

Validación de la simulación en CFD de una estructura tipo cubo

Validation of the CFD simulation of a cube-like structure

Rigoberto Morales Hernández^{1,*}

¹Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.

*Correspondencia: rmoralesh97@gmail.com

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Resumen

Para el estudio de las cargas de viento en su interacción con las estructuras es necesario realizar ensayos, comúnmente llevados a cabo en túneles de viento. Con el auge de la computación actualmente es posible realizar experimentos similares utilizando la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) sin necesidad de gastos en la construcción de grandes instalaciones. Una parte importante en el proceso de simulación es la validación del modelo numérico, para asegurar que características utilizadas como: el mallado y el modelo de turbulencia dan una descripción eficaz del comportamiento del viento. Este trabajo tiene como objetivo realizar la validación de una modelación en CFD de un cubo de 10 m de lado. Para esto se compararon los coeficientes de presiones adquiridos mediante el software comercial ANSYS Fluent con los propuestos por un esquema teórico de presiones dado para esta estructura, el cual se obtuvo mediante ensayos de túnel de viento por otros autores. En general, la simulación muestra un comportamiento cercano a lo planteado por el esquema teórico, especialmente en las caras superiores y laterales, por lo que el modelo se considera correctamente validado.

Palabras clave: Dinámica Computacional de Fluidos (CFD), validación, coeficientes de presión

Abstract

For the study of wind loads in their interaction with the structures it is necessary execute tests, commonly performed in wind tunnels. With the rise of the computation, currently it is possible to implement similar experiments using Computational Fluid Dynamics (CFD), without need to spend in the construction of large installations. One important part in the simulation process is the validation of the numerical model, to ensure that selected characteristics like the meshing and the turbulence model give an effective description of the wind behavior. The objective of this work is to perform the validation of the CFD model of a 10 m side cube. For this, the pressure coefficient acquired through the commercial software ANSYS Fluent were compared with the ones proposed by a theoretical pressure scheme of this structure, which was obtained through wind tunnel experiments by other authors. In general, the simulation shows a performance close to the recommended in the theoretical scheme, specially in the upper and sides faces, so the model it is considered properly validated.

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD), validation, pressure coefficients

1. Introducción

Al estar Cuba ubicada en una región geográfica constantemente azotada por huracanes, frentes fríos y otros organismos meteorológicos generadores de vientos extremos, se vuelve esencial tener amplios conocimientos del comportamiento del viento en su interacción con las estructuras para minimizar los efectos destructivos que este puede ocasionar.

Entre los métodos que permiten analizar este comportamiento se encuentran la instrumentación de estructuras a escala real y la experimentación con modelos a escala reducida en túneles de viento. Aunque con ellos se pueden obtener resultados muy fiables, su costo suele ser elevado.

En los últimos años, el rápido avance y desarrollo de la computación ha permitido el estudio de diversos fenómenos sin la necesidad de realizar ensayos físicos. Dentro de las áreas del conocimiento que se han visto grandemente beneficiadas con estos adelantos tecnológicos se encuentra la Ingeniería de Viento. Con la Dinámica Computacional de Fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) es posible realizar experimentos similares a los llevados a cabo en túneles de viento sin la necesidad de costosas instalaciones.

Los estudios de CFD se basan en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes para el flujo analizado. Estas son ecuaciones no-lineales de derivadas parciales en tres dimensiones y dependientes del tiempo [1], las cuales describen el comportamiento de los fluidos. Existen diversos métodos para la resolución de la turbulencia dentro de estas ecuaciones, entre de los que destacan la Simulación Numérica Directa, la Simulación de Grandes Remolinos y las Ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds (DNS, LES y RANS respectivamente, según sus siglas en inglés).

La DNS, a pesar de ser el método más exacto, ya que se basa en resolver numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes a todas las escalas, requiere de una capacidad de cálculo tal que al día de hoy carece de usos prácticos debido a la complejidad que presentan usualmente los modelos a analizar. Con la Simulación de Grandes Remolinos son resueltas las ecuaciones para los vórtices de gran tamaño mientras que a menor escala se realizan simplificaciones [2]. Este método aunque más económico que la DNS, sigue necesitando de grandes recursos computacionales por lo que no es usado frecuentemente. Xing et al. [3] realizaron simulaciones comparando modelos LES y RANS y concluyeron que para casos con el viento perpendicular a la estructura este último modelo es más eficiente ya que, aunque menos preciso, es hasta 80 veces más rápido que el LES.

