.000	\$ 350.000
12	PRENSAESTOPA 1/2"	UN	1	\$ 150.000	\$ 150.000
INSTALACIÓN					
13	ALOJAMIENTO 4 PERSONAS	DIA	2	\$ 360.000	\$ 720.000
14	HORAS DE TRABAJO (1 DIA X 1 INGENIERO + 3 TÉCNICOS)	HR	32	\$ 30.000	\$ 960.000
15	ALIMENTACIÓN	DIA	4	\$ 35.000	\$ 140.000
16	TRANSPORTE - ALQUILER CAMIONETA	DIA	1	\$ 35.000	\$ 35.000
TRANSPORTE					
17	TRANSPORTE DE EQUIPOS	UN	1	\$ 2.048.410	\$ 2.048.410
COSTOS DIRECTOS					\$ 32.523.410
				IMPREVISTOS	5%
					\$ 1.626.171
VALOR ANTES DEL IVA					\$ 34.149.581
				IVA (SOBRE UTILIDAD)	16%
					\$ 5.463.933

VALOR TOTAL	\$ 39.613.513
--------------------	----------------------

- **Generador diésel**

Tabla 32. Costos generador diesel casa tipo II

SISTEMA GENERADOR DIESEL DE 2,2 KW CASA TIPO 2					
ITEM	DESCRIPCION - SUMINISTRO E INSTALACION	UNIDADES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
GENERADOR DIESEL					
1	GENERADOR DIESEL DE 2KW 3600RPM 120-240V, 68Kg, 66,5x52,5x52 cm	UN	1	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000
TUBERIA Y CABLEADO					
2	TORNILLERIA Y ACCESORIOS	UN	1	\$ 120.000	\$ 120.000
3	TUBERÍA IMC 3/4"	ML	1	\$ 120.000	\$ 120.000
4	CAJAS RADWELL 4X4	UN	1	\$ 150.000	\$ 150.000
5	CABLE 10 AWG	ML	1	\$ 100.000	\$ 100.000
6	BARRAJES	UN	1	\$ 80.000	\$ 80.000
7	PRENSAESTOPA 1/2"	UN	1	\$ 50.000	\$ 50.000
INSTALACIÓN					
6	ALOJAMIENTO 3 PERSONAS	DIA	1	\$ 200.000	\$ 200.000
7	HORAS DE TRABAJO (1 DIA X 1 INGENIERO + 2 TÉCNICOS)	HR	20	\$ 30.000	\$ 150.000
8	ALIMENTACIÓN	DIA	2	\$ 35.000	\$ 70.000
9	TRANSPORTE - ALQUILER CAMIONETA	DIA	1	\$ 35.000	\$ 35.000
TRANSPORTE					
10	TRANSPORTE DE EQUIPOS	UN	1	\$ 1.880.000	\$ 1.880.000
COSTOS DIRECTOS					\$ 4.355.000

IMPREVISTOS	5%	\$ 217.750
VALOR ANTES DEL IVA		\$ 4.572.750
IVA (SOBRE UTILIDAD)	16%	\$ 731.640
VALOR TOTAL		\$ 5.304.390

4.2.4. Comparación de los sistemas

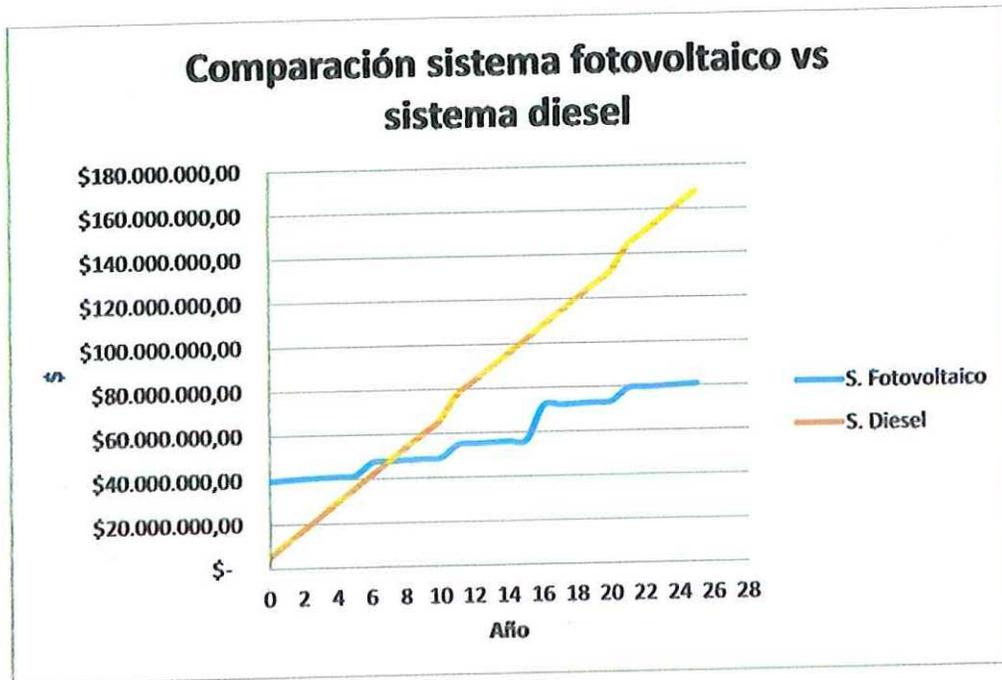


Figura 41. Comparación de costos S. fotovoltaico-diesel para casa tipo II

CONCLUSIONES

La producción de energía de un sistema fotovoltaico, depende de la localización del emplazamiento donde se desee implementar el sistema, ya que la irradiación solar es diferente en cada punto de la Tierra, no se tiene que relacionar con la temperatura del lugar.

Los sistemas conectados a red tienen mayor eficiencia que los sistemas autónomos, debido a que tienen menos componentes, en especial por la no existencia de baterías.

Los sistemas autónomos tienen menor eficiencia debido a la baja vida útil del banco de baterías, ciclos de carga son lentos comparados con los ciclos de descarga, esto ocasiona que varias veces no se pueda realizar completamente el ciclo de carga y esto produciendo una disminución en la capacidad de almacenamiento de energía.

