

Funcionamiento de una Instalación Fotovoltaica Aislada en un Día Completo

Nicolás Niño González ¹

Juan José Vargas Osorio ²

*Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomas Sede Central
Bogotá, Colombia*

nicolasninog@usantotomas.edu.co

Resumen— El artículo explica el funcionamiento de la instalación fotovoltaica aislada localizada en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), además se realiza la comparación con cuatro proyectos de estaciones solares aisladas en España, para ello se hizo la descripción de los componentes que la forman y por medio de unos valores de medición facilitados por la UPV, los cuales fueron: irradiancia solar (W/m^2), tensión del generador fotovoltaico (V), intensidad del generador fotovoltaico (A), tensión de consumo del receptor (V) e intensidad de consumo del receptor (A). Se pudo calcular la potencia solar incidente, potencia del generador fotovoltaico, potencia de carga/descarga de la batería, potencia del receptor y el rendimiento fotovoltaico. Obteniendo las potencias se determinó el balance diario de energía, el cual arrojó como resultado que el generador fotovoltaico produjo 171,5 Wh, el receptor consumió 68,7 Wh y la batería se cargó 102,8 Wh, además el rendimiento fotovoltaico diario fue 6,57%.

Palabras Clave— Instalación fotovoltaica, irradiancia solar, tensión, intensidad, energía y rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables son principalmente aquellas que son inagotables en la naturaleza. En el caso de la energía fotovoltaica se deriva en última instancia de la energía radiante del sol que llega a la tierra. A menudo se clasifica como "renovable", pero se puede hablar que en un muy largo plazo no es completamente sostenible, ya que si se tuviera que tomar una escala de tiempo de millones o tal vez miles de millones de años, hasta la energía radiante del sol sobre la tierra disminuiría con el tiempo, por lo tanto esta fuente no es verdaderamente sostenible "no dura para siempre" [1]. La energía fotovoltaica supone que debe ser libre, accesible, inagotable y limpia [2]; además de esto el recurso solar es enorme en comparación con las necesidades de energía que se requieren, esta puede ser capturada y transformada en calor o electricidad. En algunos lugares varía en cantidad y calidad, de manera que no es completamente predecible [3]. Básicamente lo que hace un sistema fotovoltaico es convertir la radiación solar en electricidad a corriente continua (DC), que se puede convertir en electricidad

de corriente alterna (AC) mediante el uso de un inversor [4]. Una instalación fotovoltaica aislada produce electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, esto quiere decir que su aplicación es autónoma y puede generar electricidad en cualquier lugar donde la red eléctrica no puede llegar [5]. Este tipo de instalaciones pueden ser usadas en lugares con terrenos difíciles y puede ser considerada una de las mejores alternativas para reducir la pobreza energética como las que se encuentran en las zonas rurales [6].

El presente artículo hará la descripción de los componentes de la instalación fotovoltaica aislada ubicada en la UPV, España; en ella los docentes Salvador Seguí Chilet y Francisco José Gimeno Sales, midieron una serie de datos y valores a lo largo del día en el laboratorio de electrotécnica en el edificio C en la UPV; los cuales permitieron calcular las potencias eléctricas que se generan, almacenan y utilizan en los componentes de la instalación fotovoltaica. Este estudio se hace con el fin de determinar el balance de energía para un día y comparar los resultados de irradiancia solar, las potencias del generador fotovoltaico, la batería y el receptor, y la eficiencia del módulo fotovoltaico usado por la UPV, con diferentes proyectos de instalaciones fotovoltaicas aisladas ubicadas en España, como el elaborado por la Universidad Pública de Navarra en el 2011 sobre una instalación eléctrica mediante energías renovables en una quesería en Salvatierra [7], la ejecución de un diseño de instalación solar fotovoltaica aislada para una huerta ecológica en una finca de Camargo por la Universidad de Cantabria en el 2012 [8], un proyecto del dimensionado de una instalación fotovoltaica para el abastecimiento del suministro eléctrico en dos viviendas rurales en Las Pelaillas por la Universidad Politécnica de Cartagena en el 2013 [9] y un proyecto de la Universidad de Valladolid sobre una instalación fotovoltaica aislada para un colegio infantil ubicado en Amayuelas de Abajo en el 2015 [10].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

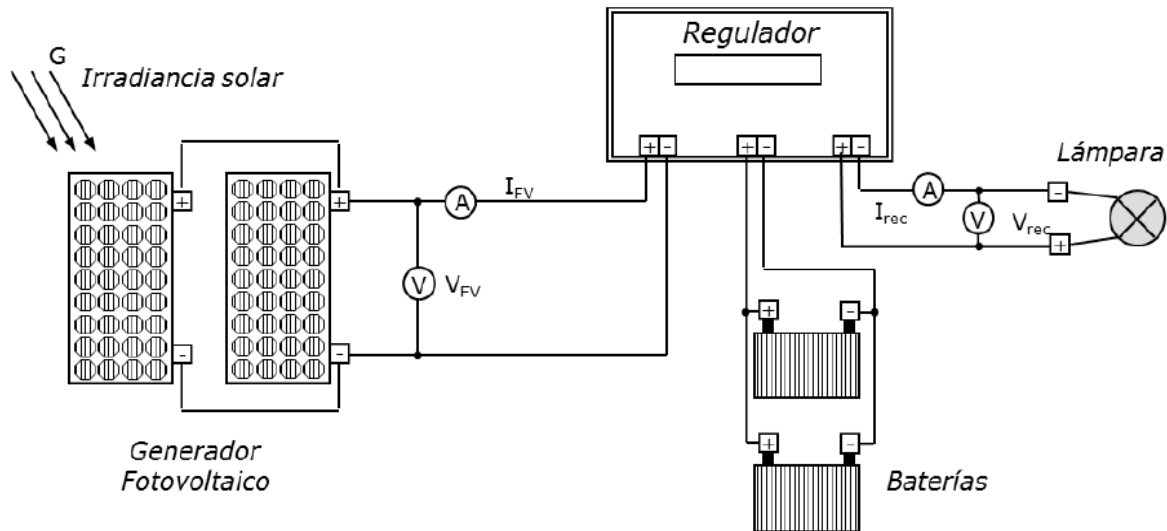
Para explicar el funcionamiento de una instalación fotovoltaica aislada se debe comenzar por mostrar los equipos básicos que la componen, como se observa en la Ilustración 1; la instalación cuenta con dos módulos que forman el

¹ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás de Colombia.