Los métodos que utilizan RANS se basan en la descomposición de los diferentes parámetros de la ecuación de Navier-Stokes en componentes promediadas y fluctuantes y en la adición de ecuaciones extras que permitan resolver las nuevas incógnitas. Entre ellos destacan los modelos $k-\varepsilon$ y $k-\omega$. Gamboa-Marrufo et al. [4] utilizan el modelo $k-\varepsilon$ realizable para validar mediante CFD la simulación de una tenso-estructura. Atmaca [5] realizó una comparación de los modelos $k-\varepsilon$ estándar, $k-\varepsilon$ RNG y $k-\varepsilon$ realizable para distintos ángulos de incidencia del viento en una estructura baja y obtuvo que el $k-\varepsilon$ RNG mostraba un desempeño ligeramente superior. Según Ozmen et al. [6] con el modelo $k-\varepsilon$ realizable se obtiene una mejor descripción de la velocidad media y de la energía cinética turbulenta, mientras que el $k-\omega$ es mejor en la predicción de coeficientes de presión promedio.

Debido a la aceptable precisión de los resultados y el tiempo de computo sensiblemente menor con respecto a los otros métodos [3] los modelos RANS son utilizados en gran cantidad de estudios de CFD [7-9].

A pesar de que se han obtenido resultados fiables mediante el uso de la Simulación Computacional de Fluidos, la validación del modelo computacional siempre es necesaria para asegurar su pertinencia. Generalmente se utilizan datos experimentales obtenidos a partir de ensayos en túneles de viento, de los cuales la simulación en CFD trata de repetir las condiciones del estudio de forma tal que las diferencias radiquen solamente en características del modelo numérico como pueden ser el mallado, las dimensiones del dominio o el modelo de descripción de la turbulencia.

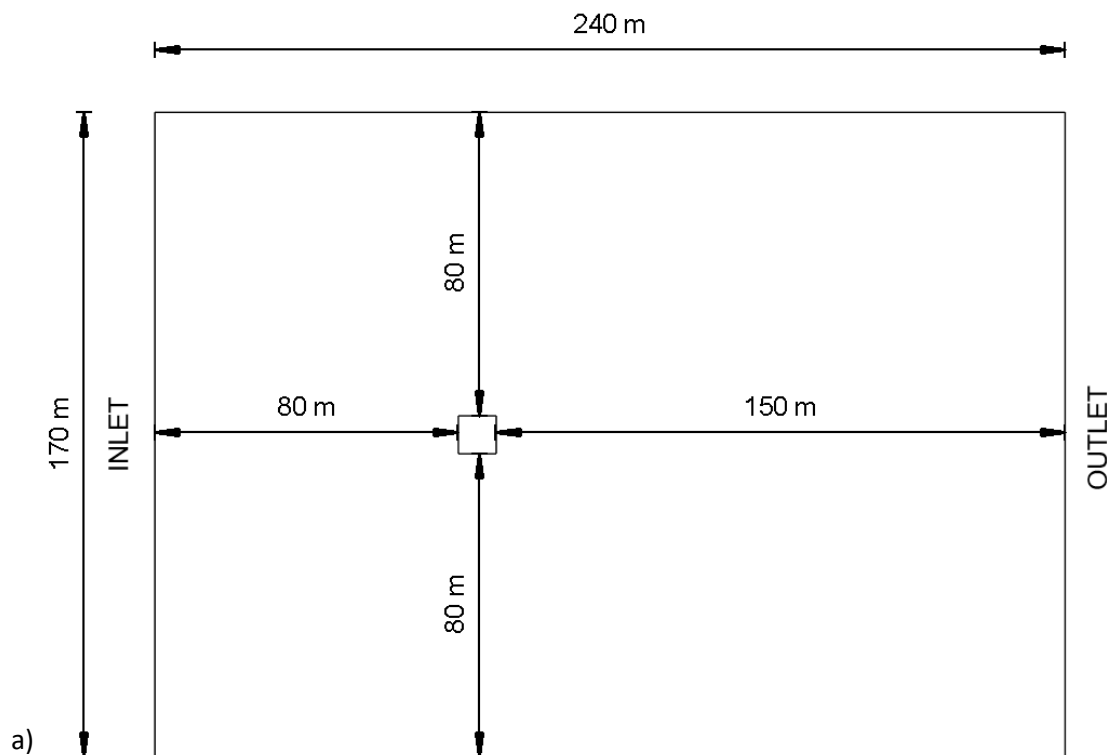
En el presente trabajo se realiza la validación de el modelo en CFD de un cubo de 10 m de lado con las características propuesta por Blocken y Carmeliet [10]. Para esto se compararon los coeficientes de presiones obtenidos en la simulación con los propuestos por el esquema teórico de presiones.

