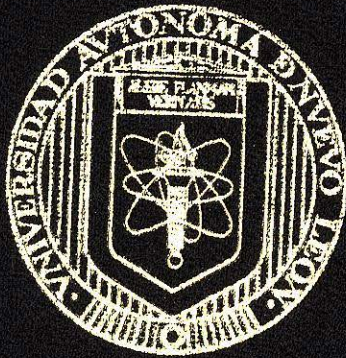


56  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



MEDICION DE FLUIDO COMPRESIBLE EN  
DUCTOS Y BANCO NEUMATICO PROTOTIPO

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA

CESAR ALEJANDRO SALAS CARDENAS

ASESOR: ING. JUAN ANTONIO FRANCO QUINTANILLA

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2002

TL  
TH7687  
.S2  
2002  
c.1



1080124521



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



MEDICION DE FLUIDO COMPRESIBLE EN  
DUCTOS Y BANCO NEUMATICO PROTOTIPO

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
PRESENTA

CESAR ALEJANDRO SALAS CARDENAS  
ASESOR: ING. JUAN ANTONIO FRANCO QUINTANIILLA

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2002

TL

TH7687

.52

2002



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis de  
" Medición de Fluido Compresible en Ductos y Banco Neumático  
Prototipo" realizada por el alumno César Alejandro Salas Cárdenas sea  
aceptada como opción al grado de Ingeniero Mecánico Electricista.

El Comité de Tesis



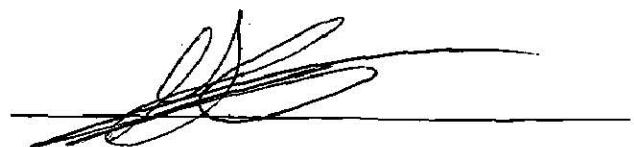
Asesor

Ing. Juan Antonio Franco Quintanilla



Revisor

Dr. Juan Antonio Aguilar Garib



Revisor

Ing. Francisco Javier Guevara Castillo

# AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES, HERMANOS ESPOSA E HIJOS.

Gracias, por el apoyo y ejemplo que en cada segundo

De mi vida me han brindado.

Por sus cuidados amor y comprensión.

Por sus sabios consejos que me han orientado por

El camino recto de la vida.

Pero gracias principalmente por tener en ustedes a

Mis mejores amigos.

A ustedes por todo ello, mi eterno y sincero

Agradecimiento, por todo lo que me brindaron para

El termino de mi carrera profesional.



# PRÓLOGO

Monterrey es una ciudad de clima cálido en la que existen muchos edificios que cuentan con aire acondicionado, ya sea para comodidad de las personas o por los procesos que se llevan a cabo en algunas plantas, ya que se pueden requerir condiciones controladas en las que no se tiene como fin único el confort, como es en el caso de los denominados "cuartos limpios".

Los ductos son una parte muy importante en estos sistemas porque son los encargados de conducir el aire de un sitio a otro dentro de un edificio, por ejemplo del lugar en el que se acondiciona al lugar en el que se disfruta. Estos ductos deben cumplir con características tales que permitan el flujo de aire libre de restricciones hasta el último ramal. Dado que el aire no obedece señales de tráfico y no se le puede indicar simplemente el recorrido que debe seguir, es necesario forzarlo sobre la base de la mecánica de fluidos.

En la construcción de un edificio se presentan negociaciones entre personas con diferentes especialidades de manera que es posible que no se utilicen los ductos con el diseño óptimo y en muchos edificios en que los sistemas son antiguos o que fueron colocados basándose en la experiencia, siguiendo extrapolaciones de diseños ajenos y sin que medie ningún cálculo específico ni siquiera están caracterizados.

Una manera de describir el comportamiento del aire dentro de un ducto es haciendo mediciones mediante un Tubo Pitot o alguna de sus variantes, teniendo la ventaja de que no se requiere que se desmonte parte del ducto o destruir parte de la instalación. Basta una pequeña perforación en una de las caras del ducto. La técnica es simple, como lo es el propósito de este trabajo, pero nada como aprender haciendo para disfrutar, saborear y compartir lo que se aprende.

Juan Antonio Aguilar Garib  
Diciembre de 2002

# ÍNDICE

Capítulo		Página
	Resumen	1
•1	El aire	3
	1.1 Historia del aire	3
	1.2 Composición del aire	4
	1.2.1 Componentes del aire	5
	1.3 Aplicaciones industriales	6
	1.3.1 Principales aplicaciones industriales del aire	6
2	Medición de flujo	7
	2.1 Medición de flujo de aire	7
	2.2 Generalidades del tubo pitot	9
	2.3 Uso del tubo pitot	12
	2.4 Ejemplo de aplicación	13
	2.5 Adecuaciones de tubo pitot	14
	2.6 Ventajas del medidor	16
	2.7 Anemómetro	16
	2.8 Método de medición de presión de velocidad de aire con manómetro en conductos	18

Capítulo		Página
3	Descripción de banco neumático prototipo	20
	3.1 Descripción de banco	20
	3.2 Procedimiento general para la utilización del banco neumático prototipo	25
	3.3 Uso de manómetro diferencial en banco neumático prototipo	26
	3.4 Estudios propuestos	29
4	Introducción de Resultados y discusión	30
	4.1 Mediciones de presión en el ducto	31
	4.2 Desarrollo de teoría de anemómetro	35
	Apéndice 1	40
	Pérdidas de energía en ductos	
	Conclusiones generales	50
	Apéndice 2	52
	Practica de laboratorio 1	
	Apéndice 3 Dibujo Técnico	57
	Lista de tablas	58
	Lista de figura	59
	Lista de graficas	60
	Bibliografía	61
	Referencias	62

## RESUMEN

La ciudad de Monterrey se distingue por su clima extremo por lo que existen gran cantidad de industrias, edificios que cuentan con sistema de ductos.

Los aspectos energéticos hacen necesario que estos dispositivos trabajen de manera eficiente; es necesario detectar obstrucciones (por filtros o por partes dañadas) así como el comportamiento del ducto debido a modificaciones de los sistemas.

Debido a que muchos sistemas se encuentran instalados y que en muchos de los casos son anteriores a las exigencias de eficiencia actuales, y que en las redes han sido modificados se hace necesario considerar métodos que permitan evaluar el desempeño de los ductos durante el servicio.

En los muchos métodos que existen, uno de los más populares es el tubo pitot por su facilidad de uso y con la ventaja que es un medidor de presión que se puede utilizar con fluidos incompresibles como para fluidos compresibles de baja presión.

En este trabajo se diseñó un ducto modelo en condiciones físicas semejantes a las que se encontrarán en sistemas de ductos reales que servirá para hacer mediciones con un tubo pitot, pero se realizarán las mediciones a nivel laboratorio suponiendo las condiciones ideales de temperatura, presión y densidad del aire.

Teniendo la presentación del mismo la finalidad de mostrar un banco en el cual los estudiantes tengan la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos en clase de esta materia, el cual se donará al laboratorio de mecánica de fluidos de nuestra Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

# CAPÍTULO 1

## EL AIRE

### Introducción

Se muestra este marco teórico del aire debido a que en este estudio de ductos es de vital importancia tener en cuenta la composición del aire ya que en este trabajo se utilizara en sus condiciones ideales.

Comenzaremos con:

### 1.1 Historia

El comienzo del estudio del aire se remonta a Grecia clásica en el siglo VI a. C. Anaximides de Mileto le atribuyo la categoría de fundamento de la materia inerte y de los seres vivos en función de su condensación.

En el siglo XVII, el alquimista Jan Baptist Van Helmot, estudió el Dióxido de Carbono, el Metano y el Hidrógeno y descubrió que parte del aire se consume durante el proceso de combustión.

Robert Boyle, en La segunda mitad del mismo siglo señaló que el aire también se consumía durante la respiración y la calcinación de los metales; En la misma época Evangelista Torricelli descubrió la existencia de la presión atmosférica y George Sthal propuso su teoría de flogisto [1], que tuvo gran aceptación aunque posteriormente se demostró errónea; El flogisto era según su formulador una sustancia fundamental.

A finales del siglo XIX se produjeron los descubrimientos de Argón, Kriptón, Xenón, Neón, Helio con lo que pudo completarse el estudio de la composición del aire.

## 1.2 COMPOSICION DEL AIRE

El aire es una mezcla muy compleja, desde el punto de vista físico, es un gas incoloro, inodoro, insípido, tan fácil de licuar como el Oxígeno y Nitrógeno. A 0°C y a la presión de 760mm de Hg, es 773 veces más ligero que el agua; en estas condiciones, el peso específico del aire es 0.0012932 gr/cm<sup>3</sup>.

El calor específico del aire seco a presión constante es 0.23741 cal/gr°C respecto al agua.

El gas que se encuentra en mayor proporción en el aire es el Nitrógeno molecular, que constituye sus dos terceras partes aproximadamente, existe una molécula de Oxígeno por cada cuatro de Nitrógeno.

Además de estos gases puede hallarse vapor de agua e impurezas tales como partículas de polvo o microorganismos en suspensión.

### 1.2.1 COMPONENTES DEL AIRE

Componente	%
Nitrógeno	78.084
Oxígeno	20.946
Argón	0.934
Neón	0.0018
Helio	0.000524
Metano	0.0002
Kriptón	0.000114
Hidrógeno	0.00005
Protóxido de Nitrógeno	0.00005
Xenón	0.0000087

( Porcentaje en volumen )



## 1.3 APLICACIONES INDUSTRIALES

La aplicación del aire comprimido cubre áreas tan diversas como las cimentaciones bajo el agua, la renovación de ambientes cerrados o subterráneos y la ventilación de grandes locales, la impulsión de máquinas y herramientas tales como martillos neumáticos o taladradoras

Debemos hacer notar que por ser muy numerosas las aplicaciones del aire hemos procurado citar a continuación las principales clasificaciones según el modo de empleo, a saber en: aire calentado, aire enfriado, aire enrarecido, aire comprimido y aire en movimiento.

### 1.3.1 PRINCIPALES APLICACIONES INDUSTRIALES DEL AIRE

#### AIRE EN MOVIMIENTO

Abanicos, ventiladores, hélices aéreas, molinos de viento y velas.

Teniendo en cuenta que en este trabajo se hará énfasis en el uso del aire en movimiento específicamente en ventiladores.

# CAPÍTULO 2

## MEDICIÓN DE FLUJO

### 2.1 Medición de flujo de aire

La cantidad de aire que pasa por un ducto puede medirse instalando orificios o toberas en las que se desarrolla una diferencia de presión que se puede medir.

Un fluido en un ducto ejerce la presión estática en todas las direcciones y si el fluido está en movimiento también ejerce una presión debida a la velocidad.

Como auxiliar en mediciones de aire en instalaciones donde no es factible el uso de orificios o toberas, puede emplearse un tubo pitot de impacto.

En el siguiente esquema se muestra las conexiones para determinar las presiones del interior de la canalización sobre la presión atmosférica.

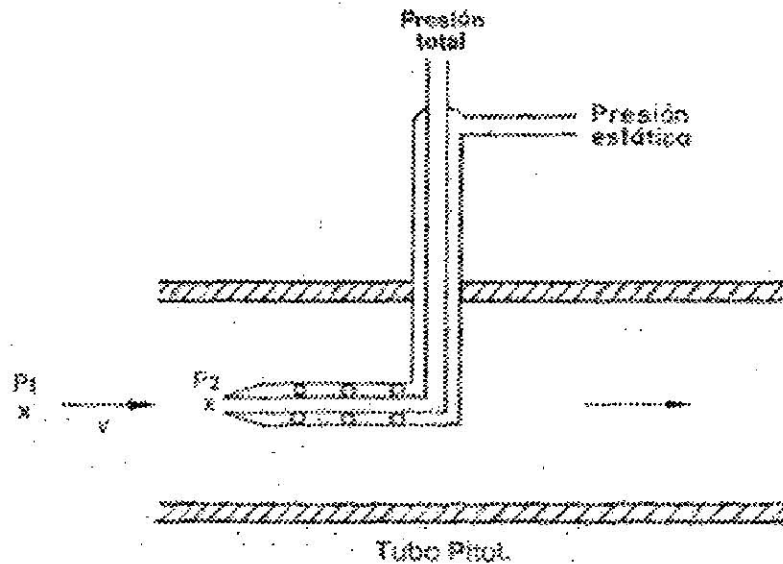


Figura 2.1.1 Esquema de un tubo pitot

Siendo este sistema de medición uno de los más prácticos debido a la facilidad en su uso, ya que las mediciones se realizarán en diseños ya existentes de ductos en las diferentes aplicaciones como pueden ser industriales o de confort.