² Docente, Universidad Santo Tomás de Colombia.

generador fotovoltaico, un regulador, un sistema de almacenamiento de energía eléctrica (dos baterías), un inversor de DC (corriente continua) a AC (corriente alterna) y una luminaria.

Ilustración 1. Esquema de los componentes de la instalación solar fotovoltaica aislada.



Fuente. [11].

A. Descripción de los componentes de la instalación fotovoltaica aislada

Los dos módulos fotovoltaicos usados en la instalación fotovoltaica aislada en la UPV son de silicio monocristalino y tienen un rendimiento del 14%. El primer módulo con su borne (+) y con su borne (-) y lo que hace es conectarse en paralelo con el otro módulo para formar el generador fotovoltaico [12]. En la Tabla 1., muestra las características del generador fotovoltaico.

Tabla 1.
Características de los módulos fotovoltaicos.

Datos del módulo	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m ²)	Pp (W)	Número
	0,32	1,2	0,384	45	2
Datos del campo solar FV			0,768	90	

Fuente. Autor.

El potencial eléctrico viene en función del número de células que tenga cada módulo [13], los cuales tienen 33 células cada uno, como se observa en la Ilustración 2., por lo general este tipo de módulos suelen ser de 33 a 36 células conectadas en serie [14] [15].

Ilustración 2. Módulo de silicio monocristalino de 33 células.



Fuente. [16].

El regulador que se encuentra en la instalación es un LEO 20 de marca Atersa, como se observa en la Ilustración 3., este equipo es un sistema de regulación digital que detecta el estado de carga de la batería y lo hace midiendo su tensión y temperatura [17], al deducir que la batería se ha descargado un 70%, el interruptor interno del regulador se abre y se interrumpe el proceso de descarga de la batería [18] [19][20].

El regulador LEO 20 protege la batería frente a sobre descargas mediante un avanzado sistema de alarmas el cual avisará con una señal acústica repetitiva y con un mensaje en

pantalla, además cuenta con un sistema de menús que permite obtener todos los datos del proceso y los muestra de forma gráfica en pantalla [21].

Ilustración 3. Controlador de carga o Regulador.



Fuente. Autor.

Las dos baterías usadas en la instalación fotovoltaica son de marca Tudor de 12 V y están conectadas en paralelo, como se muestra en la Ilustración 4. Son baterías convencionales de plomo-ácido con electrolito líquido [22]. Es importante tener en cuenta que para alargar el ciclo de vida de las baterías no conviene que sobrepasen un determinado nivel de descarga, por lo general en una estación fotovoltaica, la batería puede llegar a descargarse desde un 70% a 80% como máximo [23][24][25].

Ilustración 4. Baterías de almacenamiento conectadas en paralelo.



Fuente. [16].

En el laboratorio de electrotécnica se usa un inversor TAURO de marca Atersa, como se puede observar en la Ilustración 5., el cual está diseñado para transformar energía procedente de las baterías en corriente alterna de la frecuencia y la tensión que se utilice [26], en este caso son 50 Hz y una

tensión de 220 V (caso España), además el inversor TAURO alcanza un elevado rendimiento y puede proporcionar potencias puntuales de hasta un 300% de su potencia nominal, por lo que son idóneos para trabajar en instalaciones fotovoltaicas [27].

El inversor se puede conectar directamente a los bornes de la batería o al regulador, pero lo habitual es hacerse directamente a los bornes de la batería [28][29]. En la salida del inversor se puede crear un circuito eléctrico con corriente alterna para alimentar todos los receptores de corriente alterna que se necesiten [30].

Ilustración 5. Inversor de DC a AC.

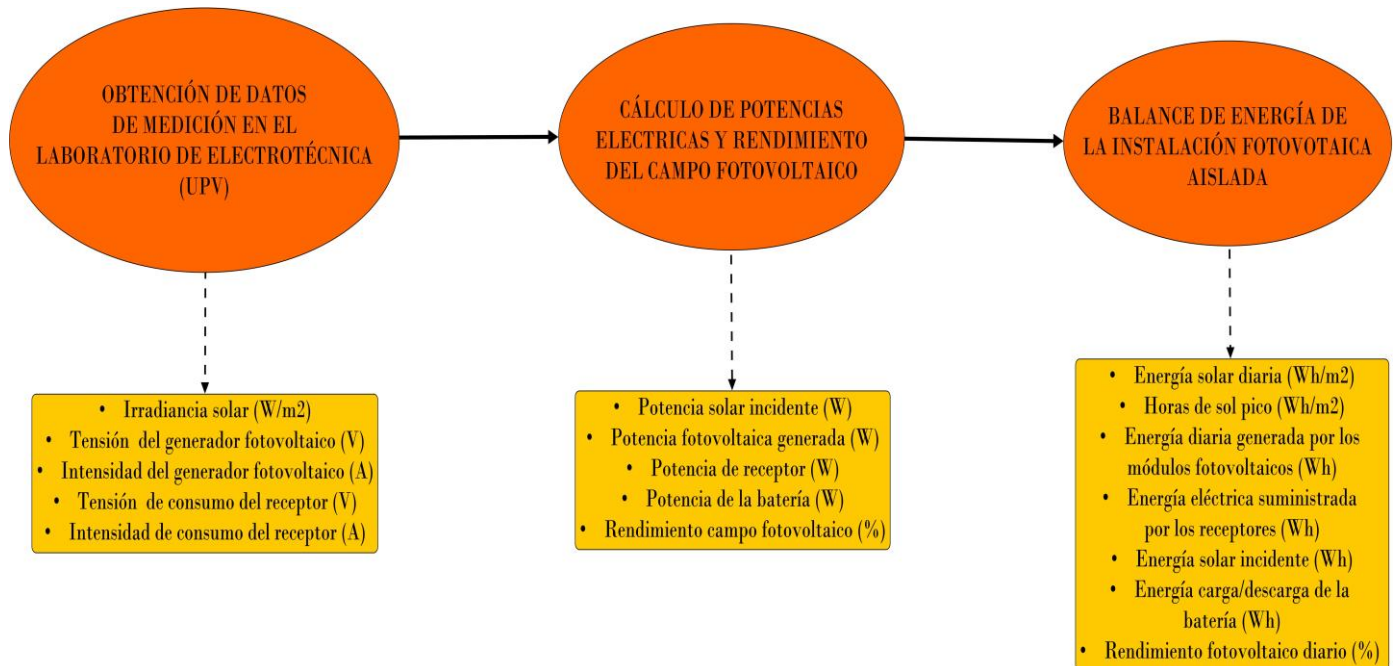


Fuente. Autor.