2. Materiales y Métodos

La estructura seleccionada para realizar la validación numérica fue un cubo de diez metros de lado, sometido a un flujo de aire con una velocidad de entrada de 10 m/s. Esta estructura es adoptada por diversos autores [10, 11] para validar sus modelos.

El software utilizado fue el ANSYS 19.2, mediante el empleo del módulo Fluent. Aunque existen otros programas que permiten realizar simulación de fluidos, este es de los más empleados para el análisis de CFD en estructuras [2, 4, 5, 7, 12].

El dominio computacional presenta las dimensiones mostradas en la Figura 1, las cuales están dadas en función de la altura de la edificación (H), según lo recomendado por Revuz et al. [13] entre otros autores [14, 15]. Estas medidas aseguran una relación de bloqueo de 0,65% menor al 5% recomendado [16]. La modelación se realizó a escala real.



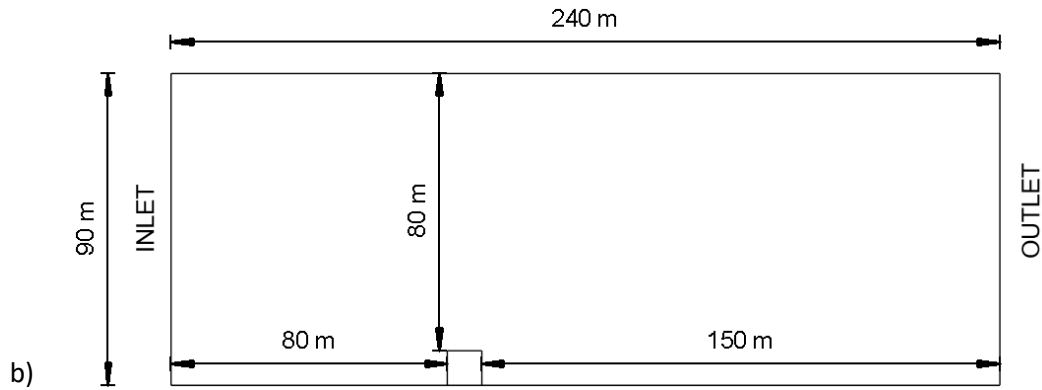


Fig.1 Dimensiones del dominio en planta (a) y en elevación (b)

Se estableció un mallado estructurado con aproximadamente 2,5 millones de elementos, compuesto por celdas hexadecimales con varios niveles de refinamiento, siendo mayor el tamaño de las celdas a medida que se alejan de la estructura (Figura 2). El tamaño máximo de las celdas fue de 1,6 m y el mínimo de 0,2 m.

