
9

Estudio y Evaluación de Factibilidad del Uso de Energías Alternativas para la Estación SEK Limoncocha, Ecuador.

Edilberto Llanes; Paolo Salazar; Diana Peralta; Yamandù Yáñez,

Roberto Gutiérrez.

*Recibido: Abril de 2017
Aprobado: Octubre de 2017*

Estudio y Evaluación de Factibilidad del Uso de Energías Alternativas para la Estación SEK Limoncocha, Ecuador

Study and Evaluation of Feasibility of the Use of Alternative Energy for the SEK Limoncocha Station, Ecuador

Edilberto Llanes Cedeño; Paolo Salazar Alvear; Diana Peralta Zurita; Yamandù Yáñez;
Roberto Gutiérrez.

antonio.llanes@uisek.edu.ec
Universidad Internacional SEK

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo: Evaluar la factibilidad del uso de energías alternativas para la Estación SEK Limoncocha en el Ecuador, mediante el levantamiento de las potencialidades energéticas in situ, para la selección más adecuada del tipo de energía renovable. Para el estudio, en un primer momento se realiza un levantamiento geográfico de la zona y la medición de los parámetros: radiación solar, velocidad, dirección y frecuencia del viento, humedad relativa a más de la temperatura, para determinar la factibilidad del uso de la energía eólica y solar como fuentes primarias. En un segundo momento se ejecuta un balance de energía, para conocer el consumo energético dentro de la estación. Finalmente, el estudio permite determinar que la utilización de la radiación solar como fuente de energía en el sector puede desarrollarse de manera exitosa. Sin embargo, al identificar que los niveles de velocidad del viento son bajos es descartada la factibilidad de su utilización.

Palabras claves: Limoncocha, Energía eólica, Energía solar, Viento, Radiación solar, Transformación energética

Abstract

This paper aims to: Evaluate the feasibility of alternative energy uses for the SEK Limoncocha Station in Ecuador, through the lifting of the energetic potentialities for the most appropriate selection of the type of renewable energy. For the study, a geographic survey of the area and the measurement of the parameters: solar radiation, speed, direction and frequency of the wind, relative humidity to more than the temperature, is carried out to determine the feasibility of the use of the Wind and solar energy as primary sources. In a second moment, an energy balance is executed, to know the energy consumption inside the station. Finally, the study allows to determine that the use of solar radiation as an energy source in the sector can be successfully developed. However, by identifying that wind speed levels are low, discarded the feasibility of using.

Keywords: Limoncocha, Wind Power, Solar Energy, Wind, Solar Radiation, Energy Transformation

1. Introducción

En la actualidad, el grado de electrificación es parte fundamental del desarrollo de un país, puesto que la electricidad es el origen primordial de energía para realizar las actividades económicas. La suspensión del suministro eléctrico, genera considerables trastornos y pérdidas en los sectores: de producción industrial, transporte, comunicaciones, financiero, entre otros.

Debido a la generación de gases tipo invernadero que genera la quema de combustibles fósiles y su limitada existencia en el planeta ha producido un interés a nivel mundial por la implementación de nuevos sistemas de producción de energía eléctrica y calórica que sean renovables y considerados con el medio ambiente; si se logra reducir las emisiones por el uso de combustibles fósiles, se puede aplazar el costo de capital, reduciendo las inversiones que se requieren para realizar el mantenimiento y mejora de las condiciones en las transmisiones que utilizan este tipo de combustible.

De acuerdo al consejo mundial de la energía, quien es el ente encargado a nivel mundial de analizar la sostenibilidad energética, es importante generar la sostenibilidad de la energía mediante tres dimensionamientos fundamentales como son: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental [1].

Aportando a la sostenibilidad energética se busca impulsar la generación de energías alternativas tomando en consideración que hasta la actualidad existen: eólica, solar, biocombustibles, hidroeléctrica, energía de las mareas y las olas, todo esto con políticas específicas emergentes y tecnología renovable en todo el mundo que permita incrementar la producción energética baja en carbono [2].

El desafío energético y el cambio climático dependen directamente de los niveles futuros de oferta, demanda y precios de los productos de la industria para encontrar las pertinentes políticas, cambios de leyes y regulaciones, mediante datos obtenidos.

