



## Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados

### Structural analysis of a 12 m lighting pole affected by hurricane winds

Yoan Manuel Ramos Botello<sup>1</sup> , René Misael Arias Hidalgo<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad de Granma, Cuba

---

Recibido: 2024/02/20

Aceptado: 2024/05/02

Publicado: 2024/05/25

---

#### Resumen

**Objetivo:** Realizar el análisis estructural del poste de 12 m diseñado y fabricado en la Empresa Mecánica Bayamo (EMBA). **Método:** Se empleó la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para evaluar el efecto de las cargas generadas por el viento de un huracán categoría 3 según la escala Saffir-Simpson. Considerando dicho efecto, así como las cargas permanentes se realizaron estudios estáticos estructurales para determinar las tensiones y desplazamientos de la estructura. **Resultados:** Las tensiones a evaluar fueron las de von Mises las cuales dieron un valor máximo de 156,4 MPa y un desplazamiento en la digresión del viento de 210,6 mm. **Conclusión:** De acuerdo a las máximas tensiones el factor de seguridad mínimo obtenido fue de 1,2 lo que demuestra que las deformaciones ocasionadas para las condiciones del estudio, no serán permanentes, mientras que los desplazamientos se consideran aceptable dada la magnitud de las cargas y la altura del poste

**Palabras clave:** análisis estructural; dinámica de fluidos computacional; estructura metálica

#### Abstract

**Objective:** To perform the structural analysis of the 12 m pole designed and manufactured by Empresa Mecánica Bayamo (EMBA). **Method:** Computational Fluid Dynamics (CFD) was used to assess the effect of wind loads from a Category 3 hurricane according to the Saffir-Simpson scale. Considering this effect, as well as the permanent loads, static structural studies were conducted to determine the stresses and displacements of the structure. **Results:** The stresses evaluated were von Mises stresses, which yielded a maximum value of 156.4 MPa and a displacement in the wind

234

Cite este artículo como:

Ramos Botello, Y. M. y Arias Hidalgo, R. M. (2024). Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados. *Universidad & Ciencia*, 13(2), 234-247.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8557>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11200912>



deflection of 210.6 mm. **Conclusion:** Based on the maximum stresses, the minimum safety factor obtained was 1.2, demonstrating that the deformations caused under the study's conditions will not be permanent, while the displacements are considered acceptable given the magnitude of the loads and the pole's height.

**Keywords:** structural analysis; computational fluid dynamics; metal structure

### Introducción

Las estructuras, especialmente aquellas de cierta altura, son susceptibles a los efectos inducidos por el viento, lo que puede provocar fallos en su funcionamiento. Un ejemplo de esto son los postes de alumbrado público, comúnmente ubicados en zonas urbanas, cuya caída puede ocasionar daños significativos. Estas estructuras suelen ser metálicas y tienen una altura determinada, la cual depende de la ubicación específica. En EMBA, se diseñan y fabrican postes para el alumbrado público. Estos postes se fabrican por partes y se unen mediante soldadura. Una vez ensamblados, cada componente del poste se galvaniza para prevenir la corrosión. Estos postes son utilizados por la empresa eléctrica para la iluminación en lugares donde sea necesario. Recientemente, a la empresa se le encargaron postes de 12 metros de altura para la Zona Especial de Desarrollo Mariel. Es importante destacar que a medida que aumenta la longitud de los postes, también lo hace el riesgo de que ocurran fallos estructurales debido a las tensiones generadas. Por otro lado, los postes de 9 metros fabricados por la empresa han estado en uso durante varios años sin presentar problemas de resistencia, rigidez o estabilidad. Sin embargo, los postes de 12 m diseñados por la EMBA (hasta el inicio de esta investigación) aún no habían sido utilizados. Dada su altura y las posibles cargas a las que estarán sometidos, es crucial comprender su comportamiento estructural. Cuba es un país que cada año está expuesto al riesgo de sufrir los fuertes vientos de los huracanes, lo que aumenta la probabilidad de fallos estructurales, como en el caso de los postes (Avila Alonso et al., 2019; Mengistu et al., 2023; Montero y Batista, 2020).