Por lo tanto este trabajo se ha enfocado a que sea de un conocimiento más común o práctico la utilización de este instrumento de medición, ya que por su versatilidad será de gran apoyo para la medición de la eficiencia de los ductos ya que por lo general sufren modificaciones no registradas lo que ocasiona bajas o disminuciones en el rendimiento del sistema.

## 2.2 Generalidades del tubo pitot

Medidor primario tipo pitot está compuesto básicamente de dos tubos, uno de los cuales capta la carga de impacto o alta presión, mejor dicho suma la carga dinámica y carga de presión y el otro tubo capta la carga de presión o baja presión. De la diferencia entre la carga de impacto y la carga de presión se obtiene la carga dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo en movimiento.

El tubo pitot se coloca en el ducto en el que se va a medir el flujo, y tiene dos tomas de presión:

- La toma número 1 mide la presión dinámica (tomada directamente en contra del flujo)
- La toma número 2 mide la presión estática (toma en ángulo recto con el flujo)

Las dos tomas se conectan a un medidor del tipo diferencial el cual convierte esta cantidad de flujo.

El tubo pitot es de fácil instalación y se utiliza en ductos de gran tamaño, normalmente se calcula su diseño para la aplicación específica que se va utilizar.

Comparado con otros elementos primarios de medición para ducterías grandes, es económico y a medida que el ducto disminuye su tamaño el tubo pitot aumenta su costo.

En la siguiente figura se muestra el tubo pitot utilizado para las mediciones en el banco neumático prototipo.

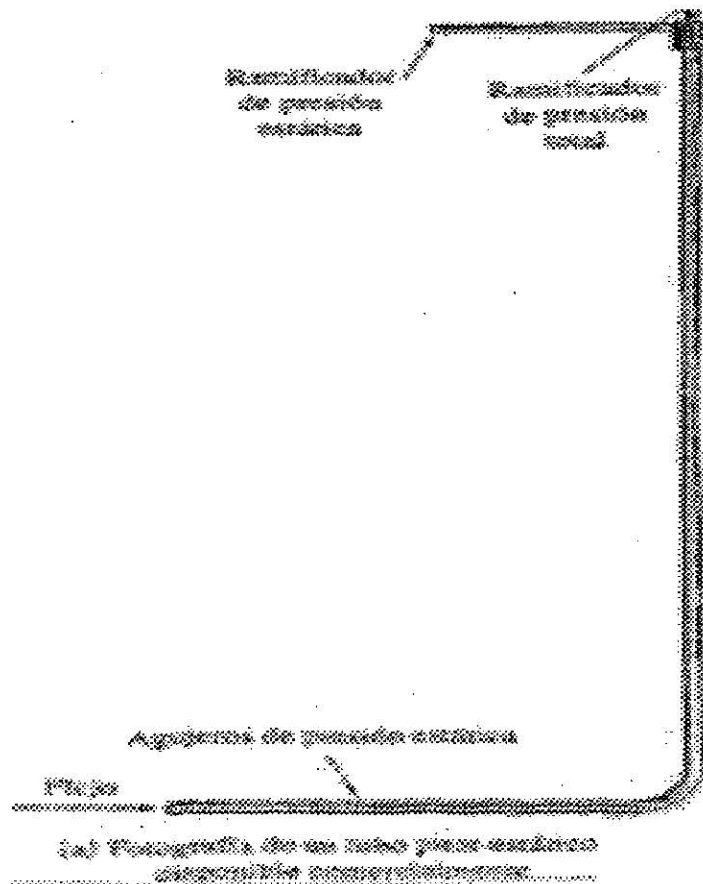


Figura 2.2.1 tubo pitot

Quedando claro que el tubo pitot mide solamente el flujo de impacto entre la presión dinámica y estática, por que es conveniente usarlo en donde la velocidad de flujo es uniforme pudiéndose medir la velocidad promedio de flujo, sacando de esta manera el flujo total.

El tubo pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo sea esencial que el flujo sea laminar ( Entendiéndose flujo laminar como fluido que fluye en laminas o capas ) disponiendo en un tramo recto de tubería. La máxima exactitud en la medida se consigue efectuando varias lecturas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las velocidades tomadas, como se demostrará en el siguiente capítulo.

Hablaremos que la precisión del tubo pitot es baja, del orden de 1.5 %, y se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de fluidos limpios con una baja perdida de carga [2].

### 2.3 Uso del tubo pitot

El tubo pitot tiene una aplicación algo limitada en líneas de los tamaños mayores en donde el costo de instalación de una boquilla de flujo que se haría necesaria debido a la alta velocidad sería exorbitante. También se usa para altas velocidades en donde la presión estática es baja, pues el tubo pitot no introduce ninguna pérdida de presión.

Otra ventaja que se puede referir es que puede instalarse fácilmente en donde la línea ya esta en operación y que sería imposible cortar la línea para instalar una placa de orificio de boquilla de flujo.

Las entradas del tubo pitot son bastante pequeñas y se tapan fácilmente si el tubo se utiliza en gases o líquidos sucios.

A continuación se ilustrara lo antes dicho sobre la ventaja del uso del tubo pitot en sistemas ya en operación

## 2.4 Ejemplo de aplicación



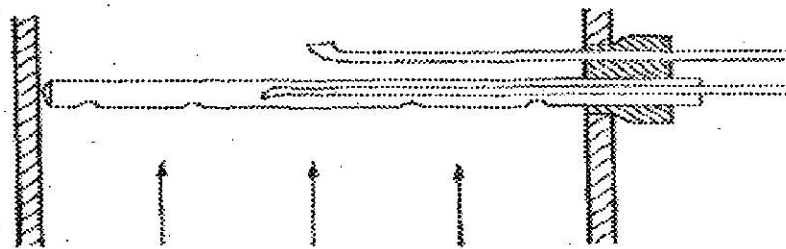
Figura 2.4.1 Aplicación del tubo pitot

El sistema consta del tubo pitot, que parecerá un simple tubo metálico puesto en el exterior de la nave, encargado de realizar la toma de aire que luego será conducido hacia los puertos estáticos, dónde previamente se le mide la velocidad por medio de un anemómetro y ya en los puertos, la presión por el altímetro y el barómetro.



## 2.5 Adecuaciones de tubo pitot

A continuación se presentan solo por motivos demostrativos varias figuras de diferentes tubos pitot que fueron diseñados según sus aplicaciones quedando claro su versatilidad.



Tubo Annubar.

Figura 2.5.1 Tubo Annubar

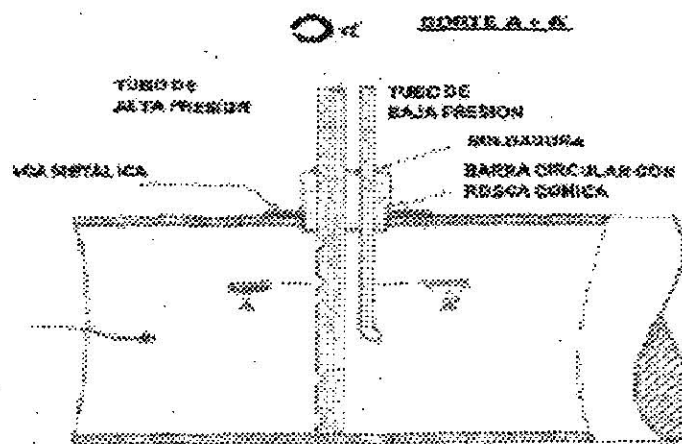


Figura 2.5.2 Tubo Tipo B

2.6 Ventajas del medidor con tubo tipo D

Las ventajas del uso y construcción del sistema primario de presión son:

- Desarrollo de un medidor primario con tecnología precisa
- Económico y preciso
- Instalación y calibración
- Bajo mantenimiento
- Precisión aceptable

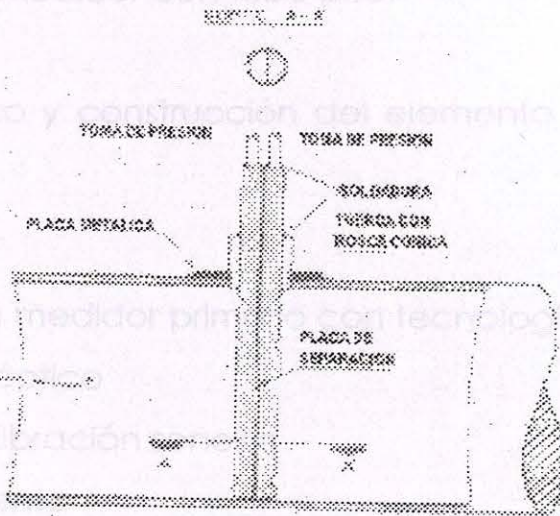


Figura 2.5.4 Tubo Tipo D

2.7 Anemómetro

El anemómetro se ilustra en la siguiente figura:

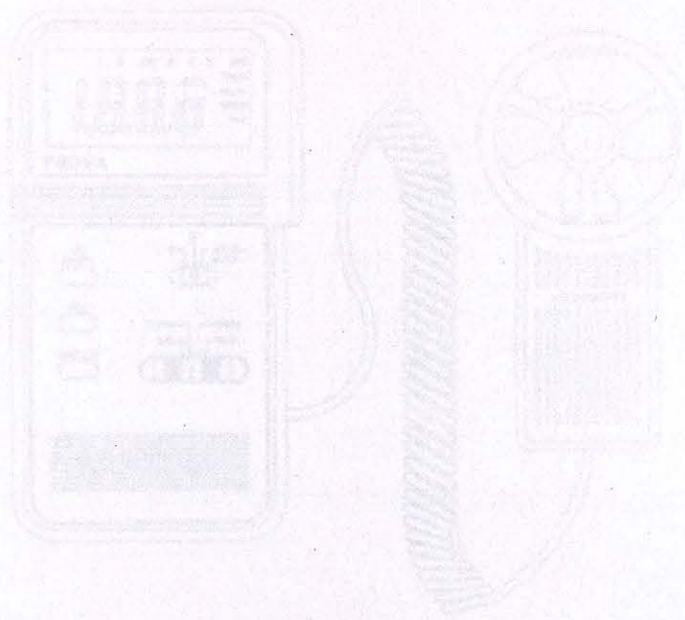


Fig. 2.7.1 Anemómetro

## 2.6 Ventajas del medidor con tubo pitot

Las ventajas del uso y construcción del elemento primario tipo pitot son:

- Desarrollo de un medidor primario con tecnología propia
- Económico y práctico
- Instalación y calibración sencilla
- Bajo mantenimiento
- Precisión aceptable

## 2.7 Anemómetro

El anemómetro se ilustra en la siguiente figura:

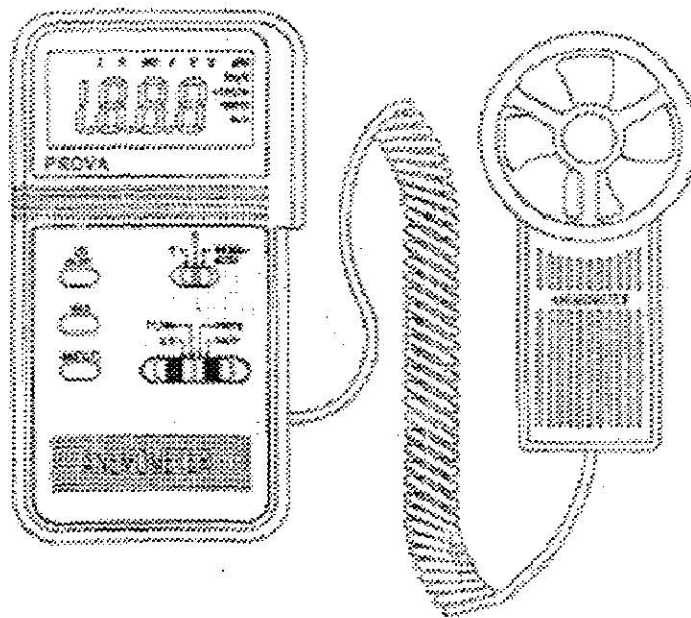


Fig. 2.7.1 Anemómetro

Puede usarse para determinar la velocidad del aire en ductos o en rejillas de salida. Un anemómetro contiene una rueda de viento en miniatura, la cual gira sobre rodamientos que tienen muy poca fricción, haciéndola girar.

