



# Inserción de honeycomb en túnel de viento de la FCITEC

## *Honeycomb insertion in FCITEC wind tunnel*

Oscar Adrián Morales Contreras<sup>1</sup> , Juan Antonio Paz González<sup>1</sup> , Mauricio Leonel Paz González<sup>1</sup> , Emigdia Guadalupe Sumbarda Ramos<sup>1</sup> , José Arciniega Martínez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

<sup>2</sup>Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

**Autor de correspondencia:** Dr. Oscar Adrián Morales Contreras, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México. E-mail: [moraleso97@uabc.edu.mx](mailto:moraleso97@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0003-0118-8132.

**Recibido:** 15 de Mayo del 2021

**Aceptado:** 12 de Julio del 2021

**Publicado:** 2 de Septiembre del 2021

**Resumen.** - *En este trabajo se presentan los resultados de la modificación en la cámara estabilizadora del túnel de viento de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (FCITEC), utilizando un honeycomb y cuyo objetivo fue reducir la intensidad de la turbulencia en la zona de pruebas. Se presentan los resultados experimentales y se comparan con un análisis de CFD realizado con el software ANSYS-Fluent. La modificación permitió una reducción de la intensidad de la turbulencia en un 2% en la zona de pruebas.*

**Palabras clave:** Túnel de viento; CFD; Panal; Turbulencia; Perfiles de velocidad.

**Abstract.** - *This research presents the results of the modification in the stabilizing chamber of the Faculty of Engineering Sciences and Technology (FCITEC), wind tunnel using a honeycomb and whose objective was to reduce the intensity of turbulence in the test area. The experimental results are presented and compared with a CFD analysis performed with ANSYS-Fluent software. The modification allowed a reduction in the intensity of turbulence by 2% in the test area.*

**Keywords:** Wind Tunnel; CFD; Honeycomb; Turbulence; Velocity profiles.



## 1. Introducción

En un túnel de viento, la velocidad máxima del flujo se presenta en la zona de menor área transversal, donde se procura localizar la zona de pruebas y si bien se requieren velocidades relativamente altas, también es necesario mantener un flujo estable y uniforme. Tras la experimentación de científicos del siglo pasado se implementaron técnicas para reducir las irregularidades del flujo. Morel [1] menciona que al acelerar el flujo justo antes de la zona de pruebas se logra: reducir las irregularidades del flujo para producir un perfil de velocidades uniforme en la entrada de la sección de pruebas, reducir el nivel de turbulencia relativo y reducir las cargas dinámicas.

Con la contracción del área transversal se obtiene lo último mencionado, del mismo modo, Prandtl [2] recomienda la implementación de un panel de celdas hexagonales (honeycomb) y mallas o pantallas con el propósito de enderezar y uniformizar el flujo antes de la contracción. La sección que los contiene suele llamarse cámara estabilizadora.

Arifuzzman y Mashud diseñaron un túnel de viento subsónico para la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Khulna en Bangladesh [3], que tiene una sección transversal de 0.9m por lado y una longitud de 1.35m, por la cual circula aire a 40m/s. El túnel de viento cuenta con cámara estabilizadora que contiene mallas y un honeycomb para reducir las variaciones fluctuantes en la velocidad transversal. El panel tiene poco efecto sobre la velocidad de la corriente debido al hecho de que la caída de presión a través de un panel es pequeña. La razón principal para usar un panel es que, con una longitud suficiente de aproximadamente 10 diámetros de celda, es un dispositivo de enderezamiento de flujo muy efectivo, las especificaciones del honeycomb

utilizado se muestran en la tabla 1, el cual se construyó en el laboratorio de la Universidad con tubos de PVC de clase A en forma de panel.

Tabla 1. Parámetros de Honeycomb [3].

