

# COMPARACIÓN DE MODELOS TEÓRICOS PARA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN TURBULENTO EN EL TÚNEL DE VIENTO WSL20 DEL CDT DE GAS

Edison Gerardo Granados Avellaneda<sup>1</sup>, Carolina Madolet Pinto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander. Carrera 27 Calle 9. Bucaramanga, Santander, Colombia.

**Resumen:** La mayoría de los flujos gaseosos que se encuentran en múltiples aplicaciones ingenieriles se caracterizan por ser turbulentos, en los cuales el movimiento del fluido se da en forma caótica. Aunque existen innumerables investigaciones realizadas en esta área, la teoría del flujo turbulento aún no se ha desarrollado totalmente, por lo cual es complicado determinar el perfil de velocidad con alta exactitud.

Por esta razón se decidió realizar el presente estudio, cuyo objetivo es evaluar modelos teóricos existentes para predecir perfiles de velocidad en régimen turbulento al interior de conductos cerrados de sección circular, y a su vez validar el comportamiento de los perfiles de velocidad obtenidos experimentalmente por flujos de aire dentro del túnel de viento WSL20 desarrollado por la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas) con modelos teóricos para caracterización del régimen turbulento.

El modelo teórico I se ajustó a los datos obtenidos experimentalmente con errores entre el 1 y 4 %, mientras que el modelo teórico II obtuvo una desviación significativa en la zona cerca a la pared de la tubería (zona laminar) con errores entre el 26,1 y 57,8 %; sin embargo, en la zona de turbulencia se obtuvieron errores que oscilan entre el 1 y 8 %.

Palabras clave: *Túnel de viento, régimen de flujo turbulento, perfil de velocidad.*

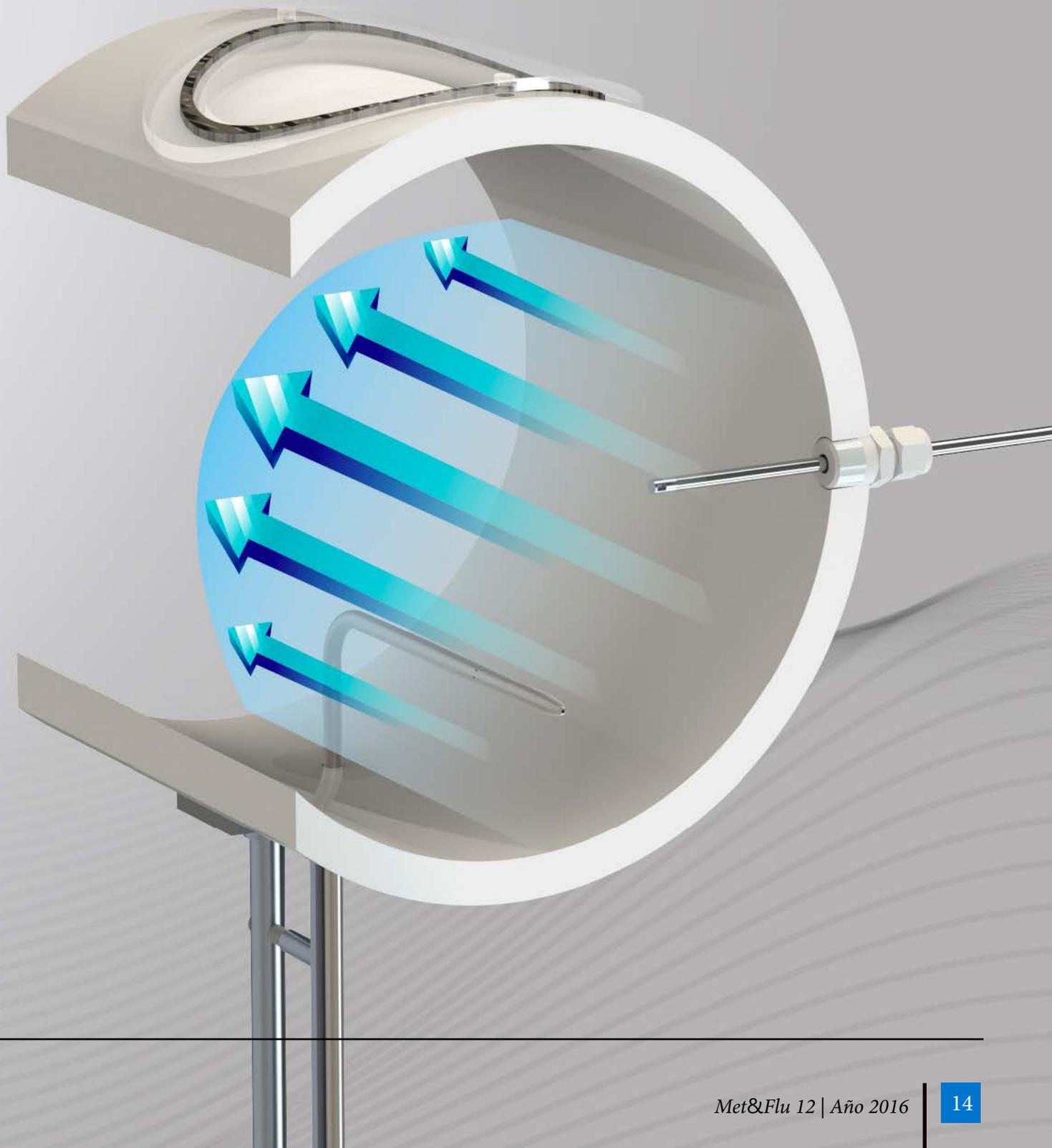
**Abstract:** Most of the gaseous flows found in multiple engineering applications are characterized for being turbulent, the movement of the fluid happens in chaotic form. Although there are many investigations in this area, the turbulent flow theory hasn't been developed completely, making it difficult to determine the velocity field with high accuracy.

