

COEFICIENTES DE PRESIÓN EN UNA TENSO ESTRUCTURA EN TÚNEL DE VIENTO Y POR MEDIO DE CFD

Edgar R. Toledo-Morales, Mauricio Gamboa-Marrufo*

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Avenida de industrias no contaminantes y periférico norte s/n. Mérida, Yucatán, México.

Fecha de recepción: 27 de noviembre de 2022 - Fecha de aceptación: 6 de febrero de 2023

Resumen

Para conocer las fuerzas eólicas a las que está sometida una estructura es necesario determinar las presiones generadas sobre esta debidas a la acción del viento. Los códigos de diseño proporcionan coeficientes de presión para calcular estas presiones. Sin embargo, dichos coeficientes sólo son para estructuras con geometrías convencionales; en el caso de tenso estructuras, las cuales, pueden tener geometrías bastante complejas, estudios en túnel de viento son necesarios para determinar los coeficientes de presión adecuados. En este artículo se presenta la distribución de coeficientes de presión obtenidos en una tenso estructura de doble cono al ser ensayada bajo un flujo de viento laminar, en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, así como su validación por medio de *Dinámica de Fluidos Computacional*. Estos coeficientes podrían ser considerados en códigos de diseño como referencia para diseños por viento cuasi-estáticos.

Palabras claves: presiones de viento, tenso-estructura, coeficientes de presión, túnel de viento, CFD

PRESSURE COEFFICIENT IN A TENSILE STRUCTURE IN WIND TUNNEL EXPERIMENT

Abstract

In order to know the wind forces to which a structure is subjected, it is necessary to determine the pressures generated on it due to the action of the wind. Design codes provide pressure coefficients to calculate these pressures. However, these coefficients are only for structures with conventional geometries; In the case of tensile structures, which can have quite complex geometries, wind tunnel studies are necessary to determine the appropriate pressure coefficients. This article presents the distribution of pressure coefficients obtained in a tensile-double-cone-structure when tested under a laminar wind flow, in the wind tunnel of the Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, and their validation using *Computational Fluids Dynamics* (CFD). These coefficients could be considered in design codes as a reference for quasi-static wind designs.

*mauricio.gamboa@correo.uady.mx

Keywords: wind pressure, Tensile Structures, pressure coefficients, wind tunnel, CFD

Introducción

Las tenso estructuras son estructuras sujetas a esfuerzos de tensión principalmente en las membranas y cables, y compresión en las columnas y mástiles que conforman el sistema. Típicamente tienen aplicaciones en exteriores, tanto de refugio como de fachada, por lo que están sujetos a cargas ambientales: lluvia, nieve, viento. Si bien, existen cargas gravitacionales, estas no son las que gobiernan el diseño. Típicamente las cargas de viento son las que gobiernan en este tipo de estructuras, por lo que es necesario obtener coeficientes de presión adecuados a la geometría de estudio para realizar un análisis eólico adecuado.

Sin embargo, los manuales y códigos de diseño ofrecen coeficientes de presión para estructuras con geometrías convencionales. Al tener geometrías irregulares y abarcar claros grandes, las tenso estructuras no forman parte de las estructuras comprendidas dentro de estos manuales, por lo que se requiere realizar estudios en túnel de viento para conocer las presiones actuantes en este tipo de estructuras (CFE 2020). Lo anterior con el fin de disminuir las estructuras *sobrediseñadas* debido a consideraciones conservadoras y factores de seguridad altos que los diseñadores toman para amortiguar la incertidumbre.

Para el caso de estructuras flexibles, las recomendaciones de los manuales de diseño por viento es adoptar coeficientes de presión de estructuras semejantes, lo cual puede ser erróneo. Para evitar errores durante el análisis de viento en estructuras flexibles hay que tener en cuenta que las presiones que actúan sobre la superficie dependen principalmente de la geometría que tiene la estructura, así como a la topografía del terreno, cercanía con estructuras adyacentes (Gamboa-Marrufo, et al., 2011).

En este trabajo se obtuvieron de manera experimental en un túnel de viento los coeficientes de presión netos en la superficie de una tenso estructura de dos mástiles con dos conos de (Figuras 1, 2 y 3) sometida a la acción del viento en tres direcciones: 0° , 45° y 90° y su comparación usando métodos numéricos a través de un análisis usando Dinámica de Fluidos Computacional en el programa ANSYS.

