



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE LA REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

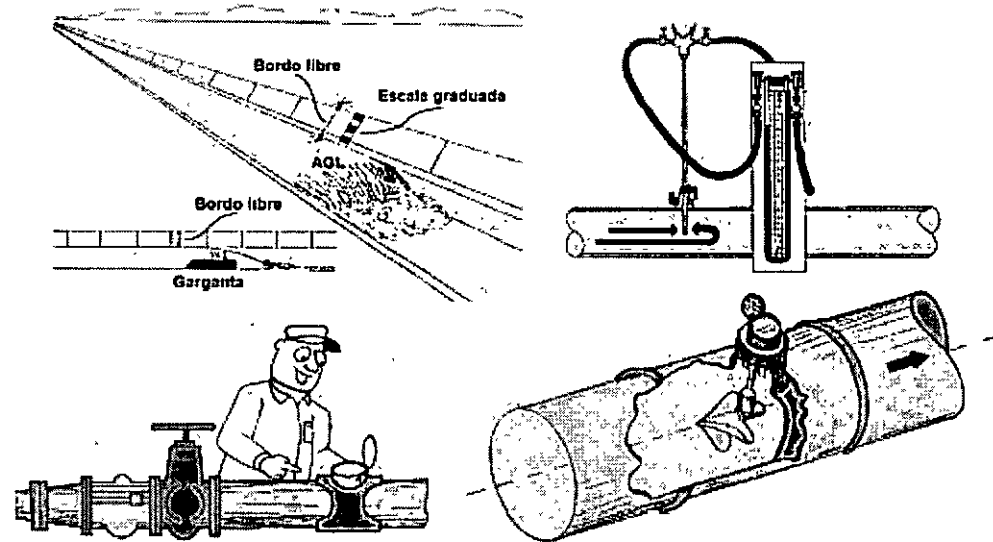
TEMA:

FUNDAMENTOS DE HIDRAULICA

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**



SERIE AUTODIDÁCTICA DE MEDICIÓN DEL AGUA

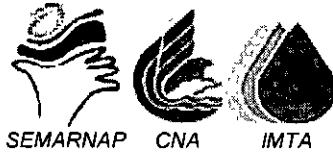


MÉTODOS Y SISTEMAS DE MEDICIÓN DE GASTO

Autor: Ochoa A. L.

Revisores: Juárez N. R. Y Monjardín P.L.

Editor: Ochoa A. L.



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA HIDRÁULICA



© 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 Inspección y Medición

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

Elabora:

Grupo de Hidráulica Rural y Urbana del IMTA
Grupo de Inspección y Medición de la CNA

Imprime:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

ISBN 968-7417-64-1

PARTICIPANTES

En la realización de este documento, colaboraron: Especialistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1), y de la Subdirección General de Administración del Agua de la Comisión Nacional del Agua, CNA (2).

Autor: Leonel H. Ochoa Alejo

Revisores: Raúl Juárez Nájera y Leticia N. Monjardín Pacheco

Editor: Leonel H. Ochoa Alejo

Para mayor información dirigirse a:

SUBGERENCIA DE INSPECCIÓN Y
MEDICIÓN
GERENCIA DE RECAUDACIÓN Y
CONTROL

Subdirección General de Administración
del Agua

Insurgentes Sur # 1969, 1er piso, Colonia
Florida CP. 01030, México D.F.

Tel. (01) 56-61-83-81, Fax. (01) 56-61-71-
49, Email: rmerino@sgaa.cna.gob.mx

SUBCOORDINACIÓN DE HIDRÁULICA
RURAL Y URBANA
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA
HIDRÁULICA

Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Colonia
Progreso, CP. 62550, Jiutepec, Morelos

Tel. y Fax (017) 3-19-40-12, Email:
nahung@tlaloc.imta.mx

Derechos reservados por Comisión Nacional del Agua, Insurgentes Sur # 2140, ermita San Angel, CP. 01070, México D.F. e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Colonia Progreso, CP. 62550, Jiutepec, Morelos. Esta edición y sus características son propiedad de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



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 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 Comisión Nacional del Agua, CNA, a través de la Subdirección General de Administración del Agua, desarrolla continuamente campañas de instrumentación y medición de caudales, con el fin de controlar y verificar las cantidades de agua asignadas en las concesiones a los diversos usuarios de las fuentes de abastecimiento.

Ante esta situación y a la dificultad que representa el uso de los diferentes aparatos de aforo, la CNA y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 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; 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 que proveedores existen en el mercado; b) un disco compacto, CD, elaborado en el paquete "Power Point de Microsoft", construido con hipervínculos, diagramas, fotografías, ilustraciones, según lo requiera cada tema.

Con estos 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 HIDRÁULICA	2
3. FUNDAMENTOS MEDICIÓN	12
4. MEDIDORES	19
5. INSPECCIÓN A CONCESIONARIOS DE AGUA NACIONAL	27
APÉNDICES:	
A. Normatividad	37
B. Unidades de Medida	38



1. ¿PARA QUIÉN Y POR QUÉ?

¿PARA QUIÉN?

Para los técnicos de la Comisión Nacional del Agua dedicados a inspeccionar y verificar equipos de medición de caudal y volumen instalados en los sistemas hidráulicos donde se explota el agua nacional.

También puede ser utilizado por el personal de instalaciones concesionadas, dedicados a mantener los equipos y a registrar datos de los volúmenes y caudales que se consumen o se descargan

¿PARA QUÉ?

- a) Para verificar el funcionamiento correcto de los medidores de agua existentes, según el procedimiento especificado de aforo.
- b) Estimar el volumen de agua extraído por el usuario.
- c) Evaluar e interpretar adecuadamente los datos de medición proporcionados por cada uno de los diferentes dispositivos y poder correlacionar las lecturas obtenidas a través de las diferentes metodologías.

Uso de varios equipos para realizar aforos: aforadores de garganta larga, pitometría, placas orificio, ultrasónicos (tiempo en tránsito y efecto Doppler en superficie libre y a presión) y electromagnéticos.

EVALUA SI SABES:

- como identificar si un medidor
 - revisar que esté bien instalado el medidor
 - realizar algunas pruebas primarias para saber si el medidor opera correctamente
 - contestar a las preguntas de vienen en la siguiente lista:
- **respecto a sensibilización de tu papel como inspector --**
 - ¿Cuáles son etapas que debes realizar en una inspección a un concesionario del agua nacional ?
 - ¿ Cómo se elabora un dictamen técnico de una inspección a un usuario del agua ?
- **respecto a tus conocimientos sobre hidráulica --**
 - ¿Cuántos litros tiene un metro cúbico ?
 - ¿ Cuáles son los principios de hidráulica que rigen el comportamiento del agua?
 - ¿ Qué es carga de piezométrica, carga de velocidad, flujo crítico, flujo turbulento, pérdidas por cortante y gasto?
- **respecto a tus conocimientos sobre medición --**
 - ¿Qué es exactitud y precisión?
 - ¿Cuántos tipos de error puedes cometer en una medición?
 - ¿Cuáles son los métodos para medir gasto?
 - ¿Qué partes conforman un medidor?
 - ¿Cuántos tipos de medidores existen?



2. PRINCIPIOS DE HIDRÁULICA

Desde hace varios siglos el ser humano ha tenido la necesidad de medir el comportamiento físico del agua en reposo o movimiento. Es por ello que ha inventado muchos aparatos que registran la velocidad, la presión, la temperatura y el gasto de agua, entre otros.

Todos estos ingeniosos dispositivos aprovechan los principios que rigen el comportamiento físico del agua, de tal manera que es conveniente que tú, como usuario de los equipos de medición, los conozcas y los puedas interpretar, para que tu actividad como verificador de la CNA resulte de mejor calidad.



Fig. 2.1 es necesario conocer los fundamentos de hidráulica, para ser buen inspector

Los principios básicos de la hidráulica son tres: a) Conservación de masa o continuidad, b) conservación de la energía y, c) Conservación de la cantidad de movimiento.

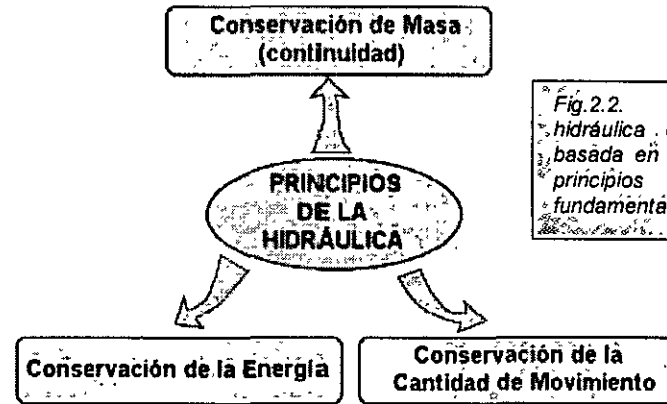


Fig. 2.2. La hidráulica está basada en tres principios fundamentales

Además de los, existen otra serie de caracterizaciones físicas del agua, que han sido determinadas para complementar estos principios, denominadas *relaciones constitutivas*. Algunas de ellas son densidad, velocidad, gasto, esfuerzo cortante, cargas hidráulicas, presión, número de Reynolds y Froude, flujo crítico etc.

En esta sección del manual conocerás estos principios fundamentales de hidráulica y algunas de las relaciones constitutivas, para que puedas interpretar mejor el funcionamiento de los medidores de agua.

2.1 ALGUNAS PROPIEDADES DEL AGUA Y DE CONDUCTOS

El agua posee ciertas propiedades físicas que la distinguen de los otros elementos naturales y que se pueden cuantificar

mediante el uso de parámetros. Estas propiedades son inherentes al líquido y se mantienen, aún si el agua se encuentra en movimiento o en reposo.

Entre la principales propiedades físicas del agua se encuentran las siguientes:

Peso específico, γ - Es el peso del agua en un volumen unitario, el valor estándar de γ para el agua vale 1000 kg/m^3 .

Densidad, ρ - Es una medida de la cantidad de masa que contiene un volumen de agua, para una temperatura de 20°C su valor es de $1014 \text{ kg-s}^2/\text{m}^4$. La densidad y el peso específico se relacionan con la aceleración de la gravedad g , mediante la ecuación:

$$\gamma = \rho g$$

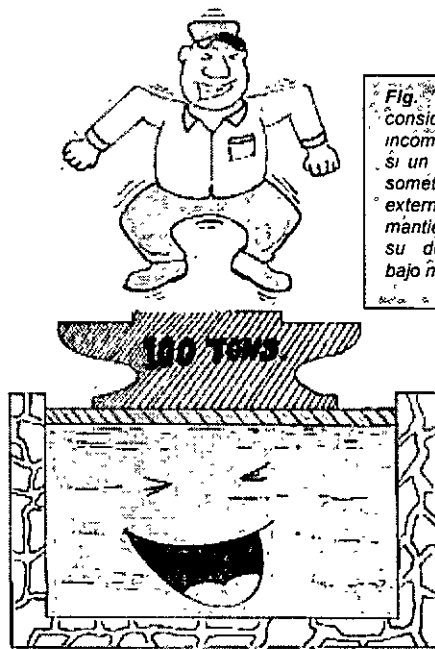


Fig. 2.3 El agua es considerada como un fluido incompresible, es decir que si un volumen de agua se somete a una fuerza externa, dicho volumen se mantiene constante, o bien su densidad no cambia bajo ninguna circunstancia.

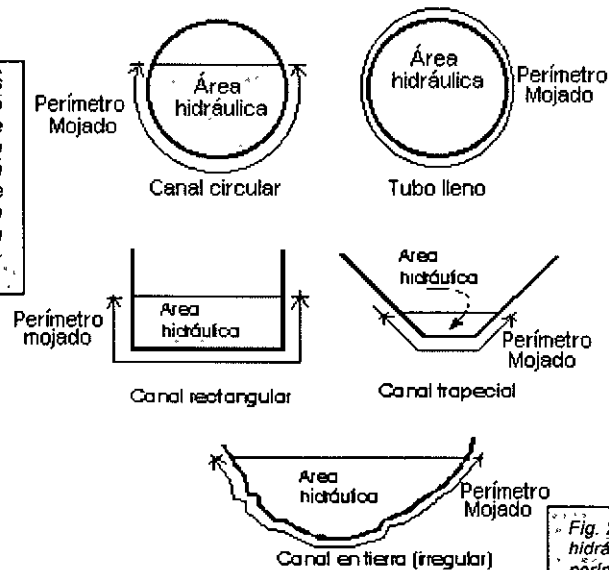


Fig. 2.4 Área hidráulica y perímetro mojado en conductos

Viscosidad dinámica, μ .- Es una medida de su resistencia a fluir, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas, para agua a 20 °C de temperatura μ es igual a 1 kg-s/m².

Viscosidad cinemática, ν .- está definida como la relación entre la viscosidad dinámica μ entre el peso específico del agua; el valor para agua a una temperatura de 20 °C es de 0.000001 m²/s.

Normalmente, el agua en movimiento se mide en los conductos que la transportan. Estos conductos llamados hidráulicos pueden ser naturales, como por ejemplo los cauces de los ríos o artificiales como las tuberías y canales. La geometría de los conductos hidráulicos está definida por

su longitud, diámetro, pendiente y el área de su sección transversal.

Cuando el agua circula por estos conductos, sus geometrías se relacionan con el agua y adquieren importancia otras características, como el radio hidráulico y el perímetro mojado del conducto.

Perímetro mojado, P_m .- Es la longitud de la sección transversal que se encuentra en contacto con el agua.

Radio hidráulico, R_h .- Es igual al área de la sección transversal del conducto dividida entre el perímetro mojado, sus unidades son de longitud (metros, centímetros, etc.) y se abrevia con la letra R_h .

2.2 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES Y TIPOS DE FLUJO

La **velocidad del agua, V** , en un conducto se define como la distancia, S , que recorre el líquido en un determinado tiempo, t .

$$V = \frac{S}{t}$$

Cuando una persona se sitúa en la orilla de Un río o canal percibe a simple vista que el agua avanza a la misma velocidad en todo lo ancho de la superficie. Pero, una mirada

más cuidadosa revelará que se tiene mayor velocidad al centro del cauce que en las orillas. Esto se debe a que las paredes del río o canal frenan la corriente; mientras más nos acercamos a la orilla menos velocidad se tiene. De hecho, se ha demostrado que existe una pequeña capa, de dimensiones microscópicas, que no se mueve.

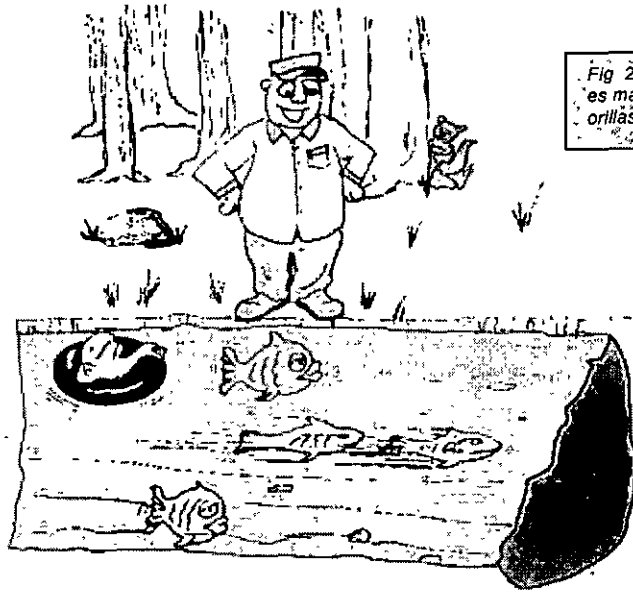


Fig 2.5 La velocidad del agua es mayor al centro que en las orillas de un canal o río.

De la misma manera si pudiéramos observar la corriente de en forma vertical, observaríamos que también hay una variación o distribución de velocidades con la profundidad.

Si se dibujan las diferentes velocidades del agua dentro del conducto con flechas, cuyos tamaños representan la magnitud, se tendría algo parecido a lo que se presenta en la figura 2.6.

Según se ve, se tienen muchas velocidades en el canal, y el problema será saber cuál es el valor de la velocidad media V_m , que caracteriza al flujo.

Este valor de la velocidad media es parecido al promedio de todas las velocidades que se presentan en el conducto. Se dice que es parecido, porque

no es el valor que resulta de aplicar el promedio aritmético, sino aquel para el cual el área que se forma con la curva de distribución de velocidades, es equivalente a la que se forma con un rectángulo.

Afortunadamente, ya se han hecho muchas mediciones y se ha encontrado que si se mide la velocidad en canales a una profundidad del 60% (desde la plantilla) se estará midiendo con muy buena aproximación la velocidad media. O bien, si se mide a las profundidades del 20% y

80%, y se saca el promedio, el resultado es un valor más preciso de la velocidad media en dichos canales. En el caso de tuberías llenas la velocidad media se encuentra en el centro del conducto.

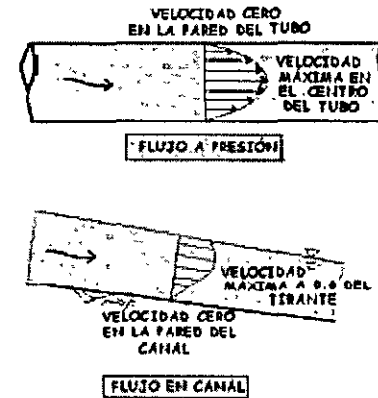


Fig 2.6 La velocidad en un conducto no es constante y se distribuye en forma semejante a la que se muestra, debido a su viscosidad.

En el siglo XIX Osborne Reynolds realizó una serie de experimentos, con la finalidad de clasificar el flujo en función del tamaño de la velocidad media. De acuerdo con sus resultados, determinó que existen dos tipos de flujo de agua: 1) Flujo Laminar, y 2) Flujo Turbulento.

El flujo de agua en un conducto se puede clasificar en función del tamaño de su velocidad media, como sigue:

Flujo laminar.- Es aquel en que sus líneas de corriente no se cruzan entre sí.

Flujo turbulento.- Está caracterizado por la formación de remolinos dentro del flujo, que hace que las líneas de corriente se mezclen entre ellas.

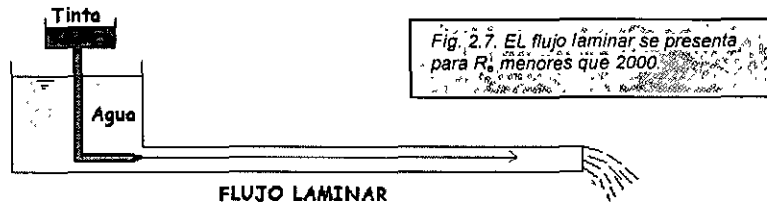


Fig. 2.7. EL flujo laminar se presenta para R_e menores que 2000.

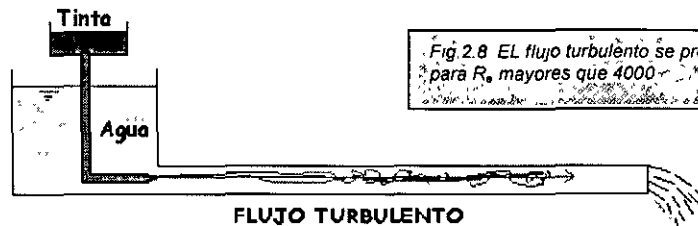


Fig. 2.8 EL flujo turbulento se presenta para R_e mayores que 4000.

2.3. LA PRESIÓN Y OTROS PARÁMETROS DEL AGUA

Para clasificar si un flujo es laminar o turbulento, se usa el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{Vd}{\nu}$$

donde d es el diámetro del conducto, ν es la viscosidad cinemática. Entonces, si R_e es menor de 2000 se trata de flujo laminar; y si R_e es mayor que 4000, el flujo es turbulento.

Finalmente, si el Número de Reynolds está entre 2000 y 4000 entonces se trata de un flujo en transición.

Si colocamos agua en un recipiente abierto a la atmósfera, y la mantenemos en reposo, su peso ejercerá una serie de fuerzas sobre dicho recipiente; las fuerzas cercanas a la superficie serán menores que las del fondo porque su peso va aumentando con la profundidad. Lo mismo ocurre si ahora sometemos el agua a una fuerza adicional con un pistón, solamente que en este caso las fuerzas serán

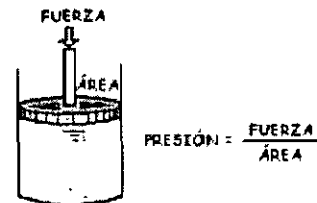


Fig 2.9 La presión del agua es independiente de su peso al someterla a una fuerza externa.

mayores que las del propio peso e independientes de él.

Entonces, la **Presión, P**, interna del agua se define como la fuerza que ejerce el agua en cada punto de ella, por unidad de área. Si por convención la presión atmosférica se toma como referencia igual a cero, entonces se dice que la presión es manométrica, en caso contrario se habla de presión absoluta.

Si se hace la analogía con el movimiento del agua por conductos, sucede que en canales la presión del agua será variable con su profundidad, Y , (llamada también *tirante*), estará definida por su propio peso, por lo que se dice que el flujo ocurre por la fuerza de gravedad. En cambio, en tuberías llenas resulta que el agua está sometida a una presión diferente a la de su propio peso, por lo que se dice que el movimiento del agua se ocurre a presión.

Existen también otros parámetros físicos del agua en movimiento importantes, que se derivan de los de velocidad y presión, y que es necesario que conozcas puesto que continuamente los usarás en las labores de inspección y medición del agua; Enseguida se describen los conceptos de carga piezométrica y carga de velocidad.

Si a un tubo lleno de agua sometido a presión le insertas una pequeña manguera transparente, puedes observar que el líquido sube hasta una determinada altura,

denominada **Carga piezométrica**, h_p , y se determina dividiendo la presión interna del agua, P , dividida entre su peso específico, γ , es decir:

$$h_p = \frac{P}{\gamma}$$

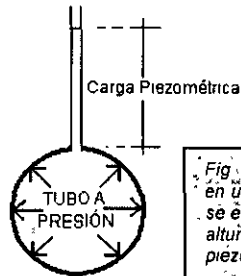


Fig. 2.10 El agua en un tubo a presión se eleva hasta una altura llamada carga piezométrica

Cuando el diámetro del conducto es pequeño comparado con la carga piezométrica (del orden de 10 veces o más), entonces, la carga piezométrica se mide desde el eje de la tubería.

En conductos por gravedad, como los canales, si la manguera se inserta en el cualquier punto del canal, el agua ascenderá al mismo nivel de la superficie del líquido, por lo que en estos casos la carga piezométrica corresponde con el trante de agua, γ .

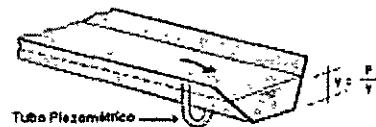


Fig 2.11 En un canal la carga piezométrica h_p es igual al tirante γ .

Si ahora le insertas otra manguera transparente al mismo tubo, pero con un doblez orientado en contra del flujo de agua, verás que el líquido sube a una altura mayor que en el anterior, por el efecto de empuje que produce la velocidad del agua; o sea se observa la misma carga piezométrica, más otro tanto de altura. A la diferencia de alturas se le llama precisamente **Carga de velocidad**, h_v , se mide también en unidades de longitud de columna de agua y se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

donde g representa la aceleración de la gravedad, con un valor casi constante de 9.81 m/s^2 .

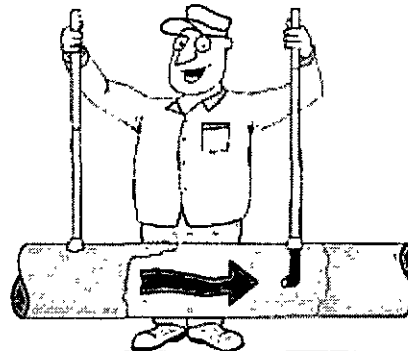


Fig 2.12. La carga de velocidad es la diferencia de las alturas en las dos mangueras transparentes.

