



Artículo de investigación

Diseño y evaluación de una estación de carga fotovoltaica para motocicletas eléctricas en Ciudad Juárez, Chihuahua

Design and evaluation of a photovoltaic charging station for electric Motorcycles in Ciudad Juárez, Chihuahua

Diego Moisés Almazo Pérez , Ingrid Carolina Romero Vázquez , Delfino Cornejo Monroy , Carlos Alberto Ochoa Ortiz 

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Av. Del charro S/N, 32320, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Autor de correspondencia: Diego Moisés Almazo Pérez, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Av. Del charro S/N, 32320, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Correo electrónico: diego.almazo@uacj.mx. ORCID: 0000-0002-3440-8886.

Recibido: 22 de Febrero del 2025

Aceptado: 25 de Junio del 2025

Publicado: 12 de Julio del 2025

Resumen. Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar una estación de carga fotovoltaica para motocicletas eléctricas en Ciudad Juárez, Chihuahua, capaz de soportar las cargas de viento propias de la región. El proyecto surge ante la creciente demanda de transporte eléctrico y el alto potencial solar de la zona, destacando la necesidad de infraestructuras que faciliten la transición hacia energías renovables. La justificación del proyecto radica en la falta de estaciones de carga solar fotovoltaica para motocicletas en la ciudad, a pesar de la existencia de estaciones convencionales para vehículos eléctricos. El proyecto busca aprovechar las condiciones climáticas favorables para la energía solar, mejorando la autosuficiencia energética y reduciendo los costos residenciales de recarga, contribuyendo así a la lucha contra el calentamiento global. El trabajo se centra en la selección de materiales adecuados para la estructura, el análisis del ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares y la adaptación del diseño para maximizar la eficiencia energética. Se determinó que se requieren 6 paneles solares para garantizar tiempos de carga eficientes y un aprovechamiento máximo de la energía solar disponible. Se utilizó el software SolidWorks para diseñar dos propuestas de estaciones de carga solar, considerando la selección de materiales, el cálculo de dimensiones y la selección de columnas aptas para las condiciones locales. Para el análisis estructural, se emplearon herramientas de simulación como ANSYS y Abaqus, que permitieron calcular las cargas aplicadas por el viento, las reacciones en los soportes y las deflexiones. Se evaluaron dos materiales para las columnas y vigas: acero inoxidable 304 y aleación de aluminio AL6005-T5. Ambos materiales cumplen con los requisitos de resistencia y seguridad, aunque el acero mostró una mayor rigidez y resistencia a la deformación. El diseño final propone una estructura metálica robusta, con paneles solares ubicados estratégicamente para optimizar la captación de energía. Las simulaciones de esfuerzos y deformaciones demostraron que la estructura es capaz de soportar las cargas y condiciones climáticas de la región, asegurando su funcionalidad y durabilidad.

Palabras clave: Carga; Energía; Estructura; Simulación; Fotovoltaica.

Abstract. - This research work aims to design a photovoltaic charging station for electric motorcycles in Ciudad Juárez, Chihuahua, capable of withstanding the wind loads typical of the region. The project arises in response to the growing demand for electric transportation and the area's high solar potential, highlighting the need for infrastructure that facilitates the transition to renewable energy. The justification for the project lies in the lack of photovoltaic charging stations for motorcycles in the city, despite the existence of conventional charging stations for electric vehicles. The project seeks to take advantage of favorable climatic conditions for solar energy, improving energy self-sufficiency and reducing residential charging costs, thereby contributing to the fight against global warming. The work focuses on selecting suitable materials for the structure, analyzing the optimal tilt angle for solar panels, and adapting the design to maximize energy efficiency. It was determined that 6 solar panels are required to ensure efficient charging times and maximum utilization of available solar energy. The software SolidWorks was used to design two proposals for solar charging stations, considering material selection, dimension calculations, and the choice of columns suitable for local conditions. For structural analysis, simulation tools such as ANSYS and Abaqus were employed to calculate wind loads, support reactions, and deflections. Two materials were evaluated for the columns and beams: stainless steel 304 and aluminum alloy AL6005-T5. Both materials meet the strength and safety requirements, although stainless steel showed greater stiffness and resistance to deformation. The final design proposes a robust metal structure with solar panels strategically placed to optimize energy capture. Stress and deformation simulations demonstrated that the structure can withstand the region's loads and climatic conditions, ensuring its functionality and durability.

Keywords: Charging; Energy; Structure; Simulation; Photovoltaic.



1. Introducción

La creciente demanda de energía eléctrica para vehículos eléctricos ha impulsado la necesidad de infraestructura de carga sustentable. En este contexto, las estaciones de carga fotovoltaicas representan una solución innovadora al aprovechar la energía solar, una fuente renovable y abundante [1]. La ciudad de Ciudad Juárez, ubicada en el estado de Chihuahua, es una región con un alto potencial solar, lo que la convierte en un lugar ideal para la implementación de este tipo de tecnologías [2]. Sin embargo, el diseño de estas estaciones debe considerar factores climáticos como las ráfagas de viento intensas y las temperaturas extremas, que pueden afectar la durabilidad y eficiencia de la estructura [3].

Este proyecto busca diseñar una estación de carga solar para motocicletas eléctricas que sea resistente a las condiciones climáticas de la región y optimice la captación de energía solar. Para ello, se analizaron materiales, se calcularon ángulos óptimos de inclinación de los paneles solares y se realizaron simulaciones estructurales para garantizar la integridad de la estructura [4]. El uso de software como SolidWorks, ANSYS y Abaqus permitió validar el diseño y asegurar su viabilidad [5].

La implementación de estaciones de carga fotovoltaicas no solo contribuye a la reducción de emisiones de CO₂, sino que también promueve la movilidad sostenible y la independencia energética [6]. Este trabajo representa un avance significativo en la integración de energías renovables en el transporte urbano, ofreciendo una solución viable para ciudades con alto potencial solar como Ciudad Juárez [7].

1.1 Antecedentes

En los últimos años, el uso de energías renovables ha ganado relevancia debido a la necesidad de reducir la dependencia de los

combustibles fósiles y mitigar el cambio climático [8]. La energía solar fotovoltaica, en particular, ha experimentado un crecimiento significativo gracias a su disponibilidad y bajo impacto ambiental [9]. En el contexto de las estaciones de carga para vehículos eléctricos, la energía solar se ha convertido en una alternativa viable para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la movilidad sostenible [10].

Varios estudios han abordado el diseño y optimización de estaciones de carga solar. Por ejemplo, Marler (2022) investigó la estabilidad de techos solares en estacionamientos del supermercado Walmart, identificando debilidades en los soportes y recomendando mejoras en el diseño [11]. Ramos y Céspedes (2021) diseñaron una estación de carga solar en un centro comercial, demostrando su viabilidad técnica y económica, así como su impacto positivo en la reducción de emisiones de CO₂ [12]. Además, Ali et al. (2020) compararon diferentes tipos de estructuras de cubierta para estaciones de carga solar, concluyendo que la estructura "Monopitch" es la más eficiente en términos de generación de energía [13].

En cuanto a las condiciones climáticas, Hernández (2020) estudió los niveles de carbono negro en Ciudad Juárez, relacionándolos con el tráfico vehicular y la calidad del aire [14]. Por otro lado, Yang y Bai (2017) analizaron los daños en estructuras de acero liviano expuestas a vientos de alta velocidad, proponiendo soluciones para mejorar su resistencia [15]. Estos estudios resaltan la importancia de considerar factores climáticos en el diseño de estructuras de soporte para paneles solares [16].

En el ámbito de los materiales, Díaz (2014) evaluó el comportamiento lateral de cimientos para paneles solares, validando la eficacia de un diseño único que garantiza la resistencia y



seguridad de la estructura [17]. Además, estudios como los de Stojanovic et al. (2018) han explorado las propiedades de las aleaciones de aluminio, destacando su baja densidad y alta resistencia mecánica, lo que las hace ideales para aplicaciones estructurales [18].

