

## **Análisis de viabilidad de seguidor solar hidráulico**

## **Análise de viabilidade do rastreador solar hidráulico**

DOI:10.34117/bjdv8n12-244

Recebimento dos originais: 23/11/2022

Aceitação para publicação: 26/12/2022

### **Juan Carlos Raymundo Villarreal**

Maestría en Electrónica

Institución: Instituto tecnológico Superior de Tierra Blanca

Dirección: Avenida Veracruz S/N, Esquina Héroes de Puebla, Colonia Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México, CP 95180

Correo electrónico: jcharly1.7@gmail.com

### **Gabriel Angel Medrano**

Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología

Institución: Instituto tecnológico Superior de Tierra Blanca

Dirección: Avenida Veracruz s/n, Esquina Héroes de Puebla, Colonia Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México, CP 95180

Correo electrónico: gabriel.medrano@itstb.edu.mx

### **Héctor Murillo Martínez**

Maestría en Electrónica

Institución: Instituto tecnológico Superior de Tierra Blanca

Dirección: Avenida Veracruz s/n, Esquina Héroes de Puebla, Colonia Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México, CP 95180

Correo electrónico: M.E.murillo13@gmail.com

### **Arleny Lobos Pérez**

Doctora en Administración y Desarrollo Empresarial

Institución: Instituto tecnológico Superior de Tierra Blanca

Dirección: Avenida Veracruz s/n, Esquina Héroes de Puebla, Colonia Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México, CP 95180

Correo electrónico: arlenyl@hotmail.com

## **RESUMEN**

La utilización de la energía fotovoltaica para la generación de energía se ha incrementado en los últimos años por ser una alternativa amigable con el medio ambiente y sustentable en cuanto a la utilización de residuos fósiles. La presente investigación está enfocada a demostrar la eficiencia de la utilización de paneles solares móviles que puedan ser utilizados en la implementación de un parque fotovoltaico controlado para disminuir el consumo de energía que el ITSTB factura actualmente a CFE. Para realizar el análisis de la eficiencia se han utilizado técnicas estadísticas como ANOVA, Regresión lineal, gráficos de caja y de efectos principales, los cuales convergen en demostrar que la utilización de un sistema controlado acrecienta tanto el voltaje como amperaje del panel.

**Palabras clave:** energía, fotovoltaica, panel, solar, sistema, controlado.

## RESUMO

O uso de energia fotovoltaica para geração de energia elétrica aumentou nos últimos anos por ser uma alternativa ambientalmente correta e sustentável ao uso de resíduos fósseis. Esta pesquisa está focada em demonstrar a eficiência do uso de painéis solares móveis que podem ser usados na implementação de um parque fotovoltaico controlado para reduzir o consumo de energia que o ITSTB atualmente fatura para o CFE. Técnicas estatísticas como ANOVA, regressão linear, gráficos de caixa e gráficos de efeitos principais foram usados para realizar a análise de eficiência, que convergem para demonstrar que o uso de um sistema controlado aumenta tanto a tensão quanto a amperagem do painel.

**Palavras-chave:** energia, fotovoltaico, painel, solar, sistema, controlado.

## 1 INTRODUCCIÓN

Como bien se sabe la demanda de energía se ha incrementado debido al aumento de la población mundial. De acuerdo a la ONU en las próximas décadas se disparará la población mundial por encima de los 10.000 millones. El planeta tierra, que actualmente cuenta con 7.300 millones de habitantes alcanzará los 8.500 millones de habitantes para el 2030 y los 9.700 millones en el 2050, de acuerdo a esto según la revista de “World Energy Outlook 2015” la demanda mundial de energía crecerá en todos los escenarios y se estima que aumentará un 30% aproximadamente, entre los años 2013 y 2040. Por consiguiente, es imperante que la las instituciones educativas de nivel superior, desarrollen proyectos tecnológicos que estén enfocados al cuidado del medio ambiente y a la utilización de las energías renovables.

El objetivo de la presente investigación es realizar un análisis estadístico del amperaje y voltaje de un panel fotovoltaico en dos condiciones de operación distintas, la primera es estando el panel en una posición fija y la segunda en posición móvil, utilizando un mecanismo hidráulico que permita la movilidad del panel de acuerdo al cambio de posición del sol. Los resultados esperados son tener una base que demuestre la eficiencia energética de los paneles con el sistema interconectado controlado para reducir el consumo energético del edificio académico del ITSTB y que impacte de manera positiva en el medio ambiente.

