



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE SISTEMAS HÍBRIDOS PARA EL SECTOR RURAL DEL MUNICIPIO DE TOCAIMA, COLOMBIA

Laura Valentina Chaux Olaya, Juan José Porras, Johan Sebastián Molina

**Universidad Piloto de Colombia
Girardot, Colombia**

Resumen

El objetivo de esta investigación es montar un sistema híbrido FV-eólico en el sector rural del municipio de Tocaima - Colombia, con base en acuerdos de cooperación entre la Universidad Piloto Seccional del Alto Magdalena Colombia y los municipios de su área de influencia, para desarrollar soluciones que reduzcan la desigualdad social, económica y la pobreza, a través de servicios básicos de calidad, con el montaje de sistemas basados en el uso de energías alternativas como articuladores de las soluciones, donde se supone, que estamos en el camino correcto desde el desarrollo rural: la reducción de la pobreza, reducción del hambre, apego a la tierra, el aumento de la cobertura en el servicio público. Culminará con un diseño de un prototipo de vivienda sobre dicho territorio, con generación de energía híbrida que impactará en variables como el aspecto social, el aspecto económico y el aspecto ambiental, pero no antes de buscar los aspectos relevantes del sector con una caracterización que involucre datos de personas a partir del territorio y sus relaciones que definen las diferentes huellas sobre el agua y el carbono que determinan el comportamiento de la población urbana y rural. En esta caracterización también se incluyen datos geográficos, datos meteorológicos, datos técnicos que describen procesos de transformación de sistemas energéticos eólicos, estructurales y sistemas fotovoltaicos.

Palabras clave: sistemas fotovoltaicos; vivienda de interés rural; desarrollo sostenible

Abstract

The objective of this research is to assemble a PV-wind system in the rural sector of the municipality of Tocaima - Colombia, based on cooperation agreements between the Pilot University of the Alto Magdalena and the municipalities of its area of influence, to develop solutions that reduce social,

economic and poverty inequality, through quality basic services, with the assembly of systems based on the use of alternative energies as articulators of the solutions, where it is assumed that we are on the right track from the rural development : reducing poverty, reducing hunger, attachment to land, increasing coverage in the public service. It will culminate with a design of a prototype on said territory, with hybrid power generation that will impact on variables such as the social aspect, the economic aspect and the environmental aspect, but not before looking for the relevant aspects of the sector with a characterization that involves data of people from the territory and their relationships that define the different traces of water and carbon that determine the behavior of the urban and rural population. This characterization also includes geographic data, meteorological data, technical data describing transformation processes of wind, structural and photovoltaic energy systems.

Keywords: *photovoltaic systems; rural interest housing; sustainable development*

1. INTRODUCCIÓN

La trascendencia de las energías alternativas en el desarrollo sostenible, de cara a los procesos del siglo XXI, exige de la ingeniería investigaciones que enriquezcan la sustentabilidad en el contexto para las futuras generaciones, en el marco de la infraestructura y desarrollo de la ciudad región: línea de investigación del programa en la UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA, SECCIONAL ALTO MAGDALENA-COLOMBIA, no como una obligación oficial, sino como un requerimiento moral y ético de todo ciudadano, que ame la convivencia con los demás y con el medio ambiente sin dejar de lado el punto de equilibrio económico que redunde en lo social.(p.11-13). (Barragán A., 2013).

En la época actual, la implementación de energías renovables ha generado un hito en el ámbito ecológico y energético alcanzando la escala global. La energía fotovoltaica, una de las más destacadas opciones entre el selecto grupo del desarrollo sostenible, ha adquirido un papel fundamental en países desarrollados, especialmente en el sector europeo, con países como Alemania, que se encuentra en estatus de potencia en las energías alternativas. Países como Colombia que poseen una ubicación tropical, que les permite recibir la luz del sol con mayor intensidad y durante un mayor periodo del tiempo, donde los paneles según la experiencia de los estudiantes autores de este artículo, en cualquier posición generan energía fotovoltaica y en un periodo que en promedio supera las seis (6) horas de radiancia, Está en mora de adquirir dicho estatus por que cumple con las características y requisitos para convertirse en una nación que puede ser auto sustentable no solo en energía eléctrica fotovoltaica sino en cualquier tipo de energía renovable.

