

Análisis de la radiación solar en afluentes del río Toachi para alimentar estaciones de monitoreo de variables hidrológicas y meteorológicas
Analysis of solar radiation in tributaries of the Toachi River to feed monitoring stations for hydrological and meteorological variables

Ing. Freddy Patricio Nuñez Nuñez, Mg. Ing. Víctor Hugo Narváez Vega, Mg.; Tlgo. Gustavo Xavier Araguillín Araque; Tlga. Mishell Lisbeth Reino Vizúete

**INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO**

**Julio - diciembre, V°4-N°2;
2023**

- ✓ **Recibido:** 01/09/2023
- ✓ **Aceptado:** 16/09/2023
- ✓ **Publicado:** 30/12/2023

PAÍS
Ecuador – Santo Domingo
Ecuador – Santo Domingo
Ecuador – Santo Domingo
Ecuador – Santo Domingo

INSTITUCIÓN
Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila
Universidad de las Fuerzas
Armadas ESPE
Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila
Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila

CORREO:

- ✉ freddynunez@tsachila.edu.ec
- ✉ vnarvaez2@espe.edu.ec
- ✉ gustavoaraguillinaaque@tsachila.edu.ec
- ✉ mishellreinovizúete@tsachila.edu.ec

ORCID:

- <https://orcid.org/0000-0001-8570-2471>
- <https://orcid.org/0000-0001-6810-5827>
- <https://orcid.org/0009-0008-7451-4924>
- <https://orcid.org/0009-0002-3124-836X>

FORMATO DE CITA APA.

Nuñez, F. Narváez, V. Araguillín, G. Reino, M. (2023) *Análisis de la radiación solar en afluentes del río Toachi para alimentar estaciones de monitoreo de variables hidrológicas y meteorológicas*. Revista G-ner@ndo, V°4 (N°2,0). 384 – 393.

Resumen

El monitoreo de variables hidrológicas y meteorológicas es de vital importancia en áreas como la agricultura, generación de energía eléctrica, prevención de riesgos y sistemas de agua potable; Se debe contar con estaciones en los afluentes de los ríos de interés. Actualmente existen soluciones que permiten el monitoreo continuo de estas variables, sin embargo, para la ubicación de una estación de este tipo se requiere suministro de energía eléctrica y conexión a una red de datos y al ser remotas estos recursos son limitados y en varios casos inexistentes. Una alternativa para el suministro de energía eléctrica es el uso de paneles fotovoltaicos, sin embargo, para el dimensionamiento de estos sistemas se debe contar con los promedios históricos diarios y mensuales de la radiación solar de la zona que según varios autores son datos claves para el diseño ya que no se alteran significativamente en el tiempo. El presente proyecto propone un análisis y presenta la radiación solar obtenida en las riberas del río Pilatón (afluente del río Toachi) por un piranómetro donde se determina los valores máximos, mínimos y promedio de 3 meses (junio, julio y agosto); se utilizó una metodología con un paradigma positivista y un enfoque cuantitativo sin manipulación de variables, se determinó que la radiación solar alcanza niveles cercanos a 1000 W/m² entre las 10:00 y 11:00 horas por lo que se concluye que en este lapso de tiempo se obtiene la máxima potencia para el suministro de energía a los dispositivos electrónicos y la recarga de los acumuladores que proveerán energía en horas de ausencia de radiación solar.

Palabras clave: Piranómetro, Radiación Solar, Estación de Monitoreo, Sistemas fotovoltaicos.

Abstract

The monitoring of hydrological and meteorological variables is of vital importance in areas such as agriculture, electricity generation, risk prevention and drinking water systems; There must be stations on the tributaries of the rivers of interest. Currently there are solutions that allow continuous monitoring of these variables, however, for the location of a station of this type, a supply of electrical energy and connection to a data network is required and, being remote, these resources are limited and, in several cases, non-existent. An alternative for the supply of electrical energy is the use of photovoltaic panels, however, for the sizing of these systems, the historical daily and monthly averages of solar radiation in the area must be available, which according to several authors are key data for the design since they do not alter significantly over time. This project proposes an analysis and presents the solar radiation obtained on the banks of the Pilatón River (tributary of the Toachi River) by a pyranometer where the maximum, minimum and average values of 3 months (June, July and August) are determined; A methodology was used with a positivist paradigm and a quantitative approach without manipulation of variables, it was determined that solar radiation reaches levels close to 1000 W/m² between 10:00 and 11:00 hours, so it is concluded that in During this period of time, maximum power is obtained to supply energy to electronic devices and recharge the accumulators that will provide energy in hours of absence of solar radiation.

