

MÉTODO NUMÉRICO PARA DETERMINAR EL ÁNGULO ADECUADO EN ESTRUCTURAS CON CUBIERTAS LIGERAS

Ing. Julio Ernesto de la Rosa Melian¹,
Dr.C Roberto Andrés Estrada Cingualbres²,
Dr.C Carlos Alberto Trinchet Varela³

¹Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios CAD/CAM. jedlrm1994@gmail.com

²Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios CAD/CAM. roberto.estrada@uho.edu.cu

³Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios CAD/CAM. carlos.trinchet@uho.edu.cu

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Julio Ernesto de la Rosa Melian, Roberto Andrés Estrada Cingualbres y Carlos Alberto Trinchet Varela (2019): "Método numérico para determinar el ángulo adecuado en estructuras con cubiertas ligeras", Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional RILCO, n. 3 (agosto 2019). En línea: <https://www.eumed.net/rev/rilco/03/angulo-cubiertas-ligeras.html>
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/rilco03angulo-cubiertas-ligeras>

RESUMEN

El territorio cubano es afectado fuertemente por ciclones tropicales que causan grandes daños a la población y la economía del país. Uno de los sectores más perjudicados es el de la vivienda donde resaltan las estructuras que presentan cubiertas ligeras por su alta vulnerabilidad ante el embate de vientos extremos. Esta situación resulta alarmante por el alto número de hogares cubanos que utilizan este tipo de cubiertas y las grandes pérdidas económicas que se registran anualmente por este concepto. La presente investigación tiene como objetivo elaborar un método para determinar el ángulo adecuado del techo en estructuras con cubiertas ligeras, que permita la construcción de viviendas más resistentes al impacto de vientos extremos. Utilizando la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para modelar el régimen de viento, se logra determinar la respuesta del techo de la estructura para diferentes inclinaciones de la pendiente.

Palabras claves: Dinámica de Fluidos Computacional, carga de viento, simulación del viento extremo

ABSTRACT

The Cuban territory is strongly affected by tropical cyclones, a trend that is increasing as a result of climate change. One of the most damaged sectors is that of housing where the structures with light roofs stand out because of their high vulnerability to the onslaught of

extreme winds. This situation is alarming because of the high number of Cuban households that use this type of roof and the great economic losses that are registered annually due to the impact of tropical cyclones. In order to elaborate a method, to determine the performance of the roof in structures with light covers against extreme wind, was developed this investigation. As part of this line of research, this work uses the benefits of Computational Fluid Dynamics (CFD) to generate a hurricane wind and determine the response of structures with different pitch inclination of the roof.

Key words: Computational Fluids Dynamics, wind load, extreme wind simulation

INTRODUCCIÓN

El archipiélago cubano, debido a su posición geográfica, se ve fuertemente afectado todos los años en el periodo del primero de junio al treinta de noviembre, época que marca la temporada ciclónica. En este tiempo se extreman las medidas de precaución y preparación para posibles enfrentamientos ante eventos naturales extremos.

Los ciclones tropicales constituyen el fenómeno natural que más afecta a nuestro país produciendo anualmente extensas pérdidas económicas, medioambientales y lamentablemente de vidas humanas. Los mayores daños están vinculados a derrumbes y afectaciones a infraestructuras constructivas; fundamentalmente las que se encuentran en deterioro, las incorrectamente construidas y las que presentan cubiertas ligeras.

Según los datos del Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2012, en Cuba el 45,6 % de las viviendas presentan cubiertas ligeras y específicamente en la provincia de Holguín esta cifra aumenta hasta el 51 % (Lengarán Ávila, 2015). Cifras que evidencian la importancia del tema abordado anteriormente y urge la toma de medidas al respecto.

A solicitud del Ministerio de la Construcción (MICONS), en el Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín, se han desarrollado investigaciones con el objetivo de construir viviendas resistentes al embate de fuertes vientos. En una primera etapa se pudo caracterizar las tipologías constructivas de estructuras con cubiertas ligeras en el territorio holguinero y posteriormente se han realizado los análisis estáticos y dinámicos a los principales tipos de estas cubiertas que se emplean en nuestro territorio.