Teniendo en cuenta las anteriores apreciaciones **Generación de energía eléctrica a partir de sistemas híbridos para el sector rural del municipio de Tocaima, Colombia** es un proyecto con miras a generar impacto social y a la mejora de la calidad de vida de una comunidad, el cual implementa los objetivos de desarrollo sostenible como son fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar, energía asequible y no contaminante, trabajo decente y crecimiento económico, industria, innovación e infraestructura y la reducción de las desigualdades, donde se lleva a la

inclusión de los habitantes de la vereda Vázquez a través del servicio de energía eléctrica, el cual es un servicio indispensable para cualquier individuo, generando un cambio significativo en las personas y sembrando la semilla del progreso en la comunidad de dicha vereda. De igual manera se busca causar un impacto significativo en el medio ambiente, demostrando que podemos aprovechar la diversidad de riquezas y recursos que poseemos en nuestro territorio, sin generar daño alguno, al agua, al aire, al suelo.

2. Marco teórico

El objetivo del presente proyecto de investigación de ingeniería civil es el diseño de un sistema de energía eléctrica el cual cubre un impacto a nivel social de la comunidad contribuyendo a una mejora en la calidad de vida, brindando a su vez servicios básicos como lo son servicio de electricidad, agua potable, sanitarios y saneamiento. Por otra parte, también cubre un impacto ambiental debido a que la energía es tomada directamente desde los rayos de la luz solar por lo tanto no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂. Además, las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, el cual se obtiene a través de la arena y es un elemento abundante en la naturaleza, a su vez no se presentan movimientos de tierra lo que contribuye a que el suelo no tenga una erosión. Así mismo el sistema fotovoltaico es silencioso. Por otro lado, cubre un impacto económico debido a que a lo largo del tiempo este sistema ha ido evolucionando con diversas tecnologías que garantizan una mejor eficiencia y producción en grandes volúmenes con una disminución de costo; por lo tanto, la energía solar fotovoltaica es más barata y accesible a gran parte de usuarios. Otro objetivo de esta investigación consistió en darle un enfoque hacia la construcción de prototipos de un sistema de energía fotovoltaico con el fin de beneficiar a las comunidades de escasos recursos que habitan en las zonas rurales de la provincia del Alto Magdalena– Colombia. El propósito del proyecto siempre estuvo enmarcado en el desarrollo sostenible, es decir, en el manejo eficiente de los recursos que nos brinda el medio ambiente, proporcionando la restauración del entorno y, por ende, el acceso a una mejor calidad de vida.

2.1. Transformaciones de energías en un sistema híbrido

Transformaciones de energía en un sistema fotovoltaico

Todo comienza con el efecto fotoeléctrico que en resumen es:

Energía de un fotón absorbido = Energía necesaria para liberar 1 electrón + energía cinética del electrón emitido.

Algebraicamente:

$$hf = hf_0 + \frac{1}{2}mV^2 \quad (5)$$

h: constante de Planck (6.63×10^{-34} J.s)

f: frecuencia de la radiación incidente

f₀: Frecuencia umbral del nivel donde se encuentra el electrón, frecuencia mínima que debe tener la radiación para extraerlo de dicho nivel.

$\frac{1}{2}mV^2$: Energía cinética que adquiere el electrón después de ser extraído del nivel donde se encuentra por la radiación incidente.

La ecuación (5) se puede escribir en forma simplificada como:

$$hf = \varphi + E_K \quad (6)$$

Esta ecuación se puede escribir como

$$h \frac{c}{\lambda_i} = \frac{c}{\lambda_0} + E_K \quad (7)$$

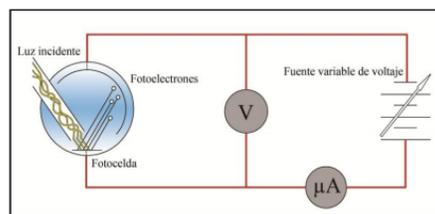
λ_i : Longitud de onda del foton incidente sobre el panel solar

λ_0 : Longitud de onda de la energía umbral que se necesita para hacer el trabajo de extracción de la órbita al electrón del átomo de silicio.