El archipiélago cubano, ubicado en la región del Caribe, se ve afectado cada año directa o indirectamente por huracanes. Según (Coll y Pérez, 2021), la intensidad más probable de la velocidad de los vientos huracanados que impactan el suelo cubano



oscila entre 65 y 105 km/h, con un máximo secundario que varía entre 180 y 200 km/h. Esta velocidad clasifica los fenómenos meteorológicos como huracanes de categoría 3 según la escala Saffir-Simpson (Camelo & Mayo, 2021; Kantha, 2013).

En la antigua provincia de La Habana, donde se instalarán los postes de 12 metros, según (González y Ramos, 2019), de un total de 67 ciclones tropicales que han afectado la región desde 1791 hasta 2017, solo 6 han alcanzado la tercera categoría, 3 la categoría 4 y 1 la 5ta. Con base en esta información, el objetivo de esta investigación es llevar a cabo un análisis estructural del poste de 12 m fabricado por la EMBA, teniendo en cuenta el efecto de los vientos huracanados de categoría 3 según la escala Saffir-Simpson.

### **Materiales y Métodos**

La mayor carga a la que estará sometida esta estructura es la provocada por el efecto del viento. Para determinar este efecto, se llevaron a cabo dos estudios utilizando CFD, un método que se encuentra a la vanguardia del modelado numérico debido a su versatilidad y capacidad para predecir fenómenos de flujo (Wijesooriya et al., 2023). En cada uno de estos tres estudios, se utilizaron direcciones diferentes del viento para determinar la fuerza que este ejerce en diferentes posiciones de la estructura y con esto, determinar su resistencia. Una vez calculadas las fuerzas provocadas por el viento mediante el CFD, se llevaron a cabo tres estudios estáticos estructurales donde, además de estas fuerzas, se tuvo en cuenta el peso propio del poste y otros agregados. En cada estudio estático, se aplicaron las mismas restricciones, parámetros de malla, cargas permanentes y propiedades mecánicas del material de cada pieza. A continuación, se describe el procedimiento de cálculo en detalle.

### **Cargas de Viento**

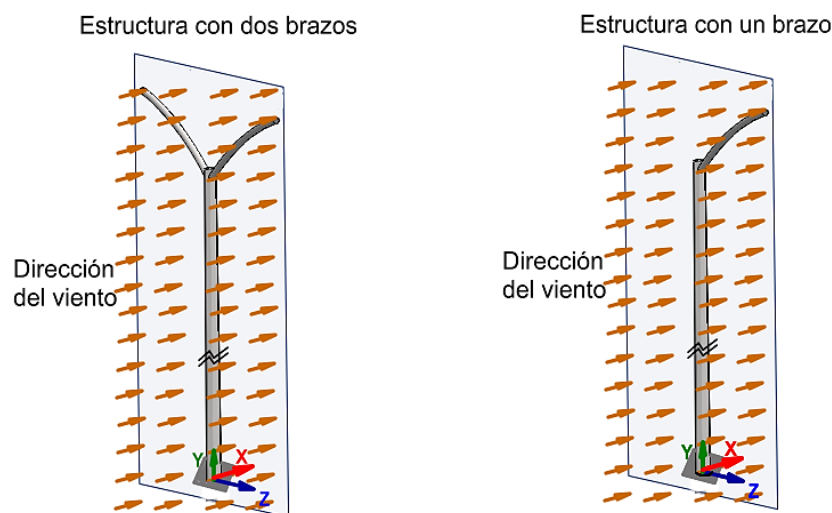
Los mayores esfuerzos a los que estará sometida la estructura del poste serán provocados por la velocidad del viento. Se consideró una velocidad de 200 km/h, la cual se encuentra en el rango de un huracán de categoría 3 según la escala Saffir-Simpson. El efecto del viento a esta velocidad en la estructura del poste se determinó mediante CFD, a partir de la cual se obtuvieron las cargas provocadas por el viento. Se

llevarán a cabo dos estudios CFD para obtener los efectos del viento en cada caso de forma independiente. La diferencia entre los estudios está dada por la cantidad de brazos en la estructura del poste.

