

PRIMERA ETAPA PARA ACREDITAR AL LABINTHAP EN METROLOGÍA DE VELOCIDAD DE GASES

*Tolentino G., *Toledo M., **Robledo C., *Tolentino R.

*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, fax: 57296000 ext. 54754, e-mail: gte@maya.esimez.ipn.mx

**Laboratorio de Óptica

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

Av. Sn. Claudio y 18 Sur s/n, Col. Sn. Manuel, Puebla, Puebla

Tel: (22)332533

Resumen: En este trabajo se presenta la instalación y caracterización de un anemómetro láser Doppler así como el comportamiento del flujo en la zona de succión de un túnel de viento de velocidad baja, para acreditar al Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) como laboratorio secundario en la calibración de tubos Pitot tipo L en un intervalo de velocidad de 5 a 30 m/s. La caracterización del anemómetro láser Doppler se realizó mediante la medición de potencia de salida del láser operando en multilinea y de los haces de 514.5, 488 y 476.5 nm que se obtienen del separador multicolor. El comportamiento del flujo en la zona de succión del túnel se hizo por medio de los perfiles de velocidad a descarga libre y en el porcentaje de estrangulamiento de mayor eficiencia del ventilador centrífugo. Lo anterior es la primera etapa de un proyecto que tiene como finalidad acreditar al LABINTHAP como laboratorio primario en medición de velocidad de gases.

INTRODUCCIÓN

La medición de velocidad de fluidos, se realiza utilizando varios instrumentos como son los anemómetros tipo propela, hélice y turbina, tubos de Pitot tipo L y S y anemómetros de hilo caliente (Hot Wire Anemometry, HWA) y láser Doppler (Laser Doppler Anemometry, LDA). El HWA y LDA son empleados como patrones en diversos laboratorios extranjeros, debido a la gran precisión que se tiene al realizar mediciones de velocidad con estos instrumentos.

El anemómetro láser Doppler se emplea como patrón primario por las ventajas que presenta de independencia de las condiciones ambientales como son presión, temperatura y humedad, además de ser un instrumento no intrusivo [1, 2]. Los laboratorios primarios que emplean este tipo de anemómetros para la calibración de instrumentación de velocidad de gases son, entre otros [3]:

1. El Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) en un intervalo de 0.76 a 10.2 m/s.
2. El Centro Técnico de Industrias Aeronáuticas y Térmicas (CETIAT) en un intervalo de velocidad de 0.15 a 40 m/s.
3. El Instituto Federal de Física y Tecnología (PTB) en un intervalo de velocidades de 0.1 a 50 m/s.

Este trabajo tiene por objetivo presentar los avances que se tienen en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) para acreditarlo como laboratorio primario en metrología de velocidad de gases, utilizando como patrón el anemómetro láser Doppler y el túnel de viento descritos en este trabajo.

NECESIDAD DEL PATRÓN DE VELOCIDAD DE GASES

En México, el CENAM es el encargado de establecer y mantener los patrones primarios en diferentes áreas de la metrología; en este centro se encuentra la división de Flujo y Volumen del área de Metrología Mecánica, en donde se tienen los patrones de Flujo de Gas y Líquidos, Volumen y Viscosidad [4].

En esta división se calibran instrumentos que miden directamente flujo volumétrico, hasta el momento no se tiene conocimiento de algún laboratorio en México que calibre instrumentos de medición de velocidad o que posea un patrón primario en esta área de la metrología. Por lo tanto, debido a la falta de un patrón de velocidad de gases, el LABINTHAP en colaboración con el CENAM y a través del Programa Institucional de Metrología, Pruebas, Normalización y Calidad Industrial del IPN (PROMET), se han propuesto implementar dicho patrón en un intervalo de 5 a 30 m/s en este laboratorio, ya que cuenta con la infraestructura como es un túnel de viento de

velocidad baja con una velocidad en la zona de succión de 70 m/s, un anemómetro láser Doppler para una componente y un anemómetro de hilo caliente en tres dimensiones.

El anemómetro de hilo caliente se empleará para caracterizar el ducto de succión del túnel de viento, en función del comportamiento de los perfiles de velocidad, crecimiento de la capa límite a lo largo del ducto para determinar el sitio de calibración, en este se determinará el nivel de turbulencia y se realizarán los arreglos necesarios en el túnel para mantener el nivel de turbulencia dentro del intervalo de los laboratorios primarios internacionales que poseen patrones en esta área de la metrología.

