

## ÍNDICE

<b>7</b>	<b>MANUAL DE PRÁCTICAS.....</b>	<b>2</b>
<b>7.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....</b>	<b>2</b>
7.1.1	Descripción.....	2
7.1.2	Posibilidades prácticas.....	4
7.1.3	Especificaciones.....	4
7.1.4	Dimensiones y pesos.....	4
7.1.5	Servicios requeridos.....	5
<b>7.2</b>	<b>BASE TEÓRICA.....</b>	<b>6</b>
7.2.1	Teorema de Bernoulli.....	6
7.2.2	Representación gráfica del teorema de Bernoulli.....	7
7.2.3	Tubos de Pitot.....	8
7.2.4	Como llenar los tubos manométricos.....	10
<b>7.3</b>	<b>PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>12</b>
7.3.1	Práctica 1: Determinación de las secciones del tubo de Venturi.....	12
7.3.2	Práctica 2: Demostración del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en posición divergente-convergente.....	15
7.3.3	Práctica 3: Demostración del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en posición convergente-divergente.....	18

## 7 MANUAL DE PRÁCTICAS

### 7.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

#### 7.1.1 Descripción

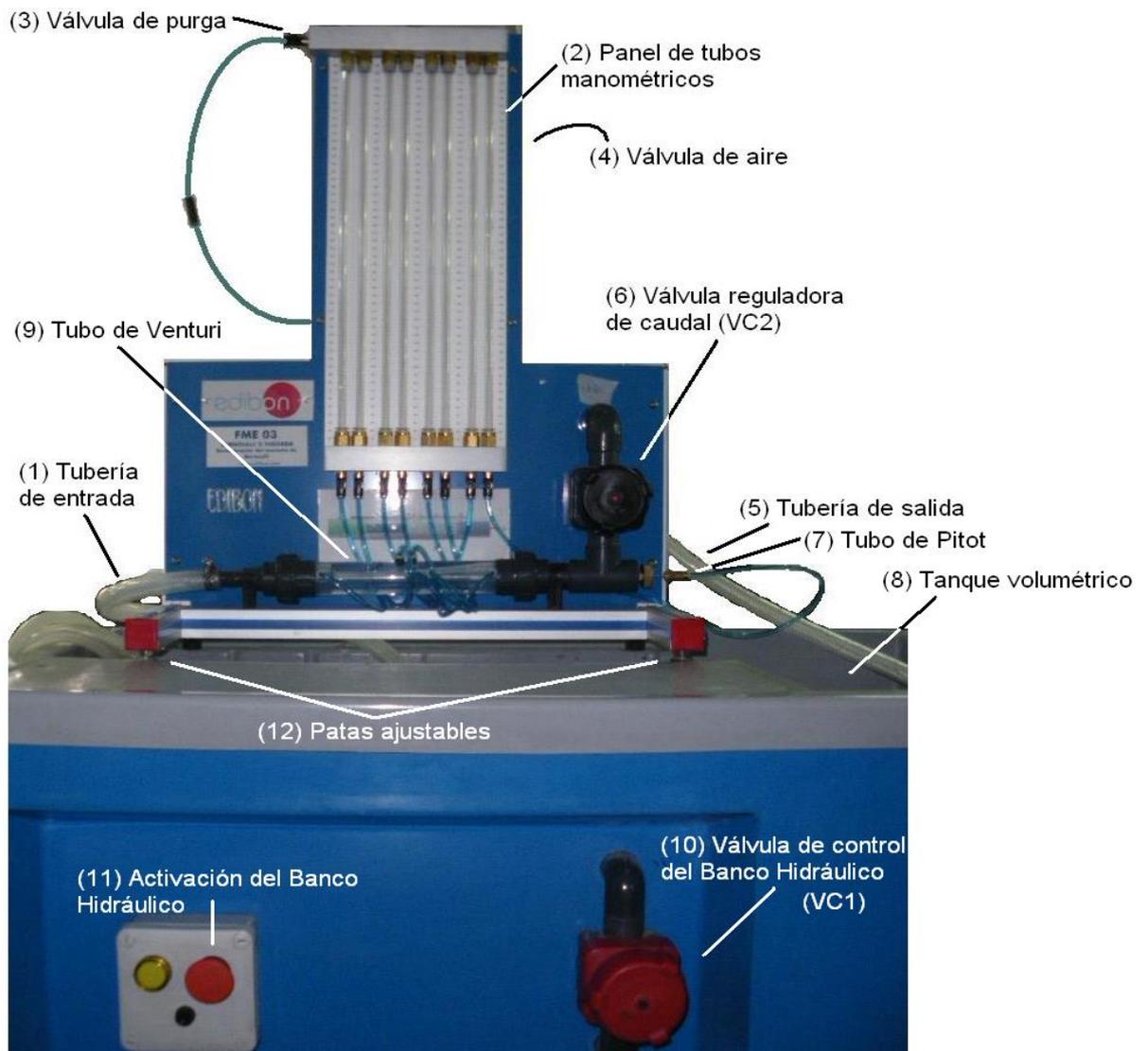


Figura 7.1.1.1: Vista general del equipo

El equipo de demostración del teorema de Bernoulli, FME03, está formado por un conducto transparente de sección circular con forma de cono truncado (tubo de Venturi (9)). A lo largo del conducto se encuentran siete llaves de presión que permiten medir, simultáneamente, los valores de presión estática correspondientes a cada una de las secciones donde se encuentran las llaves de presión. Todas las llaves de presión están conectadas a un panel de tubos manométricos (2) con un colector de aire presurizado o no (3) y (4).