En cuanto a las motocicletas eléctricas, Beshilas y Aznar (2020) destacaron su potencial para mejorar la calidad del aire en comparación con los automóviles eléctricos de cuatro ruedas [19]. Sin embargo, su adopción en México aún es limitada debido a los altos costos, aunque se espera que disminuyan con el avance tecnológico [20].

Finalmente, el uso de herramientas de simulación como el método de elementos finitos (MEF) ha sido fundamental para el análisis estructural de estaciones de carga solar. Srirekha y Bashetty (2010) describieron el MEF como una técnica eficaz para predecir el comportamiento de

estructuras bajo cargas externas, lo que permite optimizar el diseño antes de su construcción [21]. Además, Gueymard (2004) destacó la importancia de la irradiancia solar en el diseño de sistemas fotovoltaicos, lo que influye en la eficiencia energética de las estaciones de carga [22].

2. Metodología y desarrollo

2.1 Datos históricos meteorológicos en Ciudad Juárez

Con el fin de aportar mayor precisión a la investigación se utilizaron los datos más actualizados se tomaron los datos del año 2023. A continuación, en la Figura 1 se muestran los datos históricos obtenidos de la temperatura en Ciudad Juárez en 2023. En la Tabla 1 se muestran las horas de luz natural promedio mensual en Ciudad Juárez.

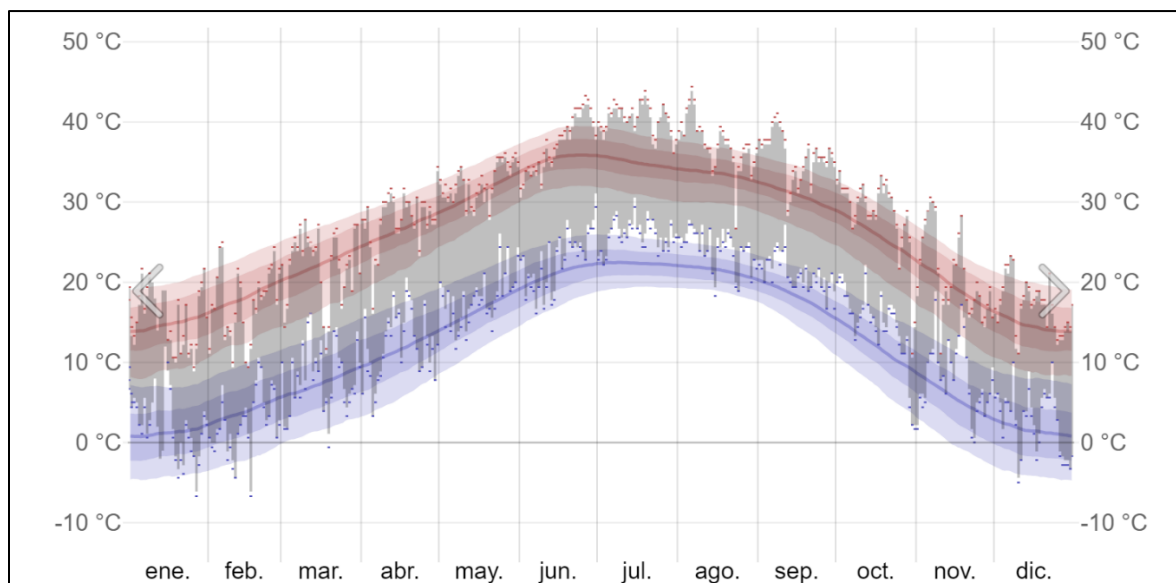


Figura 1. Temperaturas reportadas mínimas (marcas azules) y máximas (marcas rojas) diarias en 2023 (Cedar Lake Venture, Inc., 2024).



Tabla 1. Distribución de muestras para las diferentes temperaturas y contenido de Cal. Horas de luz natural promedio mensual en Cd. Juárez en 2023 (Cedar Lake Venture, Inc., 2024).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas De luz natural	10.3	11.1	12.0	13.0	13.8	14.2	14.0	13.3	12.3	11.4	10.5	10.1

En la Figura 2 se muestra la velocidad de viento diaria anual en 2023, donde se mostraron picos de velocidad en las fechas:

- 30 de septiembre con una velocidad 116.7 km/h
- 26 de febrero con una velocidad de 113 km/h
- 14 de febrero con una velocidad de 103.7 km/h
- 24 de marzo con una velocidad de 100 km/h

Siendo la más alta registrada de 116.7 km/h.

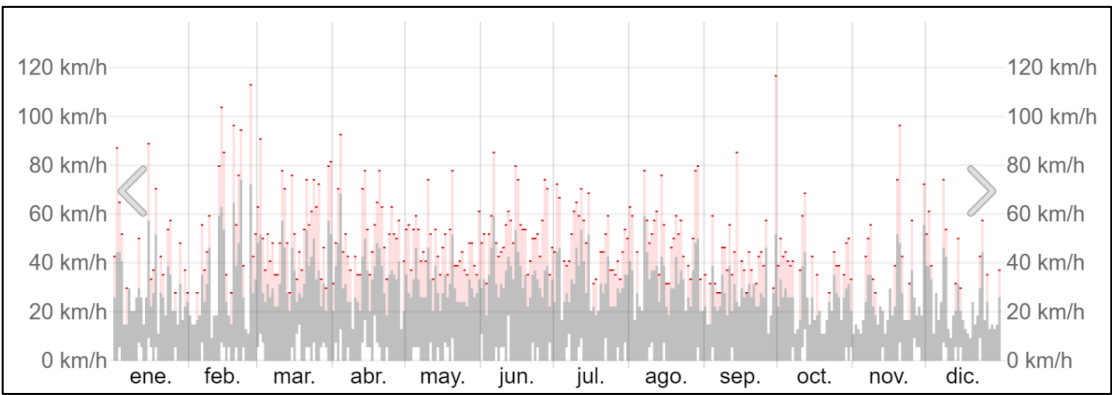


Figura 2. Velocidad del viento en 2023 en Cd. Juárez (Cedar Lake Venture, Inc., 2024).

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de horas de la dirección del viento proveniente de los 4 puntos cardinales en Cd. Juárez, 2023 donde se

observaron vientos mayormente provenientes del Oeste.

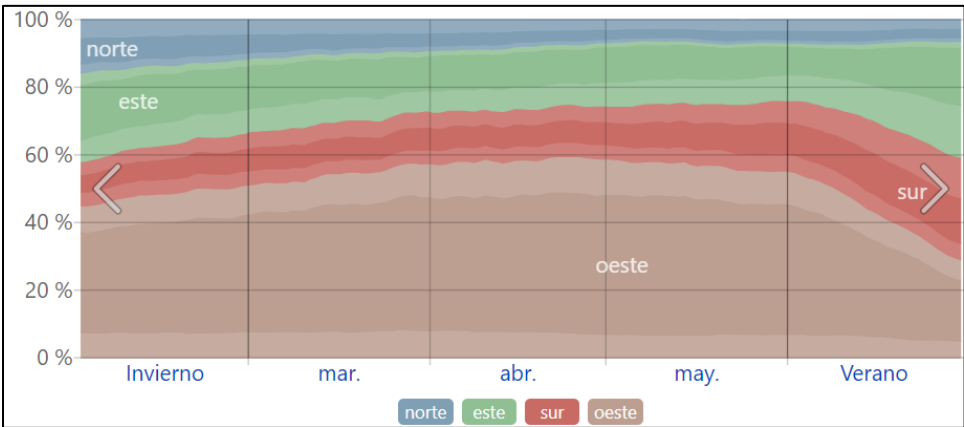


Figura 3. Dirección del viento en Ciudad Juárez 2023 en Cd. Juárez (Cedar Lake Venture, Inc., 2024).



2.2 Irradiación solar

Debido a que la trayectoria solar influye directamente en la irradiación solar, fue imperativo conocer la trayectoria de la zona de estudio. En la Figura 4 se muestra la trayectoria

solar en Cd. Juárez, donde se visualizó la elevación solar de acuerdo con los puntos cardinales. Además, una concentración de área activa en el ángulo azimut de 180°, en otras palabras, es el hemisferio Sur.