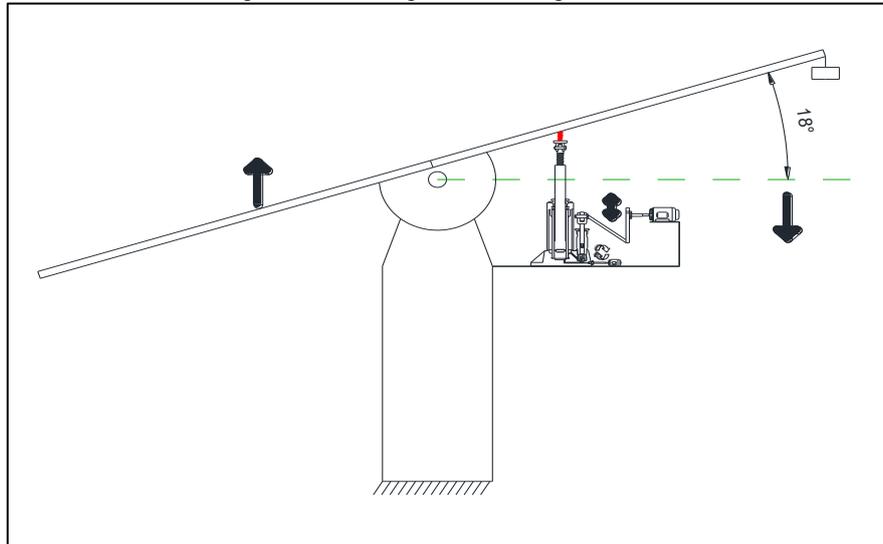
## 2 MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Se toma con referencia un seguidor solar en un sólo eje, por ser más económico de implementar y con una buena eficiencia con respecto al seguidor en dos eje, hasta un

30% en comparación con un 34% del seguidor en dos ejes (*Escobar & Holguín, 2010*). De esta forma la manufactura y el equipo de control se reducen.

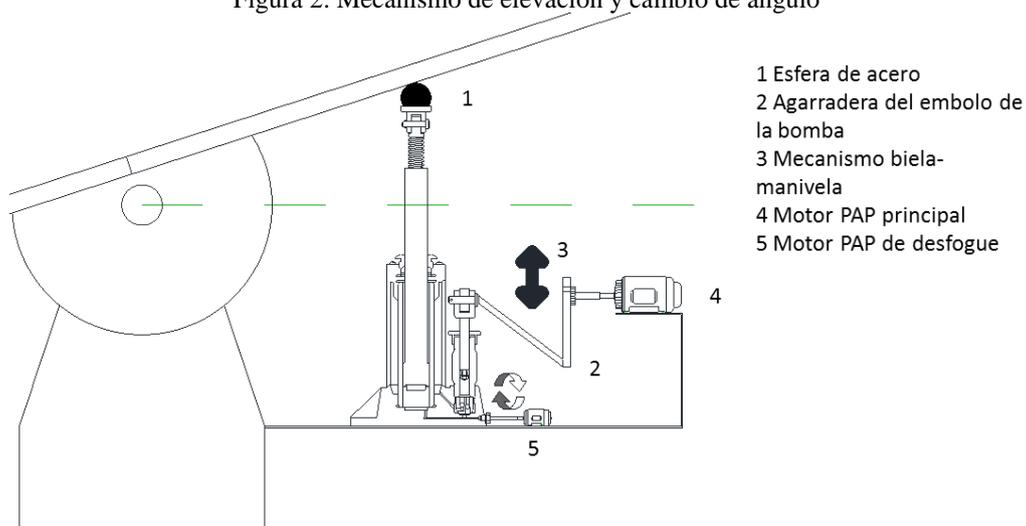
Figura 1. Diseño general del seguidor solar



Elaboración Propia

Para visualiza mejor la parte mecánica en- cargada del movimiento, se amplifica la parte del mecanismo y se puede observar mejor el acople de los diferentes elementos mecánicos y eléctricos (figura 2).