1. En el primer estudio, el efecto del viento incidirá en el poste de forma perpendicular a un plano no paralelo a los dos brazos (Figura 1). Esta posición representa la mayor área de incidencia del viento, lo que provocará grandes momentos flectores.
2. En el segundo estudio, las condiciones serán las mismas que en el estudio anterior, con la diferencia de que solo se tendrá en cuenta un brazo (Figura 1). Esto generará una combinación de solicitaciones, incluyendo flexión, torsión y compresión simultáneamente.

### Figura 1

Dirección del viento en los dos casos de estudio



### Condiciones de Frontera, Definición del Dominio y el Mallado

En el análisis mediante CFD de flujo externo sobre las tres variantes, se consideró una velocidad del viento de 200 km/h a una presión de 1 atm con una densidad del aire de  $1,164 \text{ kg/m}^3$  a una temperatura de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . El dominio computacional define el volumen que será analizado numéricamente y dentro de este se encuentra el modelo del poste, garantizando que las condiciones de contorno impuestas para su estudio no influyan en el resultado. Las dimensiones de dicho dominio se determinaron según lo planteado por (Apsley, 2024; Geng *et al.*, 2023). En la dirección del viento, dicho dominio tiene una dimensión de 15 m a ambos lados del

Cite este artículo como:

Ramos Botello, Y. M. y Arias Hidalgo, R. M. (2024). Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados. *Universidad & Ciencia*, 13(2), 234-247.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8557>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11200912>



poste. De igual forma, sucede con las dimensiones en los laterales que es de 10 m mientras que en altura tiene una distancia de 20 m desde la base del poste, ya que a este nivel se encuentra el suelo.

Para generar el mallado del campo fluido, se utilizó una malla compuesta por elementos hexaédricos, lo cual resulta ventajoso en este caso debido a que se conoce la dirección preferencial del flujo. Esto asegura que la mayoría de las celdas estén alineadas con el flujo de aire (Li *et al.*, 2023). Además, se dividió el dominio en varias partes, ajustando el tamaño de los elementos de las celdas en zonas cercanas al contorno del poste para aumentar la precisión y agrandándolos en zonas donde la precisión requerida es menor (Barrera *et al.*, 2018). Esto permitió evaluar cómo el viento afecta la estructura del poste, lo cual generó una fuerza de 4 038,82 N distribuida en su superficie. Una vez completados los cálculos mencionados, se exportaron los resultados del CFD a un software de simulación numérica para el análisis estructural.

Además de la fuerza ejercida por el viento sobre la superficie de la estructura, también se tuvieron en cuenta otras fuerzas, que se describen a continuación. Aunque el cálculo estructural de los soportes de los bombillos no es el objetivo principal, se considera el efecto del viento sobre la superficie perpendicular a su dirección. Este efecto se traduce en una fuerza, la cual se aplica en el centro de masa de los soportes. Dicha fuerza se determinó del cálculo realizado mediante CFD a los soportes de los bombillos. Para determinar el centro de masa y poder aplicar el peso de los soportes de los bombillos y la fuerza antes descrita, se tomaron las dimensiones necesarias para obtener un modelo en 3D de los soportes, el cual se colocó en la misma posición que tendrían en el poste (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Coordenadas de los centros de masa de los soportes de los bombillos*

Coordenadas	Soportes de bombillo A	Soportes de bombillo B
X (mm)	0	0
Y (mm)	12 090,63	12 090,63

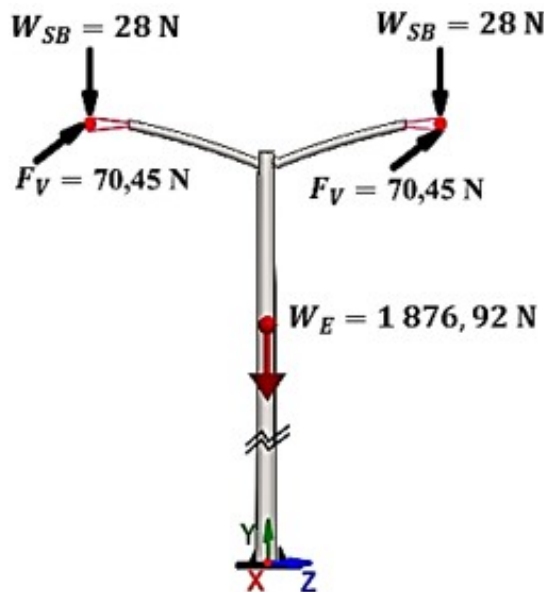
Z (mm)	-1 693,96	1 693,96
--------	-----------	----------

