

PRÁCTICA 2: INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE PRESIONES Y CAUDALES.

1. OBJETIVOS

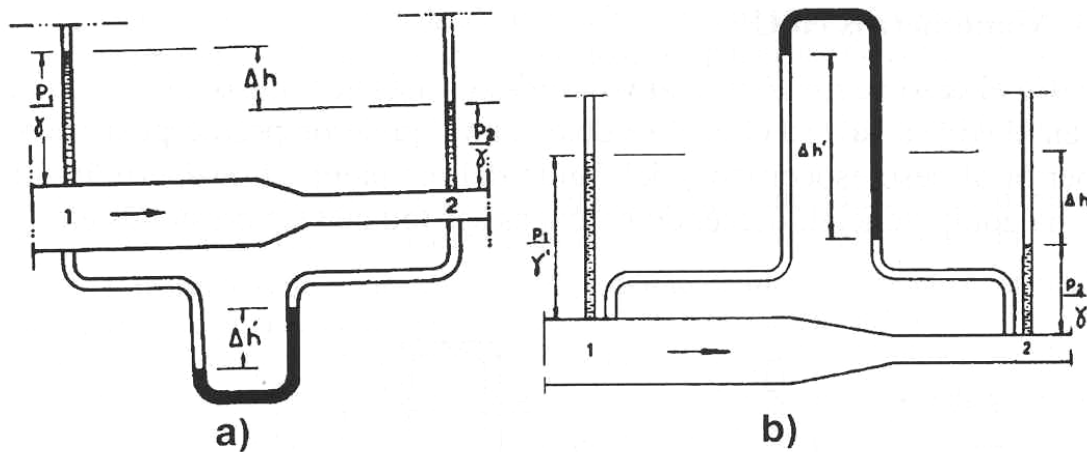
- Estudio de los diferentes sistemas para la medida de caudales y presiones disponibles en el laboratorio.

2. FUNDAMENTO

Medida de presiones:

- Piezómetros. Se trata de tubos conectados por su parte inferior al recipiente que contiene el líquido y conectado libremente a la atmósfera por su parte superior. El nivel en el depósito da directamente la posición de la línea piezométrica, es decir, la cota del término $z+P/\gamma$.
- Manómetros diferenciales de aire o mercurio. Se utilizan para la medición de la diferencia de presiones entre dos puntos de un sistema donde fluye un líquido. De modo general, los dos tubos se conectan en una disposición en U y se llenan de líquido diferente del fluido en movimiento. En la hipótesis de que el líquido manométrico sea de peso específico γ' , superior al peso específico del fluido que discurre por la tubería, se adopta el dispositivo de la figura a. Para ese caso la diferencia de presión entre los puntos 1 y 2 es:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \Delta h = \left(\frac{\gamma'}{\gamma} - 1 \right) \cdot \Delta h' = k \cdot \Delta h'$$



Si el peso específico del líquido manométrico fuera inferior al del fluido en movimiento debe adoptarse el dispositivo inverso, es decir, la U del manómetro debe de estar invertida (figura b). En este caso:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \Delta h = \left(1 - \frac{\gamma'}{\gamma}\right) \cdot \Delta h' = k \cdot \Delta h'$$

- Manómetros y vacuómetros tipo Bourdon. Tienen una gama de presiones muy amplia, pudiendo construirse para medir desde el vacío hasta 10.000 bares. Esto, unido a su sencillez, su pequeño tamaño y su robustez de construcción, ha sido la causa de su extensa aplicación en la industria.

Es estos manómetros, la presión del fluido actúa sobre un resorte, un tubo elástico, una membrana ondulada, un fuelle metálico, etc. o combinación de estos elementos y se transmite a una aguja indicadora por el mecanismo indicado en la figura.

En los manómetros Bourdon para presiones absolutas, en el interior del tubo elástico de Bourdon se ha hecho el vacío. La presión a medir actúa sobre el exterior del tubo. La sección transversal del tubo es elíptica. Bajo el influjo de la presión exterior la sección elíptica del tubo se deforma. La deformación se transmite a la aguja indicadora por el mecanismo esquematizado en la figura a.