Teniendo a continuación la forma de uso del anemómetro:

1. Presione el botón de encendido
2. Se selecciona la función del anemómetro moviendo el interruptor de dicha función.
3. Seleccione el sistema de unidades deseadas moviendo el interruptor de esta función.
4. Determine en que dirección se dirige el flujo
5. Sostenga el anemómetro para que el flujo de aire atraviese como indica la flecha en el aparato.
6. Espere 4 segundos hasta que se estabilice la lectura, para tener resultados más exactos.

Para medir el volumen de aire a través de rejillas de suministro, la superficie de la rejilla deberá de dividirse en áreas de aproximadamente seis pulgadas cuadradas. Tendrá que emplearse un anemómetro de cuatro pulgadas y deberá de tenerse muy próximo (o contra) las rejillas con la carátula mirando hacia el operador se utilizara el promedio de las lecturas de cada una de las áreas consideradas tendrán que tomarse para cada área lecturas de duración no menor que medio minuto [3].

Entonces:

$$\text{Pies}^3/\text{min.} = CV(A+a/2)$$

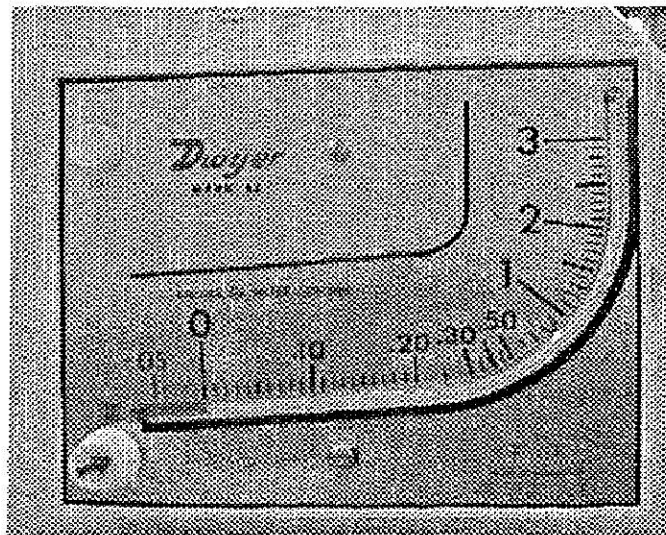
V= velocidad promedio de las velocidades obtenidas en anemómetro en pies/min;

A = área total de la rejilla en pies cuadrados;

a = área neta de la rejilla en pies cuadrados;

C = factor de flujo determinado por experimentación (0.97 para vel. De 150 a 600 pies/min y 1.0 para vel. Mayores de 600 pies/min)

2.8 Método de medición de presión de velocidad del aire con manómetro en conductos.



### 2.8.1 Manómetro diferencial

El tubo pitot seleccionado para esta aplicación con manómetro, se asegura con la punta bien dirigida hacia la corriente de aire. Conecte el tubo doble a los conectores "Alta y Baja", de modo que el conector "Baja" quede en ángulo recto del tubo pitot y el otro en "Alta".

La velocidad leída es la máxima, correspondiente al centro del conducto. Para calcular la velocidad promedio multiplique por 0.9 esta velocidad corresponde al aire seco a 21°C a una presión de 760mmhg y de una densidad de 0.075 [5].

Para otras condiciones debe aplicar factores de corrección de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{Velocidad del aire} = 1096.2 * \sqrt{Pv/D}$$

Donde:

Pv = presión por velocidad en pulg. de columna de agua

D = densidad del aire en lbs/pie<sup>3</sup>.

$$\text{Densidad del aire} = 1.325 * (pv/T)$$

T = Temperatura Absoluta ( °F + 460)°R

En el capítulo de resultados y discusiones se vera el desarrollo de lo anteriormente mencionado.

# CAPÍTULO 3

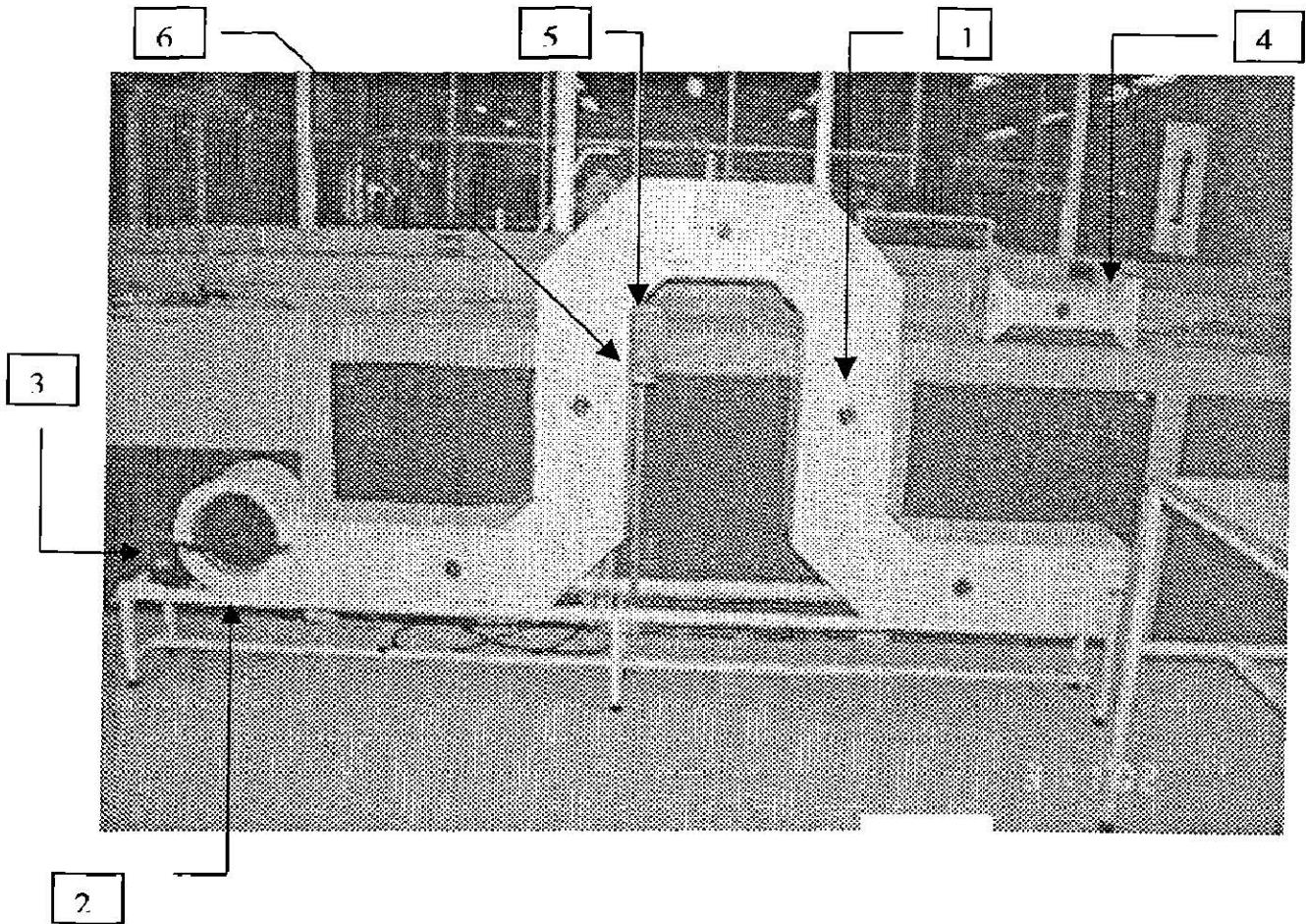
## DESCRIPCIÓN DE BANCO NEUMÁTICO PROTOTIPO

### 3.1 Descripción de banco

En este trabajo se le ha llamado " banco neumático prototipo " en referencia a un ducto de aire con una forma preestablecida solamente para diferenciarlo de otros que existen en el laboratorio de mecánica de fluidos. El ducto fue fabricado con lámina de calibre de 1/64" (0.016") de espesor, se montó en una base fabricada de PTR de 1" . El banco utiliza como fluido principal aire, por medio de un ventilador tipo centrífugo con impulsor de jaula de ardilla de 9 pulg. de diámetro con capacidad de suministrar un caudal máximo 451.63 pie<sup>3</sup> /min. Conectado mediante una transmisión por bandas, cuenta con un motor que puede operar a 1700 rpm En alta y 1100 rpm en baja, mediante el interruptor de tres posiciones, como instrumento de medición se le instaló un manómetro diferencial.

En el ducto se opto por utilizar un ventilador centrífugo debido a que son ampliamente usados, son del tipo más versátil y puede mover grandes o pequeñas cantidades de aire a una gama muy grande de presiones. Este consiste de un rotor o rueda montada en una cubierta tipo caracol. La rueda puede girar de modo directo o más comúnmente por un motor y empleando bandas y poleas.

La rueda del ventilador una de las cuales puede verse en la figura 3.2.1 puede estar construida como en este caso con paletas con curvatura hacia delante. Para la cubierta del ventilador se empleo lamina de calibre de 1/64". Cuenta con una tobera como accesorio.

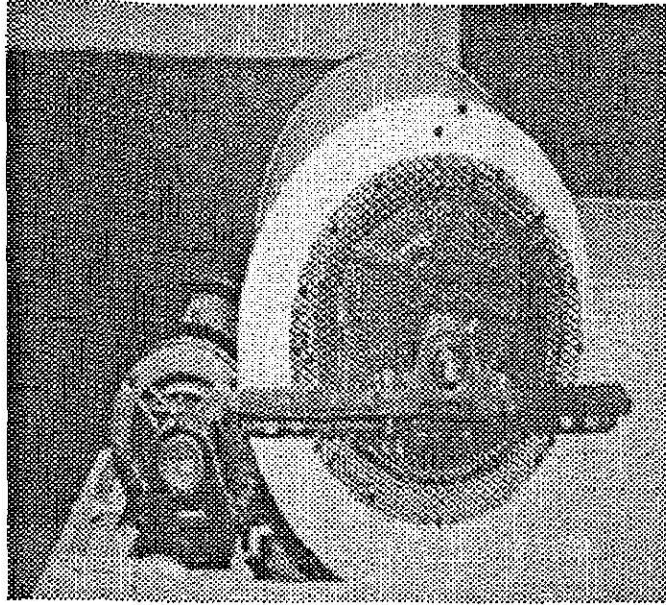


3.1.1 Vista frontal de banco

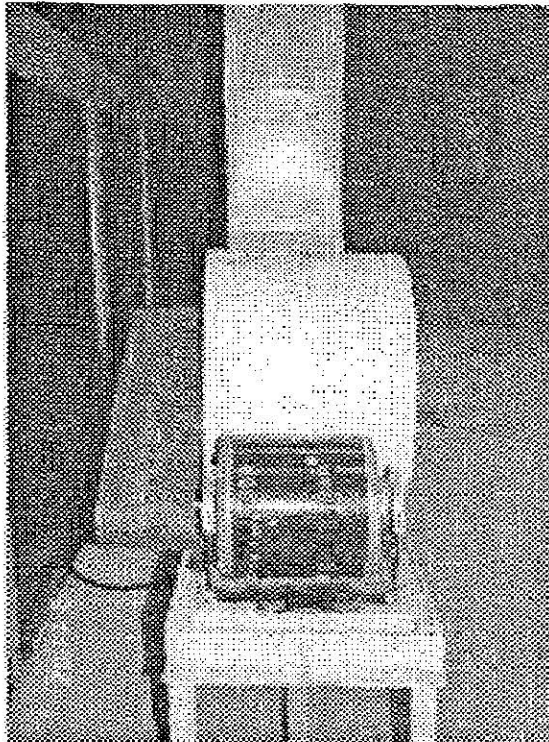
Descripción de partes principales del ducto