Keywords: Pyranometer, Solar Radiation, Monitoring Station, Photovoltaic systems.

Introducción

Actualmente la energía solar es una de las más importantes fuentes de energía renovables en la sociedad actual por lo que es importante realizar el análisis de la cantidad de radiación que una zona recibe para el dimensionamiento de los paneles solares que alimentarán un sistema con energía eléctrica (P. Analuisa & Pallo, 2011; Chen et al., 2019).

Los datos de radiación son importantes para el desarrollo de sistemas de energía solar y deben ser un requisito previo para el modelado debido a que la ausencia de esta magnitud puede producir fallos y apagones no planificados en los equipos que están siendo alimentados por el sistema fotovoltaico (D. Robalino & Paucar, 2017; Schuepbach et al., 2015).

Jakhrani, (2010) afirma que: los datos de radiación solar son escasos en muchos países en desarrollo y sólo unas pocas estaciones están bien equipadas para la medición diaria y constante, los valores medios de radiación diaria, suelen ser la mejor fuente para realizar predicciones y obtener modelos empíricos del comportamiento de esta variable. La utilidad a largo plazo radica en que estos promedios son relativamente constantes y permiten obtener predicciones precisas del comportamiento de la radiación solar en la zona.

El monitoreo hidrológico y meteorológico es importante en algunas áreas como: la agricultura, sistemas de agua potable y riego, predicción climática, generación de energía eléctrica, entre otras; sin embargo, este monitoreo se debe realizar aguas arriba del río de interés para obtener datos en la fuente de agua y en caso de eventos fortuitos (crecidas del río, precipitaciones) se pueda alertar y tomar acciones correctivas que minimicen el impacto (Naserpour et al., 2020; Palma & Villagómez, 2012).

Un problema existente en el monitoreo hidrológico y meteorológico en sitios remotos es el limitado acceso a energía eléctrica y comunicaciones por lo que la fuente de energía preferida es la instalación de paneles solares junto a la estación, siempre que la radiación sea suficiente y el panel pueda suministrar la potencia necesaria para alimentar la estación y exista energía

sobrante para almacenarla en acumuladores con el fin de que la estación sea abastecida en horas con ausencia de luz solar (Gopinathan, 1988; D. Robalino & Paucar, 2017).

Se han llevado a cabo varios estudios del comportamiento hidrológico y meteorológico de ciertas zonas, a esto se ha integrado la tecnología IoT permitiendo obtener estimaciones de radiación razonables y parámetros meteorológicos de interés como: horas de sol, humedad relativa, temperaturas, niveles de precipitación y nubosidad, caudales, niveles del río de esa ubicación geográfica (P. Analuisa & Pallo, 2011; Raupp et al., 2015; D. Robalino & Paucar, 2017).

En el presente trabajo presenta un análisis de los datos obtenidos por una estación meteorológica equipada con un piranómetro la cual luego de su implementación ha recogido datos por 3 meses y almacenado a través de un sistema IoT, se determina la radiación promedio en el río Pilatón, lo que ayudará a dimensionar en futuros trabajos la potencia que se requiere por los paneles y las características del acumulador para evitar el corte del suministro de energía en las horas de ausencia de radiación solar (noches).