En los manómetros Bourdon para presiones relativas es mecanismo de funcionamiento es semejante al anterior, con la diferencia de que la presión a medir actúa ahora en el interior del tubo de sección elíptica y la presión atmosférica en el exterior (ver figura b).

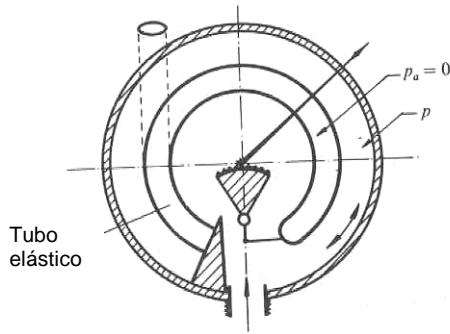


Figura a

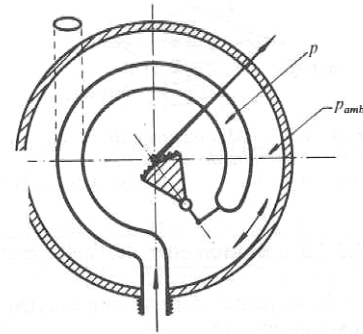
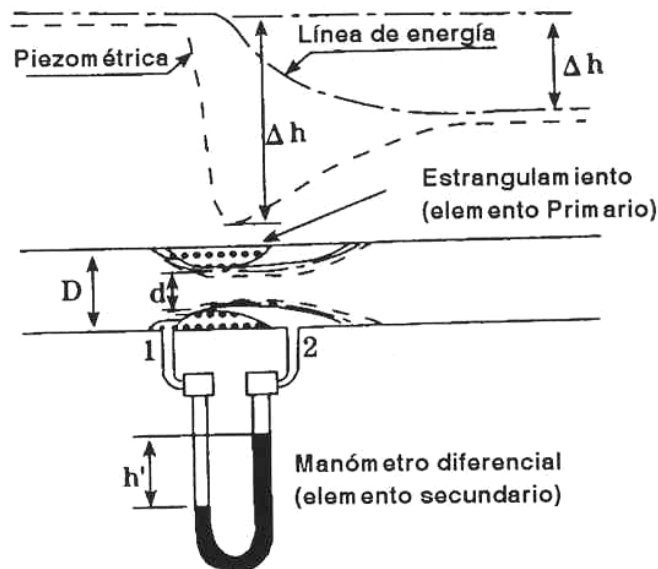


Figura b

Medida de caudales:

- Aparatos deprimógenos. Son aquellos que miden el caudal en tuberías cerradas a consta de la medición de una depresión provocada por un estrechamieto.



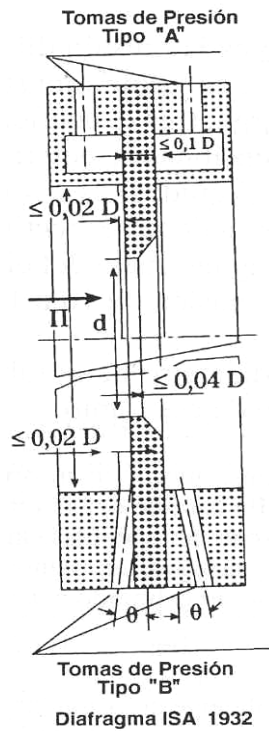
El dispositivo intercalado en la tubería se denomina elemento primario, los aparatos necesarios para la medida de la caída de presión son los elementos secundarios. Aguas arriba del elemento primario la tubería debe ser rectilínea en una extensión de al menos 15 veces el diámetro.

El diámetro de la tubería será representado por D y su área por S ; el diámetro del orificio se representa por d y su área por s . la relación entre estas dos áreas es:

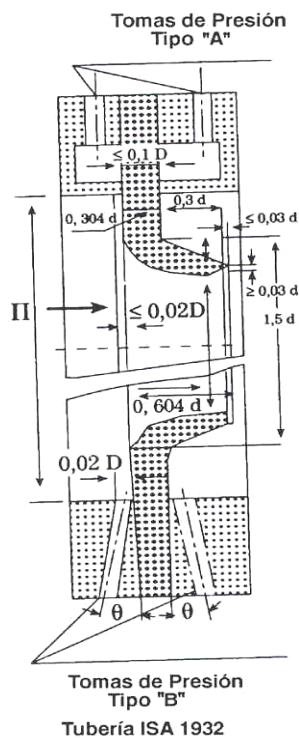
$$\sigma = \frac{s}{S} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