Figura 2. Mecanismo de elevación y cambio de ángulo



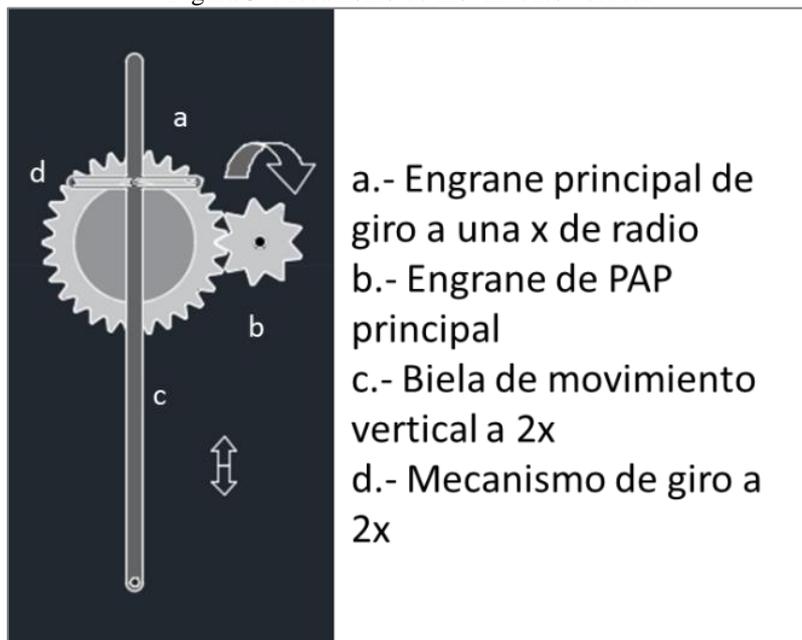
Elaboración propia

*El diseño cuenta con un gato hidráulico de botella con capacidad de 2 toneladas, con extensión roscada de 9.5 cm y pistón de 10 cm, para que el pistón pueda alcanzar su altura máxima se necesitan 40 movimiento de 1.5 cm en la agarradera que va hacia el*

embolo de la bomba, con esto se mueve la plataforma del panel 4.2 grados, iniciando en -18 grados y finalizando en 28 grados.

Para que la agarradera del embolo de la bomba pueda realizar el movimiento vertical, que se aplica normalmente con la mano del usuario, se le adaptó un mecanismo para convertir el movimiento rotatorio de un Motor Paso a Paso (PAP) a vertical, mediante dos engranes helicoidales y un arreglo de principios biela- cigüeñal, se realiza la conversión de movimiento giratorio o movimiento vertical (figura 4 y 5). Donde, el engrane con radio efectivo de 0.75 cm es el encargado de mover la flecha, para obtener 1.5 cm de forma vertical, se toma como referencia los movimientos mecánicos manivela-biela- corredera, aplicado de forma vertical, en dirección hacia la tierra (*Guardado , 2012*).

