

## Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador

Germán Alfredo Mora Trujillo<sup>1</sup>

**Fecha de recepción:**  
9 de octubre, 2015

**Fecha de aprobación:**  
30 de octubre, 2015

### Resumen

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país rico en energías renovables, por ello el gobierno impulsa el cambio de matriz energética nacional.

Actualmente el Ecuador dispone de un atlas de radiación solar elaborado por el CONELEC, en donde se presentan valores promedios de radiación solar en Wh/m<sup>2</sup>/día. El atlas de radiación solar, es importante para determinar extensas zonas geográficas con alto potencial. Para el diseño de una instalación solar fotovoltaica, es necesario contar con registros de radiación solar confiables, por lo que, los datos de intensidad fueron analizados los registrados en la estación meteorológica instalada en el campus universitario. El proyecto consiste en la instalación de veinte paneles solares fotovoltaicos monocristalinos de 190 Wp y 200 Wp, además un inversor de corriente de 3000 W, equipado con un interface de comunicación que precisa el suministro de un elemento electrónico de registro y monitoreo de la producción del inversor, como producto de la generación en los paneles solares. El sistema estará conectado a la red interna de universidad que luego abastecerá a la iluminación de la cancha con luminarias tipo LED. Igualmente se implementará un sistema de control de la producción diaria de energía (Kw/h) y el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, con el fin de hacer las comparaciones del uso de energía renovable frente a la convencional, lo que permitirá estimar el beneficio económico y ambiental.

Esta investigación, permitirá registrar información precisa para diseñar instalaciones solares fotovoltaicas teniendo en cuenta la incidencia de la radiación solar en una placa fotovoltaica por variación de ángulo de inclinación frente al sol y determinar el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**Palabras claves:** Eficiencia, radiación, horas pico solar, potencia.

### Abstract

Ecuador's geographical location is a country rich in renewable energy, so the government is promoting the shift of national energy matrix. Currently, Ecuador has a Solar Radiation Atlas prepared by the CONELEC, where average values of solar radiation in Wh/m<sup>2</sup>/day are given. It is important to determine large geographic areas with high potential. However, for design of a photovoltaic system, it is necessary to have reliable records solar radiation, hence, the solar intensity data were analysed taking into account the weather station installed on university campus.

This paper shows a project which involves the installation of 20 monocrystalline photovoltaic panels of 190 and 200 Wp, an inverter of 3000 W with a communication interface in order to provide with precision the energy production of the PV Array. The system is connected to the internal network of the university which serves an electric load of a court with LED lamps. Moreover, a system of control of the daily energy production and saving CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere are implemented. With this information will make comparisons of the use of renewable energy in contrast with the conventional, in order to estimate the economic and environmental benefits.

This research will allow accurate record information in order to design photovoltaic system. It is noted that the effect of solar radiation on a photovoltaic panel is varying tilt angle facing the sun and determine the savings of CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere are considered.

**Keywords:** Efficiency, radiation, peaking sun, power.

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte, Ingeniero Responsable del Área de Energías Renovables, Ibarra, Ecuador, [gamora@utn.edu.ec](mailto:gamora@utn.edu.ec)

## Introducción

El Ecuador, un país ubicado en la mitad del mundo y por el cual atraviesa la Cordillera de los Andes, lo transforma en un país rico en energías renovables: solar, eólica, hídrica, geotérmica, entre otras. A pesar de poseer estas grandes riquezas naturales el Ecuador no ha experimentado cambios que afecten a los niveles de vida tanto económico como social.

El espectacular desarrollo tecnológico, la innovación y el nuevo orden económico que nos distancia con el mundo globalizado, no ha llegado a generar variaciones que afecte directamente al desarrollo del país. Paradójicamente el desarrollo vertiginoso de los países industrializados ha sido posible gracias al consumo intensivo de combustibles fósiles, lo que conlleva a una contaminación progresiva del medio ambiente, alteraciones en la capa de ozono, la lluvia ácida, la desertización, acumulación de desechos, contaminación de las fuentes de agua, deterioro del recurso suelo, resultados que ocasionan perjuicios a la propia especie humana.

Dentro de esta gran corriente de cambios que experimenta el siglo XXI, merece destacar la importancia de desarrollar las energías renovables, como una solución efectiva para disminuir las emanaciones de CO<sub>2</sub>, gas que se acumula en la tropósfera generando el efecto invernadero y que incide directamente en el cambio climático. En este marco, el Estado Ecuatoriano en la Nueva Constitución de 2008, contempla la explotación de los recursos naturales, con influencia ambiental y participación social. De la misma manera el Estado podrá delegar a la iniciativa privada el ejercicio de estas actividades (arts. 313 y 316 de la constitución). Establece además el art. 15 “La Promoción del Estado al Desarrollo de

Tecnologías Limpias”. El art. 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo y las universidades.