Los principales elementos primarios son:

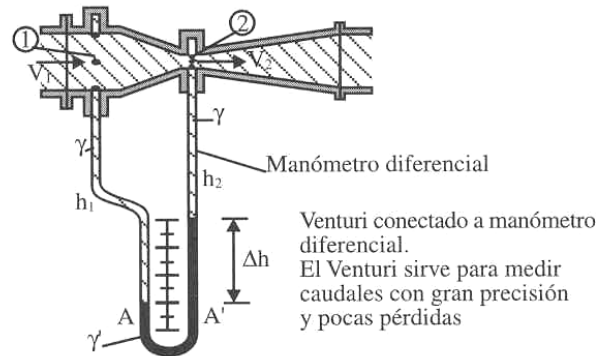
- Diafragmas: están constituido por un orificio, de arista viva, abierto en una placa delgada.



- Toberas: Orificio de forma geométrica hidrodinámica y dimensiones normalizadas.



- Tubos venturi: consta de tres partes fundamentales, una convergente o tobera, otra de sección mínima o garganta y, finalmente, un tramo divergente o difusor.



En todos los casos el caudal vienen dado por expresiones del tipo:

$$Q = \frac{C \cdot s}{\sqrt{1 - \frac{s^2}{S^2}}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = k \cdot \sqrt{\Delta h}$$

donde:

C es un coeficiente que engloba al coeficiente de velocidad C_v y al coeficiente de contracción C_c . Se obtiene experimentalmente.

Δh es la diferencia de altura piezométrica entre las dos secciones.

- Métodos volumétricos. El método más riguroso de medir caudales, bien a presión bien en superficie libre, es a partir de su propia definición. Así, midiendo el volumen escurrido durante un cierto tiempo se obtiene el caudal medio durante ese tiempo. Este método sólo es viable para pequeños caudales.

PRÁCTICA 3: ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL TEOREMA DE BERNOULLI. EFECTO VENTURI Y CAVITACIÓN

1. OBJETIVOS

- Utilización de un sistema volumétrico estático para la determinación de caudales.
- Comprobación experimental del teorema de Bernoulli a lo largo de un tubo venturi.
- Comprobación experimental de la pérdida de energía asociada al movimiento de un fluido real.
- Observación y utilización de aplicaciones prácticas del efecto venturi tales como la mezcla de líquidos o la mezcla de agua y aire.
- Observación y estudio del fenómeno de cavitación