Con base en lo anterior es menester analizar la rápida respuesta del fenómeno del efecto fotoeléctrico y sus resultados sobre las clases de paneles que hay en el mercado: paneles monocristalinos, paneles policristalinos y paneles amorfos. "Una célula de silicato monocristalinos solo responde a longitudes de onda incidente en el intervalo de 350 y 1100 nanómetros, con un máximo alrededor de 800 nanómetros, mientras que para el silicio amorfo va de los 350 hasta los 800 nanómetros, con un máximo alrededor de los 520 nanómetros." (Blasco Solbes, 2009, pág. 7)

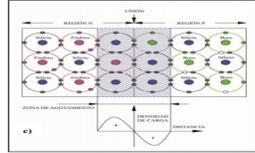
Las radiaciones provenientes del sol en los intervalos de longitud de onda respectivos cumplen su propósito: extracción de los niveles atómicos de los electrones de los paneles solares de los electrones de valencia, pero el papel protagónico en la superficie del dispositivo lo cumplen los semiconductores de tipo p-n que por dopaje se han insertado en la estructura física y electrónica, propiciando una corriente eléctrica que se aprovecha alimentando las baterías del sistema híbrido. Los elementos químicos utilizados en este proceso de dopaje son el boro y el fósforo, el boro como aportante de huecos positivos y el fósforo como aportante de electrones quienes dotan a la estructura cristalina de una conductividad eléctrica que proporcionan los rendimientos de los paneles solares utilizados en el sistema híbrido de esta investigación.

Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico



Fuente: *Imágenes con instrumentos científicos* (Instruments, s.f.)

La dinámica intrínseca que se establece en la zona electrón hueco en los paneles solares, son las responsables de la conductividad mientras se tenga controlado el aumento del campo eléctrico, que a la postre detendrá el proceso de difusión de no incluir el mecanismo de control, al unir estas dos regiones los electrones de la región N se difunden hacia la región P. Al contrario, los huecos de la región P se difunden hacia la región N indefinidamente, formando la región N-P, que es la garantía de la eficiencia del panel, a pesar de los diferentes valores de las corrientes que se forman. En la actualidad, esta tecnología está bien posicionada con respecto a los demás tipos de energías renovables debido a su simplicidad para ser utilizada en puntos aislados de red, zonas rurales o de difícil acceso, requieren de un mantenimiento sencillo, modular y muy versátil, adaptable a diferentes situaciones (ACCIONA, 2017)

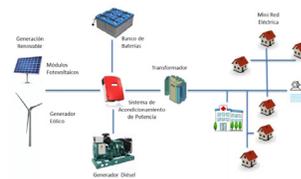


Fuente: Revista Tecnológica ESPOL – RTE, Vol. 26, N. 2 página 7.

Este planteamiento del gran científico del siglo XX lo mantiene vigente en la tecnología de la energía fotovoltaica, que en nuestro medio constituye una idea de peso donde cada día gracias al impulso de las ideas de desarrollo sostenible, hacen crecer el interés de la población y los índices de utilización ya marcan un guarismo adicional al año anterior. “Las evoluciones de las concepciones sobre este particular han sido aceleradas por el cambio climático, que tiene su origen en las emisiones de carbono. Dicha situación pone de presente el uso de energías limpias o no contaminantes, conexas a este asunto las patentes sobre este particular se han multiplicado entre el 2004 y 2008” (Hernandez Mendible, 2013, pág. 257)

2.2. Sistema híbrido

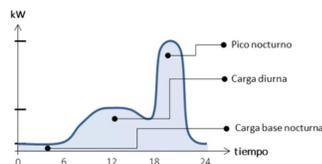
Un sistema híbrido es aquel que combina en una sola instalación varias fuentes energéticas, conectadas a una mini-red de distribución. Están compuestos generalmente por fuentes renovables y generación fósil, un sistema de control, y pueden incluir baterías para acumular la energía producida.



Fuente: Energía para el futuro. (Lafuente, 2015)

¿Cuáles son las ventajas de un sistema híbrido?

La figura muestra la curva de carga típica de un poblado rural de cualquier país de Latinoamérica o el Caribe.



Fuente Energía para el futuro. (Lafuente, 2015)

En la curva se observan 3 niveles de demanda, una carga base nocturna (iluminación pública, refrigeración), una carga diurna, y un pico nocturno (iluminación general). En poblados pequeños, un generador fósil normalmente cubre solo el pico nocturno, y funciona

de 3 a 4 horas por día; en poblados mayores, la generación fósil funcionaria normalmente alrededor 16 horas, cubriendo la carga diurna y el pico nocturno.