La presente investigación tiene como objetivo determinar la pendiente adecuada para estructuras con cubiertas ligeras, mediante la propuesta de un método numérico que permita realizar estudios en condiciones cercanas al proceso natural. El análisis está basado en los principios de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y pretende demostrar que con esta técnica es posible simular el comportamiento de una masa huracanada de aire.

METODOLOGÍA

Para garantizar la obtención de datos fiables es necesario utilizar en la simulación parámetros físicos que describan el comportamiento del viento y de la carga que éste genera, en condiciones atmosféricas similares a las del territorio cubano. El análisis previo de modelos para la obtención de cargas de viento sobre estructuras, ha permitido identificar las variables que garantizan el correcto desempeño de estos estudios y elaborar el método presentado en la Figura 1.

Este método consta de siete etapas que parten desde la caracterización del terreno donde se encuentra la estructura, el régimen de viento para la simulación y obtiene la carga del viento en las estructuras analizadas para determinar el ángulo adecuado de las mismas. Pero obtener el valor de esta pendiente precisa de fijar como constantes las restantes dimensiones en todos los modelos de análisis y que el ángulo del techo sea el único parámetro variable.

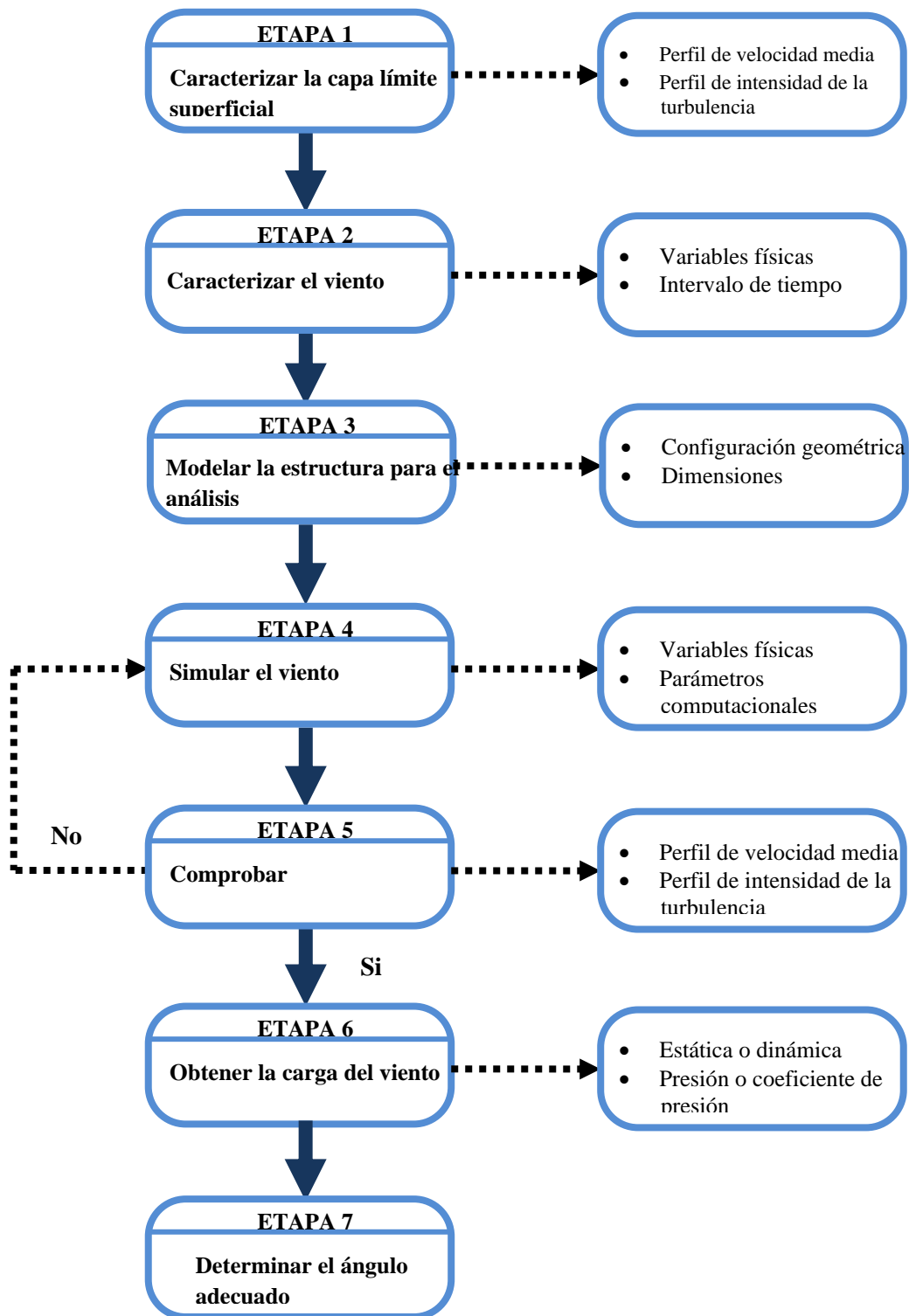


Figura 1. Método para determinar la pendiente adecuada en estructuras con cubiertas ligeras.

DESARROLLO DEL TEMA

Caracterización de la capa límite superficial

Una adecuada medición de las cargas sobre los modelos de análisis necesita de una reproducción adecuada de la capa límite superficial, para garantizar la reproducción de los parámetros que caracterizan al fenómeno natural a escala real, mediante el desarrollo de un modelo físico del flujo turbulento (López Llanusa et al. 2017). El estudio mediante la CFD debe procurar que se tengan en cuenta las condiciones del terreno y del régimen de viento simulado. En la modelación de la capa límite superficial serán comparados los perfiles de velocidad media e intensidad de la turbulencia obtenidos por CFD con los teóricos propuestos por López Llanusa et al. (2017) en las condiciones atmosféricas cubanas, correspondientes a un terreno de campo abierto. Esto permite realizar ajustes en el estudio para obtener en la simulación numérica las condiciones atmosféricas y de terreno adecuadas.