For this reason, the objective in the present study is evaluate existing models to predict turbulent velocity field with closed circular section ducts, and validate the behavior of velocity fields obtained experimentally by air flows within the WSL20 wind tunnel developed by the Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas) with models for characterization of the turbulent regime.

The model I was adjusted to the experimental data with errors between 1 and 4 %, while the model II obtained a significant deviation in the area near the wall of the wall (laminar zone) with errors between 26,1 and 57,8 %; however, errors ranging from 1 to 8 % were obtained in the turbulence zone.

Keywords: *Wind tunnel, turbulent regime, velocity field.*

\*carito\_2524@hotmail.com



## INTRODUCCIÓN

El diseño y desarrollo de túneles de viento han permitido generar avances importantes en la medición de velocidad en gases, variable requerida para el estudio de diversas aplicaciones a nivel industrial e investigativo. En un túnel de viento es posible analizar distintos fenómenos asociados principalmente con la aerodinámica y la mecánica de fluidos. En principio, en un túnel de viento se busca tener un flujo controlado con fines experimentales, para conocer la interacción dinámica entre un cuerpo sólido o un instrumento de medición y el flujo uniforme del área a diversas condiciones de velocidad [1]. A su vez, los túneles de viento permiten modelar situaciones reales a menor escala, teniendo en cuenta modelos teóricos y conceptos desarrollados para condiciones en régimen laminar, y valores empíricos en situaciones más complejas como el régimen turbulento, dando cabida a las teorías fundamentales de la mecánica de fluidos desarrolladas por Reynolds, Darcy y Bernoulli.

La elaboración y diseño de estas instalaciones debe contar con las secciones necesarias que garanticen

un flujo uniforme y desarrollado en la sección de pruebas operable en un intervalo de velocidad determinada [2]. Previamente a la puesta en marcha de la instalación, la caracterización del túnel de viento es una fase indispensable que permite corregir y predecir el desempeño del mismo, ya que es allí donde se conocen las caídas de presión, los perfiles de velocidad y las turbulencias presentes en el interior de la sección de pruebas.

El siguiente estudio tiene como objetivo evaluar modelos teóricos existentes para predecir perfiles de velocidad de fluido en régimen turbulento al interior de conductos cerrados de sección circular. Para ello, se generaron flujos de aire dentro del túnel de viento WSL20 desarrollado por el CDT de Gas (ver **Figura 1**); donde se usó como patrón de referencia un anemómetro de hilo caliente de temperatura constante (CTA) para determinar la velocidad del aire, y a su vez, se validó el comportamiento de los perfiles de velocidad obtenidos experimentalmente con modelos teóricos de mecánica de fluidos a partir de su desviación.



*Figura 1. Túnel de viento WSL 20. Fuente: Corporación CDT de Gas.*

### 1. Caracterización de los perfiles de velocidad

La adquisición de datos para el CTA tiene salida análoga en corriente, con valores entre 4 y 20 mA, señal que se relaciona linealmente con la velocidad de operación del túnel en un rango de 0 a 20 m/s respectivamente. De esta manera se logra la conversión de la señal análoga que registra el anemómetro, en unidades de velocidad para determinar los respectivos perfiles de velocidad.

### 2. Regímenes de flujo

#### - Número de Reynolds:

Un fluido puede tener un comportamiento laminar o turbulento dependiendo de las pérdidas de energía que presente, lo cual es posible predecir si se conoce la magnitud de un número adimensional, denominado número de Reynolds (Re). El número de Reynolds (Re) es un parámetro adimensional que relaciona la fuerza inercial de un fluido con la fuerza viscosa a partir de cuatro variables: la velocidad promedio del flujo (V), el diámetro de la tubería (D), la densidad del fluido, y su viscosidad ( $\mu$ ) [3]

$$Re = \frac{\rho D V}{\mu} \quad (1)$$

En la **Tabla 1** se presenta la clasificación creada, para la cual se utiliza el parámetro número de Reynolds.

Re ≤ 2000	Flujo Laminar
2000 < Re ≤ 4000	Flujo Transitorio
Re > 4000	Flujo Turbulento

Tabla 1. Clasificación del régimen de flujo.

#### - Flujo laminar:

El flujo laminar obedece la ley de viscosidad de Newton; debido a que predominan las fuerzas viscosas, las capas de fluido se mueven unas sobre otras en dirección al flujo, obteniendo líneas de corrientes suaves, cuyo resultado para el perfil de velocidad es una forma parabólica [3,4].

#### - Flujo turbulento:

Los esfuerzos cortantes presentes entre las fronteras del fluido y el sólido que lo contiene afecta la distribución de velocidades que en principio debería ser uniforme [5]. En un flujo de régimen turbulento se presentan tres zonas de distribución de velocidades y esfuerzos que describen su comportamiento: (i) zona laminar, (ii) zona de transición y (iii) zona turbulenta, ilustradas en la **Figura 2**.

