

# **Análisis de la implementación de un sistema de generación fotovoltaica de 2kw/día para el suministro de energía eléctrica sustentable en la parroquia de Conocoto, Quito.**



*Analysis of the implementation of a 2kw / day photovoltaic generation system for the supply of sustainable electricity in the parish of Conocoto, Quito.*

Jaime Antamba Guasgua.<sup>1</sup>, Denny Guanuche Larco.<sup>2</sup> & José Edgar Cajas.<sup>3</sup>

Recibido: 22-05-2019 / Revisado: 08-06-2019 / Aceptado: 09-07-2019 / Publicado: 06-09-2019

## **Abstract**

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.3.767>

The research was based on the study of the generation of electric energy from solar radiation and its implementation, for a sustainable room in Conocoto. The objective is to analyze the behavior of the room with a photovoltaic system assisted by a transfer system, capable of allowing the operation of computer equipment and lighting, with the main supply of photovoltaic energy. For the design of the photovoltaic system, the periodic and historical record of solar radiation of Conocoto was used as the basis, and the estimation of the typical consumption load, for the days of lack of solar radiation an automatic transfer system was designed. The results obtained in the established test period, demonstrates the sustainability of the photovoltaic generation system, with the following electrical parameters. Voltage supplied by the photovoltaic system 113 [V], apparent power supplied 588 [W], actual power generated 577 [W]. Finally, the prototype of photovoltaic power generation implemented for a room type, works as a small power plant, supplying all the energy it produces, being considered an ecological energy.

**Keywords:** Energy from unconventional sources, solar energy, Equator, sustainable habitat.

## **Resumen**

La investigación se basó en el estudio de la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar y su implementación, para una habitación sustentable en la parroquia de Conocoto. El objetivo es analizar el

<sup>1</sup> Universidad Internacional del Ecuador, jaantambagu@uide.edu.ec

<sup>2</sup> Universidad Internacional del Ecuador. deguanuchela@uide.edu.ec

<sup>3</sup> Universidad Internacional del Ecuador. jcajas@uide.edu.

comportamiento de la habitación con un sistema fotovoltaico auxiliado por un sistema de transferencia, capaz de permitir el funcionamiento de equipos informáticos e iluminación, teniendo como suministro principal la energía fotovoltaica. Para el diseño del sistema fotovoltaico se utilizó como base el registro periódico e histórico de radiación solar de Conocoto, y la estimación de la carga de consumo típico, para los días de carencia de radiación solar se diseñó un sistema de transferencia automática. Los resultados obtenidos en el periodo de pruebas establecido, demuestra la sustentabilidad del sistema de generación fotovoltaica, con los siguientes parámetros eléctricos. Voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico 113 [V], potencia aparente suministrada 588[W], potencia real generada 577 [W]. El prototipo de generación eléctrica fotovoltaica implementado para habitación tipo, funciona como una central eléctrica pequeña, suministrando toda la energía que produce, considerándose una energía ecológica

**Palabras clave:** Energía de fuentes no convencionales, energía solar, Ecuador, hábitat sustentable.

### Introducción

Hoy en día, existen varias opciones de energía alternativa que pueden remplazar a las energías convencionales o fósiles, existiendo suficiente información para la explotación de energías renovables, como una alternativa para mejorar la generación eléctrica de consumo residencial, sobre todo en zonas rurales del Ecuador. En cada país, el contexto social, político y económico son cruciales para ayudar a las partes interesadas a evaluar las políticas que apoyen a la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica residencial (Mohandes, Sanfilippo, & Al Fakhri, 2018).

La producción de energía a través de la utilización de recursos renovables en el Ecuador, es viable dado su buen nivel de radiación solar (Solargis, 2018), facilitándose la aplicación de energía solar como fuente de energía en residencias urbanas y rurales. En este caso, Conocoto, se ubica a 11 km del centro de la capital del Ecuador, 25 km al sur de la línea equinoccial, en el costado occidental del Valle de los Chillos, sobre la ladera oriental de la Loma de Puengasi, en un área de 51,46 Km<sup>2</sup>, con zonas urbanas y rurales de difícil acceso.

