



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

# Análisis del sector eléctrico en Liberia y proyecto de instalación híbrida pv en Monrovia

Autor: Natalia García Romero, Ing. Caminos, Canales y Puertos

Tutor: Miguel Villarrubia, Doctor en Física

Curs acadèmic: 2017 - 2018

Màster en Energies Renovables i  
Sostenibilitat Energètica

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:





## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>8</b>
<b>0.- INTRODUCCIÓN. ENERGÍA SOSTENIBLE PARA TODOS</b> .....	<b>1</b>
0.1 OBJETO .....	1
0.2 METODOLOGÍA .....	1
<b>1.- PARTE 1: ESTADO DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LIBERIA</b> .....	<b>2</b>
1.1 LIBERIA: CARACTERIZACIÓN GENERAL .....	2
1.1.1 <i>Datos geográficos</i> .....	2
1.1.2 <i>Población</i> .....	2
1.2 CLIMATOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	2
1.3 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	5
1.3.1 <i>Acceso a la electricidad</i> .....	5
1.3.2 <i>Producción eléctrica</i> .....	5
1.3.3 <i>Otros tipos de producción energética</i> .....	6
1.4 ESTADO DE LA RED ELÉCTRICA. PROYECCIONES FUTURAS. ....	6
1.5 ESTADO DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA.....	7
1.6 OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR FOTOVOLTAICO.....	8
1.7 SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE PANELES PV: MATERIALES PARA LA ENERGÍA Y LA SOSTENIBILIDAD .....	9
1.8 CONCLUSIÓN PARTE I .....	12
<b>2.- PARTE II: PROYECTO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN MONROVIA</b> .....	<b>13</b>
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA .....	13
2.2 PROPUESTAS DE ACTUACIÓN .....	17
2.3 ACTUACIONES PASIVAS: ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA .....	17
2.4 ACTUACIONES ACTIVAS: SISTEMA HÍBRIDO FV, BATERÍAS, RED Y GENERADOR .....	19
2.4.1 <i>Diseño sistema fotovoltaico: HelioScope</i> .....	19
2.4.2 <i>Análisis y optimización económica del sistema híbrido: HomerPro®. Esquema.</i>	21
2.4.3 <i>Análisis de sensibilidad y optimización de resultados</i> .....	23
2.4.4 <i>Resultados de la opción seleccionada</i> .....	23
2.5 CONCLUSIÓN PARTE II.....	24
<b>3.- CONCLUSIONES</b> .....	<b>26</b>
<b>4.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</b> .....	<b>27</b>
ANEXOS .....	0
ANEXO Nº 1: PLANO DE SITUACIÓN .....	1
ANEXO Nº 2: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM .....	3
ANEXO Nº 3: EJEMPLOS SITUACIÓN DE POBREZA Y POBREZA ENERGÉTICA EN LIBERIA .....	4
ANEXO Nº 4: EJEMPLOS SECTOR PV EN MONROVIA.....	8
ANEXO Nº 5: CARACTERIZACIÓN DE LA VIVIENDA .....	12
ANEXO Nº 5.1: EDIFICACIÓN, CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS Y RAIN HARVESTING.....	13
ANEXO Nº 5.2: GENERACIÓN ELÉCTRICA .....	16
ANEXO Nº 6: CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y PERFIL DE CARGA.....	18
ANEXO Nº 7: CONSUMO ENERGÉTICO: FACTURAS DIÉSEL Y ELECTRICIDAD LEC .....	23
ANEXO Nº 8: RESULTADOS SOFTWARE HELIOSCOPE .....	26



ANEXO 8.1: ANNUAL PRODUCTION REPORT .....	27
ANEXO Nº 8.2: SHADING REPORT .....	28
ANEXO Nº 8.3: ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS MENSUALES .....	29
ANEXO Nº 8.4: ESTIMACIÓN DÍA DE MÁXIMA PRODUCCIÓN .....	31
ANEXO Nº 9: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN PV.....	33
ANEXO Nº 9.1: PANEL FOTOVOLTAICO REC280TP .....	34
ANEXO Nº 9.2: INVERTER SUNNY BOY SB5000TL.....	36
ANEXO Nº 9.3: GESTOR DE CARGA SUNNY ISLAND 8.0 H .....	38
ANEXO Nº 10: PRESUPUESTO ESTIMADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	39
ANEXO Nº 11: HOMERPRO®: OPTIMIZACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO .....	41
ANEXO 11.1: PARÁMETROS ECONÓMICOS INICIALES .....	42
ANEXO 11.2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA ..	44
ANEXO 11.3: RESULTADOS DE LA OPCIÓN SELECCIONADA.....	46

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Evolución anual de temperatura y precipitación en Monrovia. ....	3
Gráfico 2 Grado de acceso a la electricidad en Liberia.....	5
Gráfico 3 Fuentes de generación eléctrica en Liberia .....	5
Gráfico 4 Producción eléctrica anual en Liberia .....	6
Gráfico 5 Distribución en el mercado de las tipologías de células fotovoltaicas .....	9
Gráfico 6 DAFO selección panel fv Cd-Te.....	12
Gráfico 7 Caracterización consumo eléctrico .....	16
Gráfico 8 Principios de actuación eficiencia energética, IEA. ....	17
Gráfico 9 Producción mensual estimada del sistema pv.....	21
Gráfico 10 Perfil de carga introducidcon en HomerPro®.....	21
Gráfico 11 Perfil de consumo estacional asumido por HomerPro® .....	22
Gráfico 12 Perfil de consumo anual asumido por HomerPro®.....	22
Gráfico 13 Estimación de día de máxima producción de la instalación fotovoltaica .....	32
Gráfico 14 Evolución de la tasa de inflación en Liberia .....	43
Gráfico 15 Resumen de costes por componente y tipología .....	47
Gráfico 16 Flujo de caja por tipología de coste durante la vida útil .....	48
Gráfico 17 Flujo de caja por componente durante la vida útil.....	48



Gráfico 18	Diferencia económica entre caso base y solución híbrida seleccionada .....	49
Gráfico 19	Resumen de la producción eléctrica anual .....	49
Gráfico 20	Resumen del consumo anual de combustible.....	50
Gráfico 21	Resumen de parámetros de funcionamiento del generador 4Kw .....	50
Gráfico 22	Estimación de la penetración de producción renovable.....	51
Gráfico 23	Resumen del estado de las baterías .....	51
Gráfico 24	Resumen de la producción fotovoltaica .....	52
Gráfico 25	Evolución de la electricidad comprada a la red.....	52
Gráfico 26	Estimación del funcionamiento del inversor .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de principales parámetros meteorológicos.....	4
Tabla 2	Resumen de principales parámetros de irradiación solar.....	4
Tabla 3	Parámetros de funcionamiento de diferentes tecnologías de células pv en clima tropical	11
Tabla 4	Caracterización de la vivienda. Datos generales.....	15
Tabla 5	Caracterización demanda energética escenarios A y B .....	16
Tabla 6	Principales resultados del sistema fotovoltaico .....	20
Tabla 7	Caracterización demanda energética escenario A .....	19
Tabla 8	Caracterización demanda energética escenario B .....	20
Tabla 9	Estimación de pérdidas mensuales de la instalación fotovoltaica .....	30
Tabla 10	Parámetros económicos considerados .....	43
Tabla 11	Análisis de sensibilidad y resultados para simulaciones con diversos componentes.	45
Tabla 12	Comparativa económica entre situación base y solución híbrida seleccionada.....	48
Tabla 13	Estimación de emisiones contaminantes.....	53
Tabla 14	Estimación de emisiones contaminantes en caso base .....	53



## ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA LIBERIA. LÍMITES POLÍTICOS DEL PAÍS. ....	2
IMAGEN 2	DISTRIBUCIÓN DE VIENTOS A ESCALA GLOBAL. ....	3
IMAGEN 3	CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MT. COFFE.....	7
IMAGEN 4	PROYECTO DE INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA ENTRE LIBERIA, COSTA DE MARFIL, SIERRA LEONA Y GUINEA.....	8
IMAGEN 5	TIPOLOGÍA DE CONEXIÓN BACK TO BACK.....	10
IMAGEN 6	VISTA GENERAL DE LA VIVIENDA, ENTRADA LADO SUR. ....	13
IMAGEN 7	FLUJO DE AIRE EN UNA VIVIENDA TRADICIONAL MALASIA. ....	18
IMAGEN 8	ESQUEMA DE DISEÑO SISTEMA FOTOVOLTAICO EN HELIOSCOPE.....	20
IMAGEN 9	ESQUEMA DE DISEÑO EN HOMERPRO®.....	22
IMAGEN 10	SOLUCIÓN HÍBRIDA SELECCIONADA.....	23

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se sitúa en Liberia, un país de clima tropical situado en el África Occidental que forma parte del grupo de países menos adelantados. El proyecto cuenta con un doble enfoque:

1. Caracterizar el sector energético y eléctrico de Liberia, como ejemplo de las altas necesidades y demandas en los países en vías de desarrollo y explorar cómo la energía renovable fotovoltaica puede allanar el camino en la transición energética hacia una energía confiable, asequible y sostenible para todos, en línea con el ODS7: energía asequible y limpia.
2. Escenario de caso real para una casa residencial alimentada actualmente con una red eléctrica no confiable y de mala calidad y un grupo electrógeno. Se dimensionará un sistema híbrido que agrega un sistema fv y baterías de plomo-ácido, demostrando su viabilidad técnica, ventajas económicas y beneficios ambientales en la reducción de GEI (gases de efecto invernadero).

## ABSTRACT

The current project is located in Liberia, a least developed country in tropical Western Africa. The project has a twofold focus:

1. Characterize the Liberian energy and electrical sector, as an example of the high needs and demands in developing countries and explore how the photovoltaic renewable energy can pave the way in the energy transition towards a reliable, affordable and sustainable energy for all, in line with SDG7: affordable and clean energy.
2. Real case scenario for a residential house currently feed with an unreliable and poor quality electrical network and a genset. A hybrid system adding a pv and lead-acid batteries will be dimensioned proving its technical feasibility, economic advantages and environmental benefits in reducing GHG (greenhouse gas emissions).

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi tutor, Miguel Villarrubia. Por su amor al conocimiento y facilidad de explicar lo complicado de manera sencilla. Su amor por la ciencia y claridad de ideas son un ejemplo.

A Rodrigo López-Lax, por su inestimable apoyo. Su pasión por la energía solar y por ayudar a acercar la energía a quienes más la necesitan es contagiosa. Su profundo conocimiento del campo de la energía y su generosidad al compartirlo han hecho posible este proyecto.



## 0.- INTRODUCCIÓN. ENERGÍA SOSTENIBLE PARA TODOS

### 0.1 objeto

Liberia es un país del África Occidental que, conforme a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTDA) está incluido en la lista de Países Menos Adelantados, grupo al que se pertenece cuando se cuenta con bajos ingresos per cápita, se tiene un bajo índice de capital humano (que combina factores como desnutrición, altas tasas de mortalidad infantil y maternal, baja escolarización y alfabetización) y hay una elevada vulnerabilidad económica.

De manera significativa, recientemente UNCTAD ha elaborado un informe denominado “The least developed countries report 2017: Transformational Energy Access” con un foco en el Objetivo 7 de Desarrollo Sostenible “Energía asequible y no contaminante”. El acceso a una energía asequible, con seguridad de suministro, sostenible y moderna es un elemento fundamental para permitir la transformación y la mejora de la calidad de vida de las personas que viven en los países menos adelantados.

Es necesaria una transformación estructural de todo el sistema energético en la que demos respuesta a las necesidades de la población sin comprometer el futuro de generaciones futuras como consecuencia de la contaminación y del cambio climático. En esta transformación, el cambio a nuevos modelos de consumo responsable, la eficiencia energética y las energías renovables han de jugar un rol fundamental.

El elevado grado de carencia existente en los países en vías de desarrollo supone a la vez un reto y una oportunidad para los sistemas de generación energética con energías renovables y los sistemas de generación off-grid. Es por ello que el presente trabajo se va a centrar en dos objetivos primordiales:

1. Exponer la situación de carencia energética en Liberia y el potencial para la energía solar fotovoltaica.
2. Desarrollar el proyecto piloto de una instalación híbrida fotovoltaica y justificar su viabilidad técnica, económica y medioambiental.

### 0.2 Metodología

Para la elaboración del presente trabajo se ha procedido a realizar una misión in situ en Liberia para la recopilación y toma de datos. Asimismo se han efectuado visitas de campo a instalaciones fotovoltaicas existentes en el área metropolitana de Monrovia y se ha realizado un seguimiento tanto de manera presencial como telemático con los usuarios de la vivienda del caso piloto; el responsable de operación y mantenimiento de la instalación fotovoltaica de UNICEF en Monrovia; responsables de UNOPS Sierra Leona y Kenia; ingeniero integrante del equipo del EPC de un tramo de nueva línea de alta tensión en Liberia y el ingeniero responsable del diseño e implementación de la instalación híbrida fotovoltaica en St. Benedict Menni.

El trabajo se ha complementado con investigación bibliográfica y una formación básica en el uso de software específico para el diseño espacial de instalaciones fotovoltaicas (Helioscope) y la optimización de soluciones con energía renovable desde un punto de vista económico (HomerPro ®) gracias al uso de licencias de prueba para estudiante.

## 1.- PARTE 1: ESTADO DE LA SITUACIÓN ENERGÉTICA DE LIBERIA

### 1.1 Liberia: caracterización general

#### 1.1.1 Datos geográficos

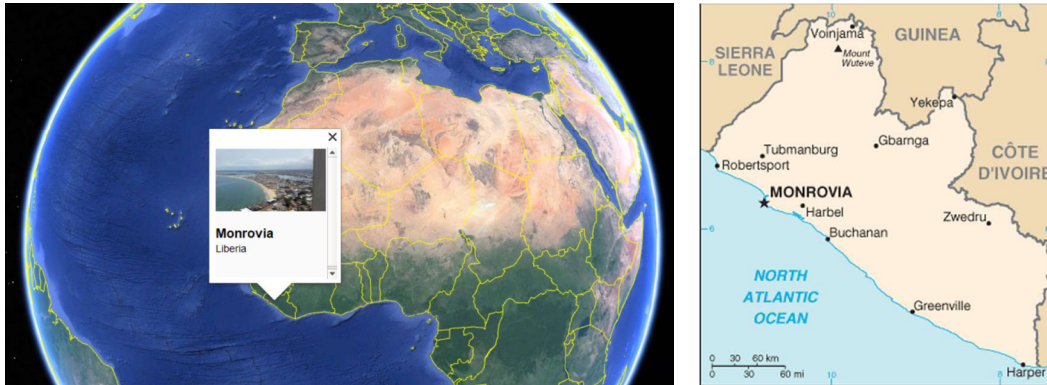


Imagen 1 Ubicación geográfica Liberia. Límites políticos del país.

Fuentes: *Google Earth Pro* [software], [Consulta: abril 2018] y «*The world factbook. Library. Liberia*». [en línea], Central Intelligence Agency, 12-07-2018. Ciafactbook <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/li.html>> [Consulta: julio 2018].

Liberia es un país del África Occidental ubicado entre el océano Atlántico, Costa de Marfil, Guinea y Sierra Leona.

Cuenta con 579 km de costa y una superficie total de 111.369 km<sup>2</sup>, de los cuales un 40% es bosque tropical.

#### 1.1.2 Población

Liberia tiene una población estimada de 4,69 millones de habitantes (julio 2017).

Se estima que más de la mitad de la población vive en zonas urbanas, con al menos un tercio de la población total residente en el Gran Área Metropolitana de Monrovia, la capital del país.

### 1.2 Climatología y cambio climático

En relación a la climatología, es importante reseñar que no existe un organismo oficial en Liberia encargado de la toma, recopilación y análisis de datos meteorológicos. No obstante, se encuentran diversos estudios llevados a cabo por organismos internacionales que han analizado el clima en Liberia y sus variaciones climáticas al objeto de establecer pautas para la adaptación frente al cambio climático (Climate Change Portal del Banco Mundial; UNDP Climate Change Country Profiles, etc.).

La capital de Liberia, Monrovia, está ubicada en África occidental frente a la costa atlántica. El entorno se caracteriza por un clima tropical fuertemente influenciado por los monzones con dos estaciones muy marcadas: la estación seca y la lluviosa. La estación lluviosa, que se suele corresponder con los meses de mayo a noviembre, está fundamentalmente regida por el movimiento del cinturón lluvioso tropical (conocido como Inter-tropical Convergence Zone ITCZ), que oscila entre los trópicos a lo largo del

año. Cuando el ITCZ está en su posición más septentrional, la dirección predominante del viento en las regiones al sur del ITCZ es sudoeste, acercando aire húmedo del Atlántico hacia el continente. Este efecto, conocido como monzón del África occidental, da lugar a precipitaciones extremadamente intensas en la costa de Liberia durante la época lluviosa, que pueden llegar a exceder los 1000mm. Durante el invierno, la dirección del viento se invierte, llegando un viento seco y polvoriento procedente del Sahara conocido como "Harmattan".

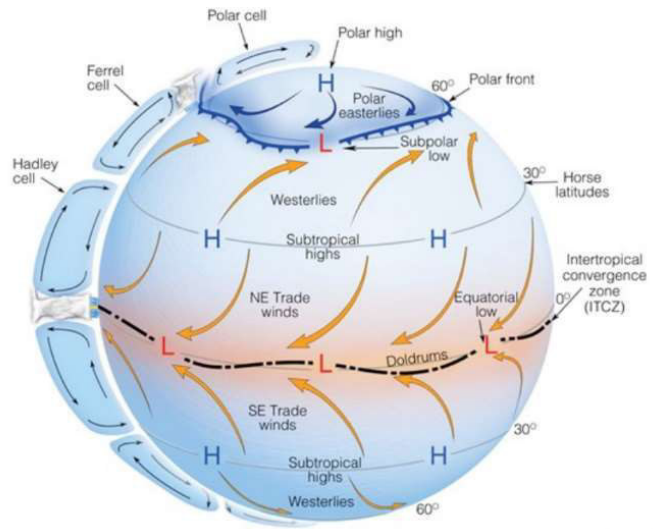


Imagen 2 Distribución de vientos a escala global.

Fuente: Meteorology Today. Apuntes de Cambio Climático

La estación lluviosa varía considerablemente de año a año y también a lo largo de las décadas, debido en parte a variaciones en los movimientos e intensidad del ITCZ y también a variaciones e tiempo e intensidad del monzón del África occidental por fenómenos tales como El Niño, aunque se pueden establecer parámetros medios anuales como los recogidos en el siguiente gráfico y tabla:

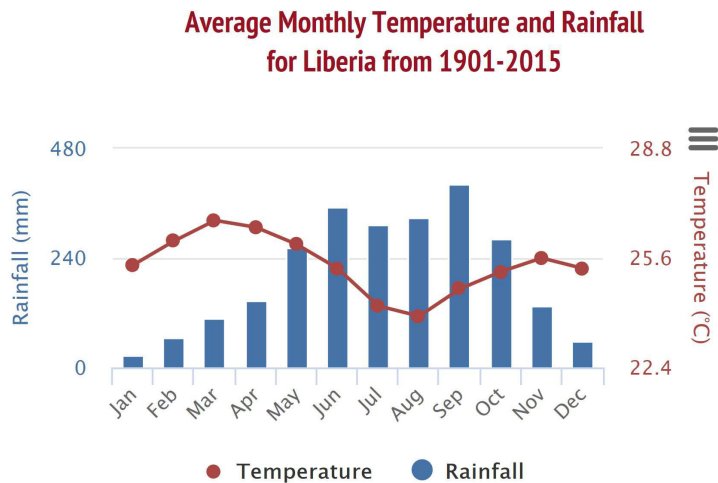
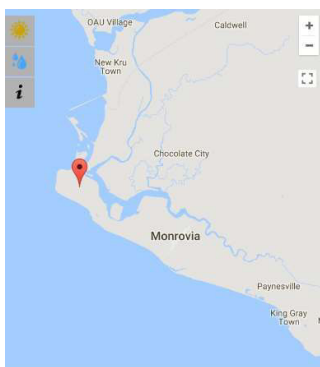


Gráfico 1 Evolución anual de temperatura y precipitación en Monrovia.

Fuente: Climate Change Knowledge Portal. The world Bank Group. Datos producidos por el Climatic Research Unit (CRU) de la Universidad de East Anglia (UEA).

PARÁMETRO	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JUL	AG O	SE P	OC T	NO V	DIC
<b>TEMPERATURA</b>												
<b>Tmin</b>	23	23	24	25	24	23	23	23	23	23	23	23
<b>Tmax</b>	30	31	31	31	30	28	27	26	27	28	30	30
<b>Tmed</b>	26	27	27	27	27	26	25	25	25	26	27	26
<b>Lowest recorded temperature</b>	5	17	17	21	20	20	20	20	17	20	20	16
<b>Highest recorded temperature</b>	35	37	45	46	40	33	42	35	32	37	42	37
<b>PRECIPITACIÓN</b>												
<b>n. medio de días con lluvia</b>	1	3	4	7	13	19	21	23	22	17	9	3
<b>mm</b>	29,0 7	42,9	91,9 5	141, 38	277, 56	439, 34	427, 06	458, 53	468, 04	317, 3	164, 53	71,5 9
<b>HUMEDAD</b>												
<b>% humedad (mañana)</b>	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96	95	96
<b>% humedad (tarde)</b>	55	58	61	66	72	78	80	82	80	76	72	63
<b>punto de rocío ( C )</b>	21	22	23	23	23	23	22	22	23	23	23	22

Tabla 1 Resumen de principales parámetros meteorológicos.

Fuente: [www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com)

PARÁMETROS IRRADIACIÓN SOLAR	ENE	FEB	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AG O	SEP	OCT	NO V	DIC
<b>Hh irradiación plano horizontal KWh/m<sup>2</sup>/día</b>	5,5	5,6 1	6,2 8	5,8 4	5,1 8	4,2 8	3,8 3	3,9 8	4,1 9	4,8 6	4,9 7	5,1 7
<b>Hopt irradiación en el plano de inclinación óptima Kwh/m2/día</b>	5,9	5,8 4	6,3 3	5,6 9	4,9 1	4,0 5	3,6 6	3,8 8	4,1 7	4,9 8	5,2 5	5,5 8
<b>lopt inclinación óptima (fgrados)</b>	34	24	9	-8	-21	-24	-20	-10	2	17	30	36

Tabla 2 Resumen de principales parámetros de irradiación solar

Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Los análisis realizados hasta la fecha sobre las actuales tendencias climatológicas indican que la temperatura media en Liberia ha aumentado 0,8°C entre 1960 y 2006. No existen suficientes datos para evaluar la evolución de las temperaturas extremas, pero los datos disponibles permiten observar una tendencia significativa en el aumento de las temperaturas mínimas con noches más cálidas. Con relación a las precipitaciones, ha habido una disminución de la media anual en Liberia desde 1960, pero dada la variabilidad de las lluvias en la región es difícil determinar con los datos disponibles si forma parte de una variabilidad natural o es como consecuencia del cambio climático.

Las proyecciones realizadas para Liberia sobre cambio climático estiman un aumento de las temperaturas de 0,9-2,6°C en 2060, con mayor frecuencia de días y noches extremadamente cálidos y también con una mayor ocurrencia de lluvias extremas. Este hecho puede dar lugar a un serio aumento de las inundaciones, lo que combinado con la pobre infraestructura sanitaria y falta de acceso a agua potable puede dar lugar a un aumento de brotes de enfermedades como malaria y cólera. Y, a nuestros efectos, implicaría un aumento del consumo energético.

### 1.3 Estructura de la producción energética

#### 1.3.1 Acceso a la electricidad

El presente gráfico, obtenido en base a los datos de la última encuesta a hogares realizada en 2014 y disponible a través del CIAFactbook, refleja como tan sólo un 4% de la población de Liberia tiene acceso a la electricidad a través de la empresa nacional para la producción y distribución eléctrica, LEC (Liberia Electricity Corporation).

