

SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN



TUBOS VENTURI, DALL Y TOBERA

Autor y editor: Iván Rivas Acosta

Revisor: Raúl Juárez Nájera

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA (IMTA)

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA (CNA)



© Comisión Nacional del Agua, CNA
© Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,
IMTA

Edita:

Comisión Nacional del Agua
Subdirección General de Administración
del Agua
Gerencia de Recaudación y Control
Subgerencia de Medición e Inspección

Instituto Mexicano de Tecnología del
Agua
Coordinación de Tecnología Hidráulica
Subcoordinación de Hidráulica Rural y
Urbana

Elabora:

Grupo de Hidráulica Rural y Urbana
(IMTA)
Grupo de Medición e Inspección
(CNA)

Imprime:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ISBN 968-5536-03-1

PARTICIPANTES

En la realización de este documento,
colaboraron: especialistas en hidráulica del
IMTA y de la Subdirección General de
Administración del Agua de la CNA.

Autor y editor: Iván Rivas Acosta, IMTA

Revisor: Raúl Juárez Nájera, CNA

Supervisión editorial: Subcoordinación
de Editorial y Gráfica, IMTA

Revisión literaria: Antonio Requejo
del Blanco, IMTA

Para mayor información dirigirse a:

**SUBGERENCIA DE MEDICIÓN
E INSPECCIÓN
GERENCIA DE RECAUDACIÓN
Y CONTROL**

**SUBDIRECCIÓN GENERAL DE
ADMINISTRACIÓN DEL AGUA**

Insurgentes Sur # 1960, 1er piso
Col. Florida CP. 01030, México D.F.
Tel. (01 55) 5322-2454
Fax (01 55) 5481-4100, ext. 6608
e-mail: info@imta.gob.mx

**SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA
RURAL Y URBANA
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA
HIDRÁULICA**

Paseo Cuauhnáhuac # 8532
Col. Progreso, CP. 62550, Jiutepec, Mor.
Tel. y fax (01 777) 319-4012,
e-mail: info@imta.gob.mx

Derechos Reservados por:

*Comisión Nacional del Agua
Insurgentes Sur # 2140
Col. Ermita San Ángel, C.P. 01070
México, D.F.*

*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac # 8532
Col. Progreso, C.P. 62550
Jiutepec, Mor.*

*Esta edición y sus características son
propiedad de la Comisión Nacional del Agua y
del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.*

Diciembre, 2001

PREFACIO

El 1° de diciembre de 1992 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación*, La Ley de Aguas Nacionales, en donde se exponen los artículos y fracciones 7-VIII, 26-II, 29-V-VI, 119-VII-X-XI, relacionados con la medición del agua.

Con base en esta Ley de Aguas Nacionales, la CNA a través de la Subdirección General de Administración del Agua, desarrolla continuamente campañas de medición de caudales con el fin de controlar y verificar la cantidad de agua que extraen los diversos usuarios de las fuentes de abastecimiento.

Ante esta situación y la dificultad que representa el uso de los diferentes aparatos de aforo, la CNA y el IMTA, han elaborado esta serie de documentos autodidácticos para que el personal técnico de dicha dependencia se capacite en el manejo de las técnicas existentes de medición de gasto, así como en el manejo de equipos y en los procedimientos de adquisición y análisis de datos.

La serie autodidáctica está enfocada a las prácticas operativas y equipos medidores que cotidianamente utiliza la CNA en sus actividades de verificación de los equipos de medición instalados en los aprovechamientos de los usuarios del agua y muestra las técnicas modernas sobre: a) inspección de sitios donde se explota el agua nacional, b) verificación de medidores de gasto instalados en las diversas fuentes de suministro o descarga de agua, c) procedimientos y especificaciones de instalación de equipos, d) realización de aforos comparativos con los reportados por los usuarios, y d) cuidados, calibración y mantenimiento de los aparatos.

En general, cada documento de la serie está compuesto por dos partes: a) un documento escrito, que describe los principios de operación de un medidor particular, cómo se instala físicamente, qué pruebas de precisión se requieren, cómo se hace el registro e interpretación de lecturas y procesamiento de información, de qué manera hay que efectuar el mantenimiento básico, cuáles son sus ventajas y desventajas, y qué proveedores existen en el mercado, y b) un disco compacto, CD, elaborado en el paquete *Power Point de Microsoft*, construido con hipervínculos, diagramas, fotografías e ilustraciones, según lo requiera cada tema.

Con esta serie de documentos se pretende agilizar el proceso de capacitación a los técnicos que realizan dichas actividades de medición.

CONTENIDO

Página

1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ? Y EVALÚA SI SABES	1
2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	2
3. CÁLCULO DEL GASTO	7
4. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN FÍSICA	9
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN	11
AUTOEVALUACIÓN A	14
6. REGISTRO DE LECTURAS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	15
7. MANTENIMIENTO BÁSICO	21
8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	22
9. GLOSARIO DE VARIABLES	23
10. LISTADO DE PRINCIPALES PROVEEDORES	24
11. REFERENCIAS	25
AUTOEVALUACIÓN B	26
RESPUESTAS CORRECTAS A LAS AUTOEVALUACIONES A Y B	27

1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ? Y EVALÚA SI SABES

1.1 ¿PARA QUIÉN?

Este manual está dirigido al personal técnico e ingenieros del área de inspección y medición de administración del agua, y a todos los interesados en la capacitación sobre la instalación, uso y manejo de los medidores de gasto de tipo deprímógenos, llamados también de *presión diferencial*.

Dentro de un sistema de agua potable o en un pozo para riego, el conocimiento del caudal que pasa por determinado tramo de tubería es sumamente importante. Debido a lo anterior, saber cómo se manejan los medidores deprímógenos es muy importante.

1.2 ¿POR QUÉ?

En las instalaciones hidráulicas de los sistemas de abastecimiento del agua es común encontrar este tipo de medidores. Para vigilar su correcto funcionamiento es importante realizar tareas de verificación e inspección. En estas actividades es necesario saber particularmente cuál es el procedimiento que se debe seguir para manejar con habilidad este tipo de medidores. Para ello, es necesario conocer lo siguiente:

- Principio de operación
- Partes que lo integran
- Especificaciones técnicas
- Requisitos de instalación
- Cálculo del gasto
- Manejo de datos
- Técnicas de mantenimiento

Dado que estos equipos de medición son sumamente útiles es necesario conocer adecuadamente su instalación y uso. Para utilizarlos eficazmente se deben conocer las características del sitio de medición:

1) Características de la tubería

Diámetro de la tubería y diámetro de la garganta del medidor.

2) Características del tramo en estudio

Longitud del tramo necesario aguas arriba y aguas abajo. Especificaciones requeridas.

De acuerdo con las características particulares de cada caso, es necesario evaluar si la instalación es correcta, o bien, si no existe medición en el sitio, decidir si es conveniente colocar este tipo de medidores.

1.3 EVALÚA SI SABES

1. Identificar un medidor del tipo deprímógeno.
2. Revisar si la instalación es correcta.
3. Verificar si la operación es adecuada.
4. Determinar el gasto que circula.
5. Construir curvas de calibración.
6. Proporcionar mantenimiento.
7. En qué casos es recomendable colocar estos dispositivos.

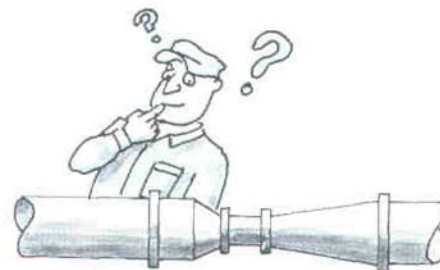


Figura 1.1 Para diagnosticar el aprendizaje, a lo largo del manual se encuentran dos autoevaluaciones que permitirán saber cuánto se ha aprendido sobre los medidores de tipo deprímógeno.

2. PRINCIPIOS DE OPERACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

2.1 GENERALIDADES

Los medidores deprimógenos son medidores de caudal relativamente simples. Consisten básicamente de una reducción gradual o brusca de la sección transversal de la tubería, ocasionando con esto un aumento de velocidad y una disminución de la presión en el fluido. Relacionando la variación de presión con la velocidad, es posible cuantificar el gasto.

Este tipo de medidores se han usado extensamente debido a que son relativamente simples, confiables, económicos, tienen suficiente precisión y rangos de medición para muchos servicios de monitoreo y control.

De los medidores deprimógenos destacan el venturi largo (Herschel Standard), el tubo dall, la tobera y la placa orificio (la cual se describe en la primera parte de esta misma serie). Aunque el principio de funcionamiento de estos medidores es el mismo, la geometría constructiva de cada uno impone diferencias básicas en el comportamiento hidráulico del agua al atravesar el medidor, tal como es la pérdida de carga.

En 1991, se reunieron ingenieros de muchos países para establecer las características geométricas, reglas para la instalación y operación de estos dispositivos. Como resultado se obtuvo una norma internacional válida en todo el mundo, esta es la Norma ISO 5167-1, la cual se aplica en México.



Figura 2.1 Las especificaciones de este manual corresponden a la Norma ISO-5167-1; es necesario respetarla para que la medición sea confiable.

Cuando un fluido circula a través de un conducto de sección transversal variable, su velocidad cambia de punto a punto a lo largo del conducto. Se presentan dos casos:

1. Conducto convergente: es cuando la sección transversal disminuye, por lo que la velocidad aumenta y la presión disminuye.
2. Conducto divergente: ocurre cuando la sección transversal aumenta, con lo cual la velocidad disminuye y la presión aumenta.

Cualquier sistema de medición está constituido por dos partes distintas, cada una con una función diferente. La primera, conocida como elemento primario, es la parte del sistema que está en contacto directo con el agua y proporciona algún tipo de interacción con el flujo. La segunda, el elemento secundario, es la parte del sistema que transforma estas interacciones en lecturas o registros deseados.

En los medidores de presión diferencial los elementos primarios son las partes localizadas dentro de la tubería, mientras que los elementos secundarios son los accesorios localizados fuera de la tubería. Estos son los dispositivos para medir la presión en la tubería. La operación se realiza mediante las tomas de presión y el instrumento más común para registrarla es el manómetro.