Ese efecto es equivalente a una fuerza, la cual se aplicó en el centro de masa, el cual se determinó para colocar dicha fuerza y el peso de los soportes de los bombillos. Para determinar el efecto del viento sobre los soportes, se realiza el cálculo haciendo uso del CFD. Para ello se tomaron las dimensiones necesarias para obtener un modelo en 3D, el cual fue colocado en la misma posición que hubiesen tenido si estuvieran en el poste. Así fue posible obtener el centro de masa de dichos soportes (Tabla 1).

Después de completar los cálculos de CFD, se determinó que la fuerza total ejercida por el viento en los soportes de los bombillos es de ( $F_{TV} = 140,91 \text{ N}$ ). La mitad de esta fuerza ( $F_V = 70,45 \text{ N}$ ) se aplicará en los centros de masa descritos anteriormente (Figura 2).

**Figura 2**

*Fuerza en los soportes de los bombillos y peso de la estructura*



En el modelo a calcular, la carga debida al peso propio se determina considerando la densidad del material de cada componente, el volumen del modelo y la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). En los cálculos se incluyó el peso de la estructura del poste ( $W_E = 1876,92 \text{ N}$ ), excluyendo los soportes de los bombillos. Estos últimos no forman parte del modelo a calcular, ya que no son objeto de investigación y



podrían presentar complejidades numéricas debido a su geometría. Por esta razón, se determinó el peso de un modelo real de los soportes ( $W_{SB}=28 N$ ) el cual se tendrá en cuenta en los cálculos de forma remota, aplicando esta fuerza en los centros de masa mencionados anteriormente (Figura 2).

### Propiedades Mecánicas de los Materiales

Todas las piezas que conforman la estructura del poste bajo estudio están fabricadas con acero S235JR. En la tabla 2 se detallan las propiedades mecánicas de este material.

**Tabla 2**

*Propiedades mecánicas del acero estructural S235JR*

Propiedad	Valor
Módulo elástico	210 GPa
Límite elástico	235 MPa
Límite de rotura a tracción	360 MPa
Densidad	7800 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente de Poisson	0,28

*Nota.* Tomado de British Standards Institution (2019).

### Mallado y Restricciones de los Modelos

La estructura que se va a analizar está principalmente compuesta por chapa metálica. Dado que los espesores de todas las piezas son constantes y pequeños en comparación con las demás dimensiones, se optó por utilizar elementos Shell o de membrana de alto orden, que poseen 6 grados de libertad por nodo. Este tipo de elemento se adapta de manera óptima a la geometría de los modelos, lo que reduce el número de grados de libertad y, por lo tanto, los tiempos de cálculo, sin comprometer la precisión de los resultados. Para todos los estudios, se seleccionó un tamaño máximo y mínimo de elementos de 8 mm y 1 mm respectivamente, después de alcanzar la convergencia del mallado. En el caso del cálculo de los dos brazos el tamaño máximo del elemento fue de 5 mm y el mínimo de 0,5 mm.

Por lo general, los postes se instalan sobre una base plana y se fijan a esta mediante 4 anclajes. Para cada estudio realizado, se consideró que el modelo está



empotrado en la parte interior de la base del poste. Esto implica que el poste se comporta como una viga en voladizo.