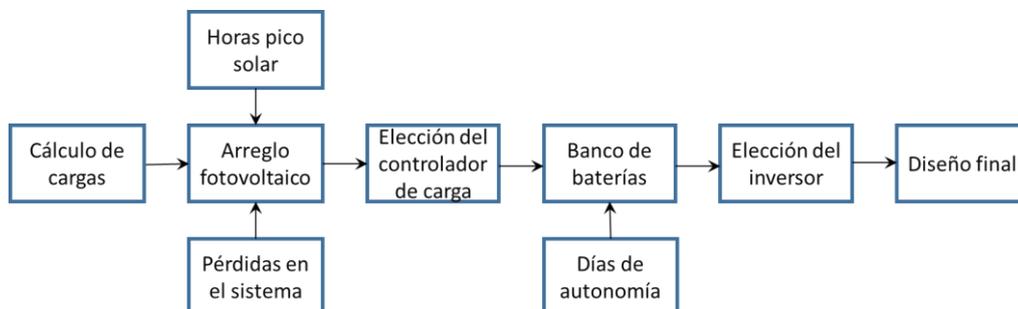
Este trabajo investigativo, analiza y diseña un sistema fotovoltaico con capacidad de 2 kW/día para la producción de energía eléctrica, su implementación y las condiciones operativas.

Un sistema de generación fotovoltaica es una pequeña planta generadora de energía eléctrica cuya misión es garantizar un abastecimiento independiente de la red pública, para nuestro caso, la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). La energía se produce sobre el terreno para abastecer a los consumidores de forma independiente.

Las ventajas que presentan los sistemas fotovoltaicos es su instalación fácil y rápida, la producción eléctrica fotovoltaica es estable, es un tipo de generación que se produce sin piezas móviles por lo que no hay desgaste de funcionamiento debido a sistemas en movimiento, ni combustión, razón por la cual no sufren carga térmica.

### Metodología

Esta investigación es un estudio descriptivo y experimental, para establecer las condiciones de funcionamiento de un sistema fotovoltaico prototipo para zonas rurales. El proceso de investigación se realiza siguiendo el protocolo, mostrado en la figura 1.:



**Figura 1.** Proceso de diseño de sistema de generación fotovoltaica.

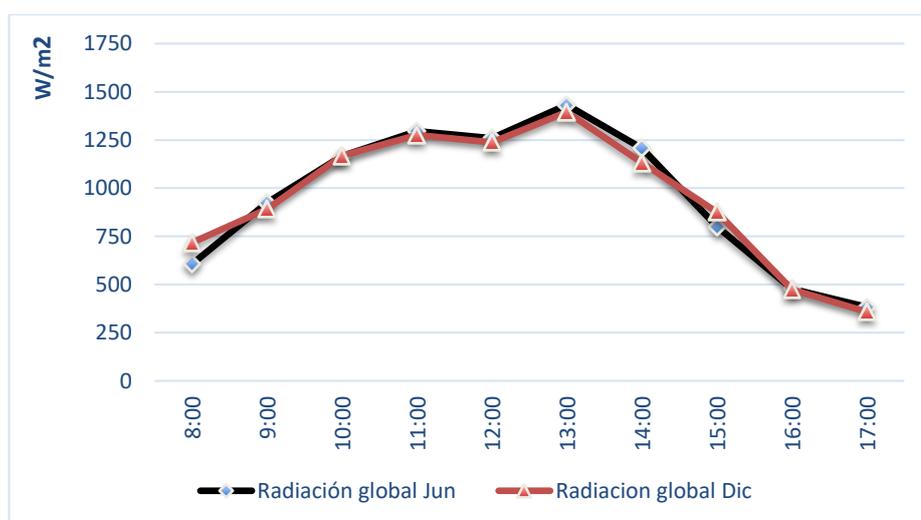
Las etapas para el proceso son los siguientes:

- Caracterización del sitio para el sistema fotovoltaico. La caracterización se efectúa con el registro en sitio de la radiación solar global utilizando el equipo, regulado por la ISO 9060 y el histórico registrado en la base de datos Solaris.
- Cálculo de la demanda energética.
- Modelización y determinación de la capacidad del módulo fotovoltaico, se utiliza el System Advisor Model (SAM), programa de libre acceso.
- Dimensionamiento de los componentes del generador fotovoltaico
- Análisis de las condiciones operativas del sistema fotovoltaico, utilizando el analizador 3Q.

