

# MODIFICACIONES AL TÚNEL DE VIENTO DEL LABINTHAP PARA MEDICIONES DE VELOCIDAD DE AIRE DESDE 5 m/s HASTA 30 m/s

René Tolentino E., Miguel Toledo V., Guilibaldo Tolentino E., Florencio Sánchez S.  
Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP), IPN-SEPI-ESIME Zacatenco  
Av. IPN s/n, Col. Lindavista, 07738, México, D.F.  
Tel.: 57296000 ext. 54783 y 54754 (fax), [rtolentino@ipn.mx](mailto:rtolentino@ipn.mx)

**Resumen:** Se presentan las modificaciones realizadas al túnel de viento de velocidad baja del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP), que consisten en el diseño y construcción de una cámara estabilizadora y una contracción con relación de áreas de 9:1, para mejorar el comportamiento del flujo en la sección de pruebas de succión del túnel. Se plantea el marco teórico del diseño y se muestra la evaluación experimental en función de los perfiles de velocidad. Se propone establecer este sistema como un patrón nacional de velocidad de aire en un intervalo de 5 m/s a 30 m/s.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los túneles de viento se emplean en las áreas de aeronáutica, mecánica de fluidos, aerodinámica, turbomaquinaria, ciencias ambientales, metrología, entre otras. Los principales parámetros para caracterizar los túneles son: uniformidad de los perfiles de velocidad, espesor de la capa límite y turbulencia en la sección de pruebas.

En el NIST de Estados Unidos, NMIJ de Japón, PTB de Alemania, CETIAT de Francia, IPT de Brasil, se usan túneles con variaciones de velocidad de  $\pm 1\%$  y turbulencia de 0,07 % a 1 % en las secciones de prueba para establecer patrones nacionales de velocidad de aire. Por lo que en el LABINTHAP, se está modificando la sección de pruebas de succión del túnel de viento de velocidad baja para que cumpla con los parámetros anteriores y potencialmente establecer un patrón Nacional de velocidad de 5 m/s a 30 m/s. Algunos trabajos para obtener un flujo con las características mencionadas en los túneles de viento se presentan a continuación.

Bradshaw P. y Pankhurst R. C. [1], propusieron un panel con una relación longitud/radio de 6 a 8; la instalación de cuatro mallas con un coeficiente de caída de presión de 1,6 o de 16 aberturas por pulgada y una contracción con relación de áreas de 12:1, para obtener un flujo estable en la sección de pruebas de un túnel de viento. La contracción es el elemento más crítico, debido a que en ésta puede presentarse una separación del flujo, por lo que se cuenta con varios métodos para su diseño. El método Morel [2, 3] para el diseño de contracciones circulares y bidimensionales, ha dado buenos resultados al momento de evaluar el

comportamiento del flujo en las secciones de pruebas de los túneles de viento.

Tulapurkara E. G. y Bhalla V. V. K. [4], evaluaron contracciones de sección circular diseñadas por el método de Morel con relaciones de áreas de 12:1 y 3,464:1, encontraron que en ambas no se presentó una separación de flujo y la variación del perfil de velocidad en la salida fue de  $\pm 1\%$ . Batill S. M. y Nelson R. C. [5], obtuvieron resultados satisfactorios de los perfiles de velocidad y turbulencia, al evaluar contracciones de sección cuadrada diseñadas por el método de Morel para relación de áreas de 75:1 y 150:1.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es presentar el diseño de la cámara estabilizadora y contracción de la sección de pruebas de succión del túnel de viento del LABINTHAP, así como su evaluación experimental en función de los perfiles de velocidad en un intervalo de 5 m/s a 30 m/s.

## 2. TÚNEL DE VIENTO DEL LABINTHAP

El túnel de viento de velocidad baja del LABINTHAP tiene una sección de pruebas en la succión y otra en la descarga del ventilador, ambas de sección rectangular, en las que se alcanzan velocidades de 65 m/s y 36 m/s, respectivamente. La sección de pruebas de succión se usará como instalación experimental para establecer el patrón nacional de velocidad de aire.