Metodología

A través de un programa de dibujo asistido por computadora (CAD) se modeló la tenso estructura con el fin de darle un volumen y obtener el modelo físico por medio de impresión en 3D

Para este trabajo se realizaron dos modelos: uno para medir presiones en la superficie superior y otro para medir presiones en la superficie inferior y, con ambos modelos, poder calcular presiones netas.

Dichos modelos fueron sometidos a un flujo de aire laminar en el túnel de viento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. La cámara de ensayos del túnel de viento tiene un área transversal de $10,000\text{cm}^2$

Los modelos a escala de la tenso estructura fueron construidos a una escala 1:50 utilizando una impresora de filamento ABS marca Makerbot Replicator 2x con una resolución de capa de 0.10mm y un porcentaje de relleno tipo panal del 20%.

Las dimensiones resultantes de los modelos fueron de 32cm de largo, 20cm de ancho y 12cm de altura. En la superficie del modelo se consideraron orificios que alojarían los sensores de presión que servirían para medir la presión actuante de tal manera que se abarcara la mayor área posible. (Figuras 4 y 5).

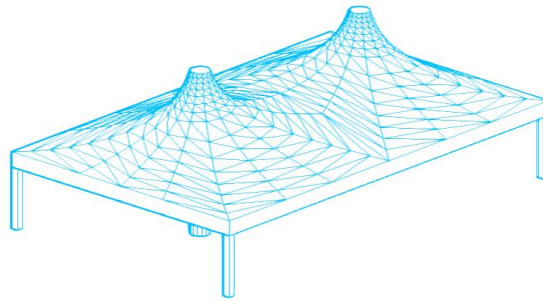


Figura 1: Tenso estructura de dos mástiles (Vista en isométrico)

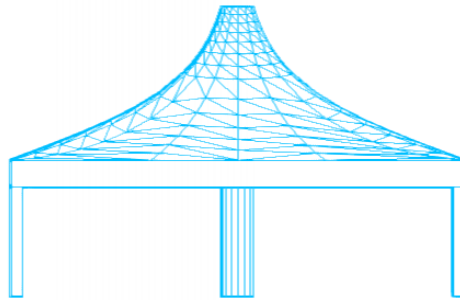


Figura 2: Tenso estructura de dos mástiles (Vista frontal)

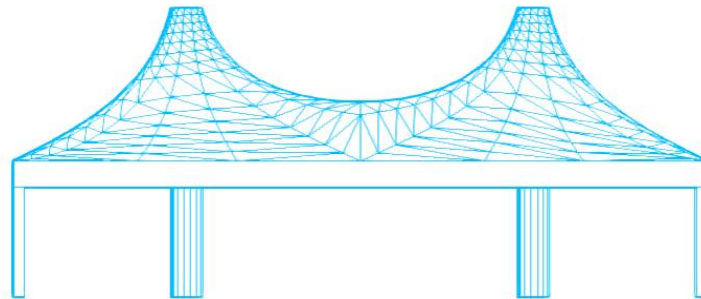


Figura 3: Tenso estructura de dos mástiles (Vista lateral)