En este contexto, la Universidad Técnica del Norte, dando respuesta efectiva a la creciente demanda de electricidad a partir de energías no contaminantes, presenta el mencionado proyecto.

## Objetivo

Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador.

### Objetivos específicos:

1. Clasificar la radiación solar, con información de la estación Meteorológica de la UTN, así como del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y de fuentes externas satelitales.
2. Determinar el rendimiento de la radiación solar en una placa fotovoltaica por variación de ángulo de inclinación frente al sol.
3. Análisis de eficiencia y ahorro energético con implementación de módulos solares fotovoltaicos.

### Línea base del proyecto

Las energías renovables se distinguen como fuentes que tendrán una participación creciente en la satisfacción de la demanda energética futura, sustituyendo a las energías fósiles no renovables. Están siendo consideradas con gran interés, buscando un uso cada vez más eficaz y tratando de hacerlas competitivas con los sistemas

convencionales de producción de energía. Las energías renovables desempeñan un papel esencial en la prestación de servicios energéticos de manera sostenible y, en particular, en la mitigación del cambio climático.

En consecuencia el crecimiento de uso de las energías renovables ha ido creciendo paulatinamente a nivel mundial. Cabe destacar que el sol es la fuente de todas la energía terrestre, de ella se obtiene la energía solar fotovoltaica (MEER, 2008). En este sentido y de acuerdo a la European Photovoltaic Industry Association EPIA, a finales de 2009 el mundo contaba con 23 GWp de potencia fotovoltaica instalada; en el 2010 ésta mostró un crecimiento sin precedentes, acumulando 40 GWp, de los cuales el 70% se localiza en países europeos. Actualmente, a nivel mundial se tiene alrededor de 2 millones de instalaciones fotovoltaicas que producen energía (EPIA, 2011).

Los principales nuevos focos de desarrollo son: La Región de Sunbelt, África, Oriente Medio y América del Sur (EPIA, 2011).

Ecuador, no es la excepción en la carrera de lograr la sustentabilidad a partir del aprovechamiento de recursos renovables para sustituir parcialmente a los derivados de los hidrocarburos, cuyo horizonte de reservas es relativamente corto a nivel nacional. Según estudios publicados por la Comisión para la Investigación Energética (CIE), la ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto se debe, a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a su superficie durante todo el año, situación que no ocurre en otros sitios del planeta, en donde el ángulo de incidencia de la luz solar, varía acorde a las estaciones del año.

En consecuencia, la Nueva Constitución de 2008, el Estado Ecuatoriano contempla la explotación de los Recursos Naturales, con influencia ambiental y participación social. El Artículo 15 establece la Promoción al Desarrollo de Tecnologías Limpias por parte del Estado (Asamblea Constituyente, 2008).

También es necesario destacar que el Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno Nacional, establece algunos objetivos y políticas sobre el desarrollo de las energías renovables, como garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable. También establece diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de las energías renovables.

Adicionalmente, en el año 2008 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) elaboró el documento *Políticas Energéticas del Ecuador 2008-2020*, donde se destacan políticas de Estado para el desarrollo sustentable del sector energético, relacionadas con las energías renovables (MEER, 2008).

Por consiguiente, la implementación de políticas que promuevan el desarrollo de la eficiencia energética aportará medidas para el uso racional de la electricidad y la energía en el país (CONELEC y CIE, 2008).

Dentro de este contexto, el recurso solar constituye un potencial importante a ser explotado en el país, más aún cuando el avance de la tecnología solar fotovoltaica ha realizado un gran salto en el ámbito internacional (Rosero y Chiliquinga, 2011).

Por su parte el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en el 2008 presentó el *Atlas Solar del Ecuador*, con fines de Generación Eléctrica, el cual ha sido elaborado por la Corporación para la

Investigación Energética. Esto con el fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética. Sin embargo, su resolución es muy limitada ya que fue obtenida a través de información satelital de la década de los 80, por lo que no tiene suficiente calidad para ser utilizada en trabajos específicos actuales (CONELEC, 2012).

También existen varios proyectos de electrificación rural en comunidades aisladas, a través de sistemas fotovoltaicos, que si bien no repercuten a nivel global en la matriz energética nacional por su tamaño, son muy importantes para la población beneficiaria, dado que permiten el acceso a fuentes modernas de energía.

