

## Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico

### Modular structure design for installation of a photovoltaic system

HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar†\*, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Morelia, Unidad de innovación de energías alternativas y procesos industriales UTMOR-CA-07, Mantenimiento Industrial, Av. Vicepresidente Pino Suarez 750 Ciudad Industrial, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58200

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Morelia, Av. Vicepresidente Pino Suarez 750 Ciudad Industrial, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58200

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Julio Cesar, Hernandez-Ramirez* / **ORC ID:** 0000-0002-6352-1183, **Researcher ID Thomson:** R-3462-2018, **arXiv Author ID:** JulioCeHrz

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Fidencio Ulises, García-Gómez* / **ORC ID:** 0000-0003-3418-6643, **Researcher ID Thomson:** R-3522-2018, **arXiv Author ID:** UlisesGa

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Gerardo, Bolaños-Jiménez* / **ORC ID:** 0000-0001-6316-1977, **Researcher ID Thomson:** R-3714-2018, **arXiv Author ID:** Gerardobol

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Mauricio, Guzmán-Tapia* / **ORC ID:** 0000-0001-8588-0737, **Researcher ID Thomson:** R-3538-2018, **arXiv Author ID:** MauricioGT50

ID 4<sup>to</sup> Coautor: *Jesús Eduardo, Rodríguez-Gutiérrez* / **ORC ID:** 0000-0001-9240-3568, **Researcher ID Thomson:** R-2910-2018, **arXiv Author ID:** eduardo.rod.gtz

Recibido Enero 27, 2018; Aceptado Marzo 30, 2018

#### Resumen

En el presente proyecto se plantea el diseño de una estructura modular que soporte un par de paneles solares. Para el diseño de la estructura se tomaron en cuenta parámetros de diseño; como el peso de los paneles, el peso de la propia estructura, el peso de un gabinete que contiene una batería, un inversor y un convertidor, además de la presión del viento, suponiendo una velocidad máxima de 250 km/hr, el cual se considera un huracán intenso, extremadamente destructivo, con índice de peligrosidad severo. Con el objetivo de ofrecer una validación estructural se calculó bajo un factor de seguridad del 200%. En la presente propuesta se usan perfiles tubulares comerciales, lo que permite atender la estética sin descuidar su resistencia. En el diseño planteado, sobresale su modularidad y su fácil montaje, además estará encaminado a ofrecer una manufactura sencilla, una rápida instalación y un mantenimiento económico, lo que lo hace una propuesta ideal para comunidades de difícil acceso. Haciendo uso de software para su validación estructural, se propone un análisis de esfuerzos von Mises y un análisis de deformación total.

#### Diseño estructural, Modular

#### Abstract

In the present project the design of a modular structure that supports a pair of solar panels is considered. Design parameters were taken into account for the design of structure; as the weight of panels, the weight of structure itself, the weight of a cabinet containing a battery, an inverter and a converter, in addition to the wind pressure, assuming a maximum speed of 250 km / hr. Which is considered an intense hurricane, extremely destructive, with severe hazard index. In order to offer a structural validation it was calculated under a safety factor of 200%. In the present proposal, commercial tubular profiles are used, which makes it possible to attend to aesthetics without neglecting their resistance. In the proposed design, its modularity and easy assembly stand out, and it will be aimed at offering simple manufacturing, rapid installation and economic maintenance, which makes it an ideal proposal for communities with difficult access. Using software for its structural validation, a von Mises stress analysis and a total deformation analysis are proposed.

#### Structural design, Proposal, Modular

**Citación:** HERNANDEZ-RAMIREZ, Julio Cesar, GARCIA-GÓMEZ, Fidencio Ulises, BOLAÑOS-JIMÉNEZ, Gerardo, GUZMÁN TAPIA, Mauricio y RODRIGUEZ-GUTIERREZ, Jesús Eduardo. Diseño de estructura modular para la instalación de un sistema fotovoltaico. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-4: 1-5.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

\*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (eduardo.rod.gtz@gmail.com)

## Introducción

La importancia que puede adquirir la energía no convencional en México se observa, por ejemplo, si consideramos que en el país existen 190 432 localidades con menos de 5 000 habitantes, de las cuales 6.9% (13 140 localidades) no cuentan con energía eléctrica, lo que representa una población aproximada de 2 236 295 personas que carecen de este servicio (INEGI, 2010).