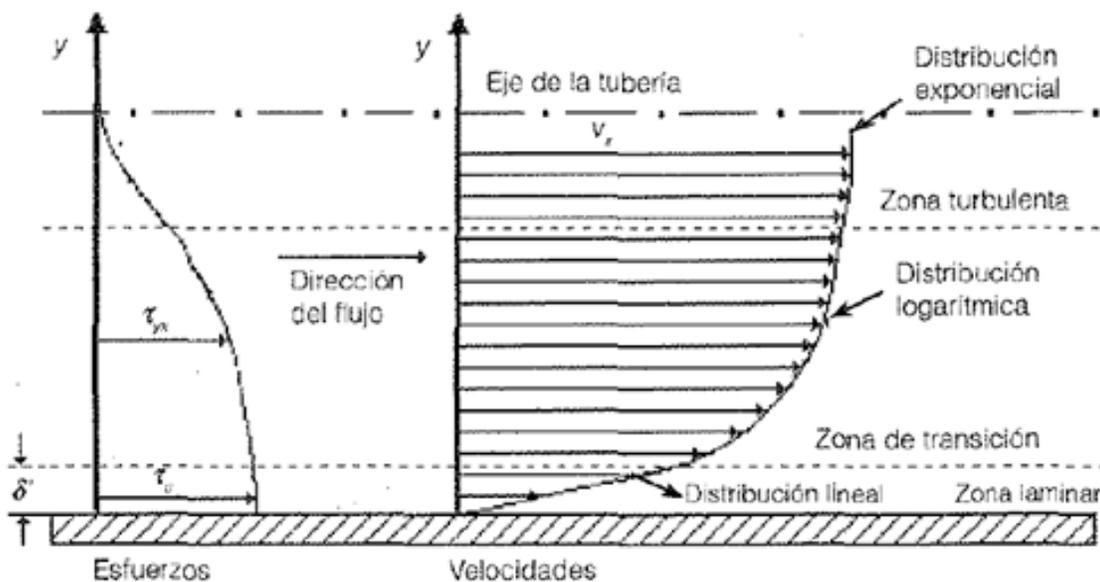


Figura 2. Zonas de distribución de esfuerzos y velocidades para un flujo turbulento en una tubería de sección circular. Fuente: Saldarriaga [5].

Es posible describir el comportamiento de cada una de las regiones de un fluido en régimen turbulento mostradas en la **Figura 2**, a partir de distintos modelos basados en aproximaciones experimentales y valores empíricos debido a su nivel de complejidad.

### 3. Densidad del Aire

Se usó la ecuación recomendada por el Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM 2007) para determinar la densidad del aire de acuerdo a

las condiciones del laboratorio durante la experimentación [6].

Para obtener el valor de la densidad es necesario determinar la fracción molar de vapor de agua ( $X_v$ ) y el factor de compresibilidad ( $Z$ ), expresiones dadas en función de la presión ( $P$ ), temperatura ( $T$ ) y humedad relativa ( $H$ ) del sistema de trabajo [6]. Las relaciones matemáticas necesarias se presentan en las Ecuaciones 2, 3 y 4. El valor de las constantes utilizadas se encuentra en el Suplemento A.

$$\rho = \frac{(P \cdot M_a)}{ZRT} \left[ 1 - x_v \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (2)$$

$$X_v = \left( \frac{h}{100} \right) * \left( (\alpha + \beta * P + \gamma * t^2) * \frac{e^{(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T})}}{P} \right) \quad (3)$$

$$Z = 1 - \frac{P}{T} * [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + ((b_0 + b_1 t)x_v) + ((c_0 + c_1 t)x_v^2)] + \left( \frac{P^2}{T^2} * (d + ex_v^2) \right) \quad (4)$$

### 4. Viscosidad del Aire

Para la viscosidad del aire a bajas presiones se utilizó la ecuación de Chapman – Enskog (Ecuación 5), que depende del parámetro de Lennard Jones ( $\sigma$ ) y la función integral de colisión ( $\Omega$ ) [7].

$$\mu = 2,6693 * 10^{-5} \frac{\sqrt{M * T}}{\sigma^2 * \Omega \mu} \quad (5)$$

Donde la viscosidad  $\mu$  (en poise) es función de la masa molar del aire  $M$  (en g/mol), la temperatura absoluta (en K) y el parámetro de Lennard Jones  $\sigma$ , conocido como el diámetro de colisión característico de cada molécula (en Ångström Å).