La evaluación experimental del túnel de viento se efectuó en dos arreglos. El arreglo A, integrado por una entrada acampanada con un área de entrada de 1,2 m por 1,0 m y un área de salida de 0,8 m por 0,6 m. El arreglo B consistió de la contracción con relación de áreas de 9:1. En ambos arreglos se usó

una sección de pruebas de 0,8 m por 0,6 m con una longitud de 5,00 m. En la figura 1, se presenta el arreglo B evaluado.

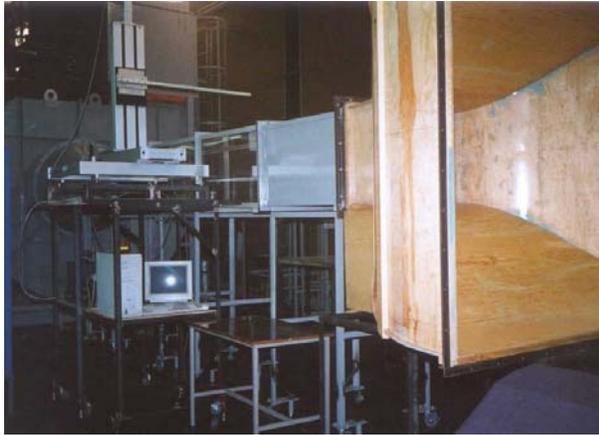


Figura 1 Túnel de viento, arreglo B.

### 3. MODIFICACIONES DEL TÚNEL DE VIENTO

Para mejorar el comportamiento del flujo en la sección de pruebas del túnel se propone una entrada acampanada, una cámara estabilizadora y una contracción (figura 2). La contracción une las zonas de velocidad baja (cámara estabilizadora) y velocidad alta (sección de pruebas) en un túnel de viento. La finalidad de la contracción es incrementar la velocidad y reducir las fluctuaciones de velocidad.

#### 3.1 Cámara Estabilizadora

Las dimensiones de la cámara estabilizadora están en función de las dimensiones de la sección de pruebas (796 mm por 588 mm) del túnel de viento y la relación de áreas de la contracción. Por condiciones de espacio en el laboratorio, se optó por diseñar una contracción con relación de áreas de 9:1.

De acuerdo a la contracción, las dimensiones de la cámara estabilizadora fueron de 1 764 mm por 2 388 mm. En este elemento se instalará un panel y cinco mallas. Al inicio de la cámara estabilizadora se colocará una entrada acampanada para uniformizar el flujo y al final de ésta se tendrá la contracción.

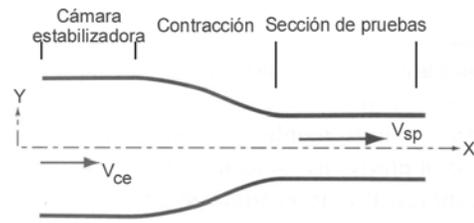


Figura 2 Disposición de la cámara estabilizadora, contracción y sección de pruebas [3].

#### 3.2 Mallas

La característica principal de las mallas es el coeficiente de caída de presión ( $K$ ) que depende de la porosidad  $\beta$  y el número de Reynolds ( $Re_w$ ) [7]. La porosidad es función del diámetro del alambre ( $d_w$ ) y la abertura ( $M$ ) de la malla (ecuación 2). Otro parámetro importante es la solidez ( $\sigma$ ) (ecuación 3).

$$\beta = \left(1 - \frac{d_w}{M}\right)^2 \tag{2}$$

$$\sigma = 1 - \beta \tag{3}$$

Bradshaw P. y Pankhurst R. C. [1] sugieren el empleo de mallas con  $\beta > 0,57$ , debido a que un valor menor produce inestabilidades del flujo que se conservan hasta la sección de pruebas. Además el  $Re_w$  del alambre debe ser mayor de 80 (ecuación 4), para prevenir fluctuaciones de velocidad.

$$Re_w = \frac{U d_w}{\beta \nu} \tag{4}$$

Metha R. D. y Bradshaw P. [6] proponen la ecuación de Wieghardt (ecuación 5) para obtener el coeficiente de caída de presión de las mallas. Esta es válida para un  $Re_w$ , hasta de 600.