Existen varios escenarios donde se observa diferentes estructuras de políticas y proyectos que buscan aportar a la generación de energía alternativa. En la figura 1, se observa la ausencia de apoyo a las energías solares y eólicas debido a que únicamente son competitivas en las regiones con buena calidad de recursos [3].

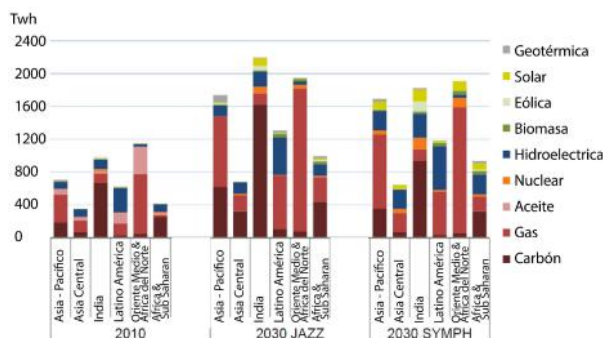


Figura 1. Generación de proyectos energías alternativas en el mundo [3].

Cada región busca hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles con un menor costo, se ha determinado que el carbón domina la producción de electricidad en India y Asia Central; el gas como combustible importante para el suministro de Oriente Medio y África del Norte, siendo así también importante para América Latina ya que existe una limitada inversión en energía hidroeléctrica, y el carbón y el gas son las principales opciones para el suministro de electricidad en Asia y África.

En la figura 2, se muestra que existen múltiples roles que desempeñan distintos actores en áreas específicas relacionadas a la energía y su consumo, que buscan reducir el uso de combustibles fósiles, ya que estudios han denotado que entre el 2014 al 2035 existirá un incremento del 20 % de las emisiones de CO₂ por la quema de combustibles fósiles [4].

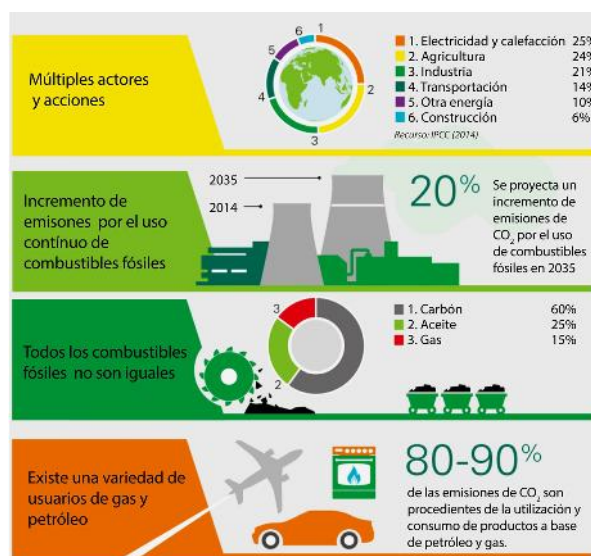


Figura 2. Predicciones al 2035 de emisiones de CO₂ generadas por la quema de fósiles

El Ecuador, desde 1972 ha mantenido como su matriz primaria de generación de energía al petróleo, siendo este su principal energético interno como producto de exportación. En los últimos 10 años la demanda de energía ha crecido de manera sostenida

como las convencionales a partir de la biomasa y la hidroenergía [5].

La investigación desarrollada corresponde a la primera fase de un proyecto, en donde se realiza la toma de datos de dos de las fuentes primarias importantes de energía como son la solar y la eólica, fuentes que corresponde al tipo de energías renovables o también llamadas alternativas, ya que su utilización y transformación conlleva a la preservación del medio, en este caso de un parque nacional vulnerable como es Limoncocha, ahora en grave riesgo.

Por la ubicación geográfica en el planeta, Ecuador tiene cada día un promedio de seis horas de sol pico. Esa es una fortaleza que incentiva al uso de esta energía como una alternativa favorable al ambiente. Las fuentes más difundidas, según estudios indican que son la térmica (baja temperatura) y la fotovoltaica, las cuales constituyen procesos que sirven para el calentamiento de agua y la producción de electricidad, resaltando así la ventaja natural del país [6].