## Resultados

### Registro de radiación solar local y nacional

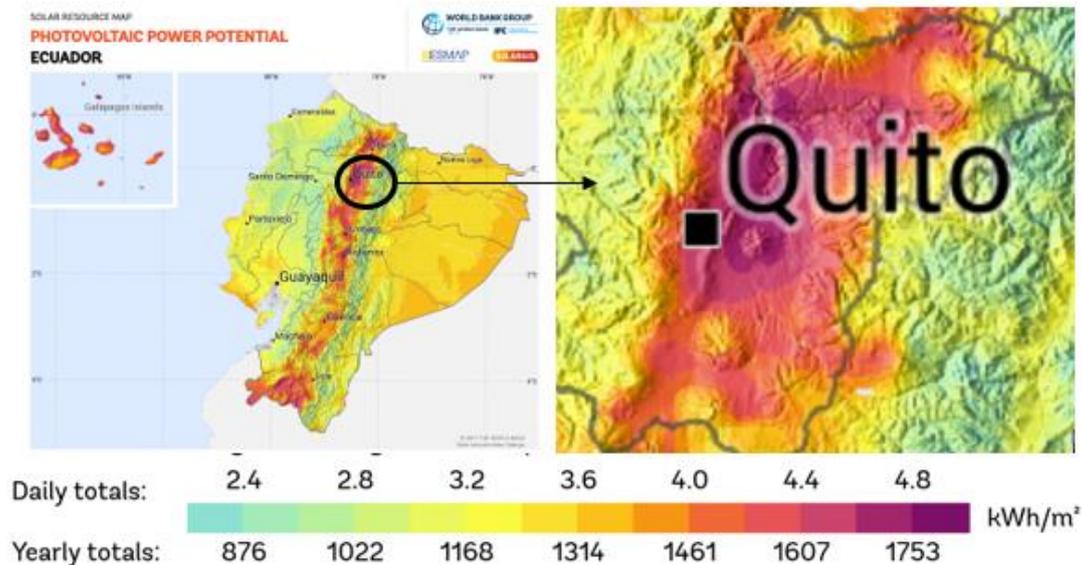
Para la recolección de la información local, se utilizó trabajo de campo, cuyos resultados se muestran en la figura 2, y la información nacional histórica se muestra en la figura 3.



**Figura 2.** Radiación global. Zona Conocoto

De la figura 2, se puede observar que la variación de la distancia Tierra – Sol da lugar a cambios en la radiación solar extraterrestre incidente. Esta variación modifica en el orden de  $\pm 3\%$  la radiación solar recibida en el equipo de medición.

En la figura 3, se muestra el potencial de generación fotovoltaica, según Solargis, para Ecuador, en la zona de influencia de Conocoto, se observa un alto potencial de 4 a 4,4 kWh/m<sup>2</sup> diarios.



**Figura 3.** Potencial de generación fotovoltaica. Histórico 1999-2015

**Fuente:** Solargis, 2017

#### *Cálculo de la demanda energética.*

El diseño del sistema fotovoltaico y sus respectivos componentes dependerán, de la tarea que realice el suministro de potencia y de las características de las cargas.

Por tal razón el primer paso es determinar la demanda de energía de los usuarios, especificando el voltaje de operación del sistema, el dimensionamiento de este sistema se fundamenta en el balance de energía, dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida} + \text{Pérdidas propias del sistema FV}$$

Las cargas eléctricas presentes, para la capacidad del sistema fotovoltaico son:

- Equipo de computo
- Iluminación led (circuito que consume 14 vatios a 110 V)
- Toma corriente (Circuito de 1 toma en 110V)
- Televisión LED (250 vatios)

En la tabla1, se muestra los datos de los consumidores para la habitación sustentable.

**Tabla 1.** Consumo de cargas

Componente	Unidad	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Uso (h)	Energía (Wh/día)	Carga (Ah/día)
Luminaria LED	4	14	110	0,13	4	224	2,03
Computador	1	120	110	1,81	2	240	3,62
Televisión	1	250	110	2,27	4	1000	9,08
Total		426				1464	14,73

### Modelización del sistema

El generador solar debe producir, como mínimo, tanta energía como precisan las cargas de consumo conectadas y el propio sistema, la tensión de trabajo del generador fotovoltaico debe ser suficientemente alta como para permitir la carga de la batería. El balance energético se realizará considerando un día de consumo en las condiciones más desfavorables, para lo cual se utilizará el método de carga diaria (Ah/día), en vez de consumo de energía dado en (Wh/día) y a partir de este valor, después de ser afectado por los mismos índices de eficiencia se determina el valor de la potencia pico máxima de los módulos a emplear.