$$K = 6.5 \cdot \left[ \frac{1 - \beta}{\beta^2} \right] \cdot Re_w^{-\frac{1}{3}} \tag{5}$$

La distancia entre la última malla y la contracción debe ser de 0,2 diámetros de la cámara estabilizadora. Recomiendan instalar cuatro mallas separadas por a una distancia de  $500 d_w$ . Se propone instalar 5 mallas de 20 aberturas por pulgada ( $M = 1,27 \text{ mm}$ ) de alambre calibre 30 ( $d_w = 0,23 \text{ mm}$ ),  $\beta = 0,67$  y  $\sigma = 0,33$ . La velocidad en la cámara estabilizadora es de 7,44 m/s por lo que  $Re_w = 175$  y  $K = 1,06$ . La distancia de la última

malla a la contracción será de 500 mm y una separación entre mallas de 120 mm ( $521 d_w$ ).

### 3.3 Panal

En un panal la relación longitud-diámetro debe ser de 6 a 8, colocándose al menos 25 000 celdas en la cámara estabilizadora. Loehrke R. I. y Nagib H. M. [8] sugieren que la distancia entre el panal y la primera malla debe ser de 5 diámetros del panal, llegándose a tener distancias de 56 diámetros [9] y 47 diámetros [discusión de 8].

El panal que se propone implementar es de sección hexagonal con un diámetro equivalente de 10,5 mm, espesor de 0,2 mm y longitud de 85 mm. La separación entre el panal y la primera malla será de 500 mm que equivale a una distancia de 48 diámetros de la celda del panal.

### 3.4 Contracción

Metha R. D. y Bradshaw P. [6] proponen una contracción con relación de áreas entre 6 y 9, para un buen comportamiento del flujo en la sección de pruebas. El método empleado para diseñar la contracción es el sugerido por Morel [3]. Los criterios principales para el diseño son: 1) uniformidad del flujo al final de la contracción, 2) evitar la separación del flujo, 3) longitud mínima y 4) espesor mínimo de la capa límite en la contracción.

Los coeficientes de presión en la entrada ( $C_{pi}$ ) y salida ( $C_{pe}$ ) de la contracción se definen en las ecuaciones 6 y 7. En donde los subíndices  $i$  y  $e$  se refieren a los puntos de velocidad máxima y mínima en la pared,  $U_{1,\infty}$ ,  $U_{2,\infty}$  es la velocidad de corriente libre en la entrada y salida de la contracción.

$$C_{pi} = 1 - \left( \frac{u_i}{U_{1,\infty}} \right)^2 \tag{6}$$

$$C_{pe} = 1 - \left( \frac{U_{2,\infty}}{u_e} \right)^2 \tag{7}$$

En la entrada la velocidad máxima se presenta en la parte central y la velocidad menor en las esquinas ( $u_i$ ); lo opuesto ocurre en la descarga, donde la velocidad mayor se tiene en las esquinas ( $u_e$ ) y la velocidad menor en la zona central. Morel recomienda un  $C_{pi} = 0,42$ , para evitar la separación del flujo en esta zona y  $C_{pe} = 0,1$ . Este coeficiente asegura variaciones de velocidad en la descarga

menores a 2%. El contorno de la contracción se obtuvo con la ecuación (8).

$$y, z = \begin{cases} (H_1 - H_2) \cdot \left[ 1 - \frac{1}{X^2} \left( \frac{x}{L} \right)^3 \right] + H_2 & \frac{x}{L} \leq X \\ \left( \frac{H_1 - H_2}{(1-X)^2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{x}{L} \right)^3 + H_2 & \frac{x}{L} > X \end{cases} \tag{8}$$

En donde;  $H_1$  y  $H_2$  son las alturas de entrada y salida de la contracción,  $X$  es el punto de unión de las curvas,  $y$  y  $z$  es la altura de la contracción,  $x$  es la distancia axial y  $L$  es la longitud de la contracción. La contracción que se propone es de relación de áreas de 9:1, longitud ( $L$ ) de 1 676 mm, y el punto de unión de las curvas ( $X$ ) en 0,531. En la figura 3 se presenta el contorno de la contracción.

