

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADA EN PANELES FOTOVOLTAICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN ÁREAS QUE UTILIZAN CLARABOYAS PARA ILUMINACIÓN

Holguer Humberto Noriega Zambrano <sup>(1)</sup>, Wilson Daniel Pereira Espinoza <sup>(2)</sup>, Sísifo Daniel Falcones Zambrano, Ph.D. <sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación <sup>(1)(2)(3)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) <sup>(1)(2)(3)</sup>  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador. <sup>(1)(2)(3)</sup>  
hnoriega@espol.edu.ec <sup>(1)</sup>, wildepere@espol.edu.ec <sup>(2)</sup>, sixifo@espol.edu.ec <sup>(3)</sup>

## Resumen

*El presente trabajo muestra el diseño de un sistema de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos en forma de persianas para mejorar la eficiencia energética de los edificios con claraboyas. El análisis, y la solución del problema se centran en reducir el efecto invernadero de dichos inmuebles. Para esto, se implementó un prototipo- que simula las condiciones climáticas y estructurales del edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de ESPOL. Este modelo contiene a los paneles fotovoltaicos en su parte superior, usa un circuito electrónico (seguidor solar), que los hace girar de una manera eficiente de acuerdo al movimiento relativo entre la tierra y el sol. También se cuenta con un circuito dimmer que maneja la intensidad de luces leds de acuerdo a la existencia de luz dentro del prototipo.*

*Con la estructura antes mencionada, se evita una irradiación solar directa sobre el interior del prototipo (edificio)- disminuyendo así el efecto invernadero, sumado también a la generación limpia de energía eléctrica. La central de acondicionador de aire, tiene menos trabajo de enfriar su interior, reduciendo el consumo de energía de red, y por tanto su facturación. Se hizo un análisis energético y económico del sistema a implementar.*

*Al ser un prototipo que simula condiciones objetivas de edificios con claraboyas, en un futuro se lo puede aplicar en este tipo de construcciones alrededor del mundo.*

**Palabras Claves:** paneles solares, radiación solar, eficiencia energética, claraboyas.

## Abstract

*This paper presents the design of a power system using photovoltaic panels as blinds to improve energy efficiency in buildings with skylights. Analysis and problem solution focus on reducing the greenhouse effect of these properties. For this, a prototype has been implemented, which simulates the climatic and structural conditions of the main building of the Faculty of Electrical Engineering and Computer Science at ESPOL. This model contains photovoltaic panels on the top, it uses an electronic circuit (solar tracker), which rotates efficiently according to the relative motion of the sun. It also has a dimmer circuit that will handle the intensity LED lights according to the existence of light within the prototype.*

*With the structure, a direct solar radiation on the internal prototype (building) is avoided - thus reducing the greenhouse effect, also adding to the clean generation of electricity. The central air conditioner has less work to cool the interior, reducing the energy consumption of network, and therefore its billing. Energy and economic analysis of the system to be implemented was made.*

*Being a prototype that simulates objective conditions of building with skylights s, in the future it can be applied in this type of construction around the world.*

**Keywords:** solar panels, radiation solar, energy efficiency, skylights.

## 1. Diagnóstico de la situación actual o línea de base de la investigación

La humanidad desde la antigüedad ha buscado el confort en su hábitat, pasando de *adaptarnos al medio* a *adaptar el medio*, para sobrevivir. Este proceso de adaptar al medio trae entre muchas consecuencias una principal: "*el impacto ambiental*", de tal manera que desde hace ya algunos años se ha tratado que éste impacto del ser humano sobre el medio ambiente sea el mínimo posible y una de las formas de hacerlo es el uso de energías renovables.

Una de las mayores fuentes de energía que la Tierra tiene a su disposición es el Sol y, aunque en ocasiones nos olvidamos de su efecto, se aprovecha en algunas partes del mundo por medio del uso de paneles fotovoltaico, que en base al efecto fotoeléctrico transforma la energía solar en energía eléctrica que una vez tratada nos sirve para alimentar los diferentes equipos eléctricos destinados a ayudarnos en nuestro diario vivir.