El tubo de Venturi es extraíble, por lo que permite su colocación tanto de forma convergente-divergente como divergente-convergente con respecto a la dirección del flujo.

Hay también una sonda, tubo de Pitot (7), que se puede desplazar a lo largo de la tubería para medir la presión total en la sección deseada.

La velocidad de flujo en el equipo puede ser modificada, bien ajustando la válvula reguladora de caudal (6), o bien regulando el suministro que alimenta la entrada de la tubería (10).

La tubería de entrada termina en un acoplamiento hembra que debe de ser conectado directamente al suministro del banco.

Una manguera flexible unida a la tubería de salida (9) se dirige al tanque volumétrico de medida (8).

Para realizar las prácticas, el equipo se montará sobre la superficie de trabajo del banco tal y como se observa en la figura 7.1.1.1. Tiene patas ajustables para nivelar el equipo (12).

### **7.1.2 Posibilidades prácticas**

Práctica 1: Determinación de las secciones del tubo de Venturi.

Práctica 2: Determinación del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en su posición divergente-convergente.

Práctica 3: Determinación del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en su posición convergente-divergente.

### **7.1.3 Especificaciones**

- Rango del manómetro: 0 - 300 mm de agua.
- Numero de tubos manométricos: 8.
- Diámetro del estrangulamiento aguas arriba: 25 mm.
- Estrechamiento:
  - Estrechamiento aguas arriba: 10°
  - Estrechamiento aguas abajo: 21°

### **7.1.4 Dimensiones y pesos**

- Dimensiones aproximadas: 800x450x700mm.
- Peso aproximado: 15 kg.
- Volumen aproximado: 0.25 m<sup>3</sup>

**7.1.5 Servicios requeridos**

- Banco Hidráulico (FME 00) o Grupo Hidráulico (FME00/B).
- Cronómetro (no suministrado).