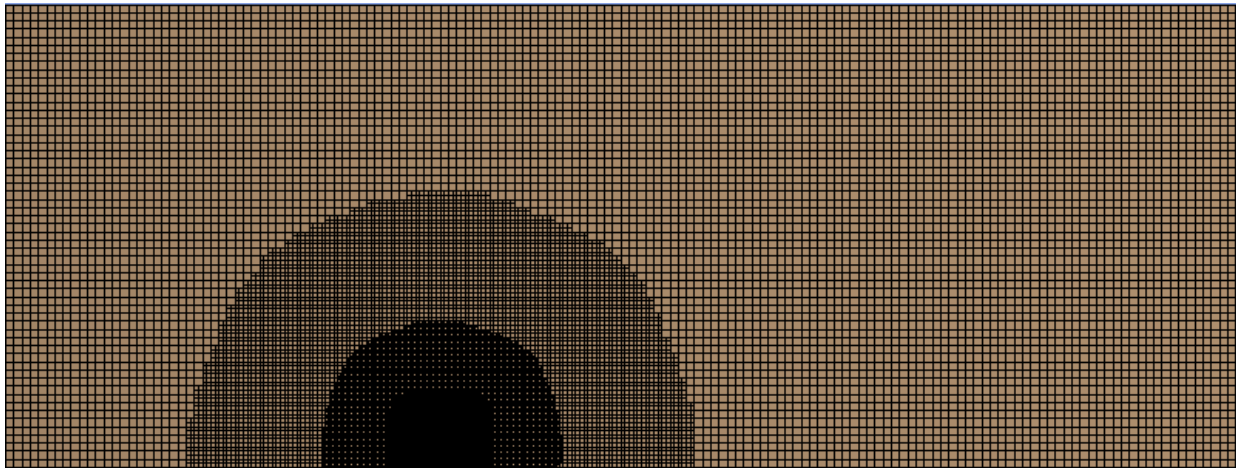


Fig.2 Mallado utilizado.

La densidad del aire (ρ) de $1,225 \text{ kg/m}^3$ y su viscosidad (ν) de $1,46\text{E-}0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ se corresponden con los valores utilizados por Blocken y Carmeliet [10]. La velocidad del viento en la entrada fue de 10 m/s , con una intensidad de turbulencia del 5%. El flujo incide perpendicularmente en la pared a barlovento de la estructura.

Del mismo modo se tomaron las características de la resolución numérica siguiendo las recomendaciones de Blocken y Carmeliet [10]: análisis estacionario, implícito, de doble precisión, ecuaciones de momento, de k y de ε de segundo orden, interpolación de la presión estándar y algoritmo de emparejamiento de presión-velocidad SIMPLE.

El modelo de descripción de la turbulencia seleccionado fue el k-epsilon realizable, ya que es preferible para el análisis de estructuras aisladas [11, 17].

La comparación de los resultados se llevó a cabo utilizando los coeficientes de presiones C_p . Estos se calcularon según la ecuación 1 donde P es la presión del viento sobre la estructura, P_0 es la presión de referencia, ρ es la densidad del aire y U_H es la velocidad media del flujo a la altura de la edificación.

$$C_p = \frac{P - P_0}{0,5\rho U_H^2} \quad (1)$$

3. Resultados y Discusión

En la Figura 3 se observan las líneas de velocidad del flujo alrededor de la estructura. Aquí se puede definir claramente la formación de una zona de separación del flujo en la cubierta de la estructura, al desprenderse del borde de la pared a barlovento. También se distingue la formación de vorticidades en la zona baja de la pared a barlovento, así como en la región a sotavento. Este comportamiento es el esperado de un flujo de estas características alrededor de este tipo de estructuras [16].

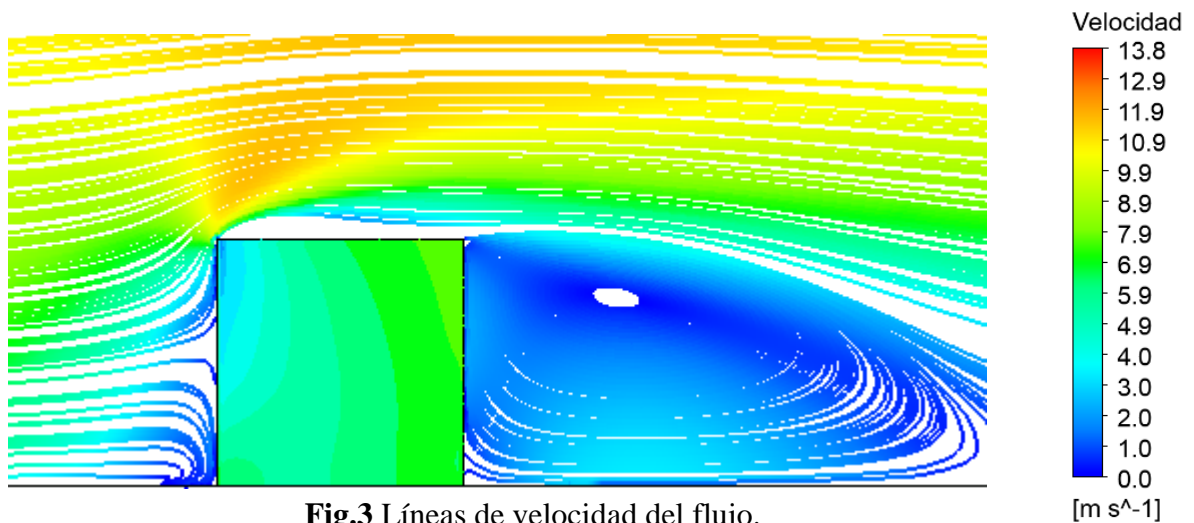


Fig.3 Líneas de velocidad del flujo.