### 3.5 Entrada Acampanada

Para que se tenga la mínima perturbación del flujo, se instalará una entrada acampanada con un radio de curvatura de 1/8 del diámetro equivalente de la cámara estabilizadora ( $D_{eq} = 2\ 316\ mm$ ). Este accesorio se diseñó conservando las proporciones que indica la norma BSI 848.

En la figura 4 se muestra la configuración del túnel con las modificaciones propuestas. De estas modificaciones sólo se tiene la contracción y actualmente se está construyendo la cámara estabilizadora y la entrada acampanada.

## 4. INSTRUMENTACIÓN

Se empleó un tubo de Pitot tipo L de nariz elipsoidal, un manómetro inclinado, un anemómetro de hilo caliente. También se midieron la presión atmosférica, temperatura y la humedad relativa durante la realización de las mediciones, empleándose un barómetro, un termómetro y un termo-higrómetro.

El anemómetro de hilo caliente es marca DANTEC, cuenta con una unidad de flujo para calibrar las sondas desde 0,02 m/s hasta 1 Mach y un sistema posicionador. Los perfiles de velocidad en la sección de pruebas se obtuvieron con la sonda 55P11.

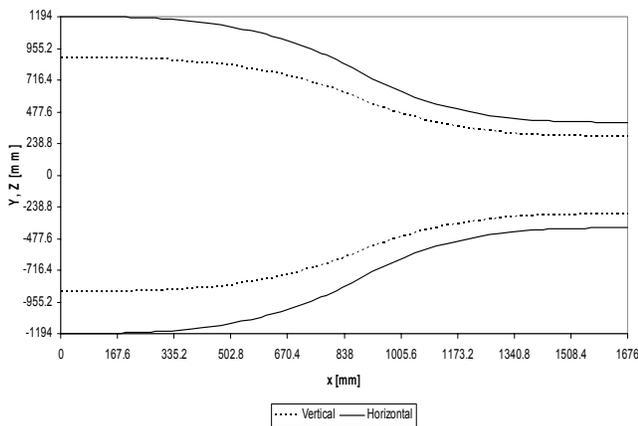


Figura 3 Contorno de la contracción.

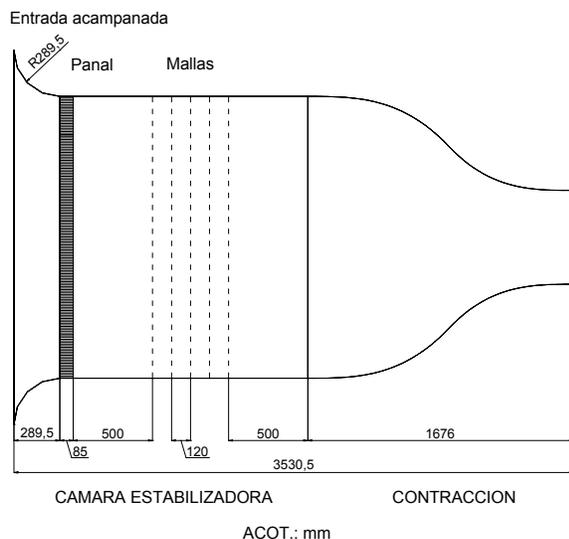


Figura 4 Dimensiones de la cámara estabilizadora, contracción y ubicación del panal y mallas.

## 5. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

La evaluación experimental del túnel de viento se realizó mediante los perfiles de velocidad, para los arreglos que se mencionan a continuación.

### 5.1 Arreglo A

Los perfiles de velocidad se midieron con un tubo de Pitot a 1,80 m, 2,60 m y 3,40 m (dirección X) de la entrada del flujo a la sección de pruebas, para velocidades de 5 m/s, 15 m/s y 30 m/s. Los perfiles de velocidad se obtuvieron en los ejes Y y Z, realizando un barrido cada 0,05 m. En el eje Y, se cubrieron los 0,60 m y en el eje Z, sólo los 0,40 m centrales. En este trabajo sólo se muestra los perfiles en el plano ubicado a 3,40 m (figura 5).