El anemómetro láser Doppler y el túnel de viento de velocidad baja integrarán el patrón primario en velocidad de gases. Con este patrón se calibrarán principalmente tubos Pitot tipo L.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

Debido a que el LDA utiliza un láser de argón ionizado de 4 W de potencia, fue necesario instalar un sistema de enfriamiento de agua para evitar el sobrecalentamiento tanto de la fuente de poder como del láser, este sistema es de tipo cerrado para aprovechar al máximo el agua de enfriamiento, ya que ésta debe contar con ciertas características físicas y químicas que recomienda el fabricante [5].

Anemómetro Láser Doppler

El anemómetro láser Doppler está compuesto por el láser de argón ionizado, una fuente de poder, un control y la óptica necesaria para llevar el láser a la zona de pruebas del túnel de viento. Este anemómetro mide solo una componente de velocidad y se conforma por un sistema óptico y uno de adquisición de datos, ambos de la marca TSI.

EL sistema óptico está integrado por un separador multicolor de rayo, cuya función es dividir el rayo proveniente del láser en tres pares de rayos (verde, 514.5 nm; azul, 788 nm y violeta, 476.5 nm); uno de los rayos de cada par está desplazado por una frecuencia de 40 MHz; los haces de 514.5 nm son llevados a una sonda de fibra óptica de 20 m de longitud. Posteriormente, la sonda enfoca los haces para formar el volumen de medición.

La luz dispersada por las partículas que pasan en este volumen es recolectada por una lente receptora que se encuentra dentro de la sonda, esta luz es enviada hacia un receptor multicolor. En la figura 1 se muestra el sistema óptico.

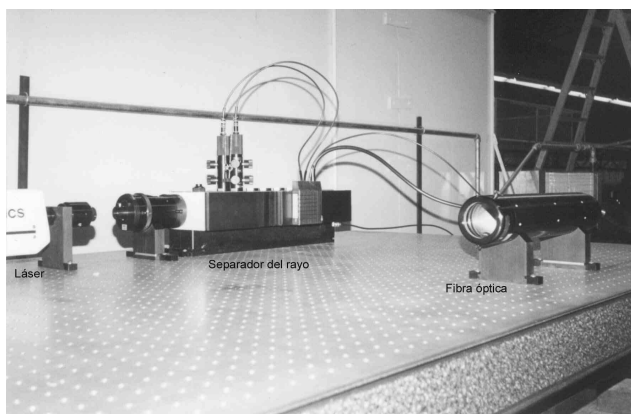


Figura 1. Sistema óptico del LDA.

El sistema de adquisición de datos se conforma de un receptor multicolor el cual convierte la luz dispersada por las partículas en señales eléctricas que son enviadas a un procesador de señales, este proporciona la frecuencia de cambio, es decir, la frecuencia Doppler. El procesador de señales extrae la información de la frecuencia Doppler y la envía al software del LDA. Finalmente, el software analiza los datos de entrada y proporciona un análisis estadístico de los datos desplegados en una computadora. En la figura 2 se presenta un diagrama de la conexión completa del anemómetro láser Doppler.

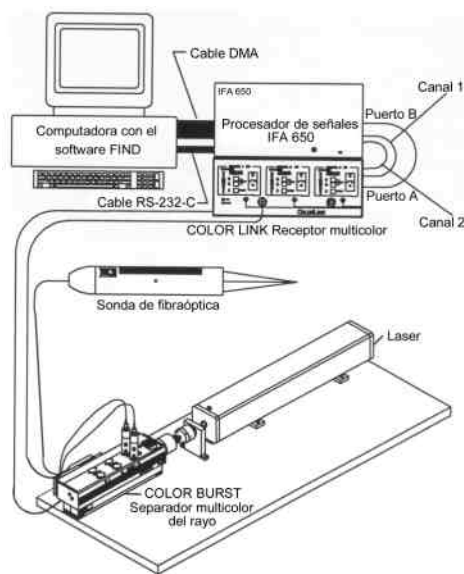


Figura 2. Diagrama del anemómetro láser Doppler [5].

Túnel de Viento de Velocidad Baja

El túnel de viento de velocidad baja, está compuesto por un ventilador centrífugo accionado por un ventilador de 100 HP para generar el flujo de aire, el motor eléctrico es controlado por un variador de

frecuencia para obtener diferentes velocidades en las zonas de pruebas. El túnel cuenta con dos zonas de pruebas una en la succión en donde se alcanza una velocidad aproximada de 70 m/s y otra en la descarga con una velocidad de 36 m/s. En la figura 3 se presenta el túnel de viento de velocidad baja.