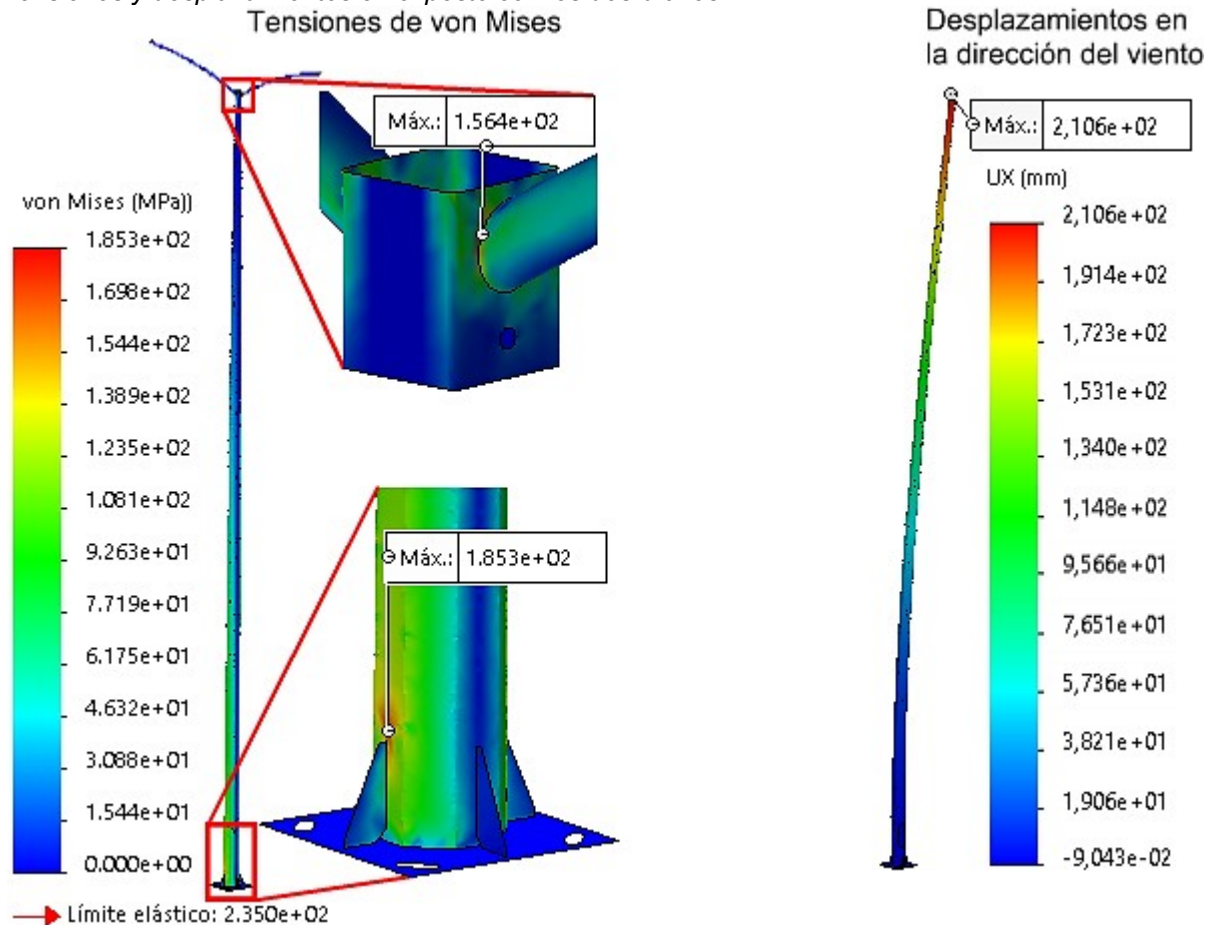
### Resultados y Discusión

*Análisis estructural cuando el viento incide perpendicularmente a un plano paralelo a los brazos*

De acuerdo con el tipo de estudio, el material de la estructura y las condiciones de carga, los aspectos más relevantes a analizar son los desplazamientos y las tensiones de von Mises, las cuales ofrecen una predicción adecuada del comportamiento de materiales dúctiles. En la figura 3 se muestra la distribución de dichas tensiones, con valores máximos de 185,3 MPa.

