



SISTEMA MÓVIL AUTOMÁTICO PARA INCREMENTAR LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO EN EL DISTRITO DE HUANCAMELICA

Wohler Gonzales Saenz

Docente de la Universidad Nacional de Huancavelica - wohlergz@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 20 de Octubre 2014
Art. Aceptado 20 de Diciembre 2014
Publicado: 29 Diciembre del 2014

PALABRAS CLAVE:

* Seguidor solar
* girasol electrónico
* panel fotovoltaico
* energías no convencionales
* energía solar.

ARTICLE INFO

Article Received October 20, 2014
Article Accepted December 20, 2014
Published: December 29, 2014

KEY WORDS:

* Solar tracker
* electronic sunflower
* solar panel
* non-conventional energy
* solar energy.

RESUMEN

La investigación surge por la existencia de una insuficiente obtención de energía eléctrica en paneles fotovoltaicos con instalación fija en el distrito de Huancavelica; por lo tanto, se buscó determinar el incremento de la energía eléctrica de un panel fotovoltaico con sistema móvil automático en comparación a otro panel fotovoltaico fijo. El estudio se desarrolló en el distrito de Huancavelica (Longitud Oeste 74°58'17", latitud Sur 12°47'06" y altitud 3676 m.s.n.m.); la investigación contempló la revisión bibliográfica, análisis, diseño, simulación, experimentación y procesamiento de datos. Para el experimento y muestreo de datos se utilizó un aplicativo informático que fue desarrollado en el lenguaje de programación LabView y cuya interface de comunicación serial estuvo conectado al Microcontrolador PIC16F876A y la tarjeta NI 6008 de National Instruments.

El experimento se efectuó durante 10 días, entre el 07 y 26 de abril de 2014 con un tiempo de muestreo de 03 minutos por cada paquete de datos en el horario de 06:00am y 18:00pm. El experimento demostró que el panel fotovoltaico con sistema móvil automático incrementa la energía eléctrica en un 27,3% con respecto al panel fotovoltaico fijo. El incremento de la energía eléctrica según la distribución horaria fue de 31,67%, 18,51% y 49,63% de la totalidad energética obtenida en los horarios de 06:00-10:00am, 10:00am-14:00pm y 14:00-18:00pm respectivamente. La ortogonalidad solar obtenida del sistema móvil automático fue de 97,92% para el eje «X» y 98,26% para el eje «Y», respaldando así el incremento energético obtenido (27,3%) en la presente investigación.

MOBILE AUTOMATIC SYSTEM TO INCREASE ELECTRICITY PROCUREMENT OF A PHOTOVOLTAIC PANEL IN THE DISTRICT HUANCAMELICA

ABSTRACT

The research arises from the existence of an insufficient production of electricity in photovoltaic panels fixed installation in the district of Huancavelica; therefore sought to determine the increase in power of a PV module with automatic moving system compared to a fixed photovoltaic panel. The study was conducted in the district of Huancavelica (West Longitude 74° 58'17" «south latitude 12° 47'06" and altitude 3676 m); research looked at the literature review, analysis, design, simulation, testing and data processing. For the experiment and sampling data a computer application that was developed in the LabView programming language, and whose serial communication interface was connected to Microcontroller PIC16F876A and NI6008 card from National Instruments was used. The experiment was conducted for 10 days, between 07 and 26 April 2014 with a sampling time of 03 minutes for each data packet in the hours between 06:00 am and 6:00 p.m.. The experiment showed that the photovoltaic panel moving system with automatic power increases by 27.3% with respect to the stationary photovoltaic panel. The increase in power according to the time distribution was 31.67%, 18.51% and 49.63% of the total energy obtained in schedules 06:00-10:00am, 10:00 a.m. to 2:00 p.m. and 14:00-18:00 pm respectively. Solar orthogonality automatic mobile system obtained was 97.92% for the «X» axis and 98.26% for the «Y» axis, thereby supporting increased energy obtained (27.3%) in the present investigation.

INTRODUCCION

El sol es fuente de suministro de energía radiante de ondas electromagnéticas de entre 200 a 4000 nanómetros de longitud de onda con una potencia promedio que alcanza a los 63.450.720 Watt/m²; de los cuales según la NASA¹ la energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre sobre una superficie perpendicular a los rayos solares lo hace en una cantidad fija, llamada constante solar de 1353 W/m² que es variable durante el año en un ±3% a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. (Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar, visitado el 30-10-2013).