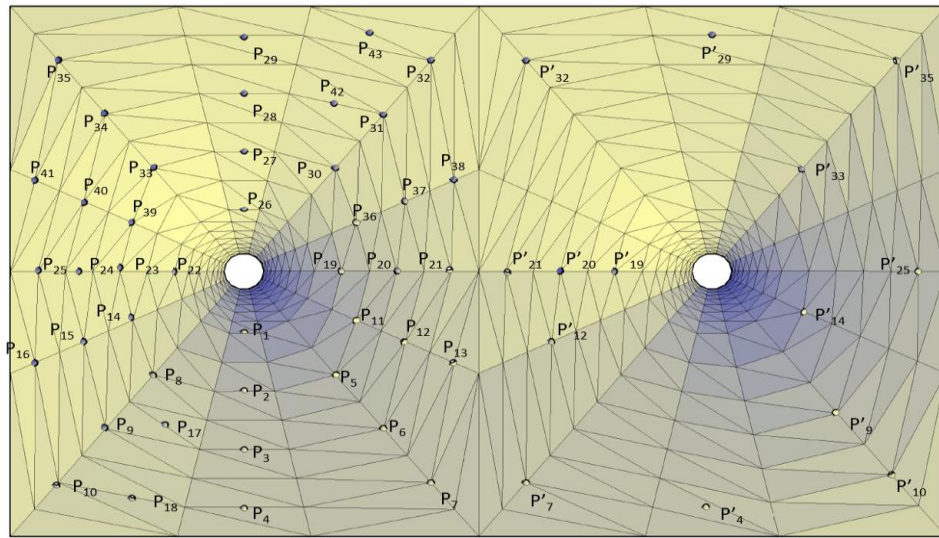


Figura 4: Distribución de orificios para medición de presiones

Los orificios para medir las presiones en cada superficie se conectaron a un multisensor de presiones de 16 canales marca Esterline 9116 por medio de transductores de presión. Al tener 57 puntos de medición en la superficie del modelo, se tuvieron que realizar diferentes mediciones al sólo tener 16 canales disponibles. Cada medición se realizó entre 2 y 3 veces con el fin de verificar que cada medición registrara los mismos resultados en

cada una de estas. Los coeficientes de presión se definen como:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2}$$

Donde p es la presión medida en un punto, p_∞ es la presión de referencia, ρ es la densidad del aire, considerada igual a 1.225 kg/m^3 , V_∞ es la velocidad de referencia del viento medida en un punto que no interfiera con el modelo.



Figura 5: Modelos a escala en la cámara de ensayos

Cada medición tuvo una duración de 90 segundos con una frecuencia de medición de 60 Hz a una velocidad, V_{∞} , de 17 m/s. Se hicieron ensayos con la incidencia del viento en tres direcciones: se consideró 0° cuando la dirección del viento era transversal al lado más largo del modelo; 90° cuando la dirección del viento era paralela al lado más largo del modelo y 45° rotando el modelo a la mitad entre ambas direcciones.

Para el modelo numérico se consideraron las medidas reales de la tenso y las mismas condiciones, tales como velocidad del viento y direcciones de ensaye. A continuación, se presenta una breve descripción del proceso llevado a cabo.

Se determinaron dos dominios: el entorno y la tenso estructura. A cada dominio se le determinó un mallado, para el entorno se consideró un tamaño de malla de 50cm y para

la tenso estructura un tamaño de malla de 5cm. Posteriormente se determinaron las condiciones de frontera y las condiciones iniciales, las cuales son la velocidad del viento y su densidad.

Una vez determinadas estas características, se llevó la resolución del problema por medio de iteraciones hasta alcanzar la convergencia de 1e-003. Dicha convergencia se alcanzó a las 2,000 iteraciones.

Resultados y discusión

La Figura 6 muestra los resultados de la distribución de presiones netas a través de los coeficientes de presión para la dirección de 0° de todos los puntos, mientras que la Figura 7 muestra los puntos que sirvieron para corroborar la simetría de la estructura.

