

1^{ra} edición

Estudios sobre Economía Circular e Industria 4.0

I Congreso Internacional de Ingeniería Industrial Aplicada
23, 24 y 25 de mayo del 2023, Guayaquil, Ecuador.

Tema

9

Análisis de factibilidad para la generación de energía eléctrica mediante un sistema eólico – solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil.

Raúl Gustavo Mata Muñoz

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
raul.matam@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6365-6806>

David Alejandro Del Pino Moreira

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
david.delpinom@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-5024-6339>

Alexis Miguel Velásquez Jama

Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador
alexis.velasquezj@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2883-9022>



Resumen

La búsqueda de fuentes de energía renovable es uno de los desafíos más grandes que enfrentan las diferentes economías alrededor del mundo. Tanto por la amenaza de la escasez de combustibles fósiles, como por el impacto ambiental generado; los países invierten grandes cantidades en investigación para el desarrollo de fuentes alternas de energía, amigables con el ambiente. En este sentido, la tecnología de sistemas híbridos eólicos – solares fotovoltaicos para generación de energía eléctrica, ya se ha implementado en muchos lugares alrededor del mundo. En este proyecto, se presenta un estudio para determinar la factibilidad para implementar el mencionado sistema híbrido, para generación de energía eléctrica, en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil en Ecuador. Para el efecto, se aplicó una metodología holística que incluyó un análisis cualitativo, basado en revisión documental; así como un análisis cuantitativo, para determinar la demanda insatisfecha de energía eléctrica en el lugar de incidencia. Los resultados fueron favorables para el desarrollo del proyecto, y esta tesis presenta una propuesta de implementación de una torre con sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico, para satisfacer la mencionada demanda. El autor concluye que el impacto generado por la implementación de la torre es positivo en términos económicos, ambientales y sociales.

Palabras clave: Energía Renovable, Sistema Híbrido, Sistema Eólico, Sistema Solar Fotovoltaico.

Abstract

The search for renewable energy sources is one of the biggest challenges facing the different economies around the world. Both because of the threat of the scarcity of fossil fuels, and because of the environmental impact generated; countries invest large amounts in research for the development of alternative sources of energy, friendly to the environment. In this sense, the technology of hybrid wind-solar photovoltaic systems for electricity generation has already been implemented in many places around the world. In this project, a study is presented to determine the feasibility to implement the aforementioned hybrid system, for the generation of electrical energy, in the Faculty of Industrial Engineering of the University of Guayaquil in Ecuador. For this purpose, a holistic methodology was applied that included a qualitative analysis, based on documentary review; as well as a quantitative analysis, to determine the unsatisfied demand for electrical energy in the place of incidence. The results were favorable for the development of the project, and this thesis presents a proposal for

the implementation of a tower with a hybrid wind - solar photovoltaic system, to satisfy the aforementioned demand. The author concludes that the impact generated by the implementation of the tower is positive in economic, environmental and social terms.

Keywords: Renewable Energy, Hybrid System, Wind System, Photovoltaic Solar System.

Introducción

La generación y uso de energía eléctrica es indispensable para el desarrollo de los pueblos y comunidades en la actualidad. Sus aplicaciones son numerosas, sin embargo, no sólo presentan ventajas, sino las desventajas consecuentes de la utilización de combustibles fósiles para su generación. El petróleo, carbón y gas natural dominan el mercado de la energía y aportan más del 80% de la producción de esta (Ponce, García, Caberta, & Valenzuela, 2014).

Con una tendencia mundial orientada a encontrar fuentes de creación de energías renovables que sean amigables con el planeta y el ecosistema en general, la generación de energía eléctrica a través de fuentes alternativas constituye un desafío en los tiempos actuales. En este sentido, la energía eólica es la segunda fuente de energía renovable más utilizada en el mundo, después de la energía hidroeléctrica (Henaó, Báez, & Pedroza, 2018), y seguido se sitúa la solar fotovoltaica. La utilización de la energía eólica se ha aplicado, principalmente, a comunidades pequeñas que no cuentan con el suministro eléctrico.

La generación de energía eléctrica a través de recursos renovables tiene múltiples ventajas. Entre ellas se puede mencionar a la disminución o eliminación de emisiones, bajos precios de producción y sostenibilidad del sistema. Esto colabora también indirectamente a la reducción de uso de recursos de los estados destinados a la generación del suministro; recursos que pueden utilizarse con otros objetivos sociales de incentivo al crecimiento económico o desarrollo social.

Los paneles fotovoltaicos pueden definirse como sistemas integrados por módulos de celdas que convierten la radiación solar en energía eléctrica. Las celdas que componen estos paneles están elaboradas con material semiconductor que se unen a contactos de metal. Los componentes de un panel fotovoltaico son: cubierta externa, capas encapsulantes, células fotovoltaicas y protección posterior (Mikati, Santos & Armenta, 2012).