Figura 3. Mecanismo de movimiento vertical

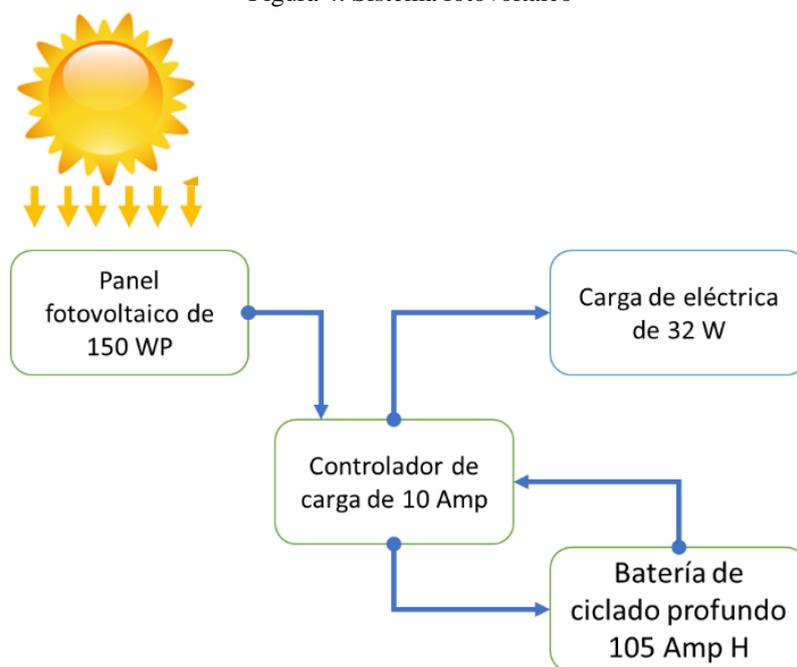


*Elaboración propia*

Una vez que el panel haya realizado el giro hacia la puesta del sol, se activara por medio de un interruptor de límite el motor PAP, el cuales encargado de abrir el embolo de desfogue de aceite y que de esta forma el pistón quede listo para regresar a su posición inicial, para realizar mejor el procedimiento se coloca un contrapeso en la parte superior para ayudar al pistón principal a regresar, de esta forma el panel vuelve a su posición de inicio para nuevamente empezar la captación de energía solar. Aplicando este principio se tiene un seguidor solar económico y con una eficiencia del 23% aproximadamente.

Para poder corroborar la eficiencia del panel fotovoltaico móvil, con respecto a uno estático, se evalúan los dos sistemas, uno sin giro (estático) y otro con el seguidor solar hidráulico, el cual es el sistema que se ha diseñado esto para poder realizar un comparativo de cantidad de energía que almacenan en un periodo de tiempo similar y con la misma radiación solar. Cabe mencionar que para este experimento se colocan un panel solar fotovoltaico de 150 Wp (Watts pico) conectado a un controlador de carga y a su vez a una batería de ciclado profundo de 105 AmpH (Amperes horas), para lograr descargar y consumir la energía captada por el panel, se conecta una carga de 32 W (watts). Se agrega el siguiente diagrama a bloques para poder comprender mejor las conexiones y los elementos que intervienen en ambos sistemas, fijo y móvil, ver la figura 4.

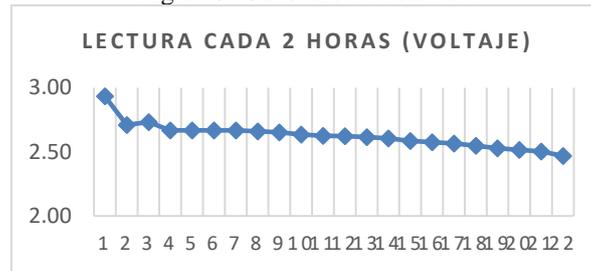
Figura 4. Sistema fotovoltaico



Se aclara que se realiza el experimento en un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica de CFE para simplificar el análisis de captación y disipación de energía.

Con el panel estático, con una inclinación a 18 grados, que es la latitud de Tierra Blanca, Veracruz y la batería cargada al 100%, el comportamiento en el consumo de corriente eléctrica disminuye gradualmente (Figura 5).

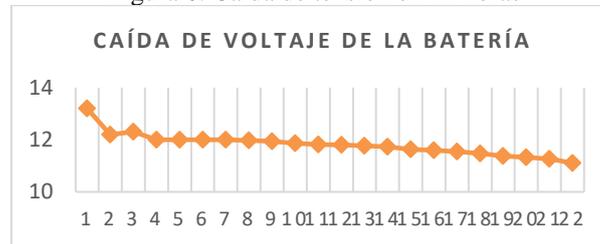
Figura 5. Consumo de corriente



Elaboración propia

Al observar la caída de tensión, esta disminuye y el panel no es capaz de cargar y recuperar la energía consumida, por lo tanto, el voltaje es decreciente (Figura 6).

Figura 6. Caída de tensión en 22 horas



Elaboración propia

Al observar la disipación de potencia, sólo se mantiene estable en 4 puntos (Figura 7).