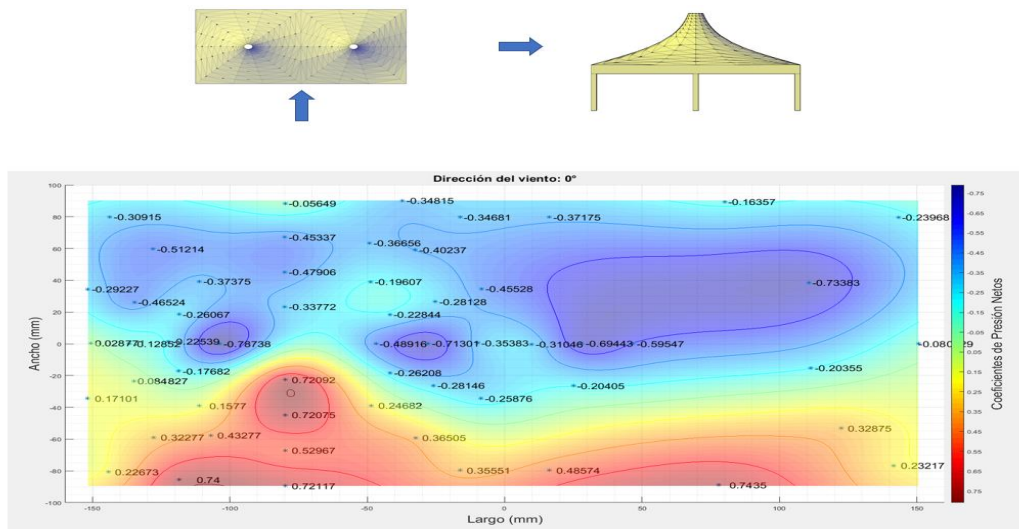


Figura 6: Coeficientes de presión netos (Dirección 0°)

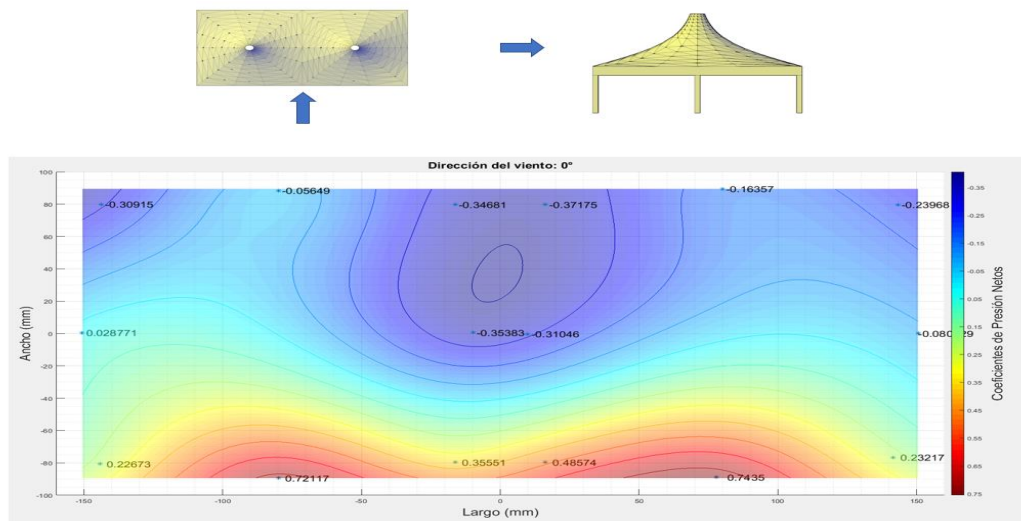


Figura 7: Coeficientes de presión netos (Dirección 0°, simetría de la estructura)

La Figura 8 muestra los resultados de la distribución de presiones netas a través de los coeficientes de presión para la dirección de 90°

de todos los puntos, mientras que la Figura 9 muestra los puntos que sirvieron para corroborar la simetría de la estructura.

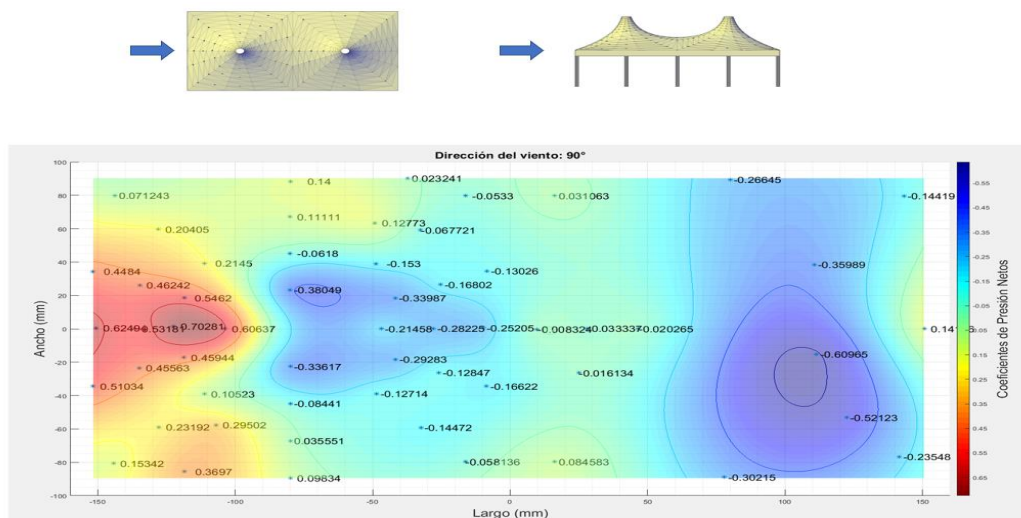


Figura 8: Coeficientes de presión netos (Dirección 90°)