Parámetros	Símbolo	Valor
<b>Diámetro hidráulico</b>	Dh	2.12 cm
<b>Longitud del panel</b>	Lh	12 cm
<b>Numero de celdas</b>	N	38000
<b>Relación de diámetros</b>	Lh/Dh	6
<b>Porosidad del panel</b>	$\beta_h$	0.8

De las mediciones de presión realizadas se encontró que el honeycomb produce solo el 3% de las pérdidas a diferencia de las mallas que generan el 18%. Los resultados de la caracterización de la zona de pruebas muestran un perfil de velocidad uniforme en la parte central del túnel, tal como se aprecia en la figura 1 y se concluye que el 76% de la sección puede ser utilizada para investigaciones aerodinámicas.

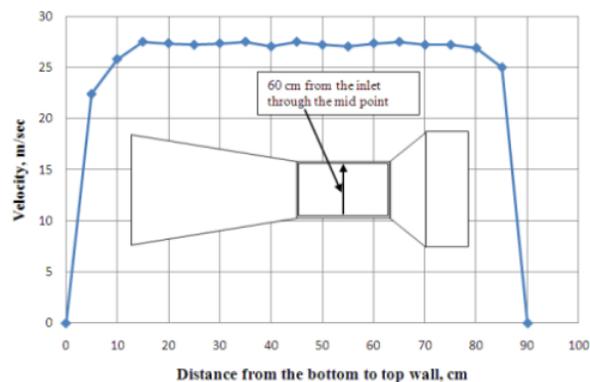


Figura 1. Perfil de velocidad en zona de pruebas [3].



Por otro lado, el túnel de viento diseñado en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada del Instituto Politécnico Nacional [4] contiene una cámara estabilizadora constituida por un honeycomb y 5 mallas metálicas utilizadas como enderezadores de flujo. El panel se colocó como primer elemento y contiene más de 43000 celdas hexagonales, cada una con 0.0045m de lado, 0.00025m de espesor y 0.011m de largo, lo que permite considerar un diámetro equivalente de 0.00105m. Los perfiles de velocidad obtenidos para la mitad de la zona de pruebas para diferentes valores de velocidad se muestran en la figura 2, puede observarse que el flujo se comporta de manera uniforme y en la figura 3 se presenta una comparación en la intensidad de la turbulencia presente en el túnel de viento, antes y después de implementar el panel y las mallas, y se determinó que la intensidad después de los ajustes es menor al 1%. En la investigación se indica que los datos técnicos de los accesorios del túnel de viento del LABINTHAP se tomaron en base a las recomendaciones propuestas por Loehrke [5], Mehta y Bradshaw [6].

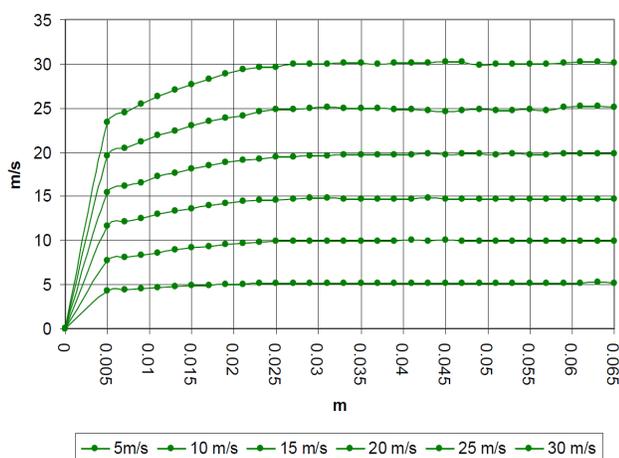


Figura 2. Perfil de velocidad en zona de pruebas [4].

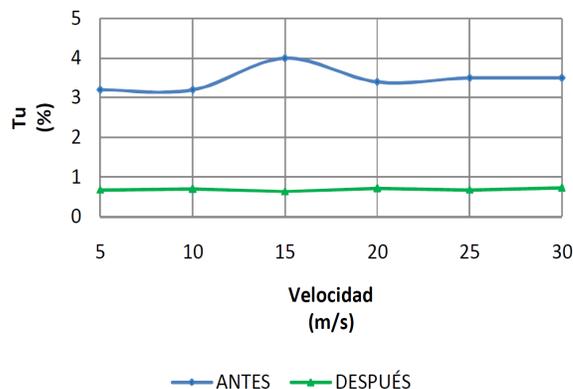


Figura 3. Intensidad de la turbulencia en zona de pruebas [4].