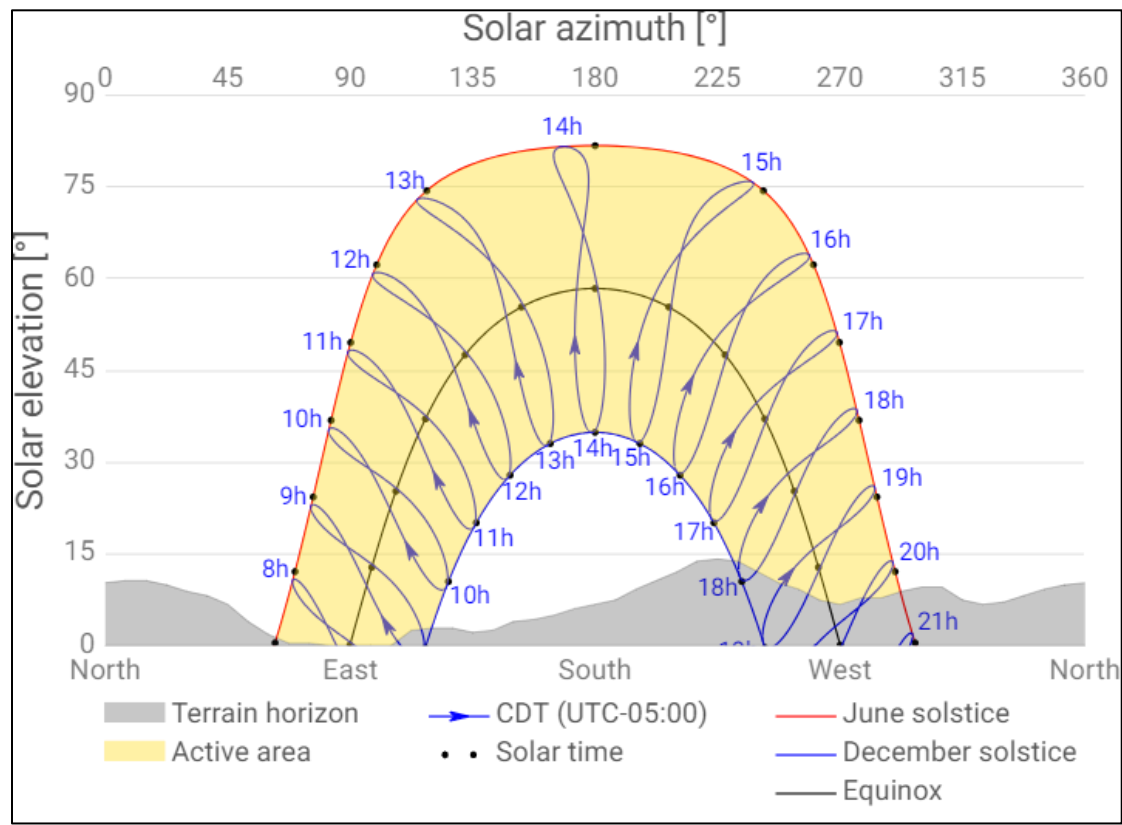


Figura 4. Horizonte y trayectoria solar 2023 en Cd. Juárez (Solargis, 2024).

Con las coordenadas geográficas 31.692647°, -106.493813° en Ciudad Juárez, Chihuahua, México se obtuvieron los siguientes resultados en Global Solar Atlas. En la Tabla 2 se muestra la salida de energía fotovoltaica producida por la irradiancia solar en un ángulo de 0° con respecto al plano horizontal sobre un panel solar de 470 Wp, donde se obtuvo 822.5 kWh por año.

Tabla 2. Promedio mensual de generación de energía fotovoltaica a 0° (Solargis, 2024).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
kWh	46.5	52.8	73.8	84.1	93.6	88.9	84.5	78.8	68.7	61.1	47.6	42.1



2.2 Cálculos para el dimensionamiento y orientación

2.2.1 Motocicletas eléctricas

La estación fue diseñada para motocicletas eléctricas; con el propósito de facilitar el

desarrollo del proyecto, se tomó como referencia el modelo de Motocicleta eléctrica “TC Max Super Soco 2023”. Este vehículo forma parte de los modelos de dos ruedas más comercializados en México. En la Figura 5 se muestra el modelo y sus respectivas medidas.



Figura 5. Motocicleta “TC Max Super Soco 2023” y sus dimensiones (SUPER SOCO, 2024).

2.2.2 Paneles Solares y sus características

Dado que los paneles solares son un componente esencial en las estaciones de carga fotovoltaicas, es fundamental realizar una selección basada en criterios de eficiencia y confiabilidad. Por lo cual, este proyecto se basa en el panel solar

monocristalino “Q.TRON×L-G2 SERIES” de la marca QCells, catalogado como uno de los más vendidos en los Estados Unidos. Este modelo destaca por su alta eficiencia energética y competitividad en costos. En la Figura 6 se muestra este tipo de panel solar, además de sus dimensiones.

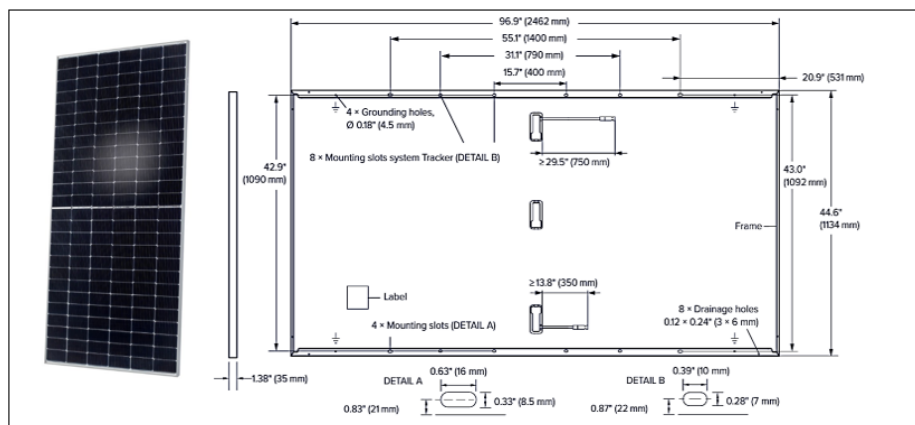


Figura 6. Panel solar “Q.TRON×L-G2 SERIES” y sus dimensiones (QCELLS, 2024).



2.3 Cálculo estructural

Para realizar el cálculo estructural, se definieron los tipos de cargas que actúan sobre la estructura, comenzando por las cargas aplicadas

directamente. Sobre las columnas se ejercieron 2 cargas aplicadas las cuales son el peso de los paneles solares y carga del viento. En la Figura 3 se muestran las cargas aplicadas para posteriormente realizar un análisis estructural.