## 7.2 BASE TEÓRICA

### 7.2.1 Teorema de Bernoulli

Considerando un caudal constante en dos secciones diferentes de una tubería y aplicando la ley de conservación de la energía, la ecuación de Bernoulli se puede escribir como:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad [2.1.1]$$

Si la tubería es horizontal, tenemos que  $z_1=z_2$ , con lo que la ecuación anterior queda como:

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = cte. \quad [2.1.2]$$

donde :

$$\frac{V^2}{2g} = \text{Altura cinética}$$

$\frac{P}{\gamma} = h = \text{Altura piezométrica}$ , es la altura de una columna de agua asociada con la presión del campo gravitacional.

$$H = \text{Altura total}$$

Es decir, el teorema de Bernoulli nos indica que la altura (o energía) total de un fluido a lo largo de una tubería se mantiene constante en todas sus secciones. Este teorema supone que el fluido es ideal.

### 7.2.2 Representación gráfica del teorema de Bernoulli

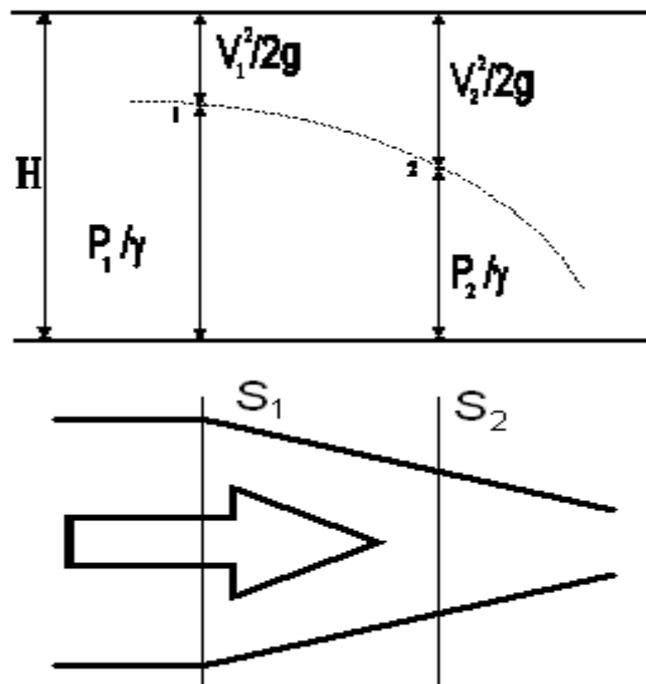


Figura 7.2.2.1

Como se observa en la figura anterior, la energía del fluido a lo largo de la tubería se mantiene constante, mientras que las energías cinética y piezométrica varían con la sección de la tubería.

En estas bases teóricas, se ha considerado que el fluido es ideal, es decir, que su viscosidad es nula. Sin embargo, en la realidad la velocidad de las partículas disminuye debido al rozamiento entre las partículas del fluido con la tubería y con ellas mismas, y, como consecuencia, parte de la energía del fluido se disipa en forma de calor.

Si consideramos que  $\Delta H$  es la pérdida de presión entre dos secciones, la ecuación de Bernoulli toma la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta H \quad [2.2.1]$$

Con lo que la representación gráfica queda del siguiente modo:

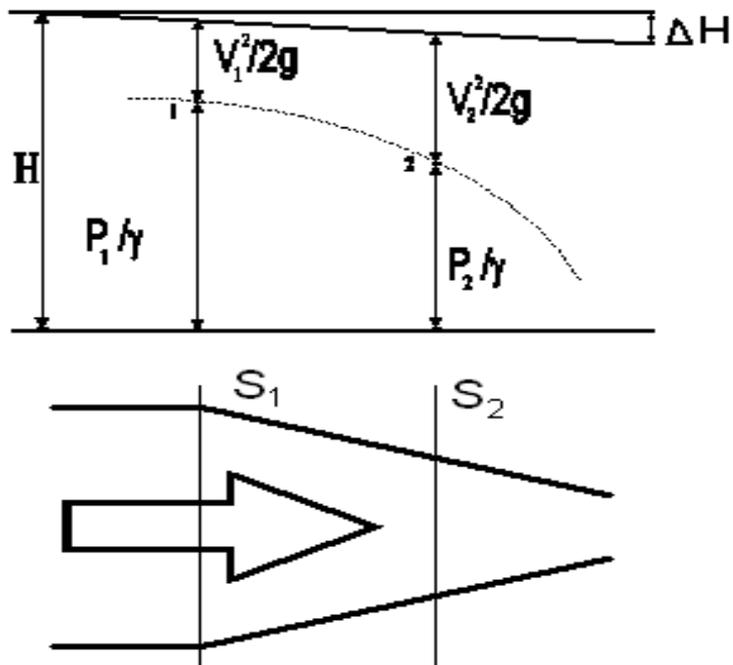


Figura 7.2.2.2.