La energía recibida representa a una fuente alternativa de energía renovable. Como tal; en nuestro país, se implementaron diversos proyectos de electrificación rural con paneles fotovoltaicos a través del programa EURO-SOLAR² y otras de la Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas que pretenden favorecer hasta el año 2020 a un total de 261520 viviendas rurales con suministro de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos (Fuente: MNEM-2008. Estudio del plan maestro de electrificación rural).

Al respecto; se pudo observar que los proyectos señalados, tienen instalados los paneles fotovoltaicos en estructuras rígidas con una orientación solar fija y cuya obtención de la energía eléctrica es deficiente tal como refieren estudios realizados en el Instituto de energía solar de la Universidad Politécnica de Madrid que indican que el aprovechamiento solar solo alcanza hasta un 60% de su eficiencia (Fuente: Instituto de energía solar, energía solar termofotovoltaica, Diego Martín, Madrid España-2003). En tal sentido y visto tal referencia, se realizó mediciones de la potencia eléctrica de la estación fotovoltaica de la Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional de Huancavelica, comprobándose que la potencia eléctrica promedio obtenida corresponde a un 55,7%. (Fuente: Elaboración propia, Huancavelica-Perú 2014).

Por otro lado, al contrastar la ficha técnica y curvas características del panel fotovoltaico se observó: El panel obtiene una mayor potencia eléctrica cuando recibe una irradiancia solar mayor o igual a 1000 W/m² y cuando los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el plano (Mermound, 2013); y si por el contrario no hay ortogonalidad solar, la energía eléctrica obtenida del panel fotovoltaico es menor (Gasquet, 2004).

Frente a esta problemática de la deficiente obtención energética del panel fotovoltaico, se propuso incrementar la obtención de la misma mediante el acoplamiento del panel a un mecanismo móvil automático, tal que siga al sol permanentemente para tener ortogonalidad solar durante todo el día y redundando en un eficiente aprovechamiento del índice de potencial energético solar de la sierra central que corresponden a irradiaciones solares diarias de entre 5,5 a 6,0 kWh/m² (Senamhi, 2003). Además de proponer esta tecnología como alternativa de aprovechamiento mejorado en reemplazo de las instalaciones fotovoltaicas con estructura fija que conducen a sobredimensionamiento en infraestructura y mayores costos de inversión cuando se desea incrementar la obtención energética.

¹Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio del gobierno estadounidense.

²El programa EURO-SOLAR es una iniciativa de la Comisión Europea cuyo objetivo es reducir la pobreza ofreciendo acceso a fuentes renovables de energía eléctrica a 130 comunidades rurales aisladas del Perú. <http://eurosolarperu.blogspot.com/> (30-10-2013).

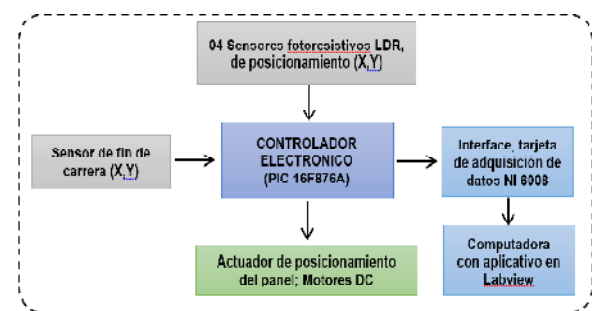
MATERIAL Y METODOS

Para la obtención de la energía eléctrica, se utilizaron 02 paneles fotovoltaicos monocristalinos de 10 Watts de potencia nominal. El primero de ellos se instaló en una plataforma con orientación fija al Norte geográfico y un ángulo de inclinación de 14° (grados) que es la latitud terrestre del distrito de Huancavelica; datos usados en base al marco teórico que refieren que la cantidad óptima de energía colectada por un panel fotovoltaico se obtienen cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo correspondiente a latitud del lugar de estudio a fin de nivelar las fluctuaciones energéticas que se suscitan anualmente por el cambio estacional. Y del mismo modo, los paneles fotovoltaicos deben instalarse con orientación al norte para el hemisferio sur y en forma inversa para el hemisferio norte. (Fuente: Energía solar fotovoltaica, pág. 13 Orbezo C. 2010, Green energy Consultoría y servicios SRL, Perú), (Fuente: Conversión de la energía solar en energía eléctrica, pág.05, Gasquet H. 2004, Solartronic S.A. México).

En el caso del segundo panel fotovoltaico se acopló al mecanismo automático móvil con 02 grados de libertad de eje azimutal (eje X) y de elevación (eje Y).