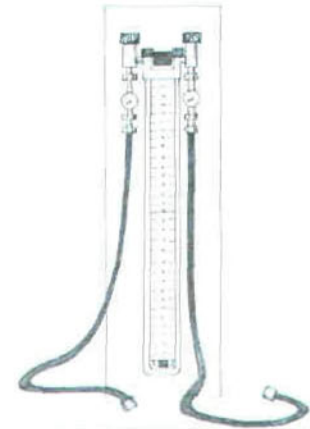


Figura 2.2 El manómetro es un elemento secundario tradicional empleado en los medidores deprimógenos.

La presión diferencial que origina puede medirse usando una columna de mercurio, un manómetro diferencial "U", aparatos sensores de diferencial de presión, etc. Se recomienda que cada medidor se calibre en el sitio para tener la precisión estándar. La precisión es afectada por cambios de la densidad, temperatura, presión, viscosidad, pulsaciones del flujo y por características de la instalación.

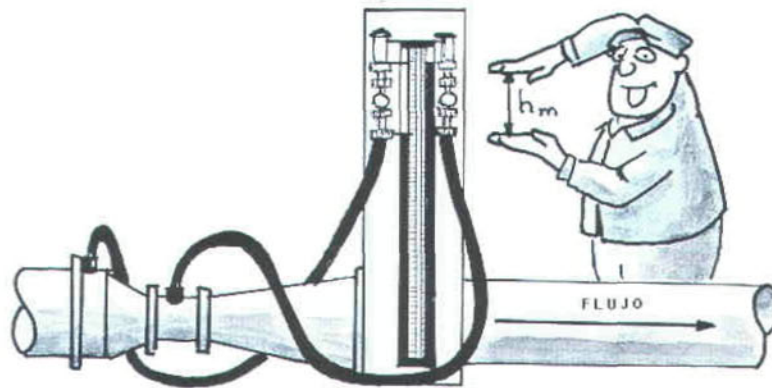


Figura 2.3 La función de los elementos primarios es generar la presión diferencial. Mientras que la de los elementos secundarios es medir y registrar esta presión diferencial.

2.3 MEDIDOR TIPO TUBO VENTURI

El medidor venturi es uno de los dispositivos más precisos para medir el gasto en tuberías y tiene la desventaja de tener un costo elevado. Causa una muy baja pérdida de carga y, con las precauciones debidas, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos. En la figura siguiente se muestran las partes que integran el medidor.

El tubo venturi se compone de tres secciones, como se muestra en la figura (2.4):

1. *Entrada*
2. *Garganta*
3. *Salida*

La sección de entrada tiene un diámetro inicial igual al diámetro de la tubería y una sección cónica convergente que termina con un diámetro igual al de la garganta; la salida consiste en una

sección cónica divergente que concluye con el diámetro de la tubería.

Es esencial que el flujo entrando al venturi sea uniforme. Por lo tanto, un largo tramo continuo con tubería recta aguas arriba y aguas abajo de la localización del venturi es deseable para mejorar la precisión en la medición del flujo. Los requerimientos de tubería recta dependen del accesorio aguas arriba del medidor. En el capítulo 4, se explica con detalle lo anterior.

El tubo venturi clásico puede contruirse de cualquier material, incluso de plástico. En la figura (2.5) se aprecian las dimensiones de un tubo venturi y la ubicación de las tomas de presión.

Cuando el tubo venturi es pequeño (*diámetros de 2 a 10 pulg*) el medidor puede fabricarse mediante una pieza fundida. Para tamaños más grandes (*diámetros de 8 a 48 pulg*), su construcción se facilita mediante la soldadura de piezas separadas.

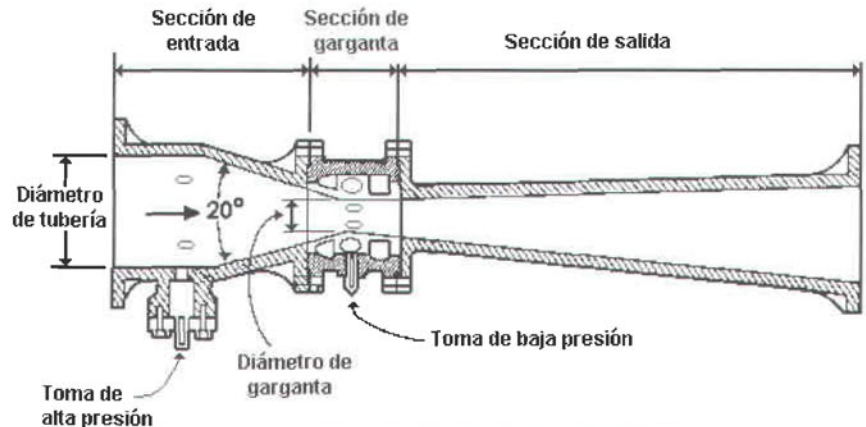


Figura 2.4 En la figura se observa la sección transversal de un tubo venturi, donde se anotan las partes principales que lo integran.

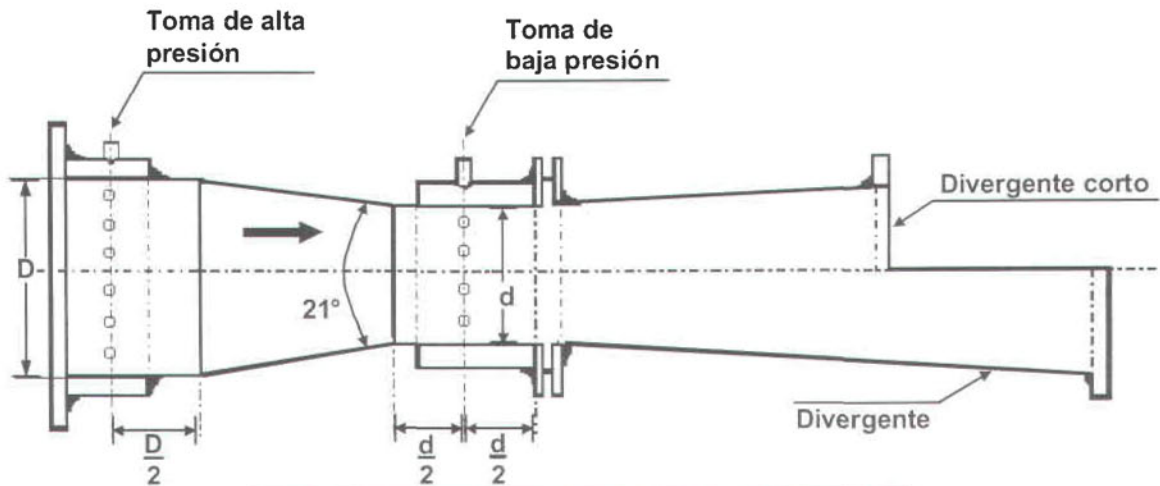


Figura 2.5 Dimensiones constructivas para el tubo medidor venturi.

En la figura (2.6) se muestra un tubo venturi de fundición.

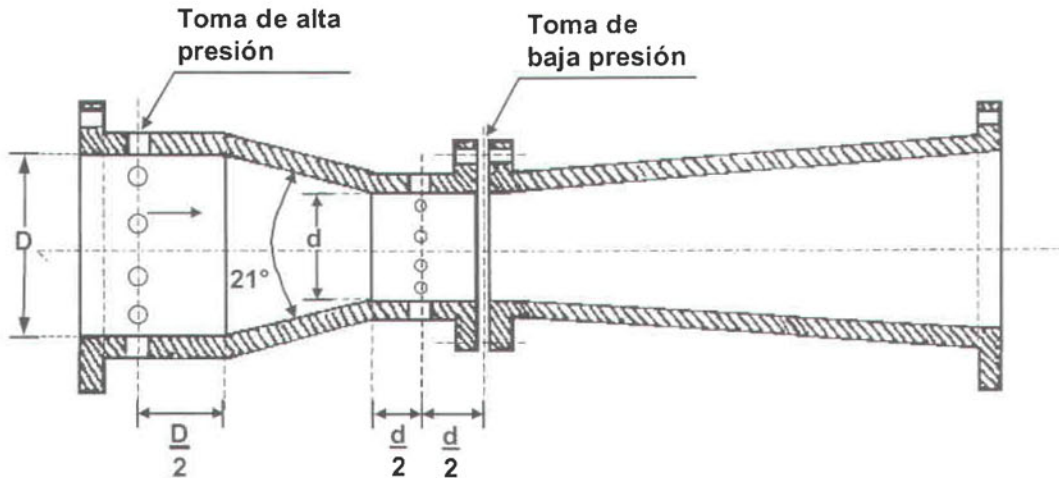


Figura 2.6 Tubo venturi de fundición, fabricado de una sola pieza.

En la figura (2.7) aparece un tubo venturi de chapa colocado en el interior de la tubería.

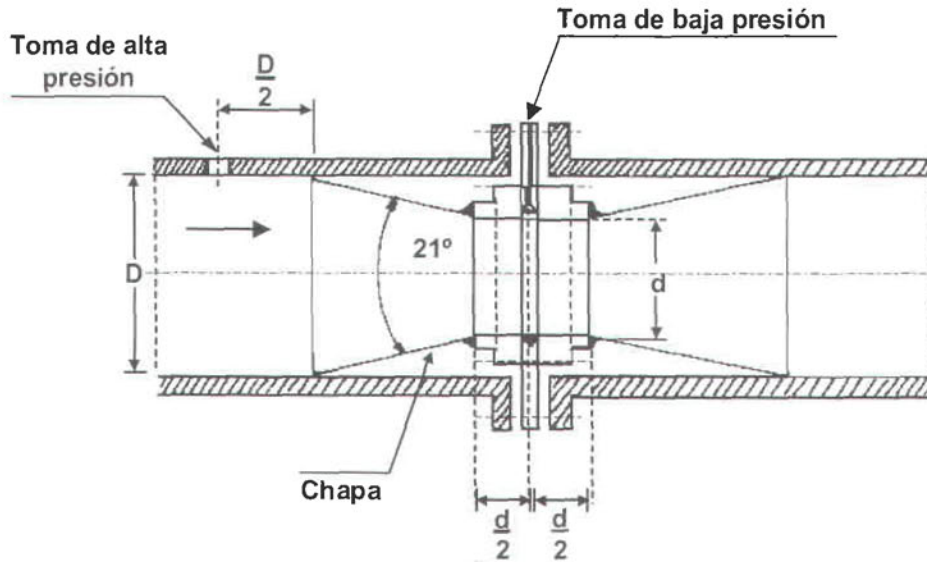


Figura 2.7 Tubo venturi de chapa.