2.3. Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC). Esta energía, mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en residencias y comercios.

La generación de energía eléctrica dependerá de la energía lumínica y la cantidad de horas que el sol actué sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación.

Los dispositivos a través de los cuales se absorbe la energía solar son los paneles solares. Estos son elementos de los sistemas fotovoltaicos que tienen la capacidad de producir energía eléctrica al aprovechar la irradiación solar que incide en ellos.

3. Objetivos

Diseñar y poner en marcha un sistema híbrido sobre una vivienda de la zona rural del municipio de Tocaima Cundinamarca.

4. Metodología

La metodología seguida es de carácter aplicado con un enfoque científico, donde se manejan variables cualitativas y cuantitativas derivada de la recolección con base en encuestas y entrevistas en la zona de estudio. El análisis se realizó en una población distribuida en doce viviendas que albergaban 12 familias ubicadas en la vereda Vásquez del municipio de Tocaima – Colombia. De las doce viviendas se realizó una visita a una vivienda ubicada en el sector rural en el municipio Tocaima, Colombia conocido como el Peligro, vía Jerusalén en la vereda antes mencionada. Se realizó la caracterización de la vivienda, donde se observó el estado de ella y las condiciones en las que se encuentra. Por consiguiente, se realizó otra visita con el fin de realizar las medidas correspondientes en el terreno que se va a construir, analizando que dicho sector se encuentra en desnivel y no cuenta con los servicios básicos que son agua potable, red eléctrica, saneamiento y gas natural. Inicialmente el proyecto fue centrado en el servicio social con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan allí. Luego se elaboró el diseño de los planos para poder llevar a cabo el presupuesto, con el fin de trabajar en conjunto con la Universidad Piloto de Colombia seccional alto magdalena y la Alcaldía del municipio de Tocaima.



Fuente: autoría propia, tomadas desde un Dron.

Se realizó un análisis de las condiciones del lugar donde estaba ubicada la vivienda y las características de esta, en el cual se determinó los puntos a tratar como son el mejoramiento de la cocina, los baños, la vivienda y servicios básicos (agua, luz).

5. Avance de energía fotovoltaica

Con este proyecto se busca dar solución a uno de los problemas que se presenta en, Tocaima – Colombia, municipio que de acuerdo con el último Censo presenta el 5,6% de las familias del sector rural sin el servicio eléctrico, por razones disímiles correlacionadas con el paso de las redes eléctricas, la economía de los campesinos, la pobreza absoluta, la falta de oportunidades, la



desatención a la producción agrícola y otras más que están por averiguarse en el desarrollo de esta investigación. De 56 viviendas que a la fecha no tienen el servicio de energía eléctrica se apostó por la de la familia Perdomo Ariza con el objeto de suministrarle dicho servicio derivado de la energía fotovoltaica. **SENTRAM** como semillero de investigación formativa y su tutor son el recurso humano que ha echado para adelante esta iniciativa, donde se experimentan diversas reacciones frente a variables como la socioeconómica, la condición de la familia frente a los desarrollos del siglo XXI, el olvido del campesino como ente productivo y significativo de la sociedad colombiana. Se realizaron las mediciones respectivas de la radiancia del lugar, los parámetros relacionados con la ubicación del lugar desde las coordenadas geográficas, la trayectoria del sol por este sector, la velocidad del viento, se diseñó el plano eléctrico donde se distribuyeron las potencias. De acuerdo con los puntos de uso eléctrico (toma corriente, interruptores, luminarias)

Se compararon los elementos arriba visualizados y se hizo la siguiente ficha técnica para esta familia en especial de allí se dedujo el siguiente presupuesto:

6. Presupuesto



COTIZACION				
ITEM	PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Panel Solar Monocristalino 340W (72)	1	\$ 1.001.389	\$ 1.001.389
2	Controlador PWM 10A – 12/24VDC		\$ 200.339	
3	Inversor DC-AC 375W/24VDC Onda Pura	1	\$ 790.984	\$ 790.984
4	Batería AGM 12VDC - 75AH	1	\$ 714.581	\$ 714.581
			SUBTOTAL	\$ 2.506.954
			IVA 19%	INCLUIDO
			TOTAL	\$ 2.506.954

