

# DISEÑO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE MÓVIL Y AJUSTABLE PARA PANEL SOLAR DE EXPERIMENTACIÓN

Arizaga Ibarra, Miguel Angel (1), Cerda Villafaña, Gustavo (2), Balvantín García, Antonio de Jesús (3)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [ma.arizagaibarra@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [gcerdav@ugto.mx]

3 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [antonio.balvantin@gmail.com]

## Resumen

En el presente documento se expone el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, así como los tipos de estructuras para dichos sistemas y características de estos. Con base en la información, se propuso el diseño de una estructura móvil para soportar paneles solares, posteriormente se realiza un análisis por medio de la teoría de falla del esfuerzo cortante máximo en sus elementos, así se determinan las características de los materiales necesarios para su construcción y poder concluir que esta no falle. Además, se realiza un diseño final con la ayuda del software Solidworks, para tener una mejor perspectiva de como luciría el aspecto y funcionamiento de la estructura al momento de su construcción y concluir que el diseño es el adecuado para satisfacer las necesidades requeridas.

## Abstract

This document describes the operation of photovoltaic systems, as well the types of structures for these systems and their characteristics. Based on the information, the design of a mobile structure to support solar panels was proposed, later an analysis is made by means of the theory of maximum shear failure in its elements, thus determining the characteristics of the materials needed to its construction and be able to conclude that it does not fail. In addition, a final design is made with the help of Solidworks, to obtain a better perspective of the appearance and functioning of the structure at the time of its construction and to conclude that the design is adequate for the required needs.

## Palabras Clave

Estructura; Materiales; Diseño; Análisis; Fuerza del viento.

## INTRODUCCIÓN

### Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica, se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC) [1]. La generación de energía eléctrica dependerá de las horas que el sol brille sobre el panel solar y del tipo y cantidad de módulos instalados, orientación, inclinación, radiación solar que les llegue, calidad de la instalación y la potencia nominal.

De forma general, un sistema fotovoltaico requiere el acoplamiento de cuatro elementos principales: módulos fotovoltaicos, regulador o control de carga, baterías e inversor, los cuales se muestran en la Imagen 1.

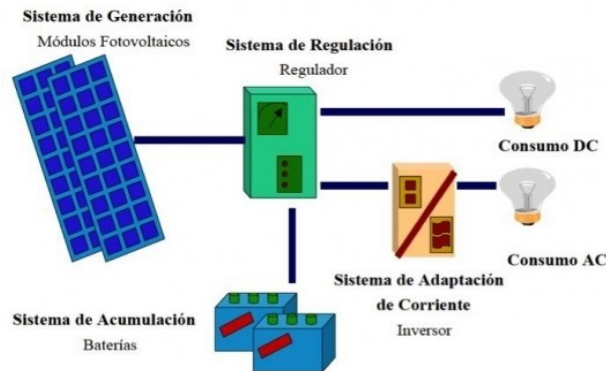


IMAGEN 1: Sistema fotovoltaico.

### Estructura para módulos fotovoltaicos

En la actualidad existen una gran cantidad de estructuras con seguimiento solar y estos a su vez se pueden clasificar por el dispositivo que realiza el movimiento, por el tipo de sistema fotovoltaico, por tipos de ejes seguidores, entre otros [2]. Sin embargo, para la realización del actual trabajo no se consideran estructuras seguidoras ya que estas requieren la implementación de más elementos como pueden ser motores eléctricos, brazos electromecánicos, gas comprimido, controlador seguidor, además de otros elementos mecánicos. Dichos elementos entre otras consideraciones presentan un mayor costo para el diseño de la estructura y no presentan un aumento significativo de potencia generada por el panel solar [3]. Cabe mencionar que el fin de esta investigación es obtener una estructura móvil para futuros trabajos de investigación, tanto del rendimiento y caracterización de paneles solares como de controladores de carga y algoritmos de búsqueda de máxima potencia.

Al no ser necesario un sistema de seguimiento solar, se opta por la realización de una estructura de un solo eje horizontal. Este tipo de estructura tiene su eje horizontal respecto al suelo con el cual a lo largo del año es posible ajustar el ángulo de inclinación de los paneles solares para compensar el ángulo respecto al ecuador y obtener la óptima incidencia de luz solar en las células fotoeléctricas.

- *Movimiento anual del sol*

Sabemos que la tierra, además de girar sobre su propio eje, denotando así los días y las noches, gira alrededor del sol, denotando así, los años [2]. A este movimiento se le llama traslación. La forma de la trayectoria de la tierra alrededor del sol puede considerarse circular, aunque en realidad es una elipse. La órbita de la tierra, es completamente plana, y el plano que contiene la órbita de la tierra se le llama plano orbital o también es conocida como elíptica.