La variable que tiene una mayor influencia en la eficiencia de la instalación eléctrica (Performance Ratio), es la temperatura, ya que es la ocasiona mayores pérdidas debido a que disminuye el voltaje del módulo; (siempre y cuando no hayan sombras ni exceso de suciedad en los módulos.)

En casos como el sistema conectado a red de Homencenter, se encontró que una de las grandes limitantes para suplir la mayor cantidad de demanda de energía es el área disponible, por esto es de gran importancia realizar un buen cálculo del Performance Ratio de la instalación, teniendo en cuenta las condiciones del emplazamiento.

Los sistemas autónomos presentan un gran costo de inversión dado por los acumuladores o banco de baterías, ya que poseen una corta vida útil, lo que representa que se haga una gran cantidad de reposiciones.

Los sistemas autónomos tienen mayor viabilidad económica, comprados con generadores diésel en zonas no interconectadas a la red, debido a que la mayor parte del gasto es la inversión inicial, no requieren mucho mantenimiento ni inversiones posteriores excepto por el banco de baterías.

La implementación de los sistemas en las zonas rurales del municipio de Villavieja, en el desierto de La Tatacoa, representan una gran opción para suplir la demanda, ya que la zona presenta un acceso difícil; y como se sabe estos sistemas después de instalados no necesitan del suministro de algún elemento o fuente de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. JAVIER MARÍA MÉNDEZ MÚÑIZ, RAFAEL CUERVO GARCIA. *Energía Solar Fotovoltaica. Bureau Veritas Formación*. Madrid. 2009.
2. BASE DE DATOS PROYECTOS GIESAS, JORGE ALBERTO OSUNA. *Energías Alternativas – Energía Solar Fotovoltaica*. Bogotá. 2013.
3. CODENSA S.A. *Tarifas de Energía Eléctrica Reguladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)*. Bogotá. Febrero de 2013.

ANEXOS

Grid-Connected System: Simulation parameters

Project : HC CHIA

Geographical Site Chía - Cajicá **Country** Colombia

Situation Latitude 4.9°N Longitude 74.0°W
 Time defined as Legal Time Time zone UT-5 Altitude 1980 m
 Albedo 0.20

Meteo data : Chía - Cajicá, Synthetic Hourly data

Simulation variant : YINGLI GIE
 Simulation date 17/07/13

Simulation parameters

Collector Plane Orientation Tilt 10° Azimuth 0°

Horizon Free Horizon

Near Shadings No Shadings

PV Array Characteristics

PV module Si-poly Model YL250P-29b
 Manufacturer Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.
 In series 12 modules In parallel 9 strings
 Number of PV modules Nb. modules 108 Unit Nom. Power 250 Wp
 Total number of PV modules Nominal (STC) 27.00 kWp At operating cond. 23.98 kWp (50°C)
 Array global power U mpp 327 V I mpp 73 A
 Array operating characteristics (50°C) Module area 176 m²
 Total area

Inverter

Model Sunny Boy SB 8000 US-12-277
 Manufacturer SMA
 Operating Voltage 300-480 V Unit Nom. Power 8.00 kW AC
 Characteristics Number of Inverter 3 units Total Power 24.00 kW AC
 Inverter pack

PV Array loss factors

Thermal Loss factor U_c (const) 20.0 W/m²K U_v (wind) 0.0 W/m²K / m/s
 => Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², T_{amb}=20°C, Wind=1 m/s.) NOCT 56 °C
 Wiring Ohmic Loss Global array res. 76 mOhm Loss Fraction 1.5 % at STC
 Module Quality Loss Loss Fraction 0.0 %
 Module Mismatch Losses Loss Fraction 2.0 % at MPP
 Incidence effect, ASHRAE parametrization IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) bo Parameter 0.05

User's needs : Unlimited load (grid)

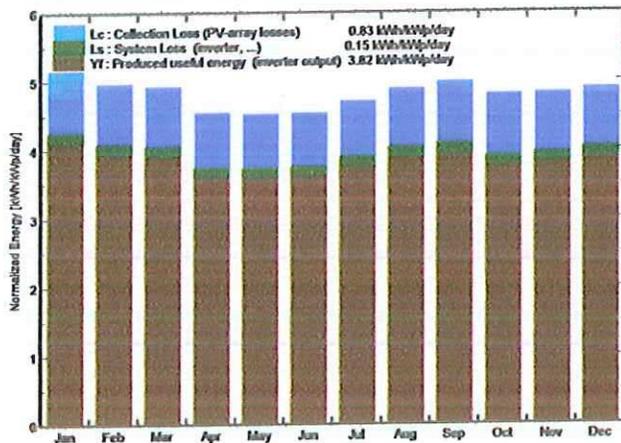
Grid-Connected System: Main results

Project : HC CHIA
Simulation variant : YINGLI GIE

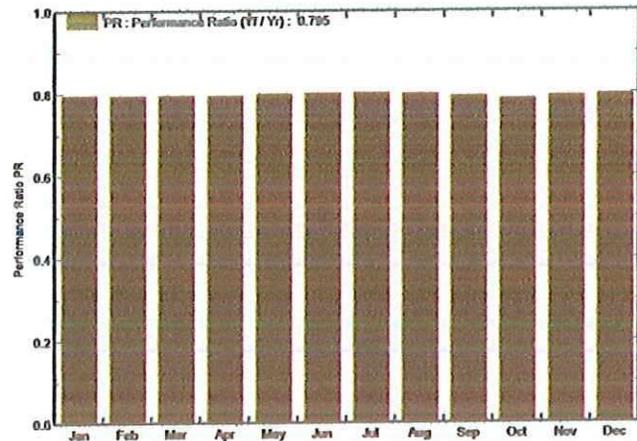
Main system parameters	System type Grid-Connected	
PV Field Orientation	tilt 10°	azimuth 0°
PV modules	Model YL250P-29b	Pnom 250 Wp
PV Array	Nb. of modules 108	Pnom total 27.00 kWp
Inverter	Model Sunny Boy SB 8000 US-12-2P	Pnom 8.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units 3.0	Pnom total 24.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)	