En un canal a superficie libre, la carga de velocidad se determina igual que en una tubería a presión.

2.4. EL CONCEPTO DE GASTO

Una de las variables que más interesan a los usuarios de los sistemas hidráulicos es el gasto, debido a que a través de él se cuantifican los consumos, extracciones y descargas de agua y se establecen las gestiones de concesión de los servicios.

El **gasto o caudal** Q , es una cantidad hidráulica que se define como el volumen de agua que pasa por una sección de un conducto en un determinado tiempo, es decir:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Para entender el concepto de gasto, imagínese que se tiene un cubo de agua que mide un metro por cada lado; es decir, un metro cúbico de agua. Supóngase, además, que este cubo avanza a una velocidad de un metro cada segundo. Entonces se tiene un gasto de un metro cúbico por segundo.

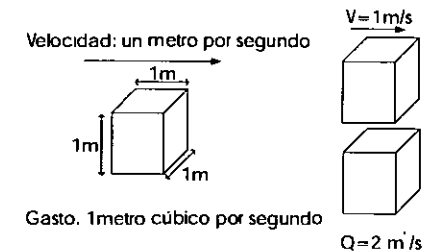


Fig 2.13. El concepto de gasto es como ver pasar cubos de agua en un tiempo determinado

Visto de esta manera, es fácil medir el gasto en cualquier conducto hidráulico. Basta contar el número de cubos de un metro cúbico que pasan por una sección en cada segundo de tiempo que transcurre. Desafortunadamente, esto no es posible. Jamás se podrá separar cada cubo de agua en un canal y contarlos en un segundo. Aún la acción es imposible aunque se dispusiera de varias horas para hacerlo.

Para hacer las cosas más sencillas se han desarrollado fórmulas que calculan el gasto en función de variables que si se pueden medir aunque con algunas dificultades como ya se verá más adelante.

Las unidades típicas que se utilizan para el gasto son litros por segundo (lt/s) y metros cúbicos por segundo (m³/s). En algunas ocasiones se usan unidades inglesas como los galones por minuto (gpm).

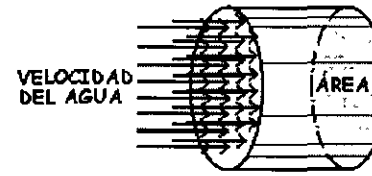
2.5 PRINCIPIO DE CONTINUIDAD DEL FLUJO DE AGUA

Como se mencionó, el agua es un fluido prácticamente incompresible. El principio de continuidad de un flujo establece que *"La masa de un fluido incompresible que atraviesa cualquier sección de un conducto en el tiempo, permanece constante"*

Con base en este principio de continuidad, el gasto se calcula mediante la ecuación

$$Q = A \times V$$

Siendo A el área de la sección del conducto, transversal al sentido del flujo, V y Q la velocidad media y el gasto de agua, respectivamente.



$$\text{GASTO} = \text{ÁREA} \times \text{VELOCIDAD}$$

Fig. 2.14. El principio de continuidad establece que el agua que atraviesa cualquier sección del conducto en el tiempo, es constante.

2.6. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

El Principio de conservación de la energía postula que la energía no se crea ni se destruye, solo tiene transformaciones. La energía contenida en el agua en reposo se denomina energía potencial y cuando está en movimiento se llama energía cinética. Las transformaciones de energía en el agua generan su movimiento y la conservan en la dirección del flujo. No obstante, es común describir a la energía que se transforma en calor o se utiliza para vencer obstáculos, como una pérdida en el sentido de que no se vuelve a utilizar en el movimiento del agua.

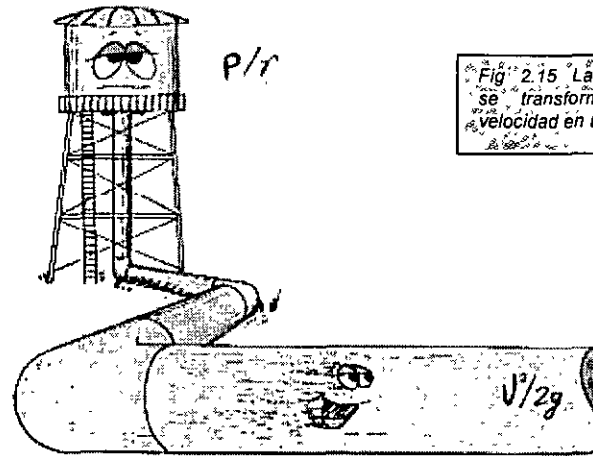


Fig. 2.15 La carga piezométrica se transforma en carga de velocidad en un flujo de agua.



La energía por unidad de peso del agua, en cualquier punto de un sistema hidráulico está compuesta por tres partes:

- a) Carga piezométrica, h_p
- b) Carga de posición o elevación, h_z
- c) Carga de velocidad, h_v

Fig. 2.16 Composición de la energía por unidad de peso del agua en un conducto a superficie libre

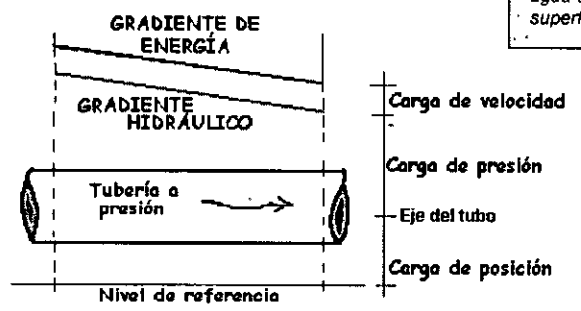
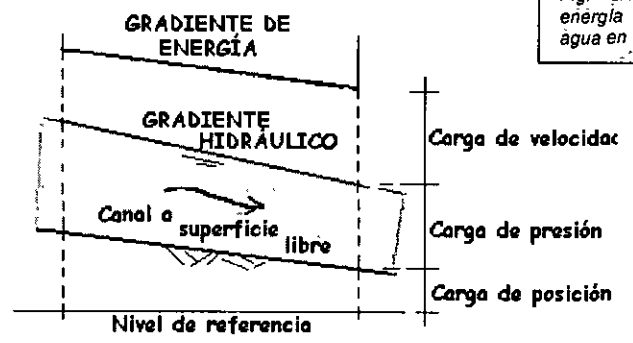


Fig. 2.17 Composición de la energía por unidad de peso del agua en un conducto a presión



También, hay otro tipo de energía que puede ser adicionada al sistema (como la que impone una bomba), o energía removida debida a la viscosidad o algunos obstáculos al flujo. Estos cambios de energía, se nombran como "Ganancia de Carga H_G ", o Pérdida de Carga, H_L " respectivamente.

Entonces la expresión general del balance de energía a través de dos puntos 1 y 2 en el sistema, separados a una cierta distancia L , es:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_G = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

Se denomina **gradiente hidráulico** a la suma de la carga de presión h_p más la carga de posición h_z . Para un canal a superficie libre, el gradiente hidráulico corresponde con la elevación de la superficie del agua. Para una tubería a presión, el gradiente hidráulico es igual a la altura que alcanza el agua en un tubo vertical conectado a él.

El **gradiente de energía** es la suma del gradiente hidráulico más la carga de velocidad h_v . En un lago, tanque de carga constante, o vaso de una presa la velocidad del agua es prácticamente cero, por lo tanto el gradiente hidráulico es igual al gradiente de energía.

La primera causa de pérdida de energía en un sistema hidráulico se debe al esfuerzo cortante que se distribuye entre las paredes del conducto y el fluido en movimiento.

Las ecuaciones más comunes para calcular la velocidad considerando la pérdida de energía son la de Manning, Chezy (Kutter), Hazen-Williams y Darcy-Weisbach (Coolebrook-White), cuya forma generalizada es la siguiente:

$$V = KCR^x S^y$$

- donde: V = velocidad media
- C = factor de resistencia al flujo
- R = radio hidráulico
- S = Pendiente del cortante
- x, y = exponentes
- K =factor de unidades y constantes empíricas

La pendiente del cortante corresponde con la pendiente que tiene la recta del gradiente hidráulico del conducto.

En la tabla siguiente se dan valores para las diversas variables que aparecen en la ecuación anterior. Es necesario anotar que



cada autor presenta limitaciones en la aplicación de su fórmula, por lo que si deseas mayor información al respecto, puedes consultar la bibliografía que se describe al final del manual.

Como una orientación basta decir que la ecuación de Manning es usada en conductos con flujo a superficie libre y n es un coeficiente de rugosidad. La ecuación de Hazen Williams, se utiliza en diseño de tuberías con el coeficiente C_{HW} . La ecuación de Darcy-Weisbach es usada en flujo en conductos a presión, f es un factor de cortante que depende del número de

Tabla 2.1. Los valores de las variables de la ecuación de velocidad con cortante han sido obtenidas por diversos autores

Variable	Manning	Chezy	Hazen Williams	Darcy-Weisbach
K	1	1	0.85	1
C	$1/n$	C_K	C_{HW}	$(8g/f)^{1/2}$
x	$2/3$	$1/2$	0.63	$1/2$
y	$1/2$	$1/2$	0.54	$1/2$

Reynolds R_n y de la rugosidad del tubo. Y en la ecuación de Chezy es ampliamente usada en el diseño de alcantarillado. C_K es un coeficiente de rugosidad que es función de la n de Manning.

La segunda causa de pérdida de energía se debe a obstáculos que se presentan al flujo, tales como codos, válvulas, cambios de dirección, bifurcaciones, orificios, etc. Se denomina también pérdida localizada

El valor de la pérdida de carga localizada se obtiene multiplicando la carga de velocidad h_v por un factor k que depende del tipo de singularidad y se obtiene de resultados empíricos.

$$h_l = k \frac{V^2}{2g}$$

Algunos valores los puedes consultar en la bibliografía, que viene al final del manual.

Una forma especial de energía que se utiliza comúnmente en flujo por gravedad es la energía específica, E , que se define como la suma del tirante de agua, Y , más la carga de velocidad.

$$E = Y + \frac{V^2}{2g}$$

Este concepto es muy útil en tramos cortos del conducto, donde las pérdidas de energía son despreciables. Además existen algunos sistemas de medición de gasto que se basan en la energía específica; ejemplos de ello son los vertedores y los aforadores de garganta larga, que se verán

después.

Si se hace una gráfica de energía específica contra el tirante del agua en un canal, como se muestra en la siguiente figura, puedes observar que para un gasto

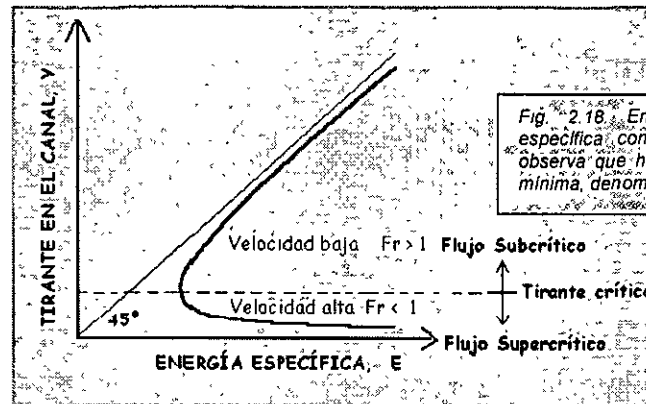


Fig. 2.18. En la curva de energía específica contra tirante de agua, se observa que hay un estado de energía mínima, denominado crítico.

de agua determinado, hay un tirante para el cual la energía específica es mínima. Este tirante es llamado **Tirante Crítico**. La velocidad del agua que corresponde al tirante crítico es denominada **Velocidad Crítica**. Si la velocidad del agua es mayor que la velocidad crítica, el flujo es considerado **supercrítico** y si es menor entonces el flujo es **subcrítico**.

Para determinar cuantitativamente si un flujo es subcrítico, crítico o supercrítico se utiliza el Número de Froude, F_r , que está definido por la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Donde D es el tirante hidráulico del conducto, definido como A/T , siendo T el ancho de la superficie libre del agua.

Tabla 2.2. Tipo de flujo según Froude

Número de Froude	Tipo de Flujo
Menor que 1.0	Subcrítico
Igual a 1.0	Crítico
Mayor que 1.0	supercrítico

Cuando el flujo cambia de su estado subcrítico a uno supercrítico se presenta una transición gradual en la superficie libre del agua, como la que sucede en un vertedor, sin embargo, en el momento que hay un cambio de flujo supercrítico a subcrítico ocurre un **Salto Hidráulico**. Este fenómeno hidráulico lo puedes reconocer porque hay una sobreelevación brusca del tirante con una gran agitación en el flujo.

2.7. PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Muchas veces observamos que el agua en movimiento provoca un empuje sobre cualquier cuerpo que se oponga al escurrimiento. Como ya lo vimos por ejemplo, con la manguera doblada que se inserta contra el flujo de agua y se

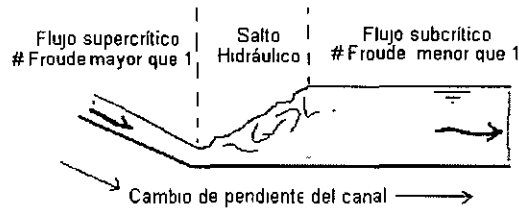


Fig 2.19. El salto hidráulico ocurre cuando se presenta un cambio de pendiente fuerte a suave en el canal

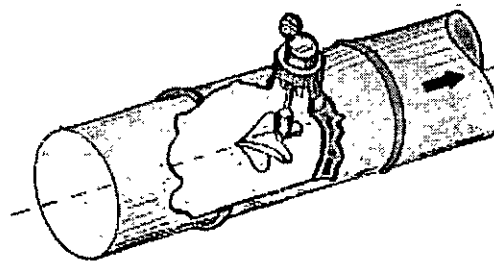
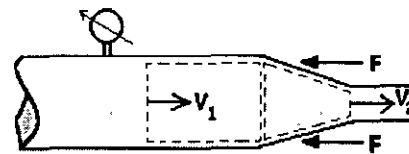


Fig. 2.20. La fuerza que ejerce el agua sobre las paredes del tubo se determinan utilizando el principio de conservación de cantidad de movimiento



sobreeleva el agua arriba del nivel que produce la presión del líquido, otro ejemplo es aquel en el cual se coloca una hélice o turbina dentro del flujo de agua, entonces el dispositivo comienza a girar por la acción de este empuje dinámico.

Es precisamente este empuje dinámico o fuerza la que está relacionada con el principio de la cantidad de movimiento del agua.

La cantidad de movimiento de un cuerpo se define como el producto de su masa multiplicada por su velocidad. Por ende, el flujo de agua posee cantidad de movimiento, que puede variar en el tiempo si la velocidad está cambiando entre dos secciones 1 y 2 del conducto.

De esta manera, la fuerza que actúa sobre el agua en escurrimiento, es igual al cambio de la cantidad de movimiento en el tiempo y se determina con la ecuación:

$$F = \frac{m(V_2 - V_1)}{t}$$

donde la masa m es igual a:

$$m = \frac{\gamma}{g} V$$

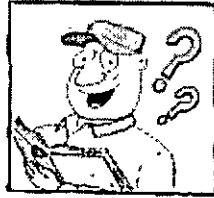
entonces:

$$F = \frac{\gamma V}{g t} (V_2 - V_1) = \frac{\gamma Q}{g} (V_2 - V_1)$$

Donde F es la fuerza necesaria para acelerar el agua de una sección a otra del conducto.



AUTOEVALUACIÓN No. 1



1- ¿En qué unidades se mide el gasto de agua?

- a) km/s
- b) lt/s
- c) m/min
- d) Gal/pulgada

2. ¿Cuál de los siguientes no es un principio de la hidráulica?

- a) Continuidad
- b) Cortante
- c) Energía
- d) Cantidad de movimiento

3. ¿Cuál no es una propiedad del agua?

- a) Incompresibilidad
- b) Viscosidad
- c) Velocidad
- d) Peso específico

4.- Un flujo es turbulento cuando el número de Reynolds es:

- a) Mayor que 4000
- b) 3000
- c) menor que 2000
- d) 40000

5. ¿En que parte de un conducto la velocidad es cero?

- a) En el eje del tubo
- b) Sobre la pared
- c) En el 60% de la profundidad
- d) En la superficie libre del agua

6. ¿Qué es carga piezométrica?

- a) Es la velocidad dividida entre el peso específico
- b) Es la presión dividida entre el peso específico
- c) Es la presión multiplicada por el peso específico
- d) Es la presión multiplicada por el área

7. ¿Cuál es la ecuación del gasto de agua si se utiliza continuidad?

- a) Volumen entre tiempo
- b) Velocidad por distancia
- c) Carga de velocidad entre tiempo
- d) Velocidad por área

8. ¿Cuál es la principal causa de pérdida de energía en un conducto?

- a) Bombeo
- b) Cortante
- c) Flujo crítico
- d) Carga de velocidad

9. ¿Cuándo sucede el flujo supercrítico?

- a) Con Froude mayor que 1
- b) Con Reynolds igual a 1
- c) Con Froude menor que 1
- d) Con Reynolds mayor que 2000

10. ¿Por qué ocurre un salto hidráulico?

- a) Por un cambio de dirección al flujo
- b) Por colocar una turbina
- c) Por cambio de pendiente fuerte a suave
- d) Por que se alcanza un flujo laminar

d) Por que se alcanza un flujo laminar

11. ¿ La fuerza o empuje dinámico que ejerce el agua se debe a?

- a) La presión interna
- b) La energía específica
- c) La cantidad de movimiento
- d) La contionuidad del flujo

3. FUNDAMENTOS DE MEDICIÓN

La medición del agua es el proceso de cuantificar nuestra experiencia sobre el comportamiento de este líquido en el mundo exterior.

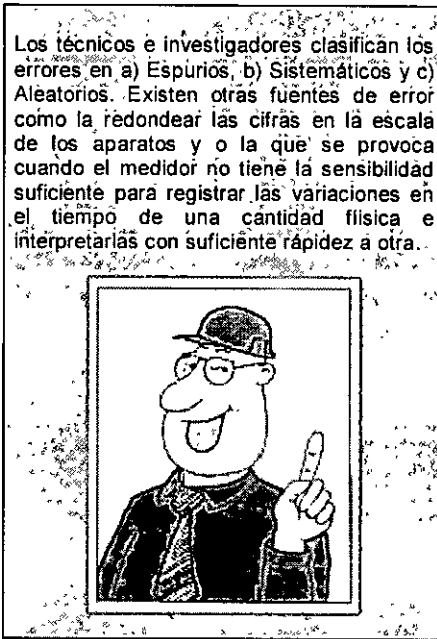
Las medidas no son simples números exactos. Una medida tiene un rango de aproximación al valor real, debido a errores humanos, a defectos de aparatos y a la variabilidad física de propio fenómeno que se está midiendo.

Debido a ello, se han establecido ciertos indicadores o parámetros para saber cuándo una medición esta bien realizada, tiene la calidad adecuada y es confiable. Así, surge el concepto de **Exactitud en la Medición** (Accuracy en inglés), **Precisión y Error**.

La exactitud es el grado de aproximación que tiene una medición a un valor estándar o patrón. Los valores estándares son establecidos por usuarios, proveedores, entidades metrológicas o gobiernos. Por ejemplo, en la medición del gasto se utilizan bancos de medición certificados por el Sistema Nacional de Laboratorios de Prueba, SINALP, como el que se encuentra en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA.

La precisión es la capacidad para producir el mismo valor dentro de un límite de exactitud dado, cuando se mide repetidamente un parámetro físico del agua. La precisión representa la máxima desviación del valor promedio de todas las lecturas hechas. El error es la desviación del valor que se mide, observa o calcula, del valor verdadero. La desviación puede ser pequeña e inherente a la estructura y

funcionamiento del sistema de medición, por lo que cotidianamente se establecen rangos aceptables, para que los fabricantes, instaladores y operadores inspeccionen y verifiquen sus aparatos y detecten los defectos correspondientes.



Los técnicos e investigadores clasifican los errores en a) Espurios, b) Sistemáticos y c) Aleatorios. Existen otras fuentes de error como la redondear las cifras en la escala de los aparatos y o la que se provoca cuando el medidor no tiene la sensibilidad suficiente para registrar las variaciones en el tiempo de una cantidad física e interpretarlas con suficiente rapidez a otra.

Es necesario anotar que la medición del gasto que pasa por un conducto y cuantificar, a partir de éste, el volumen que consume o descarga un usuario del agua nacional, es el tema principal que se trata este manual, por lo que debemos estar atentos en cómo lograr esta medición de gasto y cálculo de volumen con la mayor exactitud y precisión posible.

Desafortunadamente, medir directamente el gasto, a través del volumen descargado en un intervalo de tiempo, es una tarea sumamente complicada en la práctica,

sobre todo si se trata de medición en canales de riego o acueductos de agua potable de ciudades, donde los caudales son muy grandes y requerirían recipientes enormes. Y aunque existen en el mercado algunos medidores de tipo volumétrico, su uso se restringe a medidores pequeños, por ejemplo los que se instalan en los domicilios de las casas en una población. Es por eso que normalmente se recurre a la medición de gasto en forma indirecta, ya sea midiendo la velocidad y el área o bien registrando la diferencia de cargas piezométricas que ocurren en el flujo de agua al obstruir su escurrimiento con algún dispositivo.

Por consiguiente, medir nuevas variables para calcular indirectamente el gasto repercute en un aumento de la posibilidad de cometer los errores mencionados y perder calidad en la medición.

Con todo lo dicho anteriormente, el objetivo de la medición será entonces obtener el valor de un parámetro físico con la mayor exactitud y precisión posible, disminuyendo al máximo los errores posibles. Para ello se presentan en esta sección del manual para que conozcas cómo son estos errores, qué los ocasiona y qué puedes hacer para evitarlos o corregirlos.

3.1. ERROR ESPURIO

El error espurio es causado por accidentes, de ahí que también se le conozca como error accidental. Este tipo de error se presenta cuando ocurren fallas humanas, por la falta de cuidado o incapacidad física, en el momento de realizar la medición. Algunos factores importantes que generan este tipo de error son: mala ubicación de los aparatos, selección equivocada de los valores de referencia, sentido de la vista deficiente, etc.

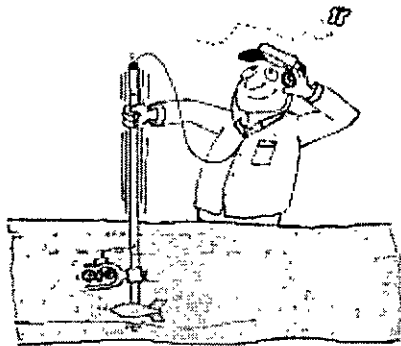


Fig. 3.1 Los errores espurios se deben a accidentes por ejemplo por descuidos del personal

Estos errores espurios son los que parecen "dispararse" del resto de los datos medidos, que por lo general tienden a ajustarse a un comportamiento esperado.

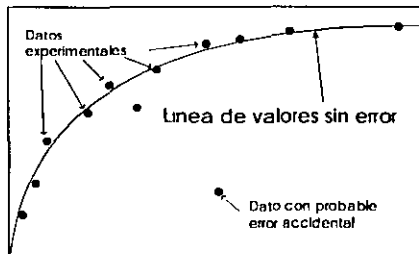


Fig. 3.1. Los errores espurios o accidentales generalmente se disparan del resto de los datos.

Por lo tanto, el error espurio es fácil de detectar porque es un valor muy alejado de lo que se espera encontrar. Cuando el error accidental aparece una o dos veces en un experimento no se considera grave. Otra cosa muy diferente es que se tengan errores en todas o en casi todas las

lecturas, claramente esto no es un error espurio y se trata de otro tipo de error.