La forma adecuada que describe el comportamiento de un viento extremo en zonas de ocurrencias de huracanes, es el perfil logarítmico de velocidad media del viento descrito en la ecuación 1 (López Llanusa et al. 2017).

$$\bar{U} = \frac{u^*}{K} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

Donde:

\bar{U} : velocidad media

u^* : velocidad de fricción

K : coeficiente de Von Kármán

Z : altura de referencia

Z_0 : altura de rugosidad

La intensidad de la turbulencia es un parámetro que indica la potencia contenida en la turbulencia. Su forma de representación más adecuada es comparándola con una altura de referencia y se obtiene según lo expresa la ecuación 2 (López et al., 2017).

$$I = \frac{\sigma_u}{\bar{U}} \quad (2)$$

Donde:

I : intensidad de la turbulencia

σ_u : desviación estándar de las fluctuaciones del viento en un punto de referencia

\bar{U} : velocidad media del viento en un punto de referencia

Caracterización del régimen de viento para la simulación

En la simulación del viento huracanado se tienen en cuenta los valores críticos registrados del huracán Irma en cuanto a presión central mínima de 91 400 Pa y velocidad máxima sostenida en un minuto de 298 km/h (82,77 m/s). En cuanto a la temperatura se mantiene la utilizada en la modelación de la capa límite superficial de 27 °C, debido a que este factor no presenta una variación considerable ante el paso de estos fenómenos climáticos según la consulta con expertos.

En bibliografías consultadas que tratan la medición en tiempo real del viento e intensidad de la turbulencia en ciclones, Ishizaki (1983) y Li et al. (2015), se observa como en regímenes extremos la velocidad media aumenta con la altura y la intensidad de la turbulencia se comporta de forma contraria. El análisis de estas investigaciones permite establecer un rango que va desde los 0,188 hasta los 0,23 para los valores de intensidad de la turbulencia, a una altura de 5 m, en vientos huracanados para características de terreno similares al cubano de campo abierto con una altura de rugosidad de 0,06 m.