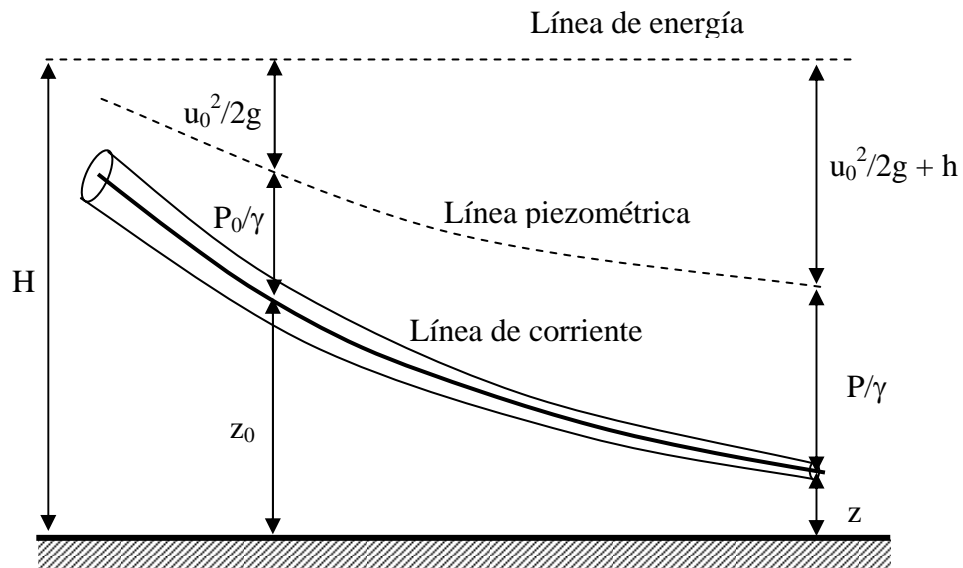
2. FUNDAMENTO

El comportamiento del agua en movimiento determina relaciones de energía que serán puestas de manifiesto con esta práctica, consistente en realizar unas observaciones y mediciones que serán interpretadas con base en la ecuación de BERNOULLI. Se dará así apoyo experimental a resultados no fácilmente determinables por el análisis.

La *energía específica*, o energía por unidad de peso, se expresa ahora como resultado de añadir a los sumandos de presión estática y de posición un tercero y último término cinético:

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = H$$

Si sobre cada uno de los puntos de un filamento de corriente se levanta una vertical y se toma un segmento equivalente a la altura de presión de la partícula fluida correspondiente, el lugar de los puntos que resultan es la *línea piezométrica* (ver figura). A cada partícula fluida corresponde un nivel piezométrico $[P/\gamma + z]$ sobre el plano de comparación. Si sobre cada punto de la línea piezométrica se levanta ahora un segmento equivalente a la altura de velocidad $[v^2/2g]$ de la partícula fluida a que corresponde, se obtiene la *línea de energía* (lugar geométrico de la carga total H).



La aplicación del teorema de BERNOULLI al estudio de corrientes líquidas establece, en el caso del movimiento del agua en régimen permanente y considerando a la misma como fluido perfecto (viscosidad nula) e incompresible, que la energía mecánica total por unidad de peso se conserva a lo largo de un filamento de corriente, es decir, H sería constante, como se indica en la figura.

El teorema enunciado constituye una simplificación del proceso, por cuanto el agua no es un fluido perfecto. En realidad, a lo largo de un filamento fluido, H sufre una variación representada por un sumando, debido a la viscosidad, que significa un intercambio energético con los filamentos vecinos y una disipación de energía en calor. La energía disipada por el conjunto de filamentos que componen una corriente fluida no desaparece, pero no es usable en el sistema hidráulico considerado.

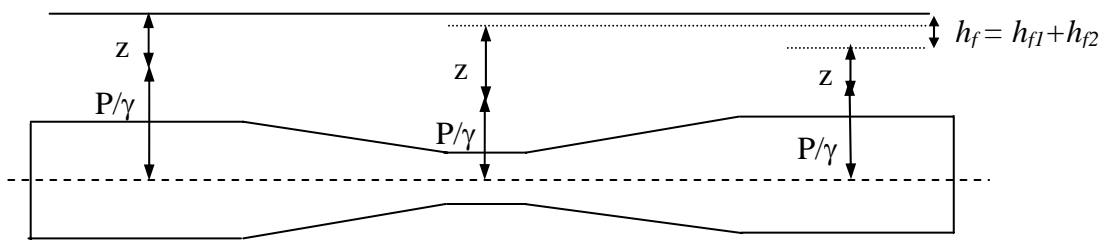
Las consideraciones que anteceden llevan a que la ecuación de la conservación de la energía a lo largo de la corriente sea expresada como sigue:

$$H_0 = H + h_f$$

donde H_0 es la carga en origen y h_f representa el trabajo consumido por la unidad de peso fluido contra las fuerzas de rozamiento. Esta pérdida por rozamiento h_f define el *desnivel de la energía mecánica disponible H entre puntos dentro de una masa de agua continua*. Se denomina *pérdida de carga*.

La variación entre el nivel en origen y el nivel final es el condicionante fundamental para la corriente que se produce entre uno y otro extremo, más que los valores absolutos correspondientes. Puesto que se mide por una longitud, al dividir este valor por la distancia L recorrida por la corriente entre esos dos puntos, el número que resulta expresa una pendiente. Es la llamada *pendiente motriz*.

La siguiente figura ilustra sobre la versatilidad de los sumandos de energía mecánica en un conducto, así como sobre las pérdidas que resultan del rozamiento.