Materiales Y Métodos

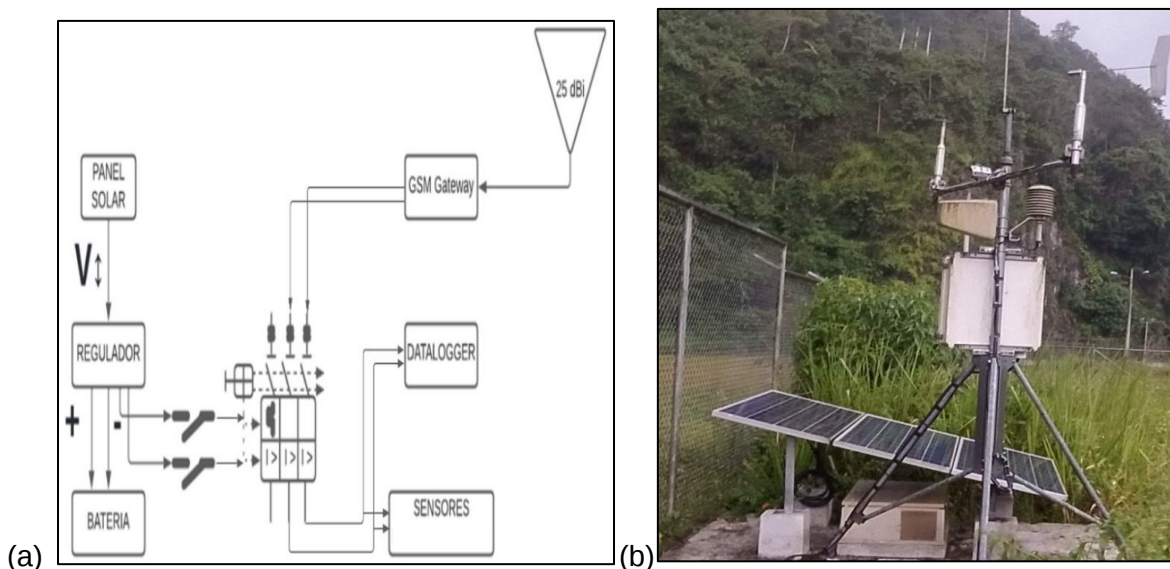
El presente trabajo tendrá un paradigma positivista debido a que se pretende presentar el comportamiento de los datos recolectados por un Piranómetro instalado en una estación meteorológica en el río Pilatón (afluente del río Toachi), utiliza un enfoque cuantitativo al presentar los datos de forma numérica y en un gráfico de barras. La presente investigación no manipula variables, solo las presenta en su estado natural (Arias, 2010).

Los datos recogidos van desde el 14 de junio de 2023 hasta el 8 de septiembre de 2023, aproximadamente 3 meses desde la puesta en marcha del piranómetro en la estación meteorológica, se han recogido datos de interés como: Velocidad del Viento y su Dirección, Presión Atmosférica, Precipitación, Humedad y la Radiación Solar, sin embargo, el análisis de estas variables será presentadas en trabajos futuros.

Puesta en marcha de la estación meteorológica

La estación meteorológica fue instalada en un armario hermético, esta alimentado con una batería recargada por un panel solar por lo que el sistema es autónomo. La figura 1 (a) muestra el diagrama de la estación implementada y la figura 1 (b) muestra la estación real implementada.

Figura 1. a) Esquema de la estación meteorológica, b) Estación meteorológica puesta en marcha



Fuente: Elaboración propia.

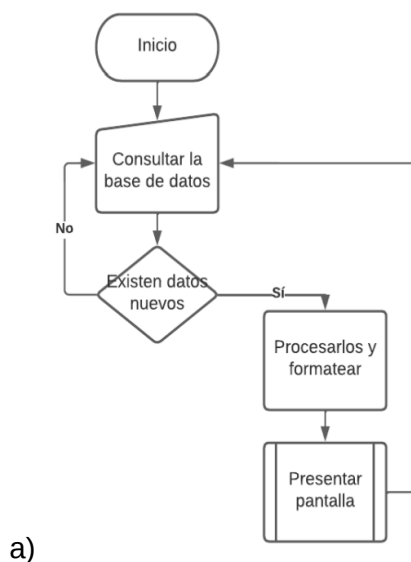
Plataforma IoT para la recolección de datos

Para el desarrollo de la plataforma de monitoreo se utilizó la arquitectura LAMP, la implementación del servidor se realizó en una máquina virtual alojada en la nube, se analizó varios servicios de hosting teniendo en cuenta que debe proveer acceso a la interfaz desde cualquier sitio que tenga una conexión a internet. Oracle Cloud es un servicio de hosting con paquetes gratuitos y de paga que permite alojar una máquina virtual y en su versión gratuita proporciona una dirección IP pública con redirección de puertos, firewall, 20 GB de

almacenamiento y 1 GB en RAM, recursos necesarios para instalar un sistema Linux sin interfaz gráfica para alojar y presentar los datos obtenidos de la estación meteorológica.

Visualización de elementos.

En la Figura 2, se observa la página principal de la interfaz de monitoreo, se programó utilizando Java Script con el complemento AJAX para obtener actualización asíncrona (Sin refrescar la página web), los datos son guardados cada hora en la base de datos y presentados, los reportes se los puede descargar en formato archivo plano para realizar los análisis de interés. La figura 2 presenta la interfaz implementada, así como su algoritmo.