### 5.2 Arreglo B

Determinados los perfiles de velocidad con el tubo de Pitot se instaló la contracción. Procediéndose a medir los perfiles de velocidad en X = 3,40 m, con el anemómetro de hilo caliente.

En la figura 6 se presentan los perfiles de velocidad en los ejes Y y Z, para lo que se efectuó un barrido con el sistema posicionador en los mismos puntos que las mediciones efectuadas con el tubo Pitot. Con la contracción instalada, se obtuvo un mejor comportamiento del flujo como se observa en la figura 6, donde se tiene una simetría aceptable de los perfiles de velocidad en los ejes Y y Z.

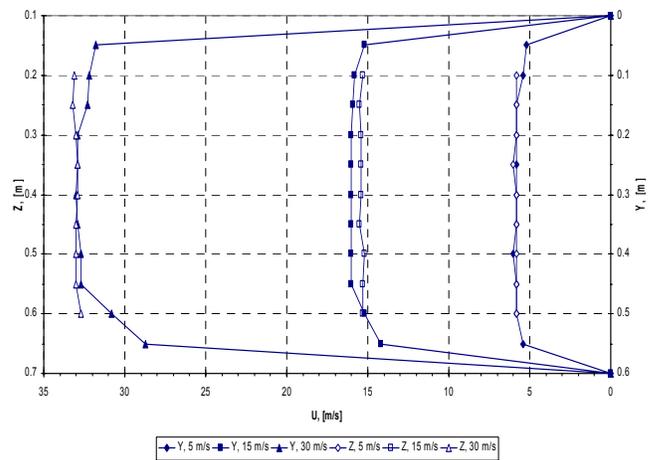


Figura 5 Perfiles de velocidad, Arreglo A.

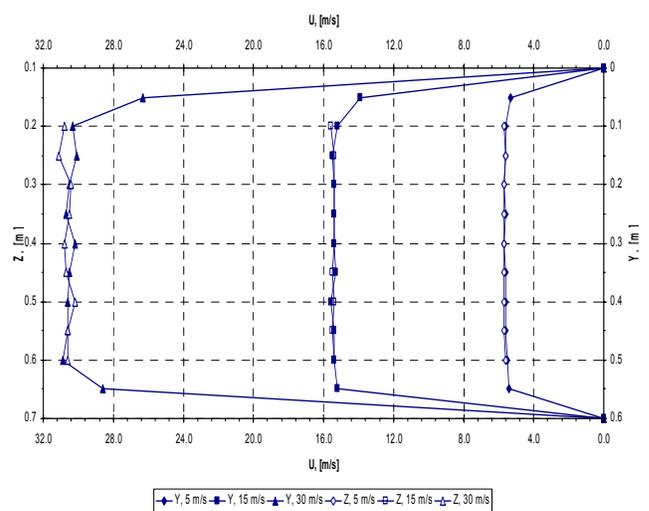


Figura 6 Perfiles de velocidad, Arreglo B.

## 6. RESULTADOS

Los perfiles de velocidad en los ejes X y Y (arreglo A) con el tubo Pitot a 1,80 m, 2,60 m y 3,40 m de la entrada a la sección de pruebas para 5 m/s, 15 m/s y 30 m/s, en el eje Y manifiestan un gradiente de velocidad mayor en la pared inferior que en la pared superior, siendo esto más notable para 30 m/s. Para este caso, las velocidades obtenidas en  $Y = 0,55$  m en los planos mencionados son 30,9 m/s, 30,5 m/s y 28,7 m/s respectivamente; teniéndose una velocidad de corriente libre  $\approx 33,9$  m/s en  $Y = 0,45$  m,  $Y = 0,40$  m y  $Y = 0,35$  m para las posiciones mencionadas. En la pared superior la velocidad de corriente libre se obtuvo a 0,10 m, 0,15 m y 0,20 m en los planos mencionados.