El error espurio o accidental se disminuye haciendo las pruebas con mucho cuidado y responsabilidad, desechando lecturas dudosas o mal tomadas, lo cual se logra con supervisión y buen entrenamiento.

3.2. ERROR SISTEMÁTICO

El error sistemático es ocasionado cuando el instrumento está mal calibrado, es decir que no está ajustado a un patrón conocido. Por ejemplo, un recipiente estará calibrado en su volumen de agua, si este volumen es exactamente igual al volumen que ocupa un recipiente patrón, que ha sido fijado como base de medida.

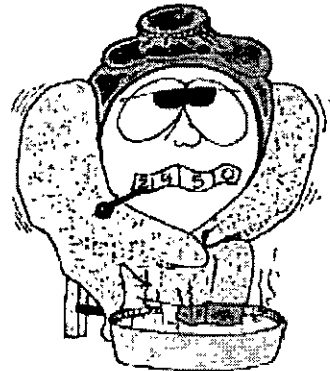


Fig. 3.2. El error sistemático se debe a defectos en la calibración de aparatos

Para aclarar el concepto de error sistemático, Imaginemos a un tirador con una escopeta que intenta dar en un blanco. Dispara cinco tiros y da aproximadamente en el mismo punto pero no da ninguno en

el centro. Probablemente la mirilla esté desviada o el cañón tiene algún desperfecto, es decir la escopeta no está calibrada y generará un error sistemático. Esto es típico en las ferias donde las escopetas son "arregladas" para que los personas no acierten en el blanco aunque sean buenos tiradores. Así, el error sistemático no disminuye aunque se aumente el número de disparos de escopeta.

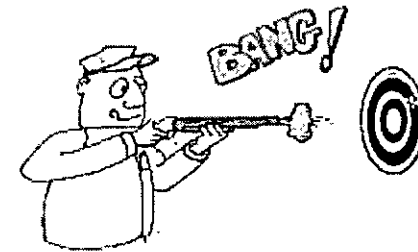


Fig. 3.3. En el error sistemático un buen tirador siempre acertará los disparos muy cercanos uno de otro, pero lejos del blanco, es decir, será preciso pero inexacto por defectos de la escopeta

Si se trata ahora con mediciones de gasto, por ejemplo en un vertedor, donde se establece la elevación de la cresta con un valor equivocado, entonces las lecturas tendrán un error sistemático. Asimismo, deformaciones, roturas, piezas desgastadas o mal acomodadas en la fabricación u operación de los medidores, causarán este tipo de error en los registros de datos.

Las ecuaciones de calibración o curvas de los medidores también pueden incluir errores sistemáticos, debido a que en ocasiones son obtenidas por ajustes de curvas o contienen coeficientes medidos en laboratorio o empíricos.

El error sistemático se disminuye seleccionando y calibrando apropiadamente los equipos de medición y revisándolos periódicamente, sobre todo si no se han utilizado, o si se instalaron hace tiempo.

3.3. ERROR ALEATORIO

El error aleatorio es está relacionado con la dispersión de las mediciones inherentes al fenómeno físico. Si se realiza una sola medición del evento físico, como por ejemplo la medición puntual de la velocidad del agua en una corriente a superficie libre, se corre el riesgo de que se registre un dato justo en que ocurre una pequeña alteración extraordinaria en la estabilidad del flujo, causando una toma de lectura que no corresponde con el valor predominante y por ende un error llamado error aleatorio.

Usemos el mismo ejemplo del tiro al blanco en donde se tiene un buen tirador con una buena escopeta. Ahora la persona hace cinco disparos y atina varios en el centro pero en diferentes lugares. El error en este caso se produce en forma aleatoria debida a diversas razones, que no pueden ser controladas ni por el tirador ni por la escopeta, tales como las pequeñas variaciones en la posición del tirador, el brillo de la luz del día, ruidos externos, etc.

El error aleatorio se reduce repitiendo varias veces la misma prueba en condiciones iguales del sitio.

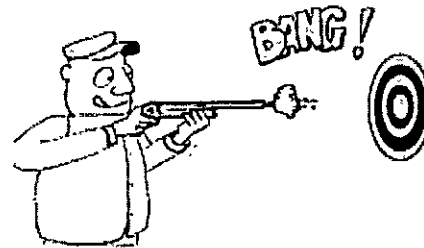


Fig. 3.4 Un buen tirador con una escopeta calibrada acertará al blanco con pequeñas variaciones debidas a errores aleatorios, o sea que será preciso y exacto.



Fig. 3.5 Algunas veces las mediciones no son precisas por que un operador no está bien entrenado para realizarlas.

Suele suceder, como a veces en la actividad de medición, que aún con una buena escopeta el tirador no acierta en el blanco y los tiros se encuentran dispersos. Definitivamente, este caso no puede deberse a errores aleatorios, sino a que la persona no es capaz de reproducir los tiros en el blanco, lo cual quiere decir que no es preciso en sus disparos, lo que indica que debe practicar. Análogamente, por ejemplo cuando un operador mal entrenado mide un gasto varias veces con un aparato bien calibrado y resulta que hay una gran dispersión en los datos, no se debe a un error aleatorio, ni tampoco a un error espurio, sino que esta persona no es precisa en la medición y debe practicar o capacitarse en el uso de los aparatos.

3.4. ERROR DE REDONDEO

Normalmente, los equipos de medición proporcionan al observador registros en forma digital, es decir con números impresos en una pantalla o papel. Así, la cifra del valor medido se trunca, de acuerdo con la escala que presenta el aparato. Este truncamiento en las cifras produce un error denominado de **redondeo**.

Por ejemplo, si la aguja de un medidor de gasto (con marcas a cada 0.1 lt/s) indica en su carátula el valor de 32.1 litros por segundo, significa que la cantidad real del escurrimiento tiene un valor más cercano a este número, que a 32.0 lt/s o a 32.2 lt/s.

El error de redondeo se reduce con el uso de equipos que dispongan de más cifras o con aquellos que dispongan de una escala más amplia con un mayor número de divisiones.

3.5. CUANTIFICACIÓN DE ERRORES

Básicamente, hay dos maneras de cuantificar el tamaño del error que se produce en una medición. Uno, que evalúa el grado de exactitud de una medición, a través de la ecuación de **Porcentaje de Error**, como se indica a continuación

$$E (\%) = \frac{100(C_{medida} - C_{patrón})}{C_{patrón}}$$

donde: E = error en porcentaje
 C_{medida} = variable física medida
 $C_{patrón}$ = variable física patrón

y otro, que determina el grado de precisión de la medición, mediante la fórmula de **Desviación estándar**, siguiente:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

En la fórmula anterior, S es la desviación estándar; X_i es cada una de las lecturas; el símbolo \sum quiere decir que se tiene la suma de todos los elementos que están después del símbolo. \bar{X} es el promedio de la mismas lecturas anteriores (recuérdese que el promedio de un conjunto de valores es la suma de todos ellos entre el número de valores); n es el número de lecturas.

Téngase mucho cuidado con esta fórmula ya que los datos que se usan son los mismos para un mismo experimento. Es decir, los datos que se usen para determinar la desviación estándar son todas las lecturas que se obtengan del medidor sin cambiar de gasto. Por ejemplo, se realizan cinco mediciones y se obtienen 101, 103, 98, 99 y 100. Entonces se tiene una desviación estándar de 1.92 litros por

segundo. Si por el contrario se tuvieran las siguientes mediciones: 100, 95, 108, 100 y 104; se tiene una desviación estándar de 6.06 litros por segundo, o sea un valor mayor aunque uno de los valores es exacto.

3.6. MEDICIÓN DEL GASTO

En la práctica de inspección de las concesiones del agua nacional, es prioritario cuantificar los volúmenes de agua que se extraen o se vierten en un período determinado. Estos volúmenes se determinan mediante el cálculo del gasto o caudal del sistema hidráulico.

Para determinar el gasto, Q, del agua en un sistema hidráulico, se puede **medir directamente** el volumen, V, en un recipiente y el tiempo, t, con un cronómetro, o bien indirectamente a través de la velocidad del agua o mediante la presión.

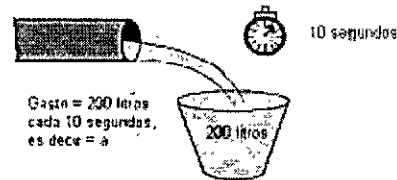


Fig. 3.6. El método volumétrico para medir el gasto es sencillo y de los que pueden resultar más exactos.

Este método volumétrico es el más recomendable, sin embargo a veces es difícil de aplicar, solamente resulta útil para gastos pequeños y donde las características físicas lo permitan.

Otro método de medición directa del gasto consiste en registrar el descenso en el nivel del agua en el tiempo de vaciado de un depósito con geometría y dimensiones conocidas.

Debido a lo anterior, han surgido los **métodos indirectos**, que como su nombre lo señala miden otras variables físicas distintas del gasto, como por ejemplo la velocidad o la carga piezométrica, y aplicando los principios hidráulicos se puede obtener dicho gasto. Más aún, actualmente en el mercado se han desarrollado muchos aparatos de medición que registran estas variables, luego internamente el medidor hace las conversiones o cálculos necesarios, de tal forma que en sus pantallas o carátulas aparece el valor del gasto y en algunos de ellos hasta el volumen acumulado en el tiempo.

Los métodos de medición indirecta del gasto se pueden agrupar en tres tipos: a) Escuadra, b) Área - velocidad, c) Carga piezométrica. Los medidores comerciales se han desarrollado en esta dirección y a continuación se describen estos tres métodos.

3.7. MÉTODO DE LA ESCUADRA PARA MEDIR DEL GASTO

Es aplicable a descargas de tuberías a presión, en particular para pruebas de bombeo. Consiste en medir la distancia horizontal X_0 que existe entre el extremo del tubo de descarga y el punto donde cae el chorro de agua en el suelo, y la altura H_0 a la que se encuentra el conducto.

Con estos valores el gasto se determina con la ecuación:

$$Q = 0.02216 \frac{X_0 A}{\sqrt{H_0}}$$

donde X_0 está dada en centímetros, A es el área de la sección transversal del tubo, en centímetros al cuadrado, H_0 se da en centímetros y el gasto resulta en litros por segundo.

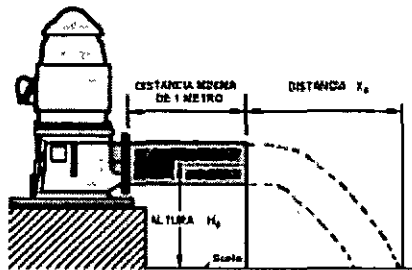


Fig. 37. El método de la escuadra consiste en medir la distancia y altura a la que cae un chorro de agua.

Una variante de este procedimiento consiste en medir la distancia horizontal H_1 entre el extremo del tubo de descarga y un punto situado a 305 milímetros por encima de la caída del agua. La relación con la que se calcula el gasto es en este caso:

$$Q = 0.0039 X_0 A$$

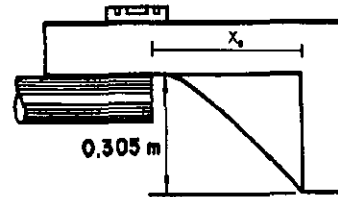


Fig. 38. Un método alternativo consiste en medir con una escuadra la distancia; cuando el chorro está a 30,5 cm de altura.

Cuando la tubería no descarga completamente llena, se puede tener una idea aproximada del gasto, multiplicando el resultado obtenido con la ecuación anterior, por la relación Y/d , donde Y es el valor del tirante de agua; d es el diámetro del tubo.

3.8. MÉTODO DE ÁREA - VELOCIDAD PARA MEDIR EL GASTO

En este método se utiliza el principio de continuidad a través de la ecuación para flujo incompresible $Q = A \times V$.

El área perpendicular al flujo es sencilla de obtener en un conducto circular a presión, midiendo su diámetro, d, y calculando con:

$$A = 3.1416 \left(\frac{d^2}{4} \right)$$

En cambio, en conductos a superficie libre el cálculo del área es complicado, puesto que depende de la forma geométrica del conducto y de la superficie libre del agua, que en el caso de corrientes naturales es totalmente irregular.

Para el caso de secciones geométricas sencillas utilizadas en canales, como el rectángulo o el trapecio, las fórmulas que determinan el valor del área transversal se simplifican bastante.

Tabla 3.1 Las fórmulas para calcular el área transversal de secciones en canales regulares son sencillas.

Tipo de sección	Fórmula
Rectángulo	$A = bY$
Trapecio	$A = bY + kY^2$

En las fórmulas anteriores A es el área hidráulica; b es el ancho de la parte inferior del canal (normalmente llamada plantilla); y es la profundidad (también llamada tirante); y k es el talud de las paredes del canal.

Por su parte, la velocidad media V, del escurrimiento de agua se mide con algunos de los dispositivos siguientes: a) Flotador y reloj, b) Molinetes, c) Propelas, d) tubos Pitot, e) Aparatos ultrasónicos y, f) Equipos electromagnéticos.

Se han preparado otros manuales dentro de esta misma Serie Autodidáctica, que versan sobre cada uno de estos dispositivos de manera particular y en forma extensa, los cuales puedes consultar en la dirección indicada al inicio de este manual.





Estos aparatos miden también en forma indirecta la velocidad, esto es, por ejemplo en el tubo Pitot se registra en realidad la carga de velocidad $h_v = V^2/2g$, a partir de ésta se calcula la velocidad. Con el flotador y el reloj, en verdad se toman lecturas del tiempo que recorre un cuerpo que avanza flotando sobre la superficie del agua. El molinete y la propela registran el número de vueltas que impone el efecto dinámico del agua y se relaciona entonces esta frecuencia de giro con la propia velocidad. El aparato ultrasónico mide el retardo o cambio de frecuencia de un haz de ondas de sonido, por la velocidad con que se mueve el flujo, y de ahí calcula dicha velocidad del agua. Y finalmente, el equipo electromagnético lee el cambio de inducción magnética que se produce también por la velocidad del agua, de donde se infiere este parámetro físico.

Con lo dicho antes, se nota claramente la posibilidad de generar errores en las mediciones debido a que un pequeño error inicial se puede propagar y repercutir en el dato final, por lo que es necesario tener siempre en mente esta posibilidad cuando se está utilizando uno u otro aparato de medición.

Es conveniente mencionar que cuando la sección del conducto es muy grande, por ejemplo un túnel o el cauce de un río, resulta recomendable y más práctico dividir el área hidráulica en segmentos, y para cada una de estas subáreas obtener un subgasto, después se suman los subgastos con el fin obtener el gasto total; de esta manera la medición se logra una medición más exacta y precisa.

Lo mismo aplica también cuando se realiza una medición con tubo Pitot o con molinete. Los otros aparatos en general registran las velocidades medias del agua.

3.9. MÉTODO DE CARGA PIEZOMÉTRICA PARA MEDIR EL GASTO

El otro método indirecto para medir el gasto que tiene una corriente de agua, es el que expresa este gasto como una función de la carga piezométrica o tirante. La relación es muy sencilla, en matemáticas se denomina ecuación de tipo potencial, como se muestra enseguida:

$$Q = C h_p^Z$$

donde: Q = Gasto
 C = Coeficiente de descarga
 h_p = Carga piezométrica
 Z = Exponente

Como se observa, la ecuación anterior incluye un coeficiente C y un exponente Z, que dependen fundamentalmente de características geométricas del dispositivo de medición que se trate. La pregunta inmediata que surge es ¿Cómo obtengo estos valores o en donde los puedo conseguir? Afortunadamente, hay una vasta experiencia en torno al trabajo con los dispositivos que utilizan esta relación y más adelante se mencionan en forma general algunos de ellos. Por su extensión, no se describen con detalle, puesto que se tratan en otros manuales de esta serie autodidáctica.

Son varios los dispositivos que utilizan esta relación entre los que podemos mencionar: a) Vertedor, b) Placa Orificio, c) Tubo Venturi, d) Tobera, e) Tubo Dall, f) Canal Parshall y, g) Aforador de Garganta Larga.

Los exponentes Z, y coeficientes C, se obtienen previamente a la medición. Puede ser en campo, con equipos certificados, cuando se se trata de estructuras muy grandes, o bien en laboratorio si se habla de dispositivos pequeños. Algunos elementos ya se han investigado y se tiene suficiente información al respecto, sin embargo, se recomienda que en lo posible se verifiquen los valores de C y Z, por los probables defectos de fabricación de los dispositivos. Algunos de estos valores de los coeficientes y exponentes más sencillos, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3.2 El valor del exponente Z y el coeficiente C, dependen del dispositivo de medición. Hay mucha información de ello

Dispositivo	C	Z
Vertedor Triangular	Función del ángulo del vértice	2.5
Vertedor Rectangular	1.84 por el ancho de la cresta	1.5
Vertedor trapezoidal o Cipolletti	1.86 por el ancho de la cresta	1.5
Canal Parshall	Depende del tipo de descarga	Idem
Placa orificio	Función de la relación del diámetro de orificio al del tubo	Idem

Todos estos aparatos requieren que se mida la carga piezométrica en algún punto, lo cual se hace mediante mangueras o tubitos insertados en los conductos, como en el caso de dispositivos para tuberías, o a través de estructuras comunicantes como en el caso de grandes canales o ríos. Debido a que en flujo a superficie libre la



carga piezométrica coincide con el tirante, los valores esperados de las cargas durante la medición son fáciles de predecir, por lo que suelen registrarse tomando lecturas del nivel de agua a la presión atmosférica. En cambio, en flujo a presión los valores de las cargas piezométricas llegan a ser del orden de decenas de metros, por lo que en estos casos las mangueras o tubitos insertados en la tubería, se conectan a otros dispositivos como, por ejemplo, manómetros que contienen líquidos más pesados que el agua (por ejemplo mercurio). Todos los elementos mencionados tienen graduaciones de longitud, a escalas que permitan al operador tomar las lecturas con una buena precisión.

Existen en el mercado equipos que son más sofisticados, electrónicos algunos de ellos, en donde las lecturas de las cargas piezométricas se realizan por medio de celdas de presión (transductores) y equipos ultrasónicos, que por un lado mejoran medición notablemente, pero por otro resultan más caros.

Finalmente, resta decir que hay varios requerimientos para la instalación física de estos elementos de medición de carga piezométrica, que dependen de cada dispositivo de medición en particular. En flujo a superficie libre la carga piezométrica debe medirse en lugares donde la carga de velocidad se despreciable, lo cual se logra donde el agua escurre con flujo subcrítico o donde se encuentra estancada. En flujo a presión basta con que se disponga de un flujo sin excesivas turbulencias, lo que se obtiene si aguas arriba del punto de medición no existen obstáculos, tales como codos, válvulas, reducciones de sección transversal bruscas, entradas de depósitos, bombas, etc.

AUTOEVALUACIÓN No. 2



1.- ¿Cuál de estos errores se debe a la falta de calibración de los aparatos?

- a) Error de redondeo
- b) Error espurio
- c) Error sistemático
- d) Error accidental

2 ¿Cómo se llama al grado de aproximación que tiene una medición a un valor estándar establecido?

- a) Precisión
- b) Exactitud
- c) Error
- d) Medición

3 ¿Cuál es el método para velocidad para medición de gasto?

- a) El que divide el volumen entre tiempo
- b) El que relaciona la carga de velocidad
- c) El que relaciona la carga piezométrica
- d) El que relaciona el área por la velocidad

4.- ¿Cuántos litros por segundo resultan si se llena un recipiente de 200 litros en 8 segundos?

- a) 200 lt/s
- b) 140 lt/s
- c) 50 lt/s
- d) 25 lt/s

5.- ¿De qué dependen los valores del coeficiente C y del exponente Z ?

- a) De la geometría del dispositivo
- b) Del flujo subcrítico
- c) De la escala de la carga piezométrica
- d) De la turbulencia

4. MEDIDORES

En esta sección del manual conocerás los distintos tipos de medidores de agua que puedes encontrar en las instalaciones concesionadas que utilizan el agua nacional.

4.1. COMPONENTES BÁSICAS DE UN MEDIDOR

Un instrumento de medición está compuesto fundamentalmente por los elementos siguientes:

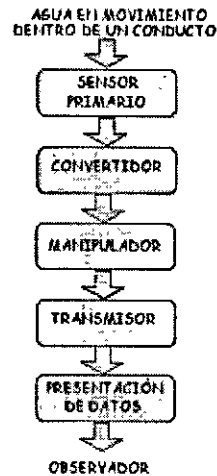


Fig. 4.1 Son cinco elementos los que forman un instrumento de medición.

El sensor primario produce una señal relacionada con la cantidad medida. Usualmente está en contacto con el agua, por lo que es común que tome energía del mismo. Si la energía que se extrae es

grande, puede modificar la cantidad por medir.

El convertidor transforma la señal del sensor en otra señal más adecuada. Por ejemplo una presión se puede convertir en señal eléctrica.

El manipulador amplifica y filtra la señal, y elimina ruidos.

El transmisor lleva la señal desde el punto de medición hasta donde están los

El presentador de datos puede ser una pantalla, una aguja graficadora u otra, que permita al observador ver la cantidad medida.

4.2. CLASIFICACIÓN DE MEDIDORES

Existe una gran variedad de medidores de gasto. Una posibilidad es agruparlos es por el tipo de funcionamiento, como se

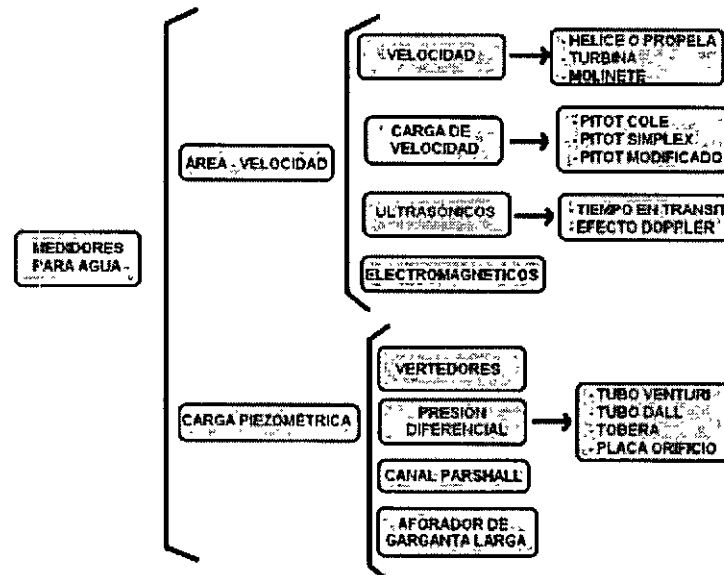


Figura 4.2. Los medidores de gasto se pueden clasificar según su principio de funcionamiento

otros componentes.

muestra en el esquema.



4.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES

Los diversos tipos y tamaños de medidores actualmente disponibles en el mercado, se distinguen por sus especificaciones de dimensión, de operación hidráulica, de exactitud en la medición y de resistencia al desgaste.

- Especificaciones de dimensión.**- guardan relación con el tamaño de las partes del medidor. Comúnmente a estas magnitudes de los aparatos suele llamárseles "nominales" y se refieren a los valores típicos de su diseño y operación óptimas.
- Especificaciones hidráulicas.**- definen la cantidad de gasto con su correspondiente principio de funcionamiento hidráulico.
- Especificaciones de exactitud en la medición.**- Establecen la calidad de la exactitud del medidor, mediante una curva de error.
- Especificaciones de Resistencia y desgaste.**- determinan el número de horas en que el medidor puede operar sin alterar sus características anteriores.