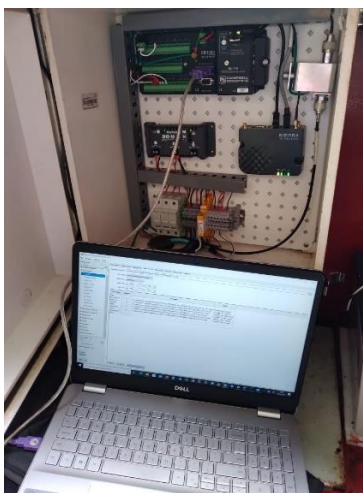
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Por cuestiones de respaldo de datos, el datalogger posee una memoria de estado sólido donde se almacenan los datos, pueden ser extraídos de manera presencial a través de la tarjeta de memoria y una computadora personal del operador. La figura 3 muestra la recolección de datos de manera presencial.

Figura 3. Recolección presencial de las variables guardadas en el datalogger.



Fuente: Elaboración propia.

Conexión inalámbrica entre el sitio remoto y el servidor

La estación al encontrarse en sitios remotos y de difícil acceso requiere una tecnología de largo alcance, una opción es la red móvil prepago o pospago, sin embargo, la cobertura en estas zonas es poca y requiere antenas de alta ganancia, se utilizó antenas de 25 dBi con lo cual se obtiene una tasa de transmisión adecuada para la transmisión de los datos.

Análisis de resultados

Los datos proporcionados por el Datalogger son almacenados en dos formatos: archivo separado por comas (csv) y archivo plano (dat). Se realizó un análisis para determinar los valores promedios mensuales, los valores máximos y mínimos de radiación, así como las horas en que se registraron estos valores. En la tabla 1 se observa el resumen de los datos obtenidos por el piranómetro encontrando las siguientes características.

En el mes de junio 2023, se obtiene un promedio de 213.74 W/m^2 , un máximo diario de 957 W/m^2 registrado entre las 10 y 11 de la mañana, un mínimo de 0.899 W/m^2 a las 6 de la mañana. En el mes de julio 2023, se obtiene un promedio de 205.89 W/m^2 , un máximo diario de 971 W/m^2 registrado entre las 10 y 11 de la mañana, un mínimo de 0.048 W/m^2 a las 6 de la mañana.

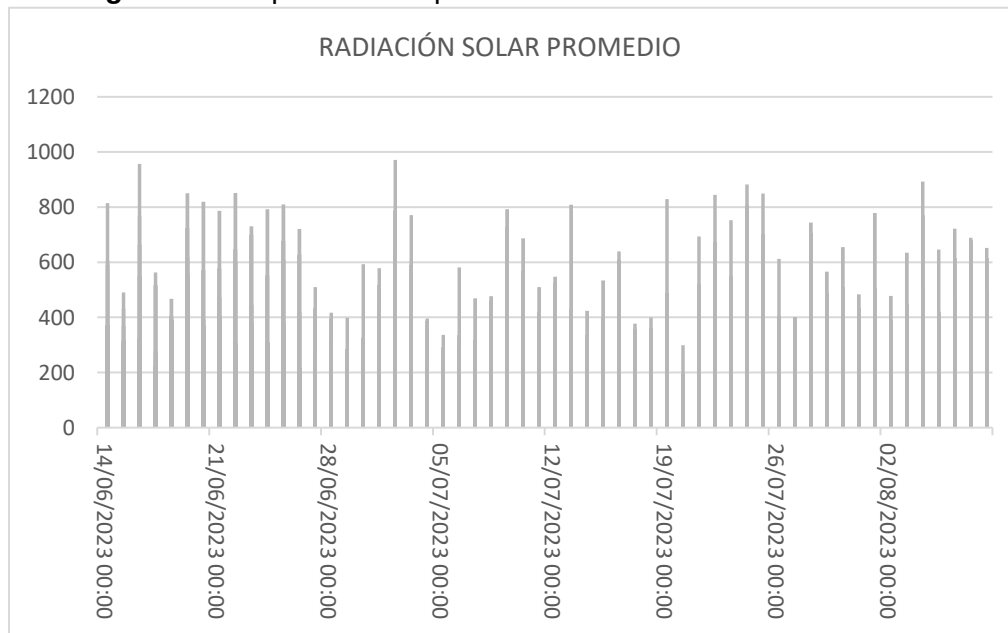
Finalmente, en el mes de agosto 2023, se obtiene un promedio de 242.44 W/m^2 , un máximo diario de 893 W/m^2 registrado entre las 10 y 11 de la mañana, un mínimo de 3.47 W/m^2 a las 6 de la mañana.

Tabla 1. Resumen de radiación solar encontrada en los meses analizados.