En lo referente a la energía solar fotovoltaica, el Gobierno ha venido apoyando la implementación de proyectos orientados a zonas aisladas como: el “Estudio de impacto ambiental en la planta solar fotovoltaica Imbabura Pimán 25 MW y Subestación de seccionamiento de la línea de Subtransmisión a 69 KV de Emelnorte”; el “Sistema Solar Fotovoltaico Conectado a Red en Sumaypamba”, entre otros. Así, entre el 2011 y el 2012, el CONELEC aprobó la instalación y operación de 17 proyectos de generación eléctrica con paneles solares en Imbabura, Pichincha, Manabí, Santa Elena, entre otras provincias, por un total de 272 megavatios (MW) de potencia, que prevé que estos entren a operar hasta el 2015 (CONELEC, 2012).

La Universidad Técnica del Norte, ha realizado estudios preliminares de geomorfología, cambios de temperatura, radiación solar, mediciones de velocidad y dirección del viento, por lo que ha determinado la existencia de un potencial eólico y solar en varios sectores de las provincias de Imbabura, Carchi y

Esmeraldas, que pueden ser aprovechados con fines de generación eléctrica.

### **Definición del problema y justificación de la investigación**

Ecuador, a pesar de poseer grandes recursos energéticos renovables (Rosero y Chiliquinga, 2011) no ha impulsado estudios científicos orientados a establecer una base de datos en la que conste información relacionada con las variables atmosféricas del país, especialmente las relacionadas con la radiación solar y el recurso eólico. La ausencia de esta información ha impedido el desarrollo de las energías renovables, las cuales evitan el uso indiscriminado de combustibles fósiles.

Por otro lado, de acuerdo a Ramírez:

Una de las propuestas programáticas centrales de este gobierno constituye pasar de la economía de los ‘recursos finitos’ a la de los ‘recursos infinitos’. Es decir, de ser un país primario exportador y secundario importador a construir una economía basada en el conocimiento y la creatividad del talento humano de sus ciudadanos y ciudadanas. Los recursos naturales son finitos y perecibles. Las ideas, la innovación, la creatividad y la cultura no tienen –a priori– más límites que los éticos. (2014).

En este contexto, la Universidad Técnica del Norte y su Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica (CUICYT), dando cumplimiento al art 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas

(CONELEC, 2012); presenta el proyecto *Análisis Energético con Implementación de Módulos Solares Fotovoltaicos en la Universidad Técnica del Norte*, como una propuesta innovadora a la creciente demanda de electricidad y generación de aportes académicos-científicos a la comunidad.

Tras la realización del proyecto, se obtendrá una evaluación del potencial solar existente en el sitio del proyecto, con uso de datos estadísticos de Heliofania de la Estación Meteorológica de la UTN; un modelo de paquete tecnológico de uso de energía solar fotovoltaica, con datos promedios de radiación solar ( $W/m^2$ ) para aplicación en proyectos similares. Por otra parte, se adquirirá la destreza en el manejo de Software para la aplicación de instalaciones solares fotovoltaicas con conexión a la red general de distribución, y determinar la ecoeficiencia, el ahorro efectivo con el uso de energía fotovoltaica en relación con la energía convencional (kWh/mes), a fin de que la Universidad Técnica del Norte se considere como una Universidad Sustentable, con la implementación de proyectos con uso de energías limpias.

### Metodología

La metodología a aplicar en el desarrollo del proyecto estará basada en paquetes de trabajo, divididas en distintas tareas, con un responsable asignado para cada una de ellas:

#### 1. Obtención de información y benchmarking.

- a. Se adquirirá y evaluará la información disponible y los datos de entrada del proyecto, realizándose distintas tareas:
- b. Descarga de datos de radiación solar registrados por la estación meteorológica de la UTN.

- c. Clasificación de radiación solar mensual y anual aplicada al área del campus universitario.

#### 2. Instalación del Sistema

- a. Acoplamiento de paneles solares fotovoltaicos, con criterios de orientación para absorber la máxima radiación solar diaria.

#### 3. Resultado de la Instalación.

- a. Evaluación del potencial solar existente en el sitio del proyecto, para uso de datos en futuras instalaciones.
- b. Características del rendimiento energético de placas fotovoltaicas por variación de ángulo de inclinación frente al sol.
- c. Determinar el ahorro efectivo con el uso de energía fotovoltaica en relación con la energía convencional (kWh/mes).

### Resultados esperados

Tras la finalización del proyecto, se observarán resultados en diferentes ámbitos:

1. Caracterización del comportamiento de la radiación solar en la zona de estudio con apoyo de datos satelitales utilizando el software RETScreen.
2. El resultado principal será la caracterización del comportamiento de la radiación solar en las coordenadas:  $0^{\circ} 21' 46'' N$ ,  $78^{\circ} 7' 48'' W$ , se definirá el rendimiento de la radiación solar con la posición geodésica del sol respecto al sitio del proyecto.
3. Esto demostrará las zonas de alto potencial para la instalación de posibles proyectos solares, se espera que las instituciones

públicas y privadas implementen estos paquetes tecnológicos contribuyendo al cambio de modelo energético del país.