La elíptica es a su vez, la trayectoria que el sol sigue a lo largo del año a través de la bóveda celeste (esfera ideal, sin radio definido y concéntrica con el globo terrestre). Pero entendemos que este movimiento es aparente, y que en realidad es la tierra la que realiza el movimiento contrario. Este movimiento anual del sol es muy lento, pues recorre  $360^\circ$  en un año, con un promedio de menos de un grado por día. El plano de la elíptica mantiene un ángulo constante en relación al eje de rotación de la tierra, de aproximadamente  $23.45^\circ$  el cual es el mismo en todo el año, y provoca que al cambiar la posición del planeta a lo largo de la eclíptica sucedan las diferentes estaciones en los hemisferios tal como se observa en la Imagen 2.

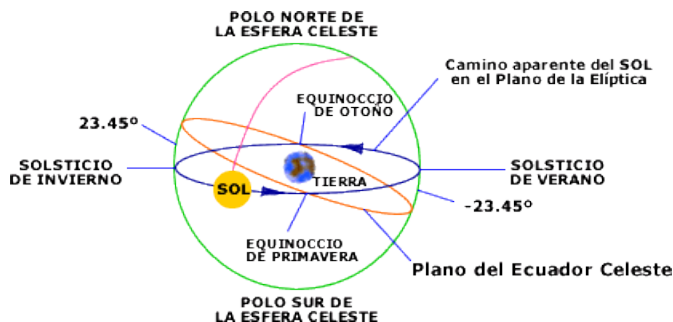


IMAGEN 2: Movimiento aparente del sol.

Este movimiento aparente del sol a su vez supone que el movimiento diurno del mismo varía, creando así diferentes ángulos con respecto al horizonte según la época del año y este ángulo es el que se busca compensar con ayuda de la estructura para obtener la mayor incidencia de luz solar en los paneles solares.

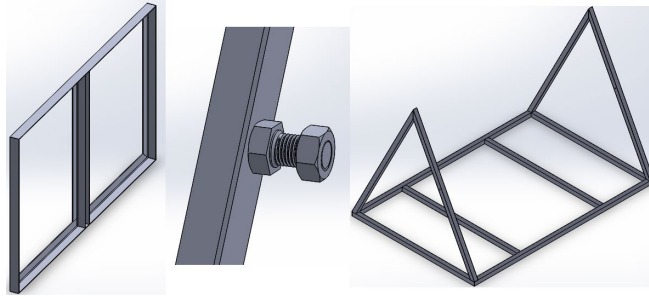
## MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez sabiendo el tipo de estructura que se tenía que realizar se procedieron a tomar las características técnicas que se deberían tener para soportar dos paneles solares, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características técnicas.

Modelo	Especificaciones
1. Panel solar	L x A x W = 53cm x 67cm x 3.5cm
2. Base para paneles solares	L x A x W = 110cm x 67cm x 3.5cm
3. Inclinación permitida	Angulo = $90^\circ$
4. Contenedor para batería y circuitos	L x A x W = 60cm x 40cm x 30cm
5. Altura de la estructura	L = 80cm
6. Peso de paneles solares	m = 5 kg por panel solar

Para la construcción de la base para los paneles solares se seleccionaron ángulos de lados iguales fabricados en grado de acero estructural ASTM A-36 laminado en caliente con las dimensiones adecuadas para sujetar correctamente los paneles, estas dimensiones son: Ancho=38.1mm y Espesor=3.2mm. El modelado de la base se muestra en la Imagen 3.



**IMAGEN 3: Base para paneles solares, pernos de ajuste de inclinación y estructura con PTR.**

Para realizar el cálculo de los materiales restantes se tienen que considerar las fuerzas que actúan sobre la base, tales como los pesos de los materiales y paneles, además de la fuerza ejercida por el viento. Donde el peso total es de 18.9304kg y la fuerza ejercida por el viento es de 146.4695N la cual es provocada por una velocidad de viento de 60km/h cuando la base se encuentra totalmente vertical [4]. La fuerza del viento se calculó tomando en consideración una superficie de contacto rectangular totalmente solida con las dimensiones de la base para paneles solares, por lo tanto, la fuerza estaría actuando justo en el centro de la base.

La inclinación estará siendo permitida gracias un par de pernos soldados en los extremos tal como se muestra en la Imagen 3. El diámetro de los pernos se calcula mediante la teoría de falla del esfuerzo cortante máximo [5], el esfuerzo máximo estaría dado por el momento máximo en el punto de apoyo del perno, este momento es de 134.8149N\*m provocado por el peso y fuerza del viento, este a su vez provoca un esfuerzo en función del diámetro, utilizando la resistencia mínima a la fluencia  $S_y=660\text{MPa}$  de un tornillo clase 8.8 y un factor de seguridad  $n=2$ , obtenemos un diámetro mínimo necesario de 16.6037mm, con este valor encontramos que el valor comercial necesario es de 18mm.

El resto de la estructura se realizará con perfil estructural cuadrado PTR el cual se puede observar en la Imagen 3. El elemento más comprometido estará a una tensión de 133.7854 N y tendrá un orificio para poder sujetar la base de los paneles en determinada posición con ayuda de una solera. Para fines de diseño se tomó un diámetro del orificio de 18mm y un perfil cuadrado comercial de 25.4mm de lado con un espesor de 1.89mm (valor mínimo comercial). Realizando el análisis de teoría del esfuerzo cortante máximo, aplicando un concentrador de esfuerzos y con  $S_y=235\text{MPa}$  [6] se obtiene un factor de seguridad  $n=102$  lo cual nos dice que el material propuesto es más que adecuado [5].