Finalmente, otro trabajo que también trata el uso de panel en un túnel de viento es el desarrollado por Peinado [7], quien realizó un análisis teórico del tipo de honeycomb a implementar, en su estudio plantea la pérdida de presión ocasionada por tres diferentes arreglos que fueron en forma cuadrada, circular y hexagonal. Los resultados muestran que la pérdida de presión es mayor en un 44% cuando se utiliza un panel circular con respecto a uno cuadrado. Finalmente, Peinado menciona que la investigación de Kulkarni et. al [8] sugiere que una relación de diámetros óptima ( $L_h/D_h$ ) para un panel oscila entre 8 y 10, donde  $L_h$  es el grosor del panel en dirección del flujo y  $D_h$  es el diámetro hidráulico de la celda.

## 2. Metodología experimental

El túnel de viento de la FCITEC fue diseñado con una cámara estabilizadora de flujo constituida por malla tipo criba, pero la caracterización de la zona de pruebas realizada por Morales et. al [9], mostro que la intensidad de la turbulencia ( $Tu$ ) era aproximadamente del 5%, por lo que se sugiere sustituir la malla por un honeycomb para reducir la misma.

La selección del nuevo enderezador de flujo se basa en las instrucciones de Barlow et. al. [10], quien sugiere que los coeficientes de pérdida



para geometrías de panel circulares, cuadradas y hexagonales con relación de diámetros ( $L_h/D_h$ ) igual a 6 presenta resultados de 0.3, 0.22 y 0.2, respectivamente, tal como se muestra en la Figura 4. Los valores obtenidos indican que el panel de celda hexagonal genera pérdidas de presión menores, lo que coincide con lo establecido por Peinado [7]; basados en estos resultados se decide implementar una sección de forma hexagonal.

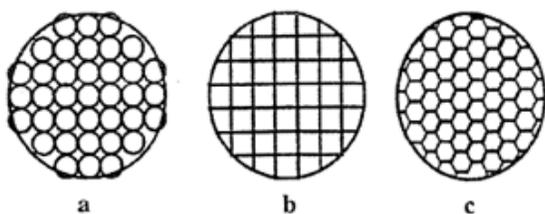


Figura 4. Tipos de honeycomb [8].

Barlow et. al. [10], también indica que otro factor importante a considerar en el diseño del honeycomb es la porosidad ( $\beta_h$ ), la cual se define como la relación entre el área de la sección transversal del flujo real  $A_{flow}$  y el área de la sección transversal total ( $A_{total}$ ) y se debe verificar que se cumpla el criterio siguiente  $\beta_h \geq 0.8$ . Por otro lado, Metha y Bradshaw [6] sugieren que para un beneficio óptimo se debe contar con al menos 25000 celdas en la cámara estabilizadora, esta afirmación la respalda Scheiman de su investigación experimental [11].

### 3. Metodología numérica

Para la simulación del comportamiento tridimensional de los perfiles de velocidad en la zona de pruebas del túnel de viento de la FCITEC, se utilizó el software ANSYS-Fluent [12]. El dominio computacional representa todas las secciones del túnel de viento indicadas en Morales et. al [9], y para su discretización se utilizan 2612813 volúmenes de control tetraédricos, asignando un refinamiento de malla con relación

de aspecto 1.1 como se muestra en la figura siguiente.