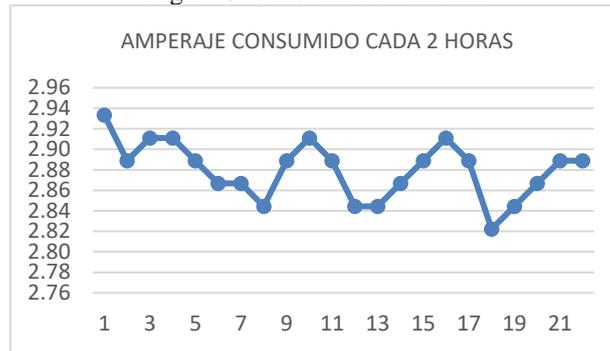
Figura 7. Potencia disipada



Elaboración propia

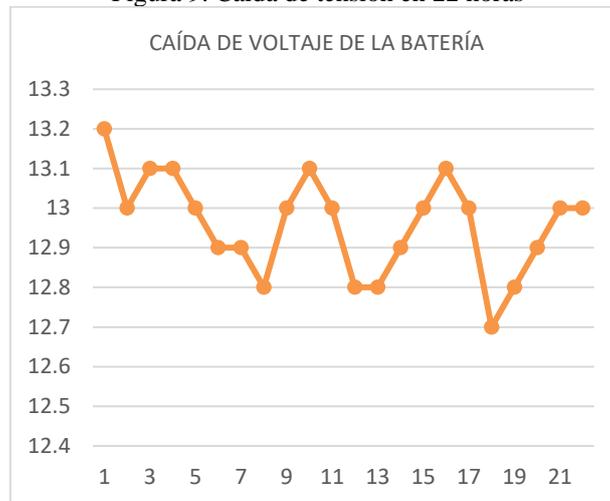
Al colocar el seguidor solar con gato hidráulico, tanto amperaje, como caída de tensión y potencias, tienen estabilidad, solo con un mínimo de variación con respecto a la carga conectada (Figuras 8, 9 y 10), se recupera en momentos de mayor captación de energía.

Figura 8. Consumo de corriente



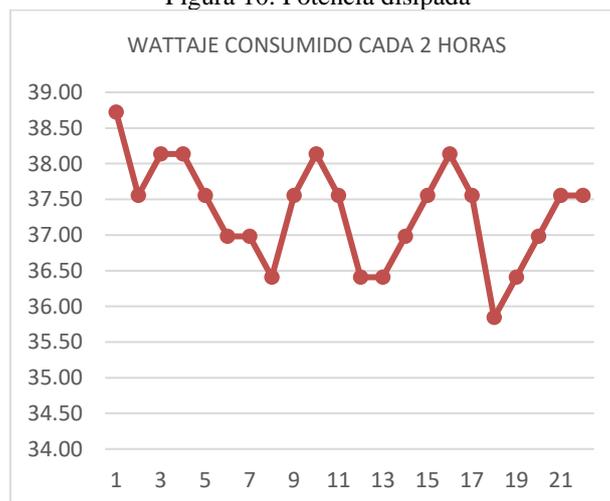
Elaboración propia

Figura 9. Caída de tensión en 22 horas



Elaboración propia

Figura 10. Potencia disipada



Elaboración propia

Rápidamente se puede observar las variaciones que tiene el comportamiento del voltaje, corriente y disipación de potencia se mantiene más estable con respecto al panel que estuvo estático, mejorando la eficiencia del panel fotovoltaico y por lo tanto, la

recolección de energía, para comparar la eficiencia energética, se comparan ambos panes, el estático y el que tiene un grado de libertad tomando en cuenta la posición y la matriz de giro, cabe mencionar que se debe optimizar los ángulos de giros y los tiempos (Turrillas, 2014).

### 3 TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para un estudio significativo se recolectaron 204 datos en un horario de 9:00 am hasta las 4:00 pm, dado a que en ese horario se espera una mayor radiación solar. Es importante mencionar que las muestras se tomaron en días soleados para lo cual se analizaron previamente los datos meteorológicos del municipio de Tierra Blanca, Veracruz.

Para realizar el estudio de los datos se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las medidas del voltaje y amperaje, tomándose como factor cada uno de los elementos antes mencionados y como niveles del factor el panel fijo y el panel controlado. El nivel de significancia utilizado para ambos experimentos fue de  $\alpha=0.05$ , la hipótesis tanto para amperaje como voltaje son las siguientes:

Ho:= No existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos del factor.

H1:= Existe una diferencia significativa entre las medias del factor.