Es más frecuente observar en estos días, edificios alimentados eléctricamente mediante el uso de paneles solares, así como también de empresas que proveen de este servicio, convirtiéndose la instalación de estos paneles en uno de los medios para llevar alimentación eléctrica a zonas remotas.

## 2. Hipótesis o preguntas de investigación

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral ya se cuenta con un sistema híbrido de generación de energía, el cual consiste en una combinación de paneles solares y un aerogenerador, que alimenta la última planta del edificio del rectorado. Esta iniciativa nos hace preguntar, ¿por qué no utilizarlos en otros edificios? y ¿Cuáles serían los edificios más apropiados? Para dar una respuesta a estas interrogantes se realizó una pequeña investigación exploratoria, y se notó que en el edificio de Gobierno de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), específicamente en el área C de profesores, existe un problema de eficiencia de energía- debido a la exposición de radiación solar en esta área- por medio de la claraboya. *Figura 1*, lo que provoca un mayor trabajo de la central de aire acondicionado- al tener que enfriar la región expuesta al sol.

Se plantea como solución a este problema, la siguiente hipótesis: mediante la instalación de paneles solares en forma de persianas con un seguidor solar, impedir que la radiación solar caliente el área mencionada (disminución de efecto invernadero), y en su lugar dicha radiación sea captada por los paneles, convirtiéndola en energía eléctrica que alimentará a

luminarias de bajo consumo instaladas en el área y al aire acondicionado, consiguiendo así una mejora en la eficiencia energética.



Figura 1. Vista de la claraboya del Área C – Profesores del Edificio de FIEC

## 3. Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un sistema solar de generación eléctrica para el mejoramiento de la eficiencia en el consumo eléctrico para un área que disponga claraboya para luz natural. El sistema propuesto se basa en un prototipo con paneles fotovoltaicos para el aprovechamiento de la energía solar.

### Objetivos específicos

- Diseñar los componentes mecánicos del movimiento de los paneles solares del sistema: sistema de engranajes, montaje de los paneles fotovoltaicos en forma de persianas.
- Seleccionar los componentes eléctricos del sistema, entre los cuales están: Sensores de luz, Motor Eléctrico, drive, Inversor para panel fotovoltaico, Variador de Frecuencia (VFD).
- Diseñar el control de seguimiento solar del sistema, en base a la radiación existente en el área del prototipo, y la ubicación relativa de los paneles fotovoltaicos con respecto al sol.
- Realizar el análisis económico y financiero de la amortización del sistema a construir en el Área C- Profesores del Edificio de la FIEC, basado en el prototipo funcional.

## 4. Materiales y Métodos

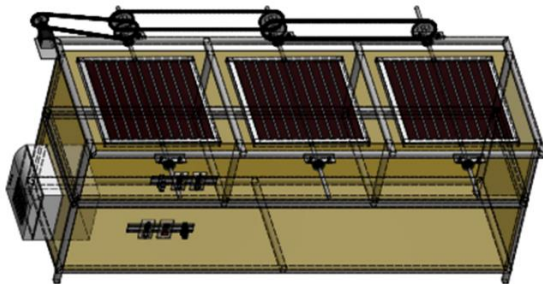
### Materiales

El proyecto se basa en la ubicación particular de los paneles solares sobre claraboyas, y la generación de energía eléctrica por los mismos. Para lo cual se creó un prototipo, mostrado en la *Fig. 2*. Los paneles solares se montan en forma de persianas (ubicadas en la claraboya del prototipo), las cuales se moverán dependiendo de la posición relativa de éstos con el sol, consiguiendo de esta manera disminuir el efecto invernadero y por tanto, menor trabajo de la central de acondicionador de aire, y menos gastos.

Según se observa en la *Fig. 3*, el prototipo constará de un seguidor solar, un juego de engranajes, un motor, el sistema eléctrico de generación (inversor conectado a la red, luces leds, tomacorrientes, fusibles, breakers), un acondicionador de aire de ventana, recubrimiento térmico, policarbonato que harán las veces de claraboyas, y los paneles solares.

El circuito seguidor solar estará basado en sensores de luz (LDRs), un micro controlador (PIC 16F887), una pantalla lcd, un drive para control de motores (L298N), y un motor de paso bipolar.