Entre las fuentes de energías renovables, la energía solar es la más importante, debido a su abundancia y sostenibilidad. Independientemente de la intermitencia de la luz solar, la energía solar está ampliamente disponible y completamente libre de costo (Kroposki, B. and DeBlasio, 2000). Los sistemas fotovoltaicos (FV) son sistemas de energía solar que producen electricidad directamente de la luz solar, estos producen energía limpia y confiable sin consumir combustibles fósiles y se puedan usar en una amplia gama de aplicaciones (Castellanos, A y Escobedo, 1980).

Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar deben recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar, esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares.

En México en el año 2014 se puso en marcha lo que sería el parque solar más grande de América Latina, el Proyecto Aura Solar 1, desarrollado por la empresa Gauss Energía. Se pretendía que Aura Solar generará 82 GWh de energía limpia al año, sobre un terreno de 100 hectáreas. En el mismo año el proyecto Aura solar 1 fue víctima estructural del Huracán Odile (Gauss Energía., 2013; Hernandez, 2016)., considerado como un huracán clasificación IV (Agua-CONAGUA & Del, 2012), en septiembre de este mismo año.

Estos datos climáticos del huracán Odile se tomarán de referencia para la propuesta de diseño.

Este proyecto tiene como objetivos: 1. El diseño de una estructura modular 2. Garantizar su resistencia estructural. 3. El prototipo de un soporte de fácil montaje en comunidades marginadas o de difícil acceso.

## Metodología

La inclinación de los paneles es de 20° de la horizontal, lo que permitirá un mayor aprovechamiento de energía, la estructura se compone de dos partes principales, la parte de captación y almacenamiento (un par de celdas y un gabinete donde se encuentra fijo la batería, el convertidos y el inversor) con un peso aproximado de 40 Kg, y la parte estructural; un cuadro de fijación de las celdas, ver Figura 1, un soporte del cuadro con acoplamiento hembra al poste, ver Figura 2, un poste de 1.5 mts de altura, ver Figura 3 y una base de anclaje a tierra con acoplamiento hembra al poste ver Figura 4.

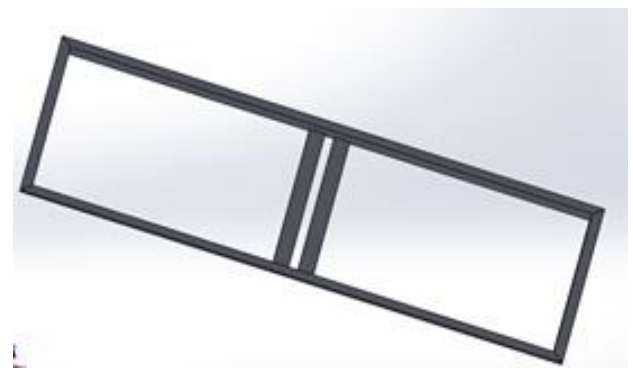


Figura 1 Cuadro de fijación de celdas

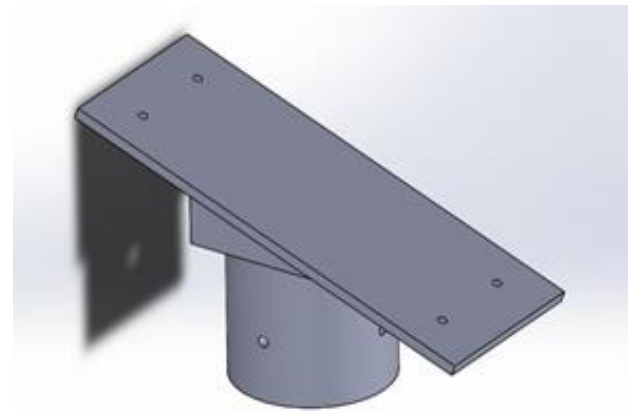
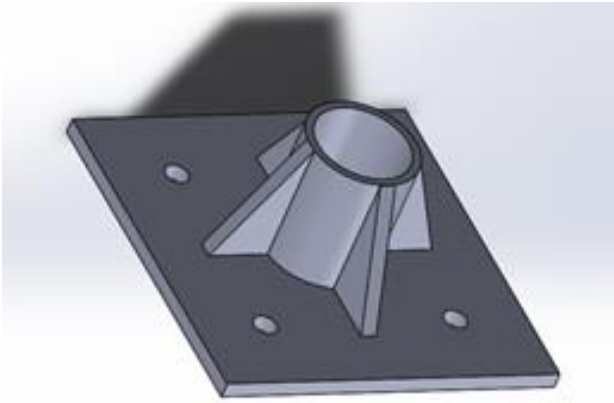