El objetivo de la prueba de laboratorio es ilustrar diversas circunstancias en las que el teorema de BERNOULLI puede ser aplicado. Asimismo, familiarizar con los procesos de intercambio energético entre los diferentes sumandos que componen la energía total de un fluido en movimiento. Finalmente, comprobar cómo el estrechamiento de una corriente puede fundamentar operaciones de aforo. A este efecto, se trabaja con dos tipos diferentes de medidores de gasto en conductos forzados: *venturi*, y *diafragma*. La disposición en serie de éstos elementos, a lo largo de un conducto, permite compararlos y estimar la fiabilidad de sus medidas. Serán calibrados los dos dispositivos contrastando su medida con la volumétrica en el depósito cubicado.

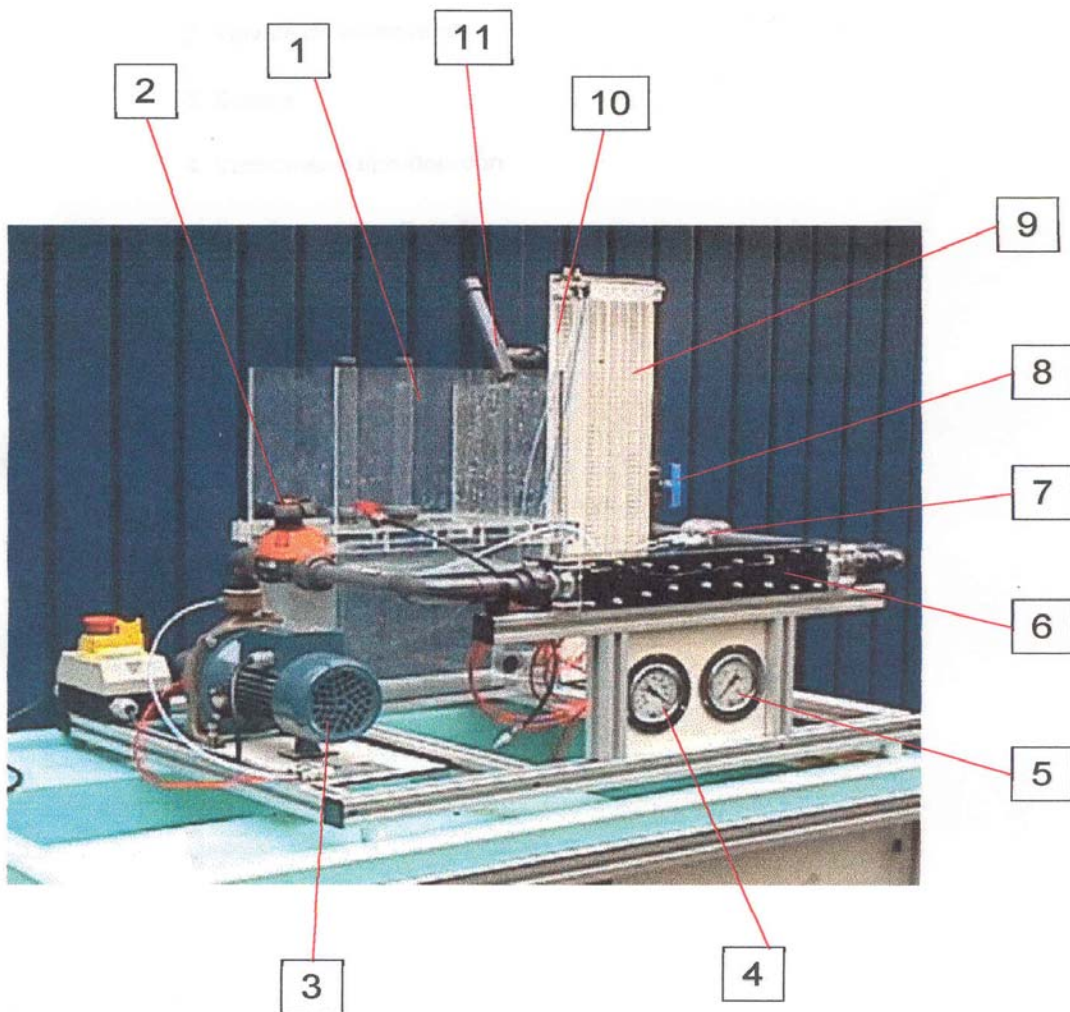
Como objetivo complementario de esta práctica es el estudio experimental de las pérdidas de energía que se producen en la corriente de agua cuando atraviesa las diversas piezas singulares de la instalación. Con los datos obtenidos, se calculan los coeficientes experimentales correspondientes a cada velocidad en cada uno de los diferentes dispositivos estudiados, y se comparan las pérdidas ocasionadas por éstos.