Se requiere una inversión de USD 7 500 para instalar un sistema básico solar, que cubra la demanda de una familia de 4 a 5 miembros. Además, según varios estudios y mediciones, en la serranía ecuatoriana se puede obtener 853 vatios y hasta 300 vatios por metro cuadrado en días nublados [7]. Esta energía puede ser aprovechada en forma térmica y eléctrica, no solo para calentamiento de agua sino también para iluminación de viviendas.

1.1. Localización

La estación científica SEK Limoncocha se encuentra ubicada en la región amazónica del Ecuador, en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, parroquia Limoncocha. La Reserva Nacional Biológica Limoncocha, localizada al margen izquierdo del río Napo, tiene una planicie aluvial de 4 613,25 hectáreas pobladas de bosque húmedo tropical (bh-T), una temperatura promedio de 24,9 Celsius y una precipitación lluviosa de 3 058 mm por año [8].

En la figura 3, se observa que está compuesta en su mayoría por la Laguna de Limoncocha, las zonas adyacentes a ésta y la Laguna Negra, directamente relacionada con el río Napo, con una superficie aproximada de dos y medio kilómetros cuadrados que guardan una de las mayores biodiversidades biológicas en el mundo.

Posee gran población de caimanes, especialmente caimanes negros, y una gran diversidad de aves.

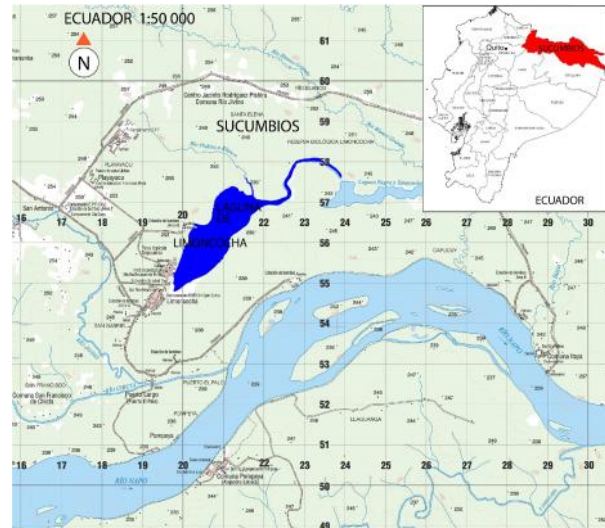


Figura 3. Ubicación de la Reserva Limoncocha

1.2. Datos relevantes

Ubicación: Provincia de Sucumbíos
Creación: septiembre 23, 1985 Acuerdo Ministerial No. 394 [9]
Superficie: 4613 ha - 11398.57
Rango latitudinal: 230 msnm 754.63 pies
Zonas de Vida: Bosque Húmedo Tropical

2. Materiales y Métodos

2.1. Equipos utilizados

Se utiliza una estación meteorológica para la recolección de datos, y el análisis de los mismos facilita el correcto funcionamiento de las instalaciones, permitiendo evaluar la energía que será captada luego por los paneles, así como los rendimientos de los diferentes sistemas entre ellos la dirección, frecuencia y velocidad del viento con lo que se evalúa el potencial. Los datos de la estación se relacionan a continuación:

Centro meteorológico profesional marca Oregon Scientific Modelo: WMR200 / WMR200A
Barómetro interior
Unidad de sensor de viento remoto
Transmisor RF
Medidor de lluvia remoto
Medidor de radiación. Marca PCE – SPM1

2.2. Energía Eólica

Para describir la frecuencia de la distribución de velocidades del viento se emplean varias funciones, entre las más empleadas se encuentran las funciones de Weibull y Rayleigh.

Para el estudio, se utilizó un análisis comparativo y estadístico basado en distribución de vientos por Weibull, por ser esta más versátil. Mediante apreciación

visual se pudo constatar que existen características dispersas y aleatorias de energía eólica, es por esto la necesidad del estudio mediante una distribución estadística que determine la posición adecuada, para esto se toma como variable aleatoria la velocidad del viento [10].

Para determinar la distribución de Weibull se requiere utilizar los siguientes parámetros: escala (c) y el factor de distribución de forma (k).

