

Medición del gasto en base a la caída de presión en dispositivos convergentes

1. Generalidades

En general todo dispositivo intercalado en el trayecto de un fluido provoca una caída de presión. El principio básico en el que se apoyan los medidores de presión variable es que cuando una corriente de fluido se restringe, su presión disminuye en función al incremento de la velocidad de flujo en la restricción. Entoces, la caída de presión entre los puntos antes y después de la restricción puede utilizarse como un indicador de la velocidad de flujo.

Los dispositivos convergentes desempeñan la función de convertidores primarios de energía, pues al ser insertados en la tubería originan un estrechamiento local de la sección de flujo, lo que da lugar a un aumento de la velocidad del fluido que circula por el conducto, y el consecuente incremento de la energía cinética del fluido en la sección reducida, lo que provoca la disminución de la presión estática. De este modo al fluir un fluido a través del dispositivo convergente se origina una caída de presión $p = p_1 - p_2$ que depende de la velocidad de la corriente y, por tanto, del caudal. De donde se puede deducir que la caída de presión originado por el dispositivo convergente puede servir para medir el gasto del fluido que fluye en la tubería.

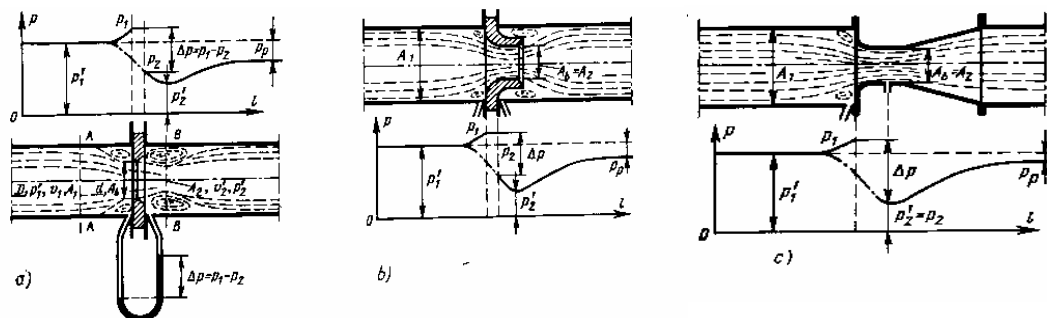


Fig 1. Carácter de la corriente y distribución de la presión estática al instalar en la tubería un diafragma (a), una tobera ordinaria (b) y una tobera de venturi (c).

Los dispositivos convergentes mas utilizados para la medida del gasto tanto de líquidos como de gases son: **los diafragmas, estándar, las toberas ordinarias y los venturímetros**. En la figura 1 se muestran esquemáticamente estos tres dispositivos y las curvas características de la distribución de presión tanto a lo largo de la pared de la tubería (línea llena) como a lo largo del eje de la tubería (línea de puntos y trazos).

2. Ecuaciones para la determinación del gasto a partir de la caída de presión en dispositivos convergentes.

Mediante la aplicación de las ecuaciones integrales de continuidad y energía para el caso de flujo permanente de líquidos se puede demostrar analíticamente que el gasto esta relacionado con la cada de presión mediante la siguiente ecuación:

$$Q' = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_o/A)^2}} A_o \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

La ecuación anterior se ha obtenido sin considerar aspectos tales como la perdida de energía debido a la viscosidad, la rugosidad del conducto, etc. Por lo que para su aplicación a situaciones reales es necesario introducir coeficientes de corrección que pueden ser englobados en el factor k, de modo que el caudal real puede ser calculado a partir del teórico mediante la siguiente ecuación:

$$Q = kQ'$$

es decir;

$$Q = \frac{k}{\sqrt{1 - (A_o/A)^2}} A_o \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

Para fines prácticos la ecuación anterior es puede escribir del siguiente modo:

$$Q = cA_o \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

Donde c es el denominado coeficiente de gasto y se determina experimentalmente.