4. Determinar el ahorro efectivo con el uso de energía solar fotovoltaica en relación con la energía convencional (kW/mes). Aplicabilidad en el sector productivo y económico de la localidad y la provincia.
5. Aumentar la concienciación social sobre el potencial de las energías renovables en la zona norte del país y los beneficios que esto puede reportar a los ciudadanos, instituciones, gobiernos y economía del país.
6. Crear interés en empresas privadas como organismos públicos por los resultados obtenidos en el proyecto propuesto para la contribución a la generación e investigación de energías renovables.

### Sostenibilidad del proyecto

Finalizado el proyecto los datos de la radiación solar obtenidos en el sitio de estudio estarán al alcance de todos en la página web de la Universidad Técnica del Norte, esta información contribuirá al desarrollo de proyectos de energías renovables, agricultura, climatológicos, de salud humana, etc.

El proyecto terminado, será un documento técnico de consulta para futuros estudios de factibilidad de implementación de paquetes tecnológicos, utilizando energía solar fotovoltaica, por lo que facilitará cálculos para definir con precisión la potencia a instalar, evitando aproximaciones que normalmente inciden en los costos finales del proyecto.

La sostenibilidad del proyecto una vez concluido se obtendrá los siguientes resultados:

- a. **Ecológicos:** Con la información obtenida en la presente investigación se establecerá un sistema energético limpio para la generación eléctrica en la Universidad Técnica del Norte.
- b. **Tecnológicos:** a partir de la base de datos generada, se creará paquetes tecnológicos con uso de transferencia de tecnología.
- c. **Cuantificar el beneficio ambiental:** sobre el uso de la energía fotovoltaica, se determinara el ahorro de CO<sub>2</sub> frente al uso de la energía convencional.
- d. **Económicos:** se espera que las instituciones públicas y privadas implementen estos paquetes tecnológicos contribuyendo al cambio de la matriz energética como política de estado.

### Beneficiarios del proyecto

Los principales beneficiarios directos del proyecto son:

- El organismo ejecutor: Universidad Técnica del Norte (UTN).
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI.)
- Los investigadores y personal implicado directamente en el proyecto.
- Universidades y grupos de investigación.

Los principales beneficiarios indirectos del proyecto son:

- GADs municipales y provinciales.
- Empresas encargadas en la construcción, transporte y distribución de energía eléctrica.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador (MEER).

- Agricultores y habitantes de la Zona 1.

### Transferencia de resultados

En primer lugar, se elaborará un documento bibliográfico o paper que sirva como documento de referencia para su publicación en revistas de divulgación científica, congresos, etc..., informando de los resultados obtenidos, la metodología seguida y demás aspectos relevantes del proyecto.

La transferencia de resultados se realizará en distintos medios y de distintas formas:

1. Publicación del documento bibliográfico elaborado en revistas científicas.
2. Entrevistas a un representante del proyecto en radio, prensa escrita/digital o televisión.
3. Organización de conferencias con la participación de investigadores y componentes del equipo ejecutor del proyecto.
4. Foro para difundir el desarrollo de la energía solar como parte del panorama energético actual, sus principales características y las posibilidades de gestión en el entorno de la UTN.
5. Participación en congresos nacionales e internacionales.

### Referencias

- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador 2008* (Decreto Legislativo No. 0). Registro Oficial No. 449, 20 de octubre de 2008. Recuperado de <http://goo.gl/7UOsH5>
- CONELEC y CIE. (agosto de 2008). *Atlas Solar de Ecuador con fines de generación eléctrica*.
- CONELEC. (mayo de 2010). *Estadística del sector eléctrico Ecuatoriano*. Quito – Ecuador, mayo 2010. Recuperado de <http://goo.gl/LU0ZIJ>
- EPIA. (2011). *Solar generation 6. Solar photovoltaic electricity. Empowering the world*. Recuperado de <http://goo.gl/do3lvI>
- MEER. (mayo de 2008). *Políticas y Estrategias para el cambio de la Matriz Energética de Ecuador*. Recuperado de <http://goo.gl/tSx8qi>
- Ramírez, R. (2014). *Hacia la independencia intelectual*. En René Ramírez Gallegos [Blog]. Recuperado de <http://goo.gl/tq5brZ>
- Rosero, E., y Chilingua, B. (agosto de 2011). *Informe Final de Ecuador. Producto 1: Línea Base de las Tecnologías Energéticas. Producto 2: Estado del Arte*. Recuperado de <http://goo.gl/jfpCR5>

Para citar este artículo utilice el siguiente formato:

Mora, G. (noviembre de 2015). Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador. *YACHANA, Revista Científica - Edición Especial*, 4, 169-175.