Bajo condiciones ideales un venturi puede tener un error del $\pm 0.50\%$ de la lectura, pero comúnmente los errores alcanzan valores del ± 1.0 o 2.0% por ciento.

2.4 MEDIDOR TIPO TUBO DALL

Continuando con el desarrollo del tubo medidor venturi largo, en 1887 un número de variaciones tal como el venturi corto, fueron desarrolladas. Entre las recientes introducciones de aparatos tipo venturi está el tubo dall, desarrollado en Inglaterra.

El tubo dall consiste en un cuerpo cilíndrico bridado, diseñado con una pequeña entrada recta, la cual

termina abruptamente con una reducción de diámetro, continúa con una reducción cónica, una pequeña garganta y una sección divergente a la salida.

El tubo dall se usa para líneas de corriente con velocidad alta, obteniéndose un amplio rango de presiones diferenciales mayor que el obtenido por el medidor venturi estándar. Los orificios de presión están localizados en la entrada y a la salida de la garganta. En la figura (2.8) se muestran las partes que lo integran.

Dado que es mucho más reducido que el venturi, tiene menos restricciones en su instalación. No se recomienda para fluidos muy sucios.

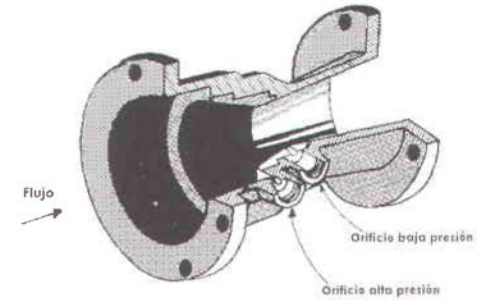


Figura 2.8 Partes que integran el tubo dall.

2.5 MEDIDOR TIPO TOBERA

Varios diseños han sido desarrollados para medidores tipo tobera. El clásico es una entrada cónica y garganta, como en un tubo venturi, pero carece de un cono divergente que afecta esencialmente la recuperación de carga.

Una mayor diferencia y ventaja sobre el tubo venturi es que la tobera puede ser instalada en tuberías bridadas. Las toberas son más económicas que los tubos venturi, pero más costosas que los medidores tipo placa orificio. En general, son más sensibles a las turbulencias aguas arriba.

Este equipo de medición no se recomienda para medir líquidos con alta suspensión de sólidos debido a que los sedimentos provocarían la obstrucción de los orificios de presión. La precisión de la tobera puede aproximarse a la del tubo venturi, especialmente cuando es calibrado en sitio. Es posible usar la tobera cuando una tubería descarga libremente a la atmósfera. En estos casos, únicamente se requiere el orificio de alta presión.

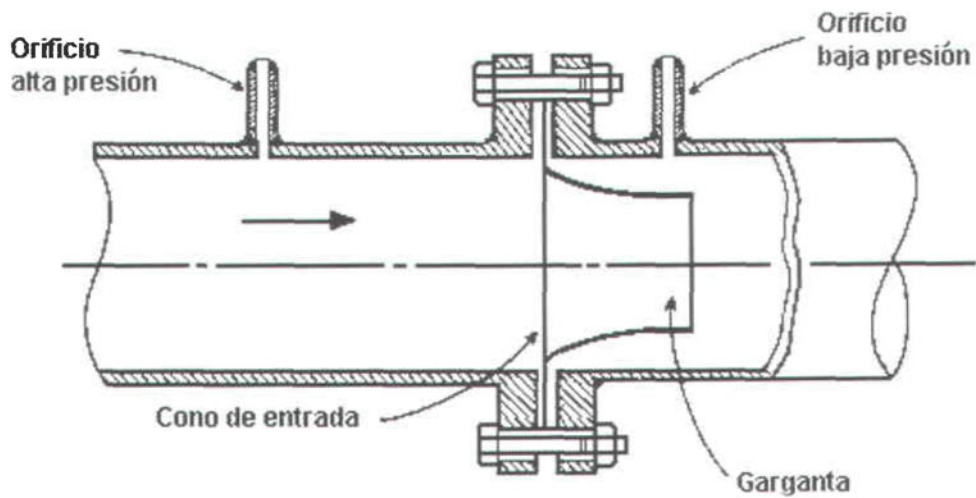


Figura 2.9 Partes que integran un medidor tipo tobera.

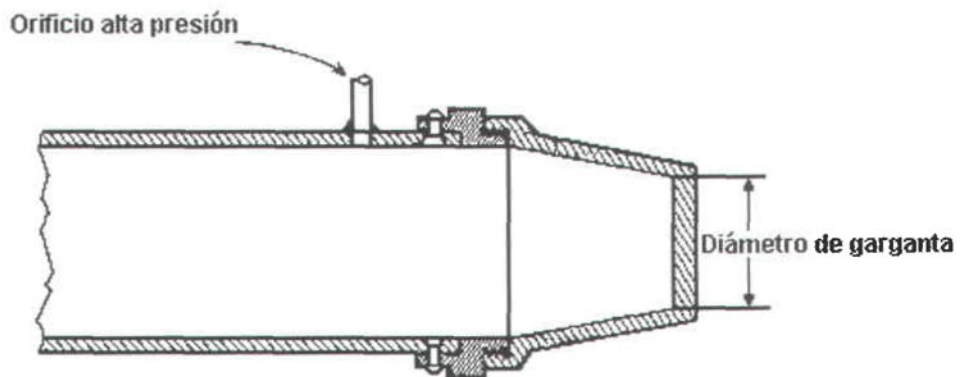


Figura 2.10 Tobera descargando a la atmósfera.

3. CÁLCULO DEL GASTO

Es importante comprender que en cualquier tubería por la que circula agua, la presión aumenta cuando la velocidad disminuye y la presión disminuye cuando la velocidad aumenta. Lo anterior permite comprender con claridad el funcionamiento hidráulico de los medidores de presión diferencial.

El dispositivo deprimógeno más simple es la placa orificio, como apoyo, vamos a referirnos a la figura (3.1), donde se muestra un corte transversal de este dispositivo de medición, para explicar más claramente la ecuación del gasto.

Imaginemos que el agua circula por una tubería normal de acero sin que nada la detenga. En este caso la velocidad de un punto de la tubería a otro no cambia, pero la placa de orificio (punto C) insertada en la tubería origina que el agua choque con la placa y disminuya su velocidad.

Debido a la reducción de la velocidad, la presión justo antes del orificio (punto B) es un poco mayor que la presión de operación en la línea de conducción aguas arriba (punto A).

Al pasar el agua por el orificio, para compensar la disminución del área, la velocidad aumenta y la presión disminuye llegando a su menor valor cuando la velocidad es máxima (punto C). Aguas abajo de este punto, el flujo se dispersa, disminuye la velocidad y se presenta un aumento de la presión en el punto D. Después de la placa, la velocidad se recupera porque el agua circula en toda la tubería (punto E).

Vamos a identificar la presión aguas arriba de la placa de orificio como h_1 , mientras que la presión aguas abajo como h_2 . La diferencia entre ambas ($h_1 - h_2$) la simbolizaremos por h . La pérdida de carga total (punto E) que se genera, se simboliza por h_L . En el capítulo 5 se explica cómo calcularla.

La *densidad de un cuerpo* indica cuánto pesa dentro de un determinado volumen; se representa por la letra griega ρ (rho), para el agua limpia tiene un valor de 1,000 kilogramos por metro cúbico.

Existen dos variables geométricas comunes en todos los medidores deprimógenos: el diámetro de la tubería (D) y el diámetro del estrangulamiento o garganta (d), la relación d/D se conoce como *relación de diámetros* y se simboliza con la letra griega β (beta).

Para determinar el gasto es necesario calcular esta relación. Por ejemplo, si se tiene una tubería de 10" con un medidor venturi con diámetro del estrangulamiento de 5", se tiene un valor de: $\beta = 5/10 = 0.50$.

Al combinar dos ecuaciones hidráulicas, que son la *ecuación de la energía* (o teorema de Bernoulli) y la *ecuación de continuidad*, se forma una ecuación para calcular el gasto.

El teorema de Bernoulli establece que en un punto cualquiera de la tubería o de un canal, la suma de todas las energías es constante. Ésta energía total (E, expresada en m) se calcula en forma matemática como:

$$E = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho} + y = \text{constante} \dots\dots\dots (3.1)$$

en donde:

$V^2/2g$: este término se conoce como *energía cinética* o *carga de velocidad* (m)

V: es la *velocidad* en la tubería (m/s)

g: es la *gravedad terrestre*, cuyo valor es 9.81 m/s²

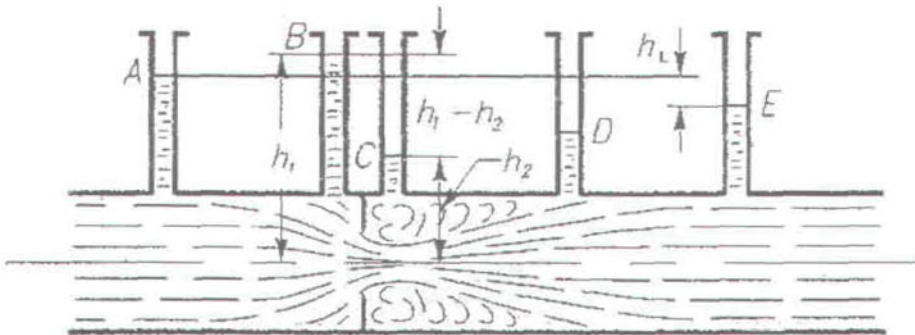


Figura 3.1 El funcionamiento hidráulico de todos los medidores deprimógenos se caracteriza por una pérdida de presión.

P/ρ : este término se conoce como energía de presión (m)

P : es la presión manométrica del punto dado (kg/m^2)

ρ : es la densidad del agua (1.000 kg/m^3)

y : es la energía potencial o coordenada vertical del punto analizado (m)

Mientras que la ecuación de continuidad para fluidos incompresibles como el agua, establece que el gasto (Q , en m^3/s) que circula por cada sección en flujo permanente es constante:

$$Q = AV = \text{constante} \dots\dots\dots (3.2)$$

en donde:

A : es el área hidráulica del conducto (m^2)

V : es la velocidad en la tubería (m/s)

Al aplicar las ecuaciones (3.1) y (3.2) antes y después de la placa orificio mostrada en la figura (3.1), se obtiene matemáticamente, la correlación del diferencial de presión con el gasto definida mediante:

$$Q = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2h}{\rho}} \dots\dots\dots (3.3)$$

en donde:

C_d : es el coeficiente de descarga, es un valor de ajuste sin dimensiones que compensa la distribución de velocidad y las pérdidas de carga menores que

no fueron tomadas en cuenta al obtener la ecuación del gasto; su valor se determina para cada dispositivo.