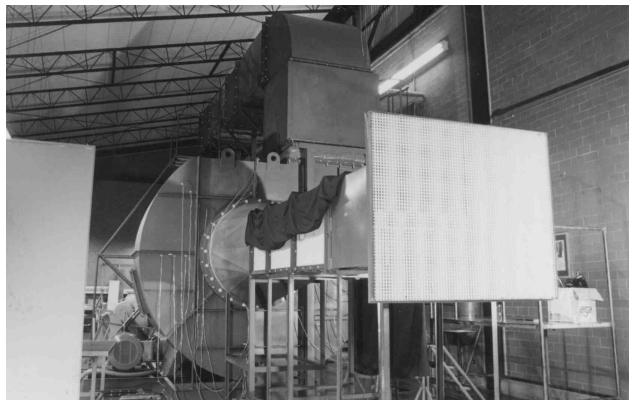


Figura 3. Túnel de viento de velocidad baja.

Zona de Pruebas

La zona de pruebas en la succión del túnel de viento está compuesta por una tobera, un ducto, un difusor y un rectificador de flujo. Esta zona es rectangular con un área de 0.48 m² y está conformada por cinco módulos de diferentes longitudes construidos de acrílico de 10 mm de espesor, montados sobre mesas móviles para facilitar su manejo. La zona de pruebas en la succión del túnel de viento tiene una longitud de 4.00 m, la cual puede aumentar de longitud. En la figura 4 se presentan las dimensiones de esta zona [3].

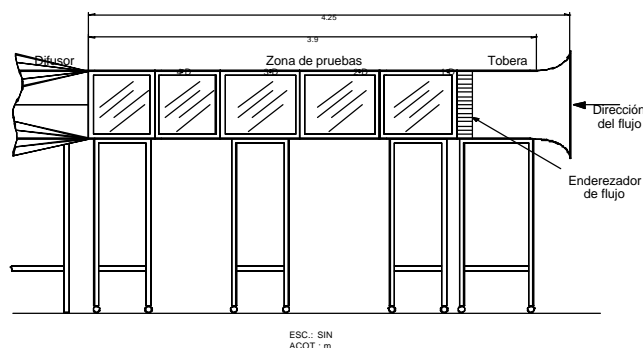


Figura 4. Zona de pruebas en la succión del túnel.

Sistema Posicionador en Tres Dimensiones

La sonda óptica del LDA se moverá mediante un sistema posicionador en tres dimensiones, que permite desplazar a ésta para formar el volumen de medición dentro de la zona de pruebas del túnel. Este sistema puede desplazarse en los ejes X y Y 590 mm

y en el eje Z 690 mm; con una resolución en los ejes X y Y de 12.5 μ m y en el eje Z de 6.25 μ m. Este sistema puede mover una carga de 30 kg y es operado por una computadora que posee el software del anemómetro de hilo caliente.

CARACTERIZACIÓN DE LA POTENCIA DE SALIDA DEL ANEMÓMETRO LÁSER DOPPLER

Para caracterizar el LDA, primero se montó y alineó el anemómetro en una mesa holográfica de 2.44 m por 1.22 m. Esta mesa tiene una serie de barrenos de 6.35 mm que permiten sujetar cada uno de los componentes del anemómetro láser. Una vez instalado el anemómetro láser Doppler se determinó la potencia de salida del láser empleando un radiómetro con capacidad de 30 W de potencia, dividido en 5 intervalos 0.3, 1, 3, 10 y 30 W. En este radiómetro se pueden seleccionar dos intervalos de longitud de onda que son 0.2 a 7 μ m y de 7 a 20 μ m. El radiómetro empleado en esta caracterización no se encuentra calibrado.

La potencia de salida del rayo láser se obtuvo para la operación en multilínea (500 nm) y para las tres longitudes de onda (514.5, 488 y 476.5 nm) de los haces no desplazados que se obtienen del separador multicolor. La corriente de descarga en el tubo del plasma se obtuvo directamente del control del láser. Las mediciones de la potencia del láser operando en multilínea se realizaron inmediatamente a la salida del mismo y para la medición de la potencia de los haces que se obtienen del separador se empleó un juego de espejos con los que cuenta el anemómetro para desviar los rayos hacia el detector del radiómetro [3]. En este caso no se consideró la absorción de los espejos, debido a que estos se colocaron inmediatamente a la salida del separador. Los resultados obtenidos se presentan en las siguientes figuras.