La distribución de los coeficientes de presiones obtenidos mediante simulación y los que propone el esquema teórico se muestran en la Figura 4. Aquí se puede observar que en general se corresponden las áreas de distribución y los valores de los coeficientes en ambos casos. Sin embargo, en la cara a barlovento la simulación arroja valores superiores, aunque con la misma distribución de áreas. Esto puede deberse a diferencias en la forma de hallar los propios coeficientes, ya que no se especifica cómo se calcularon para el esquema teórico. La tabla 1 muestra las diferencias porcentuales entre coeficientes de presión, de donde se desprende que en las caras laterales y superior existe un buen ajuste al esquema teórico, siendo la mayor diferencia del 9 % para la curva de -0,3.

Otra de las fuentes que puede generar ligeras inexactitudes se encuentra en el tipo de análisis realizado ya que considerando el flujo estacionario se obvian fluctuaciones del viento que pueden provocar variaciones en los coeficientes y que sí se tienen en cuenta en el análisis transitorio. Esto se evidencia en el esquema teórico, donde se aprecian pequeñas asimetrías ya que se obtuvo a partir de estudios en túnel de viento, lo que corresponde con este último tipo de análisis. En cambio, la simulación se presenta totalmente simétrica ya que no se considera la variación del viento en el tiempo. No obstante, el análisis

transitorio necesita una mayor capacidad de cómputo con respecto estacionario y, para la estructura y las características del flujo presentados en este estudio, no sería significativa la variación de los resultados.