Y por último, en la instalación fotovoltaica aislada en la UPV usó un receptor lumínico (luminaria) de corriente continua de 12 V con una potencia de 18 W [31].

B. Obtención de datos

A continuación en la Ilustración 6., se presentará la descripción del proceso para la determinación del balance de energía diaria en la instalación fotovoltaica aislada en la UPV.

Ilustración 6. Diagrama de descripción del proceso para la determinación del balance de energía diaria.

Fuente. Autor.

Los datos de medición fueron facilitados por Salvador Seguí Chilet y Francisco José Gimeno Sales, docentes de la UPV. Estos datos corresponden al día 26 de febrero del 2010 en Valencia, España. Según la información brindada, los docentes realizaron el seguimiento de la instalación tomando datos de forma continua, entre las 5:00 horas hasta las 20:55 horas, era un día con poco sol y con una cierta cantidad de nubes.

Los profesores se encargaron de medir la irradiancia solar, la cual es la energía que incide sobre una superficie por unidad de tiempo y área, equivalente a la potencia incidente por unidad de superficie [32], la midieron con un piranómetro el cual se instala orientado e inclinado en el mismo ángulo que el generador fotovoltaico, además midieron corriente y tensión eléctrica del generador fotovoltaico en la entrada del regulador y por último midieron corriente y tensión eléctrica del receptor (la luminaria) en la salida del regulador.

Los valores se tomaban cada 30 segundos y se registraba el valor medio cada 5 minutos. Los resultados de las medidas a lo largo del día, fueron registrados en un archivo de Excel, el cual por medio de las siguientes ecuaciones tomadas de “Casos prácticos de sistemas fotovoltaicos aislados” [11], se podrá determinar las potencias eléctricas generadas en la instalación fotovoltaica, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Ecuaciones para cálculo de potencias.

Nº	Ecuación
1	$P_{solar\ incidente} = G \cdot S_{fv}$
2	$P_{FV\ generada} = I_{FV} \cdot V_{FV}$
3	$P_{receptor} = I_{recep} \cdot V_{recep}$
4	$P_{bateria} = P_{FV\ generada} - P_{receptores}$
5	$\eta_{FV} = \left(\frac{P_{FV\ generada}}{P_{solar\ incidente}} \right) \cdot 100$

Fuente. Autor.

- En primera instancia se calcula la potencia solar incidente ($P_{solar\ incidente}$ en W), la cual como se observa en la ecuación (1), se multiplica la irradiancia solar (G) que da el piranómetro por la superficie del generador fotovoltaico (S_{fv}), que es la superficie de dos módulos fotovoltaicos (m²).
- Para calcular la potencia fotovoltaica ($P_{FV\ generada}$ en W), es decir la potencia eléctrica que producía el generador fotovoltaico, se multiplica la intensidad del generador fotovoltaico (I_{FV}) por la tensión del generador fotovoltaico (V_{FV}), como se observa en la ecuación (2).
- Para calcular la potencia consumida por el receptor ($P_{receptor}$ en W), es multiplicar la intensidad de consumo del receptor (I_{recep}) por la tensión de consumo del receptor (V_{recep}), como se observa en la ecuación (3).

- Para calcular la potencia de la batería ($P_{bateria}$ en W), se obtiene restando potencia fotovoltaica generada ($P_{FVgenerada}$) menos la potencia consumida por el receptor ($P_{receptor}$), como se muestra en la ecuación (4).

El resultado de la diferencia de potencias puede ser positiva o negativa, si se genera más de lo que se consume es positiva y se sabe que se está cargando la batería, mientras si el resultado es negativo es porque se está descargando ya que se consume más de lo que se genera y el exceso de lo que se consume lo tiene que aportar la batería. A lo largo del día se puede producir las dos situaciones, que esta potencia generada sea mayor de la que se consume, por lo tanto el exceso de carga va hacia la batería, o que esta potencia de la que se consume sea mayor de la que se genera, entonces la batería tiene que aportar energía hacia el receptor. Por la noche la potencia fotovoltaica generada es 0, entonces si hay consumo todo procede de la batería y hay momentos en el día que puede que el receptor esté desconectado y que toda la potencia que se genera se almacene en la batería.

- Para calcular el rendimiento del campo fotovoltaico (η_{FV} en %), se calcula como el cociente de la potencia eléctrica generada dividida por la potencia solar incidente por cien, como se muestra en la ecuación (5).

Por medio de las siguientes ecuaciones tomadas de “Casos prácticos de sistemas fotovoltaicos aislados” [11], se podrá determinar el balance de energía, que resume el funcionamiento de la instalación fotovoltaica para ese día, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3.

Ecuaciones para cálculo de energías.

N°	Ecuación
1	$H_{dia} = \sum_{n=1,2,\dots} G_n \left(\frac{W}{m^2} \right) \cdot t_{adq} \text{ (horas)}$
2	$HSP_{dia} = \frac{H_{dia} \frac{Wh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$
3	$E_{FVgenerada} = \sum_{n=1,2,\dots} P_{FVgenerada} (W) \cdot t_{adq} \text{ (horas)}$
4	$E_{receptor} = \sum_{n=1,2,\dots} P_{receptor} (W) \cdot t_{adq} \text{ (horas)}$
5	$E_{solarincidente} = \sum_{n=1,2,\dots} P_{incidente} (W) \cdot t_{adq} \text{ (horas)}$
6	$E_{solarincidente} = \frac{H_{dia} \left(\frac{Wh}{m^2} \right)}{S_{fv} \text{ (m}^2\text{)}}$
7	$E_{bateria} = E_{FVgenerada} (Wh) - E_{receptores} (Wh)$
8	$\eta_{FVdia} = \left(\frac{E_{FVgenerada} (wh)}{E_{solarincidente} (Wh)} \right) \cdot 100$

Fuente. Autor.

- En primera instancia se calcula la energía solar diaria recibida por los módulos fotovoltaicos o irradiación (H_{dia}

en Wh/m^2). Esta se determina a partir de la medida de la intensidad solar o irradiancia (G) multiplicada por el tiempo que ha utilizado el sistema de monitorización para adquirir las muestras de irradiancia (t_{adq}), como se muestra en la ecuación (1).