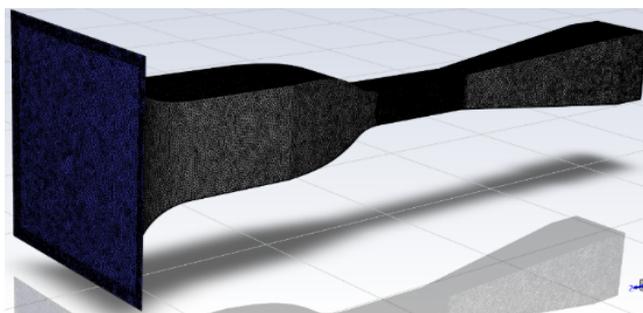


Figura 5. Dominio computacional con malla refinada

El modelo de turbulencia utilizado para la simulación es K- $\epsilon$  estándar, por ser el que mejores resultados presenta para análisis de flujo compresible en secciones cerradas con criterios de convergencia para las variables del modelo de  $1 \times 10^{-5}$  [12], las condiciones de frontera asignadas permiten establecer un flujo uniforme en la sección de entrada y perfil de velocidad completamente desarrollado a la salida, la velocidad inicial asignada para estas condiciones es de 0.734 m/s, lo que permite obtener una velocidad promedio en la zona de pruebas es de 24m/s. Las condiciones de frontera impuestas fueron:

$$\text{Velocity inlet: } (u = \bar{u}; v = 0; w = 0) \quad (1)$$

$$\text{Out flow: } \left[ \frac{d\phi}{dx} \right]_{x_{out}} = 0 \quad (2)$$

donde:  $\phi = u = v = w = P$

### 4. Resultados

La cámara estabilizadora tiene una sección transversal cuadrada de 0.79m, y la especificación técnica del honeycomb instalado en la misma es: HK-5/32-2.5, para su selección se toma en cuenta el catálogo de Gill Corporation [13] y las especificaciones



descritas en la metodología experimental. El panel está fabricado con material de aramida y para unirlo al interior de la cámara estabilizadora se utilizó soldadura escocesa (scotch-weld) con el adhesivo estructural de uretano EC-3532 B/A, para realizar la unión fue necesario limpiar la superficie con disolvente, posteriormente se mezcla isocianato, generalmente conocido como endurecedor o acelerador, con poliol durante 30 segundos aproximadamente, lo que proporciona un tiempo de trabajo entre 5 a 15 minutos, durante el cual se realizó la aplicación del adhesivo en el contorno del panel para posicionarlo al interior del túnel de viento tal como se muestra en la figura 6, una vez instalado se dejó curar durante 24 horas.



Figura 6. Instalación de honeycomb en cámara estabilizadora

En la cámara estabilizadora se colocaron 2 paneles, en las mismas posiciones donde se encontraban colocadas las cribas de entrada y salida del flujo, tal como se indica en la figura 7, la cual se encuentra acotada en milímetros.

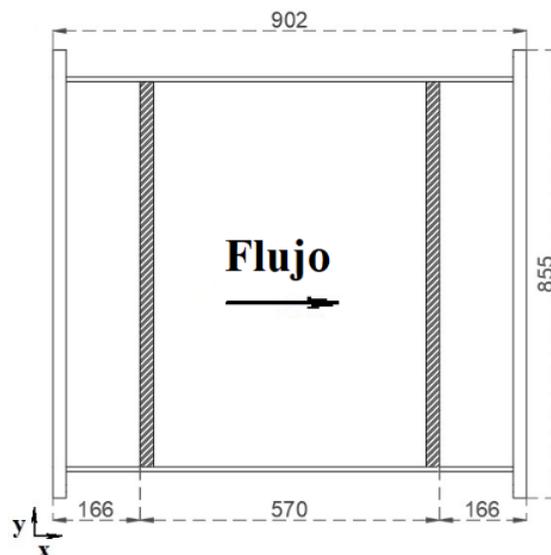


Figura 7. Distribución de paneles en cámara estabilizadora

Con los paneles colocados se midieron 5 perfiles de velocidad en la zona de pruebas para el eje “Y” (A, B, C, D y E) y otros 5 para el eje “Z” (F, G, H, I y J), y para la caracterización de cada perfil se utilizaron 24 puntos de medición distribuidos a 1 cm de distancia entre cada uno. Para la obtención de la velocidad en cada punto se utilizó un tubo de Prandtl y anemómetro digital, y para la determinación de la intensidad de la turbulencia y velocidad promedio, se utilizó la misma metodología descrita en la referencia 9. Los perfiles de velocidad obtenidos numérica (CFD) y experimentalmente se muestran en las figuras 8 a la 13. El número de Reynolds obtenido fue de 469479 y el Mach de 0.07, comprobándose que existe flujo incompresible y turbulento en la zona de pruebas. De los perfiles de velocidad obtenidos con el honeycomb instalado en la cámara estabilizadora se observa que el flujo en la sección central de la zona de pruebas es uniforme, lo que se ve reflejado en el valor de la intensidad promedio de la turbulencia obtenido, el cual es del 3%, lo que significa que ésta se redujo en 2 puntos porcentuales con



respecto a cuándo se encontraban instaladas las mallas en el túnel de viento de la FCITEC.