Estructuras para el análisis

Con la utilización de nueve modelos de análisis, cuyas dimensiones se muestran en la Figura 2, se pretende demostrar la influencia de la pendiente en el valor de la carga. Para esto las restantes dimensiones y el tipo de techado poseen el mismo valor en todos los casos analizados. A cada modelo le corresponde una amplitud distinta de la pendiente del techo que aumenta en 5° de un modelo a otro en un rango que va desde 5° hasta 45°.



Figura 2. Dimensiones de los modelos de análisis.

Simulación del viento

En esta investigación es utilizado el software Solidworks en su versión 2016, que puede ser empleado en la resolución de problemas de flujo de fluidos accediendo al módulo FlowSimulation. Este programa en su funcionamiento se basa de las formulaciones de las leyes de conservación de la masa, cantidad de movimiento y la energía que plantean las ecuaciones de Navier-Stokes.

La Figura 3 muestra un diagrama con las variables de entrada que permiten una correcta simulación del viento para obtener las variables de salida, que serán comprobadas con los parámetros teóricos (ecuación 1 y ecuación 2), y el valor de la carga del viento para cada modelo de análisis.

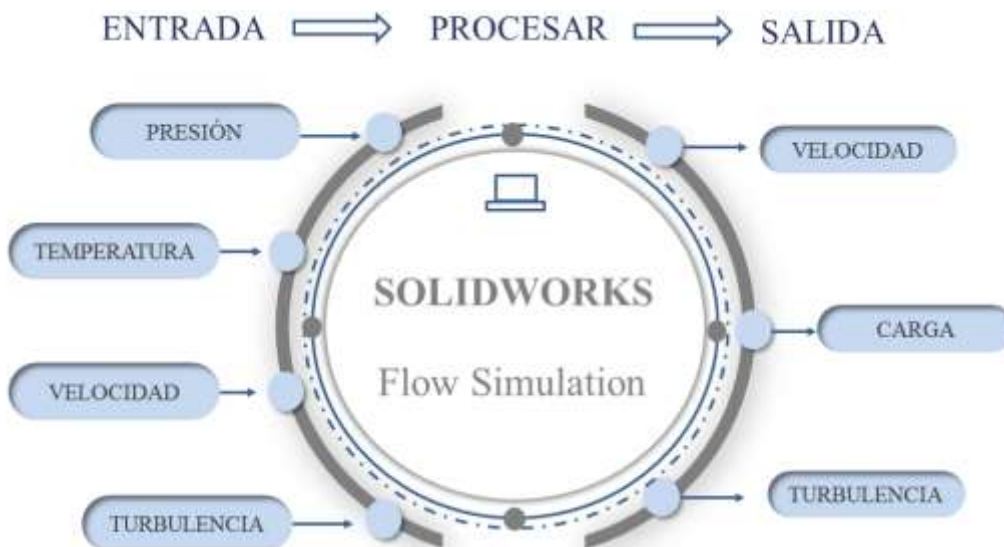


Figura 4. Flujo de trabajo utilizado en la simulación del viento.

Comprobación de la simulación del viento

Para validar los resultados obtenidos se debe cumplir que las condiciones del flujo generado por CFD se ajustan a los parámetros que describen el proceso natural. Tomando mediciones con puntos de control durante las simulaciones se pudo demostrar la compatibilidad del estudio con los patrones teóricos, para vientos extremos, de velocidad media e intensidad de la turbulencia. En la Figura 5 se confirma el planteamiento anterior.