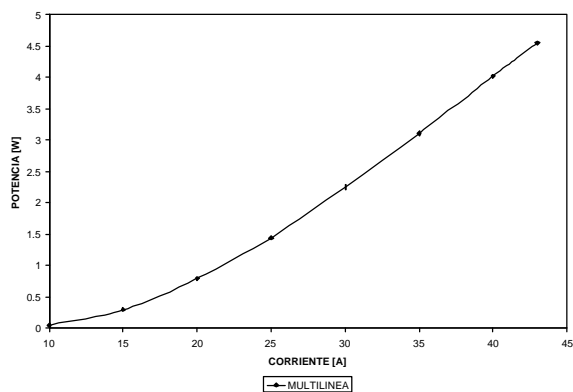


Figura 5. Potencia de salida del láser en multilínea.

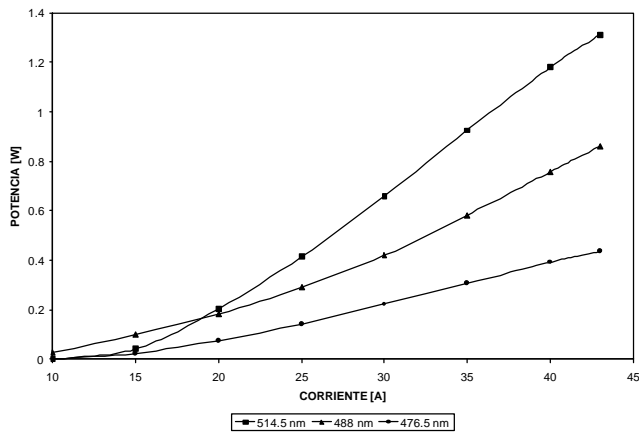


Figura 6. Potencia de salida de los haces de 514.5, 488 y 476.5 nm.

Los resultados de las figuras 5 y 6, se compararon con los datos de diversas fuentes bibliográficas [6], obteniéndose resultados satisfactorios de esta caracterización.

CARACTERIZACIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO

La caracterización del túnel de viento se hizo en función de los perfiles de velocidad a descarga libre y en el estrangulamiento de mayor eficiencia del ventilador centrífugo que genera el flujo en el túnel de viento.

Perfiles de Velocidad a Descarga Libre

Los perfiles de velocidad en la zona de succión del túnel de viento con descarga libre se obtuvieron con el arreglo mostrado en la figura 4, empleando un tubo Pitot tipo L y un manómetro inclinado. El registro de la presión dinámica se realizó a una distancia de 3 y 4 D_e (diámetro equivalente, $D_e=0.79$ m) de la entrada del flujo. Los perfiles de velocidad se determinaron en el centro del ducto y a 0.10 m de las paredes laterales del mismo. Las figuras 7 y 8 muestran los perfiles en el centro de los planos de medición 3D y 4D.

Eficiencia del Ventilador Centrífugo

Para determinar los perfiles de velocidad en el estrangulamiento de mayor eficiencia del ventilador,

fue necesario evaluar la eficiencia de éste. Esta evaluación se realizó empleando el arreglo tipo B (succión libre, ducto de descarga) que marcan las normas AMCA [7], primero se determinaron los perfiles de velocidad en la zona de descarga del túnel de viento y donde se presentaron los perfiles aceptables de acuerdo a estas normas, se estableció el plano de medición para registrar la presión total y estática generadas por el ventilador.

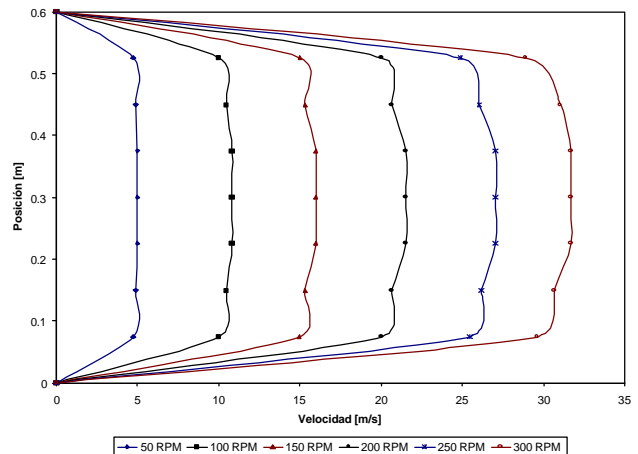


Figura 7. Perfiles de velocidad en el plano 3D a diferentes RPM del ventilador.