Para el caso particular del perfil de velocidad ubicado al centro de la zona de pruebas medido en el eje “Y” (figura 10), el cambio en el comportamiento del flujo es notable, y mientras la intensidad de la turbulencia era del 6% cuando se encontraban instaladas las mallas, ahora con la instalación del honeycomb se tiene  $Tu = 0.02$ .

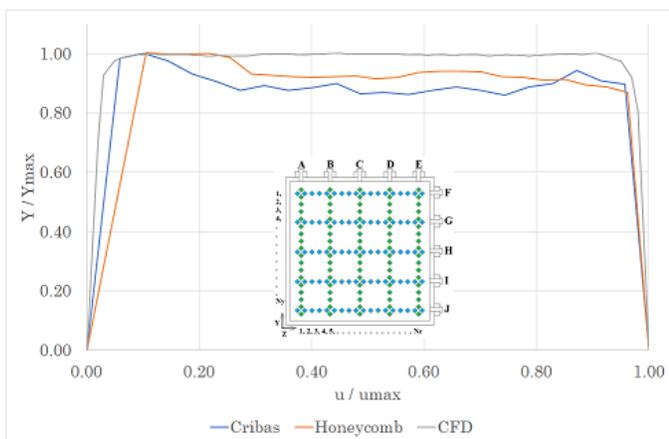


Figura 8. Perfiles de velocidad en sección A

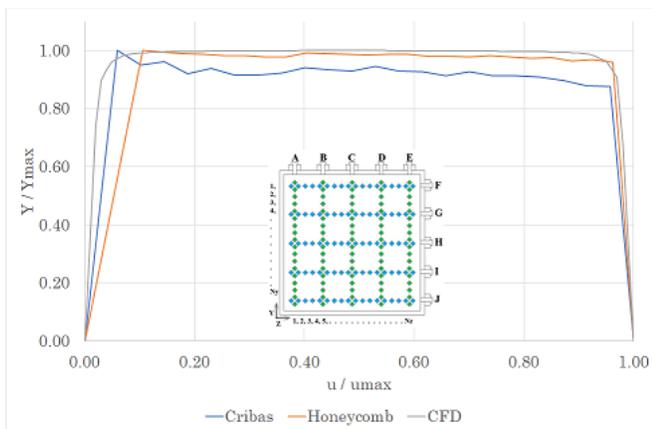


Figura 9. Perfiles de velocidad en sección B

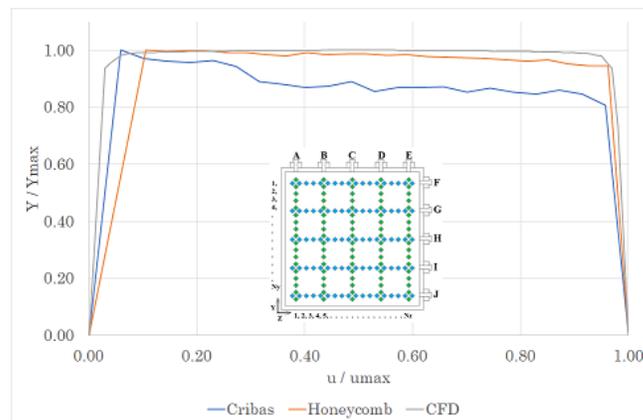


Figura 10. Perfiles de velocidad en sección C

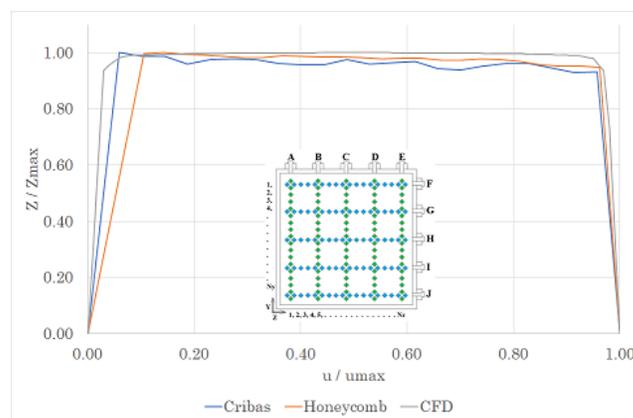


Figura 11. Perfiles de velocidad en sección H

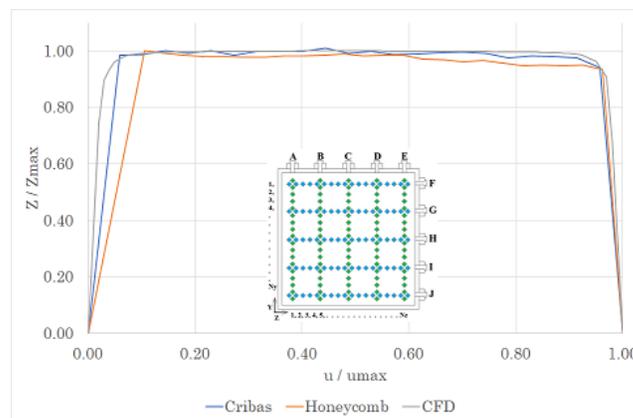


Figura 12. Perfiles de velocidad en sección I.

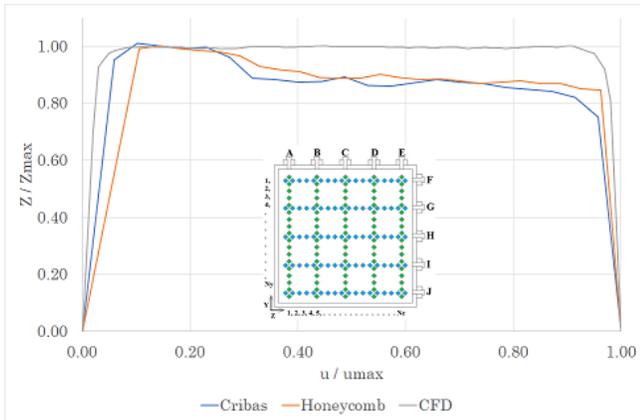


Figura 13. Perfiles de velocidad en sección J

Para los casos de los perfiles mostrados en las figuras 8 y 13, se observa un comportamiento irregular en los perfiles de velocidad, esto se debe a que los mismos se midieron a una distancia de 0.024m de la pared, por lo que existe una gran influencia de la capa límite en su