Figura 2 Soporte de cuadro con acoplamiento hembra al poste



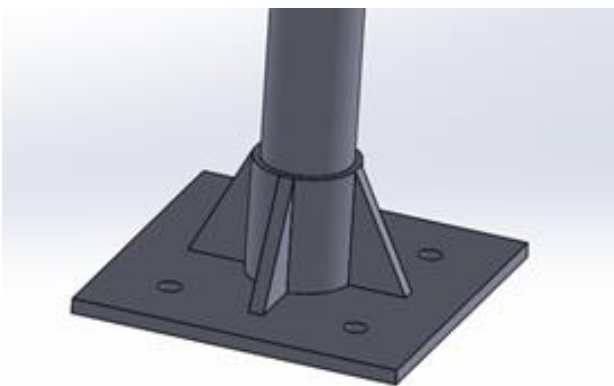
Figura 3 Poste tubo



**Figura 4** Base de anclaje a tierra con acoplamiento hembra al poste

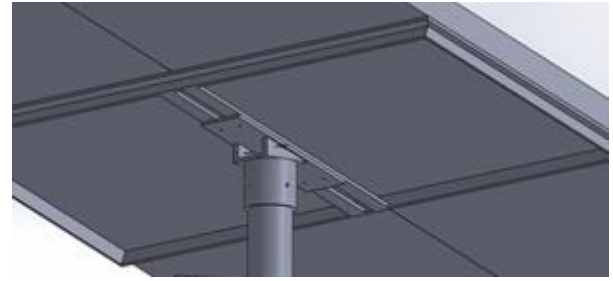
### Montaje

El diseño modular de la estructura permite su fácil montaje en comunidades de difícil acceso, ya que la base de anclaje, se atornilla a una base piramidal para poste de 60x60 (previamente asentada, y nivelada), esta base piramidal tiene 4 guías de  $\frac{3}{4}$ " las cuales coinciden con las perforaciones de la placa, esta se atornilla con 4 tuercas de 1" garantizando así su anclaje a tierra. Ya anclada la base se acopla el poste tubo en la base y se sujeta con cuatro tornillos de  $\frac{1}{4}$ ", ver Figura 5.



**Figura 5** Acoplamiento de base con poste

En la parte superior del poste se acopla el soporte del cuadro al poste atornillándolo con 4 tornillos de  $\frac{1}{4}$ ", sobre el soporte se fija el cuadro de fijación de celdas con 4 tornillos de  $\frac{1}{4}$ ", a su vez cada celda se fija al cuadro con cuatro tornillos por panel, estos tornillos pueden ser de  $\frac{1}{4}$ " o de  $\frac{1}{8}$ " según recomiende el fabricante, ver figura 6.



**Figura 6** Acoplamiento de celdas en cuadro, el cuadro en soporte, y el soporte en poste

Para el equipo de control y almacenamiento se monta en un gabinete que estará atornillado al poste a 1 metro de altura, los tornillos de fijación son de  $\frac{1}{4}$ " o de  $\frac{1}{8}$ ", ver figura 7.



**Figura 7** Fijación de gabinete con equipo de control y almacenamiento

### Análisis Estructural

Para el estudio estructural se tomaron en cuenta dos componentes. El primer componente representa; el peso del gabinete, las celdas y el cuadro de fijación de las celdas sobre la vertical, este componente es coincidente con el poste y se representa en sentido negativo. El segundo componente representa una fuerza sobre la horizontal que equivale a la fuerza del viento, tomando en cuenta una velocidad del viento máxima de 250 Km/hr, equivalente a un huracán clase V, con una densidad de  $1.225 \text{ kg/m}^2$  y una constante de resistencia aerodinámica de 1.17, (Caípe Balcazar, Marco Antonio y Celis Pinzón, 2013; Coordinación Nacional de Protección Civil, 2017).

La estructura se fija a tierra en la parte inferior de la base, ver Figura 8.



Figura 8 Estructura fija a tierra

En el estudio estructural una de las componentes se representa en la vertical con 785 N y la componente que ejerce el viento sobre el panel es de 4061 N, al 200%, para su representación se ejerce una presión sobre el modelo, la presión se obtiene al ejercer ambas fuerzas sobre el área del acoplamiento hembra del cuadro y del poste. Con un valor de 31 400 Pa en la vertical y de 162 400 Pa en la horizontal ver Figura 9.