3. Coeficiente de gasto

Los coeficientes de gasto de los dispositivos convergentes se determinan experimentalmente y en general varían para un mismo dispositivo. Este coeficiente depende esencialmente de las siguientes variables:

- densidad (ρ) y viscosidad (μ) del fluido;
- velocidad (v) de la corriente;
- sección (A) de flujo del conducto y (A_o) del orificio;
- rugosidad (ϵ) de la superficie interior del conducto.

Mediante técnicas de análisis dimensional la variables anteriores pueden ser agrupadas en cuatro parámetros adimensionales para fines de investigación experimental.

Y por comparación con la ecuación 1 se puede afirmar que el coeficiente de gasto depende de:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho V^2}; Re = \rho \frac{DV}{\mu}; m = \frac{A_o}{A}; \xi = \frac{\epsilon}{D}$$

y para un dispositivo dado es solo función del número de Reynolds.

$$C = (Re, m, \xi)$$

4. Dispositivos Convergentes estándar

Existen ciertas recomendaciones técnicas que deben ser observadas a la hora de fabricar e instalar, los dispositivos convergentes estandarizados. Es obvio que estas exigencias se justifican especialmente cuando se usan los coeficientes de descarga en manuales, en cuyo caso no es necesario calibrar el instrumento.

Placa de orificio (Diafragma)

En la figura se muestra esquemáticamente un diafragma estándar. Un diafragma puede usarse sin graduación siempre que sean observadas las siguientes condiciones:

$$D \geq 50mm$$

$$0.05 \leq m \leq 0.7$$

Según la ASME el diafragma en placa delgada tiene un espesor de 1/16 a 1/8 de pulgada cuando el diámetro de conducto se menor a 3 pulg.

Así también la ASME especifica que el diámetro del orificio debe ser mayor a la quinta parte del diámetro del conducto cuando el espesor del diafragma es mayor a 0.02D. ASME sugiere que el borde del orificio del diafragma se bisele hacia la salida de la corriente a un ángulo entre 30 a 45 grados.

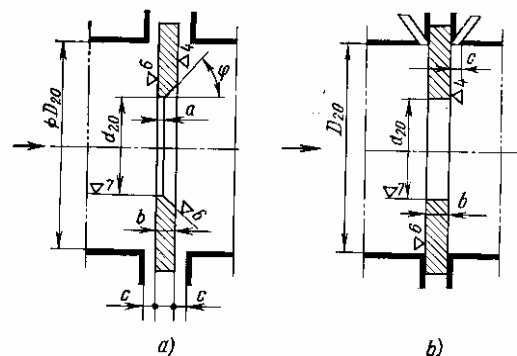


Fig 2. Diafragma estándar: (a) con ensanchamiento cónico a la salida de la corriente; (b) sin ensanchamiento cónico

Tobera (Boquilla de flujo)

Una tobera estándar se muestra esquemáticamente en la figura 3. Este dispositivo puede emplearse sin graduación si:

$$D \geq 50mm$$

$$0.05 \leq m \leq 0.65$$



La parte perfilada del orificio de la tobera por donde entra la corriente debe construirse de tal modo que los arcos se conjuguen suavemente con los radios r_1 y r_2 los que deben cumplir la siguiente especificación.

$$r_1 = 0.2 d_{20}; r_2 = \frac{d_{20}}{3}$$

El arco trazado con el radio r_2 debe enlazar tangencialmente con la parte cilíndrica de salida de la tobera.

Tobera de Venturi

Entre las formas existentes de los tubos de Venturi se ha norma-

lizado uno cuya parte de entrada está confeccionada del mismo modo que una tobera estándar. Ésta puede ser fabricada con un difusor largo y un difusor corto. El difusor de la tobera larga tiene en la salida un diámetro igual al de la tubería, en cambio el de tobera corta tiene en la salida un diámetro menor que el de la tubería. Este dispositivo estándar puede utilizarse sin graduación siempre que:

$$\begin{aligned} D &\geq 50\text{mm} \\ 0.05 &\leq m \leq 0.6 \end{aligned}$$

Cuando $m \leq 0.444$, la entrada de la tobera debe constuirse según el esquema de la fig 3(a) y según fig 3(b) en caso contrario.