**Figura 3**

*Tensiones y desplazamientos en el poste con los dos brazos*



Al comparar estos valores con el límite elástico del material del poste, se puede observar que están por debajo de este. Una forma de corroborar lo anterior es





analizando el factor de seguridad, que relaciona el límite elástico con el máximo valor de tensión de von Mises obteniéndose para este caso un valor de 1,2. Aunque no es un valor alto, está dentro de lo recomendado según (Mott, 2006). Estas tensiones se observaron principalmente en la base del poste, en la zona de unión con el cartabón, el cual sirve como refuerzo a la estructura. Otro valor de tensión notable se encuentra en la zona de unión de los brazos con la pieza central, con un valor de 156,4 MPa y un factor de seguridad de 1,5. Esto se debe a que esta región estará sometida a flexión en dos direcciones y en la práctica, es crucial prestar atención a la calidad de la soldadura en esta zona.

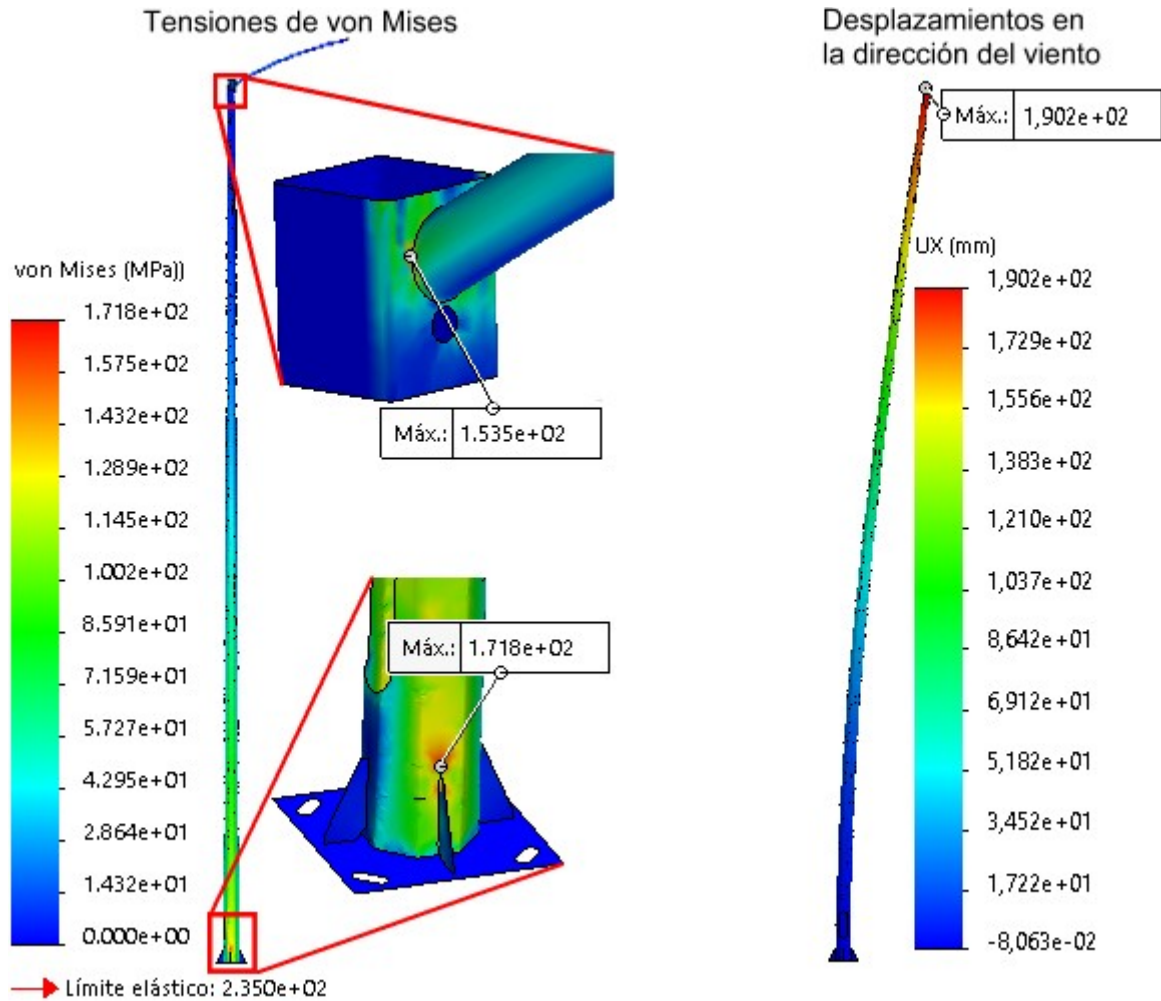
En la figura 3 también se presenta el máximo valor de desplazamiento, el cual se produce en la dirección del viento, con un valor de 210,6 mm. Como era de esperar, este desplazamiento se observa en el extremo libre del poste. El mismo es razonable considerando la altura del poste y la magnitud de las fuerzas generadas por el viento. Dicho desplazamiento coincide con planteado por (Martín *et al.*, 2019).