- 1.- Puerto de muestreo
- 2.- Ventilador centrífugo
- 3.- Motor
- 4.- Tobera
- 5.- Interruptor de cuchillas
- 6.- Interruptor de arranque de tres posiciones

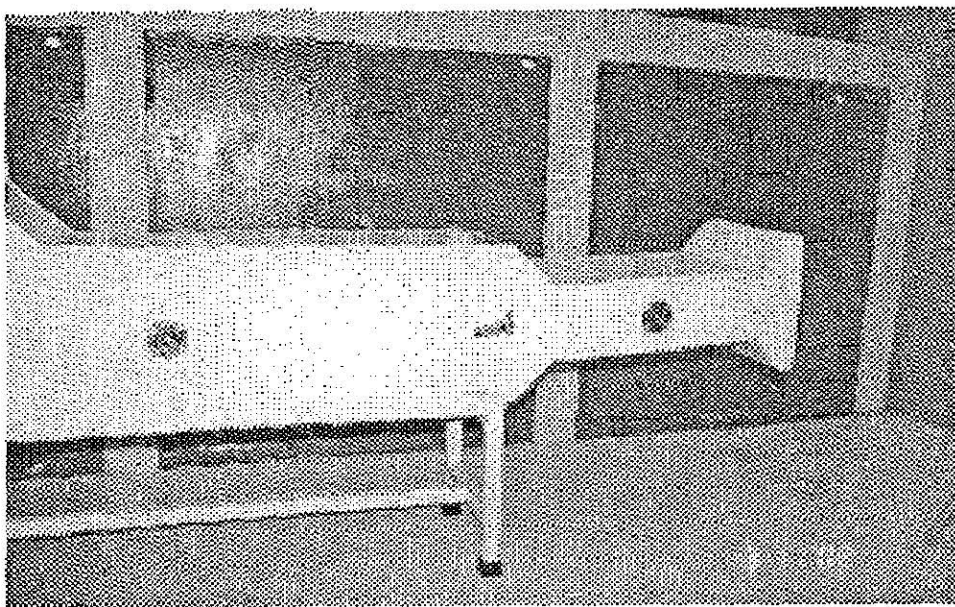




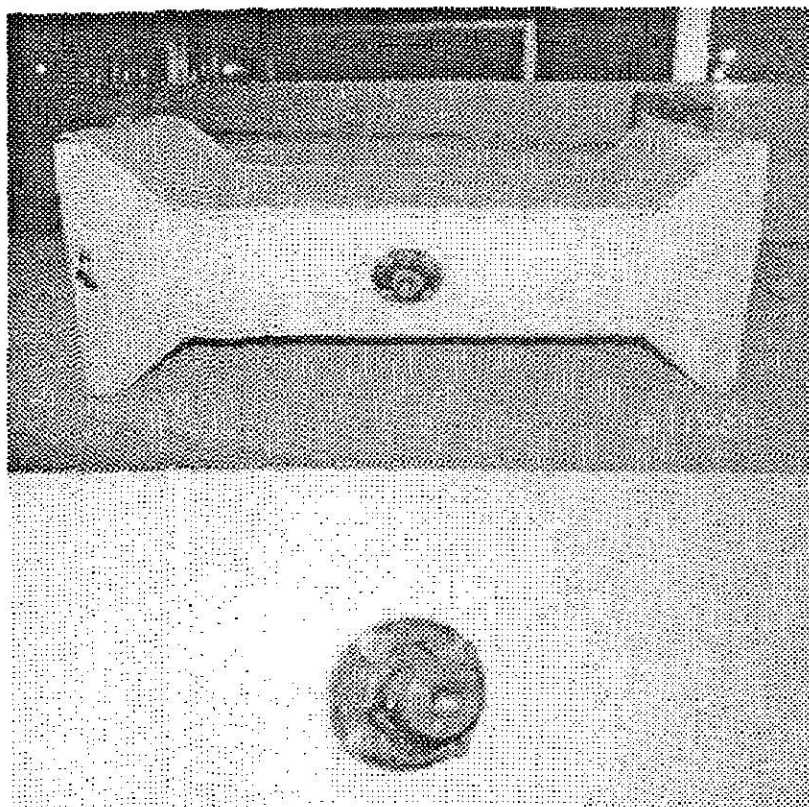
3.1.2 Equipo motriz



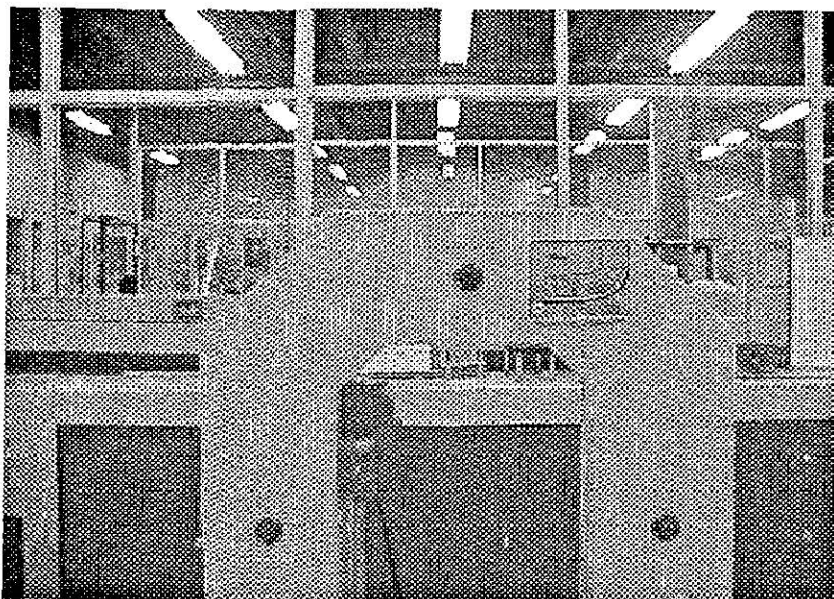
3.1.3 Vista posterior de banco



3.1.4 Sección con tobera



3.1.5 Puerto de muestreo



3.1.6 Banco con manómetro

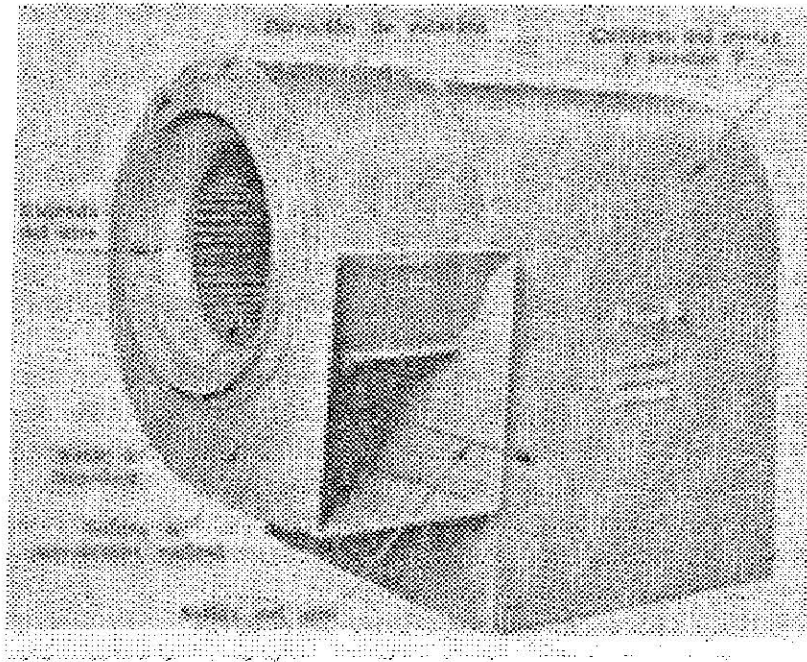


Figura 3.2.1 Ventilador centrífugo

### 3.2 Procedimiento general para la utilización de banco.

El objetivo es tratar de evaluar el comportamiento de la presión a través del ducto y calcular su velocidad y cantidad de flujo de aire que mueve el aparato.

1. Conectar el equipo a la fuente de 110v
2. Colocar en posición de encendido el interruptor de cuchillas
3. Encender el equipo motriz con el interruptor de tres posiciones
4. Se debe esperar a que el sistema se estabilice un minuto
5. Se deberá de observar que el manómetro de presión se encuentre posicionado en cero

6. Se podrá utilizar el tubo pitot en la determinación de presiones de velocidades en la sección transversal, para ello se tomaran las presiones en cada punto; se retirara el tapón del punto a medir y se colocara el tubo pitot direccionando el orificio de alta presión contra el flujo.

### 3.3 Uso del manómetro diferencial en banco neumático prototipo

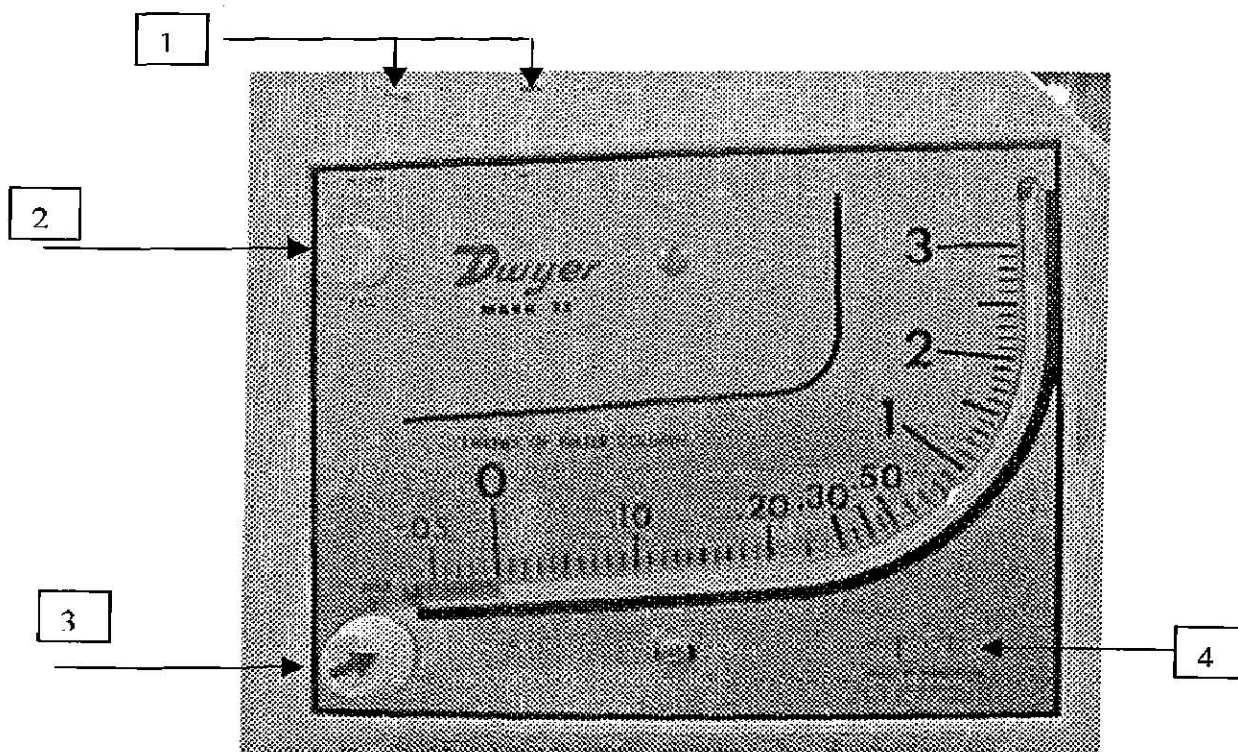


Figura 3.4.1 Manómetro diferencial.