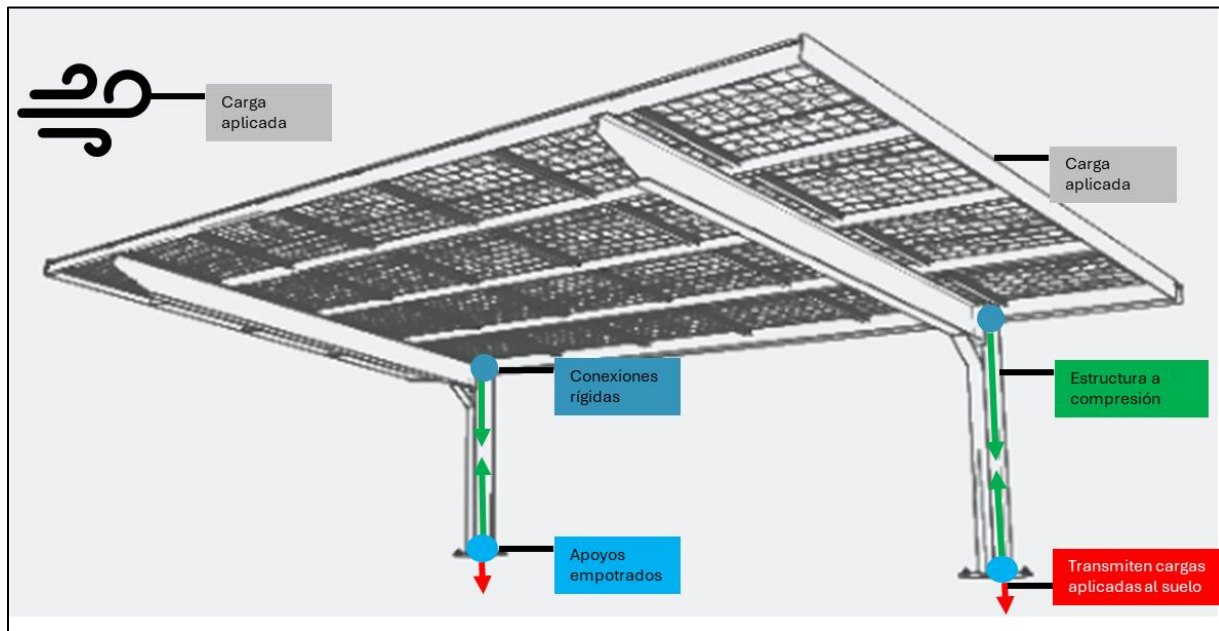


Figura 7. Cargas involucradas en una estación de carga solar (Fuente propia).

2.3.1 Cargas aplicadas

Primeramente, se definió el peso total de los paneles como: 212.4 kg o 2,083.644 N de los 6 paneles en total. Para proseguir con las

ecuaciones 1 y 2 que definen la fuerza y presión ejercida por el viento, obteniendo los siguientes resultados [23][24]:

- ***C_d*** es el coeficiente de arrastre,
- ***A*** es el área expuesta ante la fuerza del viento,
- ***v*** es la velocidad del viento,
- ***ρ*** es la densidad del viento (comúnmente 1.225 kg/m³),
- ***P*** es la presión dinámica,
- ***ρ*** es la densidad del fluido,
- ***v*** es la velocidad del fluido.

$$F_{viento} = c_d \times A \times v \times \rho / 2 \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \quad (2)$$



2.3.2 Cargas y reacciones

Para simplificar el cálculo de las reacciones se utilizó el software ANSYS, en el cual la carga distribuida fue transformada en dos cargas puntuales mediante la multiplicación de la carga

- $\sum Fx$ es la sumatoria de fuerzas en el eje x,
- $\sum Fy$ es la sumatoria de fuerzas en el eje y,
- $\sum M$ es la sumatoria de momentos en un punto específico,
- F es la fuerza,
- d es la distancia perpendicular desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de rotación.

2.3.3 Deflexión y Falla por Pandeo

Para el cálculo de deflexión máxima sobre una viga se comenzó determinando el momento

- w es la carga distribuida,
- L es la longitud de la viga.

Por consiguiente, se calculó el momento de inercia de la sección transversal para la viga

- H es la longitud exterior,
- h es la longitud interior.

Se calculó el valor de c mediante la ecuación 8, y con los datos anteriormente obtenidos se utilizó

- h es el grosor de la viga cuadrada.

por la distancia; para proceder a la resolución de reacciones en las columnas. Por consecuencia se obtuvieron las reacciones en los soportes, las cuales cumplen con las Ecuaciones de equilibrio descritas en las ecuaciones siguientes [25]:

$$\sum Fx = 0 \quad (3)$$

$$\sum Fy = 0 \quad (4)$$

$$\sum M = F_1 \times d_1 \pm F_2 \times d_2 = 0 \quad (5)$$

flector máximo en una viga simplemente apoyada en ambos extremos descrita en la ecuación [26]:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8} \quad (6)$$

cuadrada seleccionada, la cual es resuelta mediante la siguiente ecuación [27]:

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12} \quad (7)$$

la ecuación 9 y así se obtuvo el esfuerzo máximo en una viga sometida a flexión [28][29].

$$c = \frac{h}{2} \quad (8)$$



Para calcular la deflexión máxima en la viga, se empleó la ecuación 10 para una viga simplemente apoyada para así obtener la magnitud de la deflexión en los extremos. En este análisis se compararon los resultados de las vigas de diferentes materiales.

- M_{max} es el momento máximo,
- I es el momento de inercia.

$$\sigma_m = \frac{M_{max}c}{I} \quad (9)$$

- δ_{max} es la deflexión máxima,
- W es la carga distribuida,
- L es la longitud de la viga
- E es el módulo de Young del material utilizado,
- I es el momento de inercia.

$$\delta_{max} = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (10)$$

Para calcular carga crítica de pandeo para una columna se calculó primeramente el momento de Inercia de 2 propuestas de columnas empleando la ecuación 1 para vigas circulares huecas. Recordando que el Factor de Longitud efectiva (K) varía dependiendo a los grados de libertad en la columna, en este caso esta se encuentra

empotrada de un extremo y libre en el segundo extremo, significando así, según la Figura 2.14 que se usara un valor de $K=2$. Con posterioridad se utilizó la ecuación 12, la cual fue empleada utilizando las propiedades de ambos materiales seleccionados [31][32].

- I es el momento de inercia,
- D es el diámetro exterior,
- d es el diámetro interior.
- $F_{critica}$ es la carga crítica de pandeo,
- K es el factor de longitud efectiva,
- L es la longitud de la viga
- E es el módulo de Young del material utilizado,
- I es el momento de inercia.

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (11)$$

$$F_{critica} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (12)$$

Con los cálculos previamente realizados se seleccionó la columna más adecuada para la estación de carga solar, sus secciones

transversales pueden ser observadas en las Figuras 8 y 9.

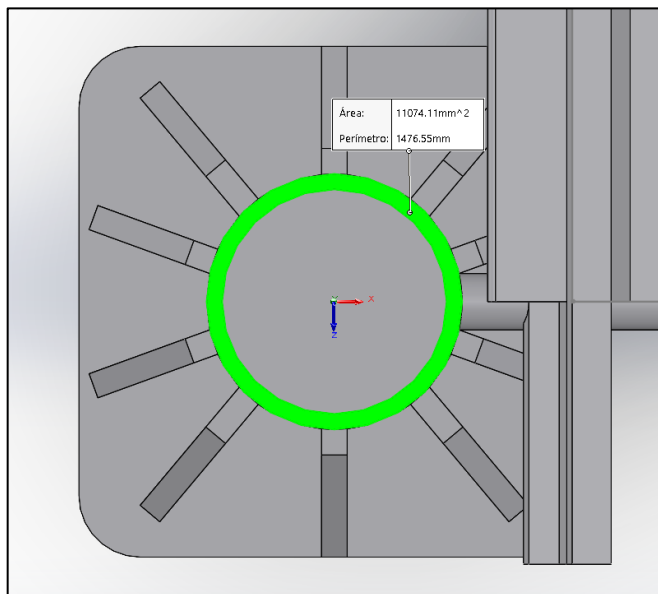


Figura 8. Área transversal de la columna tubular propuesta 1 (Fuente propia).

2.4 Discretización y Simulación

Posteriormente el modelado tridimensional de las estaciones de carga solar, se prosiguió con lo que es la discretización del modelo y simulación utilizando el Método del elemento finito. En el software “Abaqus” donde se siguió el siguiente procedimiento para los componentes por separado [33][34]:

1. Importar las partes del modelo realizado anteriormente mediante formato de archivo IGES.
2. Capturar las propiedades de los materiales: Aluminio AL6005-T5, Acero Inoxidable 304 y Paneles solares según su ficha técnica y asignar el material respectivamente.
3. Ensamblar las distintas partes en su respectivo y ejecutar la operación “Tie” para crear las conexiones entre componentes.