La lectura de datos y almacenamiento de las mismas se efectuaron en una base de datos del Microsoft Access a través de un instrumento virtual desarrollado en el LabView con interface a la tarjeta de adquisición NI_6008 de National Instruments y el circuito electrónico basado en el PIC16F876A según se observa en la figura 1.1.; los campos de datos fueron: Numero de dato, valor de lectura, hora, fecha, panel fotovoltaico fijo o automático. Los sensores fotoresistivos LDR tienen una resistencia entre 100 Ω a 1 MΩ (ohmio) y tienen respuesta lineal a la luz según detalla el Datasheet CEBEK. Los sensores de fin de carrera son interruptores con palanca y estado NC Normalmente cerrado.

Figura N° 1.1. Diagrama de bloques del sistema móvil automático.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra fue del tipo probabilístico y constituida por 240 muestras diarias de mediciones de potencia eléctrica (Watt) por el lapso de 10 días de experimento en el horario de 06:00am a 18:00pm (03 minutos por muestra) en el distrito de Huancavelica. Los días de experimento correspondieron al 07, 09, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 25 y 26 del mes de abril de 2014. Los datos obtenidos del panel fotovoltaico con mecanismo automático móvil y del panel fijo fueron procesados en Microsoft Excel y se obtuvo las siguientes ecuaciones: $f(x) = -0,0007x^2 + 0,1644x + 3,797$ para el

panel fotovoltaico con sistema móvil automático y $f(x) = -0,0009x^2 + 0,1931x + 0,453E$ para el panel fotovoltaico fijo. Los estadísticos de tendencia central y de dispersión permitieron realizar la comparación del incremento de la energía obtenida, a continuación se realizó la prueba de hipótesis con la t Student para 09 grados de libertad y un intervalo de confianza del 95% a través del Minitab versión 15.

RESULTADOS

Tabla 01. Estadísticos sobre la obtención de energía eléctrica (Watt x hora) en los paneles fotovoltaicos

		Con sistema móvil automático (P. CSM), Wh	Sin sistema móvil automático (P. SSM), Wh
N	Válidos	10	10
	Perdidos	0	0
Media		120,500	87,6000
Mediana		119,2800	86,9950
Moda		114,00	82,92
Desv. típ.		4,92861	3,53692
Mínimo		114,00	82,92
Máximo		131,52	95,67

Fuente: Elaboración propia.

El incremento en la obtención de energía eléctrica por el panel fotovoltaico con sistema móvil automático con referencia al panel fotovoltaico fijo es de 32.9 Wh que representa a un incremento del 27,3% en la obtención de energía eléctrica.

Tabla 02. Energía eléctrica obtenida del panel fotovoltaico según distribución horaria

Orden	Número del día	Primer horario (De 8:00am - 10:00am)		Segundo horario (De 10:00am - 14:00pm)		Tercer horario (De 14:00pm - 18:00pm)	
		Energía eléctrica Wh P. CSM*	Energía eléctrica Wh P. SSM**	Energía eléctrica Wh P. CSM*	Energía eléctrica Wh P. SSM**	Energía eléctrica Wh P. CSM*	Energía eléctrica Wh P. SSM**
1	Día_1	36,93	25,95	51,85	45,89	36,31	19,14
2	Día_2	36,80	25,90	49,50	43,62	35,10	18,25
3	Día_3	36,83	26,24	48,82	43,71	32,55	18,85
4	Día_4	40,18	28,88	54,78	46,04	38,83	18,78
5	Día_5	36,07	26,45	50,16	44,05	34,30	17,57
6	Día_6	34,33	24,70	47,78	41,81	31,85	18,32
7	Día_7	36,64	26,45	48,65	43,57	32,35	18,83
8	Día_8	36,69	26,45	49,72	43,63	33,07	17,12
9	Día_9	33,87	23,92	47,73	41,89	32,81	18,32
10	Día_10	35,67	25,92	48,02	43,01	32,80	18,76
	PROMEDIO	36,70	26,28	50,00	43,91	33,76	17,42

* Con sistema móvil automático P. CSM

** Sin sistema móvil automático P. SSM

Fuente: Elaboración propia.