#### Descripción de partes de manómetro diferencial

- 1.- Conductos de medición " Alta y Baja "
- 2.- Tapón de llenado
- 3.- Perilla de ajuste
- 4.- Nivel de gota

## Especificaciones de manómetro diferencial

Dimensiones aproximadas: ancho: 180mm

Alto: 149mm

Profundidad: 28.5/57mm

El medidor incluye un tubo doble de plástico flexible de 1.50 mts. de longitud.

## Instrucciones de montaje

Colocar el manómetro sobre una superficie vertical. El lugar de instalación no debe de ser expuesto a atmósfera agresiva, cargada de clorados o solventes.

Se recomienda su empleo hasta una presión de 700 Pa y una temperatura ambiente de 60°C.

Para el montaje, se deben efectuar dos agujeros de 1/8" sobre una línea vertical, a una distancia entre centros de 100mm.

Instalar el instrumento fijándolo suavemente con los tornillos provistos; orientar el instrumento de forma que la burbuja de nivel este exactamente centrada, luego ajustar los tornillos fijando la posición.

## Llenado

Girar la perilla del punto cero en sentido de las agujas del reloj, hasta su tope, entonces girar aproximadamente tres vueltas completas en sentido contrario, allí estará en posición de efectuar, posteriores ajustes en ambos Sentidos. Quitar el tapón de llenado y verter el fluido específico de marca dwyer (color rojo), de peso específico  $0.826\text{gr/cm}^3$ .

Empleando la perilla de ajuste del punto cero ubicar ahora el mecanismo de la columna líquida en lectura cero.

Colocar el tapón de llenado

Si se coloca demasiado líquido y no alcanza el ajuste para llevar la columna a cero, insertar una pipeta limpia a través del orificio de llenado y succionar el exceso.

Mantenimiento

Observar periódicamente el nivel de líquido en reposo y reajustar o adicionar de ser necesario.

Para la limpieza del instrumento utilizar un paño suave y jabón neutro con agua.

Si accidentalmente pasara líquido a los conductos de medición desconectarlos y sopletearlos.

### 3.4 ESTUDIOS PROPUESTOS

En este banco neumático el usuario podrá afianzar los siguientes conceptos:

- Análisis de flujo compresibles
- Medición de presión
- Distribuciones de presiones en la sección transversal de un ducto
- Otros, a juicio del investigador.



# CAPÍTULO 4

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Introducción

En este trabajo se diseñó un ducto que sirvió para hacer mediciones con un tubo pitot asemejando las condiciones que se encontrarán en sistemas de ductos reales pero a nivel laboratorio entiéndase eso como que todas condiciones para el estudio se consideran como ideales en el principio.

Se analizaron las mediciones de presión y velocidad en el banco neumático prototipo el cual cuenta con seis puertos de muestreo, con los datos que arroje el banco se hará un análisis de la velocidad promedio y presión y explicaremos los resultados obtenidos teórica y prácticamente.

#### 4.1 Mediciones de presión en el ducto

Se consideró que la velocidad de la corriente de aire varía entre los diferentes puntos de la sección transversal del ducto, de tal modo que deberán hacerse diferentes mediciones transversales a fin de obtener la presión de velocidad promedio.

Esto se puede hacer dividiendo la sección transversal del ducto en una serie de áreas imaginarias de igual tamaño para determinar la presión de velocidad en el centro efectivo de cada división. El promedio de las lecturas así obtenidas dará un valor con el cual se podrá obtener la presión de velocidad promedio en el ducto.

Se tomara la lectura, con el manómetro, a través del tubo pitot, Teniendo en el banco prototipo una sección de 10 pulg. \* 10 pulg. El punto de medición del área uno se encontrara a una distancia de 1.5 pulg. A partir de la entrada del puerto y a 4.5 pulg. ,7.5 pulg. respectivamente, como se muestra en la figura 4.1.1. Todo esto con el fin de tener mayor precisión en las lecturas [3].

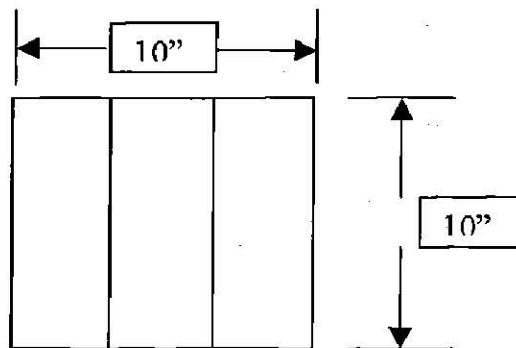
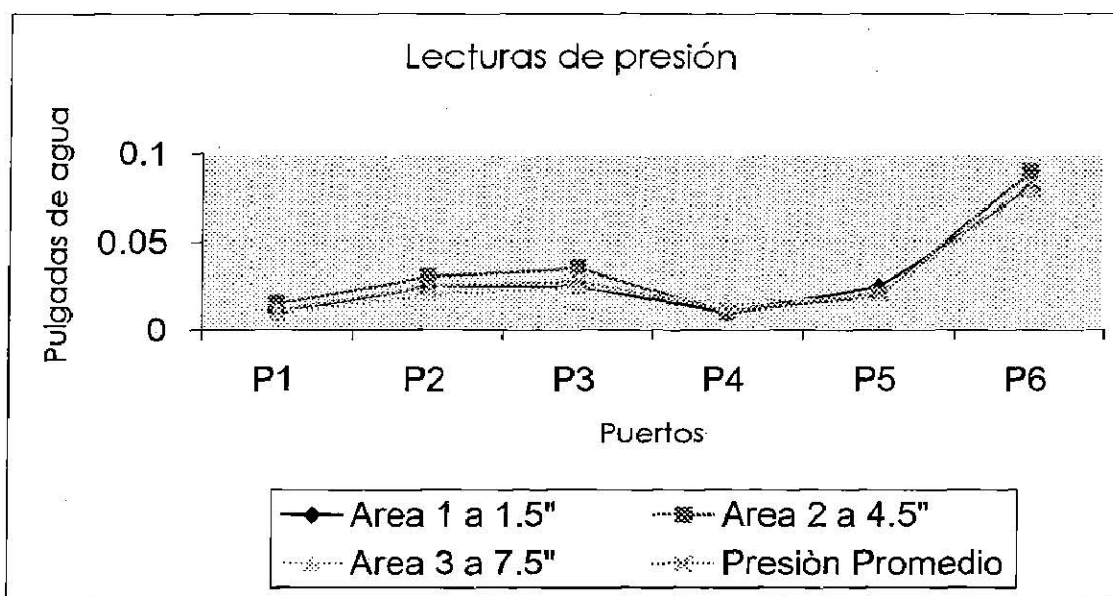


Fig. 4.1.1 División de áreas imaginarias

A continuación se presenta la tabla de lecturas que se obtuvo y están dadas en pulgadas de agua:

Puerto	Área 1 a 1.5"	Área 2 a 4.5"	Área 3 a 7.5"	Presión Promedio
P1	0.01	0.015	0.01	0.011
P2	0.025	0.03	0.02	0.025
P3	0.025	0.035	0.025	0.028
P4	0.01	0.01	0.015	0.011
P5	0.025	0.02	0.02	0.021
P6	0.08	0.09	0.08	0.083

Tabla 4.1.1 Lecturas de presión



4.1.2 Gráfica de lecturas

La grafica anterior demuestra el comportamiento de la presión a través de la sección transversal. Observando que en el puerto 4 hubo una disminución de presión debida a que ya venció la altura de las secciones anteriores y está al mismo nivel del puerto uno es por eso de la disminución en la presión.

Se calculó la presión promedio del ducto con los seis puertos de muestreo :

$$P \text{ promedio} = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) / 6$$

$$P \text{ promedio} = (0.011 + 0.025 + 0.028 + 0.011 + 0.021 + 0.083) / 6$$

$$P \text{ promedio} = 0.0298 \text{ pulgadas de agua}$$

La presión manométrica en el ducto, generalmente se le mide en pulgada de agua. La ecuación  $V = \sqrt{2g h}$ , en la cual h está expresada en pies equivalentes para el fluido que esta circulando, debe de ponerse en pulgadas de agua por la siguiente ecuación de :

$h_a * d_a = h/12 (d_w)$ , quedando claro que las presiones de aire, estáticas y de velocidad en lugar de expresarlas en pies de aire comúnmente son cambiadas a unidades de pulgadas de agua la transformación puede hacerse mediante la relación  $h_1 d_1 = h_2 d_2$ .

Se hizo posible gracias a esto desarrollar la relación de la ecuación 4.1

$$V = \sqrt{2g (hvdw/12da)} = 2.31 \sqrt{hv (dw/da)}$$

Donde :

V = velocidad del fluido, en pies por minuto

g = 32.2 pies/seg<sup>2</sup> es la constante de la gravedad

hv = presión de velocidad obtenida en el manómetro, en pulgadas de agua.

dw = masa específica del fluido que se usa para medir.

$d_a$  = masa específica del aire o fluido en movimiento en el ducto, en libras por pie cúbico.

Se pudo calcular la velocidad en cada uno de los seis puertos y obtener el promedio de dichos resultados, pero es más fácil e igualmente exacto obtener el promedio de las raíces cuadradas de las presiones de velocidad [ 3].

Se comenzó con:

Sustitución de presiones de velocidad:

$$\sqrt{h_v} = (\sqrt{0.011} + \sqrt{0.025} + \sqrt{0.028} + \sqrt{0.011} + \sqrt{0.021} + \sqrt{0.083}) / 6$$

resultado:

$$\sqrt{h_v} = 0.1613 \text{ pulgadas de agua}$$

Teniendo en cuenta las condiciones actuales en el momento en las que se hicieron las mediciones se obtuvo:

Temperatura 74° F

Presión barométrica 724 mmHg

Según Burgess H. Jennins [3] calculando el peso de 1 pie<sup>3</sup> de aire seco por  $PV = W RT$  y sumando el peso del vapor de agua en 1 pie<sup>3</sup>, se observa que  $d_a = 0.0736 \text{ lb/pie}^3$  y  $d_u = 62.3 \text{ lb/pie}^3$  Por la Ec. 4.1 ahora sustituyendo valores quedaría así:

$$V = 2.31 \sqrt{h_v} (d_u/d_a) = 2.31 (0.1613) \sqrt{62.3/0.0736} = 10.84 \text{ pies/seg.}$$

$$V = 10.84 \text{ pies/seg} (1 \text{ m}/3.2808 \text{ pies}) = 3.3 \text{ m/seg}$$

Dentro de las mediciones de presión obtenidas anteriormente se justifica la anterior fórmula donde indica que la lectura que se da por el tubo pitot es conocida como  $h_v$  y es la suma de la presión estática y la presión equivalente de velocidad se le llama presión de impacto o presión total [ 3].

Para obtener el flujo total:

Se calculó el área del ducto con la sección de  $10'' \times 10'' = 100\text{pulg.}^2$

$$\text{Área del ducto} = 100\text{pulg.}^2 \left( \frac{1 \text{ pie}^2}{144 \text{ pulg.}^2} \right) = 0.6944 \text{ pie}^2$$

$$q = \text{área ducto (pie}^2) \times \text{pies/seg} \times 60$$

$$q = 0.6944 \text{ pie}^2 \times 10.84 \text{ pies/seg} \times 60$$

$$q = 451.63. \text{ pie}^3 / \text{min.}$$

#### 4.2 Desarrollo de teoría de anemómetro

Para la utilización de este instrumento se procederá a dividir la sección transversal en la salida del ducto en 15 áreas imaginarias de  $6 \text{ pulg.}^2$ . la cual es una recomendación de uso para tener un resultado mas exacto. Tendrá que emplearse un anemómetro de  $4''$  y deberá tenerse muy próximo a la salida del ducto, se utilizo el promedio de las lecturas de cada una de las áreas consideradas, se tubo que tomar para cada área lecturas de duración no menor que medio minuto, como se menciono en el Capítulo 3 y se mostrara en la siguiente distribución.