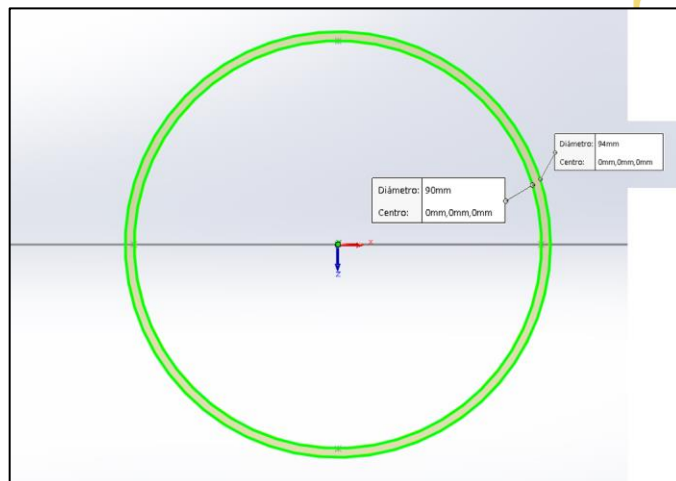


Figura 9. Área transversal de la columna tubular propuesta 2 (Fuente propia).

4. Establecer los grados de libertad y fuerzas interactuando: 0 Grados de libertad en las bases de las columnas y una presión de 1,070 Pa sobre el área superior de los paneles solares.
5. Realizar un mallado hexaédrico con tamaño del elemento variando de 0.08 m a 0.004 m.
6. Correr la simulación.
7. Capturar resultados y ubicar convergencia de mallado.

Debido a que la simulación hecha por medio del Software Abaqus no proporciona directamente el valor del Factor de Seguridad (FS), este fue calculado por medio de la ecuación 13 [35], para así evaluar la seguridad de ambas propuestas.

Se muestra el mallado de componentes por separado en la Figura 10 siendo más visible el mallado de los paneles solares.

$$FS_v = \frac{\sigma_{\text{límite}}}{\sigma_{\text{vonMises}}} \quad (13)$$

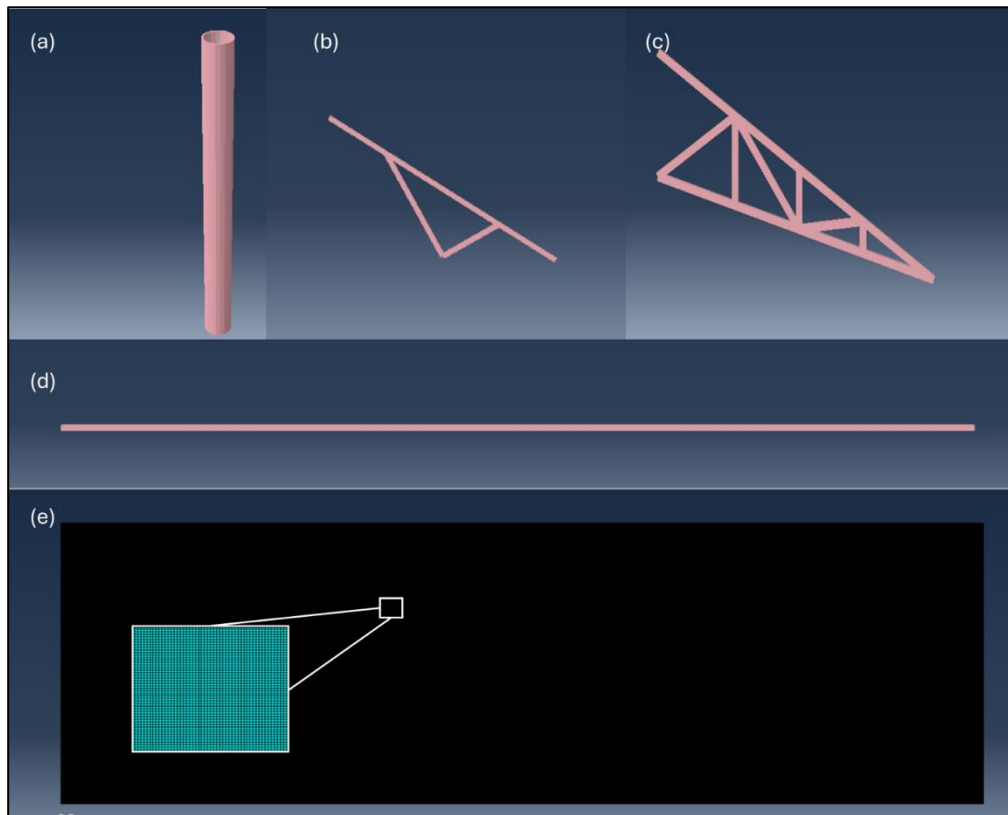


Figura 10. (a) Columna (b) Armadura para la Estación Solar 1 (c) Armadura para la Estación Solar 1 (d) Viga (e) Paneles solares. Componentes mallados con elementos de tamaño 0.004 m (Fuente propia).

3. Resultados y Discusiones

3.2 Dimensiones

Se procedió con el cálculo de paneles necesarios, procedimiento descrito en la metodología, para el dimensionamiento de la estación de carga sola. Recabando datos importantes obteniendo los siguientes datos:

Datos:

- Batería de litio con capacidad=3240 Wh
- Se toma la media de Power Class en Condiciones normales de operación=470.55Wp

- Se toma un promedio de diarias incidentes de luz directa útil= 6 horas
- Motocicletas= 4
- Dimensiones de panel solar Q.TRON×L-G2 SERIES= 2.463 m× 1.134 m = (2.79 m²).

Procedimiento:

Utilizando la Ecuación 14 se calculó la cantidad de kWh necesarios para la carga de 4 motocicletas eléctricas del modelo “TC Max Super Soco 2023” y con la Ecuación 15 se define la energía diaria generada por un panel solar “Q.TRON×L-G2 SERIES”

$$\text{Capacidad del sistema} = \frac{\text{Capacidad de producción de energía por un panel} * \text{Número de horas efectivas}}{(15)}$$



kW necesarios para 4 motocicletas = 12960 Wh o 12.96 kWh

$$\text{Energía diaria requerida} = \text{Capacidad de Almacenamiento} * \text{Número de motocicletas} \quad (14)$$

Cantidad de energía generada por un panel solares en un día
= 2823.3Wh o 2.8233 kWh

Se utilizó la Ecuación 16 para determinar con el cálculo el número de paneles necesarios para la generación de energía eléctrica suficiente para 4 motocicletas eléctricas.

$$\text{Número de paneles necesarios} = \frac{\text{Energía diaria requerida}}{\text{Capacidad del sistema}} \quad (16)$$

Número de paneles solares necesarios = 4.59

Con la formula anterior se obtuvo un aproximado de 5 paneles solares requeridos para abastecer 4 motocicletas eléctricas, para reducir el tiempo de carga se agregó un panel solar más y para así aplicar la Ecuación 17.

$$\text{Tiempo de carga} = \frac{\text{Energía diaria requerida}}{\text{Potencia disponible}} \quad (17)$$

Tiempo de carga con 5 paneles = 5.51 h

Tiempo de carga con 6 paneles = 4.59 h

Conociendo la mejora de casi 1 hora de diferencia agregando 1 panel adicional, se consideran 6 paneles fotovoltaicos para el dimensionado. Una vez conocido el número de paneles requeridos se logró conocer el área total se abarcó por los paneles solares multiplicando el área de 1 panel.

$$A_{\text{Total}} \approx 16.74 \text{ m}^2 \approx 17 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, se tomó en cuenta un área de terreno de 17 m², es recomendable contar un área excedente para el mantenimiento e instalación.

Por lo tanto, las dimensiones quedaron de la siguiente manera:

Ancho de la estructura = 2.462 m
Largo de la estructura = 6.804 m



Finalmente, se toma una altura de estructura de 3 m de alto por la razón antes mencionada.