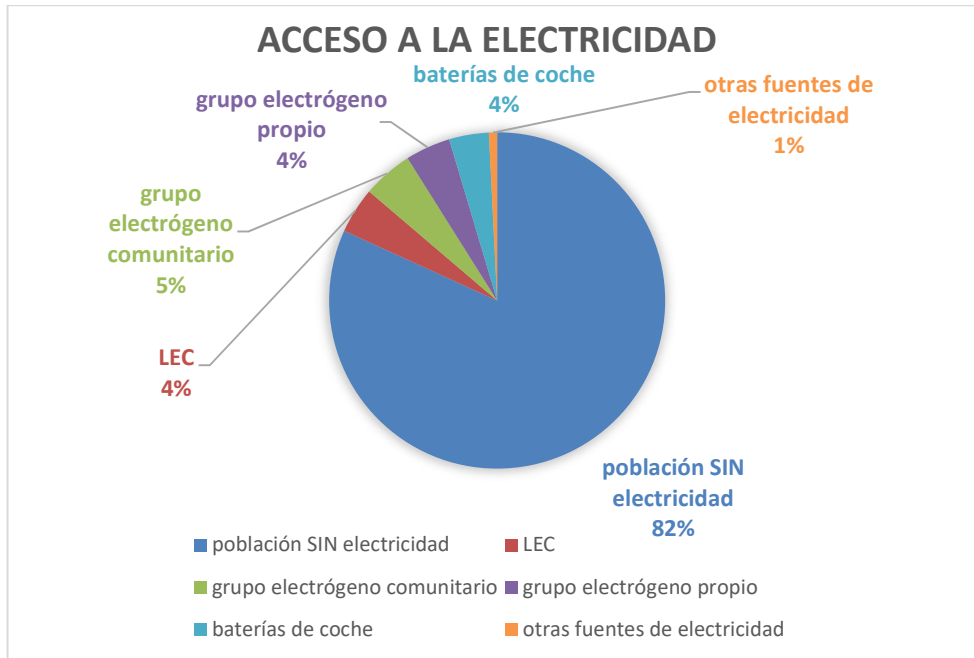


Gráfico 2 Grado de acceso a la electricidad en Liberia

#### 1.3.2 Producción eléctrica

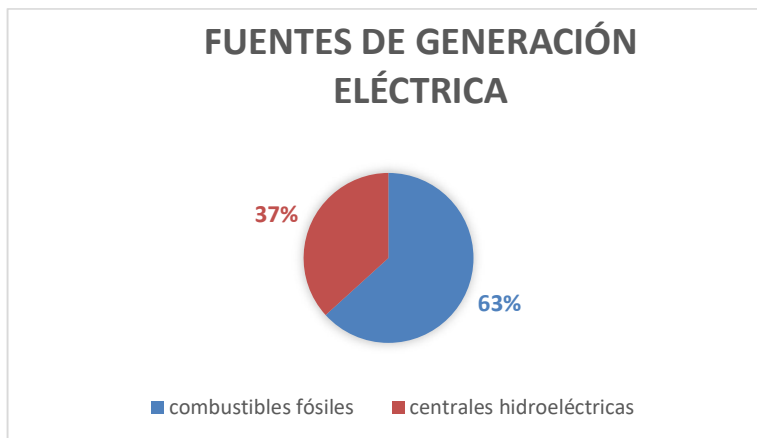


Gráfico 3 Fuentes de generación eléctrica en Liberia

La generación eléctrica es mayoritariamente a través de combustibles fósiles, con un destacable porcentaje (37%) de producción mediante centrales hidroeléctricas.

Conforme a los datos aportados por el Liberia Financial Statistics Vol. 20 No.1 Jan-Feb, 2018, producido por el Bank's Research, Policy and Planning Department del Banco Central de Liberia en sus tablas Key output volumen para 2016 y 2017, páginas 29-31, entre julio de 2016 y junio de 2017 se han producido un total de 115,3 Gwh eléctricos en Liberia con los siguientes valores representados mes a mes:

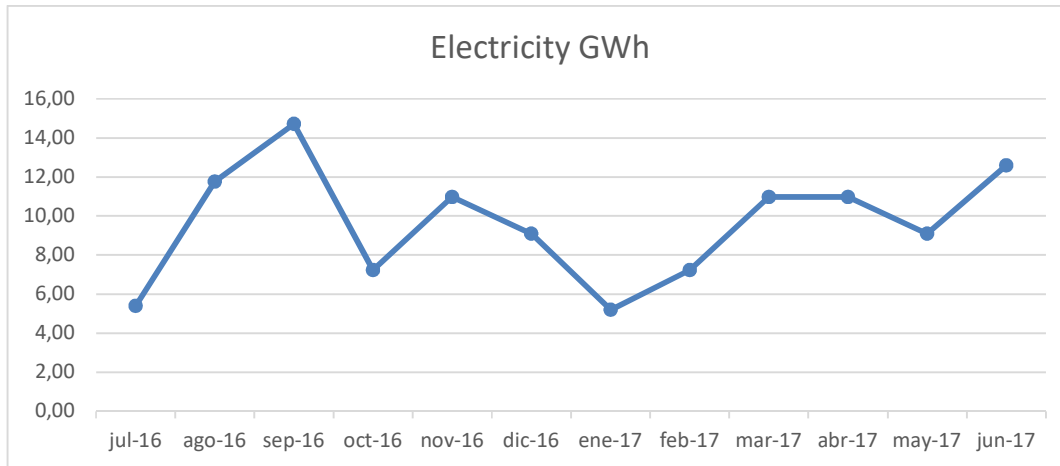


Gráfico 4 Producción eléctrica anual en Liberia

El citado documento en su página 49 también arroja cifras interesantes relativas a la importación de productos de petróleo (premium y diésel), que alcanzaron la cifra de 157,69 millones de litros en 2016 y que de forma llamativa prácticamente se duplicaron en 2017, con un volumen de importación de 306,12 millones de litros.

### 1.3.3 Otros tipos de producción energética

No existen en el país centrales nucleares ni plantas de centrales de producción eléctrica de fuentes renovables además de la generación hidroeléctrica previamente mencionada.

## 1.4 Estado de la red eléctrica. Proyecciones futuras.

Los duros y largos periodos de guerra civil en Liberia (1989-1997 y 1999-2003) han acabado con la mayor parte de las infraestructuras del país y con sus instituciones, que desde hace unos años vienen reponiéndose con la ayuda de la colaboración internacional.

Tal es el caso del sector eléctrico: la red presenta cortes diarios de luz, la falta de acuerdos de suministro diésel ligado a su aumento de precio han obligado al cierre de las plantas térmicas por algunos periodos dejando a gran parte de los usuarios sin electricidad, se carece de contadores, hay insuficientes transformadores, etc.

Desde 2006 se están realizando diversos avances para la mejora del servicio entre los que destacan:

- la instalación de nuevas unidades de emergencia tipo diésel con capacidad de 16-18 MW de potencia
- la incorporación de un nuevo equipo de gestión de LEC
- nuevos proyectos de conexión en el área metropolitana de Monrovia
- la rehabilitación y reparación de la central hidroeléctrica de Mt. Coffee.

En la actualidad se está procediendo a la rehabilitación y reparación de la central hidroeléctrica de Mt. Coffee, que dejó de funcionar en 1990 como consecuencia de la guerra civil que asoló al país.

Con la puesta en marcha la central, de 64 MW de capacidad, será la planta de generación eléctrica más grande de Liberia y ayudará a proporcionar una mejor seguridad de suministro y a mejorar el ajuste a la curva de demanda de energía eléctrica a la que debe dar respuesta LEC. Asimismo, la central hidroeléctrica, situada a tan sólo 27 km de Monrovia, contribuirá con su generación eléctrica al intercambio energético con los países vecinos.



Imagen 3 Central hidroeléctrica de Mt. Coffe.

Fuente: «*Generation projects*» [en línea]. Liberia Electricity Corporation

## 1.5 Estado de interconexión eléctrica.

Desde 2012, el West African Power Pool (WAPP) ha establecido el objetivo de crear un mercado regional de la electricidad en África Occidental con el desarrollo e implementación de las infraestructuras necesarias para asegurar el acceso a los recursos energéticos en los países de Costa de Marfil, Liberia, Sierra Leona y Guinea.

Para ello, se ha creado la sociedad vehicular del proyecto llamada TRANSCO CLSG, que tiene el objetivo de construir, operar y desarrollar la línea de transmisión para la interconexión eléctrica.

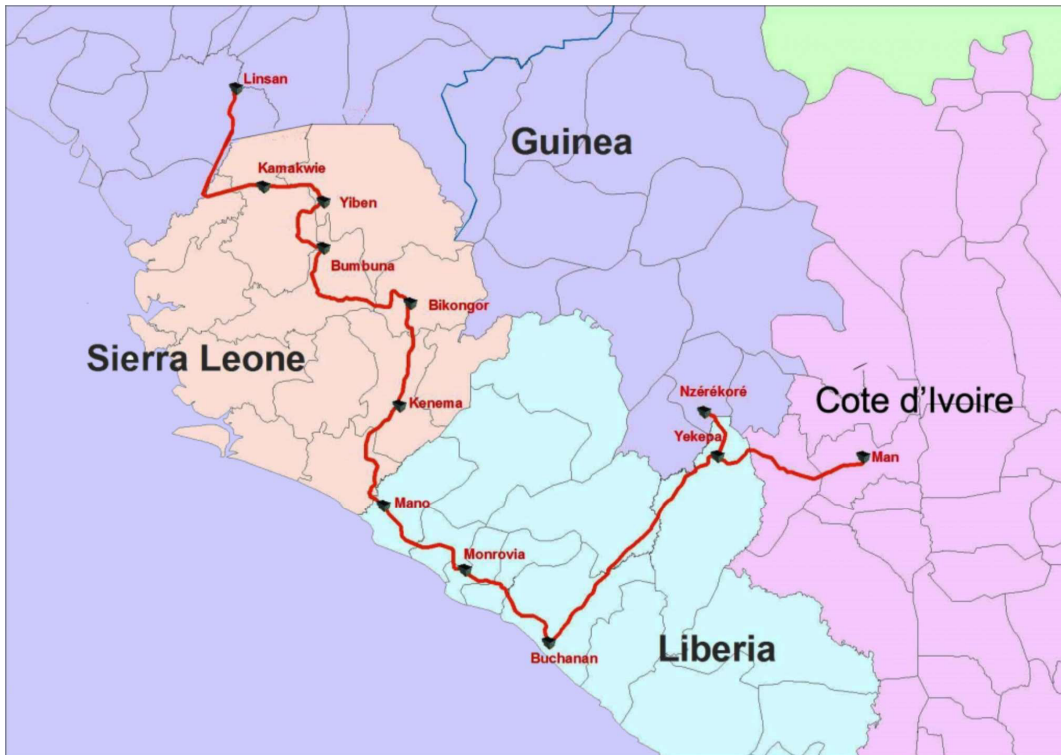


Imagen 4 Proyecto de interconexión eléctrica entre Liberia, Costa de Marfil, Sierra Leona y Guinea.

Fuente: <https://www.transcoclsg.org/gis/>

Se trata de una red de alto voltaje de aproximadamente 1.349 km electrificados a 225/330kv que contará con un centro de control regional en Linsan (Guinea).

Dentro de Liberia, el proyecto contará con 4 subestaciones a ubicar en Yekepa, Buchanan, Monrovia y Mano y será necesario construir 537 km de líneas de transmisión, siguiendo en gran parte de su recorrido la línea de ferrocarril existente y conectando con la central hidroeléctrica de Mt. Coffee que está siendo rehabilitada.

El proyecto cuenta con financiación de diversos bancos de desarrollo, como son el African Development Bank, el Banco Mundial y KfW.

Conforme a la información proporcionada por uno de los ingenieros que trabaja en la U.T.E. Elecnor-Eiffage encargada del EPC (engeneering, procurement y construction) del Lote 8, se presenta la peculiaridad de que la línea de alta tensión de 225Kv y 230km cuenta con cables de guarda que llevarán fibra óptica y están electrificados a 33kv.

## 1.6 Oportunidad para el sector fotovoltaico

Con un elevado índice de irradiación solar, tan sólo un 4% de la población con acceso a la red de distribución eléctrica y una población dispersa en zonas rurales de difícil acceso, la energía solar fotovoltaica off-grid parece a priori un candidato idóneo para hacer llegar la energía allá donde se necesita. Se trata de un cambio de paradigma sobre cómo se crea y se consume la energía.



Demasiados proyectos mal diseñados, ejecutados y/o mantenidos han motivado un cierto descrédito del potencial de la energía solar fotovoltaica en la región. Pero afortunadamente están apareciendo nuevas actuaciones privadas o promovidas por ONGs que están ayudando a cambiar la percepción. Alguna de estas buenas experiencias pueden ser consultadas en el Anexo 4 Ejemplos sector pv en Monrovia, como la instalación pv de Unicef o la instalación pv en el centro de salud St. Benedict Menni.

En países vecinos como Sierra Leona se están llevando a cabo iniciativas muy interesantes que, sin lugar a dudas, van a contribuir a la expansión del sector fotovoltaico. Tal es el caso por ejemplo del proyecto que promueve UNOPS en Sierra Leona en el que los centros de salud contribuyen a la generación de energía solar cediendo parte de su espacio para la construcción de pequeñas instalaciones que distribuirán posteriormente la electricidad a todo el poblado. La participación del sector privado es un elemento clave para asegurar la sostenibilidad del sistema al responsabilizarse de la operación y mantenimiento en el largo plazo. Al mismo tiempo, el uso de pequeñas redes de distribución (mini-grid) para proporcionar energía a todo el poblado contribuye a reducir los costes.

La generación de electricidad no sólo posibilita la mejora de la calidad de vida de los usuarios, sino que además abre las posibilidades al desarrollo de negocios.

Otras soluciones fotovoltaicas muy interesantes están siendo desarrolladas en el África subsahariana. Uno de los ejemplos destacables sería la empresa M-Kopa, ubicada en Kenia y Uganda, que proporciona servicios energéticos para clientes off-grid de manera “pay-as-you-go”.

### 1.7 Selección de tipología de paneles pv: materiales para la energía y la sostenibilidad

La tecnología de módulos fotovoltaicos ha evolucionado muy rápidamente en los últimos años con el descubrimiento de nuevos materiales semiconductores con ancho salto de banda que puedan ser empleados como células fotovoltaicas. En el siguiente gráfico se representan las tecnologías más comunes disponibles en el mercado:

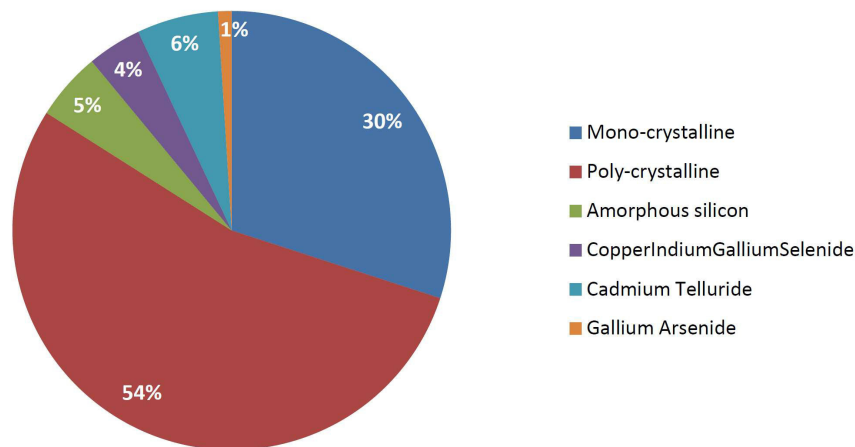


Gráfico 5 Distribución en el mercado de las tipologías de células fotovoltaicas

Fuente: A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate

Las condiciones de temperatura, humedad relativa y viento a las que van a estar sometidos los paneles fotovoltaicos instalados en clima tropical van a ser muy diferentes a las STC (standard test conditions) a las que se ensayan los paneles, lo que puede dar lugar a un detrimento de sus parámetros de funcionamiento.

En el estudio 'A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate' Renewable and Sustainable Energy Reviews de Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., Olagbegi, P. O. (2016), se realiza un análisis pormenorizado de diferentes tecnologías de células fotovoltaicas, estableciéndose que la que mejores propiedades ofrece en las condiciones de clima tropical son las células de CdTe.

Como sistemas de contacto, el estudio recomienda la conexión “back to back” dado que da lugar a menores pérdidas por recombinación, tiene mejor comportamiento ante la fatiga y mejor comportamiento termomecánico.

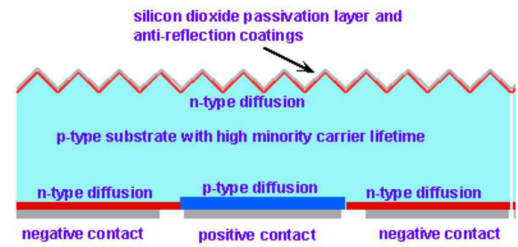


Imagen 5 Tipología de conexión back to back

Fuente: A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate

La siguiente tabla resume los principales parámetros analizados y sus conclusiones:

Cell Type	Crystalline Silicon			Thin Film	
	Mono-crystalline	Poly-crystalline	Amorphous silicon	Cadmium Telluride	CIGS
<b>Max. Efficiency</b>	25%	20%	13%	21%	20%
<b>High temp. effect on efficiency</b>	15% drop	20% drop	0% drop	0% drop	0% drop
<b>Temperature coefficient <math>p_{Max}</math></b>	-0.5%	-0.5%	-0.25%	0%	0%
<b>Low irradiance performance</b>	power output reduction	power output reduction	low impact on power output	low impact on power output	low impact on power output
<b>Optimal Performance Temp.</b>	performs well in cool weather but poorly in hot weather	performs well in cool weather but poorly in hot weather	performs well in cool weather, hot weather even in extreme heat	performs well in cool weather, hot weather even in extreme heat	performs well in cool weather, hot weather even in extreme heat
<b>Surface area for 1kW power</b>	7-9m <sup>2</sup>	8-9m <sup>2</sup>	13-20m <sup>2</sup>	11-13m <sup>2</sup>	9-11m <sup>2</sup>
<b>Cost (\$/W)</b>	1.6	1.4	0.8	0.7	0.75
<b>Complexity of Manufacturing process</b>	complicated, sophisticated and expensive	simpler and less expensive than mono crystalline	lower cost than crystalline silicon because less silicon required	lower cost and less sophisticated than crystalline silicon	lower cost and less sophisticated than crystalline silicon
<b>Carbon Footprint (gCO<sub>2</sub>-eq/kWh)</b>	45	44	50	35	46
<b>Energy Payback Time (EPBT) (months)</b>	48	36	36	8	12
<b>Market Availability</b>	easily available and dominant	most dominant with largest market share	less dominant than crystalline silicon in the market	largest market for thin film	less dominant than crystalline silicon in the market
<b>Environmental Effects</b>	no known effects	no known effects	no known effects	elemental Cadmium is toxic	no known effects

Tabla 3 Parámetros de funcionamiento de diferentes tecnologías de células pv en clima tropical

Fuente: A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate

A partir de las conclusiones obtenidas, en el presente estudio se valoró la opción de proponer paneles fotovoltaicos de tecnología thinfilm CdTe con las siguientes consideraciones:

<b>Oportunidades</b> <b>CdTe</b>	Nueva tecnología	<b>Fortalezas</b> <b>CdTe</b>	Buen funcionamiento experimental en climas tropicales
			Precio económico
<b>Amenazas</b> <b>CdTe</b>	Cd es un material de <u>elevada toxicidad</u>	<b>Debilidades</b> <b>CdTe</b>	Elevada área por 1kw de potencia
	Inexistentes controles medioambientales y de gestión de residuos		Escasa disponibilidad en el mercado
			Difíciles de reemplazar

Gráfico 6 DAFO selección panel pv Cd-Te

Desde el punto de vista energético, los paneles pv de CdTe resultan muy interesantes, No obstante, el telurio es un material estratégico escaso y el Cd, si bien es muy abundante ya que se puede obtener fácilmente como subproceso de la industria metalúrgica, supone un riesgo muy importante para la salud humana al ser cancerígeno.

Dado que en Liberia no existen sistemas de gestión de residuos ni controles adecuados en relación con el tratamiento de elementos tóxicos, desde el punto de vista de la sostenibilidad y ciclo de vida del producto se considera que las fortalezas y oportunidades de esta tecnología no compensan sus amenazas y debilidades, por lo que se decide optar por paneles de silicio cristalino que presentan las siguientes ventajas:

- Es una tecnología estándar
- Los productores de primera calidad ofrecen elevados periodos de garantía (hasta 25 años)
- En el caso de que un módulo se deteriore, o sea robado, podrá ser reemplazado con facilidad.

## 1.8 Conclusión parte I

Liberia tiene derecho a energía accesible y asequible para todos. Dentro del esquema de soluciones para mejorar la deficiente situación energética del país, la energía fotovoltaica va a jugar un rol que contribuirá a cambiar el paradigma de generación, transmisión, comercialización y consumo. Para ello será fundamental la consecución de proyectos fotovoltaicos bien diseñados, ejecutados, operados y mantenidos.

## 2.- PARTE II: PROYECTO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN MONROVIA

Como ejemplo de estudio del aprovechamiento de la energía renovable solar, se propone el análisis de una instalación híbrida de paneles fotovoltaicos y baterías para una vivienda unifamiliar ubicada en Monrovia, que actualmente se alimenta mediante conexión a red eléctrica y sistema de grupos electrógenos.

Analizaremos la demanda energética, las posibilidades de ahorro (la mejor energía es la que no se consume), y la posibilidad de alimentación con fuentes renovables (solar fotovoltaica).

El hecho de proponer el estudio en una unidad familiar con suficientes recursos financieros busca que sea una experiencia que se pueda acometer en la vida real y que funcione como caso piloto, para que anime posteriormente al resto de la comunidad al necesario cambio en el camino a la transformación energética sostenible.



Imagen 6 Vista general de la vivienda, entrada lado sur.

### 2.1 Caracterización de la vivienda

Como principales características podemos establecer los siguientes datos:

CARACTERÍSTICAS PINCIPALES DE LA VIVIENDA	
<b>Ubicación</b>	Mamba Point, Monrovia. Latitud 6°18'49.29"N y longitud 10°48'50.98"O (ver Anexo 1 Plano de Situación)
<b>Superficie</b>	250 m <sup>2</sup> en planta

	<p>La parcela cuenta con un pequeño terreno con árboles al noroeste. La edificación consta de una 1 planta de 250 m<sup>2</sup> aprox, donde está la cocina, 4 dormitorios, 3 baños y dos terrazas. En la planta baja se sitúa el cuarto de lavado, otro aseo y un almacén. Asimismo, al fondo en el lado norte se ubican una pérgola, los depósitos de agua, el "generator house" y otro almacén.</p>
<b>Suministros energéticos</b>	<p>Electricidad LEC</p> <p>Diésel</p>
<b>Condiciones de suministro energético de electricidad a través de LEC</b>	<p>220v</p> <p>Monofásica</p> <p>Contratación prepago con contador digital "prepaid meter"</p> <p>0,385 USD/Kwh</p> <p>Cortes regulares de luz de 2pm-5pm y 2am-7am</p> <p>Consumo habitual 500 USD/mes</p>
<b>Condiciones de suministro energético de electricidad a través de grupo electrógeno</b>	<p>Generador de 32 Kva (25 Kw)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-antigüedad superior a 15años</li> <li>-vida útil estimada de 1.740h</li> <li>-consumo 5,68l/h (20kw)</li> </ul> <p>Generador de 5Kva (4Kw)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-vida útil estimada de 15.000h</li> <li>-consumo 1,89l/h (4kw)</li> </ul> <p>Precio diésel 0,875USD/l</p>
<b>Condiciones de suministro de agua</b>	<p>No existe suministro de agua potable.</p> <p>Compra de 1100-1400 l/mes de agua (en función de la estación)</p> <p>Depósitos de agua ubicados al norte de la parcela</p> <p>Sistema de recogida de agua de lluvia caída sobre el tejado ("rain harvesting")</p>
<b>Demanda energética</b>	<p>Potencia total instalada 26Kw</p>

Destacan dos perfiles de consumo: entresemana (Escenario A) y los fines de semana de mayor ocupación y consumo (Escenario B)

Energía total consumida escenario A: 49kwh

Energía total consumida escenario B: 135 kwh.

Tabla 4 Caracterización de la vivienda. Datos generales.

Al objeto de caracterizar el perfil de carga y al no haberse podido disponer de sistemas de análisis de consumo y definición de curvas de carga<sup>1</sup>, se ha procedido a la realización del inventario detallado de aparatos y equipos de consumo eléctrico, así como a la caracterización de los horarios de funcionamiento, al objeto de atender a la simultaneidad de uso de los mismos y poder representar de forma más ajustada el perfil de consumo diario.