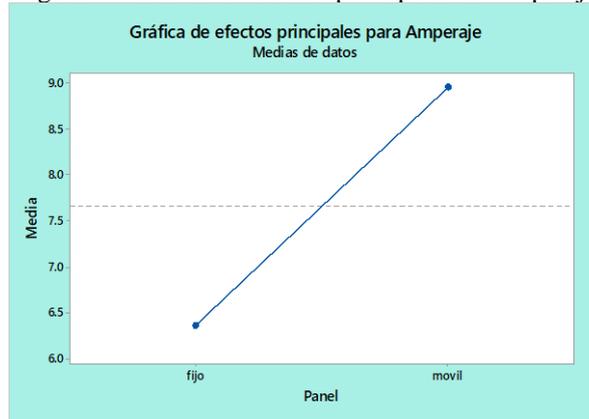
La realización de los cálculos se ejecutó en el software Minitab 18, los resultados del ANOVA para Amperaje se muestran a continuación.

Tabla 1. Tabla de Análisis de Varianza para el factor Amperaje.

Fuente de Variación	SC	GL	MC	F	P
Panel	671.9	1	671.92	204.6	0
Error	1333.4	406	3.284		
Total	2005.3	407			

De acuerdo a los resultados del valor de P como este es menor que el nivel de error, no hay suficiente evidencia para aceptar la hipótesis nula, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre las medias del amperaje, tal y como se muestra en la Fig. 11

Figura 11. Gráfico de efectos principales de Amperaje



Elaboración propia

De acuerdo a los resultados existe una mejora en el amperaje cuando se utiliza un panel con sistema interconectado controlado (panel móvil)

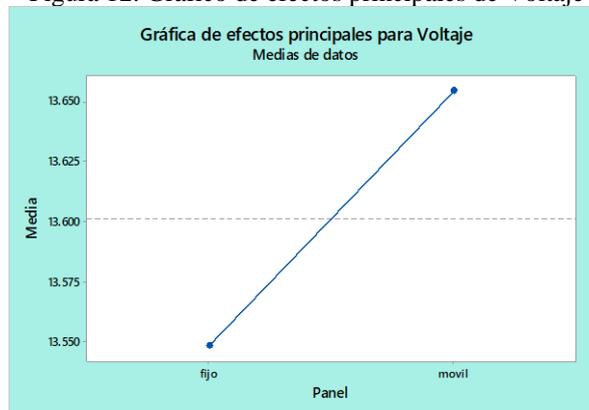
Los resultados del ANOVA para voltaje son los siguientes:

Tabla 2. Tabla de Análisis de Varianza para el factor Voltaje

Fuente de Variación	SC	GL	MC	F	P
Panel	2.624	1	2.62	1.17	0.28
Error	912.777	406	2.25		
Total	915.401	407			

De acuerdo a los resultados del valor de P como este es mayor que el nivel de error, no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo que quiere decir que las medias de voltaje en ambos paneles no tienen una diferencia significativa, en la figura 12, se observa una diferencia entre medias de solo .10 puntos porcentuales.

Figura 12. Gráfico de efectos principales de Voltaje



Elaboración propia

Las citas, referencias y ecuaciones deberán de seguir los siguientes criterios:

Por otra parte, el estudio de regresión lineal muestra que tanto amperaje como voltaje tienen una afectación positiva por el panel móvil, tal y como se muestra en las siguientes ecuaciones:

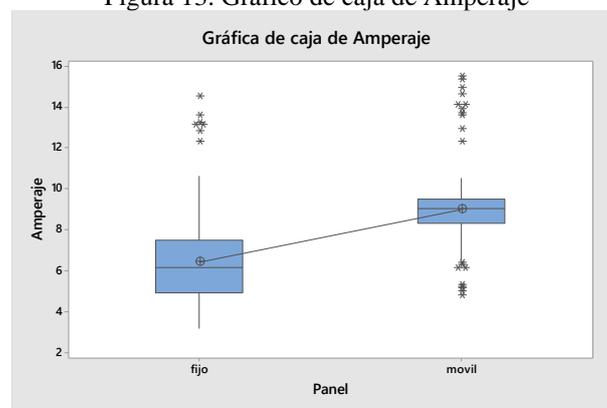
$$\text{Amperaje} = 6.355 + 0.00 \text{ panel fijo} + 2.60 \text{ panel movil} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Voltaje} = 13.548 + 0.00 \text{ panel fijo} + 0.106 \text{ panel movil} \quad \text{Ec. (2)}$$

De acuerdo a los resultados de las dos ecuaciones tanto para el amperaje como para el voltaje el panel que tiene un incremento positivo en ambas es el panel móvil, siendo más notorio el incremento en el amperaje.