π : π es una letra del alfabeto griego que es igual a 3.1416

d : diámetro de la garganta (m)

h : presión diferencial, dada en pascales ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ kg-m/s}^2$)

β : relación de diámetros (d/D)

Resulta más fácil y práctico medir la presión diferencial h en metros de columna de agua (m.c.a.). Para tal efecto se obtendrá una expresión adicional. Dado que $h = \rho g h_0$, (donde g es la gravedad terrestre) se obtiene una ecuación para obtener el gasto en función de la presión diferencial h_0 dada en metros de columna de agua.

$$Q = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh_0} \dots\dots\dots (3.4)$$

La ecuación es aplicable a flujos no compresibles (como el agua) y con las siguientes condiciones:

1. El flujo debe ser homogéneo.
2. Debe conocerse con precisión el valor de la presión diferencial.
3. El conducto debe trabajar a presión (tubo lleno).

4. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN FÍSICA

4.1 DIÁMETROS MÍNIMO Y MÁXIMO

Los diámetros mínimo y máximo se determinan a partir de la *relación de diámetros* (β). En la tabla siguiente se muestran los valores extremos para D y β .

Variable	Venturi			Dall	Tobera
	Clásico	Fundición	Chapa		
D_{min} (mm)	200	100		50	
D_{max} (mm)	1,200	800	250	500	630
β_{min}	0.40	0.30	0.40	0.30	0.20
$\beta_{máx}$	0.70	0.75		0.80	

Tabla 4.1 Dimensiones máximas y mínimas.

4.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

Es necesario que en las instalaciones se verifique lo siguiente:

1. Que la tubería sea de sección circular y esté en posición horizontal.
2. Que el agua circule a tubo lleno.
3. Que el interior de la tubería se encuentre limpio y libre de incrustaciones, al menos 10 diámetros aguas arriba del medidor y 4 diámetros después del mismo.

4.3 ¿CÓMO ASEGURARSE DE QUE EL AGUA ANTES DEL MEDIDOR CIRCULA UNIFORMEMENTE?

Esta condición es muy importante para que la medición del gasto sea lo más precisa posible. En todos los sistemas de agua potable o de riego, existen conexiones y/o accesorios que modifican las condiciones normales de flujo, tales como codos, válvulas, reducciones, expansiones, etcétera.

La condición de flujo uniforme se garantiza con una suficiente longitud de tramo recto aguas arriba (A) y aguas abajo del dispositivo de medición (B). En estas dos longitudes no debe existir ningún accesorio o conexión. A partir de la *relación de diámetros* (β) es posible conocer las longitudes de tramo recto necesarias.

En la tabla (4.2), dependiendo de las diferentes condiciones de instalación, se muestran las longitudes de tramo recto necesarias aguas arriba (A) para las toberas y tubos venturi, de acuerdo con la *relación de diámetros* (β). Las longitudes se muestran en diámetros de tubería necesarios.

Como se observa en la tabla, los tubos venturi requieren una longitud de tramo recto mucho menor. El manejo de la tabla (4.2) quedará aclarado con dos ejemplos resueltos.

Accesorio y/o conexión	Dispositivo	Valor de β						
		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75
Codo simple	Tobera	14	16	18	20	26	28	36
	Venturi	---	0.50	1.50	1.50	3.00	4.00	4.60
Dos codos en el mismo plano	Tobera	14	16	18	20	26	36	42
	Venturi	---	1.50	1.50	2.50	3.50	4.50	4.50
Dos codos en planos distintos	Tobera	34	34	36	40	48	62	70
	Venturi	---	0.50	0.50	8.50	17.50	27.50	29.50
Reducción	Tobera	5	5	5	6	9	14	22
	Venturi	---	0.50	2.50	5.50	8.50	10.50	11.50
Expansión	Tobera	16	16	16	18	22	30	38
	Venturi	---	1.50	1.50	2.50	3.50	5.50	6.50
Válvula de globo abierta	Tobera	18	18	20	22	26	32	36
	Venturi	---	1.50	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
Válvula de compuerta abierta	Tobera	12	12	12	12	14	20	24
	Venturi	---	1.50	2.50	3.50	4.50	5.50	5.50

Tabla 4.2 Longitudes de tramo recto en aguas arriba.

Ejemplo de aplicación 4.1:

Se tiene una tubería de 6", se quiere instalar un medidor tipo venturi después de una válvula de globo, si el diámetro de la garganta es de 4.5", ¿cuál deberá ser la longitud de tramo recto necesaria?

Solución:

La relación β resulta de $4.5 / 6 = 0.75$. De la tabla anterior se observa que A debe tener un valor mínimo 4.50 veces el diámetro, es decir: $4.50 \times 6 \text{ pulg} = 27 \text{ pulg}$, que equivalen aproximadamente a **70 centímetros**.

Ejemplo de aplicación 4.2:

En una tubería de 10", se tiene instalado un medidor tipo tobera 4 m después de un codo simple, el diámetro del estrangulamiento en el medidor es de 6", ¿es correcta la ubicación del medidor?

Solución:

La relación β resulta de $6 / 10 = 0.60$. De la tabla se observa que A debe tener un valor mínimo 26 veces el diámetro, es decir: $26 \times 10" = 260"$, que son aproximadamente **6.60 m**. Dado que el medidor se encuentra a 4 m, se concluye que su ubicación *no es correcta*.

En el ejemplo (4.2), si el tramo aguas abajo es lo suficientemente largo es necesario reubicar el medidor, o bien, instalar un tubo venturi que requiere una distancia menor.

Mientras que la longitud de tramo recto aguas abajo (B) para cualquier accesorio se determina con la tabla (4.3):

Aunque el tubo dall tiene una alta recuperación de presión, es más sensitivo a las turbulencias que el venturi o la tobera; puede requerirse una tubería recta aguas arriba (A), de **cuarenta veces el diámetro** del conducto o más. Mientras que la longitud aguas abajo (B) para cualquier accesorio es de **cuatro diámetros**.

Dispositivo	A	B
Tubo dall	40	4

Tabla 4.4 Longitudes de tramo recto en aguas arriba (A) y aguas abajo (B) en tubos dall.

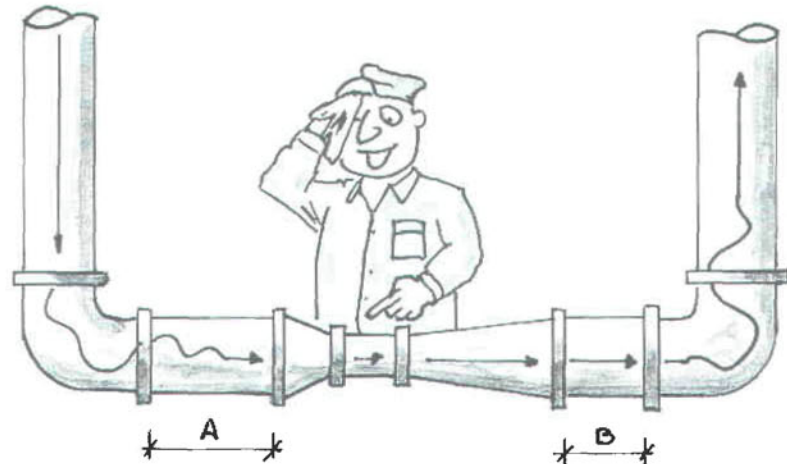


Figura 4.1 Las longitudes necesarias de tramo recto antes y después del dispositivo de medición, aseguran que el flujo sea uniforme.

Dispositivo	Valor de β						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75
Tobera	4	5	6	6	7	7	8
Venturi	---			4			

Tabla 4.3 Longitudes de tramo recto en aguas abajo (B).

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN

5.1 CRITERIOS GENERALES

Aunque la instalación de los medidores es relativamente simple, deben tomarse en cuenta ciertas precauciones. Algunas recomendaciones generales se listan en la tabla (5.1), divididas por fases de instalación.



Figura 5.1 Si la instalación descarga a la atmósfera es necesario colocar un cuello de ganso en la descarga.

Fase de la instalación	Puntos a vigilar
Selección del sitio más adecuado	El medidor no debe ubicarse en el punto más alto de la tubería, donde puede acumularse aire.
	En el lugar de medición debe existir una presión superior a la diferencial producida por el medidor.
	El medidor debe colocarse en un tramo de tubería libre de perturbaciones, tales como pulsaciones u ondulaciones.
Realización de preparativos	El medidor debe ubicarse en el eje horizontal de la tubería, entre dos tramos rectos y cilíndricos, en los cuales no haya obstrucciones o derivaciones (Distancias A y B).
	Antes de la instalación de un equipo nuevo, se debe drenar la tubería.
Montaje del medidor	El medidor debe limpiarse cuidadosamente antes de instalarse.
	El medidor debe instalarse correctamente en relación al sentido del flujo.
	El medidor debe ubicarse concéntricamente a la tubería, sin forzar el medidor ni la tubería.
	El medidor debe instalarse entre dos bridas de la tubería, cuidando que las juntas de las bridas no se proyecten en la tubería.

Tabla 5.1 Recomendaciones de instalación.

Durante la operación es importante verificar que los medidores siempre deben estar *llenos de agua*; en caso de que la descarga sea libre, aguas abajo del medidor la tubería, debe instalarse un *cuello de ganso* que garantice la condición de tubo lleno.

5.2 ¿QUE PÉRDIDA DE CARGA GENERAN ESTOS DISPOSITIVOS?

Una desventaja importante de este tipo de medidores es la *pérdida de carga hidráulica* que genera, la cual representaremos por h_L . Tiene la característica de presentarse durante toda la vida útil del dispositivo de medición.

TUBO VENTURI

Esta pérdida de carga es la diferencia de presiones estáticas entre la presión medida en la pared de la tubería aguas arriba del medidor donde la influencia del mismo es despreciable (*aproximadamente un diámetro*) y la presión aguas abajo del elemento primario donde el flujo se encuentra plenamente desarrollado (*aproximadamente seis diámetros*).