2.3. Distribución de Weibull

Para la distribución de Weibull se toma en consideración la función de densidad de probabilidad [10], la misma que su distribución se expresa de la siguiente manera:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Esta distribución contiene los parámetros c y k, donde la función de su distribución acumulada es:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Para el cálculo del momento enésimo en la distribución de Weibull se utiliza la siguiente función:

$$v_{(n)} = \int_0^{\infty} v^n f(v) dv = \dots = c^n \left[1 + \frac{n}{k}\right] \quad (3)$$

Cuando se determina la curva normal de error o a su vez la integral de Gauss se utiliza:

$$\int_0^{\infty} e^{-t^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \quad (4)$$

Obteniendo estos valores a partir de la ecuación 5:

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = 2 \int_0^{\infty} e^{-t^2} dt = \sqrt{\pi} \quad (5)$$

Al determinar la velocidad media del viento se requiere utilizar el primer momento de la función de densidad, la misma que es n = 1, siendo por tanto:

$$v_{(1)} = \dot{v} = c \left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (6)$$

Al obtener los parámetros c de escala y k de forma de la distribución, se usa una aproximación de mínimos cuadrados; iniciando con la función de distribución de Weibull en la forma:

$$1 - F(v) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (7)$$

Realizando una sucesión de logaritmos dos veces se determina:

$$-\ln\{1 - F(v)\} = \left(\frac{v}{c}\right)^k \Rightarrow \ln[\ln\{1 - F(v)\}] = \ln\left(\frac{v}{c}\right)^k = k \ln v - k \ln c$$

Considerando la forma:

$$y = ax + b \quad (8)$$

Con:

$$y = \ln|\ln\{1 - F(v)\}|; k = a \quad (9)$$

$$x = \ln v; b = -k \ln c; c = e^{-b/k} \quad (10)$$

Si se considera n pares de valores (x, y) a partir de mínimos cuadrados se obtienen las siguientes soluciones para a y b:

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}}{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{(\sum_{n=1}^n x)^2}{n}} \quad (11)$$

$$b = y - ax = \frac{\sum_{n=1}^n y}{n} - \frac{a \sum_{n=1}^n x}{n} \quad (12)$$

$$k = \frac{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}}{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{(\sum_{n=1}^n x)^2}{n}} \quad (13)$$

$$c = e^{-b/k}$$

$$= \exp\left\{-\left(\frac{\sum_{n=1}^n y}{n} - \frac{a \sum_{n=1}^n x}{n}\right) \frac{\sum_{n=1}^n xy - \frac{\sum_{n=1}^n x \sum_{n=1}^n y}{n}}{\sum_{n=1}^n x^2 - \frac{(\sum_{n=1}^n x)^2}{n}}\right\} \quad (14)$$

Las velocidades obtenidas a partir de la estación meteorológica son consideradas en la distribución estadística de Weibull, mediante la cual se determina la probabilidad de ocurrencia de una velocidad en específico.

Un aspecto importante a determinar, es la dirección principal de los vientos, para lo cual se realiza una representación gráfica basada en los datos obtenidos de la estación meteorológica.

2.4. Energía Solar

La Energía Solar no es más que la energía radiante emanada del sol y recibida en la tierra. La misma puede ser aprovechada como:

Luz directa: la energía solar es aplicada directamente como luz solar para la iluminación y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

Térmica: Es usada para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, calentamiento de agua, secado, etc.; son aplicaciones térmicas.

Fotovoltaica: Es aprovechada para producir electricidad por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar necesariamente por un efecto térmico.

Las aplicaciones agrícolas: En invernaderos solares; secaderos agrícolas.

La electricidad: Puede usarse de forma directa, o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas.

Hornos solares: se una aplicación importante a base de la energía solar y de los concentradores de alta temperatura.

Enfriamiento solar: Se puede aprovechar la energía solar para producir frío como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción.

En cuanto al análisis de radiación solar, las mediciones fueron tomadas con el medidor de radiación PCE – SPM1, los datos fueron obtenidos durante el último semestre del año 2016, en periodos de 15 minutos diarios.

Se realizó un análisis de la energía solar mínima por meses, para determinar el mes con menos potencial de radiación solar, y así poder evaluar su aplicación como fuente de energía.