Main simulation results
System Production **Produced Energy** 37.67 MWh/year **Specific prod.** 1395 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 79.5 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 27.00 kWp



Performance Ratio PR



YINGLI GIE Balances and main results

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EfAnR	EfSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	%	%
January	150.7	19.20	159.8	154.8	3.572	3.436	12.67	12.19
February	135.2	19.70	139.0	134.7	3.101	2.981	12.65	12.16
March	152.2	19.70	152.5	147.4	3.405	3.275	12.65	12.17
April	139.5	19.60	136.1	131.4	3.040	2.922	12.66	12.17
May	146.3	19.40	139.9	134.5	3.135	3.015	12.71	12.22
June	144.9	18.90	135.9	130.7	3.053	2.936	12.73	12.24
July	155.0	18.90	145.7	140.4	3.276	3.150	12.74	12.26
August	157.2	19.70	151.4	146.0	3.390	3.261	12.70	12.21
September	150.9	20.20	149.3	144.3	3.324	3.196	12.62	12.13
October	145.7	19.70	148.7	144.0	3.282	3.155	12.51	12.02
November	138.0	19.20	144.5	140.1	3.216	3.091	12.61	12.12
December	142.6	19.00	151.3	146.3	3.387	3.257	12.69	12.20
Year	1758.2	19.43	1754.3	1694.5	39.180	37.674	12.66	12.17

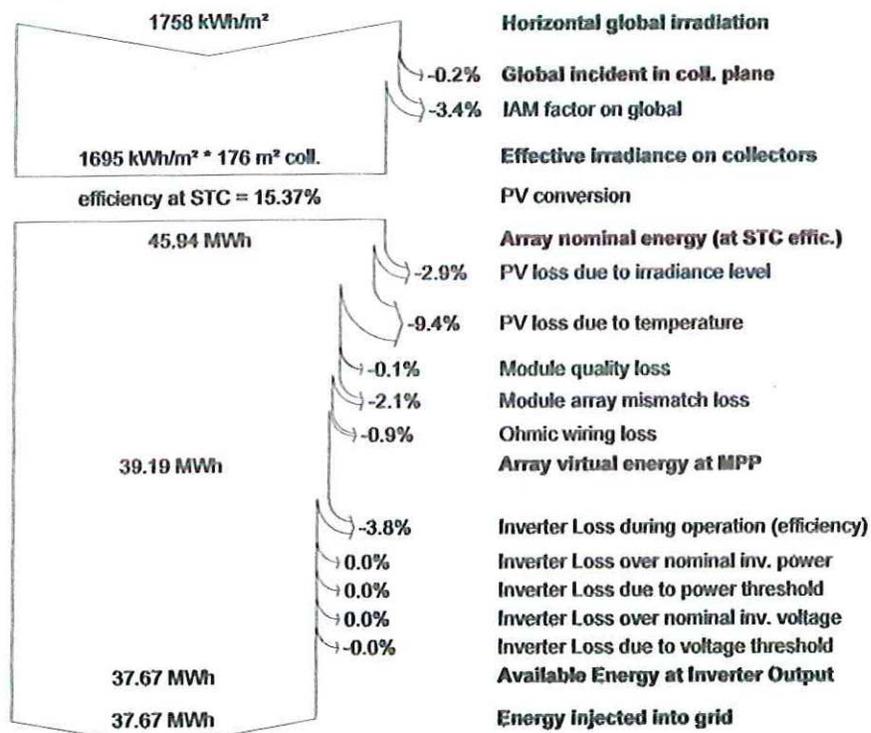
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EfAnR	Effic. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EfSysR	Effic. Eout system / rough area

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : HC CHIA
Simulation variant : YINGLI GIE

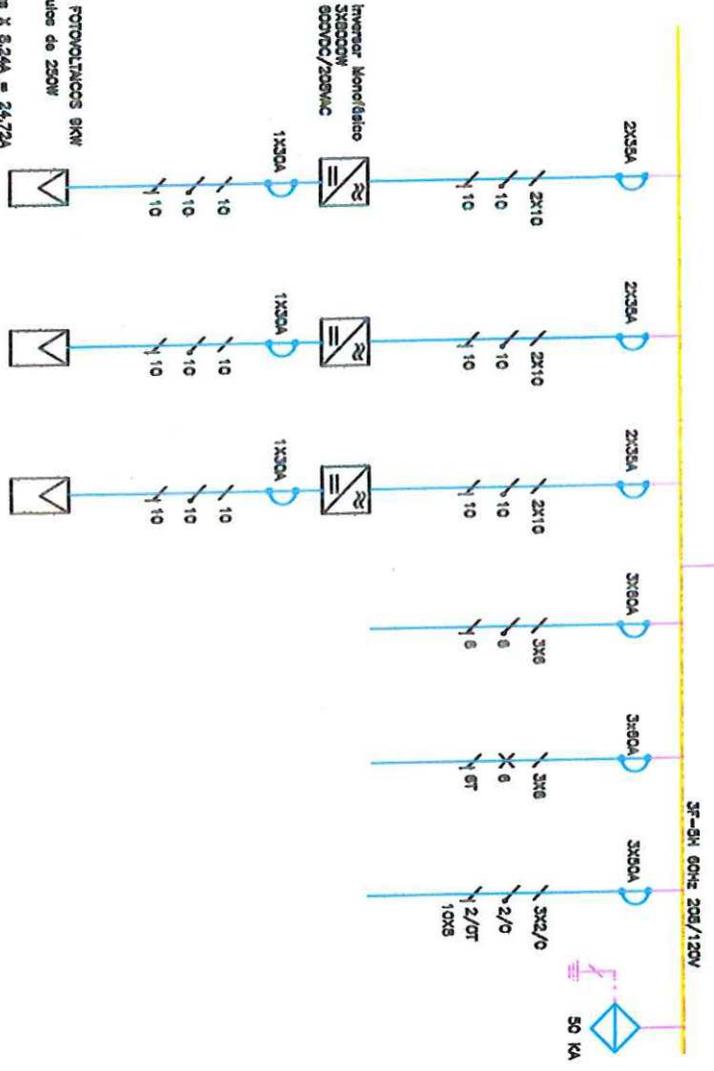
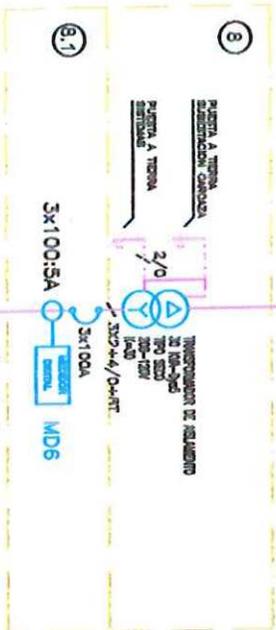
Main system parameters	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth	0°
PV modules	Model	YL250P-29b	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	108	Pnom total	27.00 kWp
Inverter	Model	Sunny Boy SB 8000 US-12-2P	Pnom	8.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	3.0	Pnom total	24.00 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