Escenario A: lunes-viernes Horario LEC + generador ocasional baja ocupación (1 landlord + workers)														
ESTANCIA	TIPO	SUBTIPO	POTENCIA (w)			h/día	ENERGÍA (wh)							
			N	W	I		TOTAL	mañana 5:00-12:59	tarde 13:00-20:59	noche 21:00-04:59				
							horas	wh	horas	wh	horas	wh	wh	
cocina	iluminación	fluorescente compacta	1	30		13	390	6,0	180	5,0	150	2,0	60	
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.500	5,4	2	3.000	1,5	2.250	0,5	750		-	
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.200	4,5	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	horno	1	1.300		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	frigorífico	1	330	1,5	20	6.600	6,0	1.980	6,0	1.980	8,0	2.640	
cocina	electrodomésticos	congelador	1	396	1,8	20	7.920	6,0	2.376	6,0	2.376	8,0	3.168	
cocina	electrodomésticos	microondas	1	70		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	voltmetro	1	80		20	1.600	6,0	480	6,0	480	8,0	640	
salón	iluminación	fluorescente compacta	2	30		6	180	2,0	60	2,0	60	2,0	60	
salón	iluminación	lámparas	2	40		8	320	2,0	80	3,0	120	3,0	120	
salón	electrodomésticos	minifrijo	1	90		20	1.800	6,0	540	6,0	540	8,0	720	
salón	electrodomésticos	tv	1	95		5	475	0,0	-	4,0	380	1,0	95	
salón	electrodomésticos	impresora	1	660		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
salón	electrodomésticos	andador	1	1.865		1	1.865	0,0	-	1,0	1.865	0,0	-	
salón	electrodomésticos	voltmetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
salón	refrigeración	AC	1	809	3,58	5	4.045	0,0	-	3,0	2.427	2,0	1.618	
salón	refrigeración	AC	1	1.618	7,18	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
dormitorio principal	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
dormitorio principal	electrodomésticos	minifrijo	1	90		20	1.800	6,0	540	6,0	540	8,0	720	
dormitorio principal	electrodomésticos	voltmetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
dormitorio principal	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632		-		-	8,0	8.632	
dormitorio 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 2	electrodomésticos	voltmetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
dormitorio 2	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	0	-		-		-		-	
dormitorio 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 3	electrodomésticos	voltmetro	1	40		0	-		-		-		-	
dormitorio 3	refrigeración	AC	1	1.010	4,6	0	-		-		-		-	
dormitorio 4	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 4	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	0	-		-		-		-	
aseo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
aseo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30		0	-		-		-		-	
aseo 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30		0	-		-		-		-	
terracea 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
terracea 1	electrodomésticos	voltmetro	1	400	10000	6	2.400	2,0	800	2,0	800	2,0	800	
terracea 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
pasillo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
pasillo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
sótano	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	lavadora	1	1.650	7,5	0	-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	secadora	1	6.600	30	0	-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	calentador ACS 100l	1	1.500		2	3.000		-		-	2,0	3.000	
exterior	iluminación	fluorescente	4	138	0,625	12	1.650	1,0	138	3,0	413	8,0	1.100	
exterior	bomba agua		1	750	3	1	750	1,0	750					
			<b>26.008 w</b>				<b>49.097 wh</b>		<b>10.984 wh</b>		<b>13.691 wh</b>		<b>24.423 wh</b>	
			POTENCIA (w)				A TOTAL		A MAÑANA		A TARDE		A NOCHE	

<sup>1</sup> Serie MyeBox ®. Analizador portátil de redes eléctricas. Circuito. <http://circutor.es/es/productos/medida-y-control/analizadores-de-redes-portatiles/analizadores-de-redes-portatiles-port/serie-myebox-detail#aplicaciones>. Acceso: Mayo 2018

Escenario B: fines de semana con alta ocupación														
24h energy supply + ocupación completa														
ESTANCIA	TIPO	SUBTIPO	POTENCIA (w)			ENERGÍA (wh)								
			N	W	I	h/día	TOTAL	mañana 5:00-12:59		tarde 13:00 - 20:59		noche 21:00 - 04:59		
								horas	wh	horas	wh	horas	wh	
cocina	iluminación	fluorescente compacta	1	30			13	390	6	180	5	150	2	60
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.500	5,4	3	4.500	1,5	2.250	1,5	2.250			
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.200	4,5	1	1.200	0,5	600	0,5	600			
cocina	electrodomésticos	horno	1	1.300			2	2.600	1	1.300	1	1.300		
cocina	electrodomésticos	frigorífico	1	330	1,5	24	7.920	8	2.640	8	2.640	8	2.640	
cocina	electrodomésticos	congelador	1	396	1,8	24	9.504	8	3.168	8	3.168	8	3.168	
cocina	electrodomésticos	microondas	1	70			0,5	35	0,25	18	0,25	18		
cocina	electrodomésticos	voltímetro	1	80			24	1.920	8	640	8	640	8	640
salón	iluminación	fluorescente compacta	2	30			8	240	2	60	2	60	4	120
salón	iluminación	lámparas	2	40			8	320	2	80	2	80	4	160
salón	electrodomésticos	minifrijo	1	90			24	2.160	8	720	8	720	8	720
salón	electrodomésticos	tv	1	95			5	475			4	380	1	95
salón	electrodomésticos	impresora	1	660			0,5	330	0,5	330				
salón	electrodomésticos	andador	1	1.865			1,5	2.798			1,5	2.798		
salón	electrodomésticos	voltímetro	1	40			24	960	8	320	8	320	8	320
salón	refrigeración	AC	1	809	3,58	6	4.854			3	2.427	3	2.427	
salón	refrigeración	AC	1	1.618	7,18	5	8.090			2	3.236	3	4.854	
dormitorio principal	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
dormitorio principal	electrodomésticos	minifrijo	1	90			24	2.160	8	720	8	720	8	720
dormitorio principal	electrodomésticos	voltímetro	1	40			24	960	8	320	8	320	8	320
dormitorio principal	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632					8	8.632	
dormitorio 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30										
dormitorio 2	electrodomésticos	voltímetro	1	40			24	960	8	320	8	320	8	320
dormitorio 2	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632					8	8.632	
dormitorio 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
dormitorio 3	electrodomésticos	voltímetro	1	40			24	960	8	320	8	320	8	320
dormitorio 3	refrigeración	AC	1	1.010	4,6	8	8.080					8	8.080	
dormitorio 4	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
dormitorio 4	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632					8	8.632	
aseo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
aseo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
aseo 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
terrazza 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30			3	90	1	30	1	30	1	30
terrazza 1	electrodomésticos	voltímetro	1	400	10000	6	2.400	2	800	2	800	2	800	
terrazza 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			2	60			2	60		
pasillo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30			1	30			0,5	15	0,5	15
pasillo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			1	30			0,5	15	0,5	15
sótano	iluminación	fluorescente compacta	1	30			1	30			1	30		
sótano	electrodomésticos	lavadora	1	1.650	7,5	4	6.600	4	6.600					
sótano	electrodomésticos	secadora	1	6.600	30	4	26.400	4	26.400					
sótano	electrodomésticos	calentador ACS 100l	1	1.500			5	7.500	5	7.500				
exterior	iluminación	fluorescente	4	138	0,625	12	1.650	2	275	2	275	8	1.100	
exterior	bomba agua		1	750	3	3	2.250	2	1.500			1	750	
			<b>26.008 w</b>			<b>134.892 wh</b>			<b>57.271 wh</b>		<b>23.871 wh</b>		<b>53.750 wh</b>	
			POTENCIA (w)			B TOTAL			B MAÑANA		B TARDE		B NOCHE	

Tabla 5 Caracterización demanda energética escenarios A y B

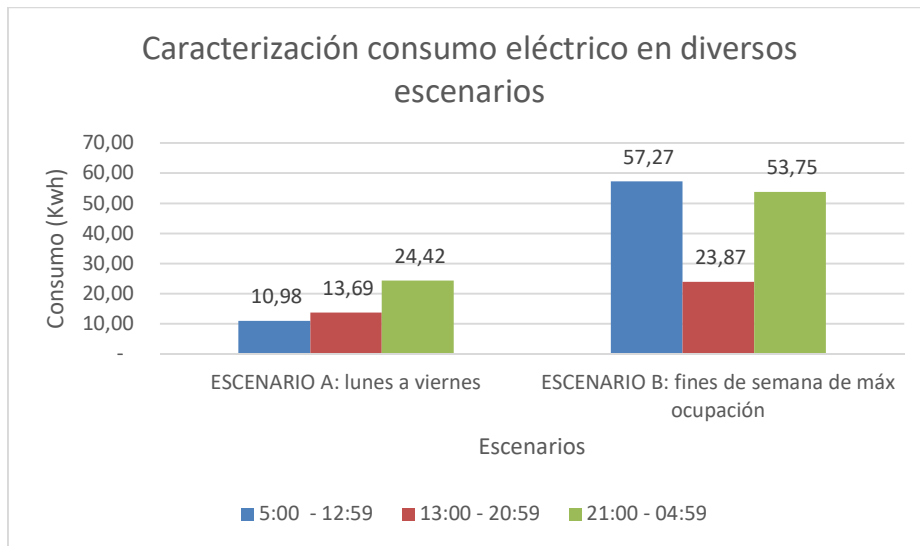


Gráfico 7 Caracterización consumo eléctrico



En el Anexo 5 “Caracterización de la vivienda” se encuentra documentación más detallada en relación al proyecto, con imágenes ilustrativas de la edificación, generación mediante grupos electrógenos, disyuntor, potencia y consumo de los aparatos eléctricos y perfil de carga simulado. Es de destacar asimismo el uso de voltímetros que, si bien incrementan de forma notable el consumo de la vivienda, resultan imprescindibles para proteger los equipos así como la instalación dada la deficiente calidad de la onda eléctrica suministrada.

## 2.2 Propuestas de actuación

La propuesta de actuación va a seguir la pauta de reducir las necesidades energéticas, disminuir asimismo el consumo y proporcionar la mayor parte de la energía necesaria a través de fuentes renovables, en línea con la estrategia energética indicada en el siguiente gráfico de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, Energy Training Week. Renewable Energy Focus. Abril 2013).

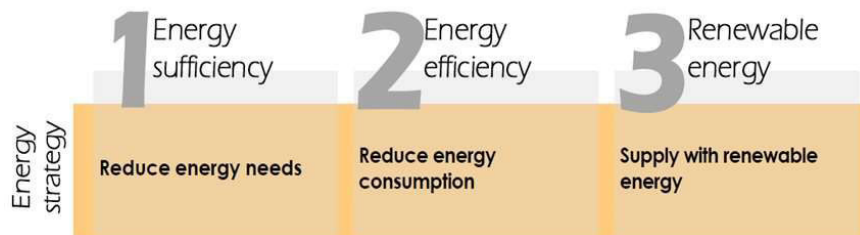


Gráfico 8 Principios de actuación eficiencia energética, IEA.

## 2.3 Actuaciones pasivas: arquitectura bioclimática

Conforme a lo indicado previamente, podemos establecer estrategias de actuación pasivas encaminadas a la reducción de las necesidades energéticas y a la reducción del consumo. En este sentido, la arquitectura bioclimática se convierte en un gran aliado en el camino hacia la eficiencia energética.

En el caso de la vivienda que nos ocupa, podemos encontrar que de hecho ya presenta importantes aspectos bioclimáticos característicos de climas tropicales<sup>2</sup> incorporados en su diseño:

---

<sup>2</sup> Roslan, Q., et al., A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region. *Frontiers of Architectural Research* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2015.10.002>

PDF | A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/284806515\\_A\\_literature\\_review\\_on\\_the\\_improvement\\_strategies\\_of\\_passive\\_design\\_for\\_the\\_roofing\\_system\\_of\\_the\\_modern\\_house\\_in\\_a\\_hot\\_and\\_humid\\_climate\\_region?\\_sg=CD7STQWw364Si3BnUuy3fBo2jBr0xuwHjL92zUsXrD\\_ScUtwmGlaLAOUUSfCMLm6VRWx8zkTpW](https://www.researchgate.net/publication/284806515_A_literature_review_on_the_improvement_strategies_of_passive_design_for_the_roofing_system_of_the_modern_house_in_a_hot_and_humid_climate_region?_sg=CD7STQWw364Si3BnUuy3fBo2jBr0xuwHjL92zUsXrD_ScUtwmGlaLAOUUSfCMLm6VRWx8zkTpW) [accessed march 2018].

- Tejado abuhardillado alto, que crea una cámara de aire que aísla la zona habitable protegiéndola del calor recibido y absorbido por el tejado.
- Aperturas y celosías que favorecen la ventilación transversal, al objeto de reducir la humedad en temporada de lluvias y refrescar la vivienda en la época seca y que contribuyen asimismo a disponer de iluminación natural.
- Zonas ajardinadas con árboles que dan sombra, al objeto de reducir la insolación, y que contribuyen a laminar las fuertes precipitaciones reduciendo así los efectos perniciosos de la escorrentía superficial.
- Terrazas y porches cubiertos, que protegen tanto de las lluvias como de la fuerte insolación.
- Las ventanas cuentan con lamas direccionales y cortinas para regular la entrada de radiación solar.
- Planta diáfana que favorece la circulación del aire.

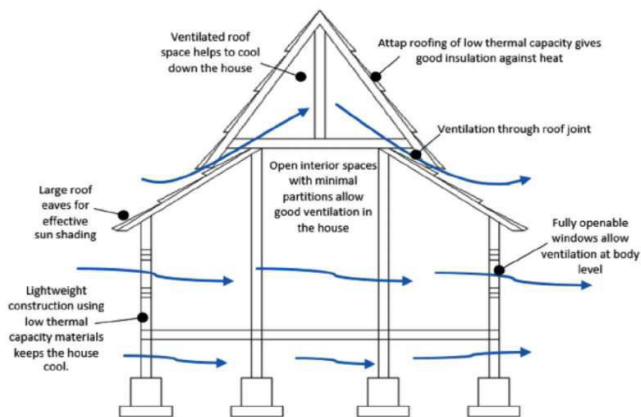


Imagen 7 Flujo de aire en una vivienda tradicional malasia.

Fuente: Lim, J.Y., 1987. The traditional Malay House, Rediscovering Malaysia's indigenous Shelter System. Institut Masyarakat, Penang, Malaysia.

Adicionalmente, en la cara norte del tejado se ha aprovechado para incorporar un sencillo sistema de recolección de agua de lluvia ("rain harvesting") que recoge el agua de los canalones de la cara norte del tejado y la deposita por gravedad en unos depósitos de almacenamiento. Posteriormente, ese agua será bombeada y filtrada previo a su uso en la vivienda.

En el Anexo 5.1 Edificación, características bioclimáticas y rain harvesting pueden apreciarse fotografías tomadas en marzo de 2018 que ilustran los aspectos comentados.

Cabe destacar que además de las medidas arquitectónicas, dentro de la vivienda ya se han tomado medidas de eficiencia energética con relación a los equipos eléctricos, tales como la sustitución de las lámparas incandescentes por otras fluorescentes compactas de bajo consumo o el adecuado dimensionamiento y distribución de los equipos de aire acondicionado. No obstante, se añaden algunas recomendaciones adicionales para la reducción de las necesidades energéticas y del consumo:

- Mantener la casa ventilada el mayor tiempo posible. Para ello, y debido a los problemas de falta de seguridad, sería necesario incorporar puertas con rejas. En el caso de las ventanas, se recomienda la incorporación de mosquiteras que,

si bien dificultan el flujo del aire, son necesarias para prevención de enfermedades, tal como la malaria.

- Adecuar los horarios de consumo energético para reducir el uso simultáneo de aparatos de elevado consumo (por ejemplo, cuarto de lavado, cocinas y aires acondicionados al mismo tiempo)

## 2.4 Actuaciones activas: sistema híbrido FV, baterías, red y generador

La vivienda que nos ocupa forma parte del afortunado 4% de la población liberiana con acceso al suministro eléctrico a través de la red. No obstante, este suministro es irregular y de baja calidad, por lo que es necesario suplementarlo con un grupo electrógeno y con voltímetros para asegurar el suministro y la calidad de la onda respectivamente.

Se plantea el aprovechamiento del recurso solar mediante paneles fotovoltaicos y un sistema de acumulación por baterías que permita mejorar la seguridad del suministro energético, contribuir a generar ahorros económicos y mejorar asimismo las condiciones medioambientales.

### 2.4.1 *Diseño sistema fotovoltaico: HelioScope*

Para el diseño del sistema fotovoltaico se ha contado con la ayuda de una versión de prueba para estudiantes de HelioScope, software profesional específico que permite el diseño espacial de instalaciones fotovoltaicas.

Partiendo de una imagen aérea, se puede definir el espacio y las características de los componentes de la instalación. En nuestro caso se ha considerado:

- Disposición sobre el tejado de la cara norte. Si bien el área seleccionada no es técnicamente la más favorable y presenta una superficie un tanto limitada, presenta otras ventajas tales como la mejora de la seguridad de la propia vivienda al quedar en una disposición más discreta.
- Parámetros meteorológicos correspondientes a un año típico meteorológico dado por la red de datos satelitales Meteonorm (Total Global irradiance at Earth's Surface w/m<sup>2</sup>, Diffuse Horizontal irradiance at Earth's Surface w/m<sup>2</sup>, Temperatura ambiente C, velocidad del viento m/s).
- Modelización de afección por zonas sombreadas
- Módulo fotovoltaico: REC280TP Rec Solar (35 paneles; 9,8 kw)
- Inversor (MPPT) Sunny Boy SB 5000TL HC (2 inversores; 10kw)



Imagen 8 Esquema de diseño sistema fotovoltaico en Helioscope

Como principales resultados se tiene:

Resultados diseño sistema fotovoltaico	
<b>Global Horizontal Irradiance</b>	1.818 kwh/m <sup>2</sup>
<b>Total Collector Irradiance (tras pérdidas)</b>	1.543 kwh/m <sup>2</sup>
<b>Producción anual</b>	11,97 Mwh
<b>Performance ratio PR</b>	69,8%
<b>Pérdidas por temperatura</b>	13,5%
<b>Pérdidas por sombreado</b>	6,9%

Tabla 6 Principales resultados del sistema fotovoltaico

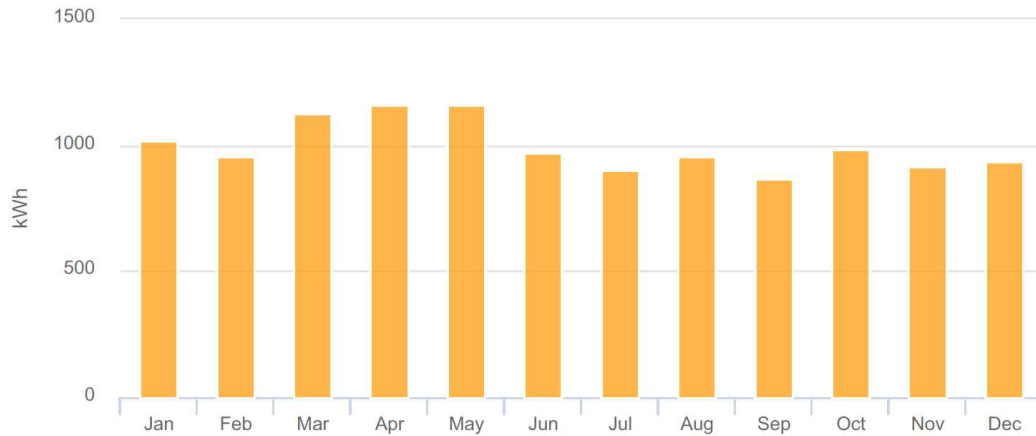


Gráfico 9 Producción mensual estimada del sistema pv

En el Anexo 8 se puede consultar de forma detallada los resultados obtenidos a partir del software HelioScope, incluyendo el informe de producción anual (Anexo 8.1), el informe de pérdidas por sombreado (Anexo 8.2), la estimación de pérdidas mensuales (Anexo 8.3) y la estimación del día de máxima producción (Anexo 8.4).

Las principales características técnicas de los equipos considerados se pueden consultar en el Anexo 9. Además de los módulos fotovoltaicos policristalinos REC280TP (Anexo 9.1) y del inversor Sunny Boy (Anexo 9.2) que realiza la conversión de DC a AC al tiempo que posibilita el seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT), se ha añadido un inversor Sunny Island (Anexo 9.3), que permite el control de la energía producida por los módulos fotovoltaicos para o bien alimentar la vivienda o bien cargar las baterías.

El conjunto de paneles, inversores, set de baterías, estructura de soporte, transporte y aduanas e instalación asciende a un monto de 31.500 USD aproximadamente (Anexo 10).

#### 2.4.2 Análisis y optimización económica del sistema híbrido: HomerPro®. Esquema.

Al objeto de seleccionar la solución técnica óptima desde el punto de vista económico, se ha realizado un análisis con apoyo de una licencia de prueba del software HomerPro®. HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) permite aunar datos técnicos y económicos y comparar ventajas y costes de diferentes sistemas. Para ello, se ha de incorporar:

- Tecnologías consideradas. En nuestro caso:
  - Generador diésel de 25kw, con su curva de consumo y estimación de vida útil.
  - Generador diésel de 4kw, con su curva de consumo y estimación de vida útil.
  - Acceso a LEC, incluyendo los cortes programados y simulación de averías de red.

- Baterías plomo-ácido, para las que se supone un estado inicial de carga del 100% y un estado de carga mínima del 40%, con un límite de degradación hasta el 20%.
- Energía renovable, permitiendo la incorporación de los datos de la instalación fotovoltaica diseñada previamente con HeliosScope.
- Perfil de carga, para lo cual se ha realizado una estimación de consumo horario para cada escenario a partir de la caracterización de la demanda energética.
- Datos económicos y coste de cada tecnología contemplada.
- Condiciones de balance energético: toda la energía demandada se ha de satisfacer a través de las soluciones técnicas disponibles.

Con los datos introducidos, el software realiza la simulación para cada hora del año para cada sistema y establece cuál es la forma más eficiente de satisfacer la demanda, valorando además en un análisis de sensibilidad qué ocurriría si se variara alguno de los parámetros.

El esquema híbrido propuesto sería el siguiente:

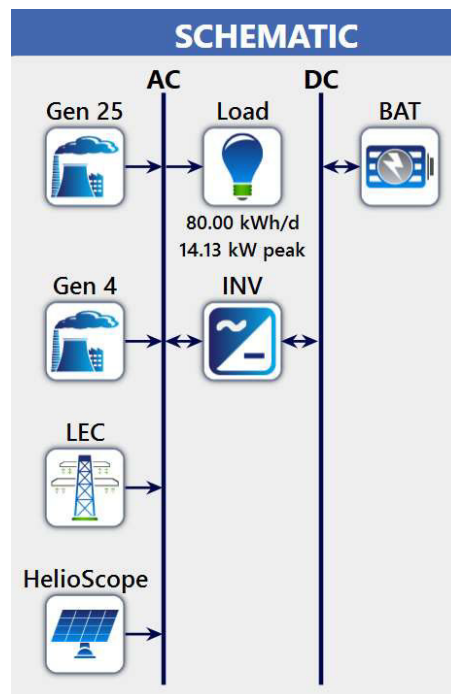


Imagen 9 Esquema de diseño en HomerPro®

Hay que destacar que el sistema de generación renovable se ha obtenido por incorporación de los datos calculados en HeliosScope. El sistema fotovoltaico está representado en el bus de AC dado que ya contempla, tanto en coste como en producción, su propio inversor para la conversión de corriente continua en corriente alterna.

### 2.4.3 Análisis de sensibilidad y optimización de resultados

En el presente estudio se ha querido analizar las implicaciones que pudiera tener un incremento del 20% sobre el precio del combustible diésel (de 0,875 \$/l a 1,05 \$/l) y también se ha solicitado al software que analice los Kwh de acumulación en baterías plomo-ácido (30, 40 ó 50) que proporciona la solución óptima.

Resulta interesante comprobar cómo el software recomienda desde un punto de vista de optimización económica la disposición de la mayor capacidad de acumulación en baterías, 50Kwh. Un aumento del precio del combustible tendría una ligera repercusión sobre el "levelized cost of electricity" (COE) influyendo sobre los costes anuales de operación y de combustible. (ver Anexo 11.2, Tabla 7 "sensitivity cases").

En relación con la optimización de resultados, el software ha simulado 128 soluciones, de las cuales se incluye en la Tabla 7 del Anexo 11.2 una selección por orden de menor a mayor COE.

Architecture						Cost				
HelioScope	Gen 25 (kW)	Gen 4 (kW)	BAT	INV (kW)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Fuel cost (\$/yr)	OBM (\$/yr)	
1.00		4.00	50	6.00	\$0.382	\$9,472	\$31,417	\$1,262	\$7,082	

Imagen 10 Solución híbrida seleccionada

Si bien la alternativa híbrida que propone el uso de los dos generadores, el sistema fotovoltaico, 50Kwh de acumulación en baterías y conexión a red es la más económica (COE 0,380 \$), se selecciona como opción preferencial de diseño la solución en la que sólo se emplea el generador de 4Kw dado que el COE es muy similar (0,382\$) y a cambio incorpora importantes ventajas adicionales:

- Simplificación de la operación y mantenimiento del sistema, al suprimir un elemento (generador de 25 kw).
- Reducción de la contaminación acústica y térmica que provoca el uso del antiguo generador de 25Kw.

Frente a la opción seleccionada, la situación base en la que se cuenta con conexión a red y dos grupos electrógenos tiene un COE de 0,529\$ y unos costes de operación anuales estimados en 15.440\$/año, un 63% más elevados que para la opción seleccionada. Se debe, no obstante, hacer la apreciación de que los costes reales en la situación actual son inferiores dado que no siempre se conectan los generadores para suplir los déficits de la red, pero son lo suficientemente representativos como para demostrar el beneficio económico que supone la incorporación de nuestro sistema híbrido renovable.

### 2.4.4 Resultados de la opción seleccionada

En el Anexo 11.3 se encuentra el detalle de los resultados de la opción seleccionada con el siguiente desglose:

- Resumen de costes por componente (baterías, generador 4Kw, red, sistema fotovoltaico, inversor) y tipología (capital, operación, recambio, valor residual, combustible) (gráfico 8). Destaca la inversión inicial de 31.416\$, con un total de 206.836\$ a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto.