Con el arreglo B se mejoró el comportamiento del flujo como se aprecia en la figura 6. La elección de esta posición se debe a que en este plano se presentó el peor comportamiento del flujo. La figura 6 muestra un mejoramiento en los perfiles de velocidad, donde el gradiente de velocidad en la pared superior e inferior (Y) se tienen hasta 0,1 m de ambas paredes. En el eje Z (horizontal), en la parte central (0,20 m a 0,60 m) se tiene un comportamiento aceptable de los perfiles. En ambos ejes para 30 m/s se tiene una variación de velocidad de  $\pm 2\%$  la zona de corriente libre.

El arreglo A no es recomendable para calibrar instrumentos de medición de velocidad, debido a que la velocidad mayor en los perfiles de velocidad está arriba del centro de la sección de pruebas del túnel, como resultado de los gradientes de velocidad mayores en la pared inferior de la sección de pruebas.

## 7. CONCLUSIONES

Para reducir las variaciones de velocidad en un túnel de viento se emplean mallas y panales, los cuales mejoran el comportamiento del flujo mediante la caída de presión que presentan estos elementos, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad. Por lo que estos elementos deben colocarse en una zona de velocidad baja. El elemento más importante en un túnel de viento es la contracción, debido a que este elemento une las secciones de velocidad alta y velocidad baja y de ésta depende el comportamiento del flujo en la sección de pruebas.

Los perfiles de velocidad reportados en este trabajo con la contracción indican una variación de velocidad de  $\pm 2\%$  en toda la sección de pruebas

para el intervalo de velocidad evaluado. Con las modificaciones propuestas en este trabajo y esta primera evaluación del comportamiento del flujo en la sección de pruebas del túnel de viento de velocidad baja del LABINTHAP de la SEPI-ESIME Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional, se tendrá la posibilidad de establecer en nuestro País un patrón nacional de velocidad de gases en un intervalo de 5 m/s a 30 m/s.

Con los accesorios diseñados se piensa en mejorar aún más el comportamiento del flujo en el túnel de viento de velocidad baja del LABINTHAP, esperándose variaciones de velocidad menores a  $\pm 1\%$ ; y una turbulencia menor a 0,5% en todo el intervalo de velocidad del túnel de viento.

## REFERENCIAS

1. Bradshaw P. and Pankhurst R. C., *The Desing of Low Speed Wind Tunnels*, Progress in Aeronautical Sciences, Volume 5, Pergamon Press, 1964.
2. Morel T., *Comprehensive Desing of Axisymmetric Wind Tunnel Contractions*, Journal of Fluid Engineering, June 1975.
3. Morel T., *Desing of Two-Dimensional Wind Tunnel Contractions*, Journal of Fluid Engineering, June 1977.
4. Tulapurkara E. G. and Bhalla V. V. K., *Experimental Investigation of Morel's Methos for Wind Tunnel Contractions*, Journal of Fluid Engineering, March 1988.
5. Batill S. M. and Nelson R. C., *Low Speed, Indraft Wind Tunnels*, Lectures Notes in Engineering, Edited by Brebbia C. A. and Orszag S. A. Frontiers in Experimental Fluid Mechanics. Springer-Verlag, 1985.
6. Metha R. D. and Bradshaw P., *Desing Rules for Small Low Speed Wind Tunnels*, Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol. 83, November 1979.
7. Barlow J. B., Rae W. H. and Pope A., *Low-Speed Wind Tunnel Testing*, John Wiley and Sons, Third Edition, 1999.
8. Loehrke R. I. and Nagib H. M., *Control of Free-Stream Turbulence by Means of Honeycombs: A Balance Between Suppression and Generation*, Journal of Fluids Engineering, Vol. 98, September 1976.
9. Purtell L. P. and Klebanoff P. S., *A Low-Velocity Airflow Calibration and Research Facility*, National Bureau of Standards, Technical Note 989, 1979.

10. British Standard, *Fans for General Purposes*, Part 1. *Methods of Testing performance*, BSI 848, 1980.