3. Resultados y discusión

3.1. Energía Eólica

Los datos de viento a continuación expuestos fueron tomados bajo el centro meteorológico profesional WMR200 / WMR200A, durante el último semestre del año 2016. En los datos tomados de velocidad del viento se reconoce una velocidad mayor de 3.8 m/s en el mes de agosto y una velocidad menor de 3.4 m/s en diciembre, los cuales concuerdan con lo referido por Peralta [13].

Los datos de la velocidad y frecuencia del viento se presentan en la tabla 1 y figura 4.

Tabla 1. Resultados velocidad media y frecuencias del viento

MES	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO																Vel. Mayor Observada (m/s)	Velocidad Media (m/s)			
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW				Calma %	Nro. Obs.	
	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%	(m/s)	%					
AGOSTO	0.0	0.0	2.2	14.5	0.0	0.0	2.1	14.0	0.0	0.0	2.0	11	0.0	0.0	2.1	7.5	53.0	187	3.8	SE	3.78
SEPTIEMBRE	0.0	0.0	2.1	13.5	0.0	1.5	1.9	13.0	0.0	0.0	2.0	13.5	0.0	0.0	2.2	9.0	49.5	246	3.8	SW	3.69
DICIEMBRE	0.0	0.0	2.2	14.0	0.0	0.0	1.9	12.0	0.0	0.0	1.9	9.0	0.0	0.0	2.0	7.0	58.0	254	3.6	NE	3.60
NOVIEMBRE	0.0	0.0	2.3	12.0	1.9	2.0	2.1	13.5	0.0	0.0	2.1	13.0	0.0	0.0	1.9	7.5	52.0	238	3.6	SE	3.4
DICIEMBRE	0.0	0.0	2.1	8.0	0.0	0.0	2.0	16.5	0.0	0.0	1.9	12.5	0.0	0.0	1.9	7.0	56.0	108	3.4	SE	3.3

Nota: (Fuente propia)

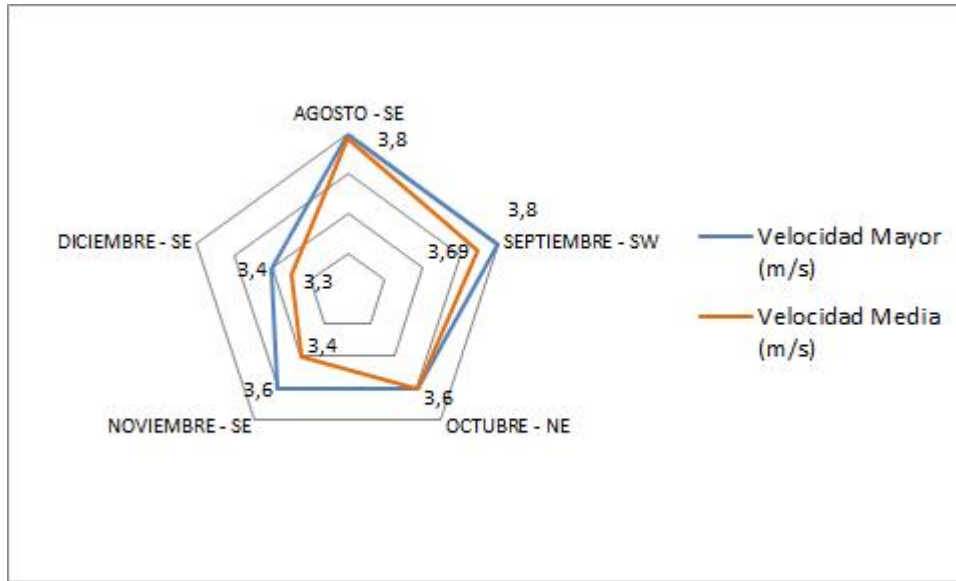


Figura 4. Distribución de la velocidad media y máxima (Fuente propia)

La distribución de Weibull para los datos eólicos arrojados por la estación se muestra en la figura 5:

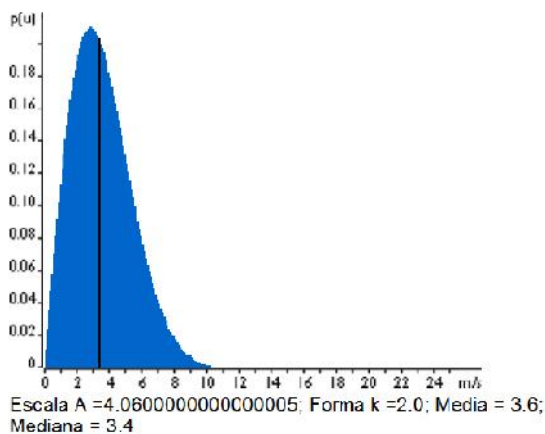


Figura 5. Distribución de Weibull para los datos eólicos (Fuente propia)

En esta distribución, se puede observar que la cantidad de energía eólica útil es baja así como su probabilidad de ocurrencia, para su aprovechamiento es necesario una fuerte inversión, ya que las torres o en su defecto las estructuras para colocar los aerogeneradores serían muy altas, así como también sus costos.

3.2. Energía Solar

Los datos de energía solar mínima se presentan en la figura 6.

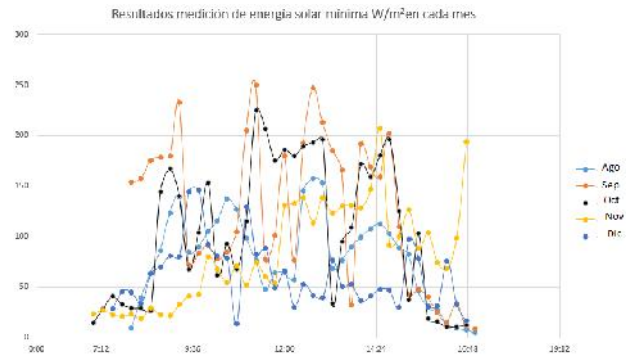


Figura 6. Resultados medición de energía solar mínima W/m^2 (Fuente propia)

Como se muestra, existe una gran variabilidad de los valores reportados referentes a la radiación mínima durante el día; en el mes de septiembre se alcanzan los mayores picos de radiación mínima pero también descensos bruscos en intervalos pequeños de tiempo lo cual afecta el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos según Villana [14] y Labarta [15].

Sin embargo, el mes de diciembre se reporta con menores fluctuaciones en la radiación mínima. En todos los casos el potencial solar es suficiente para la generación de electricidad a partir de paneles fotovoltaicos y la satisfacción de las necesidades mínimas de una vivienda, cálculo realizado tomando en consideración lo planteado por Labarta [15].

3.1. Mapa solar de la estación Limoncocha

Durante varios días desde el mes de agosto hasta el mes de diciembre del año 2016, en la Estación Científica SEK Limoncocha, se mide la radiación solar (W/m^2), en los horarios máximos y mínimos.

En la figura 7, se muestra el comportamiento típico en un día de la radiación solar horaria mínima y máxima, estos valores se producen entre el horario de 9 a las 15 horas fluctuando entre 500 y 1 300 W/m^2 , dando una disponibilidad de alrededor de 6 horas de sol, lo cual según Villana [14] es adecuado para implementar los sistemas fotovoltaicos como alternativa energética.

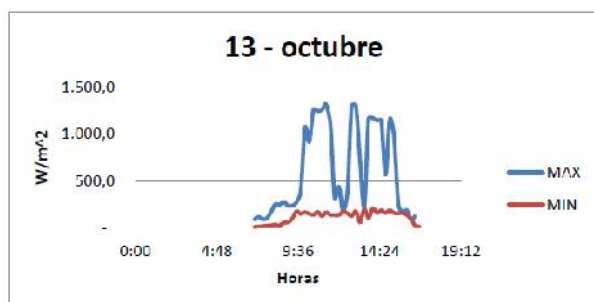


Figura 7. Radiación solar horaria (Fuente propia)

Con los datos medidos, se obtienen los valores de radiación solar promedio horaria por día (Wh/m^2 por día), los mismos que se presentan en la figura 8, lo que corresponde al mapa solar para la Estación Científica SEK Limoncocha.