- Flujo de caja a lo largo de los 25 años de vida útil del proyecto, por tipología de coste (gráfico 9) y por componentes (gráfico 10), donde destaca la notable inversión inicial y la necesidad de reponer las baterías cada 8 años.
- Comparativa económica entre la situación base que modela el caso actual y la solución híbrida seleccionada (tabla 8), que nos ofrece los siguientes parámetros económico-financieros que avalan la inversión:
  - Ahorro frente al caso base de 79.112\$ a lo largo de la vida útil
  - Retorno de la inversión ROI 15%
  - TIR (Tasa interna de retorno) 18,8%
  - Payback (plazo de recuperación) 5,15 años
- Representación gráfica de los diferentes montos a contemplar en el flujo de caja entre la situación base y la solución híbrida seleccionada (gráfico 11), donde se aprecia claramente la inversión inicial necesaria para la compra y puesta en marcha de la instalación fotovoltaica y baterías, y los ahorros anuales que dan lugar al saldo positivo de la inversión.
- Producción eléctrica (gráfico 12)
- Resumen anual de combustible (gráfico 13)
- Parámetros de funcionamiento del generador de 4Kw (gráfico 14)
- Grado de penetración de la energía renovable (gráfico 15)
- Estado de las baterías (gráfico 16)
- Producción fotovoltaica (gráfico 17)
- Electricidad comprada a la red (gráfico 18), destacándose que en nuestro caso no está permitido la venta de energía producida a la red de LEC.
- Parámetros de funcionamiento del inversor (gráfico 19)
- Estimación de emisiones contaminantes (tabla 9), que supone una notable reducción de emisiones contaminantes frente al caso base (gráfico 10), como la reducción del 39,3% de emisiones de dióxido de carbono, demostrando la justificación medioambiental además de económica de la solución híbrida propuesta.

## 2.5 Conclusión parte II

La elevada demanda energética de la vivienda que nos ocupa (49kwh entre semana y 134,9 kwh los fines de semana) actualmente cubierta con la red y dos generadores diésel de 4kw y 25 kw puede ser suplida en su totalidad mediante un sistema híbrido con conexión a la red eléctrica, un generador de 4kw, un sistema fotovoltaico y un set de 50 batería plomo-ácido.



El sistema fotovoltaico es viable técnicamente con una propuesta de 35 paneles de 9,8kw de potencia nominal. La producción anual estimada tras pérdidas es de 11,97 Mwh y la instalación tiene un coste estimado de 31.500USD.

La configuración de un sistema híbrido con el sistema fotovoltaico descrito, 50Kwh de acumulación en baterías, un generador de 4kw y la conexión a red nos permite satisfacer al 100% la demanda energética con un notable ahorro. Frente al caso base (LCOE 0,529\$), la nueva solución híbrida (LCOE 0,382) supone un ahorro de más de 79.000\$ a lo largo de los 25 años de vida útil, con un TIR del 18,8% y un plazo de recuperación de la inversión payback de 5 años, demostrando la viabilidad económica del sistema propuesto.

Se presenta también una notable reducción de gases contaminantes (reducción del 39% CO<sub>2</sub>), con las consiguientes ventajas medioambientales.

### **3.- CONCLUSIONES**

Como conclusión podemos establecer que es necesario suplir la demanda energética de los países en vías de desarrollo de manera sostenible sin comprometer aún más el equilibrio de nuestro planeta, ya afectado por el cambio climático.

En países con clima tropical la energía solar fotovoltaica complementada con sistema de almacenaje en baterías se presenta como una opción real y tangible para sistemas off-grid e incluso en casos donde ya existe conexión a red, ya que permite dar respuesta al trilema energético de seguridad de suministro, equidad energética y sostenibilidad medioambiental.

Existen actualmente en el mercado diversas herramientas que facilitan el diseño y la optimización económica de los sistemas de generación de energías renovables e hibridación, lo que va a facilitar enormemente la expansión de las energías renovables en nuevos mercados.

#### 4.- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Villarrubia López, Miguel. Asignaturas Bases de la ingeniería energética y Generación, transporte, distribución y demanda de energía. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Cabot, Pere L. Asignatura Materiales para la energía. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Segarra Rubí, Mercé. Asignatura Materiales para la sostenibilidad. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Sola Salvatierra, Yolanda. Asignatura Clima y cambio climático. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Marzo Carpio, Mariano. Asignatura Recursos y sostenibilidad. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Fábrega, Cristian. Asignatura Gestión energética en sectores no industriales: edificación y transporte. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Massa Camps, Xavier. Asignatura Economía de la energía. Máster de energías renovables y sostenibilidad energética. 2018.
- Lamigueiro Perpiñán, Óscar. Energía solar fotovoltaica. Versión 1.8 Marzo de 2015. Accesible en <https://github.com/oscarperpinan/esf>
- «Treballs acadèmics» [en línea]. A: *Criteris de la Universitat de Barcelona (CUB). Llibre d'estil*. Barcelona: Universitat de Barcelona. Serveis Lingüístics. <<http://www.ub.edu/cub/criteri.php?id=1512>> [consulta: mayo 2018]
- Sanz Uribe, Silvia Cristina. Instalación fotovoltaica para autoconsumo en el colegio Chester en Barrancabermea (Colombia). TFM curso académico 2017-2018
- «LDC - ¿Cuáles son los países menos adelantados?». [en línea], Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. <<http://unctad.org/es/Paginas/PressRelease.aspx?OriginalVersionID=438>> [Consulta: junio 2018].
- *Google Earth Pro* [software], [Consulta: abril 2018]
- «*The world factbook. Library. Liberia*». [en línea], Central Intelligence Agency, 12-07-2018. Ciafactbook <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/li.html>> [Consulta: julio 2018].
- «*Historical Climate. Liberia*». [en línea], Climate Change Knowledge Portal For Development Practitioners and Policy Makers. The World Bank Group. <[http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country\\_historical\\_climate&ThisCCCode=LBR](http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisCCCode=LBR)> [Consulta: marzo 2018].

- McSweeney, C., New, M. & Lizcano, G. 2010. UNDP Climate Change Country Profiles: Liberia. Available: <http://country-profiles.geog.ox.ac.uk/> [Accesado marzo 2018]
- «*Incident global irradiation for the chosen location*» [en línea]. Photovoltaic Geographical Information System. JRC European Commission. <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>> [consulta: marzo 2018]
- “Liberia Financial Statistics Vol. 20 No.1 Jan-Feb,2018, producido por el Bank’s Research, Policy and Planning Department del Banco Central de Liberia, pág. 27 -28, 29-31, 49.
- «*GIS. Locate the CLSG project activities*». [en línea], Transco CLSG. <<https://www.transcoclsq.org/project-presentation/>> [Consulta: abril 2018].
- «*Generation projects*» [en línea]. Liberia Electricity Corporation. <[https://lecliberia.com/?page\\_id=1676](https://lecliberia.com/?page_id=1676)> [consulta: junio 2018]
- «*Expansion projects*» [en línea]. Liberia Electricity Corporation. <[http://lecliberia.com/?page\\_id=1678](http://lecliberia.com/?page_id=1678)> [consulta: junio 2018]
- López-Lax Rivera, Rodrigo. Video tutorial Sunny Portal Dschang. [en línea] <<https://vimeo.com/236319310>> [consulta: abril 2018]
- López-Lax Rivera, Rodrigo. Drone Bennedict Menni Monrovia. [en línea]. <<https://vimeo.com/227806885>> [consulta: abril 2018]
- “Liberia Financial Statistics Vol. 20 No.1 Jan-Feb,2018, producido por el Bank’s Research, Policy and Planning Department del Banco Central de Liberia, pág. 27 -28.
- Ogbomo, O. O., Amalu, E. H., Ekere, N. N., Olagbegi, P. O. (2016) 'A review of photovoltaic module technologies for increased performance in tropical climate' Renewable and Sustainable Energy Reviews; Online first 23 Nov 2016. : DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.109
- «*Rethinking development: can health centres be power stations?*» [en línea]. 16 mayo 2018 by Nick Gardner. UNOPS. <<https://www.unops.org/news-and-stories/insights/rethinking-development-can-health-centres-be-power-stations>> [consulta: junio 2018]
- M-Kopa solar. <<http://solar.m-kopa.com/about/>> [consulta: junio 2018]
- Serie MyeBox ®. Analizador portátil de redes eléctricas. Circuito. <http://circutor.es/es/productos/medida-y-control/analizadores-de-redes-portatiles/analizadores-de-redes-portatiles-port/serie-myebox-detail#aplicaciones>. Acceso: Mayo 2018
- Roslan, Q., et al., A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region. *Frontiers of Architectural Research* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.foar.2015.10.002>

*PDF | A literature review on the improvement strategies of passive design for the roofing system of the modern house in a hot and humid climate region. Available*

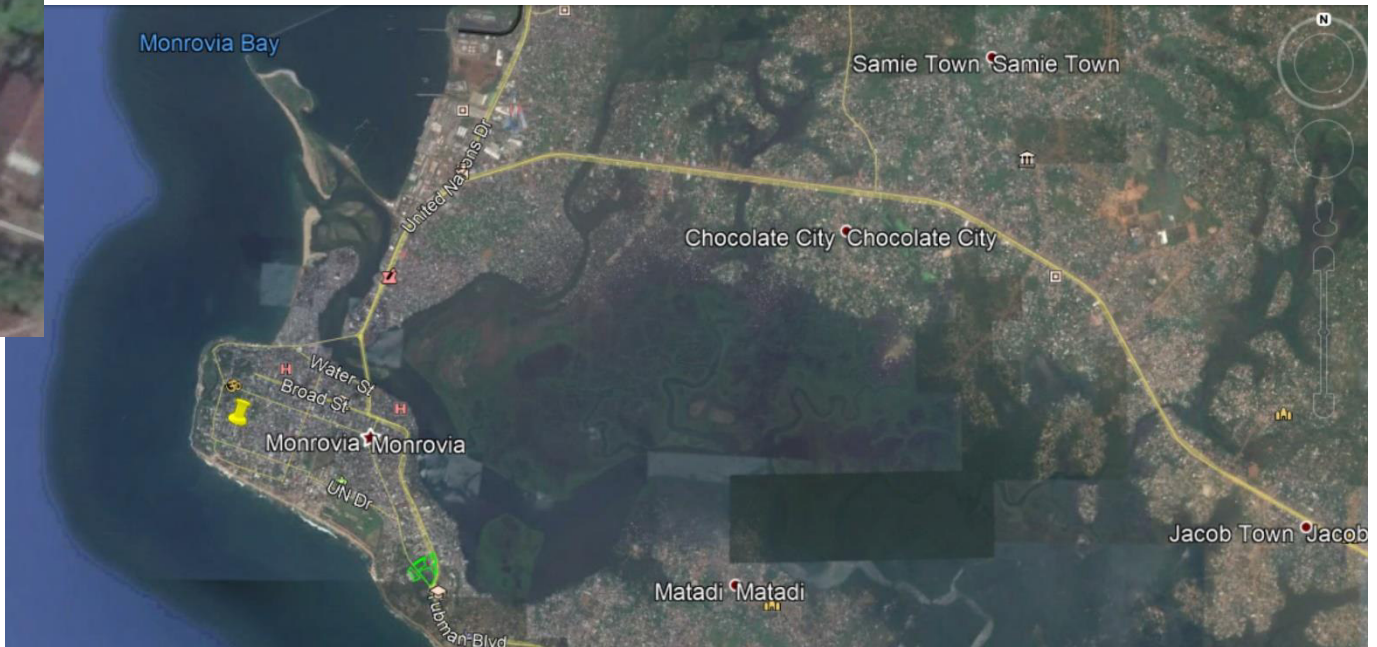
from: [https://www.researchgate.net/publication/284806515\\_A\\_literature\\_review\\_on\\_the\\_improvement\\_strategies\\_of\\_passive\\_design\\_for\\_the\\_roofing\\_system\\_of\\_the\\_modern\\_house\\_in\\_a\\_hot\\_and\\_humid\\_climate\\_region?sg=CD7STQWw364Si3BnUuy3fBo2jBr0xuwHjL92zUsXrD\\_ScUtwmGlaLAOUUSfCMLm6VRWx8zkTpw](https://www.researchgate.net/publication/284806515_A_literature_review_on_the_improvement_strategies_of_passive_design_for_the_roofing_system_of_the_modern_house_in_a_hot_and_humid_climate_region?sg=CD7STQWw364Si3BnUuy3fBo2jBr0xuwHjL92zUsXrD_ScUtwmGlaLAOUUSfCMLm6VRWx8zkTpw) [accessed march 2018].

- Agencia Internacional de la Energía (IEA, Energy Training Week. Renewable Energy Focus. Abril 2013. Participación como “Observer”.
- *HelioScope* [software en línea], <[www.helioscope.com](http://www.helioscope.com)> [Consulta: junio-julio 2018]
- Gibbs, Paul. *HelioScope: Mathematical Formulation*. (2013)
- *HelioScope User Manual* © 2014. Agosto 2014.
- «*Solar Panel System Equipment*» [en línea]. SolarPanelTalk. SMA Sunny Boy vs Solar Island. <<https://www.solarpaneltalk.com/forum/solar-panels-for-home/solar-panel-system-equipment/19603-sma-sunny-boy-vs-solar-island>> [consulta: junio 2018]
- «HomerPro online manual.» [en línea]. <<https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/index.html>> [consulta: junio-julio 2018]
- Lambert, Tom Mistaya Engineering Inc. Gilman, Paul and Lilienthal, Peter, Natioal Renewable Energy Laboratory. Micropower system modeling with Homer.
- «*Helioscope + HomerPro Integration workflow*» [en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=Po8uOwKMVhk>> [consulta: junio 2018]
- «*Productos*» [en línea]. SMA. <[www.SMA-solar.com](http://www.SMA-solar.com)> [consulta: junio 2018]
- «*Product downloads*» [en línea]. REC. <<https://www.recgroup.com/en/downloads/products>> [consulta: junio 2018]



## **ANEXOS**

## **Anexo nº 1: Plano de situación**







## **Anexo nº 2: Photovoltaic Geographical Information System**

## Incident global irradiation for the chosen location

Location: 6°18'46" North, 10°48'48" West, Elevation: 25 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 10 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	DNI	lopt	D/G
Jan	5500	5900	5030	34	0.40
Feb	5610	5840	4450	24	0.45
Mar	6280	6330	4500	9	0.47
Apr	5840	5690	4900	-8	0.38
May	5180	4910	4070	-21	0.43
Jun	4280	4050	2750	-24	0.54
Jul	3830	3660	2220	-20	0.59
Aug	3980	3880	2000	-10	0.63
Sep	4190	4170	2440	2	0.56
Oct	4860	4980	3380	17	0.50
Nov	4970	5250	3900	30	0.47
Dec	5170	5580	4620	36	0.42
Year	4970	5020	3680	10	0.48

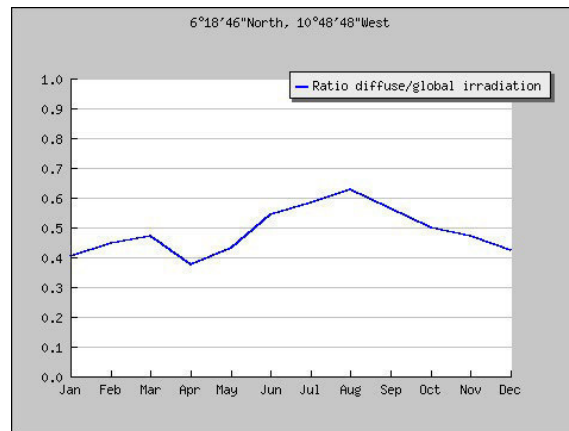
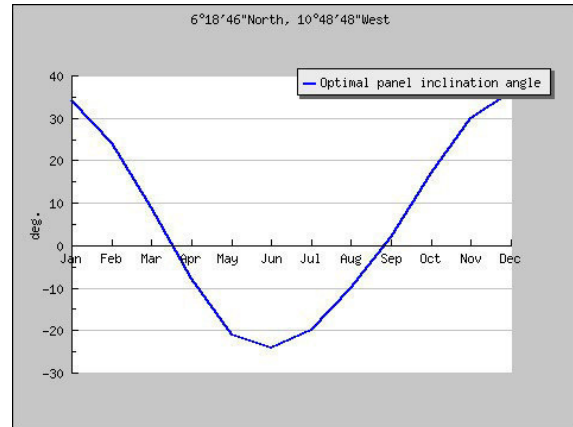
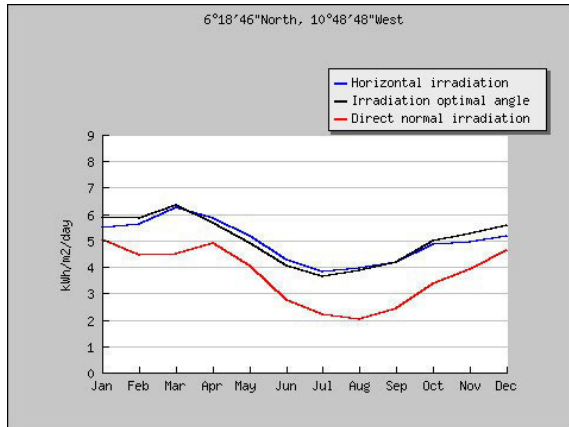
Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>/day)

DNI: Direct normal irradiation (Wh/m<sup>2</sup>/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)



PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

## **Anexo nº 3: Ejemplos situación de pobreza y pobreza energética en Liberia**





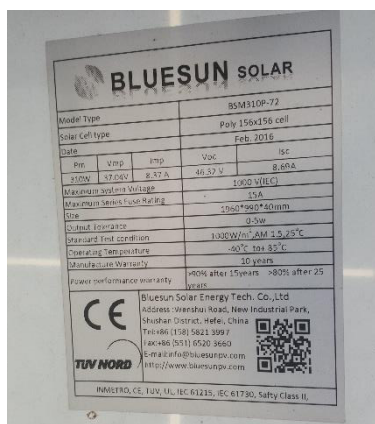




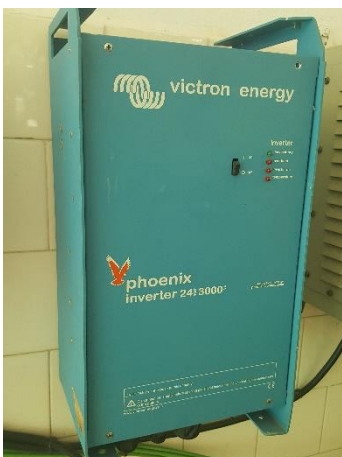
## **Anexo nº 4: Ejemplos sector pv en Monrovia**



**UNICEF. Mamba Point, Monrovia.**



St. Benedict Menni Health Center. Misión Católica. Paynesville.



Sector comercial (1ª y única tienda actualmente en Monrovia)



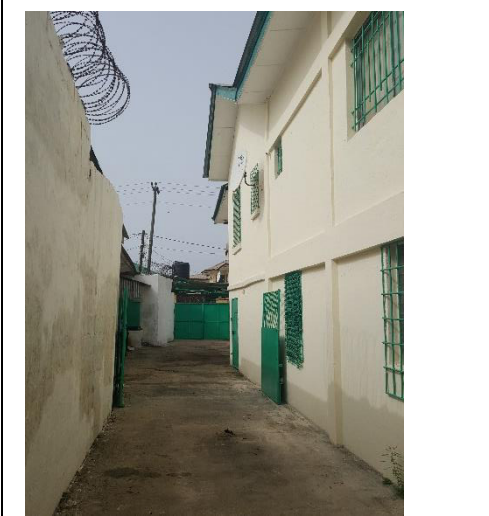
Paneles solares térmicos en Ministerio de Justicia y aplicaciones para tráfico





## **Anexo nº 5: Caracterización de la vivienda**

## **Anexo nº 5.1: Edificación, características bioclimáticas y rain harvesting**







## **Anexo nº 5.2: generación eléctrica**







## **Anexo nº 6: Caracterización de la demanda energética y perfil de carga**

<b>Escenario A: lunes-viernes Horario LEC + generador ocasional baja ocupación (1 landlord + workers)</b>														
POTENCIA (w)						ENERGÍA (wh)		mañana 5:00-12:59		tarde 13:00 - 20:59		noche 21:00 - 04:59		
ESTANCIA	TIPO	SUBTIPO	N	W	I	h/día	TOTAL (W)	horas	wh	horas	wh	horas	wh	
cocina	iluminación	fluorescente compacta	1	30		13	390	6,0	180	5,0	150	2,0	60	
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.500	5,4	2	3.000	1,5	2.250	0,5	750		-	
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.200	4,5	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	horno	1	1.300		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	frigorífico	1	330	1,5	20	6.600	6,0	1.980	6,0	1.980	8,0	2.640	
cocina	electrodomésticos	congelador	1	396	1,8	20	7.920	6,0	2.376	6,0	2.376	8,0	3.168	
cocina	electrodomésticos	microondas	1	70		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
cocina	electrodomésticos	voltímetro	1	80		20	1.600	6,0	480	6,0	480	8,0	640	
salón	iluminación	fluorescente compacta	2	30		6	180	2,0	60	2,0	60	2,0	60	
salón	iluminación	lámparas	2	40		8	320	2,0	80	3,0	120	3,0	120	
salón	electrodomésticos	minifrijo	1	90		20	1.800	6,0	540	6,0	540	8,0	720	
salón	electrodomésticos	tv	1	95		5	475	0,0	-	4,0	380	1,0	95	
salón	electrodomésticos	impresora	1	660		0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
salón	electrodomésticos	andador	1	1.865		1	1.865	0,0	-	1,0	1.865	0,0	-	
salón	electrodomésticos	voltímetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
salón	refrigeración	AC	1	809	3,58	5	4.045	0,0	-	3,0	2.427	2,0	1.618	
salón	refrigeración	AC	1	1.618	7,18	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	
dormitorio principal	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
dormitorio principal	electrodomésticos	minifrijo	1	90		20	1.800	6,0	540	6,0	540	8,0	720	
dormitorio principal	electrodomésticos	voltímetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
dormitorio principal	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632		-		-	8,0	8.632	
dormitorio 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 2	electrodomésticos	voltímetro	1	40		20	800	6,0	240	6,0	240	8,0	320	
dormitorio 2	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	0	-		-		-		-	
dormitorio 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 3	electrodomésticos	voltímetro	1	40		0	-		-		-		-	
dormitorio 3	refrigeración	AC	1	1.010	4,6	0	-		-		-		-	
dormitorio 4	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
dormitorio 4	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	0	-		-		-		-	
aseo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
aseo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30		0	-		-		-		-	
aseo 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30		0	-		-		-		-	
terrazza 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1,0	30	1,0	30	1,0	30	
terrazza 1	electrodomésticos	voltímetro	1	400	10000	6	2.400	2,0	800	2,0	800	2,0	800	
terrazza 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
pasillo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
pasillo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
sótano	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	lavadora	1	1.650	7,5	0	-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	secadora	1	6.600	30	0	-		-		-		-	
sótano	electrodomésticos	calentador ACS 100l	1	1.500		2	3.000		-		-	2,0	3.000	
exterior	iluminación	fluorescente	4	138	0,625	12	1.650	1,0	138	3,0	413	8,0	1.100	
exterior	bomba agua		1	750	3	1	750	1,0	750		-		-	
			<b>26.008 w</b>				<b>49.097 wh</b>		<b>10.984 wh</b>		<b>13.691 wh</b>		<b>24.423 wh</b>	
			POTENCIA (w)				A TOTAL		A MAÑANA		A TARDE		A NOCHE	