Los concesionarios de agua nacional utilizan diversos medidores de caudal, según sus necesidades y condiciones físicas del aprovechamiento; la selección de estos dispositivos es tarea y responsabilidad solo del ellos. Sin embargo, resulta conveniente reconocer algunas características generales de estos aparatos, de tal manera que en tu papel de inspector de CNA, puedas en un momento dado evaluar si dichos medidores han sido elegidos adecuadamente. Enseguida se describen

algunas de las características más importantes.

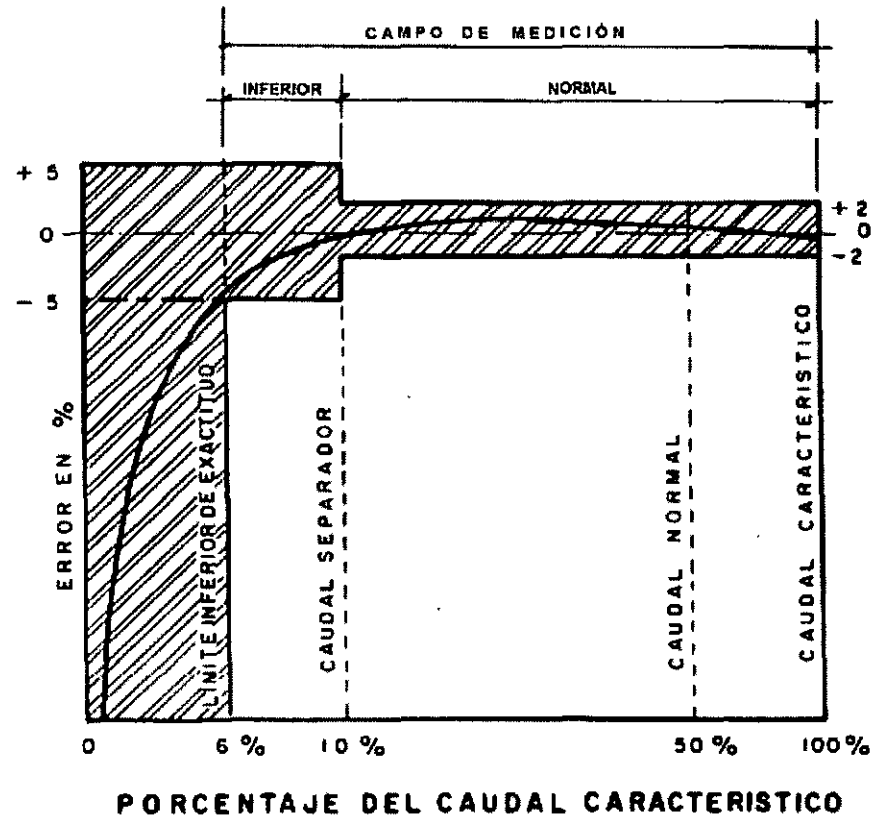
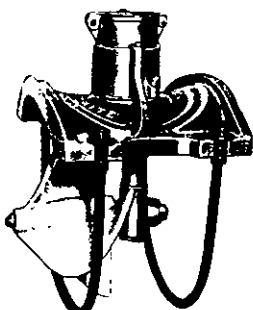
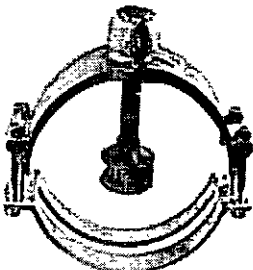
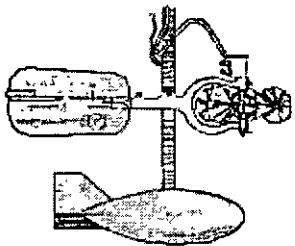
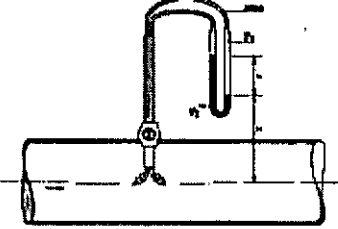
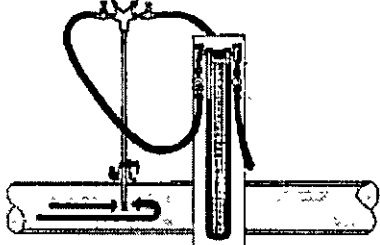
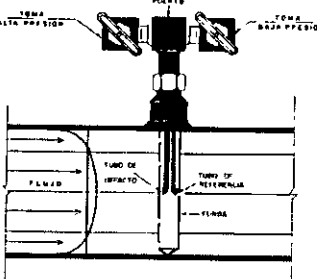
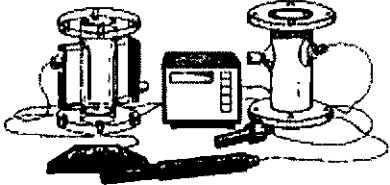
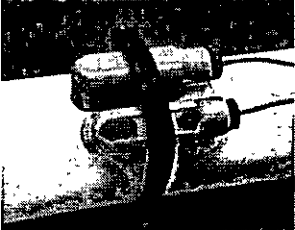
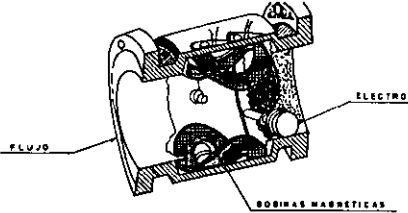


Figura 4.3. Los medidores de gasto tienen una curva de caudal contra error de exactitud.

TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Medidores de velocidad	Están constituidos de una turbina o hélice, que gira con el empuje del flujo de agua; el número de vueltas indica la velocidad del agua. Normalmente, se requieren insertar en el conducto, o en el caso del molinete una estructura colocada transversalmente a la corriente de agua.	Hélice o propela	
		Turbina	
		Molinete	

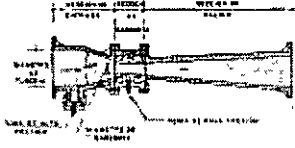
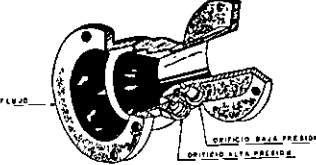
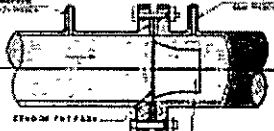
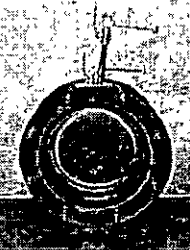


TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Medidores de carga de velocidad	Están conformados por tubos de una a 2 pulgadas de diámetro que se insertan contra el flujo. A este grupo pertenecen básicamente los tubos Pitot. La instalación es sencilla, puesto que se tiene que perforar con una broca, colocar una válvula de inserción que se puede abrir y cerrar en cualquier momento; con una máquina insercionadora Müller se puede instalar aún con el conducto en operación. Si el Pitot se coloca en un conducto a superficie libre, entonces se requerirá de una estructura sujetadora.	Pito Cole	
		Pitot Simplex	
		Pitot Modificado	

TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Medidores ultrasónicos	Se componen de sensores que envían y reciben señales de sonido de alta frecuencia, diagonalmente al flujo de agua, para medir su velocidad. Existen medidores cuyo principio es el tiempo de travesía y aquellos que se basan en el efecto Doppler. Generalmente son equipos de alto costo, pero tienen muy buena exactitud y gran flexibilidad de instalación.	Ultrasónico Tiempo en Tránsito	
		Ultrasónico Efecto Doppler	
Medidores electromagnéticos	Consta de dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del aparato, que son excitadas por una corriente alterna, con lo que se produce un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo; conforme pasa el flujo de agua por dicho campo magnético, se genera una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos. El cambio de voltaje se relaciona con la velocidad del escurrimiento. El medidor es de acero inoxidable o aluminio, recubierto de neopreno, plástico o cerámica. Prácticamente no provoca pérdida de carga piezométrica, tiene mucha exactitud, pero alto costo de adquisición.	Electromag-nético	

TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Vertedores	<p>Son dispositivos usados para medir caudales en canales, consta de una sección transversal de geometría definida, por la que escurre el líquido, manteniéndose la superficie libre del agua; el borde por el que fluye el agua se llama "Cresta". Existen una gran variedad de formas geométricas de vertedores como el triangular, rectangular, trapezoidal (Cipolletti). Los materiales utilizados en su construcción son generalmente placas de metal, madera, plástico y fibra de vidrio. En ocasiones el vertedor está hecho de concreto o mampostería.</p>	Vertedores	



TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Medidores de presión diferencial	También llamados <i>Deprimógenos</i> , estos aparatos se utilizan en tuberías, consisten de un elemento que estrangula al flujo y crea un cambio en la carga piezométrica, que casi siempre se traduce en una pérdida de energía. Dentro de este grupo de medidores se encuentran los Venturi, Tubo Dall, Tobera y Placa Orificio. Su costo de instalación es alto, comparado con el Pitot, sin embargo, sus rangos de exactitud son buenos y son muy duraderos.	Tubo Venturi	
		Tubo Dall	
		Tobera	
		Placa Orificio	

TIPO DE MEDIDOR	CARACTERÍSTICAS	MODELO DEL MEDIDOR	FIGURA
Canal Parshall	<p>Consiste de una contracción lateral en un canal a superficie libre. La contracción se forma elevando la plantilla y estrechando la sección transversal. Esta compuesto por tres partes: a) entrada, b) garganta y c) salida. Tiene dos tanques de reposo que sirven para medir la carga piezométrica. En particular, esta estructura aforadora puede manejar agua con sólidos en suspensión, casi no genera pérdida de energía, su diseño y construcción son sencillos y económicos, pero su uso se restringe a estructura tipo estandarizadas, pues de lo contrario debe recurrirse a laboratorio para calibrarlos.</p>	Cabal Parshall	
Aforador de garganta larga	<p>Es una estructura rígida muy similar al Parshall, pero en este caso se contrae el canal para generar condiciones de flujo en régimen crítico en su garganta. Las secciones transversales del aforador en todo su desarrollo es trapaezoidal, lo cual lo hace práctico en canales con igual sección. Además la garganta puede diseñarse de tal manera que siempre es factible medir con gran exactitud cualquier rango de caudal previsto en el proyecto.</p>	Aforador de Garganta Larga	

5. INSPECCIÓN A CONCESIONARIOS DE AGUA NACIONAL

Una de las tareas importantes que realiza un técnico inspector de la Comisión Nacional del Agua, CNA, es la de verificar los volúmenes consumidos o descargados por los diversos concesionarios de los aprovechamientos hidráulicos de la nación.

La inspección de concesionarios del agua nacional se realiza visitando el sitio de explotación o descarga en cuestión. Esta inspección se debe llevar a cabo mediante las actividades siguientes:

- 1) Revisión de la documentación existente y preparativos
- 2) Acopio de información general y en su caso, recorrido por el aprovechamiento o descarga
- 3) Revisión física de los equipos de medición instalados
- 4) Análisis de información de registros históricos elaborados por el concesionario
- 5) Aforo comparativo para verificación de registros
- 6) Elaboración del acta de visita

Con la información generada se elabora el dictamen técnico de los resultados de la verificación, donde se señalan los resultados de las cantidades extraídas o descargadas de agua, las especificaciones técnicas de los equipos de medición instalados.

La inspección de los aprovechamientos hidráulicos se debe hacer con calidad, lo cual puede resultar difícil de realizar, debido a que engloba una serie de actividades que es necesario ejecutar con orden y cuidado.

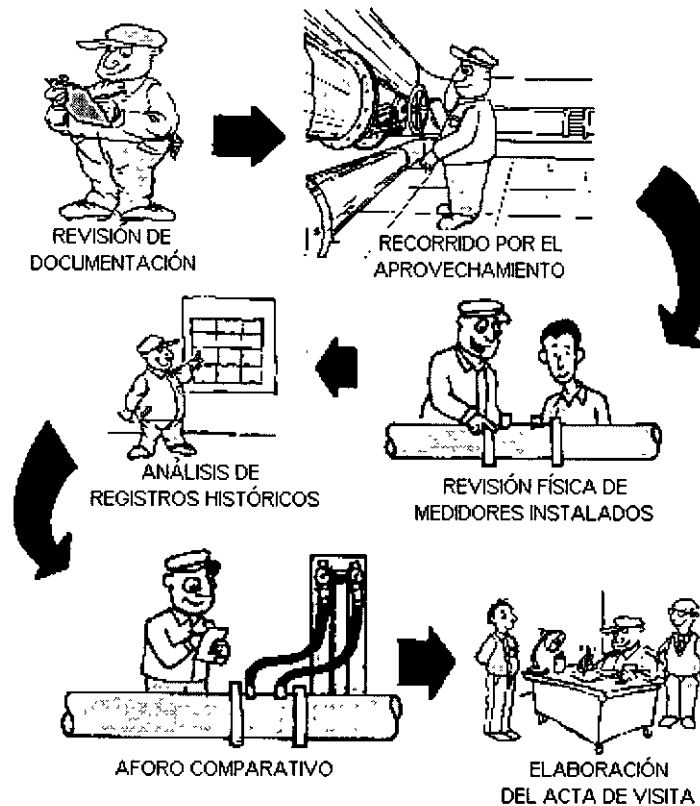


Fig. 51. El procedimiento de inspección consta de seis actividades

Por lo tanto, puede ser útil que conozcas algunas recomendaciones, ideas y procedimientos, que seguro te ayudarán a mejorar tu trabajo de inspector y verificador. El procedimiento se divide en seis actividades. En este capítulo se describen estas actividades.

5.1. REQUISITOS Y CONOCIMIENTOS PARA EL INSPECTOR

Antes de describir cada una de las seis actividades, es conveniente anotar que cualquier trabajador comisionado para visitar sitios donde hay medidores instalados, a fin de inspeccionarlos, debe regirse por algunos estándares de calidad y de competencia laboral. Es decir, la persona debe contar con conocimientos, habilidades, actitudes apropiadas a esa labor. Algunas de ellas son:

- Personalidad y comportamiento.- *limpieza y claridad de escritura, puntual, cuidadoso en sus cálculos, disciplinado, respetuoso y atento a cumplir instrucciones.*
- Conocimientos Institucionales.- *Estructura básica de la CNA y bases legales elementales relacionadas a la lectura de consumos de agua, así como a la exigencia de buen estado de aparatos e instalaciones accesorias. Especialmente es necesario conocer los procedimientos marcados en el "Manual de Procedimientos de Inspección" vigente y editado por la Subdirección General de Administración del Agua, CNA.*
- Habilidades y conocimientos rutinarios: *Identificación visual de tipos de medidores, interpretación de planos, principios de hidráulica, métodos de medición, normas, especificaciones de instalación de medidores, cálculo de consumos, conversiones de unidades de flujo, gasto, velocidad y presión; conocimiento sobre tamaños de tubos, piezas especiales y materiales; reglas de trato hacia usuarios, algo de electrónica y telemetría*

También, es necesario que el inspector sea capaz de capturar y organizar la información, validarla y hacer informes integrados. Y es deseable que pueda programar las nuevas visitas, rutas de inspección.

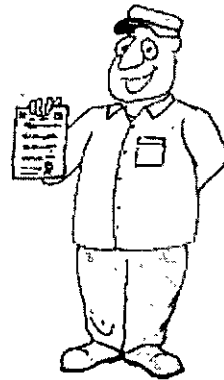


FIG. 5.2 Para adquirir estas habilidades es necesario el entrenamiento del operador y su capacitación continua.

5.2. PASO 1. REVISIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN EXISTENTE Y PREPARATIVOS

El primer paso que debes hacer cuando requieras inspeccionar a un concesionario es revisar toda la documentación que dispongas en la oficina, antes de partir hacia la obra hidráulica.

Puedes comenzar averiguando si existen planos, reportes o dictámenes técnicos previos, o datos del lugar, como por ejemplo ubicación, tipo de aprovechamiento hidráulico, equipo de medición instalado, etc. Es muy recomendable que hagas una ficha resumen de estos datos, similar a la que se muestra a continuación.

Formato 5.1: La ficha técnica previa a la inspección te permitirá planear mejor tu visita al sitio

FICHA TÉCNICA PREVIA A LA INSPECCIÓN DE CONCESIONARIOS DE AGUA	
Fecha:	25/agosto/2000
Nombre del usuario:	Sistema de agua Saltillo
Ubicación:	Ciudad de Saltillo, Coah.
Tiene Título de Concesión:	Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
Claves:	CUU
Extracción:	<input checked="" type="checkbox"/>
Descarga:	<input type="checkbox"/>
Flujo superficie libre:	<input type="checkbox"/>
Flujo presión:	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de captación:	30 Pozos
Equipo de medición instalado:	placas orificio con registrador digital y anubar con registro gráfico
Fecha de la última inspección:	Es la primera
Consumo anual aproximado:	40'500.000 de metros cúbicos
Gasto de extracción aproximado por pozo:	40 l/s
Presión de trabajo:	3.8 kg/cm ² (38 mca)
Tipo de medidor verificador a utilizar en la inspección:	Tubo Pitot
Elaboró:	Raúl Juárez N.
Cargo:	Jefe de Proyecto
Nota: No olvides anexar el último dictamen técnico o reporte de la última visita de inspección.	

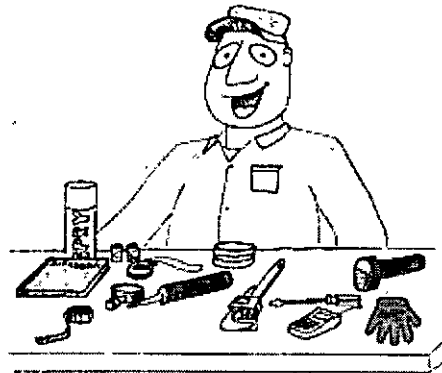
También, debes elaborar una lista de los documentos oficiales, tales como normas, manuales de especificaciones, oficios, etc., y de los equipos, herramientas y materiales

que llevarás contigo a la visita de inspección.

Conviene que lleves las siguientes herramientas y materiales:

- Juego de llaves y desarmadores
- Pintura en spray
- Cinta métrica
- Lámpara de baterías
- Guantes y equipo de protección y seguridad personal
- Formatos, libreta y pluma y lápices de colores o plumones
- Cronómetro
- Manómetro tipo Bourdon
- Cinta Adhesiva transparente
- Batería, pilas o fuente de poder

Por supuesto, debes preparar el equipo portátil de medición que te servirá para comprobar la exactitud de los medidores instalados; por ejemplo equipo de pitometría, o ultrasónico, o molinete, o vertedor, o escuadra, etc., según sea el caso.



5.3. PASO 2. ACOPIO DE INFORMACIÓN GENERAL Y EN SU CASO RECORRIDO POR EL APROVECHAMIENTO O DESCARGA

Una vez cumplidos los requisitos legales necesarios para iniciar la inspección y te encuentras en el sitio del aprovechamiento, es necesario hacer un reconocimiento físico del sistema hidráulico que se va a inspeccionar.

Enseguida, es necesario que solicites toda la documentación de la obra de extracción o descarga, según sea el caso, por ejemplo planos, croquis y especificaciones de los equipos de medición, registros históricos de gastos y volúmenes de extracciones o

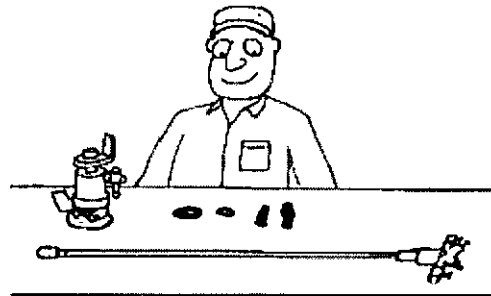
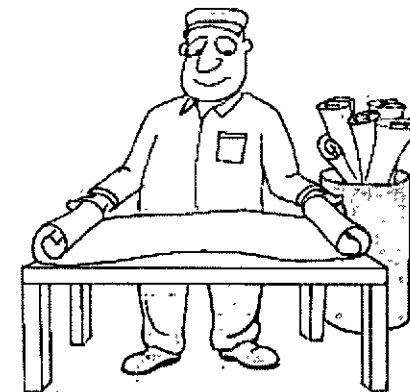



Fig 5.3 Antes de la inspección será necesario que prepares las herramientas y equipo que utilizarás en la obra

descargas de agua, concentrados en tablas y los de bitácora.

Después de revisar toda la documentación, anota en el formato 5.2 algunos de los datos que hasta el momento puedas obtener. Este formato se propone con el fin de que dispongas de una ayuda u orientación y en ningún caso restringe tu creatividad y la extensión de la información que creas que debes anotar.

Fig 5.4 Con la revisión de planos podrás ubicar cada uno de los sitios donde existen medidores a inspeccionar





HOJA DE CAMPO DE LECTURA Y VERIFICACION DE MEDIDORES

FECHA

NOMBRE O RAZON SOCIAL

UBICACIÓN MUNICIPIO

ESTADO

NOMBRE O DENOMINACION DEL APROVECHAMIENTO

1. Uso del medidor:

Aguas subterráneas Aguas superficiales Aguas residuales
 En conducto: a presión a gravedad

2. Características:

Tipo: Velocimétrico Presión diferencial Deprimógeno
 Vertedor Canal Parshall Ultrasonico
 Electromagnético Otro

Marca: Modelo No de serie
 Ø" de medidor o garganta:

Totalizador: Gráfico Digital No serie:

3. Estado físico:

En operación: si no
 Sustituido: si fecha (d/m/a): no
 Tiene sellos de CNA: si no

4. Calca del número de serie del medidor (elemento primario):

OBSERVACIONES:

Formato 5.2. Es necesario que dispongas de hojas suficientes de formato para llevar a cabo la inspección de concesionarios de agua.

Una vez realizado lo anterior, inicia el recorrido por las instalaciones de la obra de captación o descarga, junto con la persona que te hayan designado. En este trayecto debes ir verificando que los componentes

del sistema coincidan con los planos, que los equipos de medición sean los que se indican en las especificaciones y sobre todo que el estado físico de la obra esté en buenas condiciones. Anota todos los datos del formato anterior, mismo que será parte integrante del acta de visita.

Conviene revisar detalladamente los aparatos medidores y observar si cumplen con los requerimientos de instalación

especificados; la manera de hacerlo se describe en las actividades del punto 3.

Cualquier situación anormal debes anotarla en el Acta de Visita y comentarla con el técnico asignado.

Será siempre muy conveniente y útil incluir en el Acta de Visita fotografías de revelado instantáneo (tipo Polaroid) del sitio y de los medidores; en la parte posterior de las fotos debes incluir una breve descripción alusiva y deben ser firmadas por los participantes.

5.4. PASO 3. REVISIÓN FÍSICA DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN INSTALADOS

Cada sistema de medición instalado debe ser revisado minuciosamente.

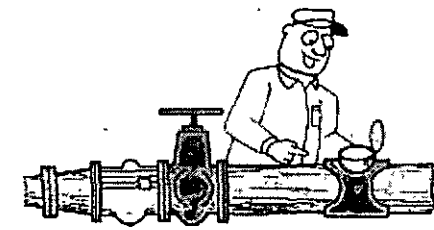


Fig. 5.5. Todos los medidores instalados deben revisarse con detalle para establecer el estado físico que guardan

Inicia la revisión construyendo para cada medidor un croquis de la instalación. Puedes utilizar el formato 5.3 en donde existan captaciones con bombeo; en captaciones superficiales o descargas construye uno similar. Recuerda que los formatos son un ejemplo.