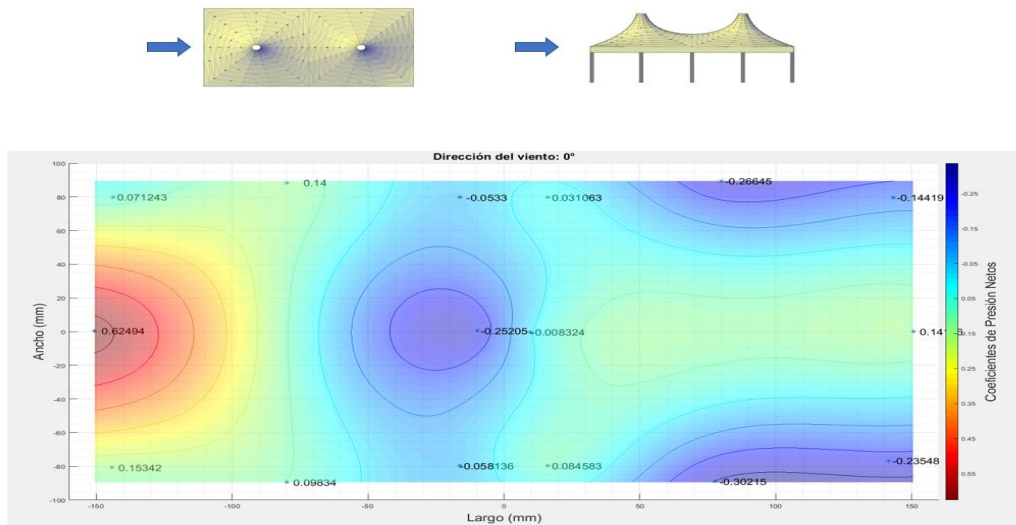


Figura 9: Coeficientes de presión netos (Dirección 90°, simetría de la estructura)

La Figura 10 muestra los resultados de la distribución de presiones netas a través de los coeficientes de presión para la dirección de 45°

de todos los puntos ya que no es posible determinar la simetría de la estructura para esta dirección.

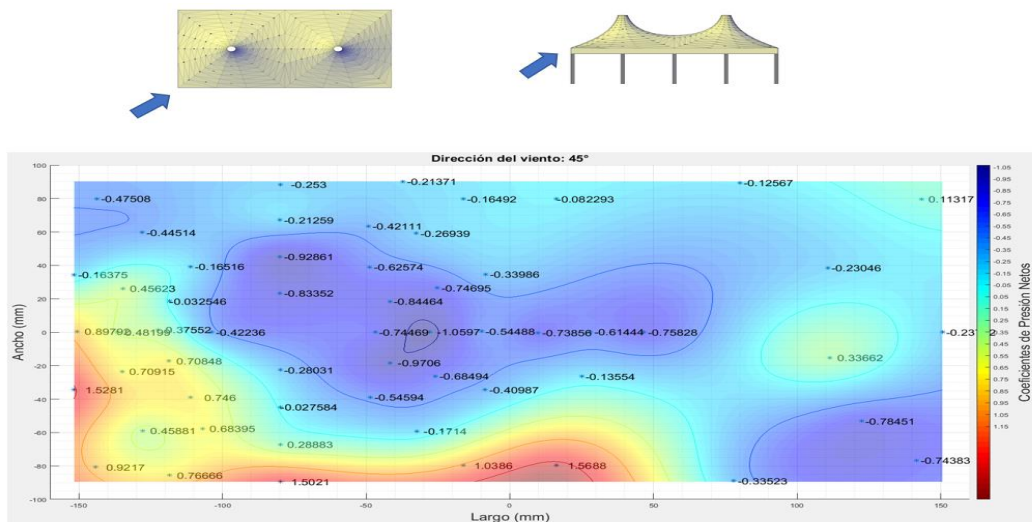


Figura 10: Coeficientes de presión netos (Dirección 45°)

Para el modelo numérico se obtuvieron presiones en la superficie superior y en la superficie inferior nuevamente con el fin de poder calcular las presiones netas.