- Para calcular las horas de sol pico equivalentes para el día de las medidas (HSP_{dia} en W/m^2), se divide el valor dado por la ecuación (1) por $1000 W/m^2$, que es la irradiancia solar en condiciones estándar de medidas STC (G_{STC}) y son $1000 W/m^2$ porque la irradiancia solar incidente en el suelo no suele superar este valor, como se muestra en la ecuación (2).
- Para determinar la energía diaria generada por los módulos fotovoltaicos ($E_{FVgenerada}$ en Wh), se calcula sumando la energía generada en todos los periodos de tiempo de adquisición de las medidas eléctricas como se muestra en la ecuación (3).
- Para determinar la energía eléctrica suministrada por el receptor ($E_{receptor}$ en Wh), se obtiene a partir de la potencia eléctrica suministrada por el receptor y del tiempo de adquisición de dicha medida (durante el tiempo de uso del receptor, como se muestra en la ecuación (4)).
- Para determinar la energía solar diaria incidente sobre el campo fotovoltaico ($E_{solarincidente}$ en Wh), se obtiene a partir de la potencia solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos multiplicada por el tiempo que ha utilizado el sistema de monitorización para adquirir las medidas, o también se puede calcular multiplicando la irradiación diaria (H_{dia}) dividido por la superficie del generador fotovoltaico que en este caso es de $0,768 m^2$, como se muestra en las ecuaciones (5) y (6).

El tiempo (t_{adq}) en las anteriores ecuaciones es el que ha utilizado el sistema de monitorización para adquirir las muestras. Las muestras se toman cada 5 minutos, como se necesitan que sea en horas se hace la conversión de minutos a horas que equivalen a ($5 \text{ min} = 0,0833333 \text{ h}$).

- Para calcular el balance neto de la energía diaria suministrada a la batería ($E_{bateria}$ en Wh), se obtiene por diferencia entre lo que generan los módulos fotovoltaicos ($E_{FVgenerada}$) dada en la ecuación (3) y la que consume el receptor de la instalación ($E_{receptor}$) dada en la ecuación (4), como se muestra en la ecuación (7).

Al igual que en el cálculo de la potencia de la batería, si el resultado neto en un día es positivo, la batería se carga, mientras que cuando el signo es negativo, la batería se descarga.

- Por último se hace el cálculo del rendimiento diario de los módulos fotovoltaicos (η_{FVdia} en %), se calcula como el cociente de la energía eléctrica generada en ese día

dividido por la energía solar incidente por cien, como se muestra en la ecuación (8).

III. RESULTADOS

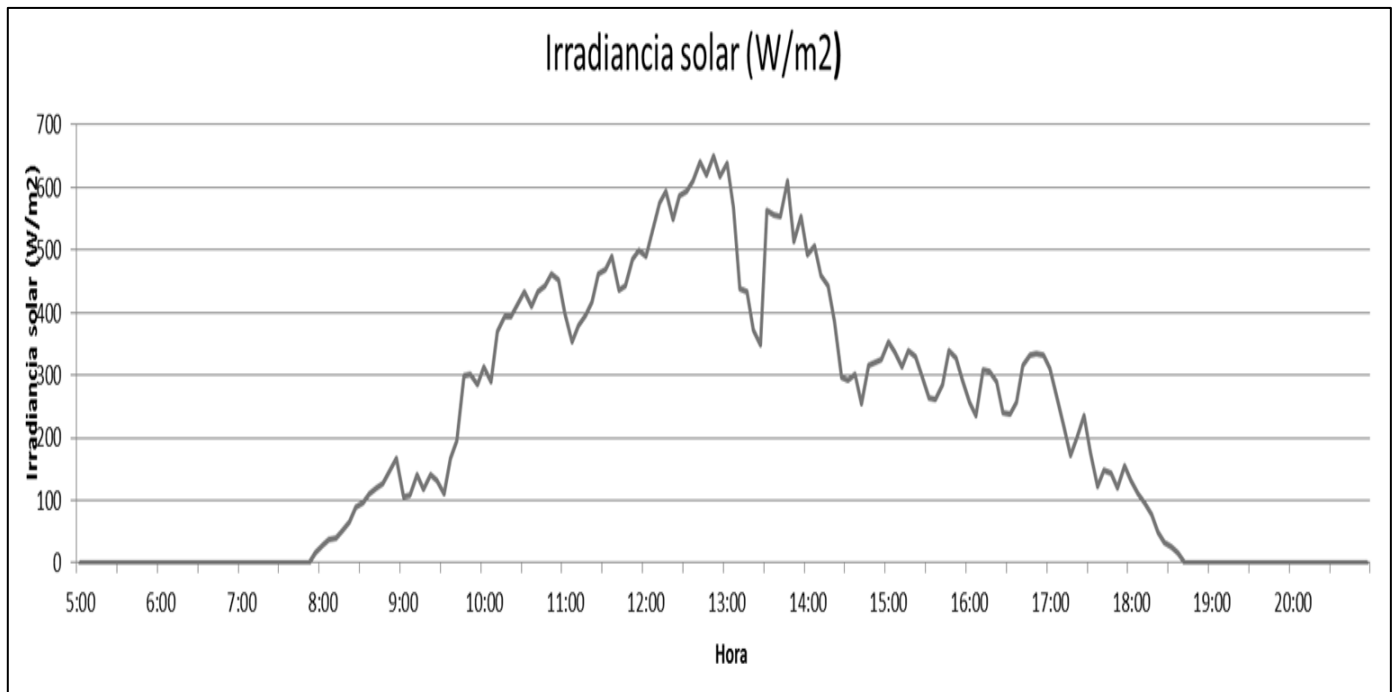
A continuación en la Gráfica 1., se representa la irradiancia solar a lo largo del día sobre el generador fotovoltaico. La gráfica muestra que no fue un día perfectamente soleado, ya que la curva no es senoidal. El comportamiento de los picos bajos de irradiancia solar, se debe principalmente a la presencia de nubes durante el día y otro factor es que en la fecha que se hizo la medición era época de invierno, ya que en España el invierno oscila entre diciembre y marzo aproximadamente, por ende el pico más alto de irradiancia solar para ese día fue de 650,84 W/m² a las 12:50 horas.