Si h_0 es el diferencial de presión registrado con el elemento secundario y h_A la presión medida seis diámetros aguas abajo, la pérdida de carga h_L que genera el tubo venturi será:

$$h_L = h_0 - h_A \quad (5.1)$$

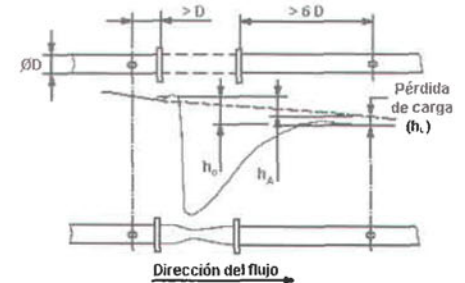


Figura 5.2 Se observa que h_L representa la diferencia entre la línea piezométrica de una tubería imaginaria sin medidor y la línea piezométrica real.

TUBO DALL Y TOBERA

Para el caso del tubo dall y la tobera, h_L depende de β , C_d y h_o , se determina con la siguiente ecuación:

$$h_L = \frac{\sqrt{(1-\beta^4) - C_d \beta^2}}{\sqrt{(1-\beta^4) + C_d \beta^2}} h_o \dots\dots\dots (5.2)$$

En la práctica no es muy común el uso de la ecuación anterior, porque el cálculo de C_d es complejo. En forma aproximada y bastante real, se puede formar la tabla siguiente que relaciona la pérdida de carga h_L en función del porcentaje de la presión diferencial h_o para diferentes valores de β .

β	% de h_o
0.20	92
0.25	88
0.30	84
0.35	78
0.40	72
0.45	66
0.50	60
0.55	53
0.60	46
0.65	39
0.70	31
0.75	23

Tabla 5.2 Pérdida de carga aproximada.

El uso de la tabla (5.2) quedará asentado con un ejemplo resuelto.

Ejemplo de aplicación 5.1:

Se tiene una tubería con diámetro de 8". Se encuentra instalado un medidor tipo tobera, cuyo diámetro del estrangulamiento es de 4", si la presión diferencial h_o es de 3.50 mca. ¿Cuál será la pérdida de carga permanente?

Solución:

Calculemos la *relación de diámetros*:

$$\beta = 4/8 = 0.50$$

De la tabla (5.1), el porcentaje de pérdida de carga es de 60% de h_o , por lo que la pérdida de carga permanente será de:

$$0.60 \times 3.50 \text{ mca} = 2.10 \text{ m.c.a.}$$

La siguiente figura agrupa la pérdida de carga para diferentes medidores deprimógenos.

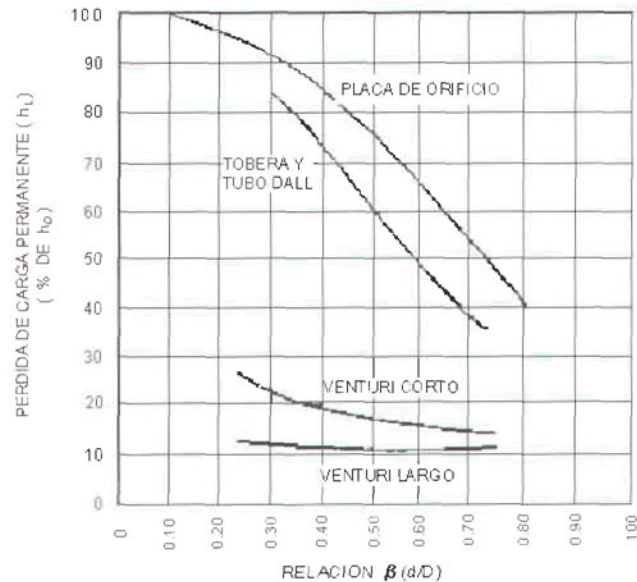


Figura 5.3 Pérdida de carga en medidores deprimógenos.

5.3 ¿DONDE ES RECOMENDABLE LA INSTALACIÓN DE MEDIDORES DEPRIMÓGENOS?

Es necesario considerar varios puntos, como los siguientes:

1. Costo de operación.

Un factor importante que debe tomarse en cuenta en su selección es el costo de operación, en términos de la pérdida de carga permanente (h_L) que depende de la relación de diámetros. Relaciones de diámetros pequeñas originan mayores pérdidas de carga que las relaciones grandes.

2. Naturaleza del flujo.

Es recomendable que el agua circule libre de partículas en suspensión. Por ejemplo, en pozos con un alto contenido de partículas en suspensión, no son convenientes los medidores deprimógenos. Al circular agua limpia, las necesidades de mantenimiento disminuyen en gran medida y aumenta la vida útil del medidor.

3. Características de la instalación.

En cada caso, es necesario revisar los requerimientos de tramo recto aguas arriba (A) y aguas abajo (B), como se explicó en el capítulo 4, para decidir si conviene colocar este tipo de dispositivo de medición.

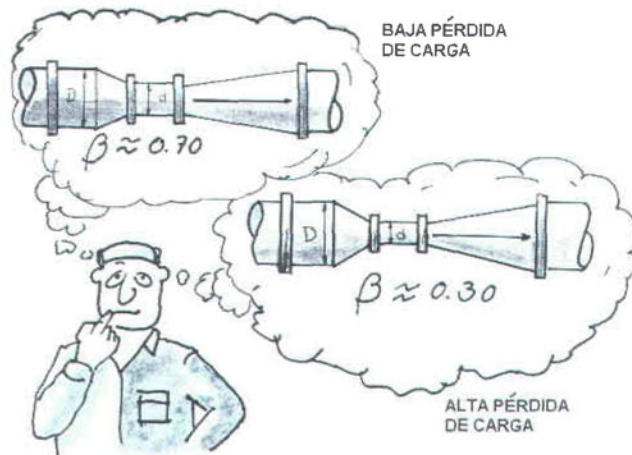


Figura 5.4 Cuando la relación de diámetros β es grande, por ejemplo 0.70, la pérdida de carga h_L es pequeña.

Mientras que si la relación de diámetros β es pequeña, por ejemplo 0.30, la pérdida de carga h_L es grande.

AUTOEVALUACIÓN A.



- ¿Cuál es la característica de los elementos primarios?**
 - Son económicos.
 - Están en contacto con el agua.
 - Registran los cambios de gasto.
 - No necesitan calibración alguna.
- ¿Cuál es la característica de los elementos secundarios?**
 - Disminuyen la velocidad.
 - Producen grandes pérdidas de carga.
 - Generan lecturas como presión, velocidad, gasto, etcétera.
 - Disminuyen la turbulencia.
- ¿Cuales son las tres secciones que componen al tubo venturi?**
 - El tubo de llamada, la transición y el difusor.
 - La entrada, la transición y el rectificador.
 - La transición, el cono deflector y la salida.
 - La entrada, la garganta y la salida.
- ¿Qué sucede con la presión en una tubería cuando la velocidad disminuye?**
 - Disminuye.
 - Aumenta.
 - Permanece constante.
- ¿Cómo se garantiza que el flujo es uniforme en el sitio de medición?**
 - Realizando calibraciones semanales.
 - Colocando la tubería horizontal.
- Respetando las longitudes de tramo recto aguas arriba y aguas abajo.**
 - Verificando que el agua que circule esté libre de sedimentos.
- Se tiene una tubería de 12", se quiere instalar un medidor tipo tobera después de un codo simple, si el diámetro de la garganta es de 8", ¿cuáles deberán ser las longitudes de tramo recto necesarias aguas arriba y aguas abajo?**
 - A=3.60 m, B=0.90 m
 - A=12.00 m, B=7.60 m
 - A=4.00 m, B=1.20 m
 - A=8.50 m, B=2.10 m
- Se tiene una tubería de 10", se quiere instalar un medidor tipo venturi después de una válvula de compuerta, si el diámetro de la garganta es de 5", ¿cuáles deberán ser las longitudes de tramo recto necesarias aguas arriba y aguas abajo?**
 - A=0.90 m, B=1.00 m
 - A=2.20 m, B=1.40 m
 - A=1.80 m, B=1.10 m
 - A=4.20 m, B=2.00 m
- Si después del medidor la tubería descarga a la atmósfera, ¿cómo se garantiza que el medidor trabaje a tubo lleno?**
 - Colocando una reducción.
 - Colocando una válvula de globo parcialmente cerrada.
 - Mediante la limpieza periódica de los elementos primarios.
 - Colocando un cuello de ganso en la descarga.
- Se tiene una tubería con diámetro de 14". Se encuentra instalado un medidor tipo tubo dall, cuyo diámetro del estrangulamiento es de 9", si la presión diferencial es de 6.20 mca ¿Cuál será en forma aproximada la pérdida de carga permanente?**
 - $h_L=1.40$ mca
 - $h_L=2.50$ mca
 - $h_L=4.60$ mca
 - $h_L=3.90$ mca
- ¿Cómo debe ser la relación de diámetros β , para que la pérdida de carga sea pequeña?**
 - Grande, del orden de 0.70.
 - Pequeña, del orden de 0.30.
 - Cuando $\beta=0.50$, se tiene la mínima pérdida de carga.

6. REGISTRO DE LECTURAS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

6.1 CURVAS DE CALIBRACION

El gasto es una de las variables de procesamiento más frecuentemente medida y sin duda, es la más importante. Los datos de gasto se utilizan directamente en las más variadas aplicaciones.

La ecuación (3.4) que se obtuvo anteriormente expresa el gasto en función del coeficiente de descarga (C_d), el cual depende de cada medidor de deprimógeno en particular.

Para fines prácticos, resulta más útil encontrar una ecuación general para todos los medidores de presión diferencial, para ello, agrupemos en una constante K las características geométricas propias de cada medidor:

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2g} \dots\dots\dots (6.1)$$

Entonces, la ecuación general que relaciona la presión diferencial (h_d) con el gasto (Q) puede expresarse de la siguiente forma:

$$Q = K \sqrt{h_d} \dots\dots\dots (6.2)$$

La ecuación anterior tiene algunas limitaciones en cuanto a su empleo:

1. Se utiliza únicamente para fluidos incompresibles. El agua es prácticamente incompresible.
2. Las condiciones de flujo, temperatura y presión deben ser uniformes.
3. El gasto debe ser continuo, sin grandes variaciones.
4. El conducto debe trabajar bajo presión con la sección totalmente llena.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTANTE K.