Finalmente se realizó una comparación entre los resultados obtenidos experimentalmente con los resultados obtenidos numéricamente:

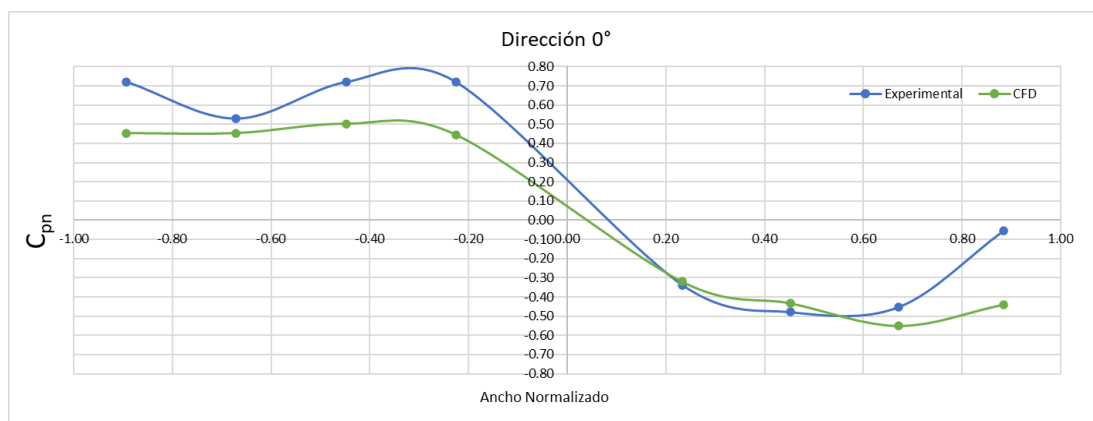


Figura 11: Coeficientes de presión netos experimentales y mediante CFD (Dirección 0°)

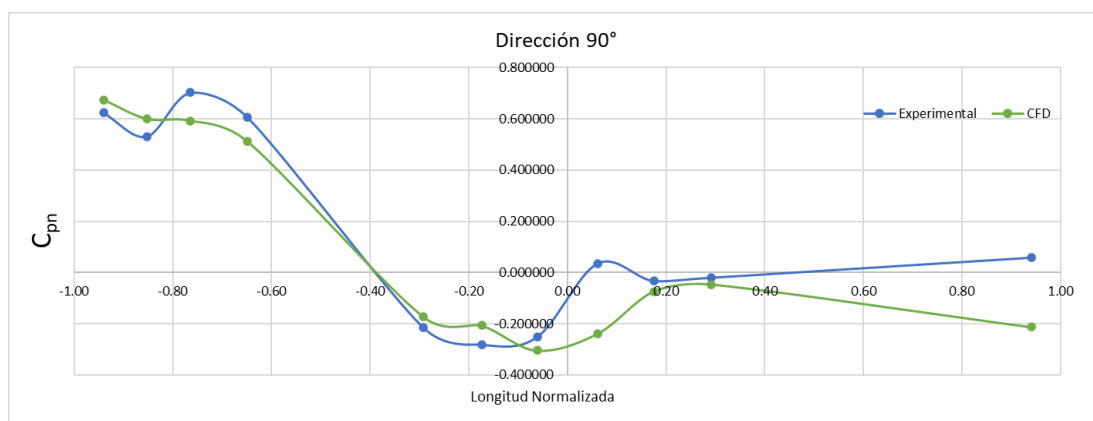


Figura 12: Coeficientes de presión netos experimentales y mediante CFD (Dirección 90°)