Se denomina efecto venturi a la disminución de presión que se produce en un fluido al aumentar su velocidad. En un venturi podemos observar como en el estrechamiento disminuye la presión gradualmente conforme se aumenta el caudal. De esta forma podemos llegar a conseguir presiones menores a la atmosférica y succionar otros líquido o

aire conectado un depósito que los contenga a dicho estrechamiento. Este es el fundamento de los sistemas de inyección de fertilizante en cabezales de riego localizado o de aire en los hidromasajes.

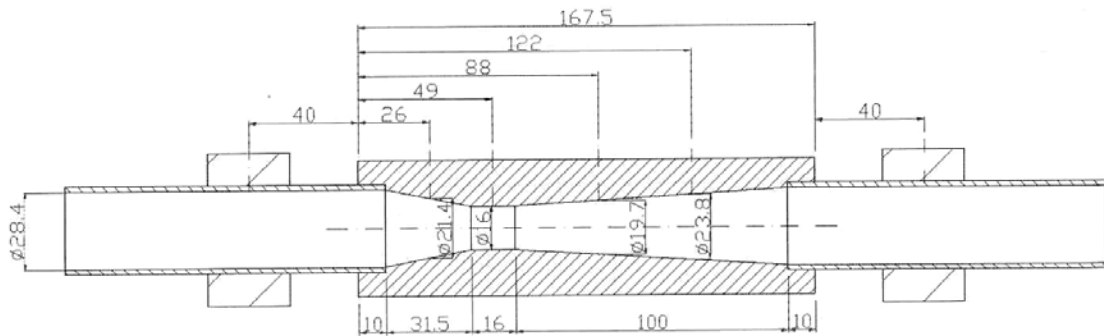
La cavitación es un fenómeno que aparece cuando en una conducción se alcanza la presión de vapor para la temperatura de funcionamiento del líquido en circulación. Por tanto, si conseguimos que en algún punto de la conducción se produzca la presión de saturación para la temperatura de funcionamiento del agua de nuestro depósito, éste se transformará en vapor, produciéndose el fenómeno de cavitación. Cuando el líquido continúa su camino y vuelve a aumentar la presión por encima de la presión de vapor, el fluido vuelve a su estado líquido inicial desapareciendo el fenómeno.

3. EQUIPO



1. Depósito con 3 compartimentos.
2. Válvula de membrana.
3. Bomba.
4. Vacuómetro.
5. Manómetro.
6. Tíbo Venturi
7. Diafragma.
8. Válvula de bola.
9. Manómetro diferencial de columna de agua.
10. Manómetro diferencial de columna de mercurio.
11. desviador de flujo.

El diámetro interior de la tubería principal es de 21,2 mm. Las características del Venturi son las siguientes:



4. PROCEDIMIENTO

- Se coloca el tubo de venturi redondo en la zona de ensayos. Para ello aflojamos las tuercas de unión, tenemos cuidado de recoger el agua que hay en el interior del tubo de venturi a cambiar, colocamos el nuevo tubo de venturi volviendo a apretar las tuercas de unión.
- Se conectan las tomas manométricas del tubo de venturi al manómetro diferencial de columna de agua.
- Se pone en marcha la instalación mediante el siguiente procedimiento:
 - Se llena el depósito inferior de agua hasta que este alcance como mínimo la toma de presión.
 - Se ceba la bomba abriendo todas las válvulas de la instalación.
 - Se cierra la válvula de membrana (2) y se acciona el interruptor de puesta en marcha. Una vez que tenemos el equipo preparado, y con la válvula de membrana (2) cerrada, observamos que todas las tomas manométricas tienen la misma presión, esto es porque no circula caudal y, por tanto, la energía cinética o de velocidad es cero.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma}$$