En los medidores cuya fabricación sigue un prototipo bien definido y probado, y además pasan por un proceso de fabricación compatible con la calidad del producto final deseado, se conoce previamente el valor de la constante K teórica.

Sin embargo, independientemente de los cuidados tomados durante la fabricación del medidor y la calibración del prototipo en laboratorios especializados de hidráulica, es indispensable que, después de instalar el medidor en campo, se verifique sistemáticamente la constante del proyecto por medio de pruebas específicas.

Esto se justifica por la relativa facilidad con que las constantes de proyecto pueden alterarse a lo largo del tiempo, debido a una serie de factores que van desde la obstrucción parcial de las tomas de alta y baja presión, desgaste y/o corrosión de las paredes de las tuberías adyacentes, hasta obstrucciones en la garganta de llegada. Lo anterior se evita con trabajos de mantenimiento, explicados en el capítulo siguiente.

La frecuencia de las verificaciones del valor de K en campo está en función de otra serie de innumerables factores, como la calidad del agua y el material de la tubería. Esta frecuencia se definirá experimentalmente en función de la velocidad de variación de los coeficientes K . Se recomienda realizar un periodo de análisis a lo largo de un año, efectuándose verificaciones frecuentes (que pueden ser mensuales) para estudiar la frecuencia de variación de K .

6.3 PRESIONES DIFERENCIALES

En la siguiente figura aparece la sección transversal de un medidor deprimógeno cualquiera; en la parte inferior se encuentra colocado un manómetro diferencial conectado a las tomas de presión.

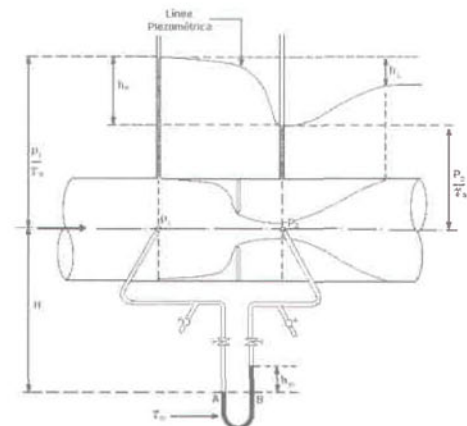


Figura 6.1 La presión diferencial se puede registrar con un manómetro.

Las variables de la figura se explican a continuación:

- γ_a : peso volumétrico del agua (1,000 kg/m³)
- γ_m : peso volumétrico del líquido manométrico (kg/m³)
- P_1 : presión manométrica en la toma de alta presión (kg/m²)
- P_2 : presión manométrica en la toma de baja presión (kg/m²)
- P_1/γ_a : carga piezométrica en la toma de alta presión (mca)
- P_2/γ_a : carga piezométrica en la toma de baja presión (mca)
- h_0 : presión diferencial (mca)
- h_m : deflexión generada en el líquido manométrico (m)
- L.P.: es la trayectoria de la línea piezométrica
- h_L : es la pérdida de carga total que genera el medidor (mca)
- H: es la distancia entre el centro de la tubería y el punto A (m)

Para un líquido cualquiera en reposo, bajo una condición de flujo establecida, la presión en un plano horizontal es constante, por lo tanto de la figura anterior se concluye que la presión en los puntos A y B son iguales, es decir:

$$P_A = P_B \dots\dots\dots (6.3)$$

Desarrollando ambos miembros de la ecuación se obtiene:

$$P_1 + \gamma_a H = P_2 + \gamma_a (H - h_m) + \gamma_m h_m \dots\dots (6.4)$$

Simplificando:

$$P_1 - P_2 = h_m (\gamma_m - \gamma_a) \dots\dots\dots (6.5)$$

Dividiendo entre γ_a :

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_a} = h_m \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_a} - 1 \right) \dots\dots\dots (6.6)$$

Dado que la parte izquierda de la ecuación es en realidad la presión diferencial (h_0) y denominando como d_{ma} a la relación entre γ_m y γ_a , se obtiene la ecuación simplificada que permite conocer h_0 en función de h_m :

$$h_0 = h_m (d_{ma} - 1) \dots\dots\dots (6.7)$$

Al relacionar los valores de los pesos volumétricos de algunos de los líquidos manométricos más comunes con el agua, se obtiene la tabla (6.1).

Líquido	d_{ma}
Tetracloruro de carbono	1.594
Tetrabromoetano	2.960
Bromoformo	2.890
Mercurio vivo	13.580

Tabla 6.1 Relaciones d_{ma} más comunes.

6.4 AJUSTE DE LA ECUACIÓN

En campo es necesario circular varios gastos por la tubería (Q') y registrar la presión diferencial (h'_0) que se genera con dicho gasto. El ajuste de la ecuación (6.2) consiste en determinar un valor K que permita que una función $Q=f(h_0)$ represente de la mejor forma posible los pares medidos (Q', h'_0).

Si los anteriores pares de valores se grafican en un diagrama cartesiano con eje horizontal Q y eje vertical h_0 , como se muestra en la figura

(6.2), es necesario definir una curva parabólica que se ajuste lo mejor posible a los puntos definidos por los pares (Q', h'_0).

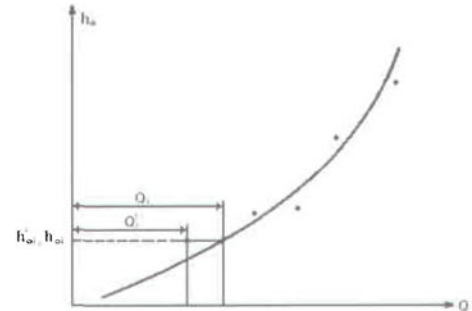


Figura 6.2 Para determinar esta curva se emplea el método de los mínimos cuadrados. El desarrollo del método está fuera de los alcances de este manual. Nos limitaremos a explicar su aplicación mediante un ejemplo totalmente resuelto.

Una vez calculado el valor de K, bastará conocer el valor de la presión diferencial h_0 para determinar el gasto Q con la ecuación (6.2).

Como se observa en la figura (6.2), al utilizar el valor de K para determinar el gasto, se comete un error. Por ejemplo, si durante la operación del medidor se registra una presión diferencial h_0 se determina Q' , aunque el gasto que realmente corresponde es Q'' , que es el correspondiente a h'_0 . Este error es inevitable y debe ser lo más pequeño posible; cómo calcularlo se explica en el apartado (6.5).

Para emplear el método de los mínimos cuadrados resulta útil organizar los cálculos en una tabla. Se recomienda realizar al menos veinte pruebas. Una vez que se tienen los

registros anteriores, se obtienen dos columnas adicionales y al final se suman todos los valores de h_o y $Q \times \sqrt{h_o}$.

El valor de la constante K se obtiene:

Prueba	Q (lps)	h_o (mca)	$\sqrt{h_o}$	$Q \times \sqrt{h_o}$
1				
2				
3				
.				
.				
.				
20				
$\Sigma=$				

Tabla 6.2 Formato para el cálculo de la constante K .

$$K = \frac{\Sigma(Q \times \sqrt{h_o})}{\Sigma(h_o)} \dots\dots\dots (6.8)$$

6.5 CURVAS DE ERROR ESTIMADO

Si graficamos los valores determinados en campo (Q' , h'_o) y la curva media determinada con el método de los mínimos cuadrados, observaremos una diferencia o desviación de los gastos. Esta desviación se conoce como desviación estándar (σ) y se calcula con la siguiente expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(Q - K \times \sqrt{h_o})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (6.9)$$

donde n es el número de pruebas. Para la obtención de la desviación es útil realizar los cálculos en forma tabular:

Prueba	Q (lps)	h_o (mca)	$K \times \sqrt{h_o}$	$Q - K \times \sqrt{h_o}$	$[Q - K \times \sqrt{h_o}]^2$
1					
2					
3					
4					
.					
.					
.					
n					
$\Sigma=$					

Tabla 6.3 Formato para la obtención de la desviación estándar.

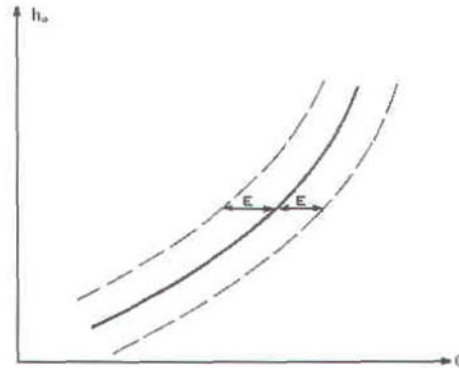


Figura 6.3 El cálculo de la desviación estándar permite cuantificar el error (E) cometido al utilizar la curva de calibración.

6.6 EJEMPLO RESUELTO

En cierto pozo agrícola se llevó a cabo una prueba en la cual se registraron treinta mediciones del gasto (Q') y de la presión diferencial (h'_o) de un tubo venturi instalado. Construir la curva de calibración del medidor y determinar la desviación estándar al emplear esta curva.

En la tabla siguiente, en las primeras dos columnas se anotan los valores del gasto y presión diferencial registrados en campo; en las siguientes cinco columnas, los cálculos intermedios y, en la última fila, las sumas necesarias.