En el primer horario existe un incremento de 10,42 Wh en la obtención de energía eléctrica del panel fotovoltaico con sistema móvil automático con respecto al panel fotovoltaico fijo, representado al 31,67% sobre la totalidad del incremento de la obtención de energía eléctrica (32.9Wh) presentada en la tabla 01. Del mismo modo, en el segundo horario existe un incremento de 6,09 Wh en la obtención de la energía eléctrica del panel fotovoltaico con sistema móvil automático con respecto al panel fotovoltaico fijo, representado al 18,51% sobre la totalidad del incremento de la obtención de energía eléctrica (32.9Wh). Finalmente en el horario de 14:00pm a 18:00pm, el panel fotovoltaico con sistema móvil automático incrementa en 16,33Wh la energía eléctrica, representado al 49,63%

sobre la totalidad del incremento de la obtención de energía eléctrica (32.9Wh).

Tabla 03. Estadísticos sobre el nivel de ortogonalidad del sistema móvil automático

		Ortogonalidad eje X (azimut)	Ortogonalidad eje Y (elevación)
N	Válidos	10	10
	Perdidos	0	0
Media		97,9230	98,2670
Desv. típ.		,84622	,81582
Mínimo		96,97	96,97
Máximo		99,00	99,00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 03 se observa que el sistema móvil automático es un mecanismo con una ortogonalidad del 97,92% para el movimiento azimutal (eje X) y 98,26% de ortogonalidad para el movimiento de elevación (eje Y), datos que validan los resultados obtenidos sobre el incremento energético y la precisión de orientación solar con grado de perpendicularidad del panel fotovoltaico.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema móvil automático de 2 ejes (X,Y) tuvo el efecto positivo en incrementar la obtención de energía eléctrica del panel fotovoltaico en 27.3% con respecto a un panel fotovoltaico fijo, precisando que este resultado es relativo pero si referencial para otros estudios en otras ubicaciones geográficas dado que la obtención de energía eléctrica depende también de la posición geodésica.

El resultado obtenido guarda relación con otros estudios como es la tesis doctoral «Viabilidad de sistemas fotovoltaicos con múltiples seguidores del punto de máxima potencia» Universidad del País Vasco, donde señala que usualmente las pérdidas de obtención de energía para instalaciones fijas es de alrededor del 25% (Eduardo, 2007) y por lo mismo los datos alcanzados se encuentran en ese margen de mejora y superando hasta en 3% la deficiencia estimada.

Del mismo modo, existe similitud con los resultados obtenidos en el estudio sobre la mejora y eficiencia en la obtención de energía eléctrica de paneles fotovoltaicos que fueron experimentados en la Universidad Complutense de Madrid donde utilizaron sistemas termofotovoltaicos adaptados a los paneles solares como una estrategia para incrementar la eficiencia de conversión energética de los mismos, alcanzando valores por encima del 30% (Diego Martín, 2007), dato que supera hasta en un 2.7% al resultado encontrado en la investigación.

Por otro lado, sería pertinente contrastar el resultado obtenido con otros tipos de mecanismos como las de 01 eje de libertad que fueron experimentados en el trabajo de investigación «Seguidores solares de un eje para el aprovechamiento de la energía solar» publicada en la revista Ciencia y Desarrollo (Manuel Gonzales, 2006), o los mecanismos con programación adaptativa (Casaño, 2012).

Del estudio podemos señalar que el mejor horario de aprovechamiento e incremento energético en el distrito de Huancavelica se logran desde las 10:00 am hasta pasado las 16:00

pm, donde la trayectoria del recorrido solar es mayor y se obtienen incrementos energéticos del orden del 49,63%. Entonces, se demuestra que el concepto de orientar los paneles fijos con un ángulo igual a la latitud aún genera pérdidas energéticas por falta de ortogonalidad solar.

Por lo tanto y en general, sobre el experimento realizado y en base a los resultados obtenidos de otros trabajos de investigación presentados en esta sección; afirmo que el sistema móvil automático que fue adaptado al panel fotovoltaico, resulta en una técnica y alternativa válida para incrementar la obtención de energía eléctrica que según la experiencia realizada obtuvo un incremento del 27,3% con respecto a otro panel fijo; dato que guarda correspondencia con los resultados obtenidos en otros estudios citados previamente. Finalmente, es pertinente precisar que el consumo de energía del sistema móvil automático es 0,54 mWh, que representa al 1,64% de la energía incrementada que corresponde a una potencia pasiva muy pequeña con respecto al 100% de incremento.

CONCLUSIONES

Se demostró que un sistema móvil automático aumenta la obtención de energía eléctrica en un 27,3% con referencia a otro panel fotovoltaico fijo.