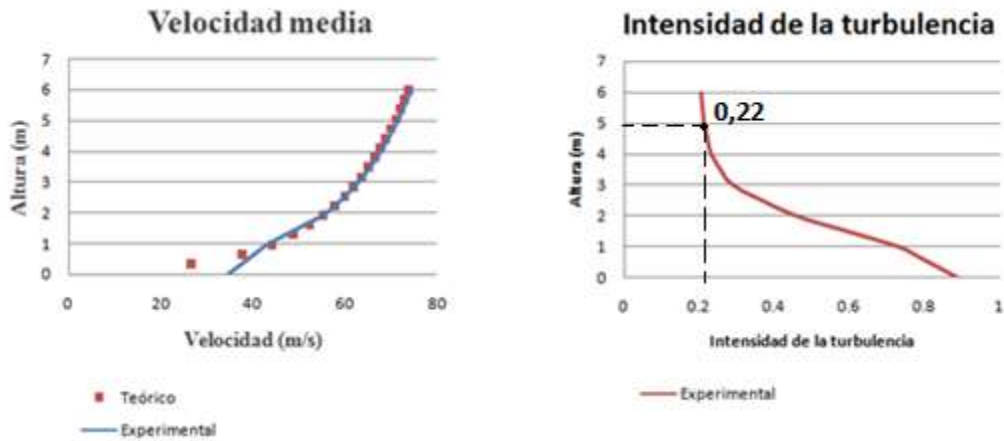


Figura 5. Perfiles de velocidad media e intensidad de la turbulencia, obtenidos experimentalmente por CFD.

Obtención de la carga del viento

La carga del viento puede ser estática si la simulación se realiza para un instante de tiempo o dinámica simulando para un intervalo de tiempo. Se puede obtener en función de las presiones para realizar posteriormente estudios tensionales a las estructuras y componentes estructurales o en función del coeficiente de presión (C_p) que permite comparar fácilmente a varias tipologías constructivas, para determinar la más adecuada aerodinámicamente y las zonas críticas producto de la acción del viento.

El valor de la carga del viento varía conforme avanza el tiempo, lo que se conoce como gradiente temporal (Morrison & Kopp, 2009). La Figura 6 evidencia la presencia de este concepto en el desarrollo del estudio con datos pertenecientes al modelo con pendiente de 20° .

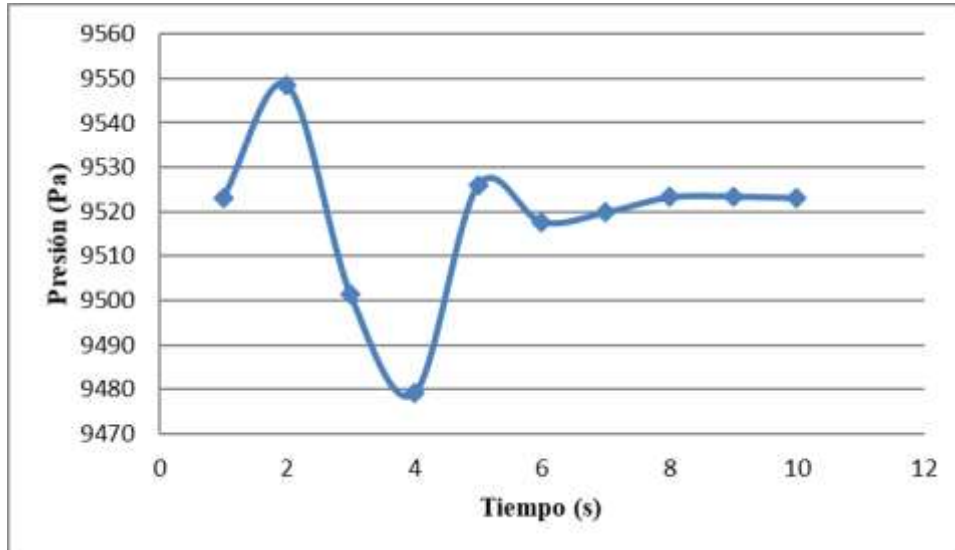


Figura 6. Mediciones de presión en los primeros 10 s de iniciado el estudio para el modelo con pendiente de 20° .

El gradiente espacial es otra característica de la carga del viento. En la Figura 7 se observa, para un instante de tiempo, su distribución no uniforme en el techo del modelo con pendiente de 20° . Es válido aclarar que este comportamiento está presente aunque se trate de zonas cercanas en una misma superficie, por lo tanto el valor de la carga no se distribuye uniformemente (Morrison & Kopp, 2009).