Dependiendo de la demanda de la carga, el criterio de selección del nivel de voltaje del generador fotovoltaico se establece según la tabla 2.

**Tabla 1.** Criterio de selección del voltaje del sistema

Potencia de demanda del consumo (W)	Tensión de CC de trabajo del sistema (V)
< 1500	12
1500 – 5000	24 o 48
> 5000	120 o 300

**Fuente:** Falk, A., 2006

### Pérdidas del sistema:

Las eficiencias de los componentes del sistema fotovoltaico, según los datos obtenidos, para el conjunto controlador de carga, batería y cables tienen una eficiencia del 85% y el inversor a elegir tiene una eficiencia del 90%.

$$E_{C-I} = \frac{E}{\eta_{inversor}} = \frac{1464}{0,9} = 1626,7 \text{ Wh}$$

$$E_{PV-C} = \frac{E_{C-I}}{\eta_{C,B,C}} = \frac{1626,7}{0,85} = 1914 \text{ Wh}$$

Donde:

E – Demanda energética (Wh/día).

$E_{C-I}$  - Demanda energética tramo inversor – controlador de carga.

$E_{PV-C}$  – Demanda energética tramo arreglo fotovoltaico – controlador de carga.

El conjunto serie-paralelo del arreglo fotovoltaico debe garantizar un equivalente de 1914 Wh/día mínimo.

Para la condición de número de horas de pico solar, se toman los datos con peor radiación, siendo las 4,8 horas/día. Este parámetro corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de superficie de captación obtiene 1000 W de energía constante.

### Arreglo fotovoltaico:

Para el diseño se elige el Módulo fotovoltaico Integrated Solar Technology Modelo STS-100 M – B4U, con las siguientes características:

- Potencia máxima: 99,978 Wp
- Corriente de cortocircuito: 8,7 A
- Corriente en el punto de máxima potencia: 8 A
- Tensión de circuito abierto Voc: 15,3 V
- Tensión en el punto de máxima potencia: 12,6 V
- $\Delta U$  – Coeficiente de temperatura (voltaje): - 0,046 V/°C

$$\text{Min } W_p = \frac{E_{PV-C}}{NHSP} = \frac{1914}{4,8} = 398,75 \text{ Wh}$$

$$\text{Número de paneles: } N_{PV} = \frac{398,8}{100} \sim 4 \text{ Paneles}$$

$$\text{Corriente máxima: } I_{max} = I_{CC} * NPP = 8,7 * 1 = 8,7 \text{ A}$$

$$\text{Tensión máxima: } V_{max} = V_{oc} * NPS = 15,3 * 4 = 61,2 \text{ V}$$

La condición de sostenible, se garantiza con cuatro paneles solares en un circuito mixto. Para el control de carga, del sistema de diseño, establecido, se eligió el MPPT charge controller: Max voltaje 65 V, max corriente 10A, Operation voltage 12V.

### Banco de Baterías:

Para garantizar el funcionamiento del sistema de generación fotovoltaico, se establece el banco de baterías, con las siguientes especificaciones:

- Profundidad de descarga: 60%
- Voltaje baterías: 12V
- Capacidad baterías: 100 Ah.

El sistema fotovoltaico, se verifica con el siguiente procedimiento, para las cargas de diseño solicitadas.

$$\text{Min } C_{bat} = \frac{E_{C-I}}{PdD * Op_V} * \text{Días autonomía} = 532 \text{ Ah}$$

$$N_{Bat-Serie} = \frac{Op_V}{V_{bat}} = \frac{12}{12} = 1$$

$$N_{Bat-Paralelo} = \frac{\text{Min } C_{bat}}{C_{bat}} = \frac{532}{100} \sim 6 \text{ baterías.}$$

Para asegurar el funcionamiento del sistema de generación, se necesita de un banco de 6 baterías.