Loss diagram over the whole year



TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

MIENDE DE TDP 400



ARRELOS FOTOVOLTAICOS 6KW
 3X36 Module de 250W
 460VDC
 3X3 Strings X 6,24A = 24,72A

Stand Alone System: Simulation parameters

Project : **Proyecto Tatacoa**

Geographical Site **Tatacoa** **Country** **Colombia**

Situation **Latitude** **3.2°N** **Longitude** **75.2°W**
Time defined as **Legal Time** **Time zone UT-5** **Altitude** **450 m**
Albedo **0.20**

Meteo data : **Tatacoa, Synthetic Hourly data**

Simulation variant : **CASAS 1KW**

Simulation date **26/06/13**

Simulation parameters

Collector Plane Orientation **Tilt** **10°** **Azimuth** **0°**

PV Array Characteristics

PV module **Si-poly** **Model** **YL250P-29b**
Manufacturer **Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.**

Number of PV modules **In series** **1 modules** **In parallel** **4 strings**
Total number of PV modules **Nb. modules** **4** **Unit Nom. Power** **250 Wp**
Array global power **Nominal (STC)** **1000 Wp** **At operating cond.** **888 Wp (50°C)**
Array operating characteristics (50°C) **U mpp** **27 V** **I mpp** **33 A**
Total area **Module area** **6.5 m²**

PV Array loss factors

Thermal Loss factor **Uc (const)** **20.0 W/m²K** **Uv (wind)** **0.0 W/m²K / m/s**
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.) **NOCT** **56 °C**

Wiring Ohmic Loss **Global array res.** **14 mOhm** **Loss Fraction** **1.5 % at STC**
Module Quality Loss **Loss Fraction** **0.0 %**
Module Mismatch Losses **Loss Fraction** **2.0 % at MPP**
Incidence effect, ASHRAE parametrization **IAM =** **1 - bo (1/cos i - 1)** **bo Parameter** **0.05**

System Parameter **System type** **Stand Alone System**

Battery **Model** **Solar PV 8G8D**

Battery Pack Characteristics **Manufacturer** **Deka** **Nominal Capacity** **416 Ah**
Voltage **24 V** **Nb. of units** **2 in series x 2 in parallel**
Temperature **Fixed (20°C)**

Regulator **Model** **Generic Default with MPPT converter**

Converter **Technology** **MPPT converter** **Temp coeff.** **-5.0 mV/°C/elem.**
Battery Management Thresholds **Maxi and EURO efficiencies** **96.0/94.0 %**
Charging **27.0/26.2 V** **Discharging** **23.5/25.2 V**
Back-Up Genset Command **23.6/25.8 V**

User's needs : **Daily household consumers** **Constant over the year**
average **3.3 kWh/Day**

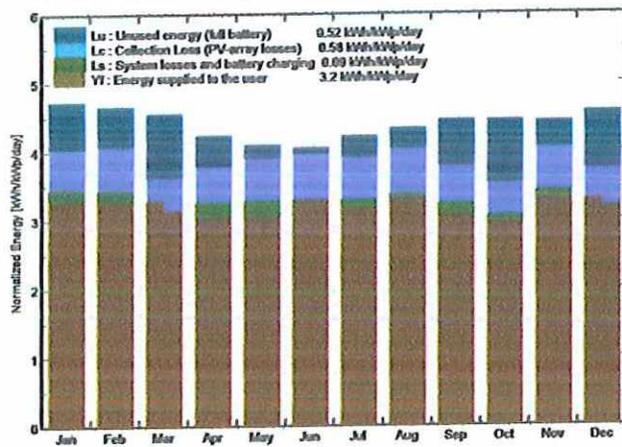
Stand Alone System: Main results

Project : Proyecto Tatacoa
Simulation variant : CASAS 1KW

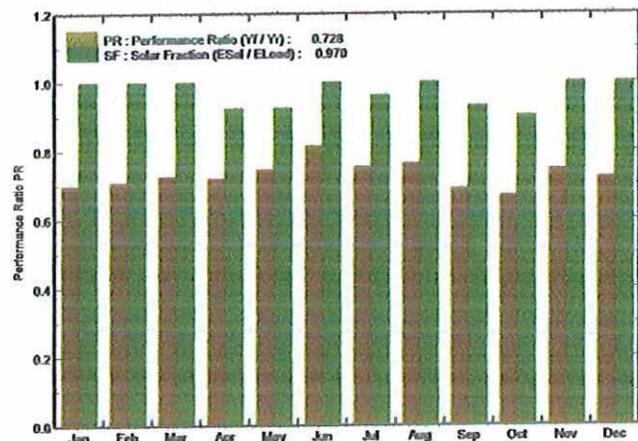
Main system parameters	System type	Stand alone		
PV Field Orientation	tilt	10°	azimuth	0°
PV Array	Nb. of modules	4	Pnom total	1000 Wp
Battery	Model	Solar PV 8G8D	Technology	sealed, Gel
battery Pack	Nb. of units	4	Voltage / Capacity	24 V / 416 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	global	1204 kWh/year