El ingeniero técnico industrial Alberto Díaz Marcano estudiante de la Universidad de Cantabria, España; hizo un proyecto de una instalación fotovoltaica aislada para una huerta escolar en Igollo del municipio de Camargo en el año 2012, el cual por medio de una gráfica, pudo observar la variación de irradiancia solar a lo largo de un día del mes de diciembre. La gráfica para este estudio muestra tres curvas senoidales en los cuales los picos más altos de irradiancia solar se encuentran a las 12:00 horas, la primera curva representa la irradiancia solar en condiciones perfectas (cielo despejado), el cual da un resultado de 800 W/m², la segunda curva representa la irradiancia solar en condiciones reales el cual dio como resultado 300 W/m² y por último en la gráfica se observa la irradiancia solar si hubiera presencia de nubes a

esa hora, el cual estimo una irradiancia solar de 120 W/m² [8]. Según estos resultados se puede considerar que la irradiancia solar en el mes de diciembre en Igollo, es mucho menor a la irradiancia solar en un día de febrero en Valencia, ya que la diferencia es de 350,84 W/m² en condiciones reales, sabiendo que los dos meses hacen parte de época de invierno en España; esta diferencia de irradiancia solar se debe a la inclinación de la tierra en estos meses y a la latitud en la que se encuentran estos lugares, ya que Igollo se encuentra en la latitud norte y Valencia en la latitud sur de España, lo cual hace que esta ciudad reciba más radiación solar que Igollo durante esos meses [33].

Otro proyecto realizado en el año 2011 sobre una instalación fotovoltaica aislada se encuentra en Salvatierra, España. En esta instalación, el estudiante Daniel Santamaría de la Universidad Pública de Navarra, hizo la estimación de la irradiancia media mensual por medio de un gráfico, el cual dio como resultados las menores irradiancias solares en los meses de diciembre (53,92 W/m²), enero (58,52 W/m²) y febrero (97,15 W/m²), en cambio los meses que registran los mayores registros de irradiancia solar en Salvatierra son mayo (225,87 W/m²), junio (256,06 W/m²) y julio (224,31 W/m²), que corresponden a la época de verano en España [7]. Según los resultados de irradiancia solar en este estudio, Salvatierra recibe muy poca cantidad de radiación solar sabiendo que hasta en los meses de verano, recibe menos irradiancia solar que un día en el mes de febrero en Valencia.

Gráfica 1. Datos de medición de irradiancia solar a determinadas horas del día.



Fuente. Autor.

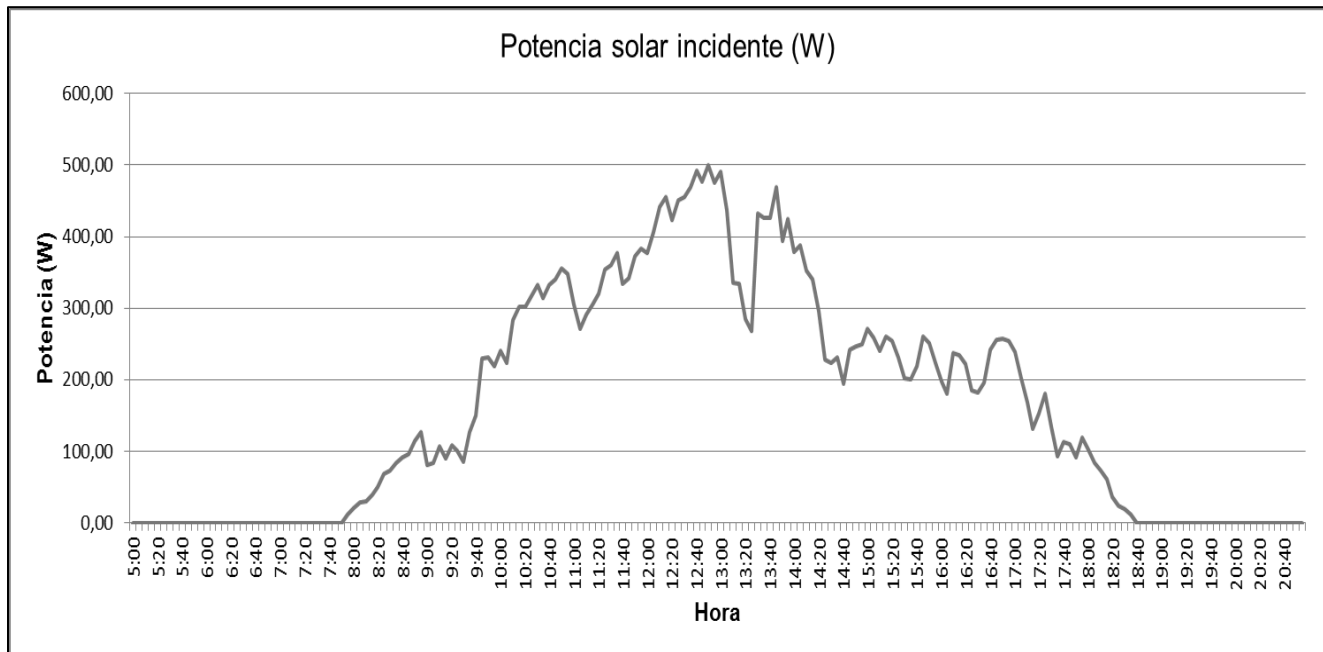
Con el parámetro de irradiancia solar, se pudo calcular la potencia solar incidente sobre el generador fotovoltaico, sabiendo que la superficie del generador fotovoltaico es de 0,768 m². Como se observa en la Gráfica 2., esta tiende a ser

igual que la Gráfica 1., esto se debe a que los valores de irradiancia solar (W/m²) son directamente proporcionales a los de la potencia solar incidente (W). El valor en (W), es la cantidad de potencia solar recibida por cada metro cuadrado

de la superficie del generador fotovoltaico. A las 12:50 horas, se genera el pico más alto de potencia solar incidente con un valor de 499,85 W. Después de las 13:50 horas en adelante la

potencia solar incidente tiende a disminuir hasta llegar a las 18:40 horas, donde la potencia solar incidente en el generador fotovoltaico es 0 W.

Gráfica 2. Potencia solar incidente.