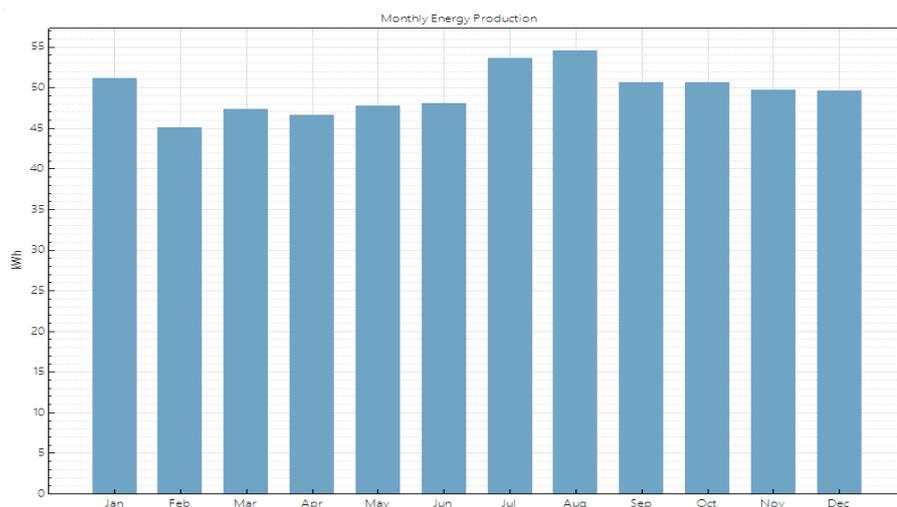
Para la operación del sistema, se requiere un inversor, con las siguientes características:

- Eficiencia 90%
- Voltaje de operación 12V

La capacidad de potencia para el sistema con el inversor, se determina con la siguiente relación:

$$Min_{Power\ Rating} = \frac{Carga\ AC}{\eta_{Inversor}} = 474\ W$$

Con la información obtenida, se ingresan los datos en el software de open source System Advisor Model (SAM) desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) de los Estados Unidos, lográndose los períodos de máxima producción es el mes de agosto, como se muestra en la figura 4



**Figura 4.** Condiciones de suministro energético del sistema fotovoltaico diseñado

### Pruebas operativas

- **Voltaje generado y consumido**

En la Figura 5 se observa la generación y consumo de voltaje, entregado a la habitación de prueba. La curva de color azul indica la generación de voltaje fotovoltaico, la curva de color rojo indica el voltaje suministrado por la red de la EEQ, y la curva de color lila indica el voltaje consumido por las cargas.

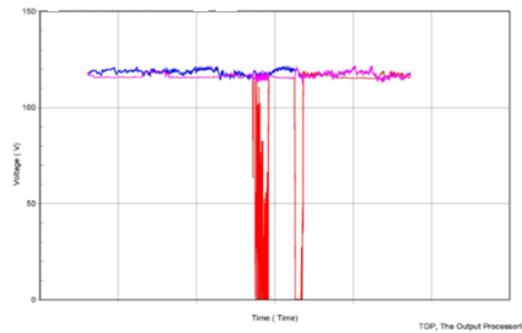


Figura 5. Voltajes del sistema fotovoltaico. a) Equipo de medición

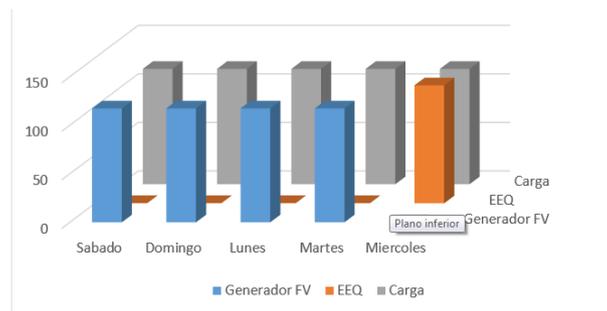


Figura 6. Voltajes del sistema fotovoltaico. b) Datos tabulados

En la Figura 5.b, se observa la tabulación de voltaje entregado por el generador fotovoltaico, la red eléctrica local y la consumida por la carga, además, se muestra el evento de la transferencia entre la generación fotovoltaica y la red de la empresa eléctrica Quito.

• **Potencia generada y consumida**

En la Figura 7, se observa la potencia generada y consumida por el sistema, el primer bloque a la izquierda representa la potencia generada por el generador fotovoltaico, el segundo bloque representa la potencia entregada por la EEQ y el tercer bloque la potencia consumida por la carga.