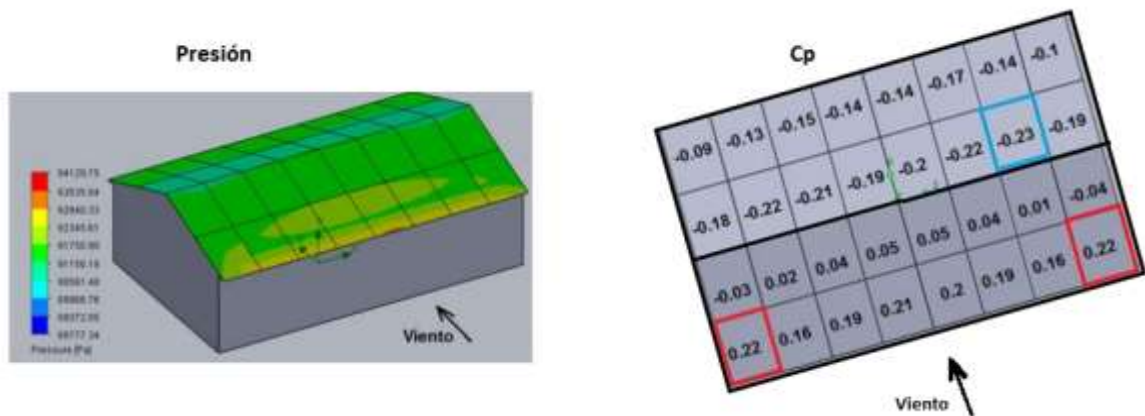


Figura 7. Distribución de la carga del viento en el techo del modelo con pendiente de 20°, a los 60 segundos de iniciada la simulación.

Determinación del ángulo adecuado

Analizando los valores de cargas del viento obtenidos en todos los modelos de análisis para el instante de 60 segundos (tiempo de duración del estudio), se puede plantear que en pendientes menores a 20° se obtienen menoscargas sobre las estructuras. En la Figura 8 se aprecia mejor esta afirmación con la variación de los coeficientes máximos y medios de presión del viento para las zonas a barlovento (delante del viento) y a sotavento (detrás del viento).

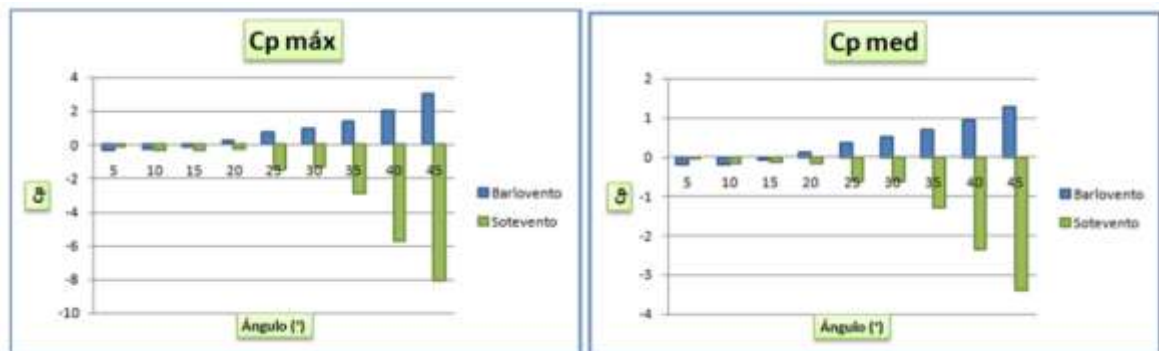


Figura 8. Variación del coeficiente de presión máximo ($C_{p\text{máx}}$) y medio ($C_{p\text{med}}$), con respecto a la inclinación de la pendiente, en las zonas a barlovento y sotavento de la cubierta de los modelos de análisis.