comportamiento, debe recordarse que la zona de pruebas tiene una sección transversal cuadrada de 0.3m por lado, esta situación deberá resolverse ya que existe una variación importante al comparar los resultados con el análisis numérico, teniéndose una diferencia de hasta 18% en la velocidad promedio para los mismos puntos de medición. El comportamiento ideal del flujo uniforme en la zona de pruebas puede apreciarse en el campo de vectores obtenido numéricamente de la figura 14, debe destacarse la tridimensionalidad de los perfiles de velocidad en la zona de pruebas mostrada.

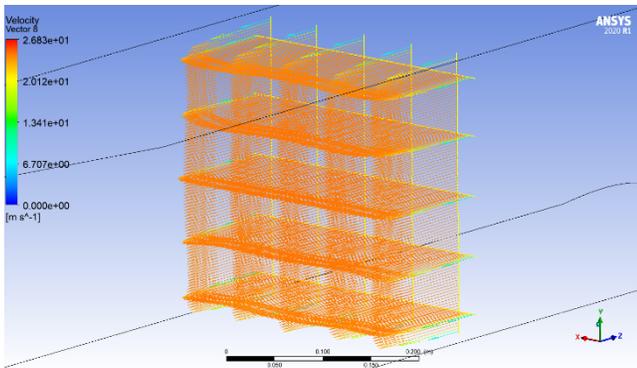


Figura 14. Vectores de velocidad en túnel de viento

De los resultados obtenidos puede asegurarse una zona de pruebas con flujo uniforme en la sección central de la misma de aproximadamente un 85%, tal como lo indican los perfiles de velocidad de las figuras 9, 10, 11 y 12, y deberá corregirse el comportamiento del flujo para la sección cercana a las paredes, por lo que será menester de trabajos futuros, agregar al menos un par de honeycomb en la cámara estabilizadora para intentar reducir la turbulencia del túnel de viento de la FCITEC.