3.3 Cargas aplicadas

Desarrollando las ecuaciones 1 y 2 se obtuvo la fuerza aplicada por la velocidad del viento considerándola como una fuerza normal hacia los paneles solares.

$$F_{\text{viento}} = 13,141.052 \text{ N}$$

$$P = 1,063.369 \text{ Pa}$$

Tomando en cuenta de igual manera el peso de los paneles como una carga aplicada obtenemos una Fuerza total aplicada de 15,224.696 N sobre la Estructura conformada por columnas, vigas y armaduras.

3.4 Cargas y reacciones

Conociendo las cargas aplicadas, dichos resultados fueron plasmados en la Figura 11

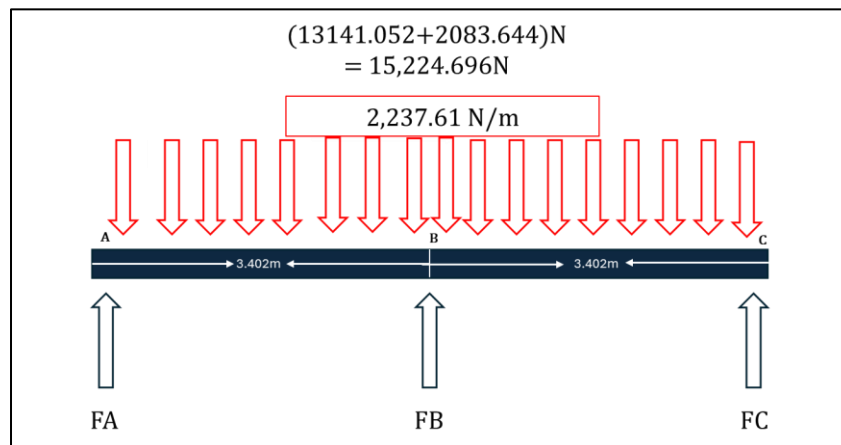


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre bidimensional con carga distribuida aplicada sobre los paneles y reacciones en los soportes con valores (Fuente propia).

3.5 Deflexión y Falla por Pandeo

Para una viga simplemente apoyada en los extremos con una carga distribuida uniformemente con las dimensiones de 51 mm x 51 mm y 3.4 mm de grosor se obtuvieron los resultados presentados a continuación. En cuanto al momento flector máximo se empleó la Ecuación 6 y se obtuvo lo siguiente:

$$M_{\text{max}} = 3,233.49 \text{ Nm}$$

movimiento de rotación, aplicando la ecuación 7 para tubos cuadrados se obtuvo lo siguiente:

$$I = 2.457 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Es así como se obtuvieron los datos para aplicar la ecuación 8 y 9 para calcular el esfuerzo máximo en la viga sometida a flexión, donde se obtuvo:

$$c = 0.0255 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 335.558 \text{ MPa}$$

Por consiguiente, se utilizó la ecuación de momento de inercia para calcular su oposición al



Con los resultados previos se prosiguió a calcular la deflexión máxima en el caso de utilizar **Acero Inoxidable 304** con la ecuación 10.

$$\delta_{\max} = 0.08229 \text{ m} = 82.29 \text{ mm}$$

Se aplicó de igual manera el módulo de elasticidad del material Aleación de **Aluminio AL6005-T5** en la ecuación anterior para obtener:

$$\delta_{\max} = 0.2320 \text{ m} = 230.2 \text{ mm}$$

Se continuó a calcular la falla por pandeo en las 2 columnas antes mostradas en las Figuras 3.12 y 3.13 para así utilizar sus dimensiones en la ecuación 11 y calcular el momento de inercia.

Columna 1 con dimensiones: Diámetro exterior= 0.25 m y Diámetro interior= 0.22 m.

$$I = 0.00007675 \text{ m}^4$$

Se prosiguió a calcular la Fuerza crítica en el material Acero Inoxidable 304 y Aluminio 6005-T5 con la Ecuación 2.5.16 y $K=2$ mencionado en la Metodología y se obtuvo lo siguiente

$$F_{\text{crítica1 Acero}} = 4,061,000 \text{ N}$$

$$F_{\text{crítica1 Aluminio}} = 1,451,860 \text{ N}$$

Columna 2 con dimensiones: Diámetro exterior= 0.094 m y Diámetro interior= 0.090 m.

$$I = 0.0000006118 \text{ m}^4$$

$$F_{\text{crítica2 Acero}} = 32,371.59 \text{ N}$$

$$F_{\text{crítica2 Aluminio}} = 11,573.26 \text{ N}$$

Se obtuvo una diferencia inmensa, significando que la columna 2 se pandea con solo el 0.79% de la fuerza crítica de la columna 1. Por esta razón

es que se seleccionó la columna 1 en el modelado.

3.6 Estación fotovoltaica

La Estación Fotovoltaica 1 y el material Aleación de Acero 304, se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 12. En el análisis de esfuerzos, se observó que la escala de colores representaba el esfuerzo de Von Mises, donde los tonos rojos indicaban mayores esfuerzos y los azules, esfuerzos menores. La superficie de los paneles mostró tonos azulados y verdes, lo que sugiere esfuerzos bajos a medios bajo la presión del viento. La zona crítica se ubicó en la conexión entre la columna central y las uniones de la armadura, donde la carga se concentra. El esfuerzo máximo obtenido fue de $2.130 \times 10^7 \text{ Pa}$, por debajo del límite de fluencia del material (215 MPa), lo que confirma que el diseño es seguro. En el análisis de deformación, la escala de colores mostró que la mayor deformación ($2.700 \times 10^{-3} \text{ m}$) ocurrió en los bordes y el centro de los paneles solares, mientras que las columnas y el marco de soporte presentaron poca o ninguna deformación, indicando que la estructura es rígida y adecuada para resistir las cargas.

Con el material AL6005-T5, los resultados mostraron un comportamiento similar en cuanto a la distribución de esfuerzos y deformaciones, pero con variaciones en las magnitudes. El esfuerzo máximo fue de $2.037 \times 10^7 \text{ Pa}$, un 4.36% menor que con el Acero 304, debido a las propiedades del material. El límite de fluencia para este material es de 240 MPa, lo que también hace que el diseño sea permisible. En cuanto a la deformación, la máxima fue de $5.349 \times 10^{-3} \text{ m}$, un 98% mayor que con el Acero 304, lo que era esperado debido a la menor rigidez del aluminio en comparación con el acero. Esto confirma que el acero es más resistente y mantiene mejor su forma bajo carga, mientras que el aluminio es más flexible y se deforma más fácilmente.

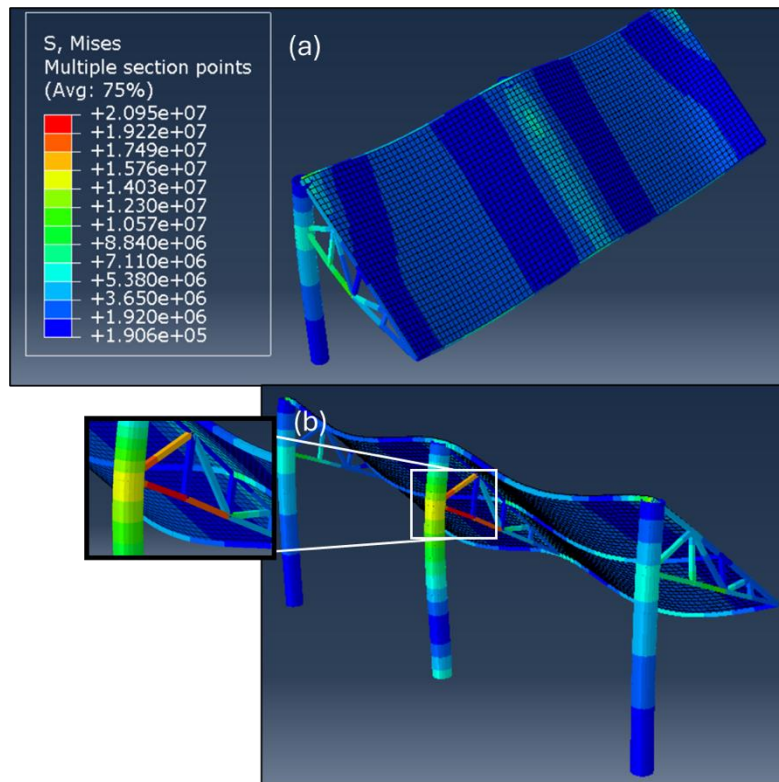


Figura 12. Resultados Stress Von Mises de la Estación fotovoltaica 1 con Tamaños de elemento 0.08 m (a) Vista isométrica (b) Vista isométrica trasera (Fuente propia).