Main simulation results	Available Energy	1319 kWh/year	Specific prod.	1319 kWh/kWp/year
System Production	Used Energy	1168 kWh/year	Excess (unused)	191 kWh/year
Loss of Load	Performance Ratio PR	72.8 %	Solar Fraction SF	97.0 %
	Time Fraction	3.0 %	Missing Energy	36 kWh/year

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1000 Wp



Performance Ratio PR and Solar Fraction SF



CASAS 1KW Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	140.1	141.7	122.3	21.12	0.00	102.3	102.3	1.000
February	127.7	126.1	106.6	15.94	0.00	92.4	92.4	1.000
March	141.0	136.4	120.3	28.47	0.00	102.3	102.3	1.000
April	130.2	122.4	105.1	13.23	7.58	91.4	99.0	0.923
May	133.3	122.0	101.5	5.83	7.71	94.6	102.3	0.925
June	129.3	116.6	95.3	2.33	0.00	99.0	99.0	1.000
July	138.3	125.7	105.3	9.44	3.84	98.5	102.3	0.962
August	139.2	129.1	107.3	8.88	0.00	102.3	102.3	1.000
September	134.7	128.8	110.9	19.71	6.96	92.0	99.0	0.930
October	136.4	133.2	117.3	28.26	10.05	92.2	102.3	0.902
November	127.8	128.4	107.9	11.47	0.00	99.0	99.0	1.000
December	133.9	137.0	119.1	26.02	0.00	102.3	102.3	1.000
Year	1611.9	1547.4	1318.9	190.71	36.15	1168.3	1204.5	0.970

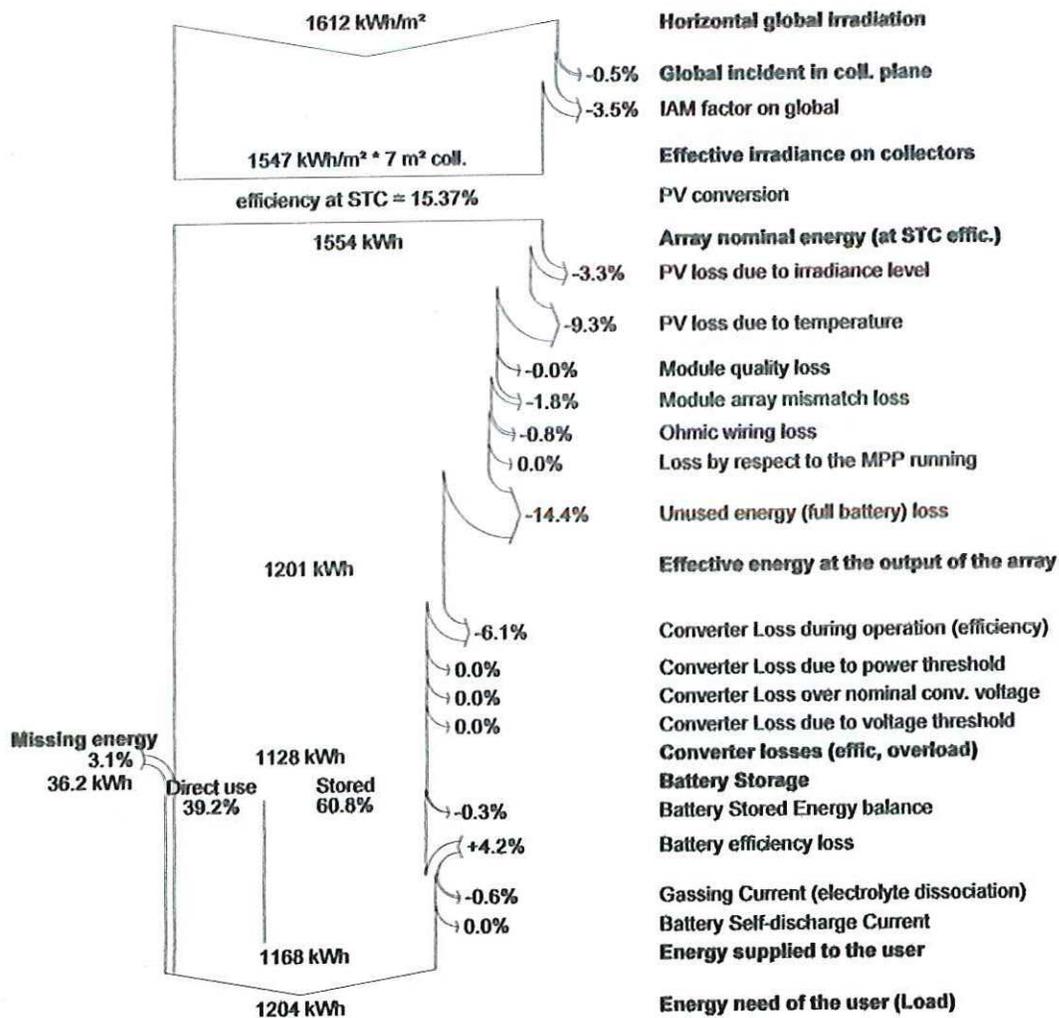
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
 E Avail Available Solar Energy
 EUnused Unused energy (full battery) loss
 E Miss Missing energy
 E User Energy supplied to the user
 E Load Energy need of the user (Load)
 SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Stand Alone System: Loss diagram