El difusor de la tobera de Venturi debe satisfacer las siguientes especificaciones:

$$\begin{aligned} 5^\circ &\leq \varphi \leq 30^\circ \\ l &\geq D_{20} \end{aligned}$$

5.- Caídas de presión

Al elegir un dispositivo convergente es necesario considerarla pérdida de presión del medio que se mide, ya que la presión detrás del dispositivo, no se restablece totalmente.

La pérdida de presión en el fluido que circula a través del D.C., se determina como la diferencia de las presiones estáticas medidas en las secciones transversales más cercanas, en la que tanto antes como después del referido D.C. no se observen la influencia de éste sobre el carácter de la corriente. La variación de la pérdida de presión en función de la relación de aéreas (m) y del tipo de dispositivo convergente expresada en partes del salto de presión en el dispositivo, se muestra en la figura 5. Se deja para el estudiante el análisis y valoración de estos diagramas.

6. Instalación de los dispositivos convergentes

Una inadecuada instalación de los dispositivos convergentes puede conducir a errores inadmisibles en las mediciones. Por ello al instalar estos dispositivos se deben tener ciertas precauciones.

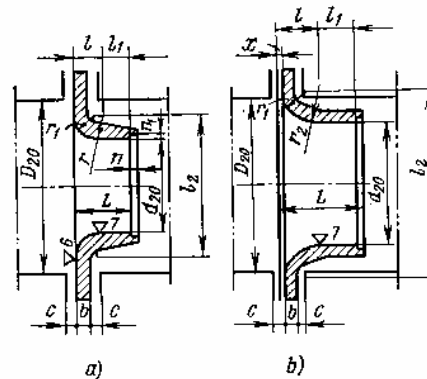


Figura 3. Tobera estándar.
a) para $m \leq 0.444$; b) para $m \geq 0.444$.
Dimensiones: $l = 0.304d_{20}$; $l_1 = 0.3d_{20}$;
 $l_2 = 1.5d_{20}$; $L = 0.604d_{20}$; $b \leq 0.1D_{20}$; $x = 0.2d_{20} - (0.75d_{20}D_{20} - 0.25D_{20}^2 - 0.5225d_{20}^2)^{0.5}$

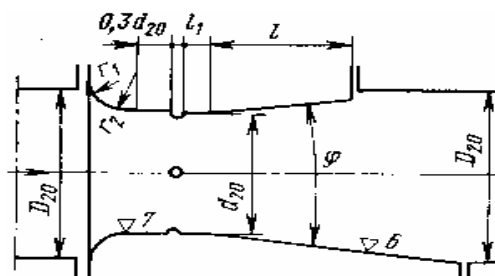


Figura 4. Tobera estándar de venturi para $m > 0.444$

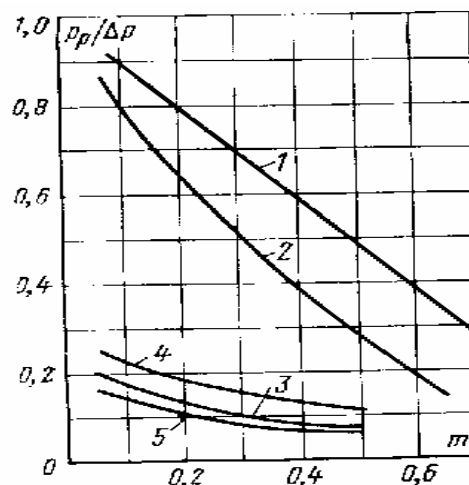


Fig. 5 Pérdidas de presión en el dispositivo convergente:
1, diafragma; 2, tobera; 3, tobera corta de Venturi ($l = D_{20}$ y φ puede tener cualquier valor); 4, tobera larga de Venturi ($\varphi = 14 \div 15^\circ$); 5, tobera larga de Venturi ($\varphi = 5 \div 7^\circ$)



Así, al elegir el punto de montaje del dispositivo convergente es necesario que los tramos de tubería situados antes y después del mismo sean rectos y cilíndricos. La longitud de estos tramos debe ser tal que las alteraciones de la corriente, cuando esta pasa por un accesorio (codos, válvulas, etc.), puedan atenuarse completamente. Es obvio que las alteraciones de la corriente antes del dispositivo tienen mayor importancia.