La función integral de colisión ( $\Omega$ ) es un factor de corrección de la desviación respecto al comporta-

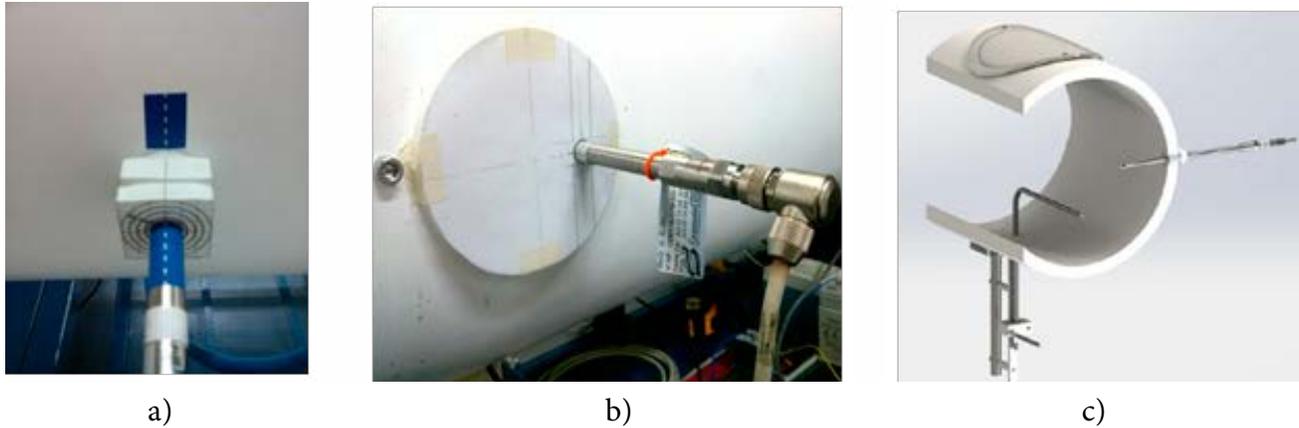
miento de la esfera rígida, que depende de la temperatura adimensional ( $T^*$ ) [7].

### METODOLOGÍA

Las mediciones fueron realizadas con el anemómetro de hilo caliente CTA previamente calibrado, de referencia SCHMIDT® Flow Sensor SS 20.400, ilustrado en la **Figura 3**.



**Figura 3.** SCHMIDT Flow Sensor SS 20.400.



**Figura 4.** Montaje experimental del CTA en el túnel de viento: a) Costado derecho de la sección de pruebas, b) Costado izquierdo de la sección de pruebas, c) Montaje general.

## 1. Desarrollo experimental

Para determinar los perfiles de velocidad el CTA se desplazó por 10 posiciones cubriendo la mayor parte del diámetro (29 cm) de la sección de pruebas del túnel (ver **Figura 4**). Se fijaron las velocidades nominales de 2, 8, 14 y 18 m/s en una posición desde las paredes de 14,3 y 14,7 cm.

La generación de flujo de aire en el túnel se obtiene a partir de un conjunto de 7 ventiladores axiales por succión de alto caudal, controlados manualmente por voltaje. El túnel cuenta con un banco de adquisición de datos y una estrategia de calibración que verifica la alineación del instrumento y su adecuado funcionamiento. Durante las pruebas se registraron periódicamente los valores de la presión, humedad relativa y temperatura del laboratorio, variables utilizadas en cálculos posteriores.

### - Modelo I

El profesor de ingeniería hidráulica de la Universidad de los Andes (Colombia) Juan Saldarriaga, describe detalladamente en su libro “*Hidráulica de Tuberías*” modelos desarrollados por varios autores para representar cada una de las regiones mencionadas en la **Figura 4**. A continuación, se reseña brevemente dichas zonas.

**Zona laminar:** En esta región la magnitud del esfuerzo  $\tau_0$  tiene una tendencia constante y es descrito por la ecuación de viscosidad de Newton:

$$\tau_0 = \mu \frac{dV}{dy} \quad (6)$$

Los gradientes de velocidad en esta zona suelen ser muy grandes, y se pueden aproximar de esta manera:

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \frac{\mu}{\rho} \frac{V_X}{y} = \nu \frac{V_X}{y} \quad (7)$$

donde  $V_x$  es un promedió de la velocidad, y es la distancia de la sección transversal al interior del conducto y  $\nu$  es la viscosidad cinemática del fluido.

Saldarriaga menciona un término de velocidad de corte  $V_*$  que físicamente no existe, pero que permite medir la magnitud relativa del esfuerzo cortante en la superficie del conducto ejercido sobre el fluido, correspondiente a la raíz cuadrada del promedio temporal producto de las vibraciones aleatorias en  $x$  y  $y$ .

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (8)$$

El espesor de la subcapa laminar viscosa  $\delta'$  es posible calcularlo usando la siguiente expresión:

$$\delta' = \frac{11,6 \nu}{V_*} \quad (9)$$

### Zona de transición:

Existe una zona de transición entre la subcapa laminar viscosa y la zona turbulenta, donde el flujo deja de ser laminar para convertirse en turbulento. Frank M. White (1994) planteó límites para la zona de transición de un flujo turbulento, que junto a la definición de Prandtl para esfuerzos cortantes permitió obtener una ecuación para la distribución de velocidades en esta zona, descrita de la siguiente manera:

$$\frac{V_X}{V_*} = \frac{1}{0,4} \ln \frac{V_* y}{\nu} + 5,47 \quad (10)$$

La anterior expresión es válida para superficies completamente lisas. Para el caso en donde la rugosidad del conducto afecta la subcapa laminar viscosa se utiliza la siguiente ecuación desarrollada por el ingeniero y físico alemán Johann Nikuradse:

$$\frac{V_X}{V_*} = \frac{1}{0,4} \ln \frac{y}{k_s} + 8,48 \quad (11)$$

Donde demostró que aunque la distribución de velocidades seguía siendo logarítmica, esta dependía de la rugosidad absoluta  $k_s$  de la tubería.