Por otro lado, la energía eólica es una fuente de energía renovable que se genera por la fuerza del viento. Se la utiliza para la generación de energía eléctrica y requiere de aerogeneradores para su funcionamiento. Es una de las fuentes de energía renovable más antiguas utilizada por el ser humano.

Un sistema híbrido es aquel que permite combinar dos tipos de energía. Un sistema híbrido eólico – solar, es aquel que permite utilizar la radiación solar y la fuerza del viento para la generación de energía eléctrica. Este tipo de sistemas está compuesto por módulos fotovoltaicos y aerogeneradores que permiten captar la energía. Son importantes debido a que las horas y temporadas del año en que se produce mayor cantidad de energía eólica y solar son distintas, por tanto, los sistemas híbridos pueden utilizarse en cualquier momento. Si por alguna razón no existe energía solar o eólica para que funcione el sistema, también suelen tener generadores o baterías (Schallenberg *et al.*, 2008).

La Universidad de Guayaquil es una institución de educación superior pública, localizada en la ciudad de Guayaquil que cuenta con 18 facultades que ofertan 48 carreras de pregrado y cuenta con 6 extensiones universitarias en la región litoral del país. Al respecto, la Facultad de Ingeniería Industrial tiene entre sus múltiples objetivos la generación del conocimiento y desarrollo de modelos innovadores de gestión de recursos en beneficio de la comunidad universitaria y la sociedad en su conjunto. Por este motivo, este trabajo, orientado a diseñar e implementar una alternativa de generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables, toma particular importancia.

El objetivo final de este trabajo es diseñar e implementar un sistema eólico – solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica que alimente el corredor central, parque lateral, aulas y áreas sociales de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil. Para el efecto, se plantearon los siguientes objetivos específicos: i) Sintetizar los fundamentos teóricos y estado del arte de la energía eléctrica a través de sistemas híbridos eólicos – solares fotovoltaicos; ii) Elaborar un estudio técnico para la implementación de torre de sistemas eólicos - solares fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica; y, iii) Desarrollar un modelo de factibilidad económica para la generación de energía eléctrica a través de un sistema eólico - solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil.

Materiales y métodos

El método racional de análisis se utiliza para obtener información en fenómenos que no pueden comprobarse a través de métodos experimentales. En este sentido, el proyecto presentado es susceptible a un método racional, debido a que no puede realizarse un experimento sobre la instalación de sistemas híbridos eólicos – solares y su efecto; sin embargo, es racional suponer que la generación de energía eléctrica por fuentes naturales colabora no sólo en el abastecimiento de energía para la facultad de ingeniería industrial de la Universidad de Guayaquil, sino que aporta a la conservación del medio ambiente.

El nivel de la investigación de campo es descriptivo. Los datos que se recolectan se basan en el nivel de matriculación actual y está limitado por la emergencia sanitaria que rige en el país. La investigación tiene un enfoque cuantitativo. El estudio constituye una investigación deductiva, de tipo cuantitativa, descriptiva.

Dadas las condiciones de distanciamiento social, los datos se recolectaron a través de encuestas en línea. El instrumento de recolección de datos se orienta a determinar el uso que tendría el sistema de generación de energía en el campus de análisis.

La población de estudio para esta investigación son los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil. Para determinar el tamaño muestral se plantea la fórmula de tamaño de la muestra para estimación de una proporción en una población finita.

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{Z^2 * p * q + e^2 * (N - 1)}$$

Donde, Z es el estadístico de una distribución normal estándar con media 0 y varianza 1. Toma el valor de 1,96 para un 95% de confianza; p es la probabilidad de éxito y se asume en 50%; q es la probabilidad de fracaso; N es el tamaño de la población que para este estudio corresponde a 3.881 estudiantes en el período de análisis. Finalmente, e corresponde al error máximo permitido por el investigador. En este estudio toma el valor de 0.05. El tamaño resultante de la muestra es de 350 observaciones.

Para el trabajo de campo se envió un cuestionario vía internet a la base total de estudiantes, se obtuvo respuesta de 350 para poder sacar conclusio-

nes sobre la población. Las variables consultadas fueron: Frecuencia de uso de tomacorrientes de la facultad para celulares, computadores portátiles o tablets; horas promedio de uso al día; y, disponibilidad de tomacorrientes en el campus.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

Tabla 12.

Resumen de resultados de las encuestas.

| Variable | Frecuencia | Frecuencia relativa |
|--|------------|---------------------|
| Número de encuestados | 350 | 100% |
| Uso de tomacorrientes de la universidad con frecuencia diaria. | 283 | 81% |
| Horas promedio diarias de uso (De 1 a 2 horas) | 123 | 35% |
| Disponibilidad de tomacorrientes en el campus: Insuficientes | 213 | 61% |
| Encuestados que no estarían dispuestos a pagar por el sistema (valoración) | 288 | 82% |

Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados de la investigación de campo. Para su presentación se utilizan estadísticas descriptivas a través de frecuencias absolutas, frecuencias relativas y gráficos de barras.