Son varios los detalles de los medidores instalados que debes revisar. A continuación se listan algunos de los más importantes:

- Diámetro, gasto y presión nominales
- Tipo, marca, modelo y número de serie del medidor
- Forma de lectura y unidad de medición
- Escala mínima del registrador
- Distancia más cercana con codos, reducciones y válvulas
- Cuidados ambientales e intemperismo (ruido, iluminación, lluvia, etc)
- Posición del medidor (vertical, horizontal)
- Posibilidad de aire atrapado en conductos
- Estado físico general de las instalaciones
- Posición de sensores y registradores

Es muy importante que el número de serie del medidor lo calques sobre el Acta de Visita. Primero raya con lápiz la placa donde está inscrito en el aparato, luego coloca un pedazo de cinta adhesiva sobre él, después levanta la cinta sin tocar los números, finalmente pega la cinta con los números en el Acta de Visita.

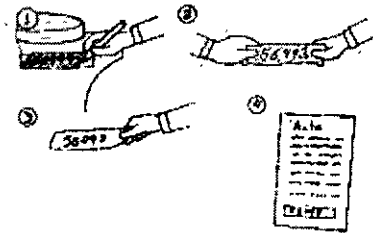


Fig 5.6 El número de serie del medidor se calca con una cinta adhesiva.

CROQUIS DE LA DESCARGA

SIMBOLOGIA

VALVULA REDUCTORA DE PRESION		TEE	
VALVULA ALIVIADORA DE PRESION		CODO	
VALVULA EXPULSORA DE AIRE		REDUCCION	
VALVULA CHECK		CARRETE	
VALVULA DE SECCIONAMIENTO		JUNTA GIBAULT	
VALVULA DE PITOMETRIA		MEDIDOR	
TAPA CIEGA		DIAMETRO DE TUBERIA	\varnothing "
EXTREMIDAD		CRUZ	
MOTOR ELECTRICO		MANOMETRO	
BOMBA HORIZONTAL		MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	
		BOMBA VERTICAL	

OBSERVACIONES

Formato 5.3. Un croquis es muy útil para ubicar el medidor en una captación



En los casos en que se manejen aguas residuales, observa si el equipo está diseñado y fabricado para este tipo de agua.

Señala en el Acta de Vista los comentarios pertinentes, aunque la instalación del equipo de medición sea adecuada o no. También puedes auxiliarte completando el formato 5.2 antes visto y el formato 5.4.



Fig. 57 Importante: Recuerda que no debes emitir juicios u opiniones sobre el medidor, en el Acta de Visita únicamente debes asentar los hechos observados.

5.5. PASO 4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE REGISTROS HISTÓRICOS ELABORADOS POR EL CONCESIONARIO

La actividad siguiente que debes realizar es revisar y analizar los registros de volúmenes extraídos o descargados por el concesionario.

Formato 5.4 Ordenar los datos de los medidores por captación da un idea más clara del estado general de estos aparatos en el aprovechamiento hidráulico

CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DE LA CAPTACIÓN	
	CAPTACIÓN 1	CAPTACIÓN 2
- Tipo de medidor	Annubar	Annubar
- número de serie	-43567-B	-45568-B
- Tipo de registrador	gráfico	gráfico
- Unidad de medida	metros cúbicos	metros cúbicos
- Fecha de instalación	16/nov/1994	16/feb/1995
- Diámetro del tubo	8 pulgadas	10 pulgadas
- Última fecha de calibración	14/enero/1995	24marzo/1995

Lo primero que debes hacer es un esquema sobre el acta de visita de los diferentes puntos de extracción o descarga, de tal manera que puedas cuantificar efectivamente cuál es el volumen de agua, ni más, ni menos.

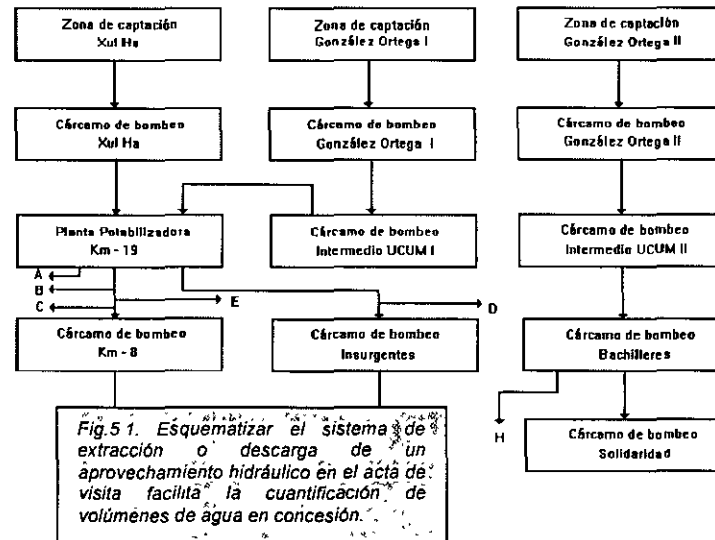


Fig. 51. Esquemmatizar el sistema de extracción o descarga de un aprovechamiento hidráulico en el acta de visita facilita la cuantificación de volúmenes de agua en concesión.



Importante: Muchas veces existen medidores instalados en puntos intermedios, entre la captación y el punto de entrega del agua, o bien cuando existen usos diversos, por lo que es recomendable recabar la información de todos aquellos y tener cuidado de no duplicar los volúmenes extraídos.

Es muy probable que encuentres registros desordenados o no analizados, por lo que debes proceder, con ayuda del concesionario, a identificar los correspondientes a cada uno de los aprovechamientos y a ordenarlos cronológicamente.

5.6. PASO 5. AFORO COMPARATIVO PARA VERIFICACIÓN DE REGISTROS

Para verificar el funcionamiento correcto y la exactitud de un medidor es necesario que compares el gasto instantáneo registrado por este aparato, con el gasto obtenido mediante algún método de aforo o medidor patrón. Puedes emplear métodos o equipos como los de:

- * **Aforo Volumétrico directo.**- Se comprueba la variación del volumen almacenado en un tanque o cisterna, de geometría conocida, observando los cambios de niveles del agua.
- * **Equipo ultrasónico.**- Medición del gasto con sensores de sonido con alta frecuencia. Utilizado en canales y en tubos a presión.
- * **Pitometría** - Medición de carga de velocidad en tuberías.
- * **Modelos electromagnéticos portátiles.**-

Muy útil en flujo en conductos a presión.

- * **Otros modelos portátiles.**- Emplean otros principios de funcionamiento, como por ejemplo el de Turbina insertable.
- * **Aforo con molinete** - Útil para flujo a superficie libre.

Para efectuar el aforo comparativo debes atender lo siguiente:

- La medición del gasto con los dos equipos debes realizarla en forma simultánea; o sea registrar la lectura del medidor sujeto al análisis al mismo tiempo en que se toma la lectura en el medidor patrón.
- Anota en el Acta de Visita el detalle de la verificación, poniendo un croquis de la instalación, señalando los equipos utilizados, fechas, etc.
- La exactitud del medidor patrón debe estar certificada por alguna institución de acreditamiento, por ejemplo, de las que tiene en su lista el Sistema Nacional de Laboratorios de Prueba, SINALP.
- La comparación de los gastos debe estar en las mismas unidades (m^3/s , lt/s , etc.)
- Es necesario que realices al menos tres pruebas y que hagas un promedio de los tres gastos obtenidos.
- Revisa los manuales del equipo instalado y el de prueba. La presente serie autodidáctica incluye otros manuales específicos de algunos medidores, que puedes consultar lo relativo al aparato en cuestión.

En caso de que sea muy difícil obtener la comparación del gasto en una instalación, solamente en casos extremos y para tener una idea aproximada del gasto se pueden utilizar algunos métodos de aforo, como por ejemplo el de flotador - cronómetro, el de la escuadra, o algún otro similar. De ninguna manera puede dictaminarse la exactitud de los medidores instalados mediante estos métodos, sin embargo usarlos es a veces útil para estimaciones gruesas de consumos o descargas.

5.7. PASO 6. ELABORACIÓN DEL ACTA DE VISITA

Después de que se ha hecho toda la inspección del sitio y se hayan realizado las actividades de acopio de información, la revisión física de los medidores, el análisis de los registros históricos y el aforo comparativo, será necesario elaborar un acta de visita, en donde se asentarán en forma cronológica y circunstanciada los hechos, omisiones y demás irregularidades que resulten de la verificación realizada, indicando de manera clara, precisa y objetiva los hechos observados durante la inspección, cuidando que éstos se encuentren debidamente soportados con las pruebas reunidas. A continuación se enlistan algunas recomendaciones que deberás seguir para el llenado de este documento:

1. El acta de visita deberá levantarse por duplicado en original y copia, cuidando que los datos queden claramente asentados en la copia.
2. El acta no deberá tener ralladuras, tachaduras o enmendaduras que puedan afectar su validez.



3. En caso de escribir algún dato en forma errónea, es recomendable incluir la leyenda "debe decir" y a continuación escribir la corrección.
4. Cuando algún dato de tus formatos no aplique al aprovechamiento o descarga verificado, debes cancelar el espacio correspondiente con una línea horizontal a manera de no permitir la escritura posterior.
5. Los formatos que utilices para recabar la información en campo, debe contener claramente la identificación del acta de visita del que forma parte.
6. Recuerda anotar todas tus observaciones de la inspección realizada, toda vez que únicamente lo que se encuentre registrado en ella puede ser utilizado para emitir tu dictamen técnico. Así mismo los datos asentados en este documento pueden ser utilizados por el visitado para impugnar tu actuación.
7. Al cierre del acta, deberás recabar la firma de los asistentes a la diligencia en forma autógrafa tanto en el formato original como en la copia, así como en cada una de las fojas de la documentación anexa al acta.

5.8. REALIZACIÓN DEL DICTAMEN TÉCNICO ADMINISTRATIVO

El dictamen técnico administrativo es un documento oficial de la CNA. El dictamen expondrá el análisis de la información contenida en el acta a fin de evaluar la situación que guarda el concesionario, con relación al uso o aprovechamiento de las

aguas nacionales y bienes públicos inherentes y, en su caso, definir las presuntas infracciones que hubiere cometido.



Este dictamen lo debes elaborar en tu oficina cuando regreses de la visita de inspección, una vez que hayan transcurrido el plazo de 15 días otorgado al visitado para que manifieste lo que a su derecho convenga respecto a los hechos asentados en el acta de visita (Art. 183, fracción VI, del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales). En caso de que el usuario aporte pruebas a su favor, deberás llevar a cabo el procedimiento de desahogo correspondiente, a fin de que puedan ser consideradas en el dictamen. El documento debe ser escrito en procesador de textos de computadora, debe ser firmado por ti y por tu superior inmediato.

A continuación se describen los puntos que debe contener un dictamen de una visita de inspección de aguas nacionales relacionado con los volúmenes extraídos o descargados por un usuario.

1. Datos Generales

En este apartado se incluyen los siguientes datos de identificación de la visita practicada:

- Nombre completo, sin abreviaturas, de la persona física o moral visitada.
- Número de Registro Federal de Contribuyentes.
- Domicilio en que fue practicada la visita y en su caso, domicilio señalado por el usuario para recibir notificaciones.
- Nombre completo de la persona que atendió la diligencia, especificando si se trata del usuario, su representante legal o el cargo que desempeña cuando la visita ha sido atendida por una persona distinta a los anteriores,
- Número de oficio de la Orden de visita,
- Número de oficio de comisión,
- Fecha en la que se realizó la notificación, indicando la fecha de citatorio en aquellos caso en los que se haya utilizado.
- Número de acta de visita de inspección
- Fecha en la que se llevó a cabo la visita

2. Resumen General del Manejo del Agua

Debes anotar una breve descripción del manejo del agua indicando número, tipo y denominación del aprovechamiento con que cuenta el visitado, usos específicos de las aguas nacionales extraídas. Asimismo, debes describir el número y denominación de las descargas identificadas, nombre del cuerpo receptor, origen de la descarga, tipo (permanente, intermitente o fortuita).

3. Situación Legal del Aprovechamiento de aguas nacionales, descarga de aguas residuales, ocupación de zonas federales y extracción de materiales.



En este inciso, debes Indicar el número y fecha de expedición del título de concesión de explotación o descarga, señalando los volúmenes y usos autorizados, así como permisos para construir obras de explotación y perforación o usar o cauces, vasos, zonas federales o bienes nacionales a cargo de la CNA.

4. Situación respecto a los volúmenes declarados por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales o bienes inherentes

En esta sección, debes describir si el visitado realiza el pago de derechos por concepto explotación y descarga de aguas nacionales así como del uso de zonas federales. Describe si el concesionario exhibió y/o proporcionó copia simple de las declaraciones trimestrales y anuales de los volúmenes de agua explotados o descargados y de la superficie ocupada, correspondientes a los ejercicios fiscales de los últimos 5 años. Efectúa además el análisis de los volúmenes anuales declarados a fin de conocer si se declaran volúmenes mayores a los autorizados en el título de concesión; es recomendable que elabores una tabla comparativa de datos.

5. Verificación de los sistemas de medición.

Describe las características generales de los sistemas de medición de volúmenes de agua instalados en todos y cada uno de los aprovechamientos y descargas detectadas durante la visita de inspección. Señala el tipo y marca del medidor, número de serie del elemento primario de medición, lectura registrada al momento de la visita, y si hubo o no, la existencia de sellos de CNA y derivaciones antes del medidor.

a) Determina el porcentaje de error en la exactitud con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Error } Q = \frac{Q_{\text{medidor}} - Q_{\text{patrón}}}{Q_{\text{patrón}}} \times 100$$

donde:
 Q_{medidor} = Gasto del medidor instalado
 $Q_{\text{patrón}}$ = Gasto del equipo patrón
 $\% \text{Error} Q$ = Porcentaje de error en el gasto

b) Si el porcentaje de error se encuentra en un intervalo de +/- 5 % (error permisible para medidores según la norma NOM-012-SCFI-1994 descrita en el apéndice A de este manual), se considerará que el medidor funciona con los límites de exactitud y se aprobarán los registros históricos del concesionario.

Cuando en un acta de visita se encuentren asentadas irregularidades detectadas en el equipo de medición que podrían afectar el correcto funcionamiento del medidor, por ejemplo que la carátula esté rota, con señales de humedad o con partículas sólidas, que el equipo no trabaje a tubo lleno, si se trata de un medidor que trabaja a presión, o se encuentre instalado sin observar las distancias recomendadas antes y después de una pieza especial, éstas deben incluirse en el informe de manera clara y concisa.

6. Determinación presuntiva de volúmenes

En este apartado reporta los volúmenes de agua aprovechados y/o descargados por el concesionario. Lo debes obtener a partir de los registros colectados durante la visita de inspección. Es conveniente que los ordenes por mes y por cada captación, como se muestra en el formato 5.5.

Formato 5.5 Es necesario ordenar los volúmenes, por mes y por captación para obtener el total de agua extraída

MES	CAPTACIÓN N 1 (m3)	CAPTACIÓN N 2 (m3)	CAPTACIÓN N 3 (m3)	VOLUMEN TOTAL DE AGUA (M3)
Enero	327,734	629,282	646,117	1,603,113
Febrero	299,335	516,608	837,338	1,453,281
Marzo	333,249	603,436	777,520	1,714,205
Abril	311,892	609,729	672,369	1,594,070
Mayo	315,896	565,540	783,856	1,665,332
Junio	297,541	532,255	715,818	1,545,618
Julio	303,185	479,046	762,757	1,544,988
Agosto	297,757	540,910	760,955	1,599,622
Septiembre	296,541	551,421	877,010	1,724,972
Octubre	288,283	597,929	802,988	1,489,198
Noviembre	293,264	445,285	838,173	1,426,732
Diciembre	302,902	498,629	723,927	1,515,458
TOTAL	3,667,609	6,560,034	8,448,836	18,676,539

Con los resultados del aforo comparativo debes ajustar este volumen consumido por el concesionario en el periodo considerado, lo cual puedes hacerlo de la manera siguiente:

En el caso de que el porcentaje de error exceda el error permisible de +/- 5% , entonces se ajusta el volumen de agua consumido o descargado; si el error es positivo (signo +) quiere decir que el medidor instalado está registrando más gasto que el que está pasando; si el error resulta negativo (signo menos) entonces el aparato esta midiendo menos gasto.

El ajuste del volumen se hace simplemente multiplicando el volumen total registrado por el porcentaje de error de gasto dividido entre 100.

$$V_{\text{ajustado}} = \frac{V_{\text{reportado}} \times (\% \text{Error } Q)}{100}$$



donde:

$V_{ajustado}$ = volumen ajustado con el porcentaje de error, en m^3 .

$V_{reportado}$ = volumen reportado por el usuario, en m^3 .

7. Presuntas violaciones a la Ley de Aguas Nacionales (Art. 119)

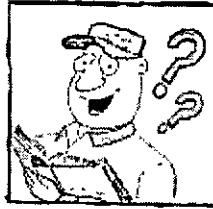
En este apartado describe de manera presuntiva las posibles infracciones a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento de acuerdo a las faltas sancionadas en el artículo 119 de dicha Ley.

8 Conclusiones y recomendaciones

Anota en forma breve las irregularidades a las que se llegaron una vez concluida la revisión efectuada la acta de visita.

También, en este rubro debes indicar si de la revisión efectuada al acta de visita de inspección se desprende que debe efectuarse algún trámite especial ante otra área de la CNA o notificar a una dependencia externa

AUTOEVALUACIÓN No. 3



1. ¿En una acta de visita se debe?

- a) Anotar y no emitir juicios
- b) Anotar y emitir juicios
- c) Emitir juicios
- d) No se debe hacer acta de visita

2. El número de serie de los medidores instalados se:

- a) Copia a mano en el acta
- b) Fotografía
- c) Quita y se pone en el acta
- d) Se calca con una cinta adhesiva

3. Para verificar la exactitud de un medidor instalado se utiliza:

- a) El método del flotador – cronómetro
- b) Un recipiente y una cinta
- c) Un medidor portátil calibrado
- d) El método de frecuencias

4. ¿Qué debes hacer cuando un dato del formato no aplique al aprovechamiento?

- a) Ignorarlo
- b) Cancelar el espacio con una línea
- c) Reportarlo al jefe inmediato
- d) Borrarlo

5. ¿Si se toma una fotografía a un equipo, cómo debe realizarse?

- a) Con una cámara tipo Polaroid instantánea
- b) Con una cámara registrada en la CNA
- c) Con una cámara del concesionario
- d) Con una cámara personal



APÉNDICES

A. NORMATIVIDAD

Hemos visto que los medidores instalados en los sistemas hidráulicos o los que se utilicen durante una inspección, deben estar en buenas condiciones y cumplir con características y requisitos de calidad. Asimismo, las actividades que realiza un inspector deben ser lo suficientemente cuidadosas y sistemáticas, para lograr una confiabilidad en los resultados obtenidos. Surge entonces una pregunta ¿En donde se establecen los estándares de calidad de los medidores? Es en esta sección en donde conocerás la respuesta a esta pregunta.

En México la máxima autoridad en materia de normalización es la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFI. Es la única institución con sanción legal que puede otorgar certificados y sellos de conformidad a normas, productos, sistemas y servicios. Cualquier otra institución sólo puede expedir certificados o sellos a título particular, la validez de éstos depende de una relación contractual de carácter voluntario y su uso está en función del prestigio y credibilidad de la institución que lo otorga.

Con relación a los medidores de agua, la SECOFI publicó en 1994 la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCFI-1994 (la cuál tiene carácter obligatorio), con el fin de establecer los estándares de calidad que deben cumplir los aparatos que se utilicen para medir el flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos, en el rango de 0.6 m³/hr hasta 4000 m³/hr. Específicamente se divide en cuatro partes: a) Especificaciones, b) Requisitos de Instalación, c) Equipo y Métodos de Prueba

y, d) Pruebas de Influencia del Campo Magnético.

<p>Tabla A.1. La Norma Oficial Mexicana NOM 012 SCFI-1994 establece los estándares de calidad para los medidores de agua Potable Fria</p>	
NOM-012-SCFI-1994	Norma Oficial Mexicana sobre medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos – medidores para agua potable fría – Especificaciones, de la Dirección General de Normas. (FEP: 1997-10-29 cancela a la NOM-012-SCFI-1993 y NOM-012-SCFI-1004)
NMX-CH-001/2-1993-SCFI	Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos – medidores para agua no potable fría – parte 2 requisitos de instalación. (FEP: 1993-12-31. Cancela a la NMX-CH-001/2-1993)
NMX-CH-001/3-1993-SCFI	Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos – medidores para agua potable fría – parte 3 equipo y método de prueba. FEP: 1993-12-31.
NMX-CH-001/4-1993-SCFI	Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos – medidores para agua potable fría – parte 4 pruebas de influencia del campo magnético.

Los estándares principales que marca la NOM-012-SCFI-1994 son:

- **Para Especificaciones.**- Definiciones, tamaño del medidor, características del dispositivo indicador y escalas, materiales, marcado, envase y embalaje.

- **Para requisitos de Instalación.**- Criterios para selección, accesorios para la instalación, características del sitio y posición del medidor.

- **Para equipo y métodos de prueba.**- Programa de prueba, reglas de las instalaciones de prueba, comprobación de errores de medición, bancos de prueba, pruebas de presión, prueba de desgaste acelerado e informe.

- **Para pruebas de influencia de campo magnético.**- en medidores con transmisión magnética, prueba, equipo, procedimiento e interpretación de resultados.

Cabe mencionar que la norma NOM-012-SCFI-1994 está basada en la Norma Internacional ISO-4064. La Organización para Normas Internacionales (en inglés *International Standards Organization*), ISO, es una de las instituciones más reconocidas a nivel mundial.

También, son reconocidos los estándares de la *American Water Works Association*, AWWA, con sede en Estados Unidos de Norteamérica, sin embargo en México son utilizados solo como referencia.

Tabla A.2. Algunas de las principales normas internacionales a que están sujetos los medidores de agua o sus equipos auxiliares las establecen la ISO y la AWWA

ISO 4064-1:1993	Medición de flujo de agua en conductos cerrados – Medidores para agua potable fría – Parte 1: Especificaciones
ISO 4064-2:1978	Medición de flujo de agua en conductos cerrados – Medidores para agua potable fría – Parte 2: Requerimientos de instalación



ISO 4064-3:1999	Medición de flujo de agua en conductos cerrados - Medidores para agua potable fría - Parte 3: Equipo y métodos de prueba.
ISO 3354:1988	Medición de flujo de agua en conductos cerrados - Método área - velocidad usando medidores de corriente en conductos llenos y bajo condiciones de flujo regular.
ISO/TR 11974:1997	Medición de flujo en líquidos en canales abiertos - Medidores de corriente electromagnéticos.
ISO 4006:1991	Medición de flujo en conductos cerrados - Vocabulario y símbolos.
ANSI/AWWA A. C701-88 1988	Medidores de agua fría tipo turbina, para servicio a usuarios.
AWWA C707-1970	Medidores de agua fría tipo propela.
AWWA C708-1991	Medidores de agua fría tipo multichorro.
ANSI/AWWA A C700-95	Medidores de agua fría tipo desplazamiento de bronce.

Existen en México unidades verificadoras acreditadas por el Sistema Nacional de Laboratorios de Prueba, SINALP, quienes certifican la norma, haciendo las pruebas respectivas. El IMTA dispone de un banco de macromedidores que se encuentra acreditado por dicha institución, disponible para cualquier usuario del agua o fabricante de estos aparatos.

B. UNIDADES DE MEDIDA

Durante las labores de inspección y medición frecuentemente encontrarás diversas formas de expresar los parámetros físicos del agua, es decir diferentes unidades de medida, debido a que muchos aparatos son fabricados en el extranjero o a que los concesionarios del agua nacional obtienen sus registros de manera diversa. Enseguida se presenta una tabla con algunas de las conversiones

de unidades de medida más frecuentes, para apoyo en tus actividades.

Tablas B 1 y B2. Las conversiones de unidades de medida del agua son necesarias por la diversidad de aparatos y usuarios.