### Zona Turbulenta

Varios investigadores asienten que la distribución de velocidades en la región turbulenta es muy similar a la zona de transición, para flujos en ductos o tuberías. Esto significa que la distribución logarítmica definida anteriormente es aplicable en esta región de flujo [5].

#### - Modelo II

Se emplearon las ecuaciones 13 y 14 tomadas del libro Mecánica de Fluidos de Robert Mott, las cuales recomienda el autor para determinar el perfil de velocidad en régimen turbulento [1].

Éstas están en función del factor de fricción, para calcularlo se usó la ecuación de Colebrook (Ecuación 12) [8], que a su vez depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería, la tubería en la cual se trabajó es de PVC con una rugosidad relativa  $\epsilon/D = 5.1724 \times 10^{-6}$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 * \log \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (12)$$

$$U_{m\acute{a}x} = v(1 + 1,43\sqrt{f}) \quad (13)$$

$$U = v[1 + 1,43\sqrt{f} + 2,15\sqrt{f} \log_{10}(y/r_0)] \quad (14)$$

## RESULTADOS

### 1. Resultados experimentales

El resultado de las velocidades máximas y promedio registradas por el CTA durante la experimentación, al igual que los números de Reynolds y el régimen característico de cada configuración son presentados en la **Tabla 2**.

La viscosidad y densidad del aire obtenidas fueron de 0,0001825 poise y 1,0573 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

En la **Figura 5** se muestran los valores experimentales obtenidos para las velocidades nominales de 2, 8,

14, y 18 m/s en función de la posición transversal del CTA a lo largo de la sección de pruebas del túnel, representados por A, B, C y D respectivamente. La escala de la ordenada hace referencia al diámetro de la sección de pruebas del túnel (0,29 m), distancia cubierta por 10 puntos de medición.

### 2. Resultados del Modelo I

La zona laminar viscosa sólo conforma el 2 % o menos de todo el perfil de velocidad en un flujo turbulento [5], por tanto, fue posible omitirse durante el análisis. Fue tomada en cuenta la rugosidad de la sección de pruebas del túnel  $k_s$  [2], con un valor correspondiente de  $1,44 \times 10^{-6}$  m.

Velocidad Nominal [m/s]	Velocidad máxima [m/s]	Velocidad Promedio [m/s]	Re	Régimen de Flujo
2	2,0968	1,8473	35224,5417	Turbulento
8	8,1304	7,0575	136586,3147	Turbulento
14	14,0061	12,2346	235294,1288	Turbulento
18	17,9583	15,7218	301688,6013	Turbulento

Tabla 2. Resultados experimentales.