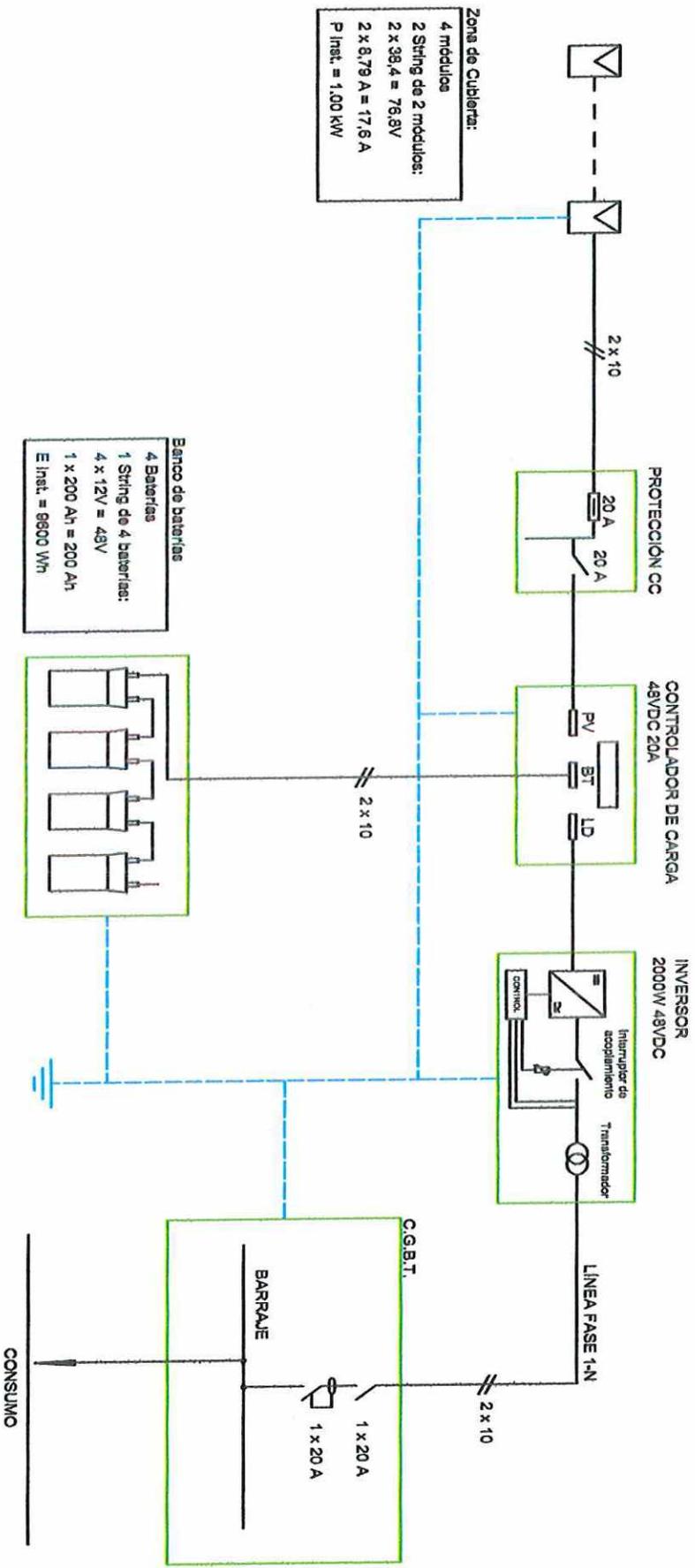
Project : Proyecto Tatacoa
Simulation variant : CASAS 1KW

Main system parameters	System type	Stand alone	azimuth	0°
PV Field Orientation	tilt	10°	Pnom total	1000 Wp
PV Array	Nb. of modules	4	Technology	sealed, Gel
Battery	Model	Solar PV 8G8D	Voltage / Capacity	24 V / 416 Ah
battery Pack	Nb. of units	4	global	1204 kWh/year
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year		

Loss diagram over the whole year



Características del módulo
 P = 250 W (Poli 60 cél.)
 Voc = 38,4 V
 Isc = 8,79 A



CHILLIDO	FECHA	NOMBRE	GESTION E INNOVACION ENERGÉTICA S.A.S.
23/07/2013	V.A.GUINCHO		
COMPENSACION	23/07/2013	J. GUINCHA	
NOVENA			

PLANO UNIFILAR SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 1000 W		PLANO No 01
		SUBSTITUYE A
		SUBSTITUYE POR

Stand Alone System: Simulation parameters

Project : **Proyecto Tatacoa**

Geographical Site **Tatacoa** **Country** **Colombia**

Situation **Latitude** 3.2°N **Longitude** 75.2°W
Time defined as **Legal Time** Time zone UT-5 **Altitude** 450 m
Albedo 0.20

Meteo data : Tatacoa, Synthetic Hourly data

Simulation variant : **CASAS 2KW**

Simulation date 21/06/13

Simulation parameters

Collector Plane Orientation **Tilt** 10° **Azimuth** 0°

PV Array Characteristics

PV module **Si-poly** **Model** YL250P-29b
Manufacturer Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

Number of PV modules **In series** 2 modules **In parallel** 4 strings
Total number of PV modules **Nb. modules** 8 **Unit Nom. Power** 250 Wp
Array global power **Nominal (STC)** 2000 Wp **At operating cond.** 1776 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C) **U mpp** 55 V **I mpp** 33 A
Total area **Module area** 13.1 m²

PV Array loss factors

Thermal Loss factor **Uc (const)** 20.0 W/m²K **Uv (wind)** 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.) **NOCT** 56 °C

Wiring Ohmic Loss **Global array res.** 28 mOhm **Loss Fraction** 1.5 % at STC
Module Quality Loss **Loss Fraction** 0.0 %
Module Mismatch Losses **Loss Fraction** 4.0 % (fixed voltage)
Incidence effect, ASHRAE parametrization **IAM =** 1 - bo (1/cos i - 1) **bo Parameter** 0.05

System Parameter **System type** **Stand Alone System**

Battery **Model** **Solar PV 8G8D**

Battery Pack Characteristics **Manufacturer** **Deka**
Voltage 48 V **Nominal Capacity** 416 Ah
Nb. of units 4 in series x 2 in parallel
Temperature Fixed (20°C)

Regulator **Model** **General Purpose Default**
Technology **Undefined** **Temp coeff.** -5.0 mV/°C/elem.