### **Análisis del Estudio Estático 2**

Al igual que en el estudio del poste con los dos brazos, en este caso los máximos valores de tensiones de von Mises ocurren en la base del poste, específicamente en la zona de unión con el cartabón de refuerzo (Figura 4).

#### **Figura 4**

*Tensiones y desplazamientos en el poste con un brazo*



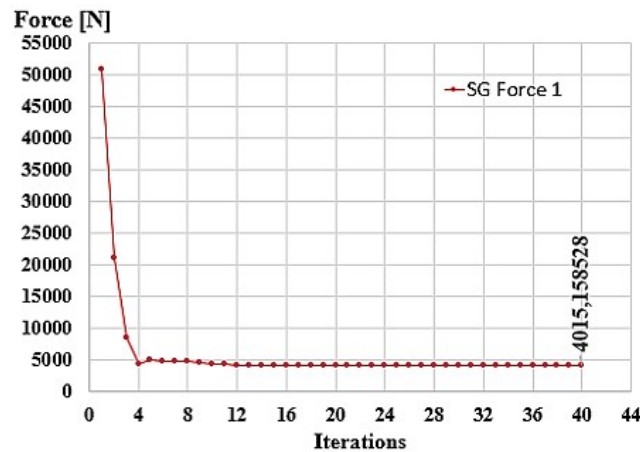
El valor máximo es de 171,8 MPa, lo que proporciona un factor de seguridad de 1,3. En la unión del brazo con el poste, las tensiones alcanzan los 153,5 MPa, mientras que el desplazamiento máximo ocurre en la misma dirección del viento, con un valor de 190,2 mm (Figura 4). Es importante destacar que tanto las tensiones como los desplazamientos obtenidos en el caso del poste con un solo brazo son inferiores a los del poste con los dos brazos. Esta disminución se debe a que en este modelo solo se considera un brazo. Dado que este modelo está sometido no solo a flexión y compresión, sino también a torsión debido a la presencia de un solo brazo, se analizaron las tensiones tangenciales, las cuales se mantienen por debajo de los 100 MPa, un valor que no representa un riesgo significativo.

### Validación de los Resultados

Para validar los resultados, se consideró primero la convergencia de los mismos. En el caso del cálculo a partir del CFD, la convergencia se alcanzó en la iteración 40, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Convergencia de los resultados CFD*



En los análisis estáticos, se utilizó el criterio del jacobiano mínimo para evaluar la calidad de la malla. De forma general se observó que los niveles del jacobiano están alrededor de 0.5 lo que indica una calidad adecuada de la malla. Solo un 0.31 % de elementos podría tener problemas, dentro del rango aceptable según la bibliografía especializada, que establece un límite del 5 % de elementos con problemas según (Pineda *et al.*, 2023; Tong *et al.*, 2024).

### Conclusiones

Los cálculos realizados para determinar la resistencia de la estructura, revelaron factores de seguridad mínimos de 1,2 para el poste y de 1,5 para sus brazos. Esto demuestra que las deformaciones ocasionadas para las condiciones del estudio, no serán permanentes. Los desplazamientos máximos calculados coinciden con la dirección del viento, alcanzando un valor máximo de 210,6 mm. Este valor se considera aceptable dada la magnitud de la velocidad del viento y la altura del poste.

### Referencias Bibliográficas

Apsley, D. D. (2024). CFD simulation of tidal-stream turbines in a compact array. *Renewable Energy*, 224, 120133.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120133>

Cite este artículo como:

Ramos Botello, Y. M. y Arias Hidalgo, R. M. (2024). Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados. *Universidad & Ciencia*, 13(2), 234-247.