Mes	Promedio mensual	Valor Máximo	Valor Mínimo	Unidades de Medida
Junio	213.747	957.000	0.899	W/m^2
Julio	205.892	971.000	0.048	W/m^2
Agosto	242.441	893.000	3.471	W/m^2
	Horas de registro	10:00 - 11:00	6:00 – 7:00	-

Fuente: Elaboración propia.

Los valores más bajos de radiación solar se obtienen en las primeras horas de la mañana como es de esperar, sin embargo, las máximas radiaciones no se obtienen a medio día, estas son obtenidas entre las 10 y 11 de la mañana, lapso de tiempo en el cual el panel solar genera la mayor cantidad de potencia en el día, esto es aprovechado para cargar la batería que suministra energía en horas de baja radiación y noches. Para un mejor entendimiento del comportamiento de la radiación solar a lo largo de los días se presenta la figura 4, un resumen mensual con los valores máximos de radiación, se observa picos de hasta $1000 W/m^2$.

Figura 4. Comportamiento promedio de la radiación solar en la zona.


Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Por medio de bases teóricas y revistas especializadas se realizó una búsqueda bibliográfica de diversos autores acerca de la importancia de conocer los promedios diarios y mensuales de radiación solar para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos realizando la constatación de criterios, muchos investigadores coinciden en que estos promedios suelen ser una de las mejores fuentes de datos para realizar predicciones y diseñar modelos empíricos lo cual facilita a los diseñadores de sistemas fotovoltaicos el modelado y selección de los paneles adecuados de acuerdo a la radiación de la zona.

Se logró determinar los valores máximos, mínimos y promedios de radiación solar existentes en la zona de análisis, los resultados presentaron picos cercanos a $1000W/m^2$ entre las 10:00 y 11:00 que es el espacio de tiempo en el cual se obtiene la mayor cantidad de energía posible para la recarga de los acumuladores y el suministro de potencia a los dispositivos eléctricos y electrónicos.

El análisis de la radiación solar en el río Pilaton (Afluente del río Toachi) permite obtener la potencia que se puede obtener a lo largo del día por un panel solar, varias estaciones autónomas para recolectar datos hidrológicos y meteorológicos pueden aprovechar este recurso para recoger variables de interés útiles en la agricultura, generación eléctrica y alerta de fenómenos como crecidas e inundaciones río abajo.

Referencias bibliográficas

- Analuisa, P., & Pallo, J. (2011). *Sistema de energía fotovoltaico para respaldo de energía eléctrica en el Edificio del Municipio del Cantón Sigchos*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/447>
- Arias, F. (2010). *El Proyecto de Investigación* (6th ed., Vol. 6).
- Chen, J. L., He, L., Yang, H., Ma, M., Chen, Q., Wu, S. J., & Xiao, Z. lin. (2019). Empirical models for estimating monthly global solar radiation: A most comprehensive review and comparative case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 91–111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.033>
- Gopinathan, K. K. (1988). A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface. *Solar & Wind Technology*, 5(5), 581–583. [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(88\)90050-1](https://doi.org/10.1016/0741-983X(88)90050-1)
- Jakhrani, A. Q., Othman, A. K., Rigit, A. R. H., & Samo, S. R. (2010). A simple method for the estimation of global solar radiation from sunshine hours and other meteorological parameters. *2010 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, ICSET 2010*. <https://doi.org/10.1109/ICSET.2010.5684439>
- Naserpour, S., Zolfaghari, H., & Zeaiean Firouzabadi, P. (2020). Calibration and evaluation of sunshine-based empirical models for estimating daily solar radiation in Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100855>
- Palma, E., & Villagómez, E. (2012). *Análisis, evaluación y propuesta de una red de monitoreo hidrogeológico para la subcuernca del río Tarqui*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/774>
- Raupp, C., Tatapudi, S., Bicer, B., & Tamizhmani, G. (2015). Performance and reliability evaluation of concentrated photovoltaic (CPV) power plants. *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015*. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2015.7356185>
- Robalino, D., & Paucar, M. (2017). *Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico para la obtención de una certificación leed en la categoría de energía y atmósfera para la empresa Solinfra de la ciudad de Quito*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/26546>
- Schuepbach, E., Muntwyler, U., Schott, T., Jost, M., Renken, C., & Lanz, M. (2015). Swiss energy strategy 2050: Research on photovoltaic electricity production. *2015 10th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2015*. <https://doi.org/10.1109/EVER.2015.7112992>