### 7.2.3 Tubos de Pitot

Un tubo de Pitot se considera como un obstáculo fijo en el fluido en movimiento (figura 7.2.3.1).

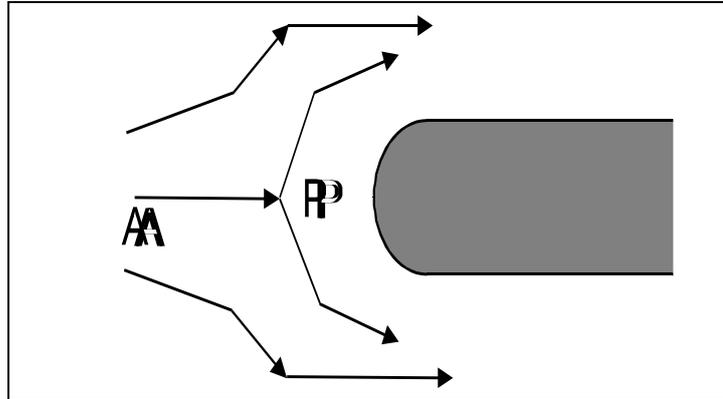


Figura 7.2.3.1.

La línea de presión termina en el punto de impacto (P). Si se hace un orificio en este punto (P) y se une con un tubo de medida, se está midiendo la presión total en esa sección (figura 7.2.2.3.).

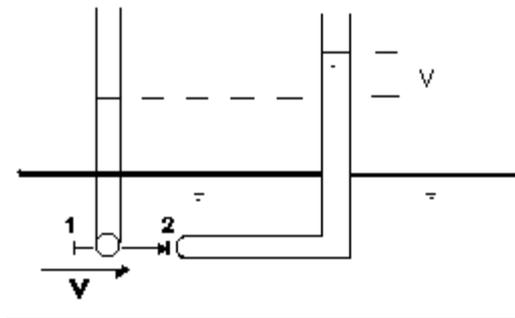


Figura 7.2.2.3.

Se puede conocer también la velocidad media en la sección de la tubería:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad [2.3.1]$$

$V_1 = V$  (Velocidad de las partículas),  $V_2 = 0$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \Delta h \quad \rightarrow \quad V = \sqrt{2g \Delta h} \quad [2.3.2]$$

#### 7.2.4 Como llenar los tubos manométricos

En esta sección, se explica el procedimiento a seguir para un correcto llenado de los tubos manométricos.

1. Cerciorarse de que las tuberías de entrada y salida del equipo (FME 03) están correctamente conectadas.
2. Cerrar las válvulas de control del Banco o Grupo Hidráulico (VC1) y de control de flujo del equipo (VC2).
3. Abrir despacio y completamente la válvula VC2 para poner en marcha la bomba de agua. Seguidamente abrir despacio y completamente la válvula VC1 hasta que se alcance un flujo máximo.
4. Tras un tiempo trabajando en flujo máximo (1 minuto aproximadamente), cerrar completamente la válvula VC2. Los tubos se llenarán completamente. Si se quiere cerrar también la válvula VC1, hacerlo siempre después de haber cerrado la válvula VC2.
5. *Para regular la altura de los tubos:* Abrir, si estuviera cerrada, la válvula antirretorno que regula la entrada de aire en los tubos manométricos. Con la bomba de aire introducir aire en los tubos manométricos. Una vez tengamos cierta presión de aire, abrir durante muy poco tiempo la válvula VC2, de esta manera el nivel los tubos

bajará. Las alturas en los tubos se igualarán al cerrar de nuevo la válvula VC2. Repetir esta operación hasta alcanzar en los tubos la altura deseada (100-150 mm). *Nota: el último tubo manométrico, correspondiente al tubo de Pitot, tardará más en alcanzar la misma altura que los demás tubos manométricos.*