7. Conclusiones

- Los sistemas híbridos son una alternativa para resolver problemas de la carencia de energía eléctrica en zonas rurales que por razones de costos en la prestación del servicio no han sido suplidos y que en el municipio de Tocaima ascienden a 96 viviendas según el EOT y el censo realizado en el 2018.
- El entorno regional adolece de una cultura ambiental y por ende del conocimiento y uso de las energías alternativas, constituye resistencia al cambio del uso de combustibles fósiles y uso de sistemas eléctricos convencionales, con el agravante de seguir deteriorando el medio ambiente con sus consecuencias
- Los gobernantes locales de turno, como alcalde y concejales han querido trabajar las normativas sobre el uso de la energía solar en Colombia empezando a dar pasos sobre el servicio de energía eléctrica a familias del municipio que carecen de este a través de la energía fotovoltaica de manera paulatina.

8. Referencia

Artículos de revistas

- Revista Construir No. 59, Arquitecto FABIÁN CARRETA RODRÍGUEZ M., H. Estado Actual de la I&D de las FENR en Colombia. Bogotá. Colciencias, 1982, pp. 263
- Barragán A., A. (13 de julio - diciembre de 2013). El alto Magdalena- Colombia de la mano con las energías alternativas. (G. Correa H., Ed.) *Lampasakos*(10), 1-114. doi:<https://doi.org/10.21501/issn.2145-4086>
- Revista Tecnológica ESPOLE – RTE, Vol. 26, N. 2 pagina 7.

Fuentes electrónicas

- Ministerio de Minas y Energía, INEA, HIMAT, Atlas de Radiación Solar de Colombia Ministerio de Minas y Energía, INEA, HIMAT, Atlas de Radiación Solar de Colombia. Obtenido de:<https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/Atlas%20de%20radiaci%C3%B3n%20solar%20Colombia.pdf>
- ACCIONA. (21 de 06 de 2017). ACCIONA . Obtenido de <http://https://www.accionacom.com/es/>
- *Atlas de Radiación Solar de Colombia IDEAM.* (s.f.). Obtenido de Atlas de Radiación Solar de Colombia IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>
- Barragán A., A. (13 de julio - diciembre de 2013). El alto Magdalena- Colombia de la mano con las energías alternativas. (G. Correa H., Ed.) *Lampasakos*(10), 1-114. doi:<https://doi.org/10.21501/issn.2145-4086>

- *Blogspot.* (s.f.). Obtenido de Blogspot: http://3.bp.blogspot.com/_QpzjxWxlkmc/TJtKaquvcBI/AAAAAAAAAAM/rBnS_zlBrGk/S1600-R/energia-panel-solar.jpg
- GOBIERNO DE COLOMBIA. (14 de Marzo de 2016). Obtenido de GOBIERNO DE COLOMBIA: https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=130&Itemid=236
- *GSTRIATUM.* (s.f.). Obtenido de http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/98_celulafoto_voltaica_energiasolar.html
- *GSTRIATUM.* (2019). Obtenido de GSTRIATUM: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2008/12/09/que-es-un-panel-solar/>
- Instruments, I. S. (s.f.). *Images Scientific Instruments.* Obtenido de Images Scientific Instruments: <http://www.imagesco.com/>
- Lafuente, A. D.-R. (5 de Noviembre de 2015). *Energía para el futuro.* Obtenido de Energía para el futuro: <https://blogs.iadb.org/energia/2015/11/05/cual-es-la-importancia-de-los-sistemas-hibridos-para-america-latina-y-el-caribe/>
- *Milliarium.* (s.f.). Obtenido de Milliarium: http://www.miliarium.com/monografias/energia/E_Renovables/Fotovoltaica.htm
- Osorio, V. L. (s.f.). UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO. Obtenido de UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO: <http://www.uaq.mx/matematicas/estadisticas/xu5.html>.

Sobre los autores

- **Johan Sebastián Molina:** Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. sebastian20140918@gmail.com
- **Laura Valentina Chaux Olaya:** Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. laurachaux2699@hotmail.com
- **Juan José Porras:** Estudiante de ingeniería civil fase de pregrado. juanporras@unipiloto.edu.co
- Autor 4: Licenciado en matemáticas y física. Magister en educación de la Universidad del Tolima. g-abarragan@unipiloto.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)