Tabla 6 Caracterización demanda energética escenario A

**Escenario B: fines de semana con alta ocupación  
24h energy supply + ocupación completa**

ESTANCIA	TIPO	SUBTIPO	POTENCIA (w)			ENERGÍA (wh)											
			N	W	I	h/día	TOTAL	mañana 5:00-12:59	tarde 13:00 - 20:59	noche 21:00 - 04:59							
							horas	wh	horas	wh	horas	wh					
cocina	iluminación	fluorescente compacta	1	30		13	390	6	180	5	150	2	60				
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.500	5,4	3	4.500	1,5	2.250	1,5	2.250		-				
cocina	electrodomésticos	cocina eléctrica	1	1.200	4,5	1	1.200	0,5	600	0,5	600		-				
cocina	electrodomésticos	horno	1	1.300		2	2.600	1	1.300	1	1.300		-				
cocina	electrodomésticos	frigorífico	1	330	1,5	24	7.920	8	2.640	8	2.640	8	2.640				
cocina	electrodomésticos	congelador	1	396	1,8	24	9.504	8	3.168	8	3.168	8	3.168				
cocina	electrodomésticos	microondas	1	70		0,5	35	0,25	18	0,25	18		-				
cocina	electrodomésticos	voltímetro	1	80		24	1.920	8	640	8	640	8	640				
salón	iluminación	fluorescente compacta	2	30		8	240	2	60	2	60	4	120				
salón	iluminación	lámparas	2	40		8	320	2	80	2	80	4	160				
salón	electrodomésticos	minifrigido	1	90		24	2.160	8	720	8	720	8	720				
salón	electrodomésticos	tv	1	95		5	475		-	4	380	1	95				
salón	electrodomésticos	impresora	1	660		0,5	330	0,5	330		-		-				
salón	electrodomésticos	andador	1	1.865		1,5	2.798		-	1,5	2.798		-				
salón	electrodomésticos	voltímetro	1	40		24	960	8	320	8	320	8	320				
salón	refrigeración	AC	1	809	3,58	6	4.854		-	3	2.427	3	2.427				
salón	refrigeración	AC	1	1.618	7,18	5	8.090		-	2	3.236	3	4.854				
dormitorio principal	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
dormitorio principal	electrodomésticos	minifrigido	1	90		24	2.160	8	720	8	720	8	720				
dormitorio principal	electrodomésticos	voltímetro	1	40		24	960	8	320	8	320	8	320				
dormitorio principal	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632		-		-	8	8.632				
dormitorio 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30			-		-		-		-				
dormitorio 2	electrodomésticos	voltímetro	1	40		24	960	8	320	8	320	8	320				
dormitorio 2	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632		-		-	8	8.632				
dormitorio 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
dormitorio 3	electrodomésticos	voltímetro	1	40		24	960	8	320	8	320	8	320				
dormitorio 3	refrigeración	AC	1	1.010	4,6	8	8.080		-		-	8	8.080				
dormitorio 4	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
dormitorio 4	refrigeración	AC	1	1.079	4,79	8	8.632		-		-	8	8.632				
aseo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
aseo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
aseo 3	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
terrazza 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		3	90	1	30	1	30	1	30				
terrazza 1	electrodomésticos	voltímetro	1	400	10000	6	2.400	2	800	2	800	2	800				
terrazza 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30		2	60		-	2	60		-				
pasillo 1	iluminación	fluorescente compacta	1	30		1	30		-	0,5	15	0,5	15				
pasillo 2	iluminación	fluorescente compacta	1	30		1	30		-	0,5	15	0,5	15				
sótano	iluminación	fluorescente compacta	1	30		1	30		-	1	30		-				
sótano	electrodomésticos	lavadora	1	1.650	7,5	4	6.600	4	6.600		-		-				
sótano	electrodomésticos	secadora	1	6.600	30	4	26.400	4	26.400		-		-				
sótano	electrodomésticos	calentador ACS 100l	1	1.500		5	7.500	5	7.500		-		-				
exterior	iluminación	fluorescente	4	138	0,625	12	1.650	2	275	2	275	8	1.100				
exterior	bomba agua		1	750	3	3	2.250	2	1.500		-	1	750				
			<b>26.008 w</b>			<b>134.892 wh</b>			<b>57.271 wh</b>			<b>23.871 wh</b>			<b>53.750 wh</b>		
			<b>POTENCIA (w)</b>			<b>B TOTAL</b>			<b>B MAÑANA</b>			<b>B TARDE</b>			<b>B NOCHE</b>		

Tabla 7 Caracterización demanda energética escenario B

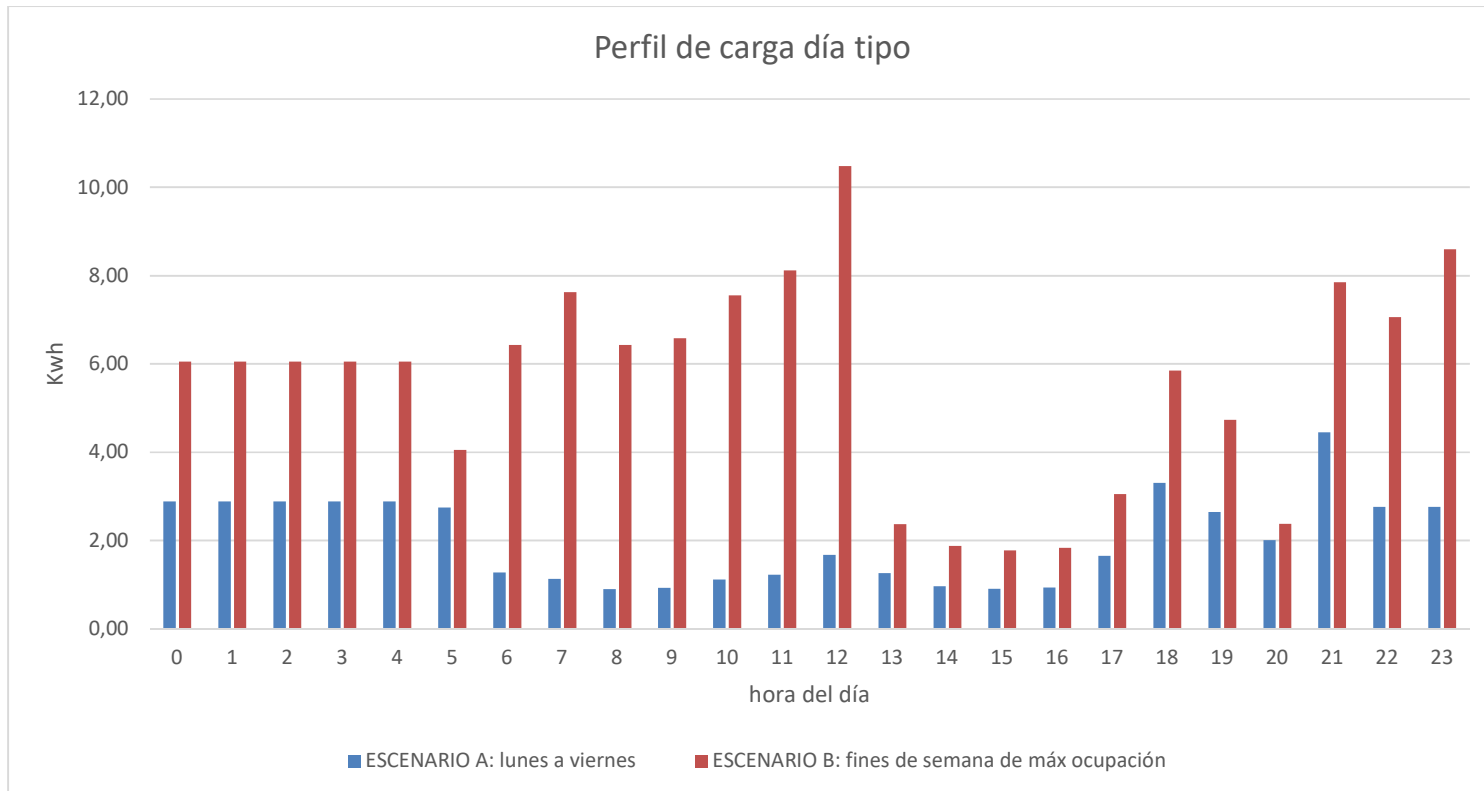


Gráfico 10 Perfil de carga introducido en HomerPro®

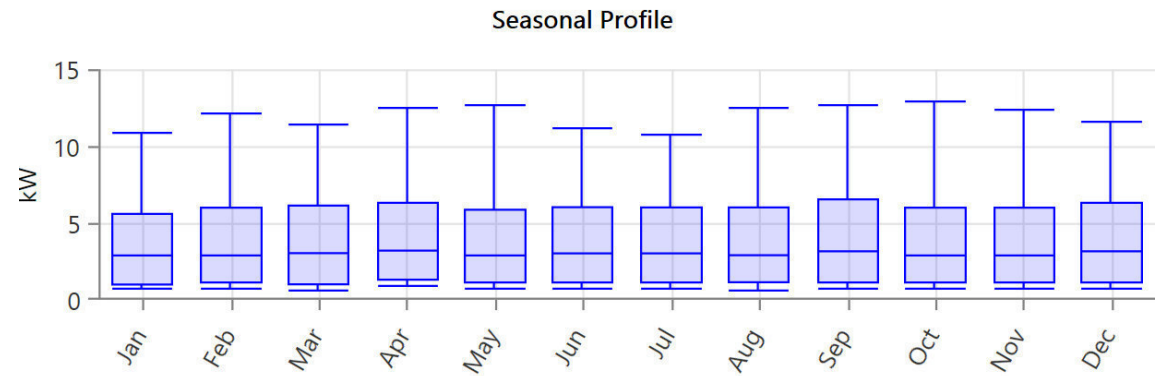


Gráfico 11 Perfil de consumo estacional asumido por HomerPro®

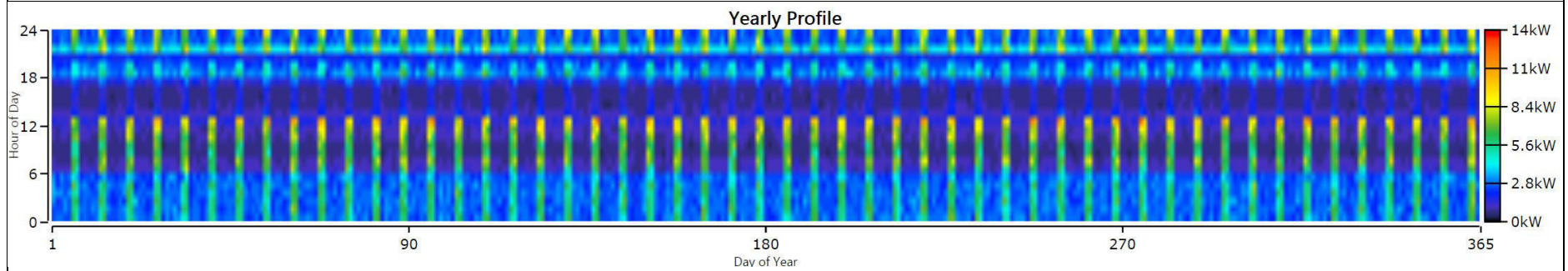
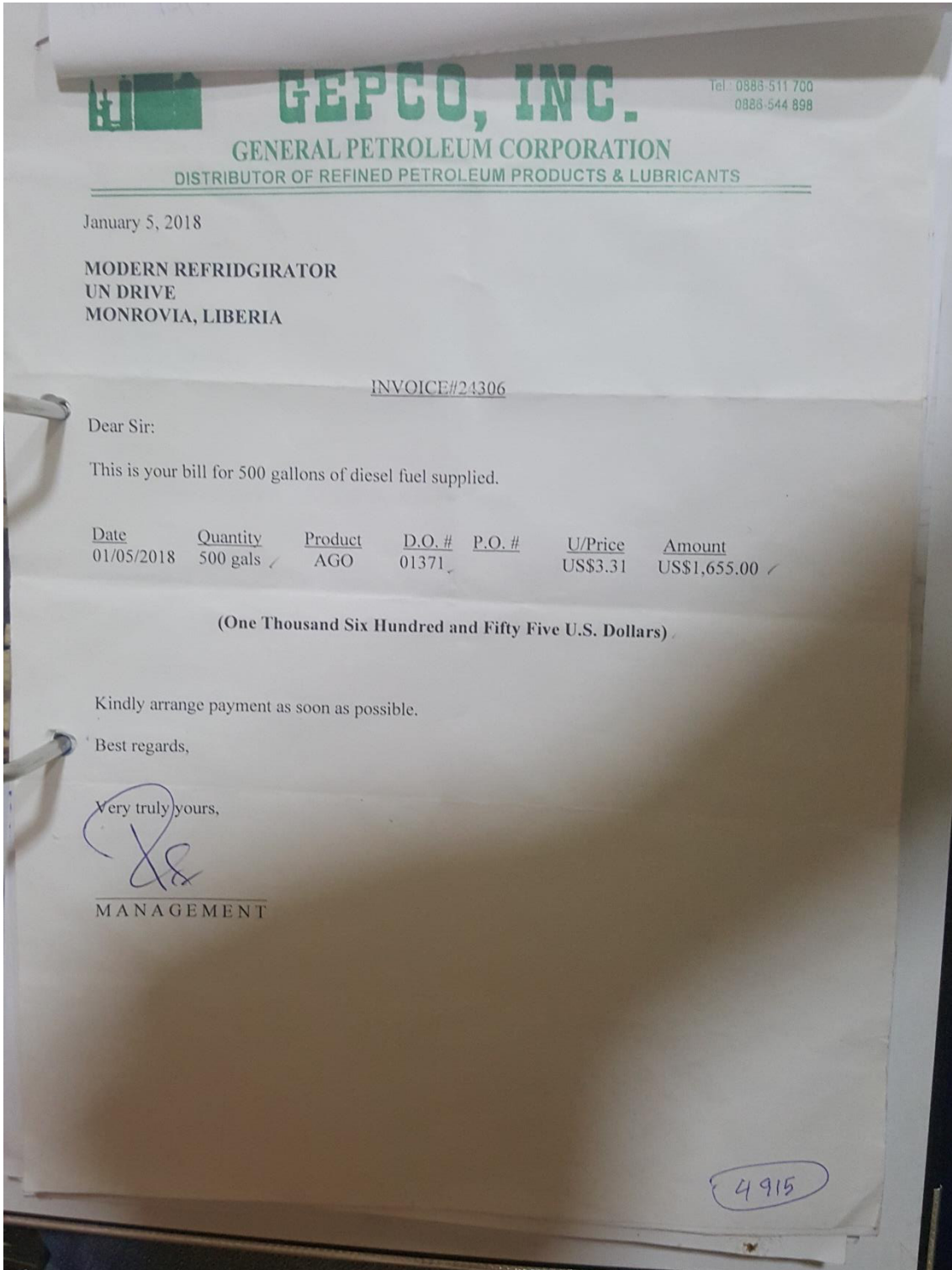


Gráfico 12 Perfil de consumo anual asumido por HomerPro®

## **Anexo nº 7: Consumo energético: facturas diésel y electricidad LEC**





+231-778-02-0947  
+231-881-37-9912  
Municipality: Mntserrado  
Date: 2018-03-31 13:34  
Vendor: Csbu12  
Receipt No: 11738624  
Date: 2018-03-31 13:34  
Customer: MODERN REFRIGERATION ( RESIDENCE )  
Address: WORLD BANK TRANSFORMER  
MAMBA POINT FEEDER  
Meter No: 01454618206  
TI: 1  
SGC: 600579  
KRN:  
Arrears: 0.00  
Tendered: 200.00  
Tariff Charge: 200.00  
Service Charge: 0.00  
GST: 18.18  
Units: 519.50  
Tariff: LEC Electricity Tariff

Token:  
0828 7694 7149 3818 4393

Libango Call Centre:  
+231-778-02-0947  
+231-881-37-9912



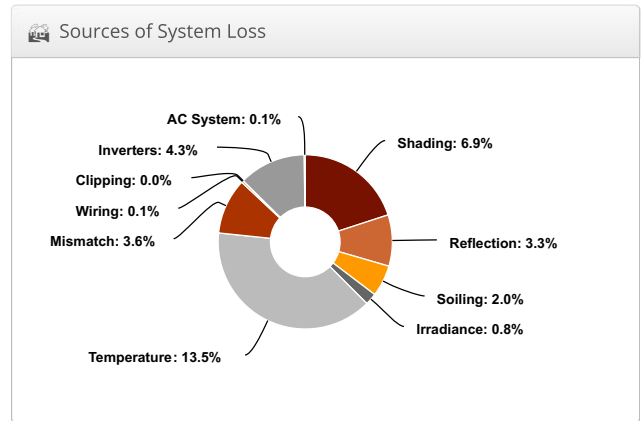
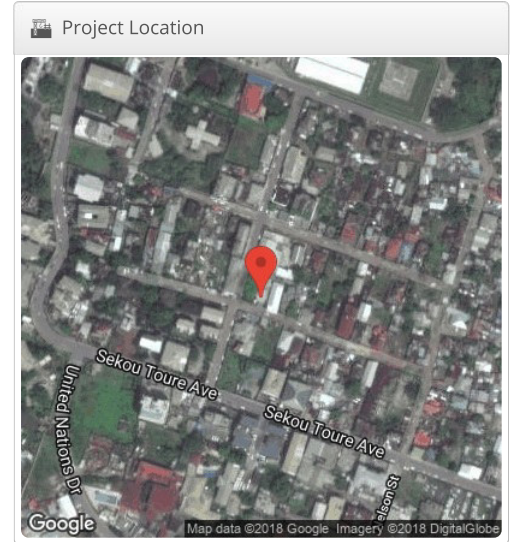
## **Anexo nº 8: Resultados software HelioScope**

## **Anexo 8.1: Annual production report**

## Design 1 Monrovia vivienda residencial, Monrovia

Report	
Project Name	Monrovia vivienda residencial
Project Description	Vivienda residencial en Monrovia
Project Address	Monrovia
Prepared By	Natalia Garcia natuli@gmail.com

System Metrics	
Design	Design 1
Module DC Nameplate	9.80 kW
Inverter AC Nameplate	10.00 kW Load Ratio: 0.98
Annual Production	11.97 MWh
Performance Ratio	69.8%
kWh/kWp	1,221.0
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	53a94c7c8c-a0317a9544-615178d6e9-3413761665



Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> )	Annual Global Horizontal Irradiance	1,818.3	
	POA Irradiance	1,748.1	-3.9%
	Shaded Irradiance	1,627.9	-6.9%
	Irradiance after Reflection	1,574.5	-3.3%
	Irradiance after Soiling	1,543.0	-2.0%
	<b>Total Collector Irradiance</b>	<b>1,542.6</b>	<b>0.0%</b>
Energy (kWh)	Nameplate	15,122.5	
	Output at Irradiance Levels	15,008.8	-0.8%
	Output at Cell Temperature Derate	12,987.7	-13.5%
	Output After Mismatch	12,524.8	-3.6%
	Optimal DC Output	12,508.3	-0.1%
	Constrained DC Output	12,508.3	0.0%
	Inverter Output	11,973.3	-4.3%
	<b>Energy to Grid</b>	<b>11,965.7</b>	<b>-0.1%</b>
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp		29.4 °C
	Avg. Operating Cell Temp		46.4 °C
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4640	
	Solved Hours	4640	

Condition Set												
Description		Condition Set 1										
Weather Dataset		TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)										
Solar Angle Location		Meteo Lat/Lng										
Transposition Model		Perez Model										
Temperature Model		Sandia Model										
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0455	0°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance		5%										
Cell Temperature Spread		4° C										
Module Binning Range		-2.5% to 2.5%										
AC System Derate		0.50%										
Module Characterizations	Module	Characterization										
	REC280TP (REC Solar)	Spec Sheet Characterization, PAN										
Component Characterizations	Device	Characterization										
	Sunny Boy SB 5000TL HC Multi-String (SMA)	Default Characterization										

Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny Boy SB 5000TL HC Multi-String (SMA)	2 (10.00 kW)
AC Home Runs	8 AWG (Copper)	2 (159.4 m)
Strings	10 AWG (Copper)	2 (11.3 m)
Module	REC Solar, REC280TP (280W)	35 (9.80 kW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	5-19	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Flush Mount	Portrait (Vertical)	15°	18.5757°	0.0 m	1x1	35	35	9.80 kW

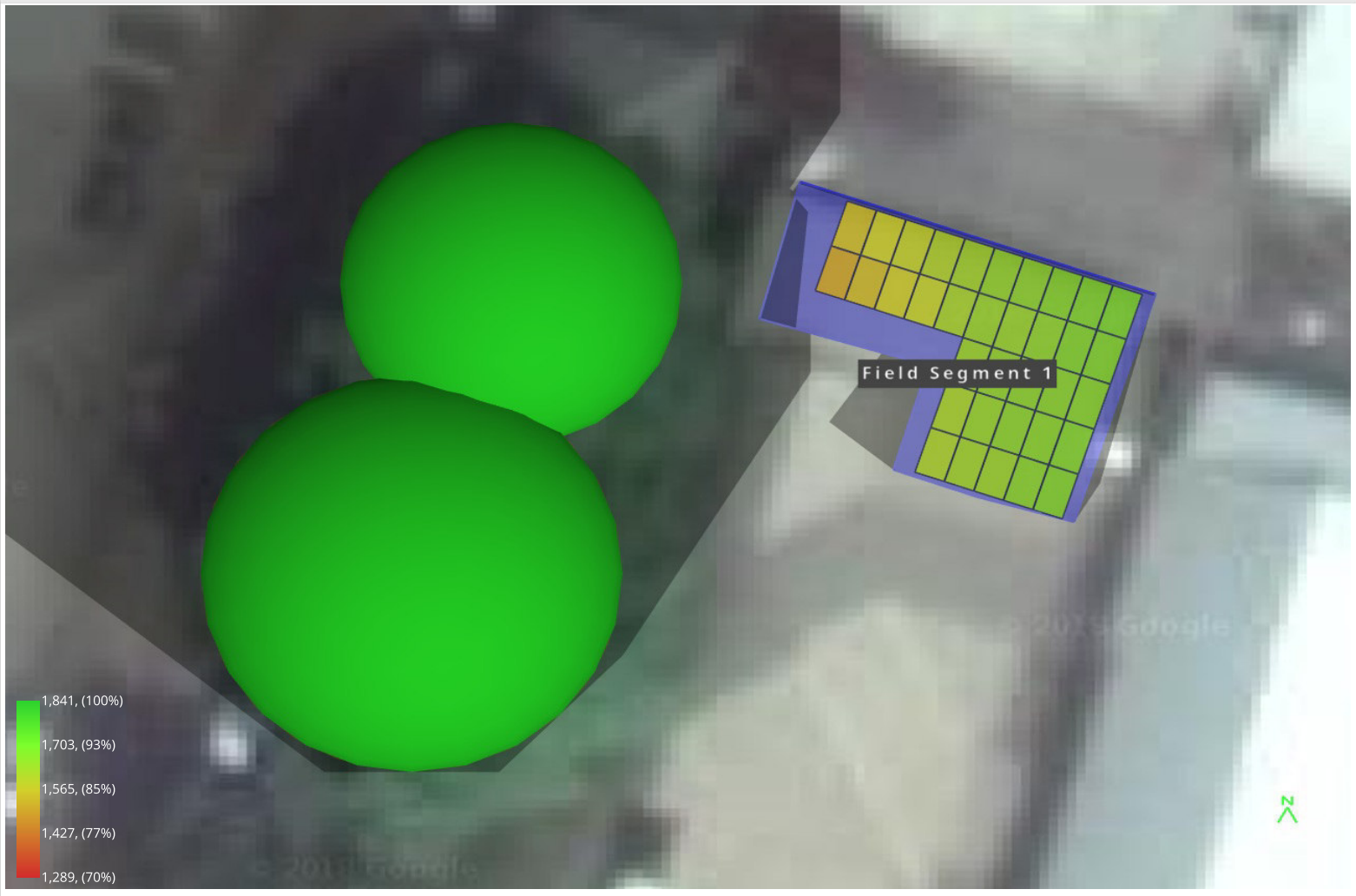
Detailed Layout



## **Anexo nº 8.2: Shading report**

## Design 1 Monrovia vivienda residencial, Monrovia

### Shading Heatmap



### Shading by Field Segment

Description	Tilt	Azimuth	Modules	Nameplate	Shaded Irradiance	AC Energy	TOF <sup>2</sup>	Solar Access	TSRF <sup>2</sup>
Field Segment 1	15.0°	18.6°	35	9.80 kWp	1,627.9kWh/m <sup>2</sup>	12.0 MWh <sup>1</sup>	95.0%	93.1%	88.4%
<b>Totals, weighted by kWp</b>			<b>35</b>	<b>9.80 kWp</b>	<b>1,627.9kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>12.0 MWh</b>	<b>95.0%</b>	<b>93.1%</b>	<b>88.4%</b>

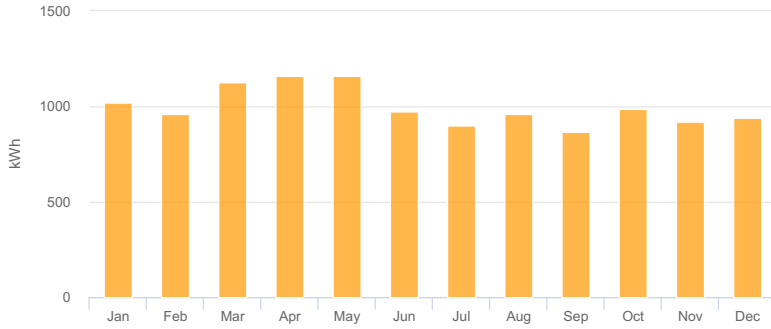
<sup>1</sup> approximate, varies based on inverter performance  
<sup>2</sup> based on location Optimal POA Irradiance of 1,840.8kWh/m<sup>2</sup> at 15.5° tilt and 175.0° azimuth

### Solar Access by Month

Description	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Field Segment 1	94%	93%	93%	93%	93%	94%	94%	93%	92%	93%	93%	94%
<b>Solar Access, weighted by kWp</b>	<b>93.9%</b>	<b>93.0%</b>	<b>92.5%</b>	<b>92.7%</b>	<b>92.8%</b>	<b>93.9%</b>	<b>93.6%</b>	<b>92.9%</b>	<b>92.4%</b>	<b>93.0%</b>	<b>93.2%</b>	<b>94.0%</b>
<b>AC Power (kWh)</b>	<b>1,020.1</b>	<b>958.7</b>	<b>1,129.3</b>	<b>1,157.5</b>	<b>1,158.9</b>	<b>970.7</b>	<b>899.6</b>	<b>959.6</b>	<b>868.7</b>	<b>984.7</b>	<b>918.6</b>	<b>939.1</b>