Tabla 13.

Clasificación de la muestra por género.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R. |
|-------------------|------------|---------------|
| Masculino | 157 | 44,86% |
| Femenino | 193 | 55,14% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

Como se observa en la tabla 13, se encuestaron 350 personas entre estudiantes, docentes, administrativos y otro personal de la universidad. Aproximadamente un 45% pertenece a género masculino y un 55% a género femenino; por tanto, se puede concluir que se cumple con principios de equidad de género para la obtención de la información al respecto del proyecto.

Al respecto de la relación de los encuestados con la universidad, la información se presenta en la tabla 14.

Tabla 14.

Grupos de entrevistados.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R. |
|-------------------|------------|---------------|
| Estudiante | 288 | 82,29% |
| Docente | 27 | 7,71% |
| Administrativo | 21 | 6,00% |
| Otro | 14 | 4,00% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

Según se muestra en la información, de cada 5 encuestados cuatro tenían la calidad de estudiantes; convirtiéndose así en el grupo más grande de la muestra. Los otros tres grupos se encuentran relativamente cercanos en representación acorde a los porcentajes obtenidos. Así, los docentes corresponden al 7,7%, los administrativos al 6% y otros con el 4%.

Tabla 15.

Edad de los encuestados.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R. |
|-------------------|------------|---------------|
| Menos de 20 | 133 | 38,00% |
| Entre 20 y 30 | 142 | 40,57% |
| Entre 30 y 40 | 38 | 10,86% |
| Más de 40 | 37 | 10,57% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

Los datos muestran que la mayoría de los encuestados se encuentran por debajo de los 30 años. Este grupo se separa en 2: menores de 20 y de 20 a 30 años. Ambos subgrupos presentan un porcentaje similar, lo cual se justifica en los primeros años de universidad en los cuales los estudiantes oscilan entre 17 y 19 años. Los grupos que recogen a personal entre 30 y 40 años, así como personas de más de 40 años; corresponden al 10% de la muestra cada uno.

A partir de la tabla 16 se muestran las respuestas que corresponden al uso de tomacorrientes en la universidad. No se consultó a los encuestados el uso que le deban a dichos tomacorrientes, sin embargo, se conoce que en su mayoría se utilizan para carga de dispositivos celulares.

Tabla 16.

Frecuencia de uso de tomacorrientes de la institución.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R |
|-------------------|------------|--------------|
| Todos los días | 220 | 62,86% |
| Frecuentemente | 117 | 33,43% |
| Rara vez | 10 | 2,86% |
| Nunca | 3 | 0,86% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

Los datos muestran el comportamiento de uso de tomacorrientes de la facultad caso de estudio. Las estadísticas señalan un uso constante de los tomacorrientes. El 63% de los encuestados indica que usan los tomacorrientes con frecuencia diaria, mientras que el 33% señala que lo hace con frecuencia.

Ciertamente la palabra frecuente puede resultar ambigua en cuanto al uso que les da el personal a los tomacorrientes, no obstante, los datos dejan en claro la importancia de dichos tomacorrientes para estudiantes, docentes y personal en general. Por tal motivo, la siguiente pregunta en la investigación estuvo orientada a determinar la cantidad de horas que se utilizan los tomacorrientes. Esta información es base para determinar la demanda potencial de uso de energía eléctrica que puede satisfacer el sistema de generación de energía.

Tabla 17.

Tiempo de uso de los tomacorrientes por cada ocasión.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R. |
|-------------------|------------|---------------|
| Menos de 1 hora | 150 | 42,86% |
| Entre 1 y 2 horas | 164 | 46,86% |
| Entre 2 y 4 horas | 30 | 8,57% |
| Más de 4 horas | 6 | 1,71% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

Como se presenta en la tabla 17, así como la mayoría de los encuestados señaló un uso diario de los tomacorrientes, cerca del 90% señala que su uso se da hasta dos horas. El 43%, específicamente, indica que el uso de menor a una hora. Por tanto, se puede concluir en la importancia de la disponibilidad de los tomacorrientes debido a una demanda con alta frecuencia y poco tiempo de uso.

Una vez que se investigó sobre la frecuencia de uso y tiempo de uso de los tomacorrientes, se consultó a los encuestados sobre su percepción al respecto del número de tomacorrientes disponibles en la facultad. Los resultados validan una hipótesis previa del investigador: debido a la frecuencia de uso de los tomacorrientes y al tiempo de uso de estos, la cantidad de tomacorrientes disponibles se percibe como insuficiente.