Distribución de áreas		
area 1	area 2	area 3
area 4	area 5	area 6
area 7	area 8	area 9
area 10	area 11	area 12
Area 13	area 14	area 15

Tabla 4.2.1 Distribución de áreas

Con la finalidad de comparar resultados de los diferentes aparatos de medición.

Teniendo como resultado de las mediciones en cada una de las áreas se obtuvieron las siguientes lecturas.

Lecturas de Velocidad en la salida del ducto

áreas de 6 pulg.	Velocidad m/s	
	sin tobera	con tobera
Area 1	2.5	2.7
Area 2	2.7	2.9
Area 3	2.8	2.3
Area 4	3.2	4.3
Area 5	3.1	4.8
Area 6	3.2	4.3
Area 7	3.3	4.8
Area 8	3.1	4.5
Area 9	3.2	4.5
Area 10	3.3	4.5
Area 11	3.3	4.6
Area 12	3.2	4.4
Area 13	2.9	1.2
Area 14	3.2	2.3
Area 15	2.9	1.4

Tabla 4.2.2 Lecturas de velocidad

Teniendo las presiones se calculó la velocidad de flujo en el sistema, y se comparó con la lectura del anemómetro.

Comparación de resultados teóricos y prácticos.

Lectura del anemómetro  $v = 3.4\text{m/seg.}$

velocidad teórica =  $3.3\text{ m/seg}$



Se concluye que las mediciones del tubo pitot tuvieron un pequeño margen de error lo que demuestra que las mediciones realizadas fueron de buenos resultados ya que solo tuvieron una diferencia de una décima con la lectura de anemómetro digital.

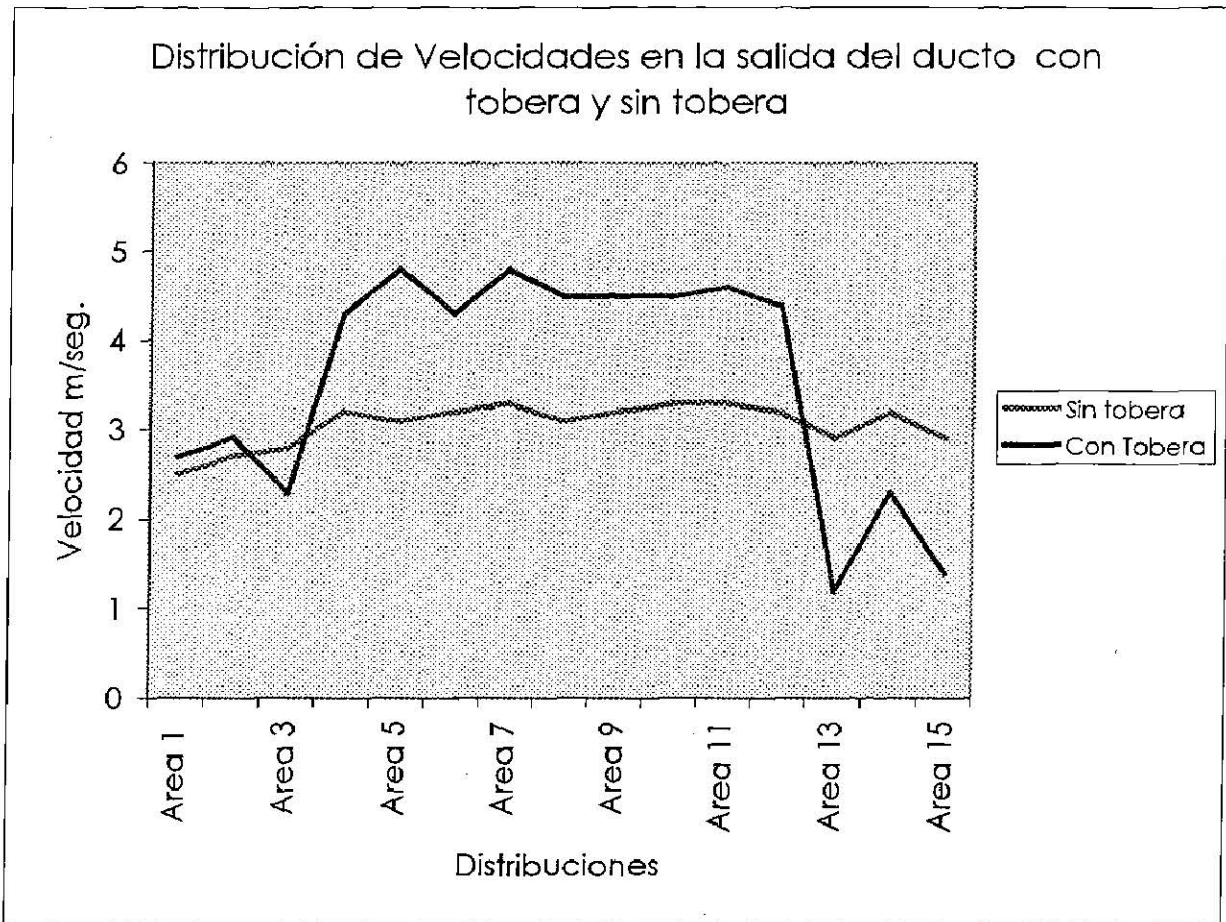
Se calculó la velocidad promedio con tobera y sin tobera.

Velocidad Prom.	m/seg
Sin tobera	3.06
Con tobera	3.57

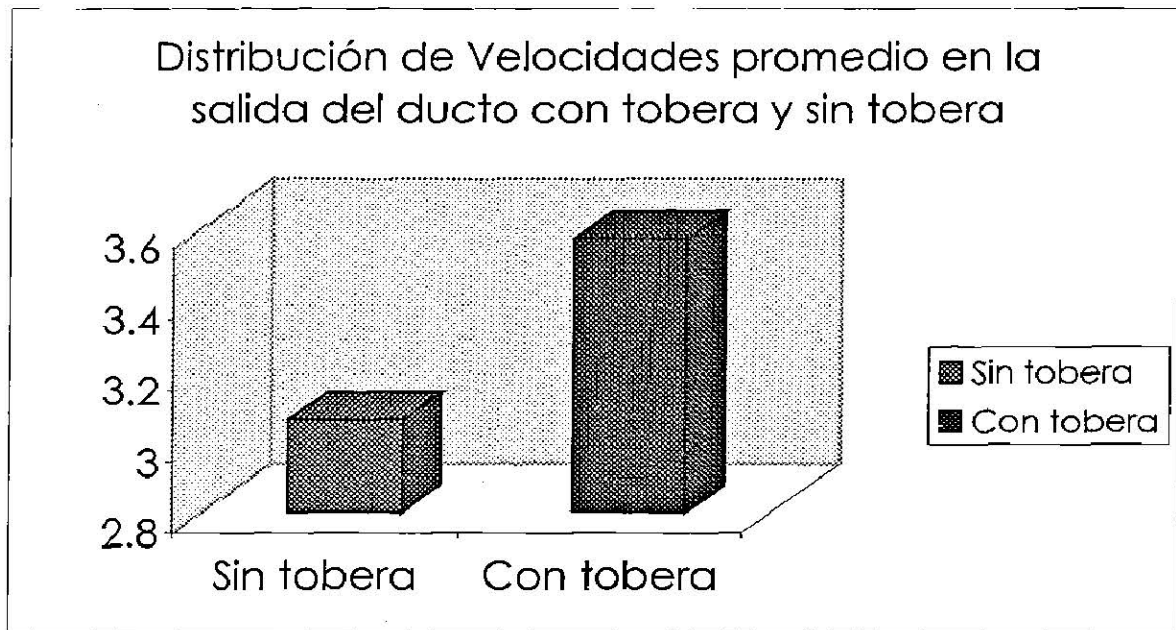
Tabla 4.2.3 Lecturas promedio de velocidad

Las mediciones con el accesorio refiriéndonos a la tobera, se realizaron con el objeto de simular las diferencias de áreas que se presentan en los diferentes sistemas ya sea en las industrias o edificios.

Se presenta un par de graficas comparativas de las areas para tener una mejor visión del comportamiento de la velocidad en el ducto.



4.2.4 Gráfica de comportamiento de la velocidad en la salida del ducto



4.2.5 Gráfica de velocidades promedio

Como conclusión final se puede decir que el banco neumático prototipo cumplió con la finalidad requerida de ser demostrativo para poder realizar estudios del aire en ductos y que puede ser de gran utilidad para estudios posteriores.

La ventaja que tiene sobre otros ductos existentes en el laboratorio es que los puertos de muestreo son laterales de fácil acceso por el frente, ocupa poco espacio y se puede modificar con solo añadir componentes nuevos en lugar de la tobera ya existente.

# PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN DUCTOS

Dos tipos de pérdida de energía en sistemas de ductos provocan que la presión disminuya a lo largo de la trayectoria del flujo. Las pérdidas por fricción se presentan a medida que el aire fluye a través de accesorios tales como T o Y y por medio de los dispositivos de control de flujo.

Para las pérdidas por fricción en ductos de aire se han preparado tablas por parte de la American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) para las condiciones típicas encontradas en el diseño de ductos.

Las figuras 19.2 y 19.3 muestran la pérdida por fricción ( $h$ ), como una función de la velocidad de flujo de volumen, con dos juegos de líneas diagonales que muestran el diámetro de ductos circulares y la velocidad del flujo.

En la tabla 19.2 muestra algunos resultados calculados utilizando la ecuación (19-1) de diámetros equivalentes circulares de ductos rectangulares.

$$D = 1.3 (a \cdot b)^{5.8} / (a + b)^{1.4} \quad \text{Ec. 19-1}$$

La tabla 19-3 se muestran ejemplos de factores de pérdida en accesorios de ductos y es conocido como coeficiente de pérdida dinámica ( C ).

La pérdida dinámica ( $H_L$ ) para un accesorio se calcula de :

$$H_L = C ( H_v )$$

Donde :

C = Coeficiente de pérdida de la tabla 19.3

$H_v$  = Presión de velocidad

Problema

Calcule la caída de presión esperada para cada sección del ducto y en cada accesorio. Después, calcule la caída de presión total. Utilice la figura 19.2 para estimar las pérdidas por fricción y la tabla 19.3 para los coeficientes de pérdida dinámica.

Solución : Primero trate por separado cada sección del ducto y cada accesorio.

Sección A  $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$

$$L = 21.5 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.79 \text{ pies}$$

$$V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1 min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado  $a = 10''$  y lado  $b = 10''$  obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 10.9''$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 10.9''$

$$h_L = 0.25 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$$

$$H_L = 0.25(1.79/100) = \underline{0.0044 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Para el codo 1 en la sección A que es de  $90^\circ$  liso y rectangular  
Consultando la tabla 19.3 obtenemos  $C = 0.18$

$$H_L = C (H_L \text{ Sección A}) = 0.18 ( 0.0044) = \underline{0.000792 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Sección B  $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$

$$L = 21.5 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.79 \text{ pies}$$

$$V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1 min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado  $a = 10''$  y lado  $b = 10''$  obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 10.9''$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 10.9''$

$$h_L = 0.25 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$$

$$H_L = 0.25(1.79/100) = \underline{0.0044 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Para el codo 2 en la sección A que es de  $90^\circ$  liso y rectangular  
Consultando la tabla 19.3 obtenemos  $C = 0.18$

$$H_L = C (H_L \text{ Sección B}) = 0.18 ( 0.0044) = \underline{0.000792 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Sección C             $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$   
                           $L = 20 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.66 \text{ pies}$   
                           $V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado  $a = 10''$  y lado  $b = 10''$  obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 10.9''$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 10.9''$

$h_L = 0.25 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$

$H_L = 0.25(1.66/100) = \underline{0.0041 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$

Para el codo 3 en la sección A que es de  $90^\circ$  liso y rectangular  
 Consultando la tabla 19.3 obtenemos  $C = 0.18$

$H_L = C (H_L \text{ Sección B}) = 0.18 ( 0.0041) = \underline{0.00075 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$

Sección D             $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$   
                           $L = 21.5 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.79 \text{ pies}$   
                           $V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado  $a = 10''$  y lado  $b = 10''$  obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 10.9''$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 10.9''$

$h_L = 0.25 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$

$H_L = 0.25(1.79/100) = \underline{0.0044 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$

Para el codo 4 en la sección A que es de  $90^\circ$  liso y rectangular  
 Consultando la tabla 19.3 obtenemos  $C = 0.18$

$H_L = C (H_L \text{ Sección B}) = 0.18 ( 0.0044) = \underline{0.000792 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$

Sección E             $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$   
                           $L = 21.5 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.79 \text{ pies}$   
                           $V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado a = 10" y lado b = 10" obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 10.9"$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 10.9"$

$$h_L = 0.25 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$$

$$H_L = 0.25(1.79/100) = \underline{0.0044 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Sección F             $Q = 451.63 \text{ pies}^3/\text{min.}$   
                           $L = 21.5 \text{ pulg. ( 1 pie/12 pulg. )} = 1.79 \text{ pies}$   
                           $V = 10.84 \text{ pies/seg. ( 60 seg./1min. )} = 650.4 \text{ pies/min.}$

Con tabla 19.2 con las dimensiones del ducto lado a = 10" y lado b = 6" obtenemos el diámetro equivalente circular  $D = 8.4"$

Con la figura 19.2 con el valor  $D = 8.4"$

$$h_L = 0.33 \text{ pulg. H}_2\text{O}/100 \text{ pies}$$

$$H_L = 0.33(1.79/100) = \underline{0.0059 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

Esto completa la evaluación de las caídas de presión a través de cualquier trayectoria desde la salida del ventilador hasta la salida del ducto.