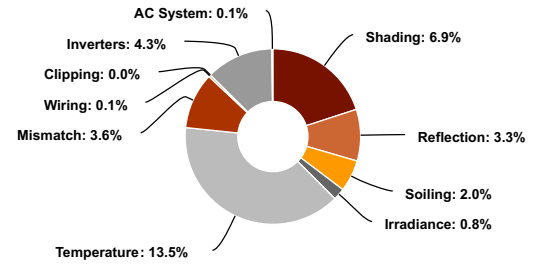


## Monthly Production

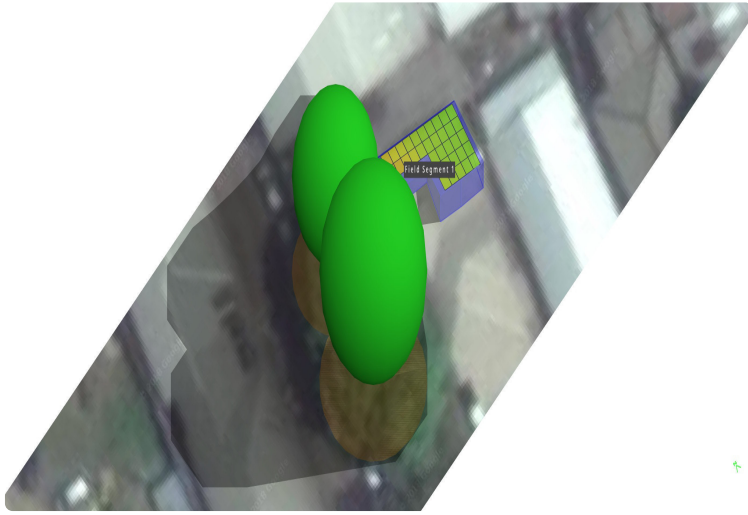


Month	GHI (kWh/m <sup>2</sup> )	POA (kWh/m <sup>2</sup> )	Shaded (kWh/m <sup>2</sup> )	Nameplate (kWh)	Grid (kWh)
January	169.1	147.6	138.6	1,281.3	1,020.1
February	154.0	140.8	130.9	1,215.9	958.7
March	175.4	168.8	156.1	1,454.2	1,129.3
April	170.0	171.4	158.8	1,482.3	1,157.5
May	162.8	170.0	157.8	1,471.6	1,158.9
June	131.7	138.9	130.4	1,214.2	970.7
July	123.4	128.6	120.3	1,118.7	899.6
August	136.2	139.2	129.3	1,205.0	959.6
September	128.8	126.6	116.9	1,085.6	868.7
October	156.8	145.5	135.3	1,255.2	984.7
November	153.4	135.5	126.3	1,167.7	918.6
December	156.7	135.2	127.1	1,170.9	939.1

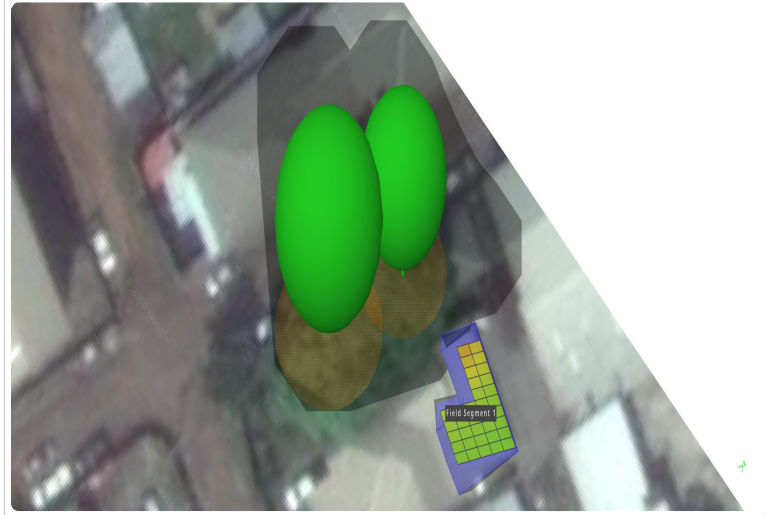
## Sources of System Loss



## Southwestern Angle



## Southeastern Angle





## **Anexo nº 8.3: Estimación de pérdidas mensuales**

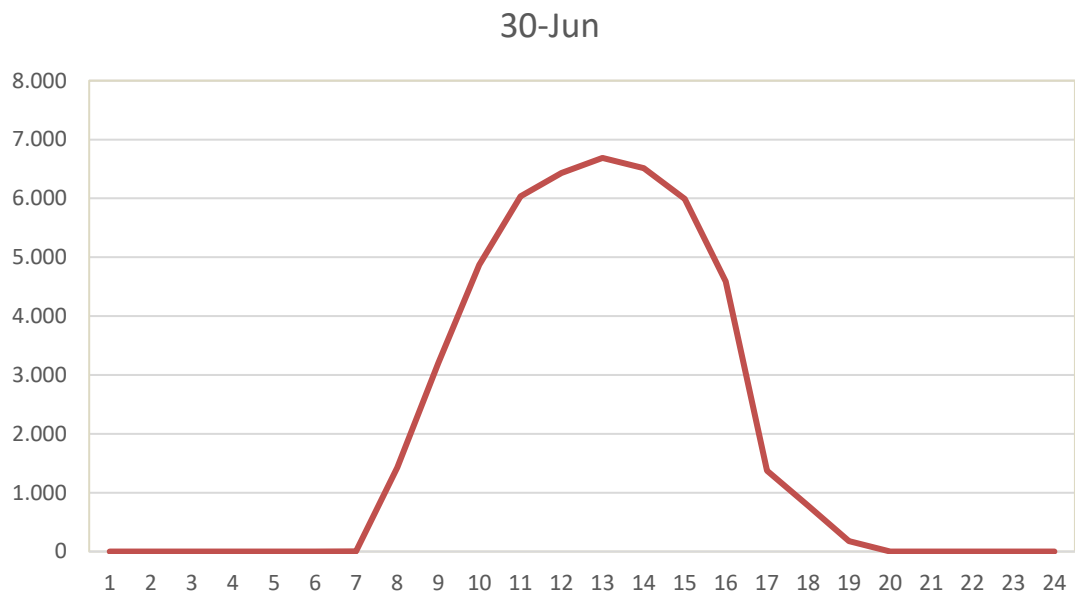
	Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
POA irradiance	-3,9%	-	-8,6%	-3,8%	0,8%	4,4%	5,5%	4,2%	2,3%	-1,8%	-7,2%	-	-
Shading	-6,9%	-6,1%	-7,0%	-7,5%	-7,3%	-7,2%	-6,1%	-6,4%	-7,1%	-7,6%	-7,0%	-6,8%	-6,0%
Reflection	-3,3%	-3,8%	-3,3%	-3,0%	-2,8%	-2,9%	-3,0%	-3,2%	-3,0%	-3,3%	-3,4%	-3,8%	-4,1%
Soiling	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	-2,0%
Nameplate													
Output at Irradiance	-0,8%	-0,6%	-0,6%	-0,5%	-0,4%	-0,5%	-0,9%	-1,2%	-1,0%	-1,2%	-0,8%	-0,8%	-0,8%
Temperature	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mismatch	13,5%	13,0%	14,0%	15,4%	15,1%	14,2%	12,3%	11,7%	12,6%	12,5%	13,4%	13,6%	12,6%
DC wiring	-3,6%	-3,7%	-3,6%	-3,5%	-3,4%	-3,6%	-3,7%	-3,4%	-3,6%	-3,0%	-4,4%	-3,9%	-3,1%
Clipping	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%
Inverter	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
AC losses	-4,3%	-4,2%	-4,2%	-4,2%	-4,1%	-4,2%	-4,3%	-4,5%	-4,4%	-4,4%	-4,3%	-4,3%	-4,3%
	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%

Sunlight (GHI)	1.818	169	154	175	170	163	132	123	136	129	157	153	157
% of year		9,3%	8,5%	9,6%	9,4%	9,0%	7,2%	6,8%	7,5%	7,1%	8,6%	8,4%	8,6%
AC Energy (AC kWh)	11.966	1.020	959	1.129	1.157	1.159	971	900	960	869	985	919	939
% of year		8,5%	8,0%	9,4%	9,7%	9,7%	8,1%	7,5%	8,0%	7,3%	8,2%	7,7%	7,8%

Tabla 8 Estimación de pérdidas mensuales de la instalación fotovoltaica



## **Anexo nº 8.4: Estimación día de máxima producción**



Max Power Output (kW) 7,35  
Timestamp of Max Output 6/29/21 12:00 PM

Gráfico 13 Estimación de día de máxima producción de la instalación fotovoltaica

## **Anexo nº 9: Características técnicas de los equipos de la instalación pv**



## **Anexo nº 9.1: Panel fotovoltaico REC280TP**

REC280TP, REC Solar
✕

Spec Sheet
☆

Name	REC280TP
Manufacturer	REC Solar
Power	280.0 W
$V_{mp}$	31.9V
$V_{oc}$	39.2V
$I_{sc}$	9.44A
$I_{mp}$	8.78A
Technology	Si-Poly (60 cells)
Dimensions	0.991m x 1.665m
Temp Coefficient $P_{max}$	-0.39%/°C
Temp Coefficient $V_{oc}$	-0.31%/°C
Temp Coefficient $I_{sc}$	0.045%/°C
Source	Photon DB
Last Update	12/2/15 8:23 PM

Other Characterizations

Default	Characterization	Type
☐	Spec Sheet Characterization (system db/full)	PAN

Spec Sheet Characterization (PAN)

From spec sheet. Methodology based on module ideality (gamma) and series resistance jointly optimized to match I/V curves to  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$ , and  $I_{sc}$

Model Performance

1000W/m<sup>2</sup>  
800W/m<sup>2</sup>  
600W/m<sup>2</sup>  
400W/m<sup>2</sup>  
200W/m<sup>2</sup>  
100W/m<sup>2</sup>

Chart Type  
 Current  
 Power

Legend  
 Temperature  
 Irradiance

Other Options  
Temperature

Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	$I_{sc}$	$V_{oc}$	$I_{mp}$	$V_{mp}$	Power	$dP_{mp}/dT$	$dV_{mp}/dT$	$dI_{sc}/dT$
1000	9.44	39.2	8.83	31.7	280.2	-0.39%	-0.40%	-0.32%
800	7.55	38.8	7.06	31.9	224.9	-0.39%	-0.40%	-0.32%
600	5.66	38.4	5.28	31.9	168.5	-0.39%	-0.41%	-0.33%
400	3.78	37.7	3.50	31.8	111.5	-0.39%	-0.42%	-0.34%
200	1.89	36.6	1.74	31.3	54.3	-0.41%	-0.43%	-0.36%
100	0.94	35.5	0.86	30.4	26.0	-0.42%	-0.45%	-0.38%

Raw Parameters
Help

Module Characterization Type	PAN
Methodology	2018a - Spec Sheet Parameter Optimization (crystalline)
Reference Saturation Current, $I_{0ref}$	1.57420624257042e-10 A
Reference Photocurrent, $I_{phref}$	9.45219447516401 A
Module Quality Factor, $Y_{ref}$	1.02582237268944
Module Quality Factor Temp Dependence, $\mu_y$	-0.000410692282265512 /°C
Current Temperature Coefficient, $\mu_{sc}$	4.248 mA/°C
Series Resistance, $R_s$	0.316009 $\Omega$
Default Shunt Resistance, $R_{sh, default}$	966.667 $\Omega$
Reference Shunt Resistance, $R_{sh, ref}$	241.667 $\Omega$
Exponential Shunt Resistance Factor, $\beta$	5.5



# REC TWINPEAK SERIES

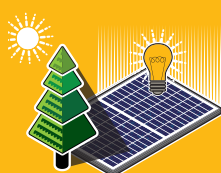
## PREMIUM SOLAR PANELS WITH SUPERIOR PERFORMANCE

REC TwinPeak Series solar panels feature an innovative design with high panel efficiency and power output, enabling customers to get the most out of the space used for the installation.

Combined with industry-leading product quality and the reliability of a strong and established European brand, REC TwinPeak panels are ideal for residential and commercial rooftops worldwide.



**MORE POWER  
OUTPUT PER M<sup>2</sup>**



**IMPROVED PERFORMANCE  
IN SHADED CONDITIONS**

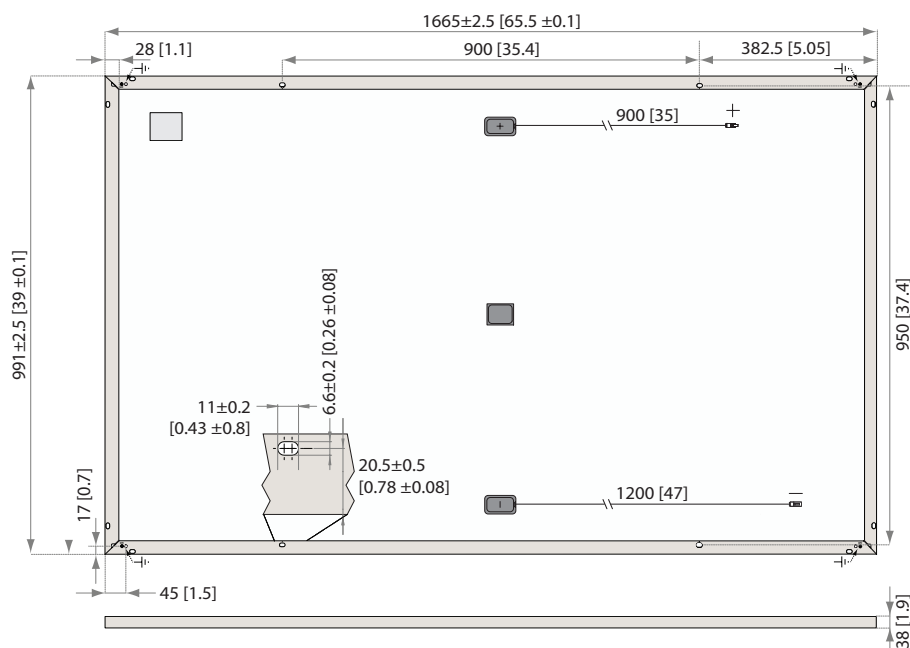


**100%  
PID FREE**



**REDUCES BALANCE OF  
SYSTEM COSTS**

# REC TWINPEAK SERIES



Measurements in mm [in]

## ELECTRICAL DATA @ STC

Product code\*: RECxxxTP

	265	270	275	280	285
Nominal Power - $P_{MPP}$ (Wp)	265	270	275	280	285
Watt Class Sorting - (W)	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5	-0/+5
Nominal Power Voltage - $V_{MPP}$ (V)	31.1	31.2	31.4	31.9	32.1
Nominal Power Current - $I_{MPP}$ (A)	8.53	8.66	8.76	8.78	8.90
Open Circuit Voltage - $V_{OC}$ (V)	38.3	38.6	38.8	39.2	39.5
Short Circuit Current - $I_{SC}$ (A)	9.21	9.29	9.40	9.44	9.54
Panel Efficiency (%)	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3

Values at standard test conditions (STC: air mass AM1.5, irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, temperature 25°C), based on a production spread with a tolerance of  $V_{OC}$  &  $I_{SC}$  ±3% within one watt class. At low irradiance of 200 W/m<sup>2</sup> at least 95% of the STC module efficiency will be achieved.  
\*Where xxx indicates the nominal power class ( $P_{MPP}$ ) at STC indicated above, and can be followed by the suffix BLK for black framed modules.

## ELECTRICAL DATA @ NMOT

Product code\*: RECxxxTP

	195	198	202	205	209
Nominal Power - $P_{MPP}$ (Wp)	195	198	202	205	209
Nominal Power Voltage - $V_{MPP}$ (V)	28.8	28.9	29.0	29.5	29.6
Nominal Power Current - $I_{MPP}$ (A)	6.77	6.87	6.95	6.97	7.06
Open Circuit Voltage - $V_{OC}$ (V)	35.2	35.5	35.7	36.1	36.3
Short Circuit Current - $I_{SC}$ (A)	7.32	7.38	7.47	7.50	7.58

Nominal module operating temperature (NMOT: air mass AM1.5, irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, temperature 20°C, windspeed 1 m/s).

\*Where xxx indicates the nominal power class ( $P_{MPP}$ ) at STC indicated above, and can be followed by the suffix BLK for black framed modules.

## CERTIFICATIONS



IEC 61215, IEC 61730 & UL 1703; MCS 005, IEC 62804 (PID)  
IEC 62716 (Ammonia Resistance), IEC 60068-2-68 (Blowing Sand)  
IEC 61701 (Salt Mist level 6), UNI 8457/9174 (Class A), ISO 11925-2 (Class E)  
ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2004, OHSAS 18001: 2007

**takeaway** take-e-way WEEE-compliant recycling scheme

## WARRANTY

10 year product warranty  
25 year linear power output warranty  
(max. degradation in performance of 0.7% p.a.)  
See warranty conditions for further details.

17.3% EFFICIENCY

10 YEAR PRODUCT WARRANTY

25 YEAR LINEAR POWER OUTPUT WARRANTY

## GENERAL DATA

Cell type:	120 half-cut multicrystalline PERC cells 6 strings of 20 cells in series
Glass:	3.2 mm solar glass with anti-reflection surface treatment
Backsheet:	Highly resistant polyester
Frame:	Anodized aluminum (silver / black)
Junction box:	3-part, 3 bypass diodes, IP67 rated in accordance with IEC 62790
Cable:	4 mm <sup>2</sup> solar cable, 0.9 m + 1.2 m in accordance with EN 50618
Connectors:	Stäubli MC4 PV-KBT4/PV-KST4 (4 mm <sup>2</sup> ) Tonglin TL-Cable01 (4 mm <sup>2</sup> ) in accordance with IEC 62852, IP67 only when connected
Origin:	Made in Singapore

## MAXIMUM RATINGS

Operational temperature:	-40 ... +85°C
Maximum system voltage:	1000 V
Design load (+): snow	367 kg/m <sup>2</sup> (3600 Pa)*
Maximum test load (+):	550 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa)
Design load (-): wind	163 kg/m <sup>2</sup> (1600 Pa)*
Maximum test load (-):	244 kg/m <sup>2</sup> (2400 Pa)
Max series fuse rating:	25 A
Max reverse current:	25 A

\* Safety factor 1.5

## TEMPERATURE RATINGS\*

Nominal Module Operating Temperature:	44.6°C (±2°C)
Temperature coefficient of $P_{MPP}$ :	-0.36 %/°C
Temperature coefficient of $V_{OC}$ :	-0.30 %/°C
Temperature coefficient of $I_{SC}$ :	0.066 %/°C

\*The temperature coefficients stated are linear values

## MECHANICAL DATA

Dimensions:	1665 x 991 x 38 mm
Area:	1.65 m <sup>2</sup>
Weight:	18 kg

Founded in Norway in 1996, REC is a leading vertically integrated solar energy company. Through integrated manufacturing from silicon to wafers, cells, high-quality panels and extending to solar solutions, REC provides the world with a reliable source of clean energy. REC's renowned product quality is supported by the lowest warranty claims rate in the industry. REC is a Bluestar Elkem company with headquarters in Norway and operational headquarters in Singapore. REC employs more than 2,000 people worldwide, producing 1.4 GW of solar panels annually.



www.recgroup.com

## **Anexo nº 9.2: Inverter Sunny Boy SB5000TL**

Sunny Boy SB 5000TL HC Multi-String, SMA

Spec Sheet

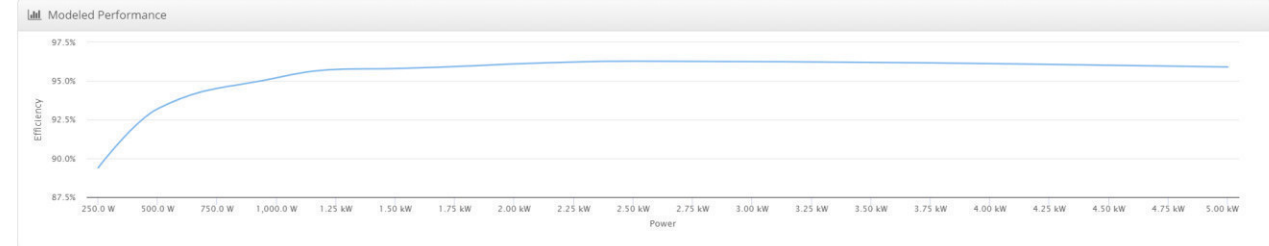
Name	Sunny Boy SB 5000TL HC Multi-String
Manufacturer	SMA
Max Power	5.00 kW
Min Power	0
Max Voltage	750V
Max MPPT Voltage	600V
Min MPPT Voltage	125V
Min Voltage	125V
Source	Photon DB
Last Update	2/3/09 1:00 AM

Other Characterizations

Default	Characterization
<input checked="" type="radio"/>	Default Characterization (system default)

Default Characterization

Photon Efficiency Curve



Efficiency Table

Power	Voltage
	362.5
250	89.4%
500	93.2%
1,000	95.2%
1,250	95.7%
1,500	95.8%
2,500	96.3%
3,750	96.2%
5,000	95.9%

# SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL

SB 3000TL-20 / SB 4000TL-20 / SB 5000TL-20



## High Yields

- Maximum efficiency of 97 %
- Multi-String technology\*
- Transformerless, with H5 topology
- Shade management with OptiTrac Global Peak

## Safe

- Integrated ESS DC switch-disconnector

## Simple

- Easily accessible connection area
- Cable connection without tools
- DC plug system SUNCLIX

## Communicative

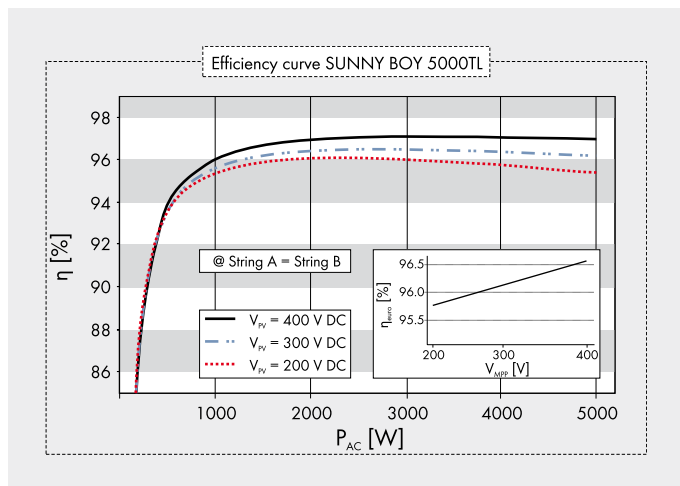
- Bluetooth® technology as standard
- Multilingual graphic display
- Multi-function relay as standard

## SUNNY BOY 3000TL / 4000TL / 5000TL

Perfection Plus. Usability. The transformerless Sunny Boy generation

More communicative, easier to use and more efficient than ever: this Sunny Boy is setting new standards in inverter technology. A modern graphic display, readout of daily values even after sunset, simplified installation concept and wireless communication via Bluetooth®. The new Sunny Boys fulfill every wish. With the new OptiTrac Global Peak shade management and an optimal efficiency of 97 %, the inverters ensure optimum solar yield. As transformerless, multi-string devices, the Sunny Boy 4000TL and 5000TL provide maximum flexibility for plant design, and are the first choice for demanding generator designs.