## **7.3 PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

### **7.3.1 Práctica 1: Determinación de las secciones del tubo de Venturi**

#### **7.3.1.1 Objetivo**

El propósito de este experimento es obtener, por medio de las medidas del tubo de Pitot y del resto de tubos manométricos, los valores de las áreas de las diferentes secciones del tubo de Venturi.

La determinación de la sección en el tubo de Venturi, permite obtener la presión del sistema y verificar la ecuación de Bernoulli.

#### **7.3.1.2 Material necesario**

- Equipo FME 03
- Banco Hidráulico (FME 00) o Grupo Hidráulico (FME 00/B).
- Cronómetro (no suministrado)

#### **7.3.1.3 Procedimiento experimental**

1.- Colocar el equipo FME03 sobre el Banco Hidráulico (FME 00) o sobre el Grupo Hidráulico (FME 00/B).

2.- Conectar la manguera de entrada al suministro del Banco Hidráulico (FME 00) o sobre el Grupo Hidráulico (FME 00B/B), y dirigir la manguera de salida hacia el tanque volumétrico (13). El sentido del tubo de Venturi no es importante en esta práctica.

3.- Llenar todos los tubos manométricos como se indica el apartado 7.2.4.

4.- Abrir las válvulas de caudal del Banco o Grupo Hidráulico (VC1) y de regulación del equipo (VC2).

5.- Fijar un caudal y anotar su valor en la tabla 7.3.1.3.1.

6.- Colocar el tubo de Pitot en la primera toma de presión de mínima sección. Esperar a que la altura en el tubo manométrico de Pitot se estabilice. Este proceso puede tardar unos 5-7 minutos.

7.- Cuando la altura de ambos tubos sea estable, determinar la diferencia de altura entre los dos tubos manométricos; presión estática “ $h_i$ ” y presión total “ $h_{TP}$ ” (tubo de Pítot), y anotarla en la tabla 7.3.1.3.1. La diferencia corresponde a la presión cinética dada por “ $v^2/2g$ ”

8.- Determinar la sección con la siguiente ecuación:  $S=Q/v$ , donde “ $Q$ ” es el caudal de agua y “ $v$ ” es la velocidad obtenida en dicha sección, y anotarla en la tabla 7.3.1.3.2.

9.- Repetir los pasos 6 a 8 para cada toma de presión (6 en total).

10.- Repetir los pasos 3 a 9 para diferentes caudales de agua.

#### **7.3.1.4 Cuestiones y resultados**

Completar las tablas 7.3.1.3.1 y 7.3.1.3.2. Calcular la media de las secciones obtenidas con diferentes caudales de agua. *Para cada caudal de agua la sección debe ser más o menos la misma. (Se recomiendan caudales de agua de 5 l/min, 10 l/min y 15 l/min para la práctica.)*

	$Q_1 = v_1 = \sqrt{2g(h_{TP} - h_i)}$	$Q_2 = v_2 = \sqrt{2g(h_{TP} - h_i)}$	$Q_3 = v_3 = \sqrt{2g(h_{TP} - h_i)}$
$h_{TP} - h_1$			
$h_{TP} - h_2$			
$h_{TP} - h_3$			
$h_{TP} - h_4$			
$h_{TP} - h_5$			
$h_{TP} - h_6$			

Tabla 7.3.1.3.1

	$A_1 = \frac{Q_1}{v_1}$	$A_2 = \frac{Q_2}{v_2}$	$A_3 = \frac{Q_3}{v_3}$	$\langle A \rangle = (1/3) * (A_1 + A_2 + A_3)$
$h_{TP} - h_1$				
$h_{TP} - h_2$				
$h_{TP} - h_3$				
$h_{TP} - h_4$				
$h_{TP} - h_5$				
$h_{TP} - h_6$				