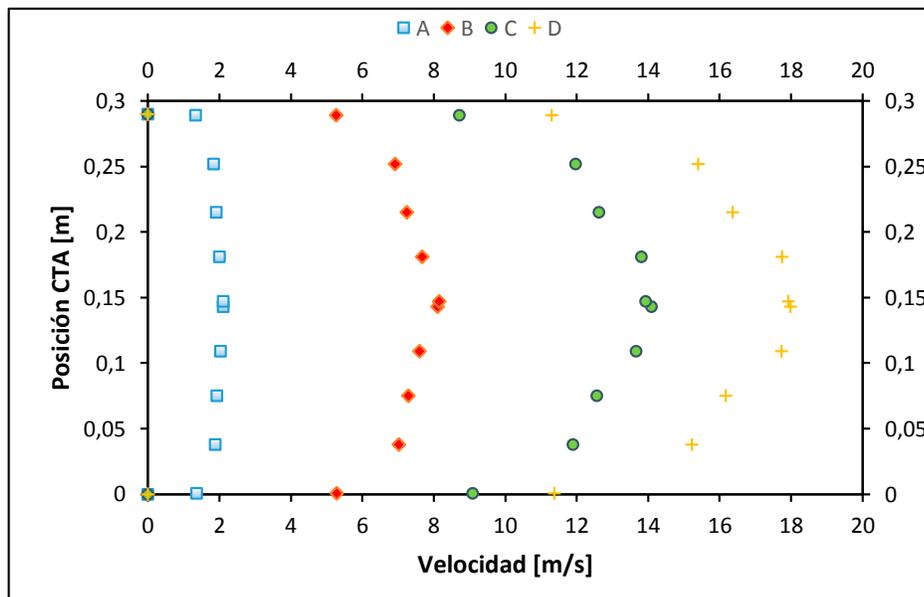
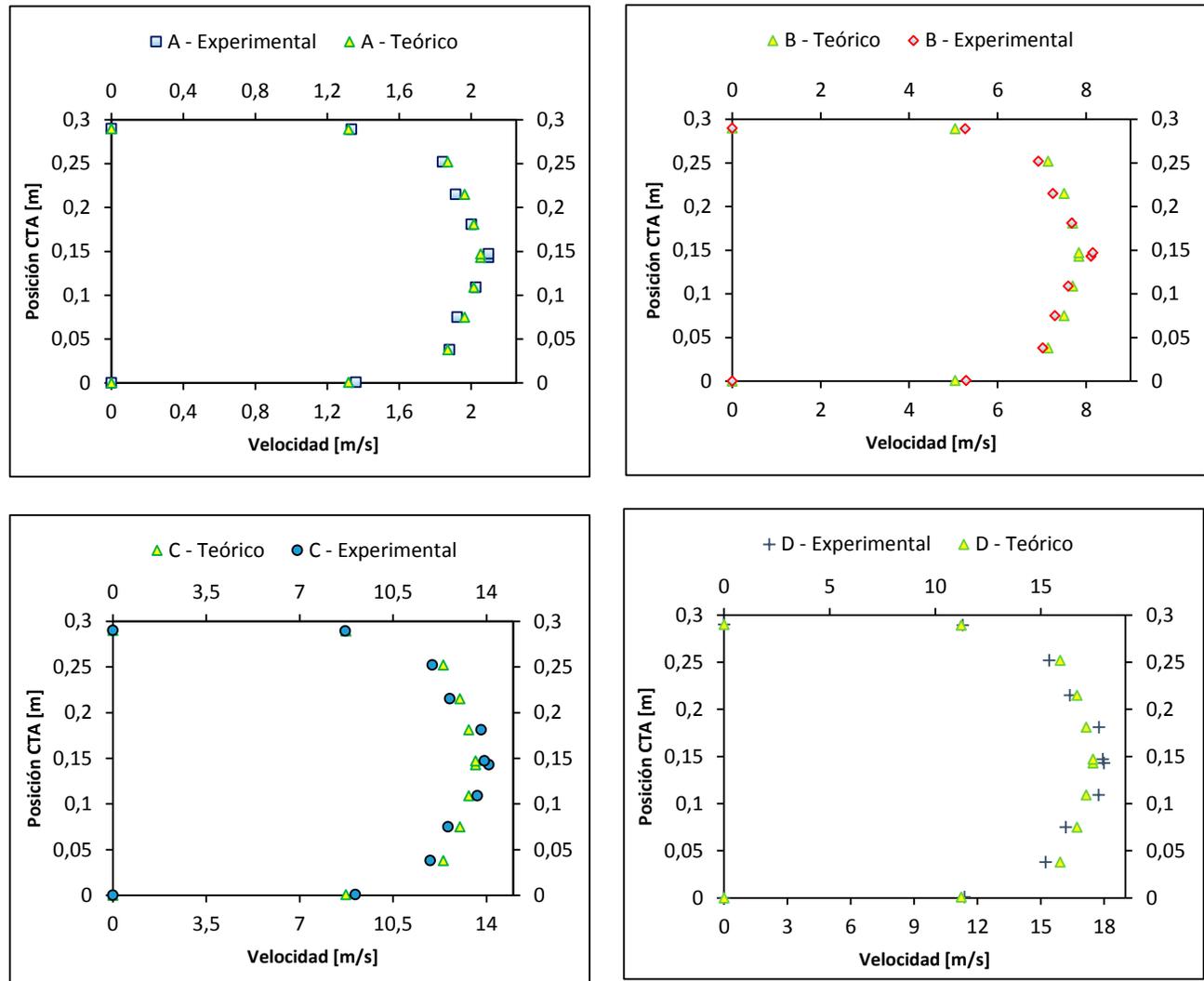


Figura 5. Perfiles de velocidad del túnel WSL20 para distintos voltajes aplicados con un conjunto de 7 ventiladores.

Como se puede apreciar en la **Figura 6**, el modelo I se ajusta a los datos experimentales con errores entre el 1 y 4% (ver Suplemento B).



**Figura 6.** Perfiles de velocidad teóricos (según modelo I) y experimentales de las configuraciones A, B, C y D.

### 3. Resultados del Modelo II

En la Figura 7 se observa que el modelo teórico II se ajusta a los datos experimentales con errores que oscilan entre el 1 y 8 %, excepto para los puntos cercanos a la pared de la tubería, en los cuales se obtiene un error entre 26,1 y 57,8 %. También se evidencia que para las configuraciones C y D donde el número de Reynolds es mayor, el error disminuye.

### DISCUSIÓN

Al comparar los modelos teóricos con los datos experimentales, se observa que el modelo teórico I presenta el mejor ajuste entre los dos modelos, con errores que no superan el 4 %. Por otra parte, si bien los errores del modelo teórico II no exceden el 8% en la zona de turbulencia, para los puntos cercanos a la pared de la tubería, el error supera el 50 %.

Esto se puede dar debido a que el Reynolds, aunque se utiliza también para gases, fue planteado principalmente para fluidos líquidos, es decir más viscosos, lo cual genera mayor resistencia en la zona cercana a la pared (zona laminar), en este caso el fluido que se utilizó fue aire, lo cual explica el comportamiento en esta zona.

Para las configuraciones C y D del modelo teórico II el número de Reynolds es mayor y el error disminuye, por lo cual se deduce que este modelo presenta un mejor ajuste a números de Reynolds altos; como se evidencia en el anexo B.