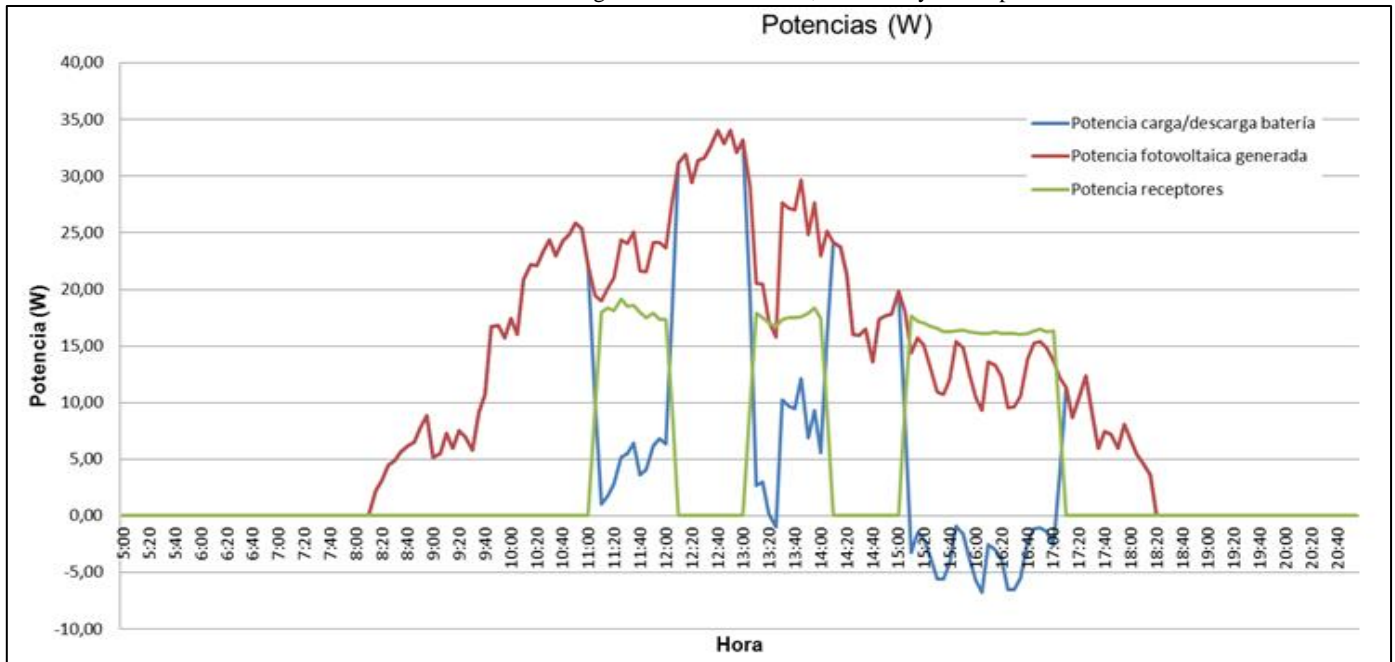


Fuente. Autor.

En la Gráfica 3., muestra las potencias generadas a lo largo del día como la potencia del generador fotovoltaico (rojo), potencia del receptor a lo largo del día (verde) y la potencia de la batería a lo largo del día (azul). La potencia fotovoltaica se va generando a como varía la irradiancia solar y la batería comienza a cargarse a como se genera la potencia fotovoltaica. El mayor registro de potencia consumida por el receptor se da a las 11:25 horas con un valor de 19,16 W. A las 12:40 horas, se genera el pico más alto de potencia fotovoltaica y de potencia de carga de la batería, con un valor de 34,07 W y a las 16:05 horas, se registra el máximo valor de potencia de descarga de la batería el cual fue de -6,77 W.

En la Universidad de Valladolid, el estudiante Juan Ramos elaboró una instalación fotovoltaica aislada en el año 2015, para un colegio ubicado en Amayuelas de Abajo, España. El autor determinó que la potencia del generador fotovoltaico tenía que suplir una demanda de 13.939 W, por la gran cantidad de receptores que se encontraban en el lugar. Por medio del programa PVsyst, pudo calcular el número de paneles necesarios para la instalación, así como el número de baterías; este programa también permitió visualizar por medio de un gráfico los meses que se produce más consumo, el cual dio como resultado que en los meses de diciembre y enero se produce el mayor consumo de los receptores, mientras en los meses de verano el consumo es menor. Esto se debe a que el mayor consumo energético del colegio es causado por la iluminación y precisamente esta es más usada en los meses de invierno [10].

La diferencia entre la instalación fotovoltaica aislada de la UPV y el proyecto hecho en Amayuelas, es básicamente la cantidad de receptores que se encuentran en cada instalación, ya que en el laboratorio de electrotécnica solo se usó una luminaria de 20 W, mientras en el colegio se hizo una estimación de consumo de potencias para 124 receptores, los cuales la mayor parte corresponden a luminarias de diferentes tipos que consumen entre 6 a 100 W cada uno. Sabiendo esto, la cantidad y la capacidad del generador fotovoltaico y de las baterías es mucho mayor para poder generar y almacenar 13.939 W, en este estudio se usaron 46 paneles de silicio monocristalino marca LG modelo LG300N1C-A3 de 63 células, con una potencia pico cada uno de 220 W [34] y también se utilizaron 48 baterías marca Exide, modelo OPzS Solar 2500 Classic [10][35], mientras la instalación fotovoltaica aislada ubicada en la UPV, solo usa dos baterías de menor almacenamiento que las Exide y dos módulos fotovoltaicos con menor generación de potencia.

Gráfica 3. Potencias del generador fotovoltaico, la batería y el receptor.

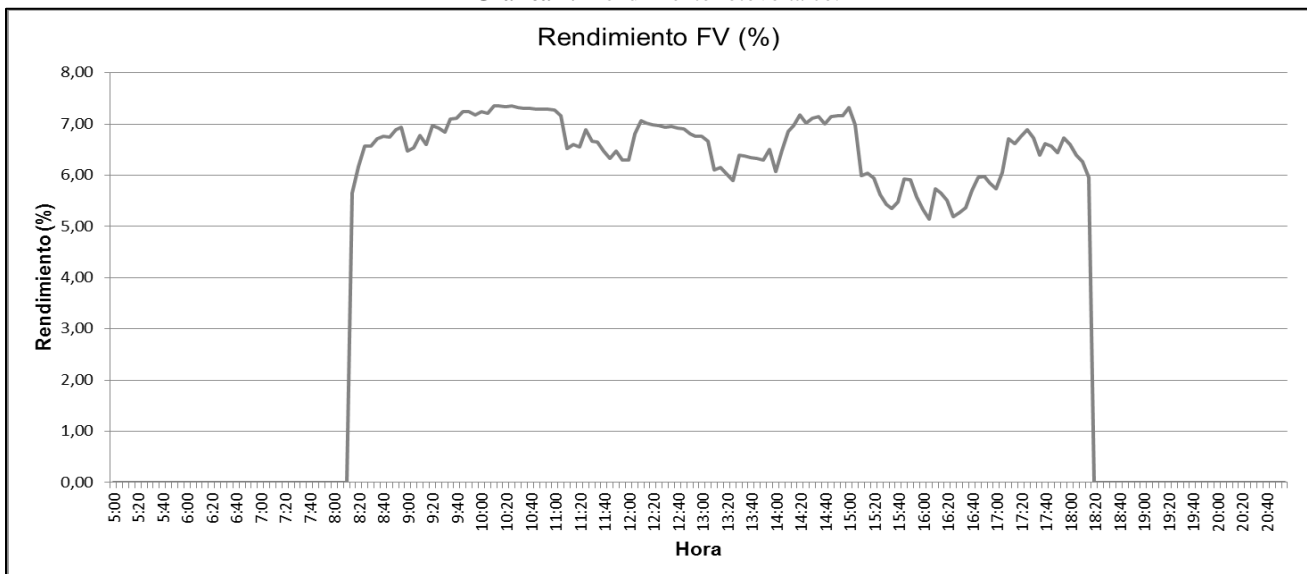
Fuente. Autor.