La trayectoria total hasta la salida será la suma de todas las pérdidas en el ducto.

$$H_{L \text{ Total}} = H_{L \text{ Sección A}} + H_{L \text{ Codo 1}} + H_{L \text{ Sección B}} + H_{L \text{ Codo 2}} + H_{L \text{ Sección C}} + H_{L \text{ Codo 3}} + H_{L \text{ Sección D}} + H_{L \text{ Codo 4}} + H_{L \text{ Sección E}} + H_{L \text{ Sección F}}$$

$$H_{L \text{ Total}} = 0.0044 + 0.000792 + 0.0044 + 0.000792 + 0.0041 + 0.00075 + 0.0044 + 0.000792 + 0.0044 + 0.0059$$

$$H_{L \text{ Total}} = \underline{0.030726 \text{ pulg. H}_2\text{O}}$$

**TABLA 19.2** Diámetros equivalentes circulares de ductos rectangulares

Lado a (pulg)	Lado b (pulg)													
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
6	6,6													
8	7,6	8,7												
10	8,4	9,8	10,9											
12	9,1	10,7	12,0	13,1										
14	9,8	11,5	12,9	14,2	15,3									
16	10,4	12,2	13,7	15,1	16,4	17,5								
18	11,0	12,9	14,5	16,0	17,3	18,5	19,7							
20	11,5	13,5	15,2	16,8	18,2	19,5	20,7	21,9						
22	12,0	14,1	15,9	17,6	19,1	20,4	21,7	22,9	24,0					
24	12,4	14,6	16,5	18,3	19,9	21,3	22,7	23,9	25,1	26,2				
26	12,8	15,1	17,1	19,0	20,6	22,1	23,5	24,9	26,1	27,3	28,4			
28	13,2	15,6	17,7	19,6	21,3	22,9	24,4	25,8	27,1	28,3	29,5	30,6		
30	13,6	16,1	18,3	20,2	22,0	23,7	25,2	26,6	28,0	29,3	30,5	31,7	32,8	

Tabla 19.2 Diámetros equivalentes circulares de ductos rectangulares[2]

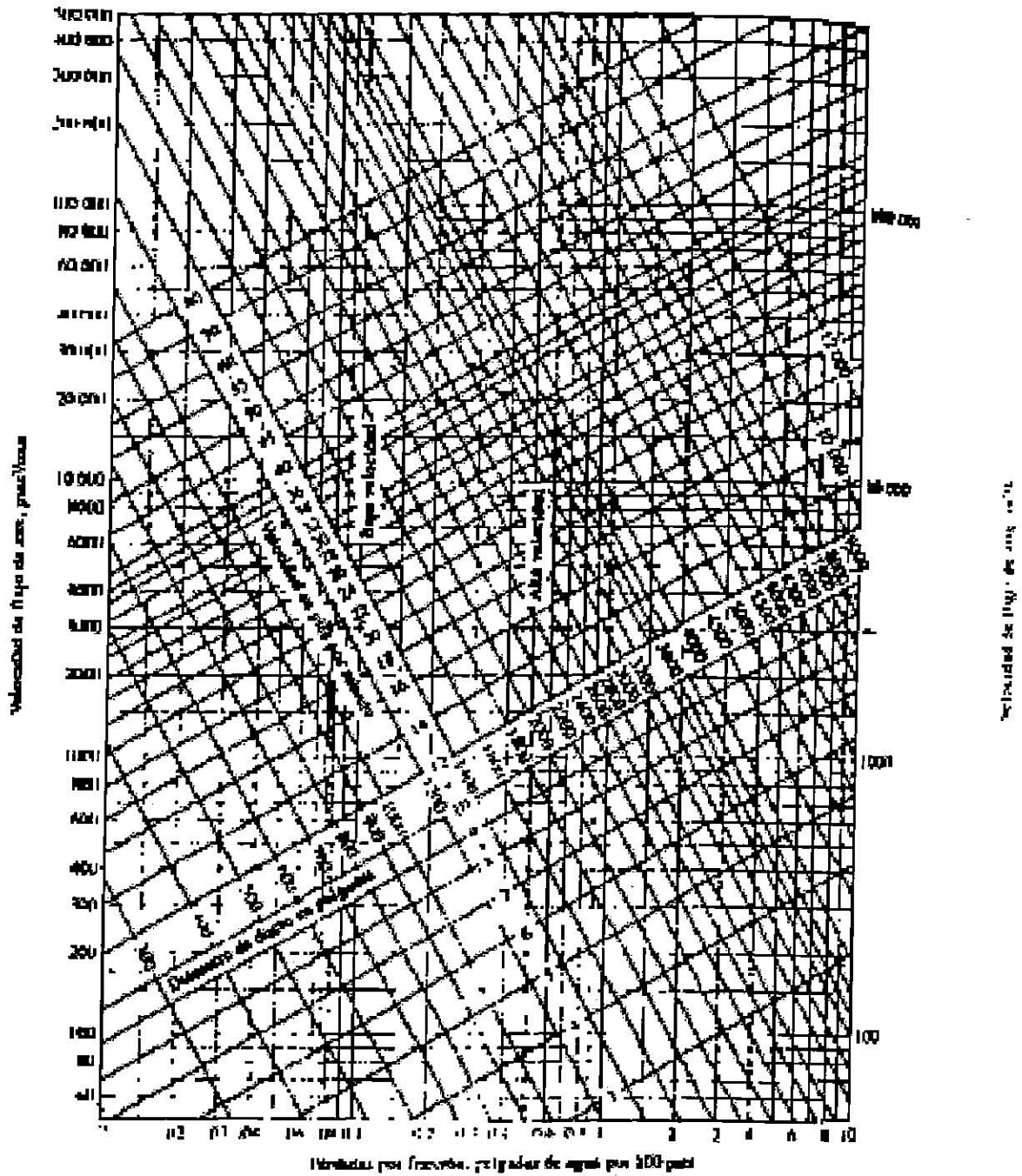


Figura 19.2 Pérdida por fricción en ductos. Sistema Británico de Unidades ( Reimpreso con permiso del manual ASHRAE 1981 Fundamentals[2].

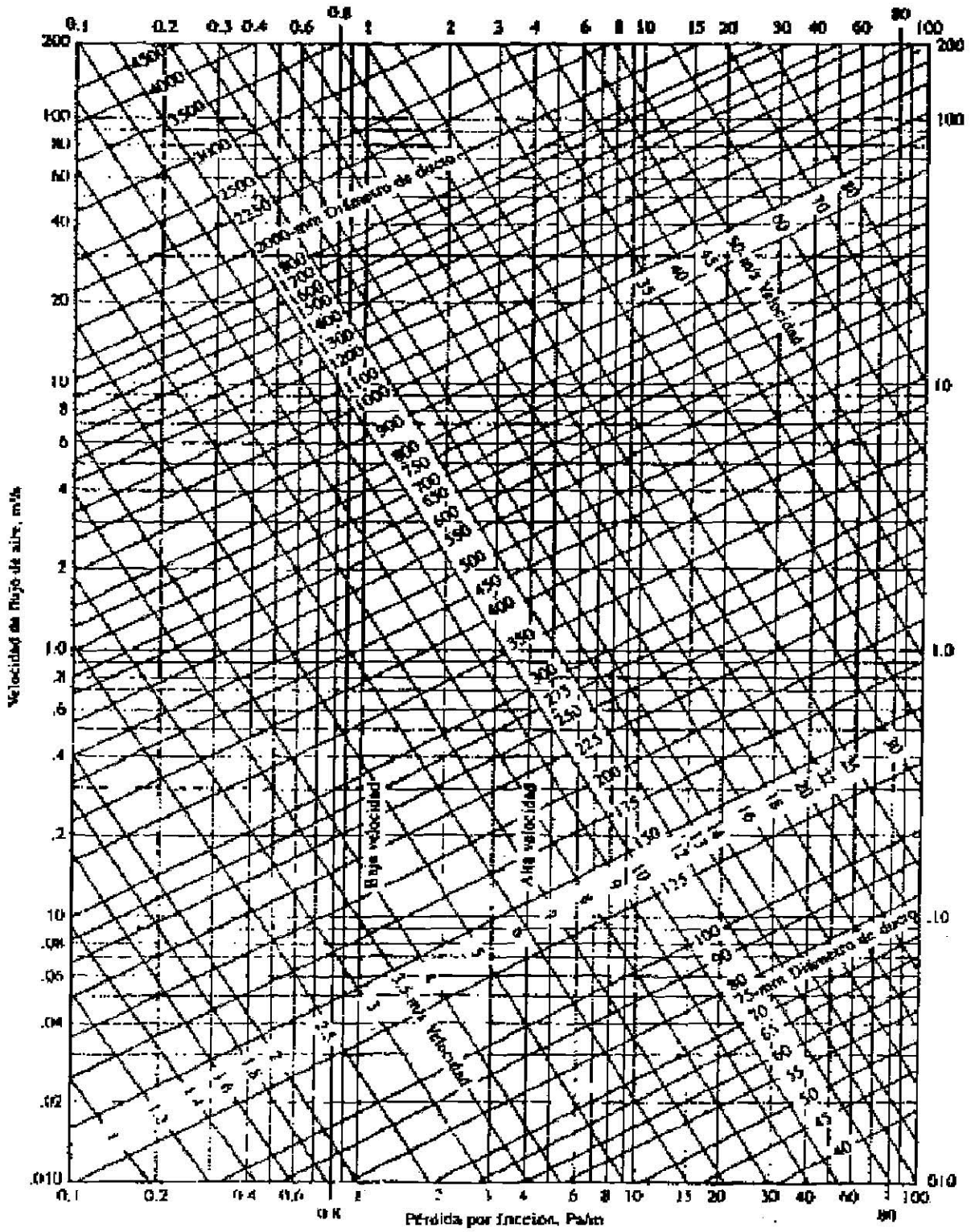


Figura 19.3 Pérdida por fricción en ductos. Unidades SI ( Reimpreso con permiso del manual ASHRAE 1981 Fundamentals[2].

Coeficiente de pérdida dinámica, C						
Codos a 90						
	Liso redondo					0,22
	5 piezas, redondo					0,33
	4 piezas, redondo					0,37
	3 piezas, redondo					0,42
	Puntiagudo, redondo					1,20
	Liso, rectangular					0,18
	T, rama					1,00
	T, flujo a través de la tubería principal					0,10
	Y simétrica					0,30
Amortiguador:						
Posición	0°	10°	20°	30°	40°	50°
	(completamente abierto)					
C	0,2	0,52	1,5	4,5	11	29
Rejilla de salida: Suponga que la caída total de presión a través de la rejilla es de 0.06 pulg H <sub>2</sub> O (15 Pa).						
Lumbreras de alimentación: Suponga que la caída de presión total a través de la lumbrera es de 0.07 pulg H <sub>2</sub> O (17 Pa).						