Las longitudes mínimas necesarias de los tramos rectos de la tubería delante del dispositivo convergente para diversas formas de su instalación se dan en la fig. 6.

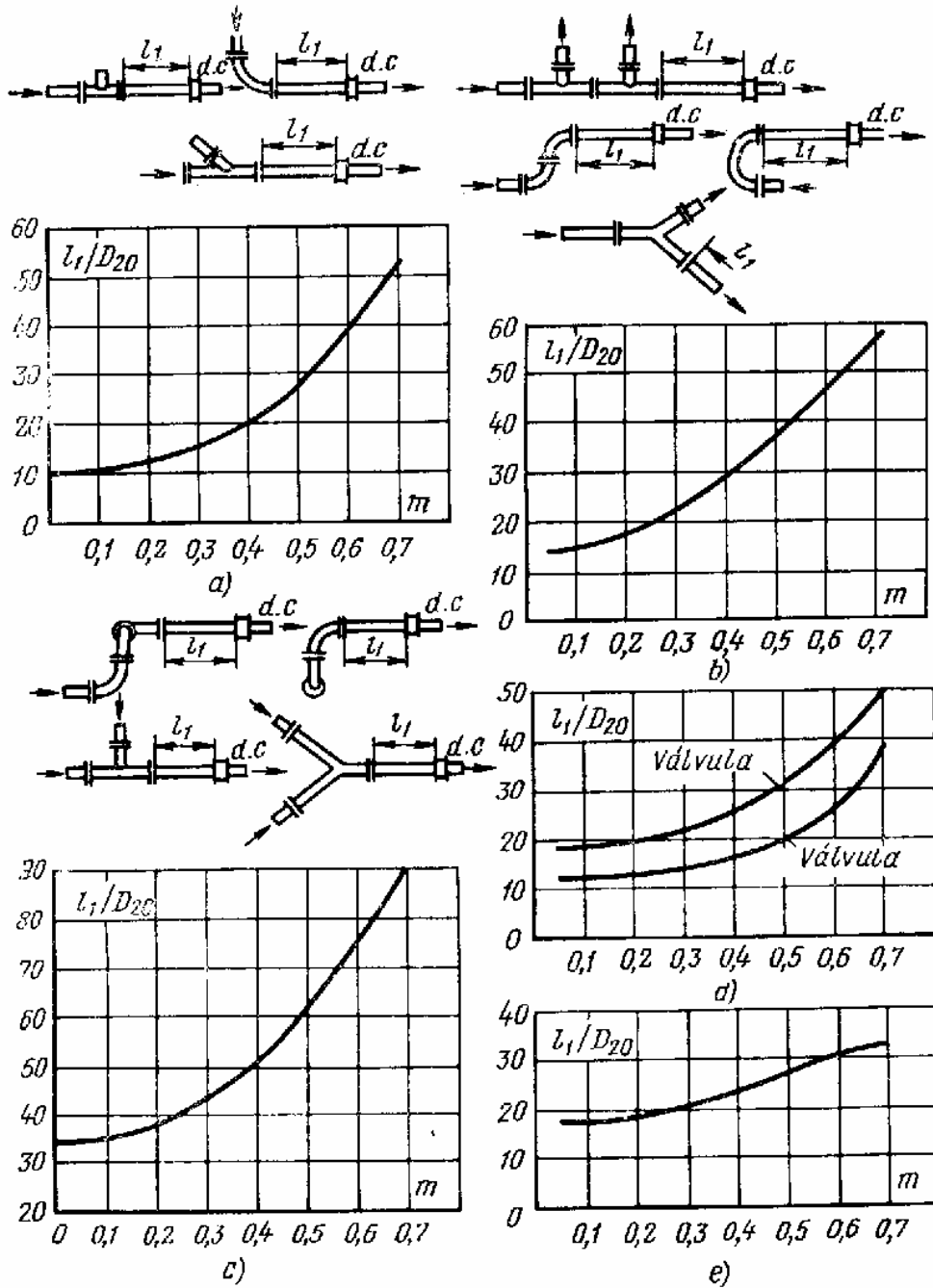



Figura 6. Longitudes mínimas necesarias de los tramos rectos de una tubería delante del dispositivo convergente.

A, codo o unión en T; b, Grupo de codos en un plano o corriente ramificada; c, grupo de codos en distintos planos o corrientes convergentes; d, llave y válvula abiertos por completo; e, cono o divergente (conicidad 1:3).

	Ingeniería Mecánica/Electromecánica	MECANICA DE FLUIDOS I	Página: PL01A/5
	Medición del Gasto	Fundamento Teórico	Revisión 5

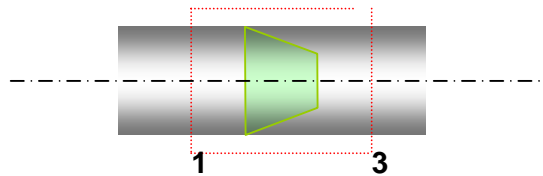
Las válvulas y llaves instaladas delante del dispositivo convergente, sobre todo las que no están del todo abiertas, provocan un perturbación considerable de la corriente. Por ello si estas se encuentran delante del D.C. el largo del tramo entre la válvula y el D.C. debe ser al menos de 100D para que la medición sea considerada segura. Cuando esto no es posible, es recomendable que las válvulas de regulación de caudal se encuentren después del dispositivo.

Para los diafragmas y toberas ordinarias, el largo del tramo (l2) se considera a partir de su extremo de entrada y para las toberas de Venturi, a partir de su extremo de salida.

La superficie interior delante y detrás del D.C. no debe poseer ningún tipo de salientes, ni tampoco abultamientos perceptibles a simple vista, ni abolladuras, etc.

7. Recuperación de la presión