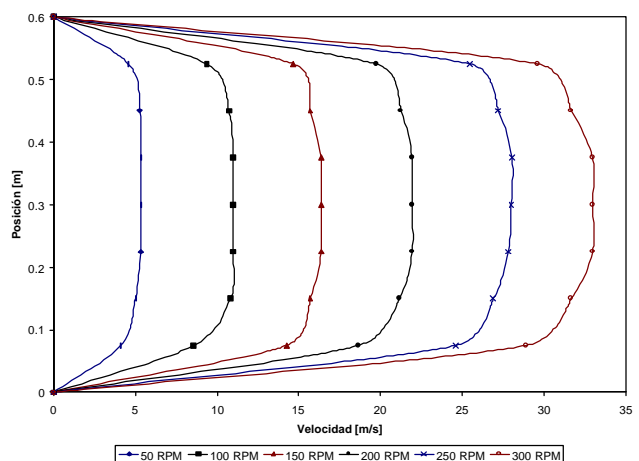


Figura 8. Perfiles de velocidad en el plano 4D a diferentes RPM del ventilador.

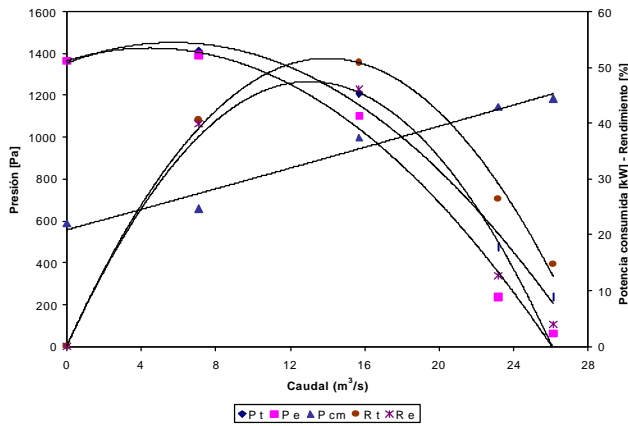


Figura 9. Curvas características del ventilador centrífugo a 450 RPM.

La medición de la presión se realizó con un tubo Pitot tipo S que actualmente calibra el LABINTHAP y un manómetro en U. La medición del voltaje y corriente consumidos por el motor eléctrico se hizo con la instrumentación que posee el variador de velocidad. La figura 9 muestra las curvas del ventilador a 450 RPM, condiciones bajo las cuales se obtuvo la mayor eficiencia.

Perfiles de Velocidad en el Estrangulamiento de Mayor Eficiencia

Con el resultado de mayor eficiencia del ventilador centrífugo, se determinaron los perfiles de velocidad en la zona de succión del túnel con un estrangulamiento en la zona de descarga de 50% (mayor eficiencia). Con esta condición se determinaron los perfiles en el centro de los planos 3 y 4D, (figuras 10 y 11).

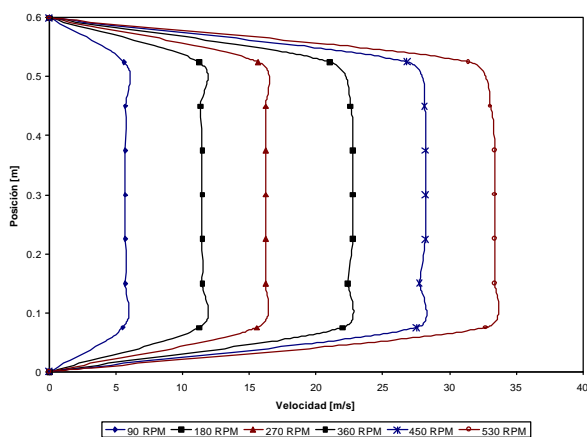


Figura 10. Perfiles de velocidad en el plano 3D con 50% de obturación.

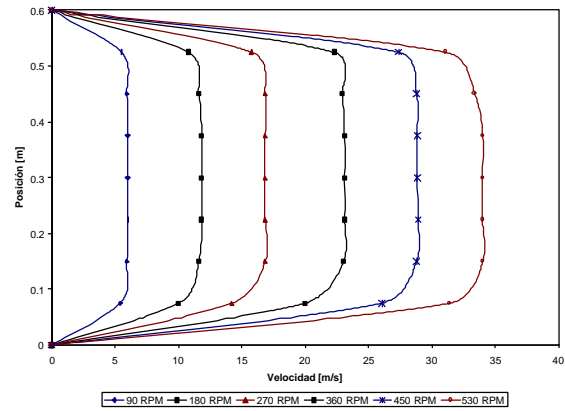


Figura 11 Perfiles de velocidad en el plano 4D con 50% de obturación.