Tabla 7.3.1.3.2

**C.1** ¿A qué crees que es debida la diferencia entre  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$ ?

**C.2.** ¿Porqué la presión medida por el tubo de Pitot decrece a lo largo de la tubería?

### **7.3.2 Práctica 2: Demostración del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en posición divergente-convergente**

#### **7.3.2.1 Objetivo**

El objetivo de esta práctica es la demostración del teorema de Bernoulli, así como descubrir sus limitaciones en fluidos no ideales.

Según Bernoulli, la energía total es constante en todas las secciones;  $E_T = E_S + E_k$ , donde la energía estática,  $E_S = P_i/\gamma$  y la energía cinética,  $E_k = v^2/2g$ .

La presión estática es medida por la altura de la columna de agua, y la energía cinética es medida por la diferencia de altura entre el manómetro de Pitot (presión total) y el manómetro de la sección en cuestión (presión estática). Por otro lado, la velocidad del agua puede ser obtenida con la siguiente ecuación:  $v=Q/S$ , donde "Q" es el caudal de agua y "S" es la sección del tubo. Estas secciones pueden obtenerse en la práctica anterior. (Usar las secciones obtenidas).

#### **7.3.2.2 Material necesario**

- Equipo FME 03
- Banco Hidráulico (FME 00) o Grupo Hidráulico (FME 00/B).
- Cronómetro (no suministrado)

#### **7.3.2.3 Procedimiento experimental**

1.- Colocar el equipo FME03 sobre el Banco Hidráulico (FME 00) o sobre el Grupo Hidráulico (FME 00/B).

2.- Conectar la manguera de entrada al suministro del Banco Hidráulico (FME 00) o sobre el Grupo Hidráulico (FME 00B/B), y dirigir la manguera de salida hacia el tanque volumétrico (12).

3.- Colocar el equipo en posición divergente-convergente respecto a la dirección del caudal de agua.

4.- Llenar los tubos manométricos como se indica en el apartado 7.2.4

5.- Colocar el tubo de Pitot en la posición de la primera toma de presión (S1). Esperar a que la altura en el tubo manométrico correspondiente al tubo de Pitot se estabilice, puede tardar unos 5-7 minutos. Anotar las alturas obtenida mediante los dos tubos manométricos (estático y de Pitot).. Anotar los valores en la tabla 7.3.2.3.1.

6.- Repetir el paso anterior para cada sección (6 en total).

#### **7.3.2.4 Cuestiones y resultados**

**C.1** Comentar la validez de la ecuación de Bernoulli para:

- a) Flujo convergente (Práctica 2)
- b) Flujo divergente (Práctica 3)

**C.2** Anótese en la tabla siguiente los datos obtenidos.

Para cada valor, determínese la velocidad del fluido y la altura cinética para cada posición.

Sumar la altura cinética teórica a la altura estática medida para determinar la altura teórica total.

Caudal m <sup>3</sup> /s	Sección* m <sup>2</sup>	Velocidad media m/s	Altura cinética m.c.a.	Altura Piez. m.c.a	Altura Cin.+Piez. m.c.a.	Pitot m.c.a.

Tabla 7.3.2.3.1

\* Estas secciones han sido calculadas experimentalmente en la primera práctica.

**C.3** ¿Coinciden estas alturas totales con la altura total medida con la sonda? Si son diferentes, ¿cuáles son las razones?

**Nota:** El panel manométrico no indica el verdadero perfil de la presión estática en la sección de prueba.

### **7.3.3 Práctica 3: Demostración del teorema de Bernoulli y sus limitaciones en posición convergente-divergente.**

Repetir el experimento anterior pero, en ese caso, cambiar el elemento transparente del equipo para estudiar el fenómeno en la dirección convergente-divergente.