Battery Management Thresholds **Charging** 54.0/52.3 V **Discharging** 47.0/50.4 V
Back-Up Genset Command 47.3/51.6 V

User's needs : **Daily household consumers** **Constant over the year**
average 6.4 kWh/Day

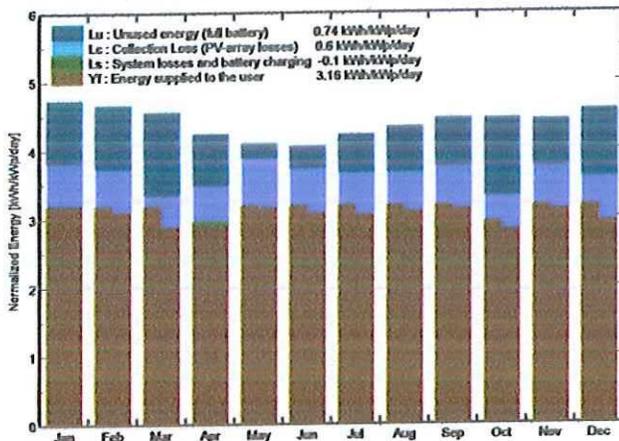
Stand Alone System: Main results

Project : Proyecto Tatacoa
Simulation variant : CASAS 2KW

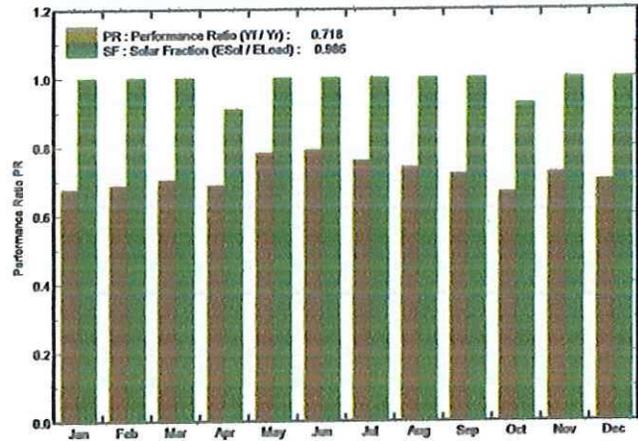
Main system parameters	System type Stand alone	azimuth 0°
PV Field Orientation	tilt 10°	Pnom total 2000 Wp
PV Array	Nb. of modules 8	Technology sealed, Gel
Battery	Model Solar PV 8G8D	Voltage / Capacity 48 V / 416 Ah
Battery Pack	Nb. of units 8	global 2336 kWh/year
User's needs	Daily household consumers Constant over the year	

Main simulation results	Available Energy 2773 kWh/year	Specific prod. 1386 kWh/kWp/year
System Production	Used Energy 2304 kWh/year	Excess (unused) 543 kWh/year
	Performance Ratio PR 71.8 %	Solar Fraction SF 98.6 %
Loss of Load	Time Fraction 1.4 %	Missing Energy 32 kWh/year

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 2000 Wp



Performance Ratio PR and Solar Fraction SF



CASAS 2KW Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	GlobEir kWh/m²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	140.1	141.7	254.2	55.41	0.00	198.4	198.4	1.000
February	127.7	126.1	225.5	51.36	0.00	179.2	179.2	1.000
March	141.0	136.4	253.1	73.66	0.00	198.4	198.4	1.000
April	130.2	122.4	223.1	44.46	17.44	174.6	192.0	0.909
May	133.3	122.0	209.1	12.74	0.00	198.4	198.4	1.000
June	129.3	116.6	203.8	18.59	0.00	192.0	192.0	1.000
July	138.3	125.7	223.6	33.94	0.00	198.4	198.4	1.000
August	139.2	129.1	233.1	40.28	0.00	198.4	198.4	1.000
September	134.7	128.8	229.5	41.31	0.00	192.0	192.0	1.000
October	136.4	133.2	245.7	69.67	15.03	183.4	198.4	0.924
November	127.8	128.4	228.2	40.42	0.00	192.0	192.0	1.000
December	133.9	137.0	243.8	60.65	0.00	198.4	198.4	1.000
Year	1611.9	1547.4	2772.5	542.70	32.48	2303.5	2336.0	0.986

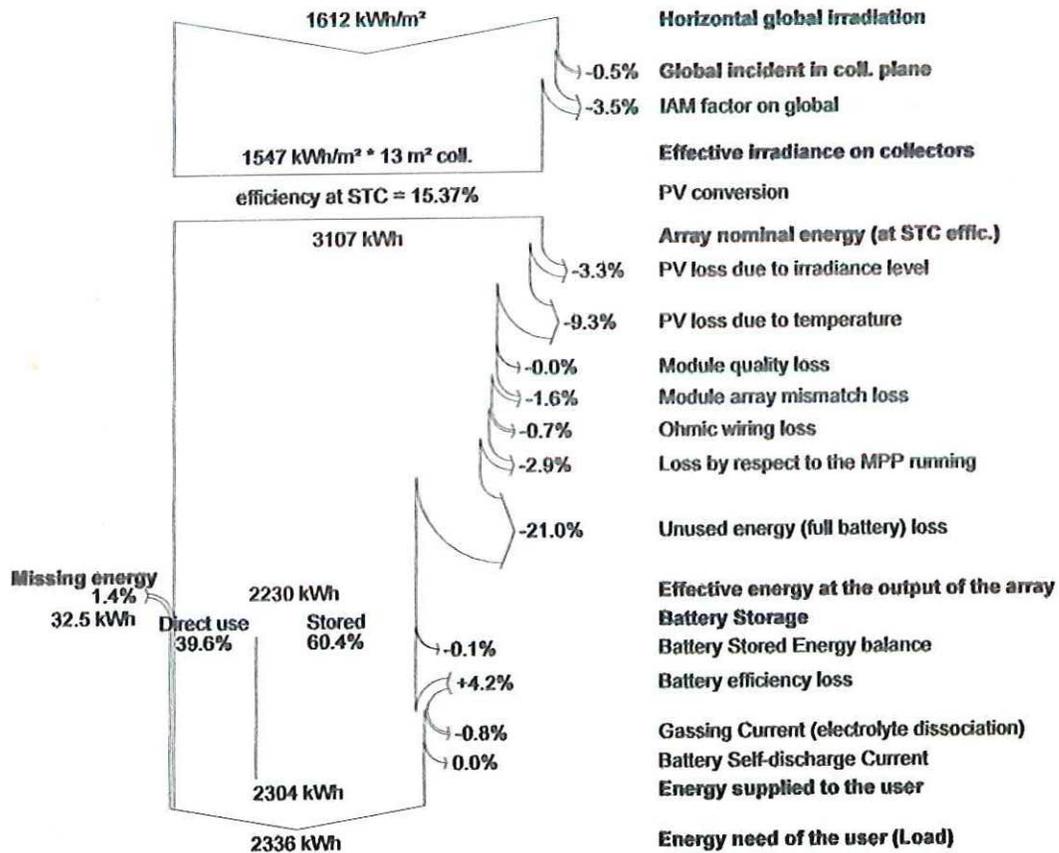
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation E Miss Missing energy
 GlobEir Effective Global, corr. for IAM and shadings E User Energy supplied to the user
 E Avail Available Solar Energy E Load Energy need of the user (Load)
 EUnused Unused energy (full battery) loss SolFrac Solar fraction (EUsed / ELoad)