- Se abre la válvula de membrana (2), comienza a circular caudal y observamos cómo se produce una variación en las lecturas manométricas. Esta variación será mayor cuanto más abramos la válvula y, por tanto, circule más caudal.
- Se maniobra a la vez la válvula de membrana (2) y la de bola superior (8), ajustándose el caudal para que la diferencia de presiones a lo largo del tubo de venturi (6) esté dentro del rango de lecturas del manómetro diferencial de columna de agua (9).
- Se anotan las lecturas de cada uno de los puntos para dos caudales diferentes. Siendo uno de los caudales lo más grande posible y el otro un caudal pequeño. También se leen las lecturas de presión a la entrada y salida de venturi y el diafragma aforador con los manómetros.
- Utilizando el tanque volumétrico y el cronómetro, se determina el caudal realizando al menos dos mediciones y obteniendo la media de ambas. Para ello se gira el desviador de flujo (11) en sentido horario hasta recoger el caudal deseado en el depósito volumétrico, cronometrándose el tiempo empleado.
- En las tablas de recogida de datos, aparecen las dimensiones del tubo de venturi (6) en cada una de las secciones. Con estos datos y el caudal medio obtenido anteriormente, se calcula la velocidad del líquido y la altura de velocidad en cada una de las secciones en las que existe toma de presión estática.
- Se trasladan los datos de la tabla anterior a la gráfica de resultados, en la que se representa en abscisas las posiciones del tubo de venturi (6), y en ordenadas las diferentes alturas, observándose la evolución de las mismas.
- Si se quiere comprobar la ecuación de Bernoulli con caudales mayores, se puede utilizar el manómetro de columna de agua (9), de mercurio (10) o los manómetros tipo Bourdon (4) y (5).
- La conexión del vacuómetro al estrechamiento del venturi nos permite observar como disminuye la presión gradualmente conforme se aumenta el caudal del flujo, y por tanto su velocidad (efecto venturi). Cuando alcancemos presiones menores que

la atmosférica podremos inyectar cualquier fluido por succión sin más que conectar un depósito que lo contenga a dicho estrechamiento.

- Para observar el fenómeno de cavitación, se coloca el tubo de venturi cuadrado en la zona de ensayo y se pone la instalación en funcionamiento, aumentando el caudal hasta que se alcance la tensión de vapor del agua a esa temperatura en la garganta. Conectando el vacuómetro a la garganta del venturi se puede contrastar la depresión existente.

CAUDALES

Lectura nº	Tiempo (segundos)	Volumen (litros)	Caudal volumétrico	Caudal medio (l/s)
1				
2				

TOMAS PIEZOMETRICAS

CAUDAL 2 Posición	Diámetro "Ø" mm.	Área sección mm ²	Velocidad media (m/s)	Altura cinética Hd (mm c.a.)	Altura piezométrica Hp (mm c.a.)	Altura total Hd + Hp (mm c.a.)
a	28.4	633.4				
b	21.4	359.6				
c	16	201				
d	19.7	304.8				
e	23.8	444.8				
f	28.4	633.4				