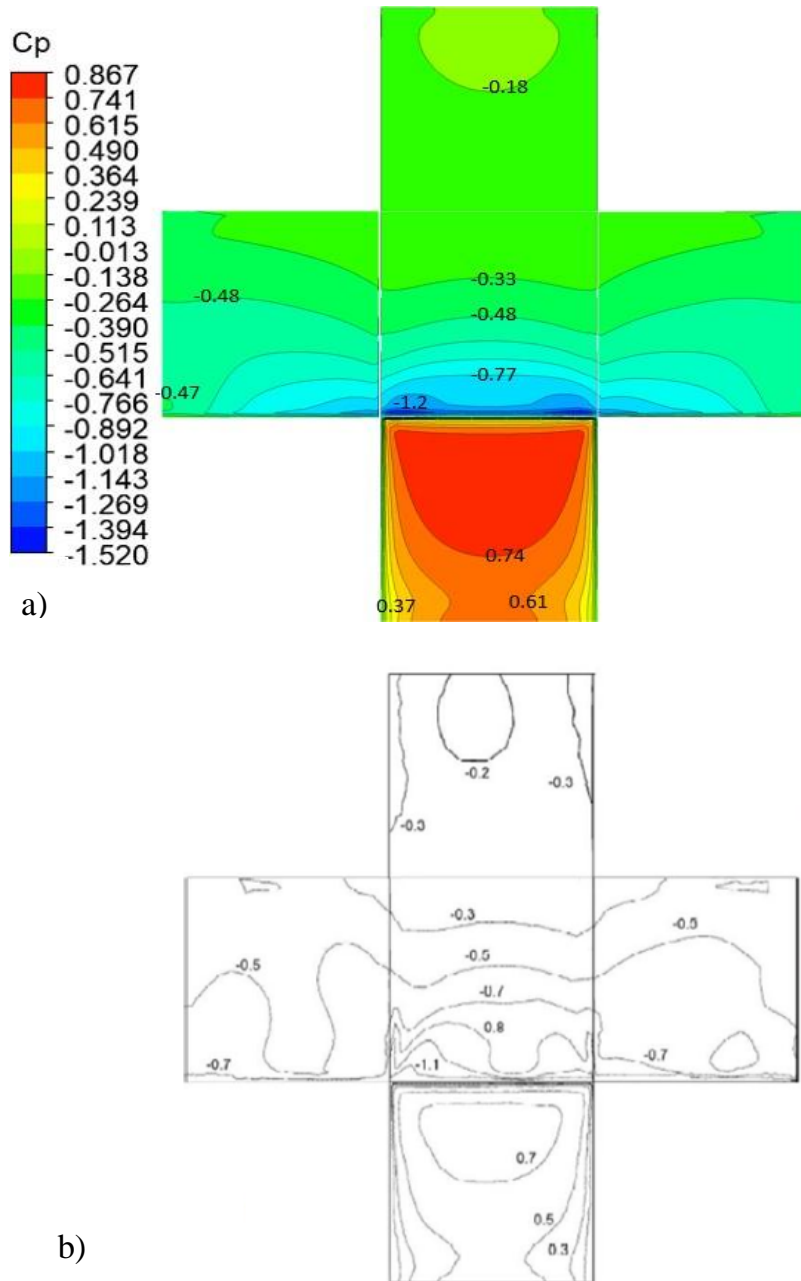


Fig.4 Coeficientes de presiones simulados (a) y esquema teórico de presiones (b) según Blocken y Carmeliet

La Figura 5 muestra la comparación entre los valores de los coeficientes obtenidos según los dos métodos. De ella se puede evidenciar que aunque porcentualmente las discrepancias pueden llegar a ser significativas (hasta un 18,9 % en la pared a barlovento), en términos de valor absoluto la diferencia para este mismo punto es de solo 0,07. Excepto para las curvas de 0,30, 0,50 y -1,10 donde se tienen

diferencias de hasta 0,11, los valores presentados por ambos métodos son muy similares, siendo la máxima diferencia de 0,03 en las restantes curvas.

Se puede afirmar que los resultados obtenidos mediante con el uso del CFD muestran un ajuste correcto a lo planteado por el modelo teórico de presiones, por lo que se considera que el modelo numérico está correctamente validado.

Tabla 1. Diferencia entre coeficientes de presión

Zona	Simulación	Esquema Teórico	Diferencia (%)
Pared a barlovento	0,37	0,30	18,9
	0,61	0,50	18,0
	0,74	0,70	5,4
Cubierta	-1,20	-1,10	8,3
	-0,77	-0,80	3,8
	-0,48	-0,50	4,0
	-0,33	-0,30	9,1
Pared a sotavento	-0,18	-0,20	10,0

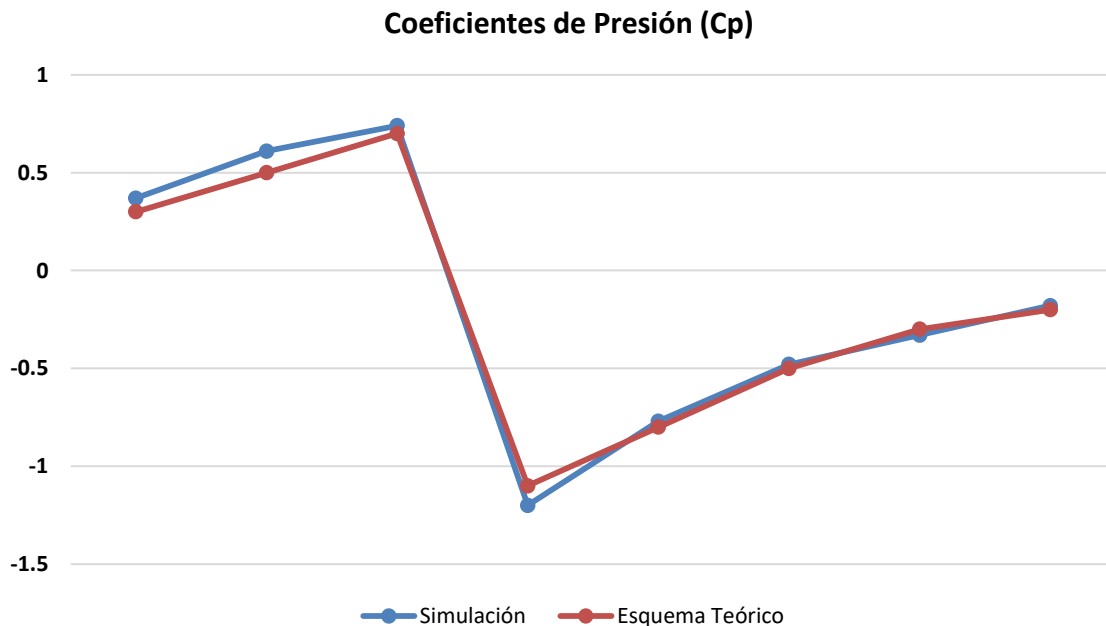


Fig.5 Comparación de coeficientes de presión

4. Conclusiones

Mediante la utilización del software ANSYS Fluent se llevó a cabo la simulación de un cubo de diez metros de lado, sometido a un flujo de viento. Los resultados muestran diferencias de hasta el 18% en la cara a barlovento con respecto al esquema teórico de presiones, mientras que en las demás caras la diferencia es de menos del 10%. En general la simulación ofrece un buen ajuste a lo propuesto por el