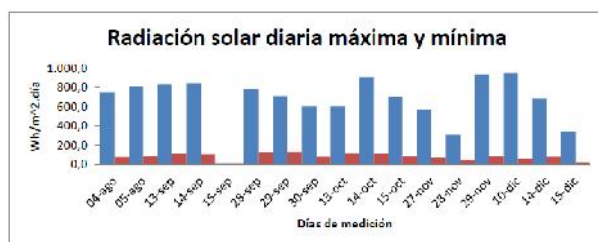


Figura 8. Radiación solar horaria (Fuente propia)

En el mes de diciembre, exactamente el 10 de diciembre se encuentra la radiación solar más elevada a las 14:24 horas, con una radiación que sobrepasa los 1 500 W/m^2 como se muestra en la figura 9:

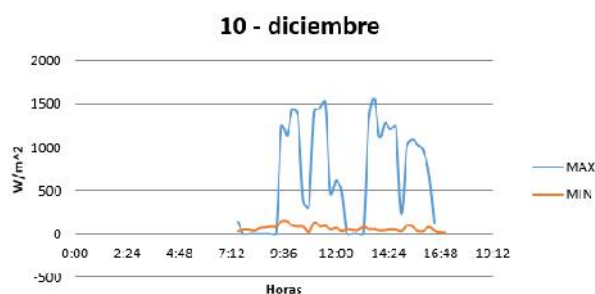


Figura 9. Radiación solar 10 de diciembre (Fuente propia)

4. Conclusiones

La utilización de la radiación solar como fuente de energía, puede ser considerada en la comunidad de Limoncocha debido a su potencial disponible.

Debido al bajo potencial eólico, referente a la baja velocidad del viento en el sector, el uso de sistemas generadores de energía a partir de este recurso no es factible.

Por los resultados expuestos, la demanda energética en la estación puede ser suplida íntegramente por medio de paneles fotovoltaicos, lo cual genera una buena inversión a lo largo del tiempo.

5. Referencias

- [1] WORLD ENERGY COUNCIL. (2016). World Energy Scenarios 2016 report: Global energy demand growth set to fall. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/news-and-media/press-releases/world-energy-scenarios-2016-report-global-energy-demand-growth-set-to-fall>.
- [2] Amrutha, A. A., Balachandra, P., & Mathirajan, M. (2017). Role of targeted policies in mainstreaming renewable energy in a resource constrained electricity system: A case study of Karnataka electricity system in India. *Energy Policy*, 106, 48-58.
- [3] Loulou, R., Goldstein, G., & Noble, K. (2004). Energy technology systems analysis programme. *Documentation for the MARKAL Family of Models*.
- [4] BP Global Company. bp Global. [En línea] 2016. <http://www.bp.com/>. SRI roadshow March/April 2016.
- [5] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos del Ecuador. (2015). Balance Energético Nacional 2015. Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. [En línea] 2014. <http://www.Sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/Balance-Energetico-Nacional-2015-parte1.pdf>.
- [6] Maza Campoverde, V. A. (2014). *Metodología para el desarrollo de proyectos de electrificación en zonas aisladas de la Empresa Eléctrica Quito SA—caso Chiriboga* (Doctoral dissertation, Quito: EPN, 2015).
- [7] RENOVA ENEREGÍA. [En línea] 2017. <http://www.renova-energia.com/la-empresa/articulos-sobre-energia-renovable/>.
- [8] Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). Plan de Manejo de la Reserva Biológica. 2011. Disponible en: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/890928/Plan+de+manejo+de+la+Reserva+Limoncocha.pdf/bf9eb887-e71f-4d35-bb0a-019fc8ac-9432>.
- [9] Ministerio del Ambiente. (2009). Acuerdo. Acuerdo No. 135. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/10/8827ccb4c1d61a1b6ee9d12a03b22cb5b77d51a3.pdf>.

- [10] Supe, G., & Santiago, A. (2013). *Metodología para identificar proyectos sustentables y factibles de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM)* (Doctoral dissertation, QUITO/EPN/2013).
- [11] Fernández Díez, P. (2007). *Energía eólica. línea, España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria*, 1-19.
- [12] Sarmiento, P. (2007). *Energía solar en arquitectura y construcción*. RIL Editores.
- [13] Peralta, J., Lopez, Á., Barriga, A., Sosa, I., & Delgado, E. (2013). Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador. In Conference Paper,(2) (pp. 9-9).
- [14] Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editorial Paraninfo.
- [15] Labarta, J. L. V. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. EDITORIAL DONOSTIARRA SA.