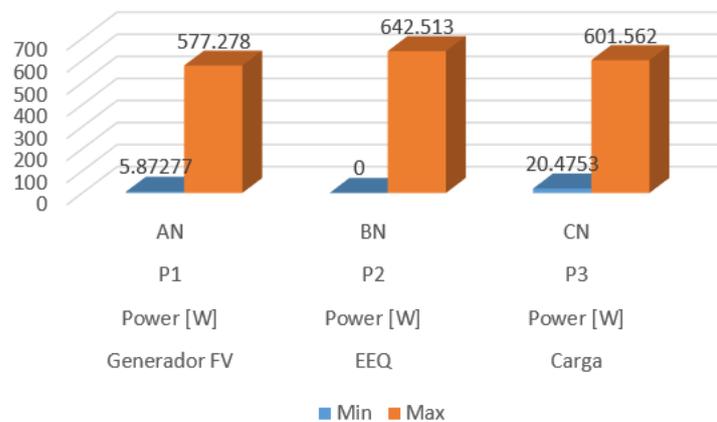
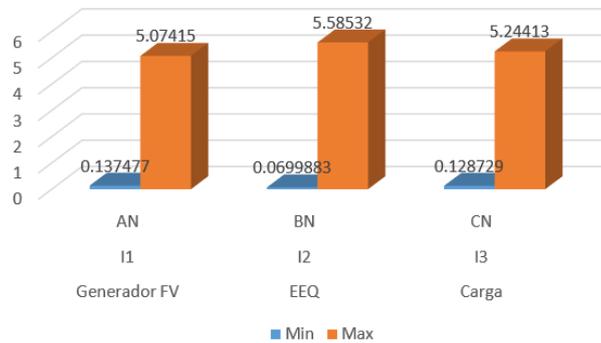


Figura 7 Potencia generada y consumida por el sistema.

• **Intensidad de corriente**

En la Figura 8, se observa las corrientes entregadas por el sistema fotovoltaico, EEQ y el consumido por las cargas.



**Figura. 8** Intensidad de corriente del sistema

Dados los resultados de medición en los periodos de prueba de la habitación sustentable, se garantiza la provisión de energía eléctrica, con el sistema de generación fotovoltaica, en los parámetros de carga de diseño.

**Conclusiones y recomendaciones**

El sistema fotovoltaico genera un voltaje suministrado por el sistema fotovoltaico 113 [V], potencia aparente suministrada 588[W], potencia real generada 577 [W], capaz de satisfacer la demanda de diseño propuesto.

Las condiciones de generación fotovoltaica de Quito y zonas de influencia son favorables para el suministro de energía eléctrica, pero es necesario, considerar los costos de implementación.

Para incrementar la autonomía de los sistemas de generación fotovoltaica, se debe implementar dos o más fuentes de energía renovables, para garantizar un suministro de energía de forma manera continua con mayor cobertura para el hábitat.

**Referencias bibliográficas**

Calderón, R., Arredondo, A., Cadenas, E., & Mayagoitia, F. (2010). Vivienda net-zero en Mexicali, B.C, un camino hacia las políticas energéticas en desarrollos habitacionales sustentables. *6to. Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual, Mexicali, 5, 6 y 7 octubre 2010*. Mexicali. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12828/06\\_Calderon\\_Arredondo\\_Cardenas\\_Mayagoitia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/12828/06_Calderon_Arredondo_Cardenas_Mayagoitia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Jager, F. (1981). En *Aspects of climate relevant to solar system and house designs*. USA: Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-027573-4.50008-9

Mohandes, N., Sanfilippo, A., & Al Fakhri, N. (2018). Modeling residential adoption of solar energy in the Arabian Gulf. *Renewable Energy*, 381-389.

Solargis. (12 de 05 de 2018). Obtenido de <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>

- Vasconcelos, P., & Aguirre, M. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>.
- Wójcicka-Migasiuk, D., & Hochowski, A. (2011). Social and technical aspects in solar system design . *Solar Thermal Applications*, 3830-3835.

**PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.**

Antamba Guasgua, J., Guanuche Larco, D., & Edgar Cajas., J. (2019). Análisis de la implementación de un sistema de generación fotovoltaica de 2kw/día para el suministro de energía eléctrica sustentable en la parroquia de Conocoto, Quito. *Ciencia Digital*, 3(3.3), 19-29. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.3.767>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

**El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la Revista Ciencia Digital.**