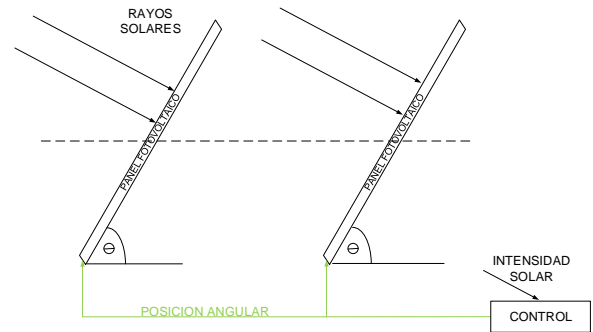
El sistema a implementar en edificios, tendría un control de posición de los paneles basado en un drive (como un VFD) y un motor. Los paneles se moverían en función de la señal emitida por un control (podría ser un PLC) obteniendo la máxima potencia del sistema, y como resultado, bloqueando la incidencia directa de los rayos solares.



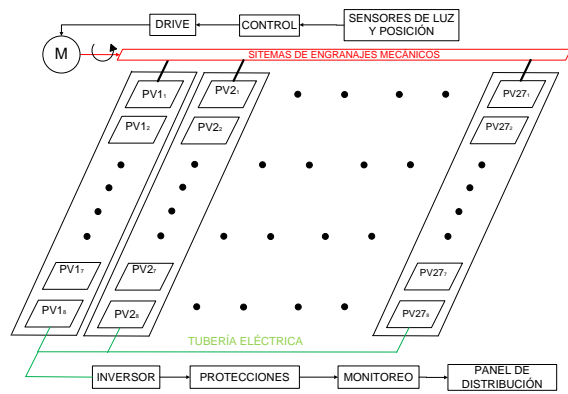
**Fig. 2.** Imagen 3D del prototipo a realizar vista Realizado en Autodesk Inventor. Autoría Propia.



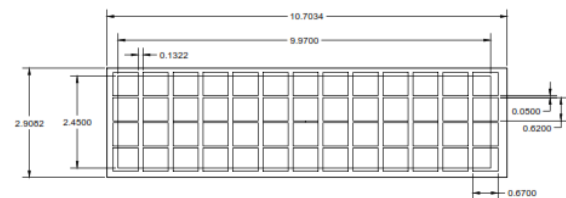
**Fig. 3.** Ubicación de los paneles solares sobre las claraboyas en el prototipo.



**Fig. 4.** Control de posición angular de las persianas. Autoría Propia.



**Fig. 5.** Diagrama del Sistema fotovoltaico propuesto para ser aplicado en FIEC. Autoría Propia.



**Fig. 6.** Diagrama con las dimensiones y distribución de los paneles fotovoltaicos. Específicamente la claraboya de la FIEC. Autoría Propia.

El proyecto analiza la optimización de los recursos técnicos, económicos y estéticos; para así, obtener el máximo ahorro energético y económico en el sistema eléctrico mensual ya instalado en la institución.

Con la financiación necesaria de parte de la Universidad u otra institución, se podría pasar del prototipo a un sistema más amplio que abarque el área C de profesores *Fig.1*.

## Metodología

Antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico sobre las claraboyas, se realizaron mediciones de energía consumida del prototipo durante 10 horas diarias. Se hicieron arreglos en días con características comunes (como irradiancia y temperatura) y entre ellos se obtuvo el ahorro energético.

El prototipo mantendrá la temperatura dentro del área cerrada, y el nivel de iluminación artificial por leds (aproximadamente igual a la luz solar).

Para realizar estos análisis y mediciones eléctricas, se utilizará un analizador de energía, el cual permitirá monitorear en grandes períodos de tiempo la energía consumida.