Tabla 19.3 Ejemplos de factores de pérdida en accesorios de ductos[2]

# CONCLUSIONES

Este trabajo sirvió para demostrar algunas de las formas en las que se pueden hacer estudios del comportamiento del aire en sistemas de ductos, sin embargo existen una gran variedad de modificaciones que se pueden hacer y se obtendrían mas datos acerca del comportamiento del aire a través de ductos.

Una recomendación sería por ejemplo adaptar una resistencia con forma de serpentín en el tramo recto después del ventilador obviamente con un buen aislante para transferirle calor al sistema y de esta forma ya no podríamos suponer condiciones ideales del aire, esto cambiaría notablemente el resultado en las mediciones así como en la forma de obtener los parámetros ya que tendríamos que recurrir a tablas y usaríamos factores de corrección también.

El campo de la ingeniería es muy amplio así como el estudio del comportamiento del aire por lo que existen mas formas de analizar estos sistemas, incluso existen compañías que se dedican a hacer este tipo de análisis.

Como otra recomendación final, una de ellas puede ser hacer una práctica con un velómetro que consta de una aspa o paleta equilibrada y sustentada en una cubierta la paleta actua como una aguja calibrada para leer directamente la velocidad del flujo de aire en pies por minuto como el tubo pitot, pero sin necesidad de hacer medición del tiempo.

El velómetro puede colocarse directamente en la corriente de aire o puede conectarse por medio de un tubo flexible a una medida especial de aire con lo cual permite tomar lecturas muy exactas en lugares inaccesibles para un anemómetro o tubo pitot.

# PRACTICA 1

## UTILIZACION DEL BANCO PROTOTIPO NEUMÁTICO

### Objetivo:

Determinar la razón de flujo desarrollada por el banco neumático prototipo.

### Equipo a utilizar:

Banco de pruebas

Tubo pitot

Manómetro de presión diferencial

Anemómetro

### Procedimiento:

- 1) Dar a conocer el funcionamiento de los instrumentos de medición a utilizar
- 2) Revisar el procedimiento de las reglas de seguridad de laboratorio de Mecánica de Fluidos.

3) poner en funcionamiento el banco de pruebas

- Conectar el equipo a la fuente de 110v;
- Colocar en posición de encendido el interruptor de cuchillas;
- Encender el equipo motriz;
- Se deberá de observar que el manómetro de presión se encuentre posicionado en cero.

4) Se procederá a tomar lecturas en cada uno de los puertos de muestreo, con el tubo pitot conectado al manómetro diferencial.

Puerto	Área 1 a 1.5"	Area 2 a 4.5"	Area 3 a 7.5"	Presión Promedio
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				



5) Se tomaran lecturas con el anemómetro digital para la comparación; En áreas de tres pulg. x dos pulg. en la salida del ducto, con la siguiente distribución.

Distribución de áreas		
area 1	area 2	area 3
area 4	area 5	area 6
area 7	area 8	area 9
area 10	area 11	area 12
area 13	area 14	area 15

6) Se tomaran lecturas con el anemómetro nuevamente en la salida del ducto y con la distribución antes mencionada, pero con la tobera instalada.

## Lecturas de Velocidad

áreas de 6 pulg.

Velocidad m/s

	Velocidad m/s	
	sin tobera	con tobera
Area 1		
Area 2		
Area 3		
Area 4		
Area 5		
Area 6		
Area 7		
Area 8		
Area 9		
Area 10		
Area 11		
Area 12		
Area 13		
Area 14		
Area 15		

7) Graficar las presiones contra las posiciones de los puertos de muestro.

8) Se apagara el motor y se desconectara el banco para finalizar.

9) Solución de ejercicio sugerido que cambiara según las condiciones iniciales de temperatura y presión que se tomaran en el día de la practica.

Un ducto de sección de 10 pulgadas por 10 pulgadas conduce aire a temperatura : \_\_\_\_\_ y con el barómetro marcando: \_\_\_\_\_ mm. de Hg. Usando el método de las tres áreas iguales.

Las lecturas en pulgadas de agua de la presión de velocidad se tomaran en cada uno de los puertos como se indico anteriormente.

Calcular el flujo de aire en pies<sup>3</sup>/min.

$$V = \sqrt{2g (hvdw/12da)} = 2.31 \sqrt{hv (dw/da)}$$

Donde :

V = velocidad del fluido, en pies por minuto

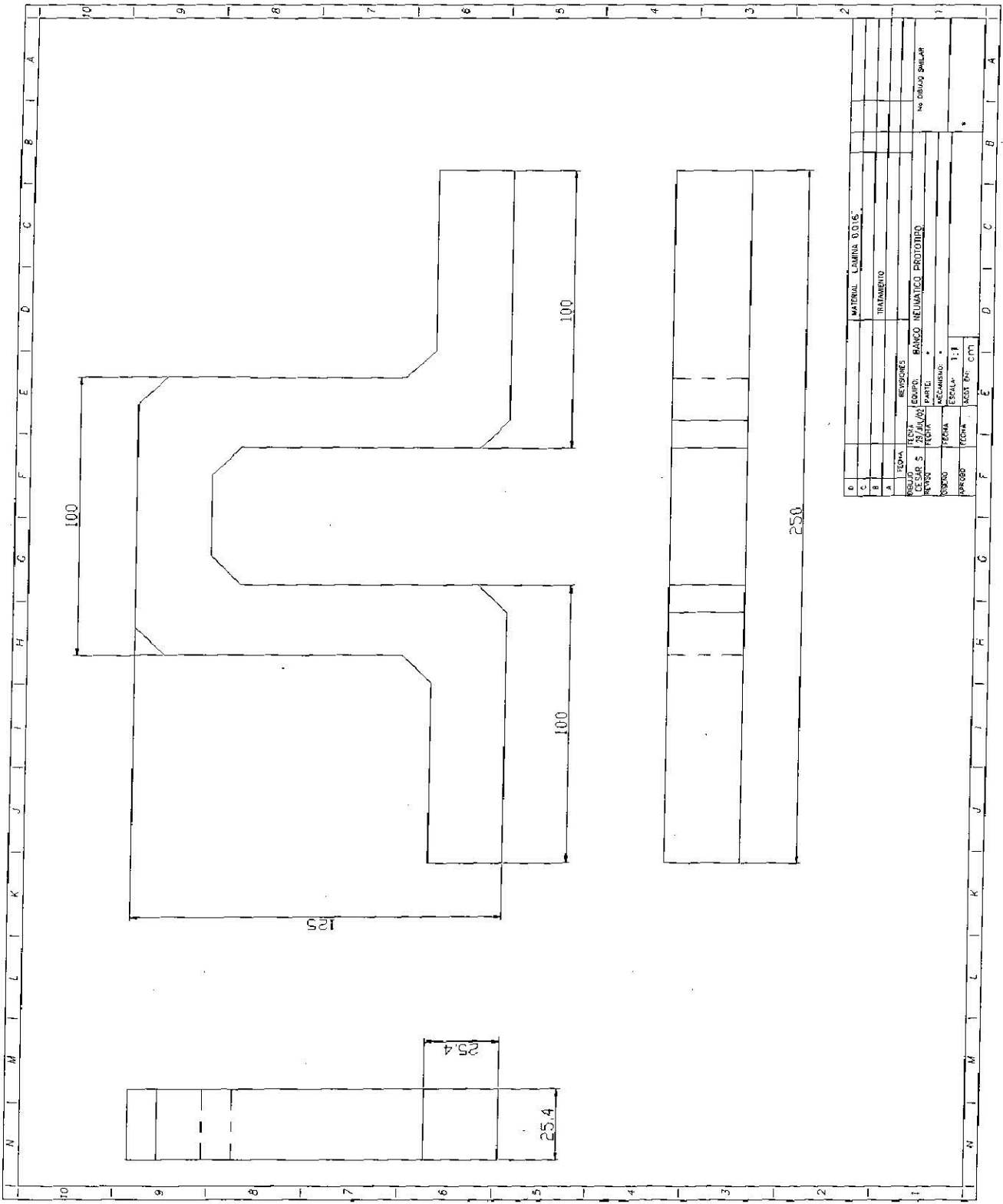
g = 32.2 pies/seg<sup>2</sup> es la constante de la gravedad

hv = presión de velocidad obtenida en el manómetro, en pulgadas de agua.

dw = masa específica del fluido que se usa para medir.

da = masa específica del aire o fluido en movimiento en el ducto, en libras por pie cúbico.

$$q = \text{área ducto}(\text{pie}^2) \times \text{pies/seg} \times 60$$



D	MATERIAL	LAMPARA D.O.165
C	TRATAMIENTO	
B	RENDIMIENTOS	
A	FECHA	
OBJETO: INSTALACION EQUIPO BANCO NEUMATICO PROTOBRO		
PROYECTO:	REVISION:	
FECHA:	FECHA:	
ESCALA:	ESCALA:	1:1
APPROBADO:	FECHA:	00/01/01
NO CUBRO BILLYAR		

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1.2.1	Componentes del aire	05
4.1.1	Tabla de lecturas de presión	32
4.2.1	Tabla de distribución de áreas	36
4.2.2	Tabla de lecturas de velocidad	37
4.2.3	Tabla de lecturas promedio de velocidad	38

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
2.1.1	Esquema de un tubo pitot	08
2.2.1	Tubo pitot	10
2.4.1	Aplicación del tubo pitot	13
2.5.1	Tubo Annubar	14
2.5.2	Tubo tipo B	14
2.5.4	Tubo tipo D	15
2.7.1	Anemómetro	16
2.8.1	Manómetro diferencial	18
3.1.1	Vista frontal de banco	21
3.1.2	Equipo motriz	22
3.1.3	Vista posterior de banco	22
3.1.4	Sección con tobera (opcional)	23
3.1.5	Puerto de muestreo	23
3.1.6	Banco con manómetro	24
3.2.1	Ventilador centrífugo	25
3.4.1	Manómetro diferencial	26
4.1.1	División de áreas imaginarias	31

# LISTA DE GRAFICAS

<b>Grafica</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
4.1.2	Grafica de lecturas de presión	32
4.2.4	Grafica de comportamiento de velocidades con tobera y sin tobera	39
4.2.5	Grafica de distribución de velocidades promedio con tobera y sin tobera	40

## Bibliografía

Antonio Creus Solé, Instrumentación Industrial,  
México Alfaomega c 1995, Sexta edición

American Conference of Governmental Industrial Hygienists,  
Industrial Ventilation a manual of recommended practice,  
Novena edición 1966

Burgess H. Jennins, Aire acondicionado y refrigeración  
CECSA, Decimoséptima reimpresión  
Junio de 1992

Enciclopedia Universal Ilustrada, Espasa-Calpe

Ranald V. Giles, Mecánica de los fluidos e Hidráulica,  
McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.,  
Tercera edición

Robert L. Mott, Mecánica de Fluidos Aplicada  
Prentice may Hispanoamericana S.A.,  
Primera edición

Victor L. Streeter, Mecánica de Fluidos,  
McGraw-Hill 1968



## REFERENCIAS

El material de que se dispone en este t3pico es mas bien abundante, de manera que las fuentes para integrar un documento y el material que se presenta, algunas referencias son:

- [1] Enciclopedia Universal Ilustrada, Espasa-Calpe
- [2] Robert L. Mott, Mec3nica de Fluidos Aplicada  
Prentice may Hispanoamericana S.A.,  
Primera edici3n
- [3] Burgess H. Jennins, Aire acondicionado y refrigeraci3n  
CECSA
- [4] American Conference of Governmental Industrial Hygienists,  
Industrial Ventilation a manual of recommended practice,  
Novena edici3n 1966
- [5] Manual de uso de man3metro diferencial marca Dwyer  
Dwyer Instruments, Inc.

La informaci3n disponible en internet es abundante, aunque se debe advertir que su utilidad es relativa ya que depende en gran medida del conocimiento que el usuario tenga sobre el tema.

6657 49

4/02/03