Technical data	Sunny Boy 3000TL	Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 4000TL/V	Sunny Boy 5000TL
<b>Input (DC)</b>				
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$ )	3200 W	4200 W	4200 W	5300 W
Max. DC voltage	550 V	550 V	550 V	550 V
MPP voltage range	188 V - 440 V	175 V - 440 V	175 V - 440 V	175 V - 440 V
DC nominal voltage	400 V	400 V	400 V	400 V
Min. DC voltage / start voltage	125 V / 150 V	125 V / 150 V	125 V / 150 V	125 V / 150 V
Max. input current / per string	17 A / 17 A	2 x 15 A / 15 A	2 x 15 A / 15 A	2 x 15 A / 15 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	1 / 2	2 / A: 2, B: 2	2 / A: 2, B: 2	2 / A: 2, B: 2
<b>Output (AC)</b>				
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	3000 W	4000 W	3680 W	4600 W
Max. AC apparent power	3000 VA	4000 VA	4000 VA	5000 VA
Nominal AC voltage; range	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V	220, 230, 240 V; 180 - 280 V
AC grid frequency; range	50, 60 Hz; $\pm 5$ Hz	50, 60 Hz; $\pm 5$ Hz	50, 60 Hz; $\pm 5$ Hz	50, 60 Hz; $\pm 5$ Hz
Max. output current	16 A	22 A	22 A	22 A
Power factor ( $\cos \varphi$ )	1	1	1	1
Phase conductors / connection phases	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
<b>Efficiency</b>				
Max. efficiency / Euro-eta	97.0 % / 96.3 %	97.0 % / 96.4 %	97.0 % / 96.4 %	97.0 % / 96.5 %
<b>Protection devices</b>				
DC reverse-polarity protection	●	●	●	●
ESS switch-disconnector	●	●	●	●
AC short circuit protection	●	●	●	●
Ground fault monitoring	●	●	●	●
Grid monitoring (SMA Grid Guard)	●	●	●	●
Galvanically isolated / all-pole sensitive fault current monitoring unit	-/●	-/●	-/●	-/●
Protection class / overvoltage category	I / III	I / III	I / III	I / III
<b>General data</b>				
Dimensions (W / H / D) in mm	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180	470 / 445 / 180
Weight	22 kg	25 kg	25 kg	25 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	$\leq 25$ dB(A)	$\leq 29$ dB(A)	$\leq 29$ dB(A)	$\leq 29$ dB(A)
Internal consumption (night)	< 0.5 W	< 0.5 W	< 0.5 W	< 0.5 W
Topology	transformerless	transformerless	transformerless	transformerless
Cooling concept	Convection	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Electronics protection rating / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54	IP65 / IP54
Climatic category (per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H	4K4H	4K4H
<b>Features</b>				
DC connection: SUNCLIX	●	●	●	●
AC connection: screw terminal / plug connector / spring-type terminal	-/-/●	-/-/●	-/-/●	-/-/●
Display: text line / graphic	-/●	-/●	-/●	-/●
Interfaces: RS485 / Bluetooth®	○/●	○/●	○/●	○/●
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○	●/○/○/○/○
certificates and permits (more available on request)	CE, VDE 0126-1-1, DK 5940, RD 661, RD 1663, G83/1-1, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/C11, PPDS, KEMCO (only SB 3000TL-20)			
* Does not apply to all national deviations of EN 50438				
● Standard features ○ Optional features – not available Data at nominal conditions				
Type designation	SB 3000TL-20	SB 4000TL-20	SB 4000TL-20/V 0159	SB 5000TL-20



## Accessories



RS485 interface  
DM-485CB-10

## **Anexo nº 9.3: gestor de carga Sunny Island 8.0 H**

# SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H FOR OFF-GRID AND ON-GRID APPLICATIONS



S16.0H-11 / S18.0H-11



## Flexible

- For self-consumption and battery backup systems in on-grid and off-grid applications
- All lead-acid and many lithium-ion batteries can be used

- Ideal for retrofits or modular expansions of single-phase and three-phase systems

## Efficient

- Maximum efficiency of up to 96 %
- High efficiency of overall system
- Easy and fast installation and commissioning

## Reliable

- Proven safety thanks to external certification
- Long battery service life thanks to intelligent battery management
- Reliable operation thanks to extreme overload capacity

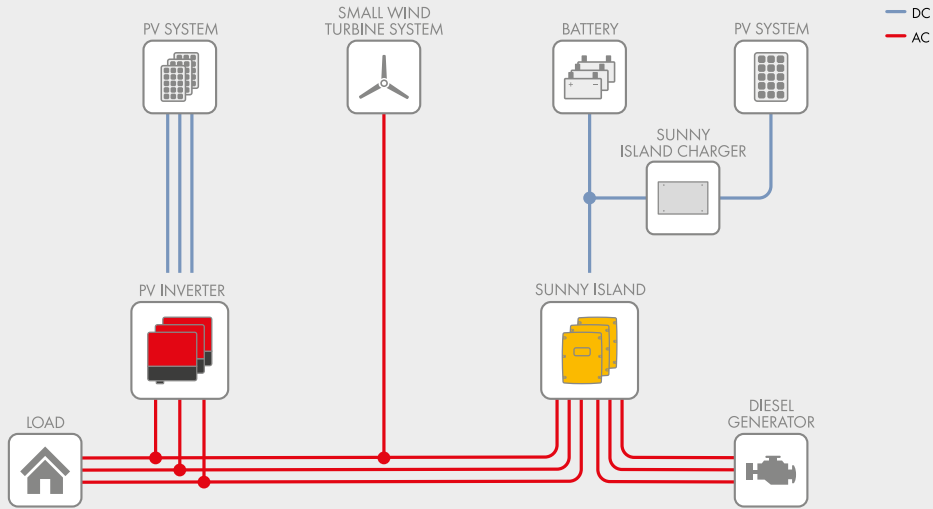
## SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H

The all-rounder for on-grid and off-grid

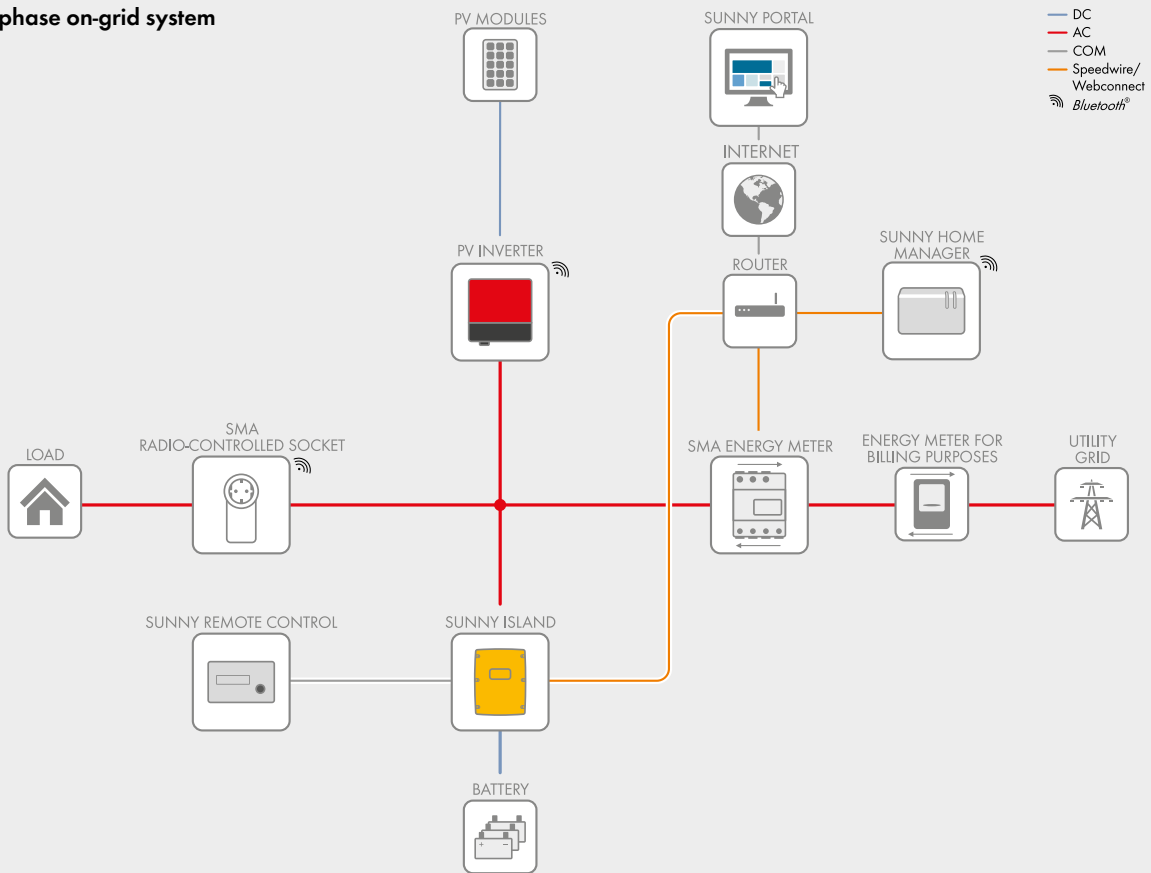
The Sunny Island 6.0H / 8.0H supports a wide range of on-grid and off-grid applications with compelling product features – from operation in remote off-grid areas to home energy management. Users can benefit from more than 25 years of SMA experience in the field of battery inverters. The high protection class, wide temperature range and exceptional overload capacity provide the kind of security needed for off-grid use. Intelligent load and energy management keeps the system running, even in critical situations. And being a core element in the SMA Flexible Storage System for new and existing PV systems, the Sunny Island 6.0H / 8.0H stores generated solar energy and works with the Sunny Home Manager to intelligently manage home energy consumption. The Quick Configuration Guide and intuitive user interface help ensure an easy, convenient installation in any application scenario. That makes the Sunny Island 6.0H / 8.0H the ultimate all-purpose product solution – for on-grid and off-grid.



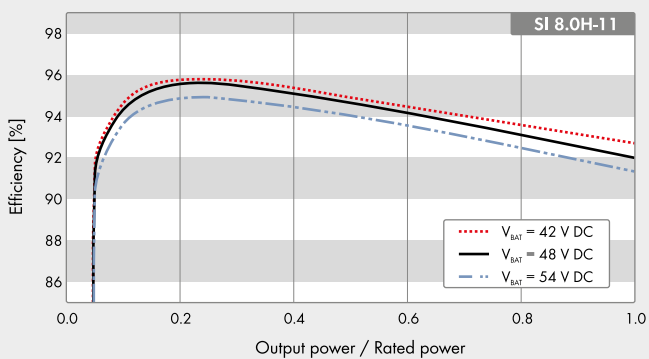
### Three-phase off-grid system



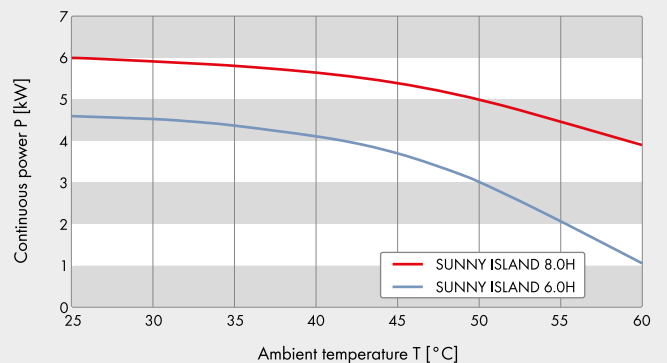
### Single-phase on-grid system



### Efficiency curve



### Power-temperature curve



# SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H

Technical Data	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
<b>Operation on the utility grid or generator</b>		
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 172.5 V to 264.5 V	230 V / 172.5 V to 264.5 V
Rated grid frequency / permitted frequency range	50 Hz / 40 Hz to 70 Hz	50 Hz / 40 Hz to 70 Hz
Maximum AC current for increased self-consumption (grid operation)	20 A	26 A
Maximum AC power for increased self-consumption (grid operation)	4,6 kVA	6 kVA
Maximum AC input current	50 A	50 A
Maximum AC input power	11500 W	11500 W
<b>Stand-alone or emergency power operation</b>		
Rated grid voltage / AC voltage range	230 V / 202 V to 253 V	230 V / 202 V to 253 V
Rated frequency / frequency range (adjustable)	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz
Rated power (at Unom, from / 25°C / cos φ = 1)	4600 W	6000 W
AC power at 25°C for 30 min / 5 min / 3 sec	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
AC power at 45°C permanently	3700 W	5430 W
Rated current / maximum output current (peak)	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Total harmonic distortion output voltage / power factor at rated power	< 4 % / -1 to +1	< 4 % / -1 to +1
<b>Battery DC input</b>		
Rated input voltage / DC voltage range	48 V / 41 V to 63 V	48 V / 41 V to 63 V
Maximum battery charging current / rated DC charging current / DC discharging current	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Battery type / battery capacity (range)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah to 10000 Ah (lead-acid) 50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah to 10000 Ah (lead-acid) 50 Ah to 10000 Ah (Li-Ion)
Charge control	IUoU charge procedure with automatic full charge and equalization charge	
<b>Efficiency / self-consumption of the device</b>		
Maximum efficiency	95,8 %	95,8 %
No-load consumption / standby	25,8 W / 6,5 W	25,8 W / 6,5 W
<b>Protective devices (inverter)</b>		
AC short-circuit / AC overload	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / DC fuse	- / -	- / -
Overtemperature / battery deep discharge	● / ●	● / ●
Overvoltage category as per IEC 60664-1	III	III
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18.4 inch / 21.1 inch / 9.5 inch)	
Weight	63 kg (138.9 lb)	
Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)	
Protection class as per IEC 62103	I	I
Climatic category as per IEC 60721	3K6	3K6
Degree of protection as per IEC 60529	IP54	IP54
<b>Features / function</b>		
Operation and display / multifunction relay	External via SRC-20 / 2	External via SRC-20 / 2
Three-phase systems / battery backup function	● / ●	● / ●
State of charge calculation / full charge / equalization charge	● / ● / ●	● / ● / ●
Battery temperature sensor / data cables	● / ●	● / ●
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Warranty	5 years	5 years
<b>For off-grid applications</b>		
Automatic rotating magnetic field detection / generator support	● / ●	● / ●
Parallel connection / Multicluster	● / ●	● / ●
Integrated soft start	●	●
<b>Accessory</b>		
<b>For off-grid applications</b>		
Battery fuse**	○	○
Interface SI-COMSMA (RS485) / SI-SYSCAN (Multicluster)	○ / ○	○ / ○
Interface SWDMSI-10 (Speedwire)	○	○
Sunny Island Charger SIC50-MPT** / SMA Cluster Controller	○ / ○	○ / ○
<b>For on-grid applications</b>		
Interface SI-COMSMA (RS485) / Interface SWDMSI-10 (Speedwire)	○ / ○	○ / ○
Sunny Home Manager / SMA Energy Meter / automatic transfer switch for battery backup**	○ / ○ / ○	○ / ○ / ○
● Standard features ○ Optional features – Not available		
* see „List of Approved Lithium-Ion Batteries“ at www.SMA-Solar.com		
** procurement via external supplier		
All specifications, last updated: October 2016		
Type designation	SI6.0H-11	SI8.0H-11

# SUNNY DESIGN

System design made easy



## **Anexo nº 10: Presupuesto estimado de la instalación fotovoltaica**

Concepto	Detalle	Cantidad	Precio (USD)	Base (USD)
Inverter (MPPT)	SunnyBoy SB 5000TL HC MultiString (SMA)	2	1.250	2.500
Inverter-gestor de carga	Sunny Island	1	2.400	2.400
Módulo pv	REC Solar, REC280TP (280W)	35	215	7.525
Batería		50	260	14.580
Estructura metálica soporte		1	1.135	1.135
Ajuste del sistema		1	1.000	1.000
<b>subtotal</b>				<b>29.140</b>
Transporte y aduanas (5%)		1	1.457	1.457
Instalación (3%)		1	874	874
<b>Total</b>				<b>31.471</b>

## **Anexo nº 11: HomerPro®: optimización y análisis económico**



## **Anexo 11.1: Parámetros económicos iniciales**

Parámetros económicos iniciales	
Tasa de descuento nominal	6,00%
Tasa de inflación estimada	3,46%
Moneda	USD (\$)

Tabla 9 Parámetros económicos considerados

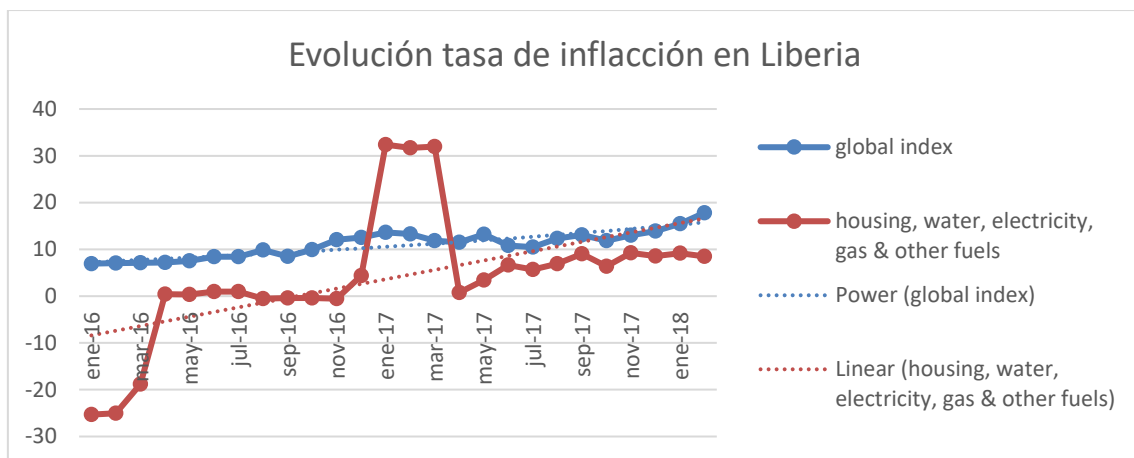


Gráfico 14 Evolución de la tasa de inflación en Liberia

Para la estimación de la tasa de inflación en Liberia se ha partido de los datos contenidos en el documento "Liberia Financial Statistics Vol. 20 No.1 Jan-Feb,2018, producido por el Bank's Research, Policy and Planning Department del Banco Central de Liberia, pág. 27 -28. Se ha contemplado el valor medio, descartando los valores anómalos de inflación de 2017, al considerar que los mismos se vieron influenciados por la crisis del ébola, salida de la misión de Naciones Unidas en Liberia y el periodo electoral, por lo que no se estima que vaya a continuar la tendencia alcista



## **Anexo 11.2: Resultados del análisis de sensibilidad y optimización económica**

FILE LOAD COMPONENTS RESOURCES PROJECT HELP

Home Design Results Library

Electric #1 Electric #2 Deferrable Thermal #1 Thermal #2 Hydrogen

Calculate

**RESULTS**

⚠ >>  Tabular  Graphical

Export... Export All... **Sensitivity Cases** Compare Economics Column Choices...

Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.

Sensitivity	Architecture					Cost					Gen 25		Gen 4			
Diesel Fuel Price (\$/yr)	HelioScope	Gen 25 (kW)	Gen 4 (kW)	BAT	INV (kW)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Fuel cost (\$/yr)	O&M (\$/yr)	O&M Cost (\$/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)
0.875	1.00	25.0	4.00	50	6.00	\$0.380	\$9,413	\$31,417	\$1,126	\$7,092	57.8	516	2,064	994	103	870
1.05	1.00	25.0	4.00	50	6.00	\$0.388	\$9,646	\$31,417	\$1,348	\$7,097	57.8	515	2,060	992	103	1,041

Export... **Optimization Results**  Categorized  Overall

Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Architecture					Cost					Gen 25		Gen 4				He
HelioScope	Gen 25 (kW)	Gen 4 (kW)	BAT	INV (kW)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Fuel cost (\$/yr)	O&M (\$/yr)	O&M Cost (\$/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (\$/yr)	Fuel Cost (\$/yr)	Capital C (\$)
1.00	25.0	4.00	50	6.00	\$0.380	\$9,413	\$31,417	\$1,126	\$7,092	57.8	516	2,064	994	103	870	14,394
1.00	25.0	4.00	50	6.00	\$0.382	\$9,472	\$31,417	\$1,262	\$7,082	57.8	749	2,995	1,442	150	1,262	14,394
1.00	25.0	4.00	50	6.00	\$0.415	\$10,427	\$31,417	\$1,078	\$6,594	383						14,394
1.00	25.0	4.00	30	6.00	\$0.462	\$12,712	\$14,394	\$3,193	\$6,985	466	1,606	3,890	2,166	321	1,895	14,394
	25.0	4.00	30	6.00	\$0.466	\$13,005	\$11,191	\$3,437	\$8,686	96.0	1,844	7,058	3,435	369	3,006	
	25.0	4.00	40	6.00	\$0.473	\$13,045	\$14,107	\$3,647	\$8,680		2,196	8,617	4,168	439	3,647	
	25.0	4.00			\$0.529	\$15,440	\$0.00	\$3,939	\$8,836	470	2,436	5,132	3,004	487	2,628	

Tabla 10 Análisis de sensibilidad y resultados para simulaciones con diversos componentes.



## **Anexo 11.3: Resultados de la opción seleccionada**

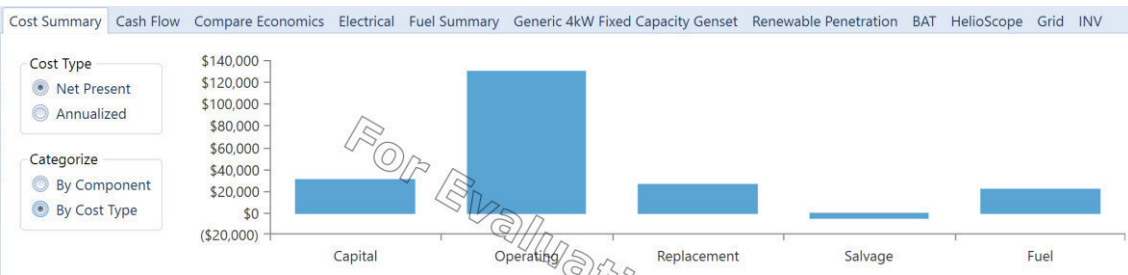
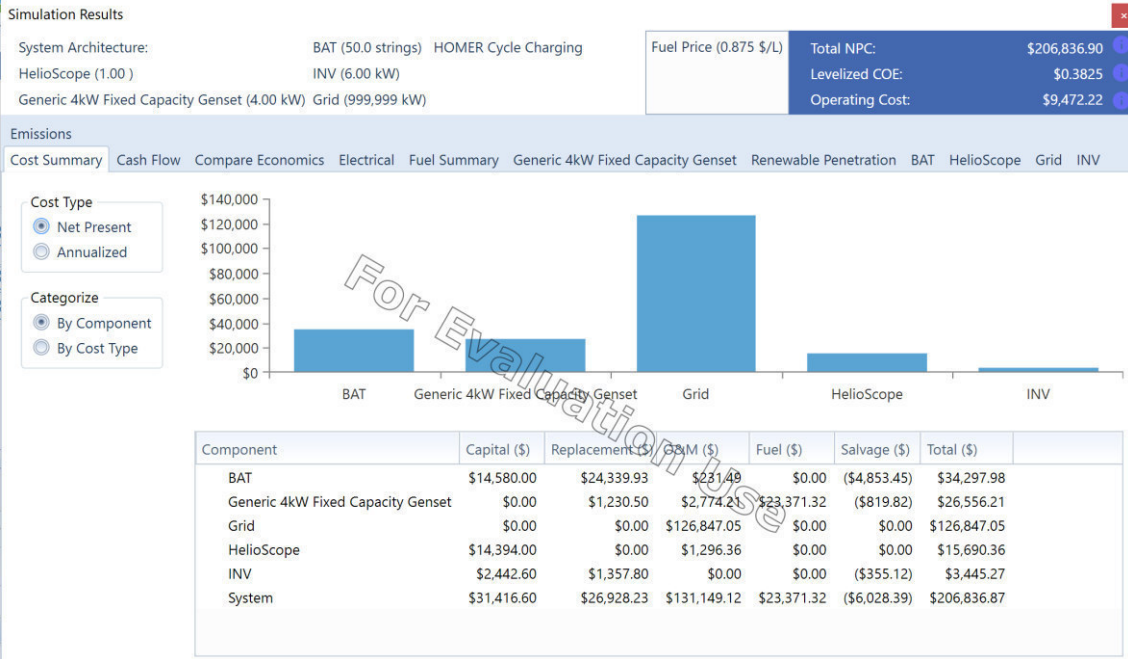