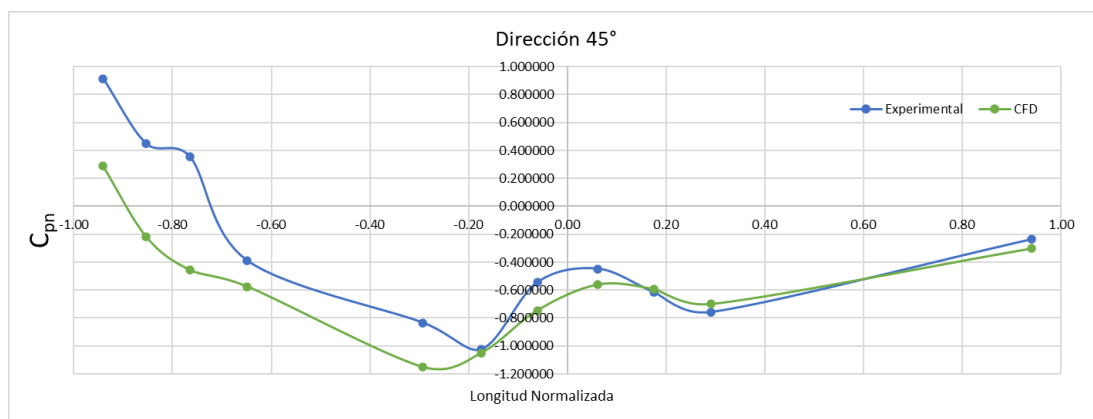


Figura 13: Coeficientes de presión netos experimentales y mediante CFD (Dirección 45°)

Como puede observarse en las Figuras 6 y 7, para la dirección de 0° se presentan presiones positivas en la zona de barlovento, mientras

que, para la zona de sotavento, se presentan presiones negativas, alcanzando valores de 0.74 y -0.79 respectivamente.

En las Figuras 8 y 9 se observa que, para la dirección de 90° , nuevamente se presentan empujes en la cara de barlovento y succiones en la zona de sotavento. Para esta dirección se alcanzó un coeficiente de presión positivo de 0.70 y uno negativo de -0.61.

En la Figura 10 se muestran los coeficientes de presión para la dirección de 45° y se observa que, a pesar de no tener una simetría aparente, en la esquina que se encuentra a barlovento, se presentan presiones positivas hasta que se vuelven presiones negativas conforme se acerca a la cara de sotavento. En esta dirección es donde se presentan los mayores coeficientes de presión, tanto positivos como negativos; siendo estos 1.57 y -1.06 respectivamente.

En cuanto a la comparación de resultados entre el modelo experimental y el modelo numérico, se puede concluir que el comportamiento es similar en ambos casos. Para la dirección de 0° , el modelo presenta empujes en la cara de barlovento principalmente, y succiones en la cara de sotavento, teniendo una desviación estándar de hasta 19.17% en el punto más desfavorable.

Para la dirección de 90° , se tiene un comportamiento similar, presiones positivas en

la zona de barlovento y presiones negativas en la zona de sotavento con una desviación estándar de hasta 13.60% en su punto más desfavorable.

Para la dirección de 45° se tiene una desviación estándar de 40.49% al inicio de la franja central que sirvió de comparación y reduce hasta un 1.26% conforme se aleja el fluido de la cara de barlovento.

Los resultados obtenidos, tanto de manera experimental como de manera numérica, muestran valores mayores a los que se encuentran en el Manual de Obras Civiles de Diseño por Viento de la CFE en su versión 2020. Es por esto se deben considerar estos valores son desfavorables para el diseño de estructuras flexibles. De igual manera es importante tener en consideración que estos coeficientes de presión se obtuvieron bajo un flujo laminar y que no consideran los efectos de la capa límite, tales como la variación de la velocidad con la altura o la topografía y rugosidad del terreno. Sin embargo, el diseño puede ser afectado por los factores incluidos en los manuales de diseño para métodos cuasi-estáticos.

Referencias

- Comisión Federal de Electricidad. (2020). Manual de Obras Civiles - Diseño por Viento. Ciudad de México.
- Pool, S. (2017). Coeficientes de presión en un hangar inflable por acciones de viento. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Hincz, K., & Gamboa-Marrufo, M. (2016). Deformed Shape Wind Analysis of Tensile Membrane Structures. *Journal of Structural Engineering*, 1-5.
- Gamboa-Marrufo, M., Hincz, K., & Tun, V. (2011, Diciembre 29). Medición de presiones aerodinámicas en una estructura de membrana. *Ingeniería*. Vol. 15. Num 3., pp. 167-175.