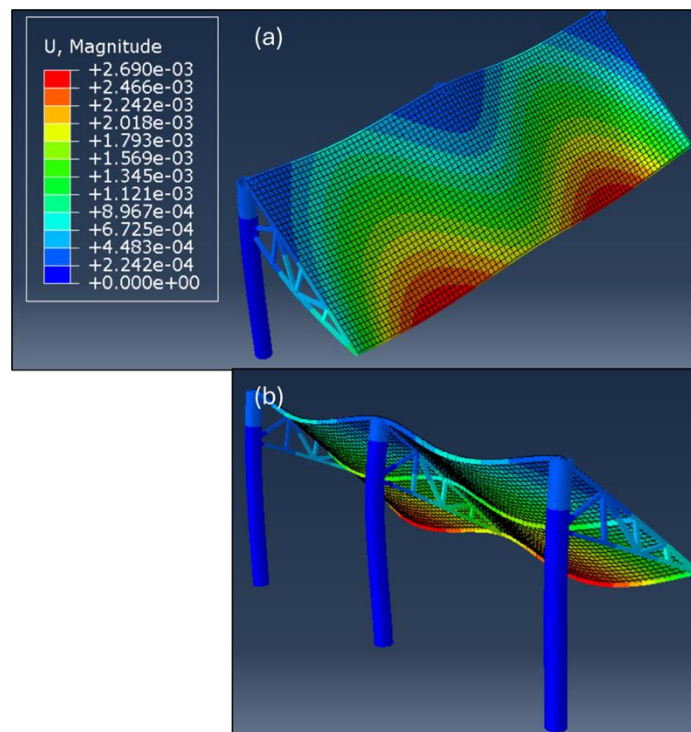


Figura 13. Resultados de Desplazamiento espacial de nodos de la Estación fotovoltaica 2 con Tamaños de elemento 0.08 m (a) Vista Isométrica (b) Vista Isométrica trasera (Fuente propia).

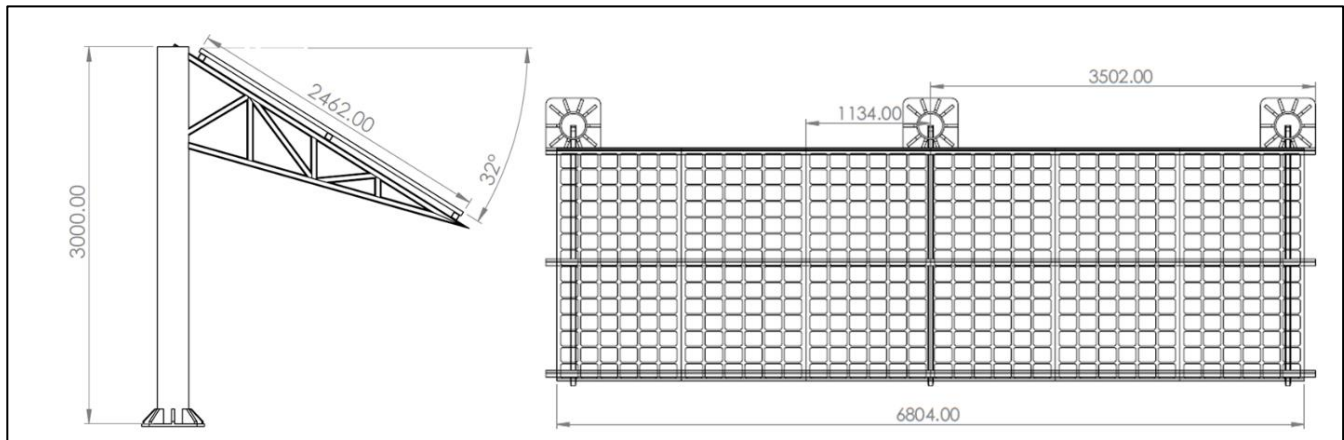


Figura 14. Ilustración de los planos con dimensiones representadas en mm.

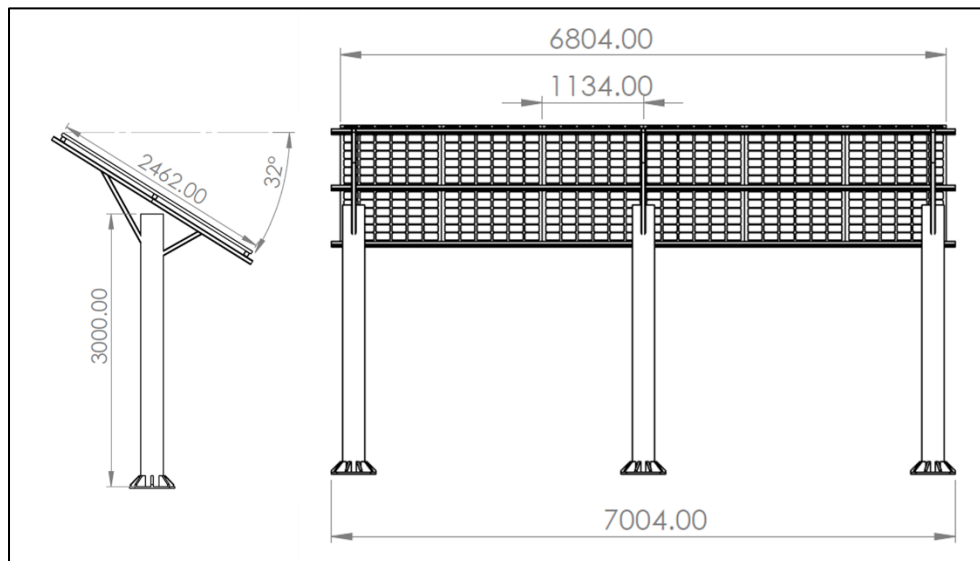


Figura 15. Ilustración de los planos con dimensiones representadas en mm de la estación 2.

3.6.1 Propósito del diseño de la Estación fotovoltaica

El objetivo principal del diseño es desarrollar una estación de carga solar fotovoltaica para motocicletas eléctricas en Ciudad Juárez, que logre soportar las condiciones climáticas extremas de la región, especialmente el viento, optimice la captación de energía solar mediante la correcta inclinación de los paneles, promueva el uso de energías renovables, reduciendo así el impacto ambiental en comparación con estaciones de carga eléctricas convencionales, mejore la autosuficiencia energética, reduciendo los costos de recarga eléctrica residencial y

contribuyendo a la lucha contra el calentamiento global.

3.6.2 Propósito del espacio debajo de la Estación fotovoltaica

Tiene el propósito de proporcionar estacionamiento para los vehículos eléctricos (en este caso, motocicletas), proporcionar sombra y protección contra condiciones climáticas como lluvia o nieve, gracias al diseño inclinado del techo, aprovechar eficientemente áreas ya existentes, convirtiéndolas en zonas útiles tanto para carga como para protección del vehículo.



Figura 16. Ilustración del render más detallado de la estación de carga solar (Fuente propia).