El rendimiento de los módulos fotovoltaicos es de un 14%, pero como se observa en la Gráfica 4., el máximo rendimiento que se registró fue de 7,36 % a las 10:25 horas, esto se debe principalmente a la degradación que han tenido los módulos y su antigüedad, por lo cual estos módulos pueden llegar a un rendimiento de máximo un 8%.

En los proyectos desarrollados como en la Universidad de Cantabria, se usaron 8 módulos fotovoltaicos de marca Sanyo modelo HIT-H250E01 con un rendimiento de 18,03% [36], para el proyecto de la instalación fotovoltaica aislada en Salvatierra se utilizaron módulos fotovoltaicos de marca Hanwha SolarOne modelo SF 220-30-M210 el cual tiene un rendimiento de 12,7% [37], en el proyecto hecho en el colegio

en Amayuelas de Abajo se usaron módulos de la marca LG, que poseen un rendimiento de 18,3% [34] y en un proyecto hecho por la Universidad Politécnica de Cartagena en 2 viviendas rurales ubicadas en Las Pelailas, utilizaron 30 módulos fotovoltaicos de marca Atersa modelo Ultra A-290P que cuentan con un rendimiento de 14,91% [38].

Todos los módulos usados tanto en el laboratorio de electrotécnica en la UPV, como en los demás instalaciones, son de silicio monocristalino, además todos los paneles usados en los proyectos ya nombrados, utilizaron módulos completamente nuevos, por lo cual sus rendimientos no disminuyeron cuando pusieron en funcionamiento las instalaciones.

Gráfica 4. Rendimiento fotovoltaico.

Fuente. Autor.

En la Tabla 4., muestra los resultados diarios para la instalación fotovoltaica, donde la irradiación solar diaria para ese día fue 3401 Wh/m², esto quiere decir que es la energía solar diaria recibida por los módulos fotovoltaicos, también se tiene el valor de horas de sol pico el cual fue 3,40 W/m². El resultado de la energía de la batería para ese día fue de 102,8 Wh, esto quiere decir que en el día que se hizo el estudio, la batería se cargó y también quiere decir que la energía producida por el generador fotovoltaico la cual fue de 171,5 Wh, pudo suplir las necesidades tanto para cargar la batería como para poder usar el receptor en 4 horas, que fue la cantidad de tiempo que estuvo encendida la luminaria en el día la cual gasto una energía de 68,7 Wh. y el rendimiento fotovoltaico diario fue 6,57 %.

El mismo comportamiento se dio en el proyecto desarrollado en el año 2013 por Juan Peñaranda Bernal, estudiante de la Universidad Politécnica de Cartagena, el cual realizó un balance de energía en una instalación fotovoltaica aislada en la que contaba con un generador fotovoltaico de 30 módulos conectados en paralelo, para dos viviendas ubicadas en Las Padillas. En este estudio se hizo la estimación energética anual, el cual para el mes de febrero, el generador fotovoltaico produjo 106.800 Wh y las dos viviendas consumieron 95.987 Wh, al igual que en la instalación en la UPV, en esta instalación fotovoltaica aislada se pudo abastecer energéticamente a los receptores del lugar [9].

Tabla 4.
Resultados diarios para la instalación fotovoltaica aislada.

Irradiación solar diaria (Wh/m²)	3401
HSP	3,40
Energía fotovoltaica generada (Wh)	171,5
Energía receptores (Wh)	68,7
Energía carga/descarga batería (Wh)	102,8
Energía solar incidente (Wh)	2612
Rendimiento	6,57

Fuente. Autor.

IV. CONCLUSIONES

- En el municipio de Salvatierra (España), se encuentra una instalación fotovoltaica aislada; en la cual se evidenció poca irradiancia solar en los meses de verano e invierno, se concluye que una instalación solar no sería una buena alternativa para suplir altas demandas energéticas del lugar, para ello es necesario hacer uso de otras tecnologías que aumenten la producción de energía para poder abastecer esa demanda. En Valencia, donde la irradiancia solar en épocas de verano e invierno son relativamente altas, pueden ser idóneos para hacer instalaciones fotovoltaicas aisladas, y realizando un buen balance de

energía, podría suplir grandes demandas de energía en un lugar.

- A pesar que el generador fotovoltaico de la UPV, pudo suplir las necesidades energéticas del receptor, se recomienda reemplazar los módulos fotovoltaicos por un módulo de marca Hanwha SolarOne modelo SF 220-30-M210, ya que los módulos usados tienen como potencia nominal pico de 90 W, pero como se observó en la Gráfica 3., la máxima potencia que produjo el generador fotovoltaico fue de 34,07 W, y esto se debe al bajo rendimiento que poseen estos módulos, en cambio con un solo módulo de Hanwha SolarOne con un rendimiento de 12,7% y una potencia nominal de 210 Wp [37], pudo haber generado aproximadamente 62,47 W, (sabiendo que la potencia solar incidente en ese tiempo fue de 491,90 W). Con 62,47 W pudo haber alimentado dos luminarias más, de 20 W cada una.
- Si se hace el cambio de los módulos presentes en el laboratorio de electrotécnica, no se recomienda hacerlos con módulos fotovoltaicos de marca LG modelo LG300N1C-A3 o marca Sanyo modelo HIT-H250E01, ya que estos paneles tienen altos rendimientos, y en el laboratorio no sería necesario que se generaran tan altas potencias para un solo receptor.
- Para hacer un mejor estudio de balance de energía, se recomienda hacer una estimación anual del consumo de los receptores, como el que se hizo en la Universidad Politécnica de Cartagena, ya que para un estudio para instalar una estación fotovoltaica aislada, se deben tener en cuenta los meses que se genera menos energía y en qué meses se consume más energía por los receptores, por lo cual esto determinaría cuántos módulos fotovoltaicos son los necesarios para poder abastecer esa demanda de energía y también para poder determinar la cantidad de baterías que se pueden usar en el caso de que el generador fotovoltaico deje de producir energía y las baterías tengan la capacidad de suplir las necesidades energéticas del lugar.