esquema teórico, especialmente en las caras superior y laterales, por lo que el modelo se considera correctamente validado. Se verificó que con el modelo de descripción de turbulencia utilizado, k-épsilon realizable, así como las características seleccionadas de mallado y dimensiones del dominio se logra una correcta descripción del comportamiento del viento alrededor de la estructura.

Referencias

1. Sodja, J., *Turbulence models in CFD*. University of Ljubljana, 2007. p. 1-18.
2. Kim, R.-w., Lee, I.-b., Yeo, U.-h., and Lee, S.-y., *Estimating the wind pressure coefficient for single-span greenhouses using an large eddy simulation turbulence model*. Biosystems Engineering, 2019. **188**: p. 114-135.
3. Xing, F., Mohotti, D., and Chauhan, K., *Study on localised wind pressure development in gable roof buildings having different roof pitches with experiments, RANS and LES simulation models*. Building and Environment, 2018. **143**: p. 240-257.
4. Gamboa-Marrufo, M., Rosado-Hau, N., and Pacheco-Pacheco, A., *Validación mediante CFD de los coeficientes de presión de una tenso estructura obtenidos en un túnel de viento*. Ingeniería, 2013. **17**(3): p. 215-222.
5. Atmaca, M., *Wind Tunnel Experiments and CFD Simulations for Gable-Roof Buildings with Different Roof Slopes*. Acta Physica Polonica, A., 2019. **135**(4).
6. Ozmen, Y., Baydar, E., and Beeck, J. P. A. J. v., *Wind flow over the low-rise building models with gabled roofs having different pitch angles*. Building and Environment, 2016. **95**: p. 63-74.
7. Fouad, N. S., Mahmoud, G. H., and Nasr, N. E., *Comparative study of international codes wind loads and CFD results for low rise buildings*. Alexandria engineering journal, 2017. **57**(4): p. 3623-3639.
8. Amaya-Gallardo, E., Pozos-Estrada, A., and Gómez-Martínez, R., *Simulación experimental y numérica para la obtención de coeficientes de presión sobre un cubo: Estudio comparativo*, 2016 presented at the XX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Mérida, Yucatán.
9. Roy, A., Singh, J., Sharma, S., and Verma, S., *Experimental Validation of Computer Fluid Dynamics Simulation aimed on Pressure Distribution on Gable Roof of Low-rise Building*, Year in International conference on advances in construction materials and structures (ACMS-2018). IIT Roorkee, Roorkee, Uttarakhand, India, 2018, Published.
10. Blocken, B. and Carmeliet, J., *The influence of the wind-blocking effect by a building on its wind-driven rain exposure*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2006. **94**: p. 101-127.
11. Abohela, I., Hamza, N., and Dudek, S., *Validating CFD Simulation Results: Wind flow around a surface mounted cube in a turbulent channel flow*, 2012 presented at the Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture, Lima, Perú.
12. Singh, J. and Roy, A. K., *CFD simulation of the wind field around pyramidal roofed single-story buildings*. SN Applied Sciences, 2019. **1**(11): p. 1425.
13. Revuz, J., Hargreaves, D. M., and Owen, J. S., *On the domain size for the steady-state CFD modelling of a tall building*. Wind and Structures, 2012. **15**(4): p. 313-329.
14. Osokoya, O. O., *Numerical Prediction of Wind-induced Internal Pressure on a Model Low-rise Building in Nigeria*. Asian Journal of Engineering and Technology, 2013. **1**(4): p. 2321-2462.

15. Singh, J. and Roy, A. K., *Effects of roof slope and wind direction on wind pressure distribution on the roof of a square plan pyramidal low-rise building using CFD simulation*. International Journal of Advanced Structural Engineering, 2019. **11**(2): p. 231-254.
16. Holmes, J. D., *Wind loading of structures*, ed. T.F. e-Library. New York, 2007.
17. *ANSYS Fluent User's Guide*, ANSYS, 2017.