Prueba	Q (lps)	h_0 (mca)	$\sqrt{h_0}$	$Q \times \sqrt{h_0}$	$K \times \sqrt{h_0}$	$Q - K \times \sqrt{h_0}$	$[Q - K \times \sqrt{h_0}]^2$
1	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000
2	5.22	0.02	0.1347	0.70	5.50	-0.28	0.0803
3	11.15	0.07	0.2694	3.00	11.01	0.14	0.0205
4	16.58	0.16	0.4042	6.70	16.51	0.07	0.0049
5	22.12	0.29	0.5389	11.92	22.01	0.11	0.0113
6	28.35	0.45	0.6736	19.10	27.52	0.83	0.6940
7	33.13	0.65	0.8083	26.78	33.02	0.11	0.0120
8	38.72	0.89	0.9431	36.52	38.52	0.20	0.0385
9	44.65	1.16	1.0778	48.12	44.03	0.62	0.3880
10	49.53	1.47	1.2125	60.05	49.53	0.00	0.0000
11	55.21	1.82	1.3472	74.38	55.03	0.18	0.0310
12	60.61	2.20	1.4819	89.82	60.54	0.07	0.0053
13	66.10	2.61	1.6167	106.86	66.04	0.06	0.0035
14	71.45	3.07	1.7514	125.14	71.54	-0.09	0.0088
15	77.48	3.56	1.8861	146.14	77.05	0.43	0.1872
16	82.31	4.08	2.0208	166.33	82.55	-0.24	0.0580
17	87.92	4.65	2.1556	189.52	88.05	-0.13	0.0180
18	93.41	5.25	2.2903	213.93	93.56	-0.15	0.0218
19	99.20	5.88	2.4250	240.56	99.06	0.14	0.0193
20	104.35	6.55	2.5597	267.11	104.56	-0.21	0.0459
21	110.14	7.26	2.6944	296.77	110.07	0.07	0.0052
22	115.41	8.00	2.8292	326.51	115.57	-0.16	0.0259
23	120.65	8.78	2.9639	357.59	121.07	-0.42	0.1802
24	126.30	9.60	3.0986	391.35	126.58	-0.28	0.0772
25	132.24	10.45	3.2333	427.58	132.08	0.16	0.0252
26	137.45	11.34	3.3680	462.94	137.58	-0.13	0.0181
27	142.80	12.27	3.5028	500.20	143.09	-0.29	0.0829
28	148.46	13.23	3.6375	540.02	148.59	-0.13	0.0173
29	154.12	14.23	3.7722	581.37	154.09	0.03	0.0006
30	160.20	15.26	3.9069	625.89	159.60	0.60	0.3622
$\Sigma =$		155.27		6,342.90			2.4434

Tabla 6.4 Datos y cálculos del ejemplo resuelto.

Por lo tanto, el valor de la constante K resulta de:

$$K = \frac{6,342.90}{155.27} = 40.85 \dots\dots\dots (6.10)$$

Mientras que la desviación estándar es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2.4434}{30-1}} = 0.29 \text{ lps} \dots\dots\dots (6.11)$$

Al graficar la ecuación $Q=40.85\sqrt{h_o}$ se obtiene la siguiente *curva de calibración*, que presenta una desviación estándar de 0.29 litros por segundo.

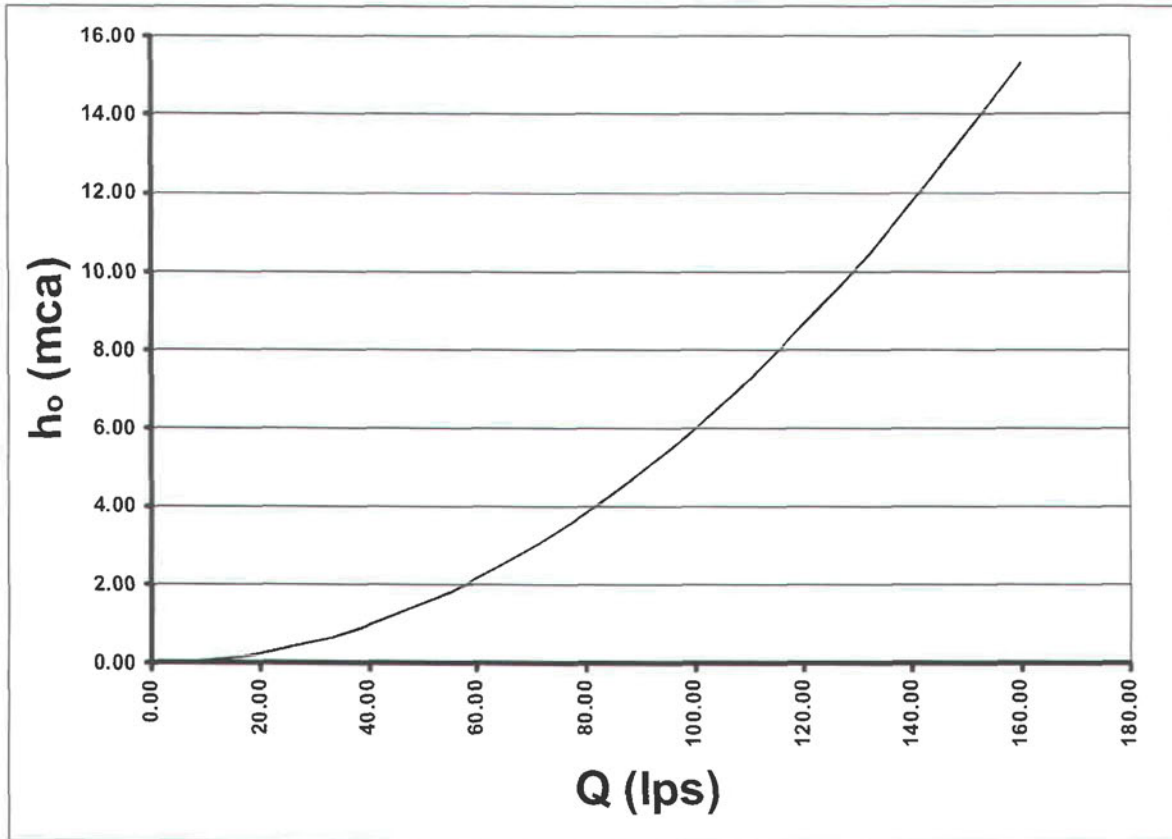


Figura 6.4 El valor de la nueva constante de calibración se dará a conocer a las áreas de operación y mantenimiento. Los resultados de la prueba interesan al sector encargado del control de fugas y uso eficiente del agua.

6.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En caso de que no se disponga de un medidor secundario, tal como un registrador de presión diferencial, es posible utilizar un manómetro en "U" con líquido manométrico adecuado a los diferenciales de presión generados a lo largo del día, acoplado a las tomas de alta y baja presión del medidor primario deprimógeno.

La simple lectura de la deflexión manométrica (h_m) que se registra en un instante dado permitirá conocer el valor de la presión diferencial (h_d) y el gasto (Q) que circula en ese momento.

Si se dispone de un equipo secundario más sofisticado, como un registrador de presión diferencial u otro tipo de célula diferencial, es posible calibrarlo tomando como referencia la curva real de calibración del medidor primario. Sin embargo, en la práctica ocurre que estos equipos son calibrados de acuerdo con la curva teórica del medidor primario, dado que este tipo de calibración no presenta demasiada dificultad.

7. MANTENIMIENTO BÁSICO

7.1 GENERALIDADES

Los medidores deprimógenos son usados en la medición de *líquidos limpios* y su aplicación no es recomendable al agua con alta concentración de sólidos en suspensión, los cuales se sedimentan y ocasionan *variaciones frecuentes* en la constante de calibración K y, por lo tanto, una medición imprecisa del gasto.

7.2 ELEMENTOS PRIMARIOS

Antes de realizar cualquier acción de mantenimiento es conveniente realizar un aforo para evaluar el valor de la constante K ; si el valor del coeficiente cambia continuamente, se deberá

efectuar una limpieza general poniendo especial atención en los sólidos sedimentados.

Los medidores de presión diferencial tienen la gran ventaja de no tener partes móviles que sufran desgaste y requieran especial cuidado. Su mantenimiento se limita a actividades de limpieza.

7.3 ELEMENTOS SECUNDARIOS

Resulta importante que las tomas de presión se encuentren libres de sedimentos para que su funcionamiento sea el óptimo, por lo cual su limpieza debe ser periódica. Una vez que el equipo esté limpio se pueden emplear las constantes de calibración originales.

Los orificios de las tomas de presión deben ser limpiados con agua a presión para prevenir obturaciones de sólidos.

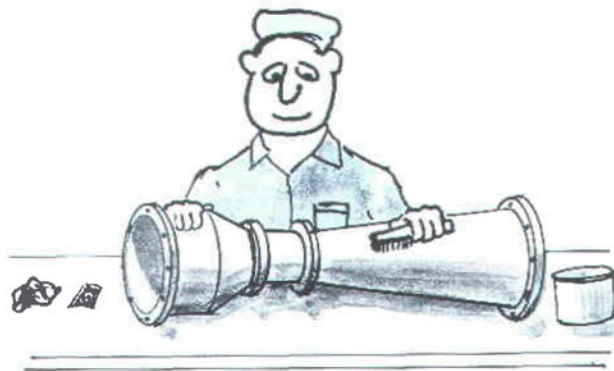


Figura 7.1 La limpieza de las arenas que se acumulan en los medidores deprimógenos permiten que la medición del gasto sea precisa.

8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

En general, los medidores de presión diferencial presentan características similares, dado que utilizan el mismo principio de operación. En las siguientes dos tablas aparecen anotadas las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

Ventajas	Venturi	Dall	Tobera
Precisión			
No obstruye el flujo			
Baja pérdida de carga			
Confiable y simple en su diseño			
Operación estable		X	
Resistente			
Calibración sencilla			
Sin partes móviles			
Su mantenimiento no necesita interrumpir el flujo			
Poco efecto si se tienen sólidos en movimiento	X		X

Tabla 8.1 Ventajas de los medidores deprimógenos.

Desventajas	Venturi	Dall	Tobera
Rango de operación limitado		X	
Requerimientos de longitud en su instalación			
Restricciones en su instalación	X		
Alto costo		X	

Tabla 8.2 Desventajas de los medidores deprimógenos.

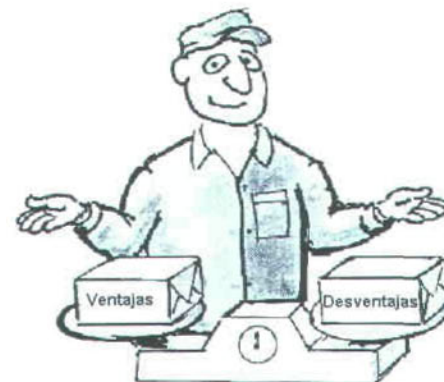


Figura 8.1 En cada caso es necesario evaluar las ventajas y desventajas para decidir si es conveniente instalar los medidores de presión diferencial.