La determinación del diámetro que se usara en los pernos que sujetaran el panel en determinada inclinación se realiza de manera similar que el anterior perno, con la diferencia que para estos la fuerza cortante que soportan es de menor magnitud (18.3086N). Se propone usar pernos clase 4.6 con  $S_y=225\text{MPa}$  y un diámetro de 5mm (valor mínimo comercial). Utilizando la misma teoría de falla se obtiene un factor de seguridad igualmente muy alto.

Las dimensiones de la solera de tope se proponen con un ancho de 12.7mm y espesor de 3.2mm (valor mínimo comercial), estas igualmente tendrán un orificio de 5mm y tendrán que soportar una fuerza en tensión de 18.3086N. Siguiendo el mismo procedimiento que con el PTR y con  $S_y=250\text{Mpa}$  [6], se obtiene un factor de seguridad  $n=173$  [5].

Para determinar si la estructura completa será arrastrada o tumbada por el viento, se realizó el análisis tomando en cuenta el peso completo de la estructura además del contenedor para batería y circuitos, obteniendo una fuerza normal de 610.6293N y un momento en el punto de apoyo -198.4545N\*m. La presión del viento ejercida sobre cada una de las caras en contracto (paneles solares, contenedor y eslabones) da una fuerza horizontal de 196.1744N y un momento resultante de 145.3895 en el punto de apoyo. Con estos valores aseguramos que la estructura no será tumbada ya que el momento provocado por el peso es mayor que la del viento y no será arrastrada ya que el mínimo coeficiente de fricción necesario para que eso ocurriera es de 0.3212, mientras que los coeficientes de fricción entre acero y concreto es de 0.57. También

está la posibilidad de colocar ruedas a la estructura en cuyo caso el coeficiente de fricción entre la goma y el concreto es de 0.7 en superficie húmeda y 0.9 en superficie seca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en los coeficientes de seguridad presentados para la estructura propuesta se puede determinar que el diseño sugerido es lo bastante fuerte como para soportar su propio peso, así como también rachas de viento de 60 km/h, lo cual en la escala de Beaufort ya se considera como el límite de viento fuerte el cual es capaz de mover los árboles grandes y presentar una dificultad para caminar contra el viento. Como se observó en algunos elementos, sus coeficientes de seguridad eran muy altos, esto es debido a que las fuerzas principales son distribuidas en los distintos apoyos y elementos que componen la estructura, sin embargo, las dimensiones de los materiales se propusieron de acuerdo a los más pequeños encontrados en la región, pero cabe la posibilidad de que en otros lugares se logren encontrar dimensiones menores y así poder disminuir el costo total sin afectar la confiabilidad del diseño final el cual se puede observar en la Imagen 4.

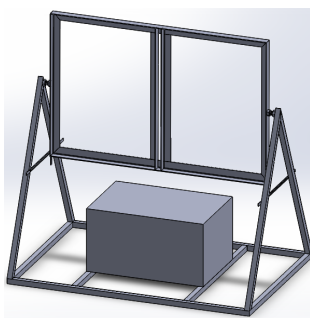


IMAGEN 4: Diseño final.

## CONCLUSIONES

Es posible realizar una estructura para paneles solares con la capacidad de ajustar un ángulo de inclinación respecto al ecuador a lo largo del año y poder obtener una buena eficiencia de los sistemas fotovoltaicos sin la necesidad de elevar demasiado los costos ya que las fuerzas que debe soportar no son muy grandes. Además de que el tamaño del diseño permite que no sea necesario un anclaje al piso para evitar movimientos no deseados y por el contrario se tenga la oportunidad de trasladarlo fácilmente por una persona para realizar los experimentos deseados.

## REFERENCIAS

- [1] Alonso Abella, M. Sistemas Fotovoltaicos. CIEMAT. Departamento de Energías Renovables MADRID 28040.
- [2] Domingo Heriberto, G. G. (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. Facultad de ingeniería y arquitectura.
- [3] Pelayo López, J. A., Luna Soto, Bernabe Ramos, F. & Guzmán Flores, B. (2017). Comparativa entre la eficiencia de un sistema fotovoltaico con seguidor solar y la de un sistema fotovoltaico fijo. Revista Iberoamericana de ciencias biológicas y agropecuarias. 6(12).
- [4] Caipe Bacázar, M. A. & Celis Pinzón, A. F. (2013). Diseño de una estructura móvil para un panel solar de 205 W con dos grados de libertad. Universidad Javeriana. Facultad de ingeniería.
- [5] Budynas, R. G. & Keith Nisbett J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. McGraw-Hill Interamericana.
- [6] (2018) Normas y características a las que se sujetan los aceros fabricados por Altos Hornos de México. Recuperado de [http://www.ahmsa.com/wp-content/uploads/2017/10/Capitulo\\_1.pdf](http://www.ahmsa.com/wp-content/uploads/2017/10/Capitulo_1.pdf).