Stand Alone System: Loss diagram

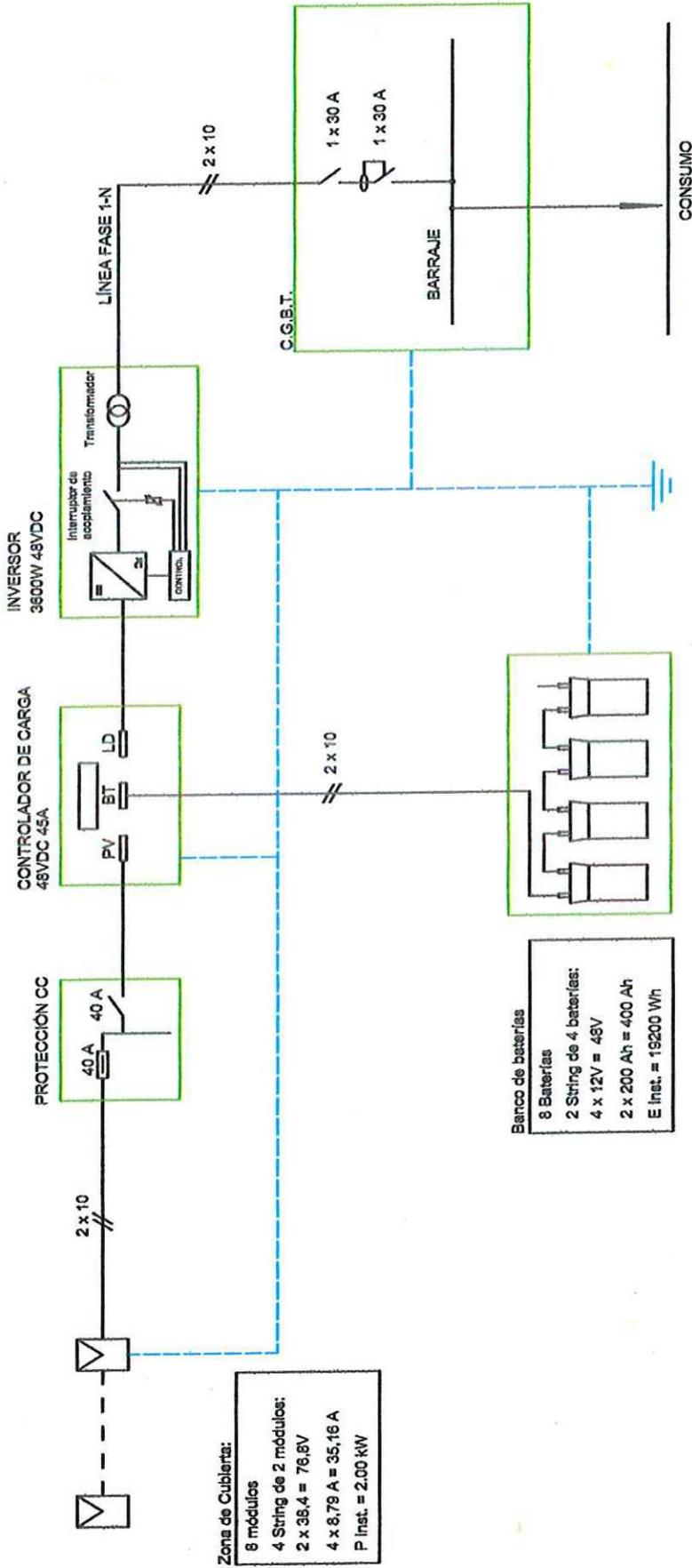
Project : Proyecto Tatacoa
Simulation variant : CASAS 2KW

Main system parameters	System type	Stand alone	azimuth	0°
PV Field Orientation	tilt	10°	Pnom total	2000 Wp
Battery	Nb. of modules	8	Technology	sealed, Gel
battery Pack	Model	Solar PV 8G8D	Voltage / Capacity	48 V / 416 Ah
User's needs	Nb. of units	8	global	2336 kWh/year
	Daily household consumers	Constant over the year		

Loss diagram over the whole year



Características del módulo
 P = 250 W (Poli 60 celi.)
 Voc = 38,4 V
 Isc = 6,79 A



Zona de Cubierta:
 8 módulos
 4 String de 2 módulos:
 2 x 38,4 = 76,8V
 4 x 6,79 A = 35,16 A
 P Inst. = 2,00 kW

Banco de baterías
 8 Baterías
 2 String de 4 baterías:
 4 x 12V = 48V
 2 x 200 Ah = 400 Ah
 E Inst. = 19200 Wh

FECHA	NOMBRE
DISEÑO	23/07/2013
COMPROBADO	23/07/2013
REVISADO	
	V. ACHILDO
	J. OLINA

**GESTION E INNOVACIÓN
 ENERGÉTICA S.A.S.**

**PLANO UNIFILAR SISTEMA
 FOTOVOLTAICO DE 2000 W**

PLANO No 02

SUSTITUYE A

SUSTITUYE POR