MULTIPLIQUE EL NÚMERO DE:	POR:	PARA OBTENER EL NÚMERO DE:
AREA		
M ² _____	10.76	Pies ²
Cm ² _____	0.155	Pulgadas ²
Pie ² _____	9220	Cm ²
Pulgada ² _____	6.45	Cm ²
GASTO		
Lt/s _____	0.001	M ³ /s
Lt/s _____	1000	Cm ³ /s
M ³ /s _____	1000	Lt/s
M ³ /s _____	264.18	Gal/min
M ³ /s _____	35.31	Pies ³ /s
M ³ /hr _____	0.2777	Lt/s
Pies ³ /s _____	28.32	Lt/s
Gal/min _____	0.06309	Lt/s
Gal/s _____	0.003785	M ³ /s
LONGITUD		
Centímetros _____	0.3937	Pulgadas
Centímetros _____	0.03048	Pies
Metros _____	3.281	Pies
Metros _____	1.091	Yardas
Pulgadas _____	2.54	Centímetros
Pies _____	30.48	Centímetros
Pies _____	0.3048	Metros
Kilómetros _____	0.6211	Millas
Millas _____	1.61	Kilometros.
PESO		
Gramos _____	0.001	Kg
Kilogramos _____	2.205	Libras
Kilogramos _____	1000	Gramos
Libras _____	0.4536	Kg
Onzas _____	28.350	Gramos
Toneladas _____	0.001	Kg

MULTIPLIQUE EL NÚMERO DE:	POR:	PARA OBTENER EL NÚMERO DE:
PRESIÓN		
Atmósferas _____	76	Cm - mercurio
Atmósferas _____	10.333	Kg/cm ²
Atmósferas _____	33.9	Pies de agua
Kg/m ² _____	0.2048	Libras/pie ²
Kg/cm ² _____	14.22	Libras/pulg ²
Kg/m ² _____	32.8	Pies de agua
Kg/cm ² _____	735	Mm - mercurio
Kg/cm ² _____	10	M - mercurio
TIEMPO		
Segundos _____	0.0167	Minutos
Minutos _____	60	Segundos
Horas _____	3600	Segundos
Horas _____	60	Minutos
Días _____	86400	Segundos
Días _____	24	Horas
Años _____	365	Días
VELOCIDAD		
M/s _____	100	Cm/s
M/s _____	3.281	Pies/s
M/día _____	0.001157	Cm/s
M/s _____	11811	Pies/hr
Km/hr _____	0.2777	M/s
VOLUMEN		
Litros _____	0.001	M ³
Litros _____	0.03531	Pies ³
Cm ³ _____	0.001	Lt
M ³ _____	1000	Litros
M ³ _____	35.31	Pies ³
Pies ³ _____	28.32	Litros
Galones _____	3.7853	Litros



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Levi, E., 1996, **Tratado Elemental de Hidráulica**, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Segunda Edición, Jiutepec, Morelos, México.

Meadows M., Walski T., (1998), **Computer Applications in Hydraulic Engineering**, Haestad Methods, Inc. Trademarks, Second Edition, USA.

Juárez, N. R., (1994), **Selección e Instalación de Equipos de Macromedición**, Libro III, tema 3.3.1, del Manual de Diseño de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua, CNA, Gerencia de Normas Técnicas, México, D.F.

Echávez, A. G., (1996), **Introducción a los Modelos Hidráulicos de Fondo Fijo y a la Hidráulica Experimental**, UNAM, CoNaCYT, AMH, México, D.F.

Bureau of Reclamation (1997), **Water Measurement Manual**, US Department of the Interior and United States Department of Agriculture, Third Edition, USA.

Hueb J.A., (1985), **Macromedición**, Manual DTIAPA No. C-9, CEPIS – BID, OPS,OMS, Lima, Perú.

CNA (1998), **Manual de Visitas Domiciliarias de Verificación Integral**, Subdirección General de Administración del Agua, México D.F.

RESPUESTAS A LAS AUTOEVALUACIONES

Autoevaluación No. 1:

1.- b), 2.- b), 3.- c), 4.- a), 5.- b), 6.- b), 7.- d), 8.- b), 9.- a), 10.- c), 11.- c)

Autoevaluación No. 2:

1.- c), 2.- b), 3.- d), 4.- d), 5.- a)

Autoevaluación No. 3:

1.- a), 2.- d), 3.- c), 4.- b), 5.- a)



**ESTA ES LA CONTRAPORTADA INTERNA Y AQUÍ SE ALOJARÁ EL DISCO
COMPACTO CON SU FUNDA**

LA SIGUIENTE PÁGINA ES LA CONTRAPORTADA EXTERIOR



DECDFI



SEMARNAP CNA IMTA

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

Número de ISBN	Título	Autor
968-7417-64-1	Métodos y Sistemas de Medición de Gasto	Ochoa, A. L.
968-7417-65-X	Medidor Ultrasonico Tiempo en Tránsito	Bourguett, O. V.
968-7417-66-8	Medidor Ultrasonico de Efecto Doppler para Tuberías	Patiño, G. C.
968-7417-67-6	Medidor Ultrasonico de efecto Doppler para Canales	Pedroza, G. E.
968-7417-68-4	Medidor Electromagnético	Buenfil, R. M.
968-7417-69-2	Tubo Pitot	Ruiz, A. A.
968-7417-70-6	Placa Orificio	Rivas, A. I.
968-7417-48-X	Aforador de Garganta Larga	García, V. N. Vargas, D. S.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

EJERCICIOS 0001

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

Cuadro 8.3 Proceso de cálculo del ejemplo 8.1.

Crucero	Tramo	q	Q	D	d	c	H	Cotas		Carga disponible (m)
								Piezóm	Terreno	
22								1017.566	998.089	19.477
22'	22-22'	1.251	1.487	231.75	2.5	140	1.031	1016.535	997.873	18.662
E'	22'-E'	0.118	0.118	29.33	2.5	140	0.001	1016.334	997.917	18.617
F'	22'-F'	0.118	0.118	38.73	2.5	140	0.002	1016.532	997.813	18.719

Ejemplo 8.2

Considérese el diseño de una red abierta para un fraccionamiento (Figura 8.13).

DATOS DE PROYECTO:

Población de proyecto: 8000 habitantes (uniformemente repartida; casa tipo)

Dotación: 150 l/hab/día

Coefficiente de variación diaria: 1.2

Coefficiente de variación horaria: 1.25

Carga disponible en cada cruceo entre 15 y 45 m de columna de agua.

En la primera etapa de construcción, el tanque "Lagunillas de Rayón" dará servicio solamente a la zona Axochiapan I, pero se ha contemplado construir la zona Axochiapan II con capacidad para 9000 habitantes en una segunda etapa. Por esta razón, el tramo 1-2 deberá diseñarse para la población total (8000 + 9000 = 17000 habitantes)

Se instalará tubería de fibro-cemento.

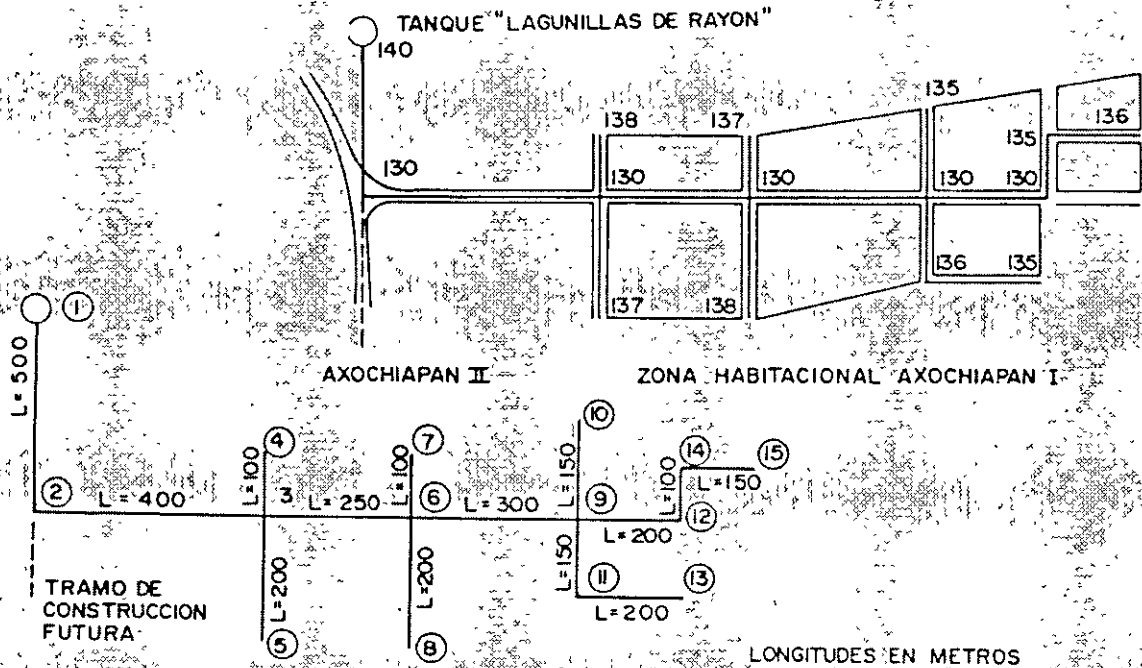


Figura 8.13. Esquema del ejemplo 8.2.

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Los resultados se presentan en el cuadro 8.4. El proceso de cálculo se hace en contra del sentido

de flujo desde el punto o cruceo más alejado al tanque de regularización

Cuadro 8.4. Hoja de cálculo para el diseño de la red abierta del ejemplo 8.2.

Tramo De A	Cruceo	Longitud real (m)	Longitud virtual	Propios	Habitantes Tributarios	Totales	Gasto l/s	Diámetro		Pérdida de carga H (m)	Cotas		Carga Disponible (m)
								Técnico-pulg.	Comercial-pulg.		Piezométrica m	Terreno m	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15 a 14	15	150	300	649	0	649	2.81	2.14	2.5	1.128	151.08	136.0	15.08
14 a 12	14	100	200	432	649	1081	4.69	2.77	3.0	0.798	152.21	135.0	17.21
12 a 9	12	200	400	864	1081	1946	8.45	3.72	4.0	1.170	153.01	130.0	23.01
13 a 11	13	200	200	432	0	432	1.87	1.75	2.0	2.090	150.81	135.0	15.81
11 a 9	11	150	300	649	432	1081	4.69	2.77	3.0	1.190	152.90	136.0	16.90
10 a 9	10	150	300	649	0	649	2.81	2.14	2.5	1.120	153.06	135.0	18.06
9 a 6	9	300	600	1297	3676	4973	21.58	5.94	6.0	1.380	154.18	130.0	24.18
8 a 6	8	200	400	865	0	865	3.75	2.47	2.5	2.560	153.00	138.0	15.00
7 a 6	7	100	200	432	0	432	1.87	1.75	2.0	1.040	154.52	137.0	17.52
6 a 3	6	250	500	1081	5270	7351	31.90	7.22	8.0	0.580	155.56	130.0	25.56
5 a 3	5	200	200	432	0	432	1.87	1.75	2.0	2.090	154.05	137.0	17.05
4 a 3	4	100	100	216	0	216	0.94	1.24	2.0	0.290	155.85	138.0	17.85
3 a 2	3	400	0	0	7999	7999	34.72	7.54	8.0	0.064	156.14	130.0	26.14
A la 2			0	0	9000	9000	39.06	7.99	8.0				
2 a 1	2	500	0	0	16999	16999	73.78	10.95	12.0	0.76	157.23	130.0	27.23
			$\Sigma = 3700$								158.00	140	18.00

Columna 1. Se indica la longitud virtual correspondiente al tramo; tramos con tomas a un solo lado $L_{VIRTUAL} = L_{REAL}$; tramos con tomas a ambos lados $L_{VIRTUAL} = 2 L_{REAL}$ y en tramos sin tomas $L_{VIRTUAL} = 0$.

Columna 2. Se indican los habitantes propios a los que sirve cada tramo, calculados con la expresión siguiente:

$$\text{Habs. Propios} = \frac{\text{Hab. Totales}}{\text{Long. Virtual Total}} \times \text{Long. Virtual del tramo}$$

El cociente $\frac{\text{Habitantes Totales}}{\text{Longitud Virtual Total}}$ se denomina densidad, y se representa con δ . Para nuestro ejemplo

$$\delta = \frac{8000}{3700} = 2.162 \frac{\text{hab}}{\text{m}}$$

Columna 3. Recorriendo la tubería en contra del flujo, los habitantes tributarios son los que se tienen hasta antes del tramo. Por ejemplo, el tramo 15-14 no tiene nada antes (ceros habitantes tributarios), mientras que los habitantes tributarios del tramo 6-9 serán la suma de los habitantes propios de los tramos: 15-14, 14-12, 12-9, 13-11, 11-9, y 10-9.

Columna 4. Es la suma por cada renglón de la columna 2 más la columna 3.

Columna 5. Se calcula el gasto de cada tramo con la expresión

$$Q_{\text{De Tramo}}^{\text{Max. Horario}} = \frac{\text{Habs. (Col. 4)} \times \text{Dotación}}{86400} \times \text{CVD} \times \text{CVH}$$

CVD = coeficiente de variación diaria
CVH = coeficiente de variación horaria



Columna 6. Se indica el diámetro teórico, calculado con la ecuación

$$D_t = 1.28 \sqrt{Q}$$

que supone una velocidad en la tubería de 1.2 m/s. La fórmula está en un sistema mixto de unidades, con Q en l/s y D en pulgadas.

Columna 7. Se indica el diámetro comercial, a criterio del proyectista, lo más aproximado al teórico. Para fibro-cemento, los diámetros comerciales son 2, 2.5, 3, 4, 6, 8, 10, etc. pulgadas.

Columna 8. Se indica la pérdida de carga, calculada con la fórmula de Hazen y Williams, traducida a un sistema mixto de unidades.

$$H = \sqrt[0.54]{\frac{Q}{0.0177 \times C \times D^{2.63}} \times L_{\text{REAL}}}$$

donde Q en l/s; D en pulg; L en m; C = 200 y H en m

Columna 9. Localizando el cruceo más desfavorable (en nuestro ejemplo el 8), se le asigna una carga disponible de 15 m, obteniéndose una cota piezométrica de $15 + 138 = 153$ (carga disponible más cota de terreno) y a partir de este cruceo se suman o se restan, según sea, las pérdidas de carga para ir obteniendo la cota piezométrica de los cruceos restantes. Por ejemplo, la cota piezométrica del cruceo 6 es la de 8 (153 m) más la pérdida de carga del tramo 8-6 (2.56 m), resultando de 155.56 m, la cota piezométrica del cruceo 6. La cota piezométrica del cruceo 6 (155.56 m) menos la pérdida de carga del tramo 9-6 (1.38 m), obteniéndose la cota 154.18 m.

Columna 10. Se indica la cota de terreno en cada cruceo; es un dato que se obtiene de la carta topográfica de la población.

Columna 11. Se indica la carga disponible del cruceo y se calcula como:

$$\text{COTA PIEZOMETRICA} - \text{COTA DE TERRENO} = \text{CARGA DISPONIBLE}$$

Si en algún cruceo se tuvieran menos de 15m de carga disponible, significaría que equivocamos el cruceo más desfavorable. Suponiendo que en alguno de los cruceos tuviéramos 14 m de carga disponible, tendríamos que elevar el tanque un metro para poder tener la carga disponible mínima requerida de 15m. Si esto no fuera posible, tendríamos que revisar los diámetros para reducir las pérdidas.

En nuestro ejemplo, todos los cruceos cumplen con la carga disponible requerida.

En los planos de redes de distribución, cada tramo se representa con una simbología de acuerdo con su diámetro. La Figura 8.14, ilustra la simbología correspondiente a la red de nuestro ejemplo, basada en los símbolos de la Figura 8.11.

En cada cruceo se anotan en un círculo, la cota del terreno y la carga disponible en metros. Así, para el cruceo 6, se tendría:



Diseño de cruceos

Utilizando la simbología de la Figura 8.9, en la Figura 8.15 se presenta a manera de ejemplo, el diseño de algunos cruceos.

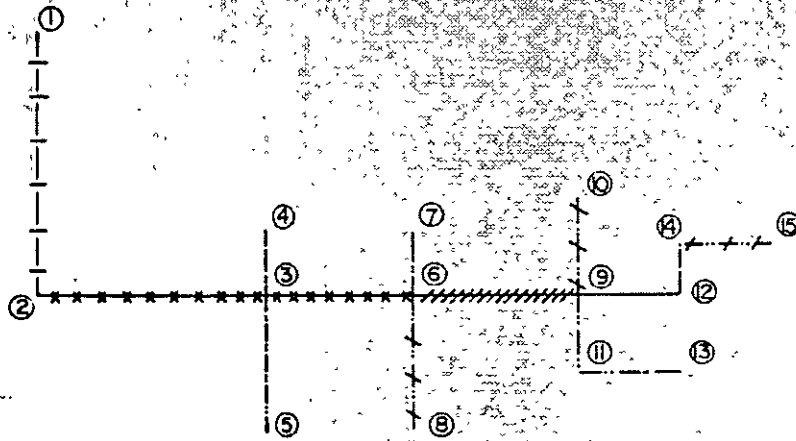


Figura 8.14. Simbología de la red ramificada del ejemplo 8.2.

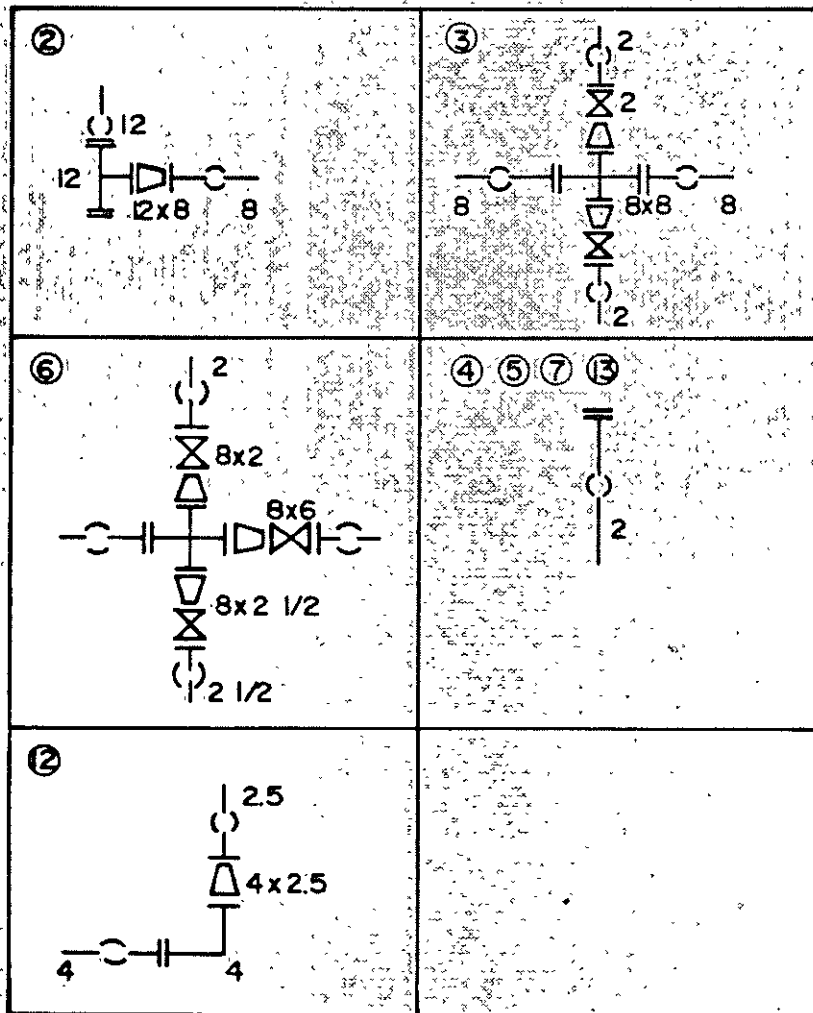


Figura 8.15. Algunos cruces del ejemplo 8.2.

8.5 DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION EN MALLA.

El diseño de un sistema de distribución en malla para una nueva área puede mecanizarse como se explica a continuación. El análisis de sistemas ya existentes se estudia en las siguientes secciones.

1. Obtener un plano topográfico del área a ser servida, escala 1:2000 con curvas de nivel equidistantes 0.50 m o por lo menos con cotas en las intersecciones de las calles presentes y futuras.
2. Basado en la topografía, seleccione la posible localización de los tanques de regularización. Si el área a ser servida es muy grande puede dividirse en varias subáreas con sistemas de distribución separados.
3. Disponer un "esqueleto" de red de distribución en malla que muestre la o las líneas de alimentación.
4. Estime el gasto máximo horario para el área o para cada subárea, según sea, teniendo en cuenta el crecimiento futuro.
5. Asigne una dirección al flujo en las tuberías y calcule el gasto propio de cada tramo de tubería utilizando el criterio de la longitud virtual que se estudió en la sección 8.4. Cuando se considera un consumo uniforme, el gasto propio se estima empleando un caudal unitario, es decir, por metro de longitud de tubería, que resulta de dividir el gasto máximo horario total demandado por la población entre la longitud virtual total de los circuitos principales. Si se consideran zonas de distintos consumos, se calcula según su amplitud, a partir de un gasto por unidad de área, distinto para cada zona de consumo.
6. En forma ficticia, suponer que se interrumpe la circulación del agua en unos tramos para formar una red abierta, con el objeto de definir perfectamente cuál tubería alimenta a

otras. Así se llegan a definir puntos en los que ya no existe posibilidad de alimentación a otros tramos, los cuales reciben el nombre de "puntos de equilibrio".

7. Acumular los gastos propios calculados en el paso 5 en sentido contrario al escurrimiento, partiendo de los puntos de equilibrio hasta llegar al punto de alimentación a la red.
8. Estimar el diámetro de las tuberías utilizando el gasto acumulado en cada tramo y la ecuación 8.3.
9. Usando alguno de los varios métodos que se discuten en la siguiente sección, analizar los gastos y presiones en la red de distribución. Un análisis por separado debe efectuarse para cada subárea.
10. Ajuste el diámetro de las tuberías para corregir irregularidades de presión en la red.
11. Con los diámetros ajustados, reanalice la capacidad hidráulica del sistema.
12. Añada las tuberías secundarias o de relleno.
13. Localice las válvulas necesarias.
14. Prepare los planos de diseño final.

8.6 ANALISIS HIDRAULICO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION

El propósito del análisis hidráulico de un sistema de distribución es estimar gastos (incluyendo su dirección) y la distribución de presión asociada que se desarrolla dentro del sistema. Se dispone de varios métodos para este análisis entre los cuales se tienen los siguientes: 1) relajación, 2) tubería equivalente, 3) seccionamiento, 4) método del círculo, 5) análisis en computadora digital y 6) analogía eléctrica.

Las características de cada uno de estos métodos se resumen en el cuadro 8.5.

Cuadro 8.5. Métodos de análisis de redes de distribución de agua

Método	Descripción
De relajación	Es un procedimiento de ensayo-error en el que se aplican correcciones sistemáticas a: 1) Un conjunto de gastos iniciales asumidos 2) Un conjunto inicial de cargas asumidas, hasta que la red esté balanceada hidráulicamente (p. ej. Hardy-Cross)
De secciones	La malla del sistema de distribución se corta en una serie de secciones, y la capacidad de las tuberías se compara con la demanda aguas abajo del corte.
De la tubería equivalente	Las tuberías en una red de distribución se reemplazan con una tubería sencilla de capacidad equivalente.
Del círculo	Las tuberías de un sistema de distribución tributarias a un hidrante central o grupo de hidrantes, se cortan con un círculo y se evalúa la capacidad de las tuberías para cubrir la demanda.
De análisis con computadora	Se escriben algoritmos para resolver las ecuaciones básicas para el análisis de una red de tubos. Los algoritmos se resuelven usando computadora. También se dispone de programas comerciales para resolver estos problemas
Analogía eléctrica	El sistema de distribución es modelado con componentes eléctricamente equivalentes. Por ejemplo, resistencias no lineales se usan para simular la fricción en tuberías. Si la corriente entrante y saliente son proporcionales al flujo de agua, entonces las pérdidas de carga serán proporcionales a la caída de voltaje.