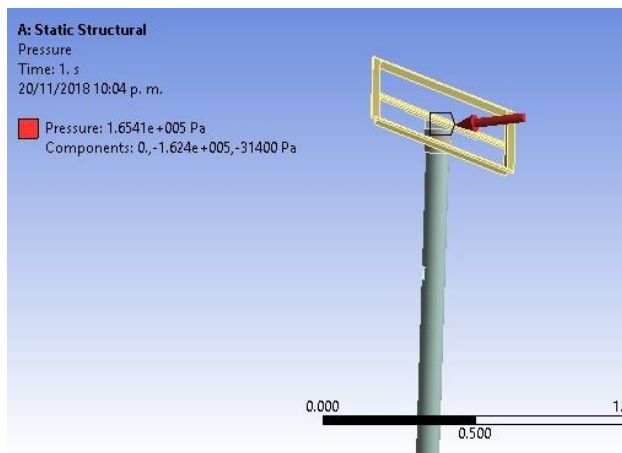


Figura 9 Representación de la presión en las dos componentes de interés

## Resultados y Discusión

En la parte del análisis estructural, analizamos la estructura bajo el criterio de tensión máxima von Mises, esta teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión es mayor. El objetivo de este análisis es encontrar el límite de fluencia elástico a tensión, y así esfuerzo cortante por el único esfuerzo de tensión pura. El Método de Elemento Finito (MEF), nos ayuda a validar el diseño propuesto en donde se analizó la estructura en 13 375 nodos en un total de 6 221 elementos, este método de la mano con el análisis de von Mises se convierten en una herramienta poderosa para obtener los resultados esperados.

En los resultados gráficos es posible visualizar el comportamiento de la estructura bajo las dos presiones, se hace un análisis de tensión máxima von Mises, en donde nos detecta la zona vulnerable, aunque los valores obtenidos son seguros, con valores máximos de desplazamiento de  $2.05 \times 10^8$  Pa, y valores mínimos de 76.84 Pa, ver Figura 10, recordemos que el límite elástico es de 210 Mpa, por lo que esta por de bajo de la resistencia del material.

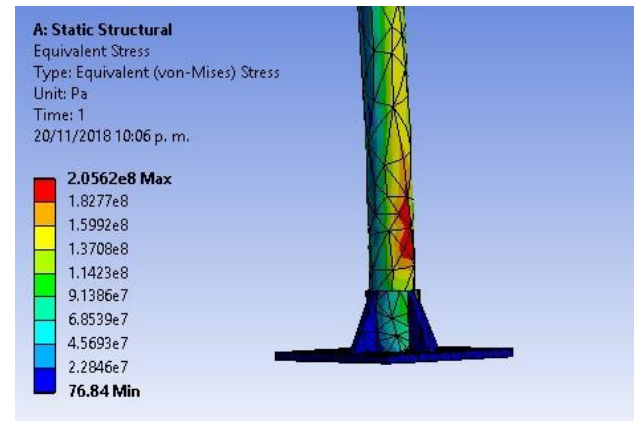


Figura 10 Ubicación de zona de acumulación de tensión máxima von Mises

Con el fin de validar el diseño de una mejor manera, se realiza un análisis de esfuerzos equivalentes bajo la teoría von Mises donde nos resulta un desplazamiento máximo de 0.001 m.

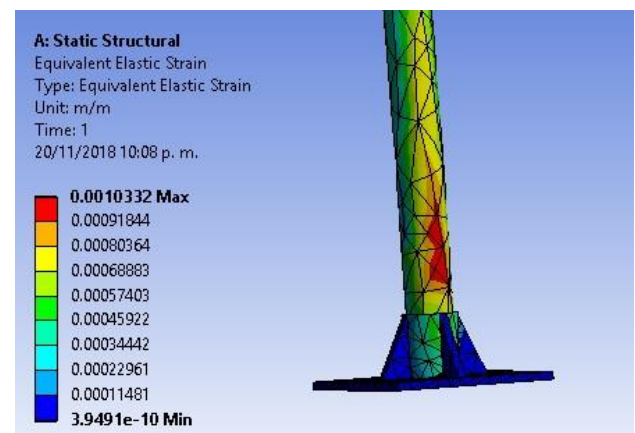
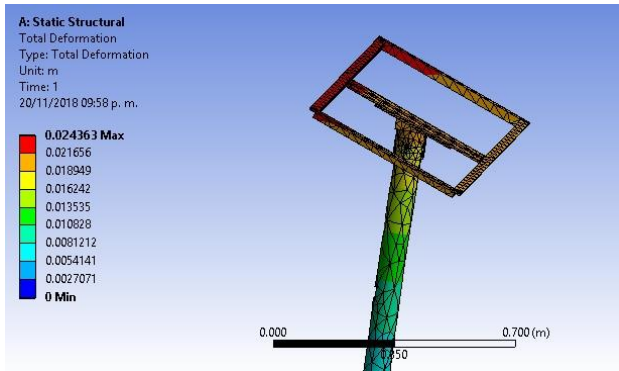