Estos resultados demuestran la influencia de la inclinación de la pendiente del techo de una estructura a dos aguas en el valor de la carga del viento. Para escoger el ángulo adecuado se debe tener en cuenta que la inclinación de la pendiente interviene en el drenaje del agua en caso de lluvias y su elección también está condicionada por el tipo de cubierta ligera a utilizar en el techo. En nuestro territorio predomina el uso de cubiertas metálicas y de fibrocemento, según los datos del estudio estadístico realizado por Lengarán Ávila (2015).

Generalmente los fabricantes recomiendan para las cubiertas de fibrocemento utilizar pendientes superiores a los 15° y en las metálicas mayores que 22° (Lengarán Ávila, 2015). Teniendo en cuenta este planteamiento y las cargas obtenidas para las distintas inclinaciones de las pendientes, se recomienda para el uso de cubiertas de fibrocemento utilizar un ángulo de 20° y 25° en el caso de las metálicas.

CONCLUSIONES

La aplicación de este método permite la realización de estudios de viento para determinar la carga que este genera sobre las estructuras. Se pudo demostrar que utilizando las bondades de la Dinámica de Fluidos Computacional es posible simular un viento huracanado y modelar la

capa límite superficial de un terreno, ofreciendo una solución menos costosa que la experimentación en túneles de viento. Finalmente se aplica el método para determinar la inclinación de la pendiente adecuada para una estructura con cubierta ligera y techo a dos aguas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López Llanusa , A., Elena Parnás , V. B., & Cataldo Ottieri , J. (2017). Modelación de capa límite atmosférica para estudios de paneles. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 52-64.
2. Evola, G., & Popov, V. (2006). Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings. *Energy and Buildings*, 491-501.
3. Gamboa Marrufo, M., Rosado Hau, N., & Pacheco Pacheco, A. (2013). Validación mediante CFD de los coeficientes de presión de. *Ingeniería*, 215-222.
4. Habte, F., Mooneghi, M. A., Baheru, T., Zisis, I., Chowdhury, A., Masters, F., y otros. (2017). Wind loading on ridge, hip and perimeter roof tiles: A full-scale. *Journal of Wind Engineering*, 90-15.
5. Habte, F., Mooneghi, M. A., Gan Chowdhury, A., & Irwin, P. (2015). Full-scale testing to evaluate the performance of standing seam metal. *Engineering Structures*, 231–248.
6. Instituto de Meteorología de la República de Cuba. (5 de Septiembre de 2017). *Instituto de Meteorología de la República de Cuba*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2017, de Instituto de Meteorología de la República de Cuba: <http://www.met.inf.cu>
7. ISHIZAKI , H. (1983). WIND PROFILES, TURBULENCE INTENSITIES AND GUST FACTORS FOR DESIGN IN . *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,, 55-66.
8. Lengarán Ávila, Y. (2015). CARACTERIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS LIGERAS EN VIVIENDAS Y OBRAS INDUSTRIALES EN LA CIUDAD DE HOLGUÍN. HOLGUÍN, HOLGUÍN, Cuba.
9. Lixiao, L., Kareem, A., Xiao, Y., Song, L., & Zhou, C. (2015). A comparative study of field measurements of the turbulence. *Journal of Wind Engineering*, 49-66.
10. Mooneghi, M. A., Irwin, P., & Chowdhury, A. G. (2014). Large-scale testing on wind uplift of roof pavers. *Journal of Wind Engineering*, 22–36.
11. Morrison, M. J., & Kopp, G. A. (2009). Application of Realistic Wind Loads to the Roof of a. *11th Americas Conference on Wind Engineering*. San Juan.
12. Reyes, A. (2017). Simulación numérica de la carga dinámica del viento extremo y su efecto sobre las cubiertas ligeras. HOLGUÍN, HOLGUÍN, Cuba.
13. Rodríguez, J. C. (2016). Simulación numérica de las cubiertas ligeras ante el embate de vientos huracanados. Holguín, Holguín, Cuba.
14. Tominaga, Y., Akabayashi, S.-i., Kitahara, T., & Arinami, Y. (2015). Airflow around isolated gable-roof buildings with different roof. *Building and Environment*, 204-2013.