Con la información obtenida se procedió a la estimación de la valoración contingente. Una valoración contingente permite la estimación de una curva de demanda a través de la disponibilidad a pagar reportada por un servicio hipotético que no existe y que probablemente no existirá. La importancia de su uso es conocer la rentabilidad social de un proyecto. Este tipo de análisis es muy utilizado en proyectos ambientales. En este sentido, se consultó a los encuestados si estuviesen dispuestos a pagar un valor para que se incremente el número de tomacorrientes en la facultad.

Tabla 18.

Disposición a pagar.

| Etiquetas de fila | Frecuencia | Frecuencia R. |
|--------------------------|-------------------|----------------------|
| Si | 31 | 8,86% |
| No | 319 | 91,14% |
| Total, general | 350 | 100,00% |

La tabla 18 muestra los resultados de la disponibilidad a pagar, sin embargo se deben reconocer los siguientes puntos: i) la Universidad de Gyaquil es una institución pública por lo que los estudiantes no tienen valores a cancelar por su educación, por tanto, considerar valores a pagar para uso de tomacorrientes es una concepción fuera del ámbito natural del personal; ii) una mayor disponibilidad de tomacorrientes, no garantiza la disponibilidad inmediata para cuando cada persona necesite usar uno, puesto que no existe reserva de los mismos.

Los resultados muestran que un 90% de los encuestados no estaría dispuesto a pagar por este servicio. Por tanto, se evidencia el uso del recurso y la importancia de este, pero el personal asume que esto es responsabilidad de la institución y no existe necesidad de una inversión privada para ello.

Independientemente del número de encuestados que respondió que no estaría dispuesto a pagar, se obtuvo la estadística descriptiva con aquellos que respondieron que si estuviesen dispuestos a cancelar. El valor promedio

que las personas estarían dispuestas a pagar por el sistema de energía renovable que permita el incremento de tomacorrientes en la facultad se ubica entre \$2.83 y \$3 mensuales. Si este valor se multiplica por el número de personas que usan los tomacorrientes, se obtendría el impacto social del proyecto.

Conclusión

Una vez expuestos los resultados de la investigación, en este apartado se exponen las conclusiones generales del estudio. El objetivo inicial planteado por los investigadores es desarrollar un modelo de factibilidad técnico económico para la generación de energía eléctrica, mediante la implementación de un sistema eólico - solar fotovoltaico, para el ahorro económico y la sustentabilidad. Para el cumplimiento de dicho objetivo, se habían planteado objetivos específicos que se han abordado a lo largo del estudio.

El primer objetivo específico consistió en sintetizar los fundamentos teóricos y estado del arte de la energía eléctrica a través de sistemas híbridos eólicos – solares fotovoltaicos. Al respecto, se consultaron estudios previos sobre la implementación de sistemas híbridos y el impacto que habían generado. La literatura muestra un impacto positivo en términos económicos y ambientales en los casos previos. Así mismo, se presentó la información teórica referente a paneles solares y sistemas eólicos, lo cual permitirá el desarrollo posterior de la parte técnica en los resultados.

Finalmente, los investigadores se proponen desarrollar un modelo de factibilidad económica para la generación de energía eléctrica a través de un sistema eólico - solar fotovoltaico en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil. Este objetivo se cumplió en dos partes dentro de los resultados. En la parte técnica se pueden observar los cálculos en cuanto a consumo y costo de materiales se requiere; mientras que en el estudio de mercado se puede identificar la demanda insatisfecha que existe de tomacorrientes y energía dentro de la zona de incidencia. Si bien la pregunta de valoración contingente muestra que los consumidores no están dispuestos a pagar por este servicio por tratarse de una institución pública, las otras preguntas muestran que existe la necesidad de mayor generación de energía y bajo costo. Por tanto, el desarrollo del proyecto es factible.

Conflictos de intereses

Los autores no refieren conflictos de intereses.

Referencias

- Schallenberg, J., Piernavieja, G., Hernández, C., Unamunzaga, P., García, R., Díaz, M., Subiela, V. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Islas Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias S.A.
- Mikati, M., Santos, M., & Armenta, C. (2012). *Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 9, 267 - 281.
- Ponce, C., García, L., Caberta, R., & Valenzuela, R. (2014). *Diseño de un sistema Híbrido Eólico Solar para suministro de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua*. CULCyT N° 54, 46 - 62.
- Muñoz, J., Chávez, F., Boza, J., & Tachong, L. (2016). *Determinación de áreas óptimas para instalaciones de energía solar y eólica en el cantón Quevedo, aplicando sistemas de información geográfica*. Revista caribeña de Ciencias Sociales, 1 - 19.
- Henao, D., Báez, A., & Pedroza, J. (2018). *Methodology to determine the feasibility of generating electric power through the wind resource*. Revista Investigación e Innovación en Ingenierías Vol 6 N°2, 1 - 9.