DISCUSIÓN

Las figuras 5 y 6 muestran los resultados de la caracterización del anemómetro láser Doppler. En la figura 5 se muestra la potencia de salida del láser operando en multilínea para una longitud de onda de 500 nm, donde la potencia máxima fue de 4.55 W con una corriente en el tubo de 43 A. La figura 6 muestra la potencia de salida para los haces de 514.5, 488 y 476.5 nm, que se obtienen del separador multicolor, estos resultados concuerdan con el espectro de emisión del láser de Argón ionizado, ya que la máxima potencia corresponde al haz de 514.5 nm, la potencia media al haz de 488 nm y la potencia menor al rayo de 476.5 nm, siendo los valores de 1.32, 0.852 y 0.430 W respectivamente, correspondientes a una corriente de 43 A.

De los perfiles de velocidad a descarga libre (figuras 7 y 8) en los planos 3D y 4D, los perfiles al centro del plano 4D presentan un mejor comportamiento que los del plano 3D. De los perfiles de velocidad en el estrangulamiento de mayor eficiencia (figuras 10 y 11), en el plano 4D los perfiles presentan un mejor comportamiento que en el plano 3D y además presentan mayor estabilidad que los perfiles obtenidos en el mismo plano a descarga libre. Las velocidades promedio máxima y mínima a descarga libre son 4.90 y 30.75 m/s que corresponden a 50 y 300 RPM del ventilador; con la descarga estrangulada, las velocidades son de 5.67 y 32.97 m/s para 90 y 530 RPM, respectivamente.

Respecto a las curvas características mostradas en la figura 11, la eficiencia máxima se presenta cuando se tiene un estrangulamiento del 50% y 450 RPM del ventilador, en estas condiciones la eficiencia total es de 50.82%, la presión total de 1208.59 Pa y la potencia consumida por el motor eléctrico es de 37.48 kW. Estos datos corresponden a un flujo volumétrico de 15.71 m³/s.

CONCLUSIONES

La caracterización del LDA fue necesaria para conocer el comportamiento del láser operando en multilínea y de los tres haces que se obtienen del separador multicolor en función de la potencia del rayo y la corriente de descarga, lo que permitirá operar el láser a la menor potencia para que sean visibles los haces que forman el volumen de medición y de esta manera emplear el anemómetro el mayor tiempo posible para realizar las calibraciones. Respecto a los perfiles de velocidad tanto a descarga libre como en el estrangulamiento de mayor eficiencia, se cubre el intervalo de velocidad en el que se está proponiendo acreditar al LABINTHAP para calibrar tubos Pitot. En el estrangulamiento de mayor eficiencia se tienen mayor estabilidad en la succión del túnel que cuando se opera a descarga libre.

La eficiencia del ventilador centrífugo es baja respecto a los valores que marcan las normas AMCA para este tipo de ventiladores, pero se encuentra dentro del porcentaje de flujo que marcan las mismas. La eficiencia fue baja debido a que se tiene un codo a menos de dos diámetros equivalentes de la descarga del ventilador, lo cual afecta directamente el rendimiento de esta turbomáquina, al producirse una caída de presión en esta zona. Sin embargo, este codo es necesario por las condiciones de espacio que se tienen en el LABINTHAP.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Durst, A. Melling and J. H. Whitelaw. Principles and Practice of Laser Doppler Anemometry. Academic Press. London 1981. Segunda Edición.
- [2] S. Durrani Tariq and A. Greated Clive. Laser Systems in Flow Measurements. Plenum Press. 1977.
- [3] Tolentino E. R. Caracterización de un Anemómetro Láser Doppler y un Túnel de Viento para Medición de Velocidad de Gases. Tesis de Licenciatura. ESIME-IPN. 2001.
- [4] Centro Nacional de Metrología. Patrones Nacionales de Medición. Abril de 1997.
- [5] LDV System. Installation Manual. TSI 1993.
- [6] Velocimétrie Laser, Visitee Guidee. ONERA, Febrero 1 del 2001.
<http://www.onera.fr/dafe/velolaser/visite/leslaser.html>, 13 de Febrero del 2001.
- [7] Air Movement and Control Association (AMCA). Fan Application Manual. Air System. 1987.