Gráfico 15 Resumen de costes por componente y tipología

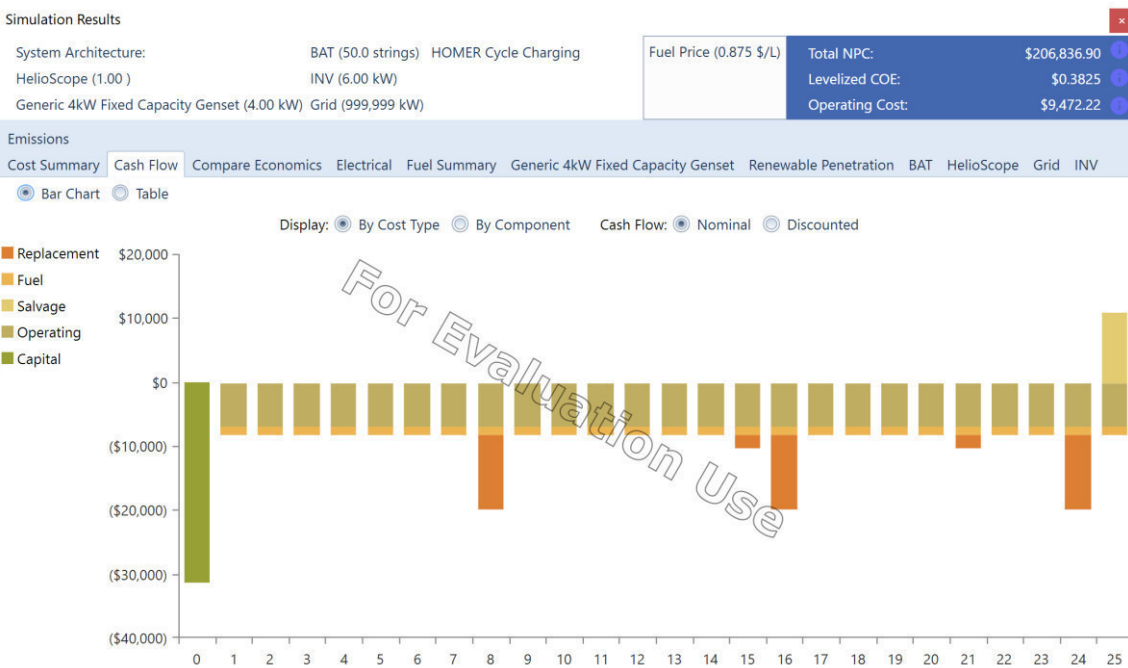


Gráfico 16 Flujo de caja por tipología de coste durante la vida útil

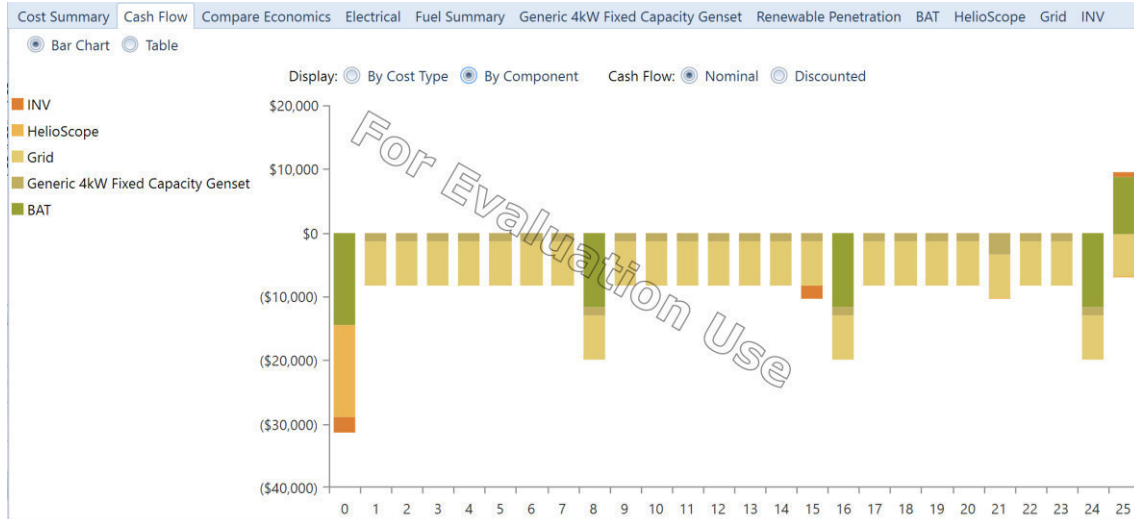


Gráfico 17 Flujo de caja por componente durante la vida útil

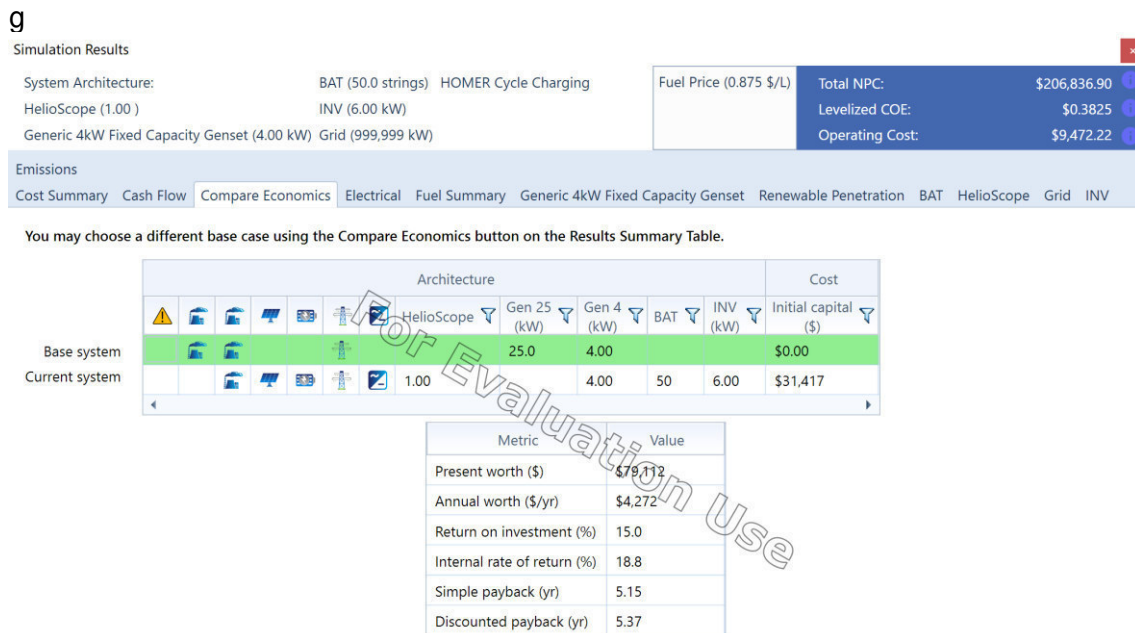


Tabla 11 Comparativa económica entre situación base y solución híbrida seleccionada

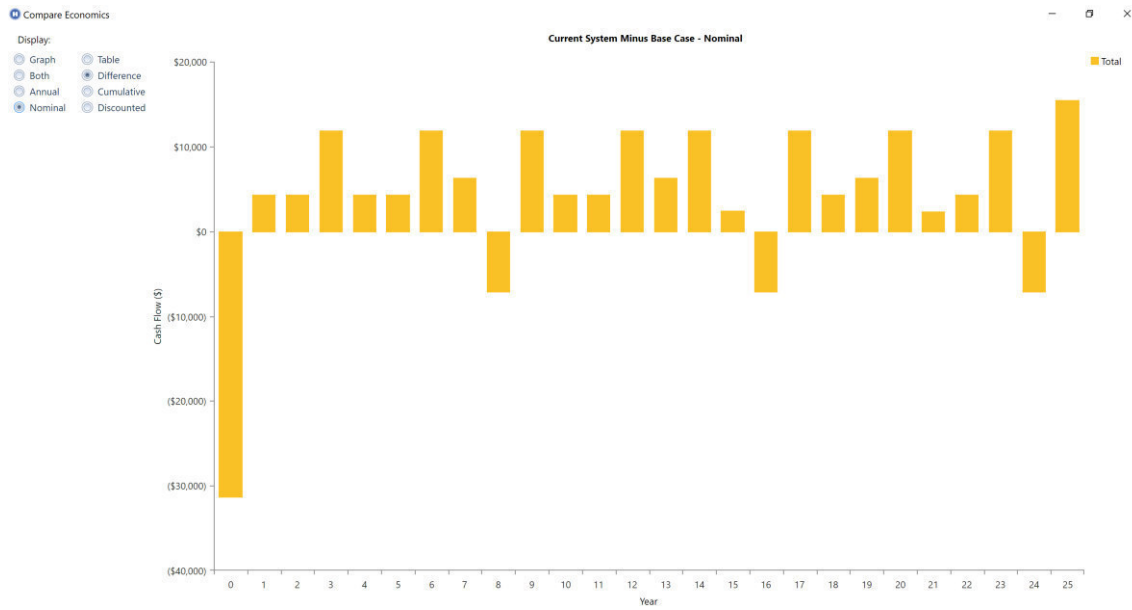


Gráfico 18 Diferencia económica entre caso base y solución híbrida seleccionada

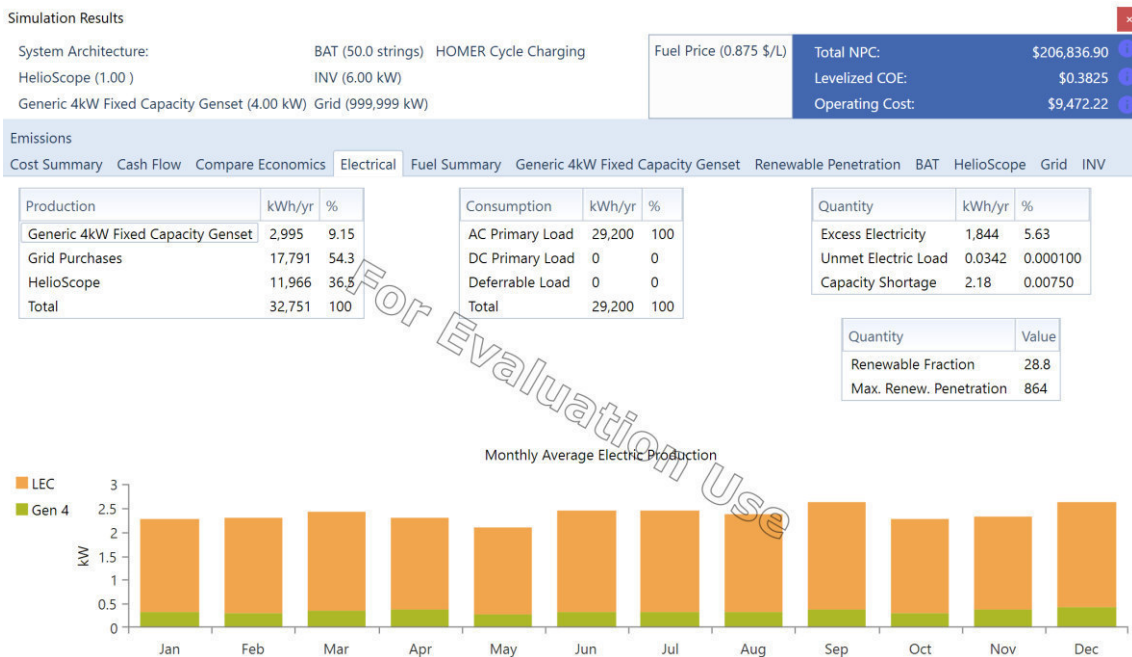


Gráfico 19 Resumen de la producción eléctrica anual

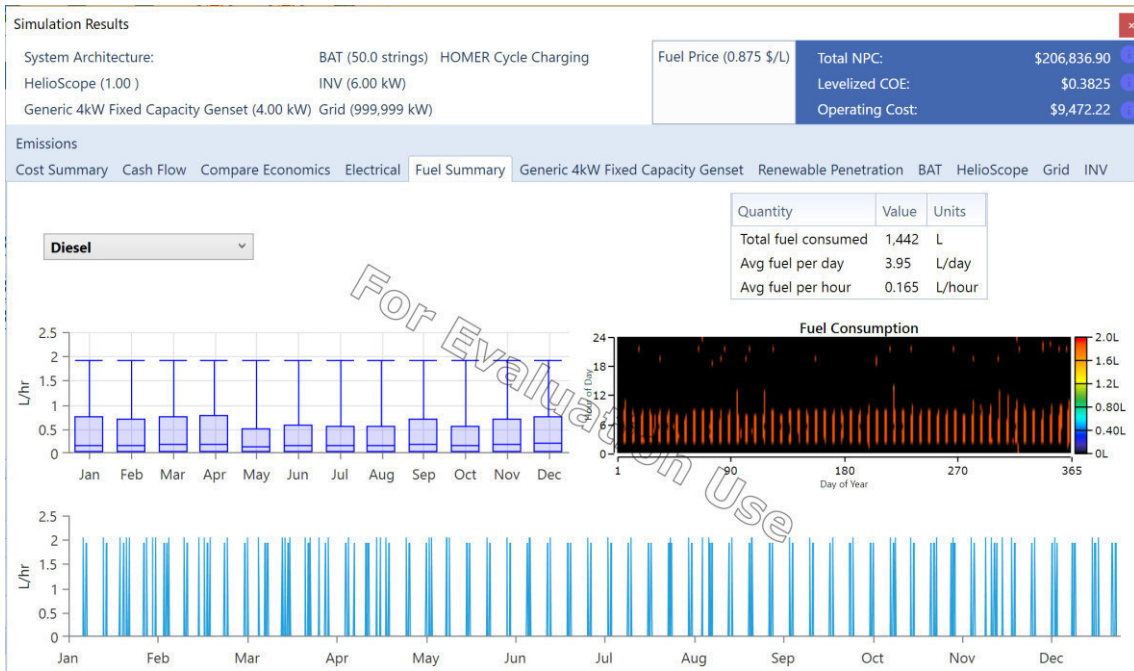


Gráfico 20 Resumen del consumo anual de combustible

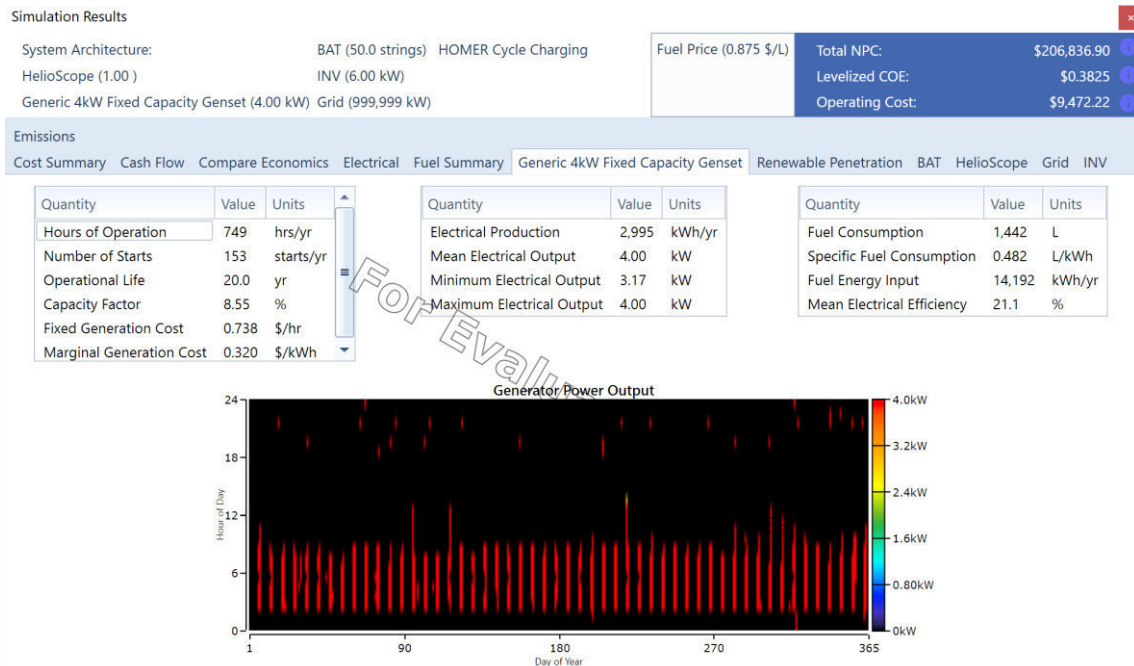


Gráfico 21 Resumen de parámetros de funcionamiento del generador 4Kw

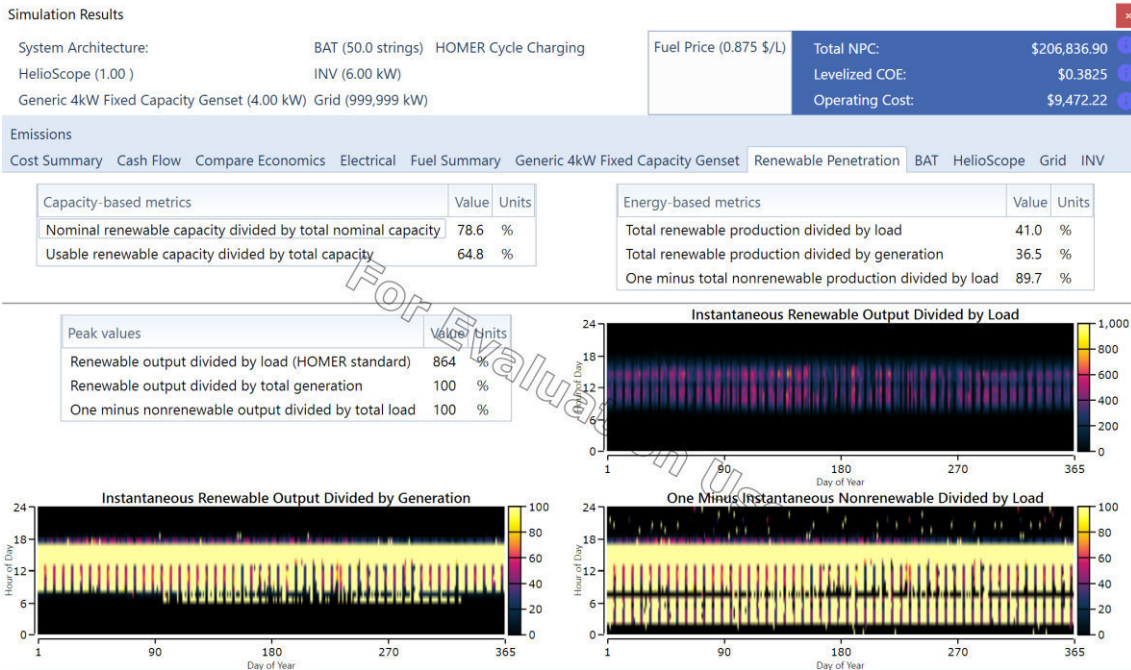


Gráfico 22 Estimación de la penetración de producción renovable

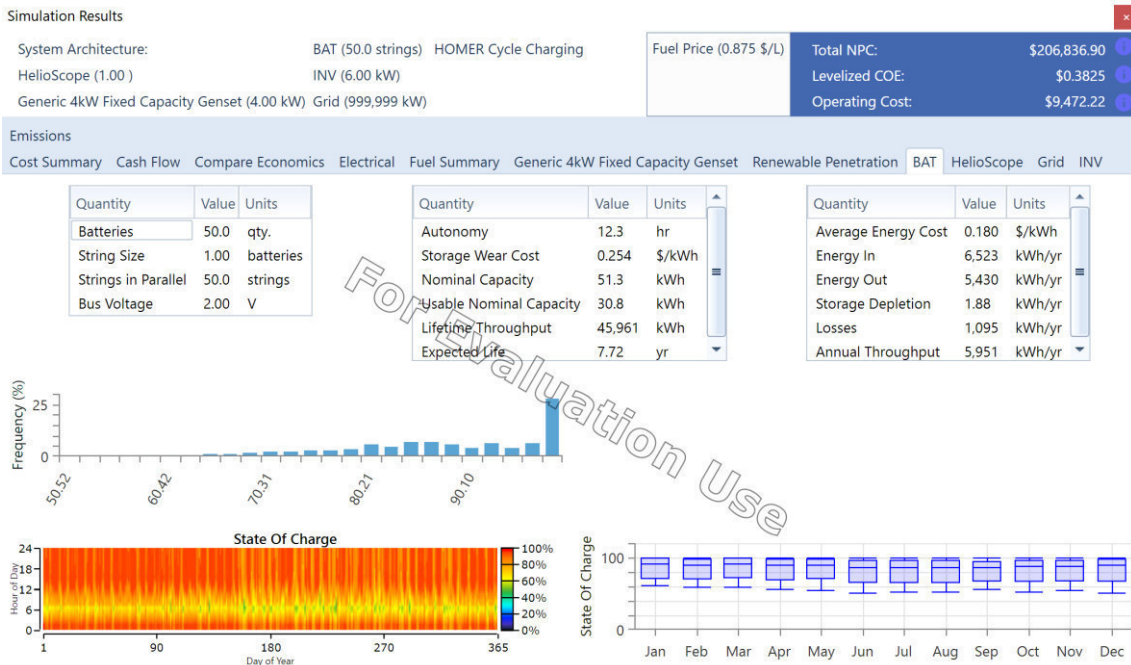


Gráfico 23 Resumen del estado de las baterías



Simulation Results

System Architecture: BAT (50.0 strings) HOMER Cycle Charging  
 HelioScope (1.00) INV (6.00 kW)  
 Generic 4kW Fixed Capacity Genset (4.00 kW) Grid (999,999 kW)

Fuel Price (0.875 \$/L) Total NPC: \$206,836.90  
 Levelized COE: \$0.3825  
 Operating Cost: \$9,472.22

Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic 4kW Fixed Capacity Genset Renewable Penetration BAT HelioScope Grid INV

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1.00	
Mean Output	1.37	kW
Mean Output	32.8	kWh/d
Capacity Factor	18.6	%
Total Production	11,966	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	7.35	kW
Hours of Operation	4,551	hrs/yr
Levelized Cost	0.0708	\$/kWh

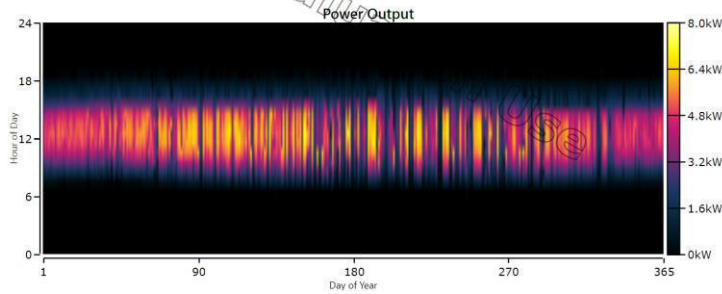


Gráfico 24 Resumen de la producción fotovoltaica

Simulation Results

System Architecture: BAT (50.0 strings) HOMER Cycle Charging  
 HelioScope (1.00) INV (6.00 kW)  
 Generic 4kW Fixed Capacity Genset (4.00 kW) Grid (999,999 kW)

Fuel Price (0.875 \$/L) Total NPC: \$206,836.90  
 Levelized COE: \$0.3825  
 Operating Cost: \$9,472.22

Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic 4kW Fixed Capacity Genset Renewable Penetration BAT HelioScope Grid INV

Rate Schedule: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge (\$)	Demand Charge (\$)
January	1,450	0	1,450	11	\$558.10	\$0
February	1,347	0	1,347	11	\$518.75	\$0
March	1,527	0	1,527	11	\$587.86	\$0
April	1,386	0	1,386	11	\$533.45	\$0
May	1,364	0	1,364	11	\$525.16	\$0
June	1,519	0	1,519	11	\$584.87	\$0
July	1,572	0	1,572	11	\$605.18	\$0
August	1,514	0	1,514	12	\$582.77	\$0

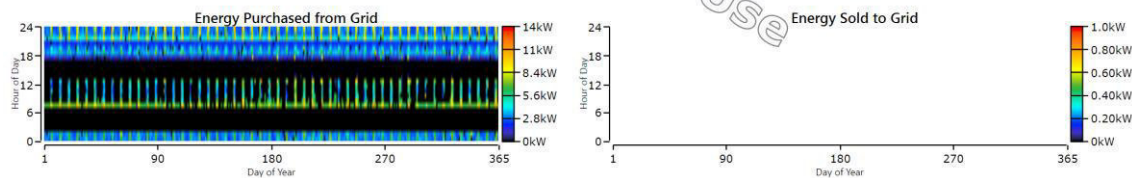


Gráfico 25 Evolución de la electricidad comprada a la red

Simulation Results

System Architecture: BAT (50.0 strings) HOMER Cycle Charging  
 HelioScope (1.00) INV (6.00 kW)  
 Generic 4kW Fixed Capacity Genset (4.00 kW) Grid (999,999 kW)

Fuel Price (0.875 \$/L)	Total NPC:	\$206,836.90
	Levelized COE:	\$0.3825
	Operating Cost:	\$9,472.22

Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic 4kW Fixed Capacity Genset Renewable Penetration BAT HelioScope Grid INV

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	6.00	6.00	kW
Mean Output	0.589	0.745	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	6.00	6.00	kW
Capacity Factor	9.81	12.4	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	2,105	3,075	hrs/yr
Energy Out	5,159	6,523	kWh/yr
Energy In	5,430	6,866	kWh/yr
Losses	272	343	kWh/yr

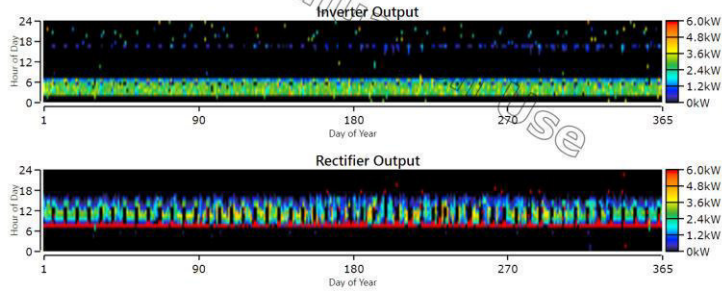


Gráfico 26 Estimación del funcionamiento del inversor

Simulation Results

System Architecture: BAT (50.0 strings) HOMER Cycle Charging  
 HelioScope (1.00) INV (6.00 kW)  
 Generic 4kW Fixed Capacity Genset (4.00 kW) Grid (999,999 kW)

Fuel Price (0.875 \$/L)	Total NPC:	\$206,836.90
	Levelized COE:	\$0.3825
	Operating Cost:	\$9,472.22

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Generic 4kW Fixed Capacity Genset Renewable Penetration BAT HelioScope Grid INV Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	15,012	kg/yr
Carbon Monoxide	28.5	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	1.04	kg/yr
Particulate Matter	1.73	kg/yr
Sulfur Dioxide	58.0	kg/yr
Nitrogen Oxides	56.2	kg/yr

Tabla 12 Estimación de emisiones contaminantes

Simulation Results

System Architecture: Grid (999,999 kW)  
 Gen (25.0 kW) HOMER Cycle Charging  
 Generic 4kW Fixed Capacity Genset (4.00 kW)

Fuel Price (0.875 \$/L)	Total NPC:	\$285,948.90
	Levelized COE:	\$0.5288
	Operating Cost:	\$15,440.46

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Fuel Summary Gen Generic 4kW Fixed Capacity Genset Grid Emissions

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	24,726	kg/yr
Carbon Monoxide	69.1	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	3.24	kg/yr
Particulate Matter	4.33	kg/yr
Sulfur Dioxide	84.9	kg/yr
Nitrogen Oxides	182	kg/yr

Tabla 13 Estimación de emisiones contaminantes en caso base