**Tabla 1. COMPARACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO CON Y SIN EL SISTEMA PROPUESTO**

Días sin sistema de paneles	Kwh consumidos sin paneles	Días con sistema de paneles	Kwh consumidos con paneles	Ahorro energético
20 de octubre de 2014	2.8339	6 de noviembre de 2014	1.8345	35.26%
24 de octubre de 2014	2.4331	7 de noviembre de 2014	1.6001	34.23%
21 de octubre de 2014	3.2576	10 de noviembre de 2014	2.2448	31.09%
23 de octubre de 2014	2.939	11 de noviembre de 2014	2.1155	28.02%
27 de octubre de 2014	3.095	12 de noviembre de 2014	2.0004	35.25%
22 de octubre de 2014	2.5262	13 de noviembre de 2014	1.6364	35.22%

**Tabla 2. COMPARACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO SIN EL SISTEMA PROPUESTO Y CUBRIENDO LAS CLARABOYAS.**

Días sin sistema de paneles propuesto	Kwh consumidos sin paneles	Días con claraboyas cubiertas	Kwh consumidos claraboyas cubiertas	Ahorro energético
20 de octubre de 2014	2.8339	13 de diciembre de 2014	2.5823	8.88%
24 de octubre de 2014	2.4331	28 de noviembre de 2014	2.0411	16.11%
21 de octubre de 2014	3.2576	17 de diciembre de 2014	3.0693	5.78%
23 de octubre de 2014	2.939	12 de diciembre de 2014	2.6971	8.23%
27 de octubre de 2014	3.095	16 de diciembre de 2014	2.7704	10.49%
22 de octubre de 2014	2.5262	5 de diciembre de 2014	2.4221	4.12%

También se realizó una medición adicional cubriendo la claraboya con una película negra sobre ésta. En la tabla 2, se encuentra dichas mediciones.

## 5. Resultados Obtenidos

Con la implementación del prototipo que simula las condiciones de edificios con claraboyas, se logró disminuir la energía consumida principalmente por el acondicionador de aire. Este ahorro energético obtenido fue entre el 28% al 35%, y en promedio el 33.18% de ahorro. Ver tabla 1.

La medición adicional que fue la acción de cubrir la claraboya con una película negra, obtuvo un ahorro energético en promedio de solo el 8.92%. Ver tabla 2.

## 6. Análisis Económicos

Utilizando la técnica del Valor Actual Neto (VAN), se pudo realizar un análisis económico para observar la viabilidad del proyecto a realizar. Primero se realizó el cálculo a base del valor del kwh a \$0.27, y se obtuvo que para el último año de vida del proyecto es de \$5032.34. Luego se hizo el análisis a base del valor que paga ESPOL (a \$0.07 el kwh), y para el año 30

del proyecto (el último) se obtuvo un VAN = -\$8651.39.

## 7. Discusión

El proyecto tiene dos aristas, la primera en términos energéticos y la segunda en términos económicos. Conseguir un ahorro energético del 33% implementando el sistema propuesto, es bastante prometedor.

Por el costo bajo del kwh en Ecuador (subsidiado por el Estado) y el más el que paga una institución pública como ESPOL (\$ 0.07 kwh) se hace poco rentable este tipo de proyectos de energía solar, sin subvención gubernamental.

## 8. Conclusiones

Con la aplicación de circuitos electrónicos “seguidores solares”, se puede mejorar la eficiencia de captación de energía solar por medio de paneles. Se aprovecha de mejor manera el movimiento relativo del sol con respecto a la tierra.

La ubicación de los paneles solares en forma de persianas sobre claraboyas aprovecha el principio de las cortinas. Con esta ubicación se disminuyó el efecto invernadero del interior del edificio

## 9. Referencias

- [1] Katsuhiko Ogata. “Ingeniería de Control Moderna”. Prentice Hall, 2003.
- [2] Nise, Norman S. “Sistemas de Control para Ingeniería”. 3ra edición. CECSA, 2002.
- [3] L. A. Zadeh. “From circuit theory to system theory”. In Proc. IRE 50, pages 856–865, 1962.
- [4] Rivera, D.E. and M.W. Braun. “System Identification for Process Applications”. Arizona State University. 2005.
- [5] National Research Council Canada, Institute for research in construction. “Thermal Properties & Building Materials at Elevated Temperatures” Internal report No. 643, March 1993.
- [6] Lennart Ljung. “System Identification: Theory for the User”. Prentice-Hall, 1987.
- [7] Lennart Ljung, Torkel Glad. “Modeling of Dynamic Systems”. Prentice-Hall, 1994.
- [8] Conelec, “Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación de Energía Eléctrica”. 2008.
- [9] Jose Roldan Vilorio “Instalaciones solares fotovoltaicas”. Primera Edición. 2010.