URL:<https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8557>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11200912>



- Avila Alonso, D., Baetens, J. M., Cardenas, R. y Baets, B. de (2019). The impact of hurricanes on the oceanographic conditions in the Exclusive Economic Zone of Cuba. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111339>
- Barrera, E. F., Aguirre, F. A., Vargas, S. y Martínez, E. D. (2018). Influencia del Y Plus en el Valor del Esfuerzo Cortante de Pared a través Simulaciones empleando Dinámica Computacional de Fluidos. *Información tecnológica*, 29(4), 291-302. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400291>
- British Standards Institution. (2019). *BS EN 10025-2:2019 Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels*. In (pp. 44). London: BSI.
- Camelo, J. y Mayo, T. (2021). The lasting impacts of the Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale on storm surge risk communication: The need for multidisciplinary research in addressing a multidisciplinary challenge. *Weather and Climate Extremes*, 33, 100335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100335>
- Coll, P. y Pérez, A. (2021). Climatología de los ciclones tropicales que tocaron tierra en Cuba entre 1980 y 2019. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(4), 1-11. <https://cu-id.com/2377/v27n4e06>
- Geng, F., Suiker, A. S. J., Rezaeiha, A., Montazeri, H. y Blocken, B. (2023). A computational framework for the lifetime prediction of vertical-axis wind turbines: CFD simulations and high-cycle fatigue modeling. *International Journal of Solids and Structures*, 284, 112504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2023.112504>
- González, C. M. y Ramos, L. E. (2019). Cronología de las tormentas tropicales y huracanes que han afectado a La Habana. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(3), 469-480. <http://opn.to/a/TIUtR>
- Kantha, L. (2013). Classification of hurricanes: Lessons from Katrina, Ike, Irene, Isaac and Sandy. *Ocean Engineering*, 70, 124-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.06.007>



- Li, Y., Yang, S., Feng, F. y Tagawa, K. (2023). A review on numerical simulation based on CFD technology of aerodynamic characteristics of straight-bladed vertical axis wind turbines. *Energy Reports*, 9, 4360-4379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.082>
- Martín, P., Fernández, I. y Parnás, V. E. (2019). Estudio comparativo de normas para el análisis dinámico de una torre autosoportada bajo carga de viento. *Informes de la Construcción*, 70(552), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.15.021>
- Mengistu, M. T., Orlando, A. y Repetto, M. P. (2023). Wind and structural response monitoring of a lighting pole for the study of downburst effects on structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 240, 105447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105447>
- Montero, O. P. y Batista, C. M. (2020). Social perception of coastal risk in the face of hurricanes in the southeastern region of Cuba. *Ocean & Coastal Management*, 184, 105010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105010>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ed.). Pearson Educación.
- Pineda, G. V., Cepeda, J. L. y López, E. F. (2023). Análisis de convergencia de malla en simulación computacional de prueba de choque en asiento de autobús. *Universidad y Sociedad*, 15(S2), 185-191. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3879>
- Tong, H., Halilaj, E. y Zhang, Y. J. (2024). HybridOctree\_Hex: Hybrid octree-based adaptive all-hexahedral mesh generation with Jacobian control. *Journal of Computational Science*, 78, 102278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jocs.2024.102278>
- Wijesooriya, K., Mohotti, D., Lee, C.-K. y Mendis, P. (2023). A technical review of computational fluid dynamics (CFD) applications on wind design of tall buildings and structures: Past, present and future. *Journal of Building Engineering*, 74, 106828. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106828>

## Conflicto de interés

Cite este artículo como:

Ramos Botello, Y. M. y Arias Hidalgo, R. M. (2024). Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados. *Universidad & Ciencia*, 13(2), 234-247.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8557>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11200912>



Los autores no declaran conflictos de intereses.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/). Se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de los contenidos y no realice modificación de la misma.

Cite este artículo como:

Ramos Botello, Y. M. y Arias Hidalgo, R. M. (2024). Análisis estructural de un poste de luminaria de 12 m afectado por vientos huracanados. *Universidad & Ciencia*, 13(2), 234-247.

URL: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8557>

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11200912>