9. GLOSARIO DE VARIABLES

Variable	Unidad	Descripción
E	m	Energía total
V	m/s	Velocidad
g	m/s^2	Gravedad terrestre ($9.81 m/s^2$)
P	kg/m^2	Presión manométrica
ρ	kg/m^3	Densidad del agua ($1,000 kg/m^3$)
y	m	Energía potencial
Q	m^3/s	Gasto
A	m^2	Área hidráulica
C_d	---	Coefficiente de descarga
π	---	Letra pi (3.1416)
d	"	Diámetro de la garganta
D	"	Diámetro de la tubería
β	---	Relación de diámetros (d/D)
h	Pa	Presión diferencial
h_o	mca	Presión diferencial
A	m	Longitud de tramo recto aguas arriba
B	m	Longitud de tramo recto aguas abajo
h_L	mca	Pérdida de carga
h_A	mca	Presión a seis diámetros aguas abajo (venturi)
K	---	Constante de calibración del medidor
γ_a	kg/m^3	Peso volumétrico del agua ($1,000 kg/m^3$)
γ_m	kg/m^3	Peso volumétrico del líquido manométrico
P_1	kg/m^2	Presión manométrica en la toma de alta presión
P_2	kg/m^2	Presión manométrica en la toma de baja presión
P_1/γ_a	mca	Carga piezométrica en la toma de alta presión
P_2/γ_a	mca	Carga piezométrica en la toma de baja presión
h_m	m	Deflexión generada en el líquido manométrico
d_{mag}	---	Relación entre γ_m y γ_a
Q'_i	lps	Gasto registrado durante la calibración
h'_{oi}	mca	Presión diferencial registrada durante la calibración
Q_i	lps	Gasto calculado con la curva de calibración
h_{oi}	mca	Presión diferencial registrada durante la operación
σ	lps	Desviación estándar

Tabla 9.1 Variables y su descripción.

10. LISTADO DE PRINCIPALES PROVEEDORES

EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO/ FAX	E-MAIL	http://
BadgerMeter de las Américas, S.A. de C.V. <i>Fabricante de equipos de medición en general</i>	Insurgentes Sur 1862, Piso 8 Col. Florida 01030 México, D.F.	Tel. 5662-6588 Fax. 5662-6631	bmla@badgermeter.com	www.badgermeter.com
Grupo Pifusa, S.A. de C.V. <i>Fabricante de elementos primarios para la medición y control de flujo y temperatura</i>	Andre Marie Ampere No. 3, Col. Parque Ind. Cuamatla 54730 Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, México	Tel. 5872-2444 Fax. 5872-4993	pifusa@infosel.net.mx	
Tri Flo Tech, Inc. <i>Tubos venturi</i>	P.O. Box 121254 Arlington, Texas 76012, USA	Tel. (817) 483-0001 Fax. (817) 483-1959	triflo@flash.net	www.triflotech.com
Fox Valve Development Corp. <i>Equipo de medición y control</i>	Hamilton Business Park Dover, New Jersey 07801 USA	Tel. (973) 328-1011 Fax. (973) 328-3651	info@foxvalve.com	www.foxvalve.com
EnerSys Corporation <i>Control supervisorio y adquisición de datos, desarrollo de sistemas de información</i>	P.O. Box 131525 Houston, Texas 77219 USA	Tel. (713) 963-8829 Fax. (713) 626-3597	rwttreat@enersyscorp.com	www.enersyscorp.com
Spangcontrols Co. <i>Control de procesos e instrumentación</i>	106 Main Street Stoneham, MA 02180 USA	Tel. (781) 438-7985 Fax. (781) 438-4706	inquiry@spangcontrols.com	www.spangcontrols.com
PRC Flow Measurement, Inc. <i>Medidores flujo de presión diferencial</i>	1610 North 170th East Ave Tulsa, OK 74116 USA	Tel. (918) 437-0507 Fax. (918) 437-3561 1 (800) 248-5111	kevincox@prcflow.com	www.prcflow.com
Westfall Manufacturing Company <i>Fabricación de tubos venturi de fibra de vidrio</i>	Bristol, Rhode Island, USA	Tel. (401) 253-3799 Fax. (401) 253-6530 1 (888) 928-3747	westfal791@aol.com	www.westfallmfg.com
Primary Flow Signal, Inc. <i>Medición y control de flujo</i>	81 Bleachery Court Warwick, RI, USA	Tel. (401) 463-9199 Fax. (401) 463-3129	dezi@primaryflowsignal.com	www.pfsflowproducts.com

11. REFERENCIAS

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, *Pitometría un nuevo estilo de enseñanza*, Lima, Perú, 1995.
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia de Normas Técnicas, *III.3.1 Selección e instalación de equipos de macromedición*, México, D.F., 1994.
- International Standard ISO 2186, first edition. Fluid Flow in Closed Conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements. Switzerland, 1991.
- International Standard ISO 5167-1, first edition. Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices. Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full. Switzerland, 1991.
- República Peruana, Organización Panamericana de la Salud, Banco Interamericano de Desarrollo, Organización Mundial de la Salud, *Macromedición*, Lima, Perú, 1985.
- United States Bureau of Reclamation (U.S.B.R.), *Water Measurement Manual*, Chapter 14, Measurements in Pressure Conduits. Third edition, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1997. <http://www.usbr.gov/>

AUTOEVALUACIÓN B



11. ¿Cuáles son los datos de campo necesarios para realizar una calibración?

- El gasto (Q) y la presión diferencial (h_p).
- El gasto (Q), la relación de diámetros (β) y la pérdida de carga (h_L).
- El diámetro de la tubería (D) y la deflexión del manómetro (h).
- La relación de diámetros (β) y la presión diferencial (h_p).

12. ¿En qué consiste la calibración de un medidor tipo deprímogeno?

- En minimizar la pérdida de carga h_L .
- En obtener el valor de la constante K .
- En calcular los gastos máximos y mínimos.
- En instalar un elemento secundario.

13. En un medidor venturi se registraron los siguientes gastos y presiones diferenciales:

Prueba	Q (lps)	h_p (mca)
1	0.00	0.00
2	9.15	0.02
3	18.92	0.08
4	27.15	0.18
5	37.12	0.32
6	46.25	0.51
7	55.50	0.73
8	64.75	0.99
9	74.20	1.30
10	83.60	1.64
11	91.45	2.03
12	101.75	2.45
13	111.00	2.92
14	121.15	3.42
15	131.60	3.97
16	138.75	4.56
17	148.62	5.18
18	157.25	5.85
19	164.25	6.56
20	175.82	7.31

Obtener la constante K del medidor y calcular la desviación estándar (σ).

- $K=35.60$, $\sigma=0.42$ lps
- $K=60.26$, $\sigma=0.75$ lps
- $K=70.50$, $\sigma=1.02$ lps
- $K=65.02$, $\sigma=0.81$ lps

14. ¿Cada cuánto tiempo es conveniente realizar la calibración?

- Una sola vez, cuando se instala el medidor.
- Cada mes.
- Cada año.
- Cada diez años.

15. ¿Qué se recomienda cuando el valor de la constante K ha cambiado notablemente?

- Instalar un medidor nuevo.
- Cambiar los elementos secundarios.
- Llamar al proveedor comercial.
- Efectuar una limpieza general del medidor.

16. ¿Cuál es la mayor ventaja de los medidores deprímogenos?

- Que no tienen partes móviles.
- Que son aptos para medir flujos con partículas suspendidas.
- Que son muy económicos.
- Generan una baja pérdida de carga.

17. ¿Cuál es la principal actividad de mantenimiento de los medidores deprímogenos?

- Las calibraciones mensuales.
- El cambio periódico de los elementos secundarios.
- La limpieza de los sedimentos acumulados.
- El cambio de los elementos primarios desgastados.

18. ¿Cuál es la principal ventaja del mantenimiento periódico?

- Una medición precisa del gasto.
- Minimizar la pérdida de carga h_L .
- Aumentar el rango de medición.
- Disminuir el costo de operación.

19.- ¿En qué caso no es recomendable el uso de los medidores de presión diferencial?

- Cuando la tubería es mayor a 14 pulgadas.
- Cuando la tubería descarga a la atmósfera.
- Cuando el agua contiene alta concentración de sólidos en suspensión.
- Cuando el gasto es menor a 15 lps.

20.- ¿Cuál es un requisito fundamental para que el funcionamiento de las tomas de presión sea el óptimo?

- Que la pérdida de carga h_L sea mínima.
- Que se use mercurio como líquido manométrico.
- Que la presión en la tubería no sea excesiva.
- Que se encuentren libres de sedimentos.

RESPUESTAS CORRECTAS DE LAS AUTOEVALUACIONES A Y B

A	Respuesta
1	b
2	c
3	d
4	b
5	c
6	d
7	a
8	d
9	b
10	a

B	Respuesta
11	a
12	b
13	d
14	b
15	d
16	a
17	c
18	a
19	c
20	d



IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA

PAPELETA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del
vencimiento del préstamo señalado por el último sello

--	--	--

IMTA / CCA / F / PD

FORMA IMTA - D - 036

Apartado Postal 202 CIVAC, Mor. 62500
Jiutepec, Mor.



SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DEL AGUA
 Subdirección General de Administración del Agua, CNA
 Coordinación de Tecnología Hidráulica, IMTA

SERIE AZUL

1ª. etapa (2000)

NÚMERO DE ISBN	TÍTULO	AUTOR
968-7417-64-1	Métodos y Sistemas de Medición de Gasto	Leonel Ochoa Alejo
968-7417-65-X	Medidor Ultrasónico Tiempo de Tránsito	Víctor Bourguett Ortiz
968-7417-66-8	Medidor Ultrasónico de Efecto Doppler para Tuberías	Carlos Patiño Gómez
968-7417-67-6	Medidor Ultrasónico de Efecto Doppler para Canales	Edmundo Pedroza González
968-7417-68-4	Medidor Electromagnético	Mario Buenfil Rodríguez
968-7417-69-2	Tubo Pitot	Angel Ruiz Aparicio
968-7417-70-6	Placa Orificio	Iván Rivas Acosta
968-7417-48-X	Aforador de Garganta Larga	Nahún García Villanueva Salvador Vargas Díaz

2ª. etapa (2001)

968-5536-01-5	Medidores de Velocidad (hélice, turbina y molinete)	Angel Ruiz Aparicio
968-5536-02-3	Vertedores	Ariosto Aguilar Chávez
968-5536-03-1	Tubos Venturi, Dall y Tobera	Iván Rivas Acosta
968-5536-04-X	Canal Parshall	Edmundo Pedroza González
968-5536-05-8	Elementos Secundarios de Medición de Gasto	Martha Patricia Hansen Rodríguez