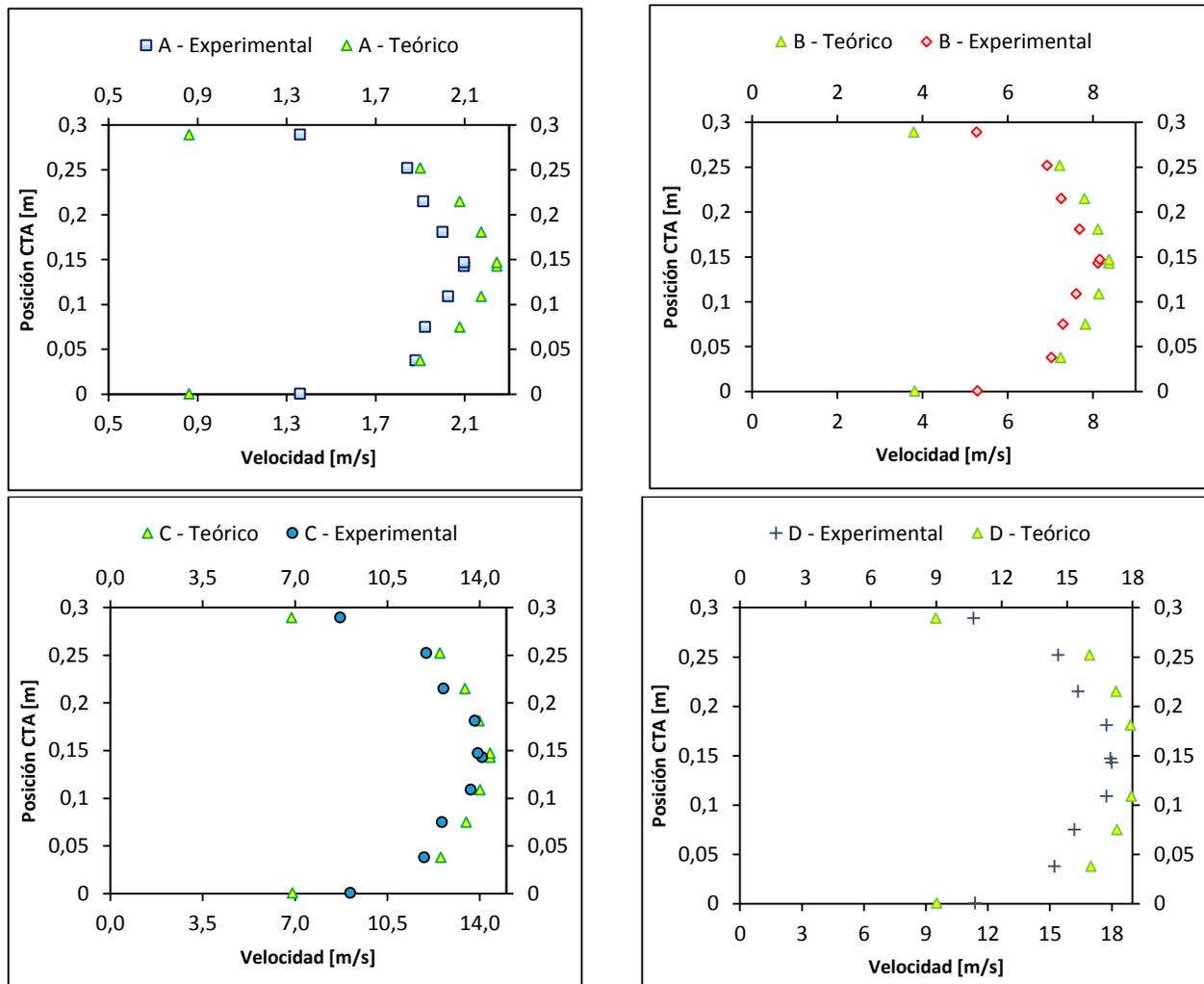


Figura 7. Perfiles de velocidad teóricos (según modelo II) y experimentales de las configuraciones A, B, C y D.

## CONCLUSIONES

Al comparar los modelos teóricos utilizados para la caracterización de perfiles de velocidad en régimen turbulento, se observó que el modelo teórico I se ajusta mejor a los datos experimentales, obteniéndose errores entre el 1 y 4 %, mientras que con el modelo teórico II se alcanza un error del 8 %, excepto para los puntos cercanos a la pared de la tubería, en los cuales el error oscila entre 26,1 y 57,8 %, desviándose significativamente de los datos experimentales.

Los modelos utilizados fueron determinados en ductos cerrados y sección circular a partir de fluidos líquidos, sin embargo, para esta experimentación dichos modelos se ajustan adecuadamente al comportamiento de flujos de aire en ductos circulares de baja rugosidad.

El modelo teórico I es idóneo para describir el flujo turbulento de aire en tuberías, bajo condiciones cercanas de presión, temperatura y humedad a las presentes en el laboratorio durante la experimentación.

## APORTES

El desarrollo del presente artículo se logró gracias a la contribución igualitaria del trabajo realizado por los autores Edison Granados y Carolina Madolet.

## REFERENCIAS

[1] Gonzales S, Chiroque J, Urcuhuaranga W. *Cálculo, diseño y construcción de un túnel de viento para estudios experimentales de aerogeneradores y sus componentes*. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Perú, 2011. Disponible en: [http://guzlop-editoras.com/web\\_des/ener01/eolica/pld0442.pdf](http://guzlop-editoras.com/web_des/ener01/eolica/pld0442.pdf). Accedido septiembre 25, 2016.

[2] Angarita J. *Diseño y construcción de una instalación para la calibración de medidores de velocidad de aire utilizando como patrón el banco de alto caudal del CDT de Gas*. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga; 2010.

[3] Mott R. *Mecánica de fluidos (6 ed)*, Pearson Educación, México; 2006.