La ortogonalidad solar es fundamental para la obtención de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos tal como refiere Gasquet en su texto «Conversión de la luz solar en energía eléctrica» y las curvas características del panel fotovoltaico analizados por el software PVsyst V6.15 en base a la hoja de datos (Mermound, 2013); por lo mismo, los sistemas automáticos de seguimiento del sol deben poseer la máxima ortogonalidad solar desde el naciente hasta el poniente con la máxima precisión ascendiente al 100%. Sin embargo del experimento se obtuvo una precisión del 97,92% para el movimiento azimutal (eje x) y 98,26% de ortogonalidad para el movimiento de elevación (eje y) con el cual se obtuvo el incremento energético del 27,3%; por lo mismo queda pendiente mejorar el factor de error de la orientación solar del eje x en 2,08% y en 1,74% para el eje de elevación (eje y).

El incremento de la obtención de energía eléctrica en el distrito de Huancavelica correspondiente al panel fotovoltaico con sistema móvil automático es del 31,67% (06:00am a 10:00am), 18,51% (10:00am a 14:00pm), y 49,63% (14:00pm hasta las 18:00pm) en los horarios correspondientes.

Los resultados obtenidos son verídicos y confiables dado que se validaron los mismos a través de la prueba de t de student para 09 grados de libertad con un nivel de confianza del 95%.

Finalmente, concluimos que el trabajo de investigación confirmó que adicionando un mecanismo móvil automático a un panel fotovoltaico, ésta incrementa la obtención energética de un panel fotovoltaico en más del 25% que concuerda con los antecedentes.

RECOMENDACIONES

La construcción del sistema móvil automático debe poseer 02 grados libertad en sus mecanismos de desplazamiento tal que el eje horizontal (azimutal) debe articular su movimiento desde el sureste

hasta el suroeste pasando por el norte geográfico. En el caso del eje vertical (elevación) debe articular su movimiento desde el norte al sur en forma transversal al plano.

El panel solar que se adapta al mecanismo automático móvil, debe instalarse a una altura mayor a 150 cm sobre la superficie terrestre para evitar la radiación solar difusa por efecto del rebote en el suelo y distorsionar la información sobre la obtención de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aponte, J. E. (2011). Elaboración de proyectos de investigación. Caracas Venezuela: Macro.
- Casaño, C. D. (2012). Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos. *Apuntes de ciencia y sociedad*, 89-100.
- Corripio, S. (2005). Control automático de procesos. Mexico: Limusa.
- Cózar, J. M. (2006). Manual de energía renovable. Madrid España: Instituto para la diversificación y ahorro de energía.
- Diego M, A. D. (2003). Energía solar termofotovoltaica, una alternativa para aumentar la eficiencia de conversión de la radiación solar en electricidad. Madrid España: Instituto de energía solar.
- Plasencia E, L. M. (2007). Estimación horaria de la irradiancia solar total extraterrestre. Lima Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Revista de Investigación.
- Eduardo, R. M. (2007). Viabilidad de sistemas fotovoltaicos con múltiples seguidores del punto de máxima potencia. España: Universidad del País Vasco, Instituto de tecnología. Eustal Herriko.
- Gasquet, H. (2004) Conversión de la energía solar en energía eléctrica. Solartronic Chipilán México.
- Gonzales M, A. C. (2006). Seguidores solares de un eje para el aprovechamiento de la energía solar. Tacna Perú: Revista Ciencia y Desarrollo.
- Mermound, A. (2013). Study of Photovoltaic Systems. Ginebra Suiza: Institute of the sciences of the environment University of Geneva.
- Orbegozo, C. (2010), Energía solar fotovoltaica, Green energy consultoría y servicios SRL. Lima Perú.
- Oviedo, O. (2003). Energías renovables aproximación a su estudio. Salamanca España: Amaru.
- Sampieri, H. (2000). Metodología de la Investigación. México: McGraw.
- Senamhi. (2003). Atlas de energía solar del Perú, electrificación rural a base de energía fotovoltaica. Lima Peru.: PNUD.
- Cardona, M. S. (2013). <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/disenio-de-sistemas-fotovoltaicos>. Recuperado el 20-12-2013, de <http://ocw.unia.es/ciencias-tecnologicas/disenio-de-sistemas-fotovoltaicos>.
- Datasheet CEBEK. (2014). Componentes y accesorios electrónicos. Recuperado el 02-02-2014, de Fotoresistencia Electan: <http://www.electan.com/datasheets/cebek/CE-C2795.pdf>.
- Microchip. (2014). Microchip. Recuperado el 20-01-2014, de Microchip: <http://www.microchip.com/PIC16F876>.