## 5. Conclusiones

Se realizó un análisis numérico y experimental de los perfiles de velocidad en la zona de pruebas del túnel de viento de la FCITEC. La intensidad de la turbulencia en la zona de pruebas disminuyó en 3 puntos porcentuales en el centro de la zona de pruebas después del rediseño en la cámara estabilizadora. El honeycomb mejora las condiciones del flujo con respecto a la inserción de cribas en la cámara estabilizadora. La simulación numérica permite observar la tridimensionalidad del flujo y determinar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento del flujo cerca de las paredes.

## 6. Reconocimiento de autoría

Oscar Adrián Morales Contreras: Conceptualización, Ideas, Escritura y Borrador original; Administración del proyecto. Juan Antonio Paz González: Metodología, Investigación, Análisis formal; Escritura: revisión y edición. Mauricio Leonel Paz González: Metodología, Investigación, Análisis formal; Escritura: revisión y edición. Emigdia Guadalupe Sumbarda Ramos: Metodología, Investigación, Análisis formal; Escritura: revisión y edición. José Arciniega Martínez:



Metodología, Investigación, Análisis formal;  
Escritura: revisión y edición.

### Referencias

[1] T. Morel, "Comprehensive Design of Axisymmetric Wind Tunnel Contractions", *J. Fluids Engineering*, ASME Transactions, pp. 225-233, 1975. <https://doi.org/10.1115/1.3447255>

[2] L. Prandtl, "Attaining a Steady Stream in Wind Tunnel", NACA TM 726, 1933.

[3] Md. Arifuzzaman and Mohammad Mashud, Design Construction and Performance Test of a Low-Cost Subsonic Wind Tunnel, *Journal of Engineering*, vol 2, no.1, pp. 83-92, 2012. <https://doi.org/10.9790/3021-021058392>

[4] P. Rosas Quintero, "Caracterización del túnel de viento de velocidad baja del LABINTHAP", Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 2010.

[5] R. Loehrke and H. Nagib, "Control of Free Stream Turbulence by Means of Honeycombs: A Balance Between Suppression and Generation", *Journal of Fluids Engineering*, pp. 342-351, 1976. <https://doi.org/10.1115/1.3448313>

[6] R. Mehta and P. Bradshaw, "Design Rules for Small Low Speed Wind Tunnels", *The Aeronautical Journal*

of the Royal Aeronautical Society, no. 718, pp. 443-449, 1979.

[7] R. Peinado, "Sistema eléctrico y de control de potencia de un Túnel aerodinámico", Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012.

[8] V. Kulkarni, N. Sahoo, S. Chavan, "Simulation of honeycomb-screen combination for turbulence management in a subsonic wind tunnel", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 99. No. 1, pp. 37-45, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2010.10.006>.

[9] O. Morales, A. Gómez, J. Paz. J. Navarro y J. Barboza, "Caracterización del túnel de viento subsónico de ECITEC-UABC", *R. Ingenierías*, vol. XXI, no. 80, 2018.

[10] J. Barlow, W. Rae and A. Pope, "Low speed wind tunnel testing", Ed. Jonh Wiley & Sons, INC. Third edition. pp. 90-91, 1999.

[11] J. Scheiman, "Considerations for the installation of Honeycomb and Screens to Reduce Wind-Tunnel turbulence", NASA, NASA Techn, 1981.

[12] ANSYS-Fluent, 2021, [Online] Available: <https://www.ansys.com/academic/students>

[13] The Gill Corporation, 2018, [Online] Available: <https://www.thegillcorp.com/>



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](#)