Figura 11 Ubicación de zona de esfuerzos elásticos equivalentes

Por último, analizamos la deformación total ver Figura 12, en donde podemos visualizar que la deformación máxima no afecta a la estructura, teniendo un desplazamiento máximo de 0.02 m, por lo que es aceptable.



**Figura 12** Ubicación de zona de acumulación de deformación total

### Agradecimiento

A la empresa CENIT S.A. de C.V.  
A la Dirección de la Carrera de Mantenimiento Área Industrial y Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Morelia julio de 2018.

### Conclusiones

Las condiciones climáticas que fueron consideradas se asemejan a las que se reportaron en el colapso de algunas estructuras en la instalación solar de Aura Solar en La Paz Baja California Sur, dejando importantes lecciones en cuanto a la necesidad de adecuar la normativa de los diseños de este tipo de estructuras, ofreciendo en este documento una metodología para la simulación de un análisis estructural confiable.

El factor de seguridad sugerido, nivel 2, tiene como fin evitar alguna falla estructural, tomando en cuenta las cargas al 200%, ofreciendo una resistencia real calculada y validada con el Método del Elemento Finito, se realizó una revisión en la normativa vigente, encontrando la norma AISA/TIA/EIA-222, que referencía criterios mínimos necesarios para el diseño de torres y estructuras de acero para antenas, de donde se tomaron algunos datos estructurales importantes para el diseño de esta clase de estructuras fotovoltaicas. El desarrollo de una estructura de este tipo se realizó con el fin de generar un prototipo capaz de evaluarse en el Laboratorio de la Universidad Tecnológica de Morelia para la carrera de Mantenimiento Industrial, buscando mejorar el prototipo para que cumpla con la satisfacción del cliente.

Así mismo, se busca forjar un conocimiento mayor en el campo del diseño de este tipo de estructuras, donde las personas que requieran de su uso tengan a su alcance la visualización de este tipo de prototipos. El prototipo propuesto conserva parámetros dimensionales que permiten su manipulación en cualquier laboratorio de Metal-Mecánica, sus insumos son de fácil acceso, y la manera de montarlo es bastante sencilla.

### Referencias

- Agua-CONAGUA, & Del, C. N. (2012). Análisis de las temporadas de huracanes de los años 2009 , 2010 y 2011 en México (2012th ed.). México, D.F.
- Caibe Balcazar, Marco Antonio y Celis Pinzón, A. F. P. universidad javeriana facultad de ingeniería departamento de electrónica bogotá d. c. feberero de 2013. (2013). Diseño de una estructura móvil para un panel solar de 205 w con dos grados de libertad. Pontificia Universidad Javeriana facultad de ingeniería.
- Castellanos, A y Escobedo, M. (1980). La energía solar en México; situación actual y perspectivas. (C. de Ecodesarrollo, Ed.) (1a ed.). México, D.F.
- Coordinación Nacional de Protección Civil, M. (2017). Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificios. México, D.F. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/247555/300617\\_EvaluacionEstructuras\\_02-Viento.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/247555/300617_EvaluacionEstructuras_02-Viento.pdf)
- Gauss Energia. (2013). Proyecto Aura Solar. Retrieved from <http://www.aurasolar.com.mx/aura-solar-i.html>
- Hernandez, R. (2016). Aura solar: El gran proyecto que ahora está abandonao Title. Retrieved from <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/aura-solar-el-gran-proyecto-que-ahora-esta-abandonado>
- INEGI. (2010). Principales resultados de censo de población y vivienda 2010. México, D.F.
- Kroposki, B. and DeBlasio, R. (2000). Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. <https://doi.org/1798-801>