[4] Bird B, Stewart W, Lightfoot E. *Fenómenos de transporte (2da ed)*, Limusa Wiley, 2006.

[5] Saldarriaga J. *Hidráulica de Tuberías (1ra ed)*, McGraw Hill, 2001.

[6] Picard A, Davis R S, Glaser M, Fujii K. Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007). *Metrologia* 2008; 45 (2): 149-155.

[7] Betancourt R. *Transferencia molecular de calor, masa y/o cantidad de movimiento (1ra ed)*, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales; 2003, 201.

[8] Çengel Y, Cimbala J. *Mecánica de fluidos (1ra ed)*, McGraw-Hill, 2006

## SUPLEMENTO A

Constante	Cantidad	Unidades
A	1,23788E-05	K <sup>-2</sup>
B	-0,01912132	K <sup>-1</sup>
C	33,93711047	
D	-6343,1645	K
γ	0,00000056	K <sup>-2</sup>
α	1,00062	
β	3,14E-08	Pa <sup>-1</sup>
a <sub>0</sub>	1,58123E-06	KPa <sup>-1</sup>
a <sub>1</sub>	-2,9331E-08	Pa <sup>-1</sup>
a <sub>2</sub>	1,1043E-10	K <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup>
b <sub>0</sub>	0,000005707	KPa <sup>-1</sup>
b <sub>1</sub>	-2,051E-08	Pa <sup>-1</sup>
c <sub>0</sub>	0,00019898	KPa <sup>-1</sup>
c <sub>1</sub>	-2,376E-06	
d	1,83E-11	K <sup>-2</sup> Pa <sup>-2</sup>
e	-7,65E-09	K <sup>-2</sup> Pa <sup>-2</sup>
M <sub>a</sub>	0,02896546	Kg mol <sup>-1</sup>
M <sub>v</sub>	0,01801528	Kg mol <sup>-1</sup>
R	8,314472	J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
C <sub>pl</sub>	1	
ε <sub>0</sub> /k	78,6	K
σ	3,711	Å
M <sub>aire</sub>	28,97	g mol <sup>-1</sup>
ε	0,0015	mm
ε/D	5,17241E-06	

## SUPLEMENTO B

En las tablas mostradas a continuación, se presentan los datos experimentales, los datos obtenidos al aplicar los modelos teórico I y II y el error experimental absoluto, el cual hace referencia a la desviación de los modelos teóricos comparado con los resultados experimentales.

Posición del CTA [cm]	Teórico I				Experimental				Error experimental absoluto (%)			
	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)
0,07	1,319	5,040	8,738	11,228	1,360	5,287	9,091	11,379	3,1	4,0	4,0	1,3
3,8	1,869	7,142	12,381	15,910	1,879	7,020	11,896	15,216	0,5	1,7	3,9	4,4
7,5	1,963	7,500	13,002	16,707	1,922	7,293	12,566	16,177	2,1	2,8	3,3	3,2
10,9	2,015	7,697	13,343	17,146	2,026	7,599	13,663	17,732	0,6	1,3	2,4	3,4
14,3	2,052	7,840	13,590	17,464	2,097	8,109	14,089	17,987	2,2	3,4	3,7	3,0
14,7	2,052	7,840	13,590	17,464	2,097	8,152	13,923	17,930	2,2	4,0	2,4	2,7
18,1	2,015	7,697	13,343	17,146	2,001	7,678	13,804	17,742	0,7	0,2	3,5	3,5
21,5	1,963	7,500	13,002	16,707	1,914	7,248	12,625	16,367	2,5	3,4	2,9	2,0
25,2	1,869	7,142	12,381	15,910	1,842	6,922	11,974	15,392	1,5	3,1	3,3	3,3
28,93	1,319	5,040	8,738	11,228	1,360	5,268	8,714	11,297	1,2	4,5	0,3	0,6

Posición del CTA [cm]	Teórico II				Experimental				Error experimental absoluto (%)			
	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)	A (2 m/s)	B (8 m/s)	C (14 m/s)	D (18 m/s)
0,07	0,862	3,812	6,901	9,025	1,360	5,287	9,091	11,379	57,8	38,7	31,7	26,1
3,8	1,901	7,234	12,524	16,086	1,879	7,020	11,896	15,216	1,1	3	5	5,4
7,5	2,077	7,816	13,482	17,287	1,922	7,293	12,566	16,177	7,5	6,7	6,8	6,4
10,9	2,175	8,136	14,008	17,948	2,026	7,599	13,663	17,732	6,8	6,6	2,5	1,2
14,3	2,245	8,369	14,390	18,428	2,097	8,109	14,089	17,987	6,6	3,1	2,1	2,4
14,7	2,245	8,369	14,390	18,428	2,097	8,152	13,923	17,930	6,6	2,6	3,2	2,7
18,1	2,175	8,113	13,969	17,899	2,001	7,678	13,804	17,742	8	5,4	1,2	0,9
21,5	2,077	7,792	13,443	17,239	1,914	7,248	12,625	16,367	7,9	7	6,1	5,1
25,2	1,901	7,210	12,486	16,037	1,842	6,922	11,974	15,392	3,1	4	4,1	4
28,93	0,862	3,788	6,862	8,976	1,360	5,268	8,714	11,297	57,8	39	27	25,9