REFERENCIAS

- [1] R. L. Evans, *Fueling Our Future*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] B. Viswanathan, "Chapter 7 – Solar Energy: Fundamentals," in *Energy Sources*, 2016, pp. 139–147.
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*, vol. 53. Madrid, 2008.
- [4] G. Tiwari, *Solar Energy Technology Advances*, Nova. Hauppauge, 2005.
- [5] Greenpeace, "Cómo disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica," p. 53, 2005.
- [6] H. Borhanazad, S. Mekhilef, R. Saidur, and G.

- Boroumandjazi, "Potential application of renewable energy for rural electrification in Malaysia," *Renew. Energy*, vol. 59, pp. 210–219, 2013.
- [7] D. Santamaria Cabodevilla, "Instalación Eléctrica Mediante Energías Renovables en una Quesería De Do Idiazabal Aislada de Red en Salvatierra," Universidad Pública de Navarra, 2011.
- [8] A. Diaz Marcano, "Diseño de una Instalación solar fotovoltaica aislada para una huerta ecológica," Universidad de Cantabria, 2012.
- [9] J. Peñaranda Bernal, "Proyecto instalación solar fotovoltaica aislada," Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [10] J. F. Ramos Rodríguez, "Instalación solar fotovoltaica aislada para colegio infantil," Universidad de Valladolid, 2015.
- [11] S. Seguí Chilet and F. J. Gimeno Sales, "Casos Prácticos de Sistemas Fotovoltaicos Aislados." Universitat Politècnica de València, Valencia, pp. 1–21, 2010.
- [12] J. Fernández Ferichola, "Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil." Universidad Carlos III, Madrid, p. 146.
- [13] S. Bremner, "Photovoltaic Modules." University of Delaware, Newark, p. 46, 2009.
- [14] R. White, *Solar Cells From Basics to Advanced Systems*, McGraw-Hill. California: University of California, 1983.
- [15] D. King, "Photovoltaic Module and Array Performance Characterization Methods for All System Operating Conditions," *Sandia Natl. Lab.*, no. 301, pp. 347–368, 1997.
- [16] E. García Marí, "Instalaciones solares fotovoltaicas aisladas de la red de suministro." Universitat Politècnica de València, Valencia.
- [17] Atersa, "Manual de Operación y de Instalación LEO 20." Madrid, p. 62, 2015.
- [18] Y. E. Abu Eldahab, N. H. Saad, and A. Zekry, "Enhancing the design of battery charging controllers for photovoltaic systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 646–655, 2016.
- [19] S. A. Chowdhury and M. Mourshed, "Off-grid electrification with solar home systems: An appraisal of the quality of components," *Renew. Energy*, vol. 97, pp. 585–598, 2016.
- [20] K. Narasimman and I. Selvarasan, "Design construction and analysis of solar ridge concentrator photovoltaic (PV) system to improve battery charging performance," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 127, pp. 187–192, 2016.
- [21] Atersa, "Regulador LEO 20." [Online]. Available: <http://www.atersa.es/datosproductos.asp?param=52>.
- [22] GNB Industrial Power, "Baterías industriales, TUDOR EAN," *Network Power*. [Online]. Available: www.gnb.com.
- [23] D. G. Vutetakis, "Batteries," in *Douglas Battery Co.*, Winston-Salem: Douglas Battery, 2001, pp. 217–234.
- [24] C. D. Rahn and C.-Y. Wang, *Battery Systems Engineering*. Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 2013.
- [25] G. de Oliveira e Silva and P. Hendrick, "Lead–acid batteries coupled with photovoltaics for increased electricity self-sufficiency in households," *Appl. Energy*, vol. 178, pp. 856–867, 2016.
- [26] M. H. Rashid, D. (Zhiwei) Gao, and K. Sun, "16 – DC–AC inverters," in *Electric Renewable Energy Systems*, 2016, pp. 354–381.
- [27] Atersa, "Instrucciones de Funcionamiento TAURO BC." Madrid, p. 15.
- [28] M. H. Rashid, M. Osman, I. Z. Abidin, T. A. R. T. Abdullah, and M. Marsadek, "17 – Electric power transmission," in *Electric Renewable Energy Systems*, 2016, pp. 382–402.
- [29] K. M. Tsang and W. L. Chan, "27-Level DC–AC inverter with single energy source," *Energy Convers. Manag.*, vol. 53, no. 1, pp. 99–107, 2012.
- [30] M. H. Rashid and A. Haque, "3 – Solar energy," in *Electric Renewable Energy Systems*, 2016, pp. 40–59.
- [31] Educación Para La Vida, "Receptores eléctricos," *Científicas*, 2012. [Online]. Available: <http://www.si-educa.net/intermedio/ficha78.html>. [Accessed: 17-Oct-2016].
- [32] J. Lorente, "Curso de fotoprotección." Universidad de Barcelona, Barcelona, p. 133.
- [33] Earthlearningidea, "Las estaciones: el efecto de la inclinación de la Tierra." [Online]. Available: <http://www.earthlearningidea.com/>. [Accessed: 30-Jan-2017].
- [34] LG, "LG Technology LG300N1C-A3 / LG295N1C-A3 / LG290N1C-A3 / LG285N1C-A3." pp. 1–2, 2013.
- [35] Exide Technologies, "Baterías EXIDE modelos opzs classic solar." [Online]. Available: <http://www.exide.com/bo/es/>. [Accessed: 30-Jan-2017].
- [36] Sanyo, "HIT photovoltaic module technology reflection glass Electrical and Mechanical Characteristics." Munich, pp. 0–1.
- [37] Hanwha, "Hanwha Solar Specification." [Online]. Available: <http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Hanwha-SolarOne/1010/SF220-30-P235L/specification-data-sheet.html>. [Accessed: 30-Jan-2017].
- [38] Atersa, "Atersa Ultra A-290P." Madrid, pp. 1–2, 2016.