8.6.1 Método de relajación (Método de Hardy Cross)

Según el gasto a transportar a través de una tubería, calculado según el criterio de la longitud virtual, se supone un diámetro de ésta que posteriormente se revisará, para saber si la red trabaja correctamente por el método de Hardy Cross, éste se resuelve por aproximaciones sucesivas que pueden aplicarse a los gastos supuestos en un principio o bien a las pérdidas de carga iniciales

a) *Método de Hardy Cross o de balanceo de cargas por corrección de gastos acumulados.*

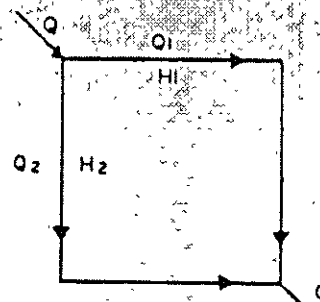
En este método, los gastos inicialmente supuestos se van corrigiendo mediante una fórmula de manera iterativa, hasta alcanzar el equilibrio hidráulico de la red. Para ello se asignan convencionalmente, signos positivos a los gastos que circulan conforme a la dirección de las manecillas del reloj y negativos en caso contrario.

A cada gasto Q_1 y Q_2 corresponden pérdidas de carga H_1 y H_2 respectivamente, las pérdidas en función del gasto están dadas por:

$$H = KQ^n \quad (8.4)$$

donde K es una constante que depende de la tubería y n es una constante común en todas las tuberías; $n = 1.85$ cuando se aplica Hazen-Williams y $n = 2.00$ si se usa Manning.

Tomando Q_1 y Q_2 de un sistema balanceado hidráulicamente



$$H_1 = K_1 Q_1^n$$

$$H_2 = K_2 Q_2^n$$

Entonces $H_1 = K_1 Q_1^n$ debe ser igual a $H_2 = K_2 Q_2^n$, o sea, $H_1 - H_2 = 0$. Lo más usual en un primer ensayo es que $H_1 - H_2 \neq 0$.

Entonces debe aplicarse una corrección a valores iniciales Q_1 y Q_2 ; así por ejemplo, si $H_1 < H_2$, Q_1 necesita un incremento q quedando $Q_1 = Q_1 + q$, mismo que debe ser restado al Q_2 , por lo que $Q_2' = Q_2 - q$.

Si q es la corrección real, tenemos que:

$$H_1' - H_2' = 0$$

o bien

$$K_1 (Q_1 + q)^n - K_2 (Q_2 - q)^n = 0$$

desarrollando los binomios:

$$K_1 (Q_1^n + n q Q_1^{n-1} + \dots q^n) - K_2 (Q_2^n - n q Q_2^{n-1} + \dots q^n) = 0$$

Si la primera estimación de la distribución del gasto ha sido razonable, q , será pequeño pudiéndose despreciar los términos siguientes.

Por lo tanto:

$$K_1 Q_1^n + n K_1 q Q_1^{n-1} - K_2 Q_2^n + n K_2 q Q_2^{n-1} = 0$$

Sustituyendo

$$H_1 = K_1 Q_1^n \quad H_2 = K_2 Q_2^n$$

$$K_1 Q_1^{n-1} = \frac{K_1 Q_1^n}{Q_1}$$

$$K_2 Q_2^{n-1} = \frac{K_2 Q_2^n}{Q_2}$$

$$H_1 + nq \frac{H_1}{Q_1} - H_2 + nq \frac{H_2}{Q_2} = 0$$

despejando

$$H_1 - H_2 = -nq \left(\frac{H_1}{Q_1} + \frac{H_2}{Q_2} \right)$$

$$q = - \frac{H_1 - H_2}{n \left(\frac{H_1}{Q_1} + \frac{H_2}{Q_2} \right)} \tag{8.5}$$

En donde: Q_1 , Q_2 , H_1 y H_2 tienen los signos correspondientes (+ ó -) según el sentido del recorrido.

Generalizando la expresión 8.5:

$$q = - \frac{\sum H}{n \sum \frac{H}{Q}}$$

si se usa Hazen-Williams queda:

$$q = - \frac{\sum H}{1.85 \sum \frac{H}{Q}}$$

y aplicando la ecuación de Manning

$$q = - \frac{\sum H}{2.00 \sum \frac{H}{Q}}$$

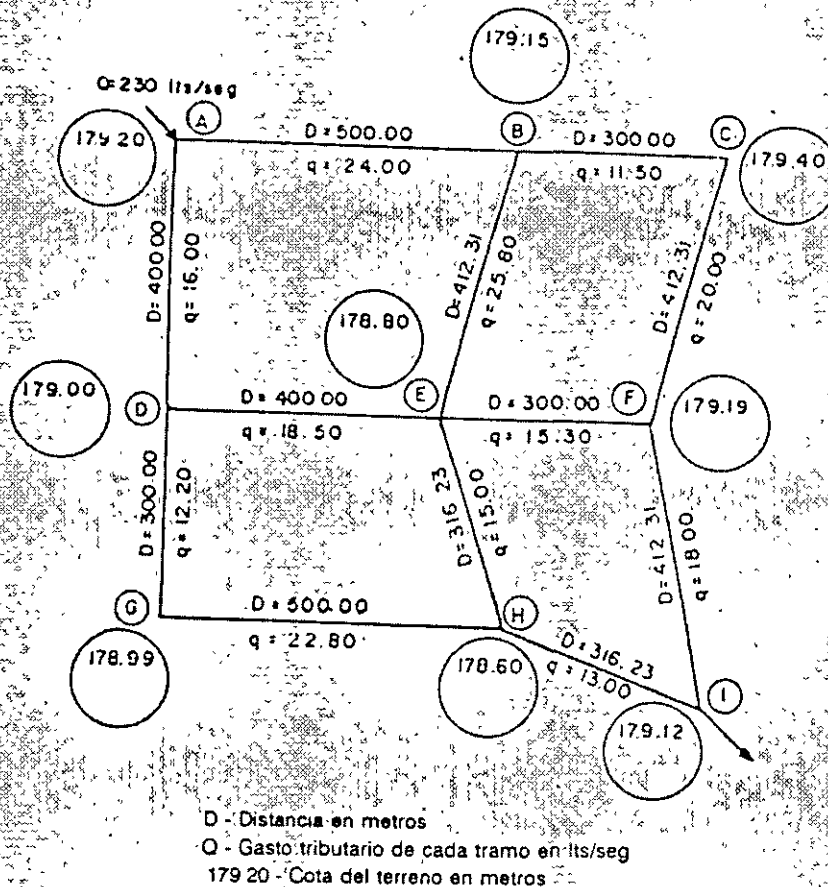
El número de correcciones que debe hacerse depende de la aproximación del gasto distribuido en la primera estimación y del grado de exactitud deseado en los resultados.

Para efectuar los cálculos conviene ayudarse de una tabla como la que se usa en el siguiente ejemplo.



Ejemplo 8.3.

- a) Equilibrar la red mostrada en la Figura 8.16 por el método de Hardy Cross. (Balanceo de cargas por corrección de gastos) y;
- b) Representar la red por medio de extracciones en los nodos una vez que se haya supuesto la distribución de los gastos.



Notas:

Los gastos tributarios de cada tramo son datos, por lo que sólo hay que calcular los gastos acumulados.

En el nodo (A) se encuentra un tanque elevado de 20 m de altura del terreno a la cota de plantilla.

Figura 8.16.

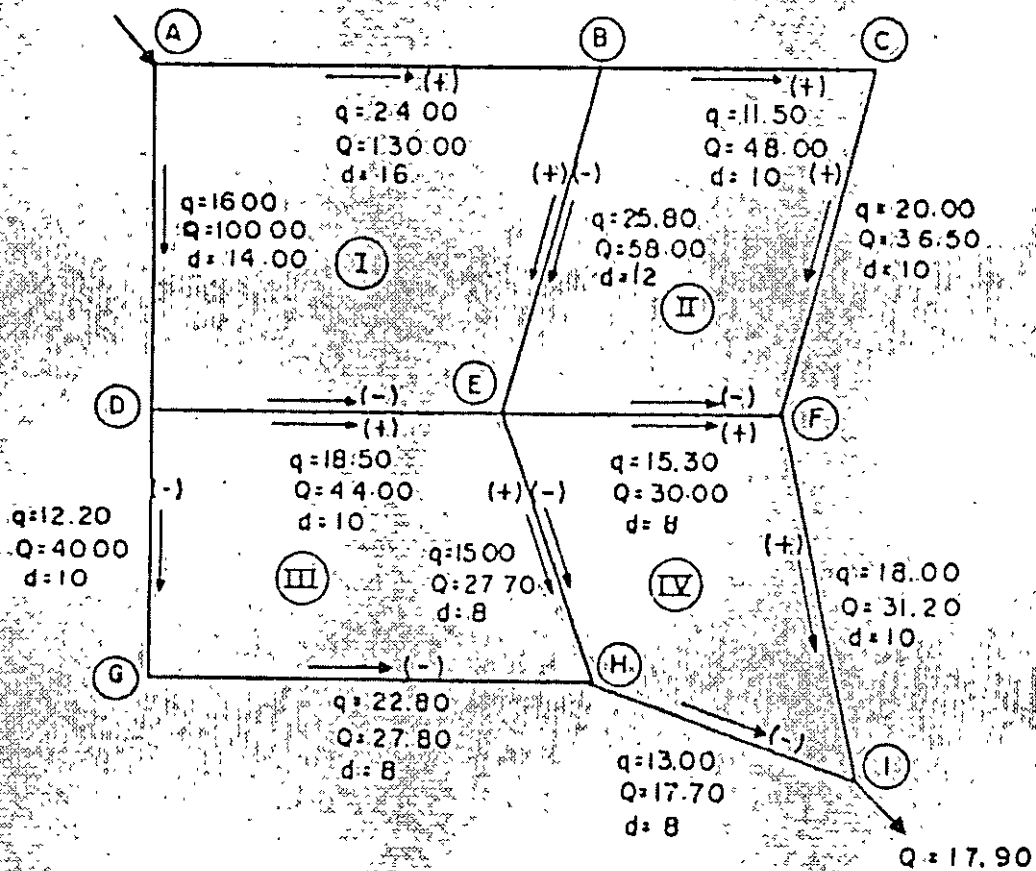
Solución:

- 1 Se forman circuitos y se supone un sentido del escurrimiento en cada tramo, asignando un signo positivo al flujo con dirección igual al de las manecillas del reloj y negativo en caso contrario (Figura 8.17).
- 2 Se acumulan gastos de acuerdo al sentido del recorrido y al criterio del proyectista (Figura 8.17).
- 3 Se suponen diámetros de acuerdo al caudal de escurrimiento supuesto. En este caso se tomó como base para la selección de los

diámetros una pérdida de carga promedio de (0.002 m.2/1000).

- 4 Se procede a calcular las pérdidas de fricción por tramo aplicando la fórmula de Hazen-Williams con un coeficiente $c = 140$ (fibro-cemento).

Para facilitar el cálculo se usó el cuadro 8.6. La tolerancia de la variación de gastos fue de 0.10 l/seg. y la variación de cargas de 0.012 metros; resultado que en la realidad no es práctico alcanzar.



- q - gasto tributario en lts/seg.
- Q - gasto acumulado en lts/seg.
- d - diámetro supuesto en pulgadas.

Figura 8.17.

Cuadro 8.6 Tabla de cálculo del ejemplo 8.3.

CIRCUITO		CRUCERO	LONG (M)	GASTO Q ₂ (l/s)	DIAM (pulg)	H _s	H _f /Q ₂	CORRECCION 1		Q ₁ (l/s)
PROPIO	COMUN									
		A								
		A - B	500.00	+130.00	16	+1.041	0.0080	+2.5292		+132.529
	II	B - E	412.31	+58.00	12	+0.782	0.0135	+2.5292	-1.1874	+59.342
I		A - D	400.00	-100.00	14	-0.982	0.0098	-2.5292		-97.471
I	III	D - E	400.00	-44.00	10	-1.105	0.0251	+2.5292	-0.8945	-42.365
						$\Sigma = -0.264$	0.0564			
		B								
II		B - C	300.00	+48.00	10	+0.974	0.0203	+1.874		+49.187
II		C - F	412.31	+36.50	10	-0.806	0.0221	+1.874		+37.687
II	I	B - E	412.31	-58.00	12	-0.782	0.0135	+1.874	-2.5292	-59.342
II	IV	E - F	300.00	-30.00	8	-1.209	0.0403	+1.874	-0.9946	-27.818
						$\Sigma = -0.211$	0.0961			
		D								
III	I	D - E	400.00	+44.00	10	+1.105	0.0251	+0.8945	-2.5292	+42.365
III	IV	E - H	316.23	+27.70	8	+1.099	0.0397	+0.8945	+0.9946	+29.589
III		D - G	300.00	-40.00	10	-0.695	0.0174	+0.8945		-39.106
III		G - H	500.00	-27.80	8	-1.750	0.0629	+0.8945		-26.906
						$\Sigma = -0.240$	0.1451			
		E								
IV	II	E - F	300.00	-30.00	8	+1.209	0.0403	-0.9946	-1.1874	+27.818
IV		F - I	412.31	+31.20	10	+0.603	0.0193	-0.9946		+31.007
IV	III	E - H	316.23	-27.70	8	-1.099	0.0397	-0.9946	-0.8945	-29.589
IV		H - I	316.23	-17.70	8	-0.480	0.0271	-0.9946		-16.705
						$\Sigma = +0.233$	0.1264			

Cuadro 8.6-Tabla de cálculo del ejemplo 8.3 (Continuación)

CIRCUITO		CRUCERO	LONG. (M)	GASTO Q ₂ (l/s)	H _i	H _i /Q ₂	CORRECCION '2		Q ₂ (l/s)
PROPIO	COMUN								
		A							
I		A - B	500.00	+132.529	+1.079	0.0081	+0.6976		+133.227
I	II	B - E	412.31	+59.342	+0.816	-0.0137	+0.6976	+0.0399	+60.080
I		A - D	400.00	-97.471	-0.936	0.0096	+0.6976		-96.773
I	III	D - E	400.00	-42.365	-1.030	0.0243	+0.6976	-0.1528	-41.820
					$\Sigma = -0.072$	0.0558			
		B							
II		B - C	300.00	+49.187	+1.019	-0.0207	-0.0399		+49.147
II		C - F	412.31	+37.687	+0.855	0.0227	-0.0399		-37.647
II	I	B - E	412.31	-59.342	-0.816	0.0137	-0.0399	-0.06976	-60.080
II	IV	E - F	300.00	-27.818	-1.051	-0.0378	-0.0399	-0.01135	-27.971
					$\Sigma = 0.007$	0.0949			
		D							
III	I	D - E	400.00	+42.365	+1.030	-0.0243	+0.1528	0.06976	+41.820
III	IV	E - H	316.23	+29.589	+1.242	0.0420	+0.1528	-0.1135	+29.628
III		D - G	300.00	-39.106	-0.666	0.0170	+0.1528		38.953
III		G - H	500.00	26.906	-1.647	0.0612	+0.1528		-26.753
					$\Sigma = -0.040$	0.1445			
		E							
IV	II	E - F	300.00	+27.818	+1.051	0.0378	+0.1135	+0.0399	+27.917
IV		F - I	412.31	+31.007	+0.596	0.0192	-0.1135		+31.121
IV	III	E - H	316.23	-29.589	-1.242	0.0420	+0.1135	-0.01528	-29.628
IV		H - I	316.23	-16.705	-0.431	0.0258	+0.1135		-16.592
					$\Sigma = -0.0262$	0.1248			

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Cuadro 8.6. Tabla de cálculo del ejemplo 8.3. (Continuación).

CIRCUITO		CRUCERO	LONG. (M)	GASTO Q_1 (l/s)	H_1	H_2/Q_1	CORRECCION 3		Q_2 (l/s)
PROPIO	COMUN								
		A							
I		A - B	500.00	+133.227	+1.089	0.0082	+0.0564		+133.283
I	II	B - E	412.31	+60.080	+0.834	0.0139	+0.0564	-0.1465	+59.99
I		A - D	400.00	-96.773	-0.924	0.0095	+0.0564		-96.717
I	III	D - E	400.00	-41.820	-1.006	0.0241	+0.0564	-0.1506	-41.914
					$\Sigma = -0.006$	$\Sigma = 0.0557$			
		B							
II		B - C	300.00	+49.147	+1.017	0.0207	+0.1465		+49.294
II		C - F	412.31	+37.647	+0.853	0.0227	+0.1465		+37.794
II	I	B - E	412.31	-60.080	-0.834	0.0139	+0.1465	-0.0564	-59.99
II	IV	E - F	300.00	-27.971	-1.061	0.0360	+0.1465	-0.0392	-27.864
					$\Sigma = -0.026$	0.0952			
		D							
III	I	D - E	400.00	+41.820	+1.006	0.0240	+0.1506	-0.0564	+41.914
III	IV	E - H	316.23	+29.628	+1.245	0.0420	+0.1506	-0.0392	+29.739
III		D - G	300.00	-38.953	-0.661	0.0170	+0.1506		-38.802
III		G - H	500.00	-26.753	-1.630	0.0609	+0.1506		-26.602
					$\Sigma = -0.040$	0.1440			
		E							
IV	II	E - F	300.00	+27.917	+1.062	0.0380	+0.0392	-0.1465	+27.864
IV		F - I	412.31	+31.121	+0.600	0.0193	+0.0392		+31.160
IV	III	E - H	316.23	-29.628	-1.245	0.0420	+0.0392	-0.1506	-29.739
IV		H - I	316.23	-16.592	-0.426	0.0256	+0.0392		-16.553
					$\Sigma = -0.009$	0.1249			



Cuadro 8.6. Tabla de cálculo del ejemplo 8.3. (Continuación)

CIRCUITO		CRUCERO	LONG (m)	GASTO Q_c (l/s)	H_c	H_c/Q_c	CORRECCION 4		Q_c (l/s)
PROPIO	COMUN								
		A							
I		A - B	500.00	+133.283	+1.09	0.0082	+0.1017		+133.385
I	II	B - E	412.31	+59.99	+0.832	0.0139	+0.1017	-0.0237	+60.068
I		A - D	400.00	-96.717	-0.923	0.0095	+0.1017		-96.615
I	III	D - E	400.00	-41.914	-1.001	0.0241	+0.1017	-0.0208	-41.833
					$\Sigma = -0.011$	0.0557			
		B							
II		B - C	300.00	+49.294	+1.023	0.0207	+0.0237		+49.318
II		C - F	412.31	+37.794	+0.859	0.0227	+0.0237		+37.818
II	I	B - E	412.31	-59.99	-0.832	0.0138	+0.0237	-0.1017	-60.068
II	IV	E - F	300.00	-27.864	-1.054	0.0378	+0.0237	-0.0951	-27.935
					$\Sigma = -0.004$	0.0952			
		D							
III	I	D - E	400.00	+41.914	+1.001	0.0241	+0.0208	-0.1017	+41.833
III	IV	E - H	316.23	+29.739	+1.254	0.0422	+0.0208	-0.0951	+29.665
III		D - G	300.00	-38.802	-0.657	0.0169	+0.0208		-38.781
III		G - H	500.00	-26.602	-1.613	0.0606	+0.0208		-26.581
					$\Sigma = -0.006$	0.1438			
		E							
IV	II	E - F	300.00	+27.864	+1.054	0.0378	+0.0951	-0.0237	+27.935
IV		F - I	412.31	+31.160	+0.601	0.0193	+0.0951		+31.255
IV	III	E - H	316.23	-29.739	-1.254	0.0422	+0.0951	-0.0208	-29.665
IV		H - I	316.23	-16.553	-0.424	0.0256	+0.0951		-16.458
					$\Sigma = -0.022$	0.1249			

Cuadro 8.6. Tabla de cálculo del ejemplo 8.3. (Continuación).

CIRCUITO		CRUCERO	LONG. (M)	H COMP	COTAS		CARGA DISP.
PROPIO	COMUN				PIEZOM.	TERRENO	
		A			199.2	179.20	20.00
I		A - B	500.00	1.092	198.108	179.15	18.958
I	II	B - E	412.31	0.834	197.274	178.80	18.474
I		A - D	400.00	0.920	198.280	179.00	19.280
I	III	D - E	400.00	1.006	197.274	178.80	18.474
		B			198.108		
II		B - C	300.00	1.029	129.179	179.40	17.679
II		C - F	412.31	0.864	196.215	179.19	17.025
II	I	B - E	412.31	0.864	197.274	178.80	18.474
II	IV	E - F	300.00	1.059	196.215	179.19	17.025
		D			198.280		
III	I	D - E	400.00	1.006	197.274	178.80	18.474
III	IV	E - H	316.23	1.248	196.026	178.60	17.426
III		D - G	300.00	0.650	197.630	178.99	18.640
III		G - H	500.00	1.604	196.026	178.60	17.426
		E			197.274		
IV	II	E - F	300.00	1.059	196.215	179.19	17.025
IV		F - I	412.31	0.606	195.609	179.12	16.489
IV	III	E - H	316.23	1.248	198.026	178.60	17.426
IV		H - I	316.23	0.411	195.609	179.12	16.489

5 Se compensaron las pérdidas de carga H de tal manera que su suma en cada malla fuera igual a cero, repartiendo el error sólo en los tramos no comunes (Figura 8.18).

Se toman los gastos tributarios en los

tramos como extracciones en los nodos quedando como se muestra en la Figura 8.19.

La Figura 8.20 muestra el diseño final de la red con la simbología correspondiente.

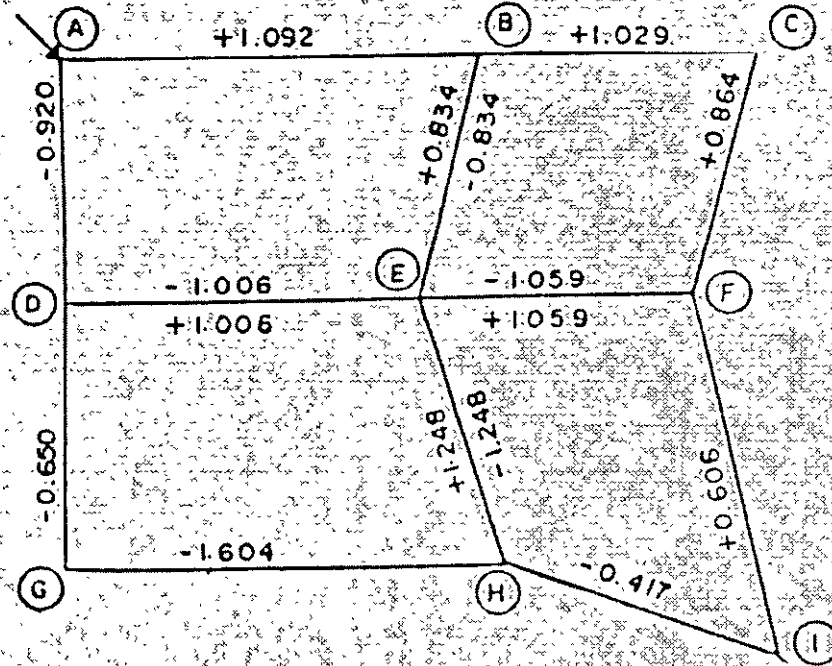


Figura 8.18.