TOMAS PIEZOMETRICAS

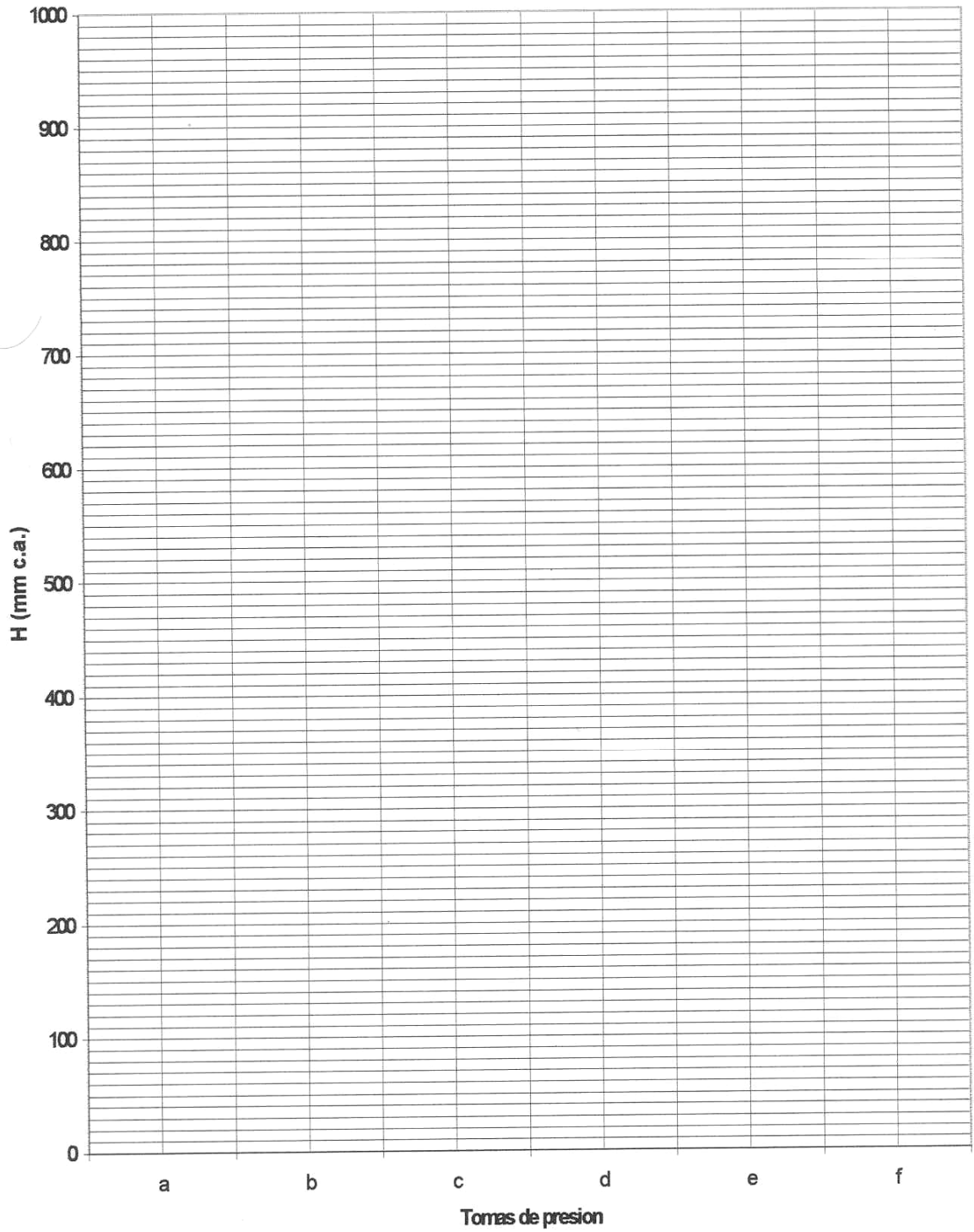
CAUDAL 2 Posición	Diámetro "Ø" mm.	Área sección mm ²	Velocidad media (m/s)	Altura cinética Hd (mm c.a.)	Altura piezométrica Hp (mm c.a.)	Altura total Hd + Hp (mm c.a.)
a	28.4	633.4				
b	21.4	359.6				
c	16	201				
d	19.7	304.8				
e	23.8	444.8				
f	28.4	633.4				

VENTURI Y DIAFRAGMA

Posición	Caudal (depósito volumétrico)	Venturi		Diafragma	
		P₁	P₂	P₁	P₂
a					
b					
c					
d					
e					
f					

GRAFICA DE RESULTADOS

ECUACION DE BERNOULLI



5. INFORME

- 5.** Calibrar cada medidor de flujo usando la medida volumétrica del caudal.
- 6.** Comparar las pérdidas de presión motivadas por los dispositivos de medida.
- 7.** Determinar el gasto y los coeficiente de pérdidas de los elementos singulares para todos y cada uno de los regímenes ensayados.
- 8.** Representar los valores del coeficiente de pérdidas en función del número de REYNOLDS, para cada singularidad.
- 9.** Calcular la longitud equivalente de cada singularidad.
- 10.** Comentar los resultados obtenidos con la prueba.