4. Conclusiones

El análisis de resultados del diseño de una estación de carga fotovoltaica para motocicletas eléctricas en Ciudad Juárez, Chihuahua, demostró la viabilidad y los beneficios de implementar energías renovables en una región con alto potencial solar. Los resultados validaron la hipótesis inicial, confirmando que el primer diseño es capaz de soportar las cargas de viento en los paneles solares utilizando los materiales AL6005-T5 y Aleación de Acero 304. Esto no solo asegura la estabilidad estructural, sino que también optimiza el aprovechamiento energético. La metodología empleada permitió evaluar los efectos del viento, identificar puntos críticos y áreas de mejora mediante simulaciones, destacando la importancia de la orientación e inclinación de los paneles para maximizar la captación de energía. Estas decisiones de diseño contribuyen a reducir costos energéticos y promover un modelo de transporte más sostenible. Se recomienda la construcción de un prototipo funcional para validar el rendimiento estructural y energético en condiciones reales. Además, se identificaron áreas de mejora, como la integración de tecnologías de almacenamiento energético, el refuerzo de la Estación

Fotovoltaica 2 para una comparación más justa entre diseños, y la búsqueda de un tercer material resistente y económico que supere las ventajas del Aluminio 6005-T5. Este último, aunque menos rígido que el Acero 304, representa una ventaja significativa en costos, siendo un 13.5% más económico. También se sugiere reforzar la columna y armadura central, que recibe el doble de fuerza comparado con las columnas laterales. Finalmente, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones, como el uso de software avanzado para simulaciones más precisas o la implementación de sistemas de seguimiento solar para aumentar la eficiencia energética. Estos avances no solo refuerzan la relevancia del diseño propuesto, sino que también abren nuevas oportunidades para el desarrollo de infraestructuras de energías renovables aplicadas al transporte sostenible.

5. Reconocimiento de autoría

Diego Moisés Almazo Pérez: Conceptualización; Recursos; Ideas; Metodología; Análisis formal; Investigación; Recursos; Análisis de datos; Borrador original. *Ingrid Carolina Romero Vázquez:* Conceptualización; Ideas; Investigación; Análisis de datos;



Escritura. *Cornejo* *Monroy*
Delfino: Conceptualización; Ideas; Metodología;
 Análisis formal; Investigación; Análisis de datos;
 Escritura; Borrador original; Revisión y edición;
 Administración de proyecto. *Carlos Alberto*
Ochoa Ortiz: Conceptualización; Ideas.

Referencias

- [1] Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A., "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590-601, 2017.
- [2] Godfrey, J. W. & Gross, J. L., *Weather Effects on Buildings and Infrastructure*, McGraw-Hill, 2016.
- [3] Sreirekha, A., & Bashetty, K., "Infinite to finite: an overview of finite element analysis," *Indian Journal of Dental Research*, vol. 21, no. 3, pp. 425-432, 2010.
- [4] Larcher, D., & Tarascon, J., "Towards greener and more sustainable batteries for," *Nature Chemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 19-29, 2015.
- [5] Mohtasham, J., "Renewable energies," *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1289-1297, 2015.
- [6] Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A., "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 590-601, 2017.
- [7] Martínez, F. G., Magaldi, G. L., & Serra, F. M., "Estación de carga solar para pequeños vehículos eléctricos," *Universidad Nacional de San Luis*, pp. 1-8, 2019.
- [8] Marler, T. E., "Solar Panel Canopy Analysis," 2022.
- [9] Ramos, C. A., & Céspedes, M. I., "Diseño de una estación de carga solar para vehículos eléctricos en centros comerciales," *enerLAC Revista de Energía Eléctrica de Latinoamérica y el Caribe*, pp. 134-155, 2021.
- [10] Ali, A., Shaikh, P. H., Mirjat, B. A., Soomro, S. A., Hameed, A., & Gul, M., "Design and Analysis of Solar Carport Canopies with Maximum Power Generation for Electric Vehicle," *International Journal of Electrical Engineering & Emerging Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 86-91, 2020.
- [11] Hernández García, Y. G., "Patrones de concentración de carbono negro y principales fuentes de emisión en Ciudad Juárez, Chihuahua, México," *Instituto de Ingeniería y Tecnología*, 2020.
- [12] Yang, N., & Bai, F., "Damage analysis and evaluation of light steel structures exposed to wind hazards," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 3, p. 239, 2017.
- [13] Díaz Briceño, K. R., "Evaluación y optimización en el diseño de estructuras metálicas aplicado a cubiertas según las especificaciones AISC-2010 por el método LRFD," 2014.
- [14] Stojanovic, B., Bukvic, M., & Epler, I., "Application of aluminum and aluminum alloys in engineering," *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018.
- [15] Beshilas, L., & Aznar, A., "The Value of Motorcycle Electrification in Mexico City," *National Renewable Energy Lab. (NREL)*, 2020.
- [16] Vallarta-Serrano, Stephany I., et al., "Overview of Mexico's transport sector: current situation, emissions trend and electromobility," 2022 *International Symposium on Electromobility (ISEM)*, IEEE, 2022.
- [17] Sreirekha, A., & Bashetty, K., "Infinite to finite: an overview of finite element analysis," *Indian Journal of Dental Research*, vol. 21, no. 3, pp. 425-432, 2010.
- [18] Gueymard, C. A., "The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models," *Solar Energy*, vol. 76, no. 4, pp. 423-453, 2004.
- [19] Ugli, T. J. T., "The importance of alternative solar energy sources and the advantages and disadvantages of using solar panels in this process," 2019.
- [20] Umer, F., Aslam, M. S., Rabbani, M. S., Hanif, M. J., Naeem, N., & Abbas, M. T., "Design and optimization of solar carport canopies for maximum power generation and



efficiency at Bahawalpur," International Journal of Photoenergy, 2019.

- [21] Kallioğlu, M. A., Durmuş, A., Karakaya, H., & Yılmaz, A., "Empirical calculation of the optimal tilt angle for solar collectors in northern hemisphere," Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, vol. 42, no. 11, pp. 1335-1358, 2020.
- [22] Norton, R. L., Diseño de máquinas: Un enfoque integrado, McGraw-Hill Interamericana, 2011.
- [23] Anderson, J. D., Jr. (2016). Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Education. ISBN 978-1-259-12991-9.
- [24] White, F. M. (2011). Fluid Mechanics. McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics. ISBN 978-0-07-352934-9.
- [25] Meriam, J. L., Kraige, L. G., & Bolton, J. N. (2016). Statics. ISBN: 978-1-119-04467-3.
- [26] Hibbeler, R. C. (2011). Mechanics of Materials. Prentice Hall. ISBN 978-0-13-602230-5.
- [27] DeWolf, J. T., Mazurek, D., Beer, F. P., & Johnston, E. R., Jr. (2014). Mechanics of Materials. McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-339823-5.
- [28] Raichman, S. R., & Totter, E. (2016). Geometría analítica para ciencias e ingenierías. Universidad Nacional de Cuyo. ISBN 978-987-575-125-5
- [29] Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). Resistencia de Materiales. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). ISBN 978-84-944244-4-1.
- [30] Ortiz Berrocal, L. (1998). Resistencia de Materiales. McGraw-Hill. ISBN 978-84-481-2041-2.
- [31] Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2012). Mecánica de Materiales (8ª ed.). Cengage Learning. ISBN 978-607-481-191-4.
- [32] Jiménez González, J. I., Fernández Aceituno, J., Suárez Guerra, F., & Carazo Álvarez, J. D. (2020). Fundamentos de Elasticidad y Resistencia de Materiales. Ediciones Paraninfo. ISBN 978-84-283-4442-5.
- [33] Dassault Systèmes. (2021). Abaqus Analysis User's Guide. Dassault Systèmes Simulia Corp. ISBN: No disponible (documentación oficial de Abaqus, disponible en línea o en la ayuda del software).
- [34] Ghosh, S., & Kikuchi, N. (2008). Introduction to the Finite Element Method: Theory, Programming, and Applications. McGraw-Hill Education. ISBN: 978-0071267610.
- [35] Ugural, A. C., & Fenster, S. K. (2019). Advanced Strength and Applied Elasticity (5th ed.). Pearson. ISBN: 978-0137079209.

Derechos de Autor (c) 2025 Diego Moisés Almazo Pérez, Ingrid Carolina Romero Vázquez, Delfino Cornejo Monroy, Carlos Alberto Ochoa Ortiz



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)