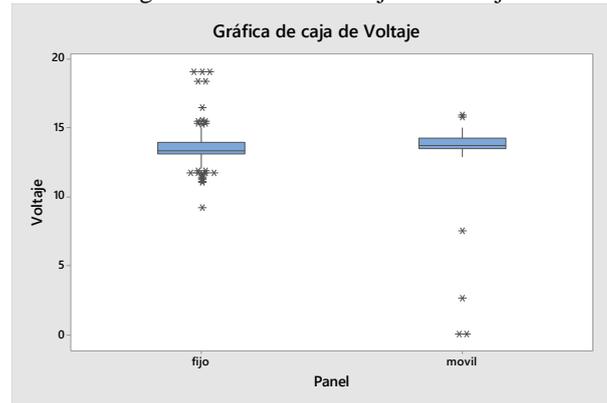
Finalmente se realizó un estudio de la variación del amperaje y voltaje tanto del sistema fijo como el móvil, tal y como se muestra en las figuras 13 y 14.

Figura 13. Gráfico de caja de Amperaje



Elaboración propia

Figura 14. Gráfico de caja de Voltaje



Elaboración propia

Las gráficas muestran una mayor variabilidad en los datos de panel fijo con respecto al amperaje, y una mayor variabilidad del panel móvil en lo que se refiere al voltaje. Así mismo en la gráfica de caja de voltaje se observa que la diferencia entre la media de ambos paneles es mínima.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la investigación del seguidor solar hidráulico, se logra demostrar con los gráficos antes mencionados, que la potencia eléctrica se incrementa, por el hecho de tener implementado un sistema electrónico con movimiento azimutal temporizado, el cual demuestra que la eficiencia, comparada con un sistema estático y uno móvil, tiene un incremento hasta de un 23%, siendo que un sistema solar fotovoltaico estático aporta un intervalo máximo del 14% al 17%, dependiendo de la radiación solar y el material del cual están elaborados los paneles.

#### 5 CONCLUSIONES

La eficiencia obtenida se debe al factor de gasto de energía por el sistema electrónico, el cual es relativamente bajo en comparación con otros sistemas, al utilizar un sistema hidráulico (gato hidráulico) acoplado a motores paso a paso pequeños (PAP), dichas piezas reducen el esfuerzo mecánico, elevando así, la eficiencia general. Otros sistemas utilizar motores acoplados a una transmisión y requieren mayor torsión, por lo consiguiente mayor cantidad de energía, lo cual hace que el sistema de giro será más caro económicamente y en relación a consumo de energía, es mas alto.

De esta forma la investigación demuestra que se pueden desarrollar seguidores más eficientes para sistemas solares fotovoltaicos, sin encarecer la energía producida. Con elementos que ayuden de forma más simple los acoples necesarios para realizar el movimiento azimutal.

## REFERENCIAS

Escobera, A. Holguin, M. (2010). Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico. *Scientia Et Technica*, 44(245-250), 0122-1701

Guardado H. (2012) Implementación de seguidor solar en dos ejes para el sistema fotovoltaico de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES, Universidad de El Salvador, Tesis.

Gutiérrez H. De la Vara R.(2004) Análisis y Diseño de Experimentos, México, Mc Graw Hill.

International Energy Agency (2015). *World Energy Outlook 2015*, [www.iea.org](http://www.iea.org).

Montgomery D. (2005) *Diseño de Experimentos*, México, Limusa Wiley

SENER (2012) *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*, México.

Turrillas E. (2014). *Estudio comparativo de eficiencia energética en seguidores solares*, Universidad Pública de Navarra, Tesis. Pamplona.

## ANEXOS

### Nomenclatura

SC	Suma de cuadrados
GL	Grados de libertad
MC	Cuadrados medios
F	Estadístico de prueba F de Fisher
P	Valor P de Pearson para Prueba de Hipótesis