En los tres dispositivos descritos anteriormente, la corriente fluida se expande aguas abajo después de pasar la restricción, como se puede apreciar en la figura 1. Debido a ello la presión se incrementa al disminuir la velocidad, y al ser el diametro de la tubería principal el mismo antes y después de la restricción la presión debería recuperar teóricamente su valor inicial, esto no ocurre debido a las pérdidas netas de carga en el dispositivo, como se explico en el apartado 5, figura 5. Es decir que si bien la caída de presión local debido a la contracción se recupera al expandirse el flujo, esta recuperación no es total. Esta pérdida de carga neta puede evaluarse teóricamente mediante un balance de energía entre las secciones de flujo 1 y 3



$$0 = \frac{v_3^2 - v_1^2}{2} + g(z_3 - z_1) + \frac{p_3 - p_1}{\rho} + gh_{perd}$$

Como: $D_1 = D_3$, $V_3 = V_1$; y $Z_3 = Z_1$, entonces:

$$\Delta p = p_1 - p_3 = \rho gh_p$$

En la práctica debido a la expansión gradual larga después de la garganta de los tunos de venturi, hace que la recuperación de presión en estos dispositivos sea alta y consecuentemente una pérdida de energía muy baja. No ocurre lo mismo en las toberas, pues debido a la expansión brusca provoca un exceso de turbulencia en la corriente de flujo y consecuentemente una recuperación de presión más baja con relación al tubo de venturi. En el caso de las placas de orificio la recuperación de presión es más baja aun, como se puede observar en la figura 5.

Bibliografía

Preobrazhenski V. Mediciones termotécnicas, 1980, MIR
Doolittle, J. Seymour, EL laboratorio del Ingeniero Mecánico,
Mott Robert, Mecánica de fluidos Aplicada, 1996, Prentice Hall