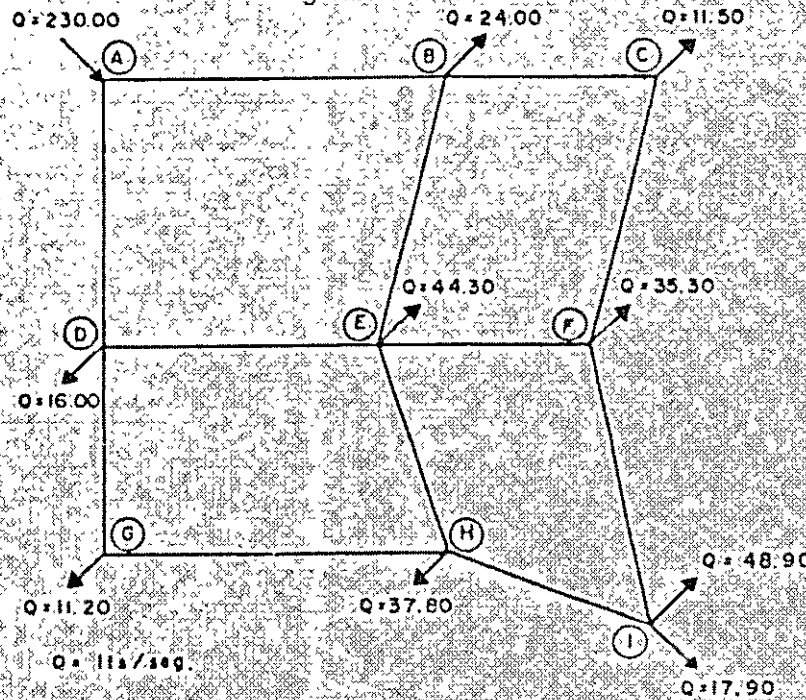
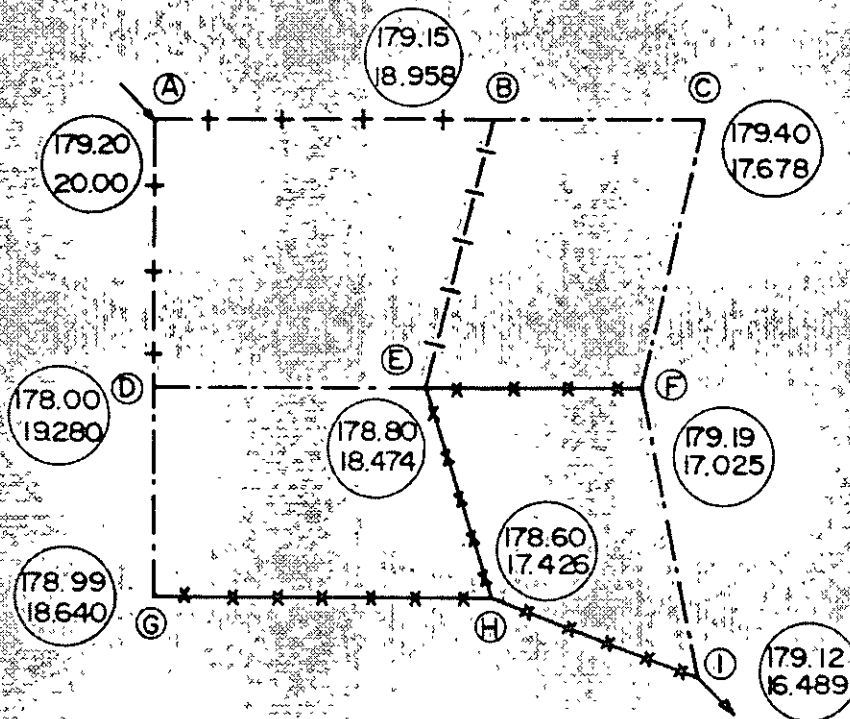


Figura 8.19



RED EQUILIBRADA

- 203 mm (8") — x — x — x — x —
- 250 mm (10") — - - - - -
- 305 mm (12") — | — | — | — | —
- 356 mm (14") — + — + — + — + —
- 406 mm (16") — + — + — + — + —

NUMERO DE CRUCERO (n)
 LONGITUD DE TRAMO EN METROS D=500.00

COTA DEL TERRENO EN METROS (179.12)
 CARGA DISPONIBLE EN METROS (16.489)

Figura 8.20

b) Método de Hardy Cross o de balanceo de gastos por corrección de cargas.

Si los gastos son desconocidos y hay varias entradas, la distribución del gasto puede determinarse por el método de balanceo de gastos. En este método, deben conocerse las cargas de presión en las entradas y salidas.

El método se basa en considerar que la suma de los gastos en un nodo es igual a cero y que los gastos de entrada y salida están dados con signos contrarios.

La carga supuesta en toda la tubería es $H = K Q^n$ y la corregida $H + h = K (Q + q)^n = K (q^n + n q Q^{n-1} + \dots)$. En donde h es la corrección de la carga.

Sustituyendo:

$$H = K Q^n \text{ y } H/Q = K Q^{n-1}$$

se tiene:

$$H + h = H + n q \frac{H}{Q}$$

$$h = n q \frac{H}{Q}$$

$$q = \frac{h}{n} \frac{Q}{H} \text{ en cada nodo}$$

Exceptuando los nodos de entrada y salida, la suma de los gastos corregidos debe ser igual a cero.

$$\sum (Q + q) = 0 \quad \sum Q = - \sum q$$

pero

$$\sum q = \frac{h}{n} \sum \frac{Q}{H}$$

$$h = - \frac{n \sum Q}{\sum Q/H} \tag{8.6}$$

Aplicando la ecuación de Hazen-Williams

Aplicando la ecuación de Manning

$$h = - \frac{1.85 \sum Q}{\sum Q/H}$$

$$h = - \frac{2.00 \sum Q}{\sum Q/H}$$

Ejemplo 8.4

Equilibrar la red mostrada en la Figura 8.21 por el método de Hardy Cross (balanceo de gastos por corrección de cargas). La tubería es de fibrocemento.

Solución:

Con referencia al cuadro 8.7:

1. Se calcula la pérdida de carga en los tramos (diferencia de niveles) (Figura 8.22).
2. Se supone que los gastos de entrada a un nodo tendrán signo positivo y los de salida negativo.
3. Se encuentra el gasto en cada tramo, aplicando la ecuación de Hazen-Williams, teniendo como datos $C = 140$ (fibrocemento) L, H y D .
4. Se encuentra la corrección h con la ecuación

$$h = - \frac{1.85 \sum Q}{\sum Q/H}$$

5. Se suma algebraicamente $H + h$ obteniendo la H_1 , el proceso se repite hasta alcanzar una corrección tan pequeña como se quiera.
6. Se encuentra la Q compensada. Se hace en forma arbitraria de tal manera que la suma de Q sea igual a cero (gastos en el nodo equilibrados).





DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

SENSORES- PARTE I-CAUDAL

EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL

1.1.1.5 Resumen

(25) La regla básica que se busca en la selección del medidor es que se debe obtener un aparato que mida con precisión satisfactoria y en la mayor extensión posible del rango de flujo, conservando esas características por largo tiempo y asimismo, que sea el medidor de más bajo costo de adquisición y mantenimiento.

(26) Básicamente, la selección debe obedecer a los siguientes criterios:

Criterios básicos de selección

a) El medidor debe tener un **campo de medición de suficiente extensión**, para medir con la mayor precisión posible.

- Medición de las fugas en las instalaciones domiciliarias defectuosas, a través del incremento del volumen medido vs el consumo histórico.
- Medir el flujo de alimentación de un tanque cuya admisión de agua sea controlada por flotador.
- Medir con precisión el agua cuando se produzca la operación simultánea de apertura de varios grifos sin provocar pérdida de presión excesiva.

b) El medidor debe presentar el **máximo de constancia**, es decir, debe tener límites de error admisibles durante un lapso prolongado de servicio.

c) Posibilidad de obtención de repuestos, **mantenimiento fácil** y de **bajo costo**.

d) Costo de adquisición de acuerdo a la capacidad de pago de la EPSA.

(27) La perfecta selección sólo puede realizarse sometiendo el tipo de medidor a un estudio en taller, y después, durante su periodo de servicio normal, evaluándolo durante el tiempo que se considere suficiente a este fin o hasta que se noten variaciones importantes en la curva característica del medidor.

(28) Es necesario conocer el comportamiento de su curva de errores a lo largo del periodo normal de servicio observado en la práctica.

(29) No existe un modelo de medidor que cumpla al mismo tiempo con todas las exigencias posibles.

← Cada EPSA debe investigar y elegir en base a sus condiciones de servicio, las características de medida y del comportamiento de los medidores.

(30) Existen en la actualidad en medios electrónicos, software suministrados por los fabricantes de medidores que apoyan una selección rápida, reduciéndose el análisis a las diferentes alternativas, que bajo las mismas condiciones locales se presentan, normalmente define la selección el costo de adquisición.

1.1.2 Especificaciones técnicas de micro medidores

(31) Una especificación tiene por objeto **detallar las principales características** que debe poseer el **micro medidor** para atender las necesidades de la EPSA.

Objetivo

(32) La misma debe ser elaborada siempre que se planea una adquisición de micro medidores por el área respectiva debiendo formar parte del proceso de adquisición.

(33) La especificación es importante, pues de ella depende que el micro medidor sea **adquirido dentro de las condiciones exigidas**.

Importancia

1.1.2.1 Consideraciones de carácter general

(34) El micro medidor del tipo de velocidad y del tipo volumétrico normalmente es fabricado en serie respetando las Normas Internacionales ISO - 4064 Parte 1 -ESPECIFICACIONES, y Parte 3 - METODOS DE ENSAYO Y EQUIPAMENTOS.

← El medidor volumétrico es caro y necesita agua libre de partículas. El medidor de velocidad es adecuado a los lugares operados por las EPSA.

(35) Estas normas fijan, para un determinado rango de caudal, un único micro medidor de diámetro nominal específico. Además, definen todos los otros ítems necesarios para la especificación, que son:

- Tipo de funcionamiento
- Clase metrológica
- Dimensiones
- Características Técnicas
- Características de construcción de los componentes y tipos de inscripciones necesarias
- Ensayos de calificación y recepción

Ítems de la especificación

1.1.2.2 Ítems de una especificación

(36) **Objetivo**, define el tipo de micro medidor que está siendo especificado y la finalidad de dicha especificación.

(37) **Disposiciones generales o definiciones**, se realizan observaciones de carácter general tales como: necesidad de diseños, manuales, actualización de modelos, relación con otros documentos, etc.

(38) **Características técnicas o condiciones técnicas**, proporcionar al fabricante las principales características técnicas que el micro medidor debe poseer:

1. Proporcionar los **caudales mínimo, máximo y de trabajo** que se puedan presentar en el proceso, siempre que el micro

Datos del caudal

medidor no fuera previamente dimensionado o proporcionar caudales mínimo, nominal, de transmisión y de sobrecarga para micro medidores previamente dimensionados.

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 2. Estipular el valor máximo de error que puede ser aceptado, siempre que el micro medidor no fuera previamente dimensionado. | Error admisible |
| 3. Definir la clase metrológica deseada. | Clase metrológica y diámetro nominal |
| 4. Proporcionar el diámetro nominal de la tubería en que el micro medidor será instalado, siempre que el micro medidor no fuera previamente dimensionado o el diámetro nominal del micro medidor fuera previamente dimensionado. | |
| 5. Definir la máxima pérdida de carga que puede ocurrir en el micro medidor sin perjudicar el proceso, siempre que el micro medidor no fuera previamente dimensionado. | Pérdida de carga admisible |
| 6. Definir la Norma que debe ser adoptada en la fabricación del micro medidor. | Norma |

(39) **Condiciones de servicio**, proporcionar las condiciones a las que el micro medidor queda sometido en funcionamiento normal, tales como:

- Presión de trabajo
- Temperatura de trabajo
- Tipo y local de instalación
- Característica del agua

(40) **Características de construcción**, especificar las principales características que deben ser respetadas en la construcción del micro medidor.

1. Carcaza
 - Dimensiones máximas deseadas
 - Material
 - Tipo de conexión
 - Con rosca (proporcionar dibujo o Norma)
 - Con brida (proporcionar dibujo o Norma)
 - Identificaciones en relieve
 - Flecha indicando el sentido del flujo
 - Numeración propia o del fabricante
2. Tapa protectora
3. Defina tipo de material y ángulo de articulación
4. Mostrador o Carátula
 - Definir el tipo:
 - seco
 - húmedo
 - sumergido en medio propio

- Definir tipos de inscripciones, colores de mostrador, punteros, rodillos y graduación mínima
5. Blindaje magnético
 6. Defina si el micro medidor con transmisión magnética debe ser proporcionado con blindaje magnético.
 7. Otros a ser considerados en el dimensionamiento del micro medidor.
- (41) Como un ejemplo práctico se presenta en el Anexo 2, un modelo de especificación técnica para adquisición de micro medidores de agua.

1.1.3 Dimensionamiento de medidores

(42) El dimensionamiento del medidor consiste en la elección de un medidor para una conexión específica. Esto ocurre cuando se desea medir una nueva conexión, una conexión existente o cuando hay un cambio del comportamiento del consumo en un inmueble anteriormente medido.

← Para seleccionar el medidor, se utiliza al máximo sus límites de utilización, es decir, adoptar el medidor más pequeño posible que las condiciones de presión lo permitan.

(43) La elección de la capacidad de un medidor a instalar en una determinada conexión debe efectuarse de tal manera que los caudales sean registrados en los flujos más pequeños y que el medidor permita el mayor flujo previsto, garantizando las condiciones necesarias de presión para el consumo.

(44) Se deben acatar los límites de utilización recomendados por los fabricantes.

(45) En el dimensionamiento de medidores destinado a conexiones domiciliarias, se utilizan tres métodos:

Métodos de dimensionamiento

- Consumo diario y mensual atendido
- Métodos de dimensionamiento de tuberías
- Número de departamentos

(46) Las normas relativas a los medidores de agua establecen que caudales son recomendables por tiempo, para cada tipo de medidor.

(47) Estos límites están en función del diseño del aparato y de los materiales de sus diversas piezas.

(48) La utilización del medidor, según los valores establecidos por las normas, **garantiza que los aparatos:**

Garantías de funcionamiento del medidor

- Funcionen con precisión adecuada.
- Tengan una pérdida de presión satisfactoria.
- Tengan un largo periodo de servicio.

(49) El empleo de un medidor que cause pérdida de carga excesiva puede llevar a una reducción de la presión residual, que sea insuficiente al consumo normal de la conexión. Ocurrirá lo contrario, es decir, habrá disminución de la precisión del medidor.

(50) Para la elección del medidor, cuando se va a medir una nueva conexión, es necesario que se conozca su consumo. Existen varias formas de obtener este consumo.

← La elección de un medidor se hace partiendo de la base del consumo de la conexión y de los rangos de trabajo recomendados por las especificaciones técnicas.

(51) Para los medidores domiciliarios, se pueden utilizar parámetros de consumo que, asociados a las características de ocupación del domicilio, permiten estimar los consumos con buena aproximación.

(52) El correcto proceso de dimensionamiento es fundamental al proceso de medición, influyendo de forma decisiva en la reducción de pérdidas por submedición y reduciendo los costos de mantenimiento debido a lo siguiente:

- **Micro medidor sobredimensionado:** Trabaja la mayor parte del tiempo en el rango inferior de medición o por debajo de éste, generando mediciones con errores elevados, lo que ocasiona pérdidas en la facturación.
- **Micro medidor subdimensionado:** Trabaja la mayor parte del tiempo en el límite del rango superior de medición o por encima de éste, generando desgastes acelerados que disminuyen la vida útil del micro medidor, ocasionando mayor costo de mantenimiento debido a cambios sucesivos, y la consiguiente modificación catastral y reparación.

Concepto de sobre y subdimensionamiento

1.1.3.1 Datos necesarios para el dimensionamiento

a) Consumo Medio Diario o Mensual (m³)

El consumo medio es un dato fundamental no sólo para dimensionar el micro medidor sino también para dimensionar la propia conexión domiciliaria (diámetro del ramal).

← Cuantos más datos se tenga del inmueble, mayor la posibilidad de un dimensionamiento adecuado.

Cuando no fuera conocido deberá ser estimado o calculado de acuerdo a criterios presentados en el numeral 1.2.4.3.

b) Tipo de Inmueble

Es un dato importante porque a falta de un estimado de consumo, el tipo de Inmueble puede servir como referencia para obtener el consumo medio a través de los criterios presentados en el numeral 1.4.3.

Residencial:

- Casa
 - Número de habitaciones
- Edificio

Número de pisos, número de departamentos por piso, número de habitaciones por departamento, área construida en m².

Comercial:

- Tipo de actividad

Industrial:

- Tipo de actividad

Público

c) Número de Ocupantes

Dato importante, a través de él se puede calcular un consumo medio diario aproximado a través de los criterios presentados en el numeral 1.4.3.

1.1.3.2 Factores para el dimensionamiento

Caudales de Consumo de la Instalación Intra-domiciliaria

- La **conexión abastece** directamente **una pequeña parte de la instalación intra-domiciliaria** y un tanque elevado abastece al resto de la instalación. En este tipo de abastecimiento, el micro medidor trabaja, la mayor parte del tiempo en el rango inferior de medición o incluso por debajo (instalación abastecida por el tanque elevado) y poco tiempo en el rango superior de medición (instalación abastecida directamente por la conexión).
- La **conexión abastece** directamente a **toda la instalación intra-domiciliaria** (no hay tanque elevado). En este tipo de abastecimiento, el micro medidor trabaja siempre en el rango superior de medición.
- La **conexión abastece directamente a una cisterna** desde la cual el agua es impulsada a un tanque elevado que abastece a la instalación. En este tipo de abastecimiento, el micro medidor trabaja la mayor parte del tiempo en el rango superior de medición y una pequeña parte del tiempo en el rango inferior de medición.

Clases de abastecimiento

(53) Cuando el micro medidor fuera instalado en la salida de una bomba, debe ser dimensionado de manera que el caudal de funcionamiento de la bomba esté entre el caudal de transición (q_1) y el caudal nominal (q_n), no considerándose en este caso el consumo promedio diario que podrá ser menor que el consumo máximo diario de un micro medidor de capacidad menor que el dimensionado.

Medidor instalado a la salida de una bomba

1.1.3.3 Criterios de dimensionamiento

(54) En este caso, por ser **conexión nueva**, los clientes no son conocidos y por lo tanto, los **consumos** solamente son **estimados**. En el caso de residencias y departamentos

Medidores para instalaciones nuevas

individuales, se instala micro medidores de capacidad mínima (q_n 0,75 ó 1,5 m³/h). Para estimar el consumo de instalaciones mayores, se conoce el proceso que se presenta a continuación:

- El consumo total de una instalación puede estimarse, sobre la base del consumo de cada unidad, de acuerdo a la Tabla 3.
- Después de la determinación del consumo de instalaciones nuevas, se puede escoger el micro medidor adecuado al lugar con ayuda de la Tabla 4 que se muestra, por rangos de consumo diarios y mensual.

(55) Por factores imprevisibles y por alteraciones en los objetivos y en los programas del uso de agua, los **consumos calculados** antes de la instalación del micro medidor pueden ser incompatibles con su capacidad.

Redimensionamiento
de medidores

(56) En este caso, los clientes son verificados a través de la lectura del micro medidor, es decir, a través del recibo/factura, considerando el promedio de los últimos seis meses de consumo.

(57) La definición del micro medidor más adecuado al lugar se hace a través de la Tabla 4.

Instalación/Edificio	Consumo (l/d)
Alojamientos Provisionales	80 per capita
Casas populares ó rurales	120 per capita
Residencias hasta 90 m ² de área	150 per capita
Departamentos y residencias con 100 a 200 m ² de área	200 per capita
Departamentos y residencias con más de 200 m ² de área	250 per capita
Hoteles (sin cocina ni lavandería)	120 por huésped
Hospitales	150 por lecho
Escuelas – Internados	150 per capita
Escuelas - Semi-internados	100 per capita
Escuelas – Públicas	50 per capita
Cines y Teatros	2 per capita
Templos	2 per capita
Restaurantes y Similares	25 per capita
Lavanderías	50 per capita
Mercados	5 per capita
Camales - Animales grandes	300 por cabeza
Camales - Animales pequeños	150 por cabeza
Fábricas en general (sin personal)	70 p/ operario
Puesto de Lavado p/automóviles	150 p/vehículo
Caballerizas	100 p/caballo
Jardines	1,5 por m ²
Orfanatos, Asilos, Guarderías	150 per capita
Postas Sanitarias	25 per capita
Jardín Infantil	50 per capita
Sastrería	50 per capita
Cuarteles	150 per capita
Edificios públicos o comerciales	50 per capita
Oficinas	50 per capita

Tabla 3: Parámetros de consumos prediales

Diámetro de conexión		Diámetro nominal DN(mm)	q_n m ³ /h	q_{mh} l/h	q_t l/h	q_s l/h	Consumo m ³			
							Diario		Mensual	
Pulg.	mm					min	max	min	Max	
Mono y Multichorro	1/2	15	0.75	30	90	1500	0	3	0	90
	3/4	20								
	1/2	15	2.5	60	250	5000	6	9.5	181	285
	3/4	20								
	1	25	5	105	500	10000	12	18	301	900
	1	25								
	1 1/2	40	15	220	1500	30000	30	50	901	1500
	2	50								
Wolfram vertical	2	50	40	3200	12000	80000	217	433	6501	13000
	3	80								
	4	100	150	12000	45000	300000	650	2885	19501	86550
	5	150								
6	200									

(0)* El micro medidor q_n -1.5 puede sustituir al micro medidor q_n 0.65 a falta de este.

Tabla 4: Capacidad del micro medidor de acuerdo con los rangos de consumo

(58) Observaciones: Esta tabla fue elaborada basada en las Normas Brasileñas ABNT 8193, ABNT 8194, Proyecto de Norma ABNT GT 4:05.10.04, Norma ISO 4064/I, Catálogos de fabricantes y experiencia de la SABESP. Tabla semejante puede ser obtenida por investigación especial en cada una de las EPSA.

1.1.3.4 Ejemplos de dimensionamiento

Ejemplo Nº 1

Dimensionar un micro medidor para un edificio con cuatro departamentos, cinco personas por departamento y 150 m² de área.

(59) En la Tabla 3 se verifica que para un departamento de área 150 m² el consumo per capita es de 200 l/d.

Así se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Consumo diario} &= 4 \text{ (dpto)} \times 5 \text{ (personas)} \times 200 \text{ (l/d)} \\ &= 4.000 \text{ l/d ó } 4 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal

$$\text{Consumo mensual} = 4 \text{ (m}^3/\text{día)} \times 30 \text{ (d/1mes)} = 120 \text{ m}^3/\text{mes}$$

(60) En la Tabla 4 se busca el medidor que cubra este valor, se encuentra un micro medidor $q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Ejemplo Nº 2

Dimensionar un micro medidor para un edificio con treinta y ocho departamentos, cinco personas por departamento y 250 m² de área.

(61) En la Tabla 3 se verifica que para un departamento con área de 250 m² el consumo per capita es de 250 l/d.

Así se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Consumo diario} &= 38 \times 5 \times 250 = 47.500 \text{ l/d ó } 47,5 \text{ m}^3/\text{día.} \\ \text{Consumo mensual} &= 47,5 \times 30 = 1,425 \text{ m}^3/\text{mes} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal

(62) En la Tabla 4 se encuentra un micro medidor $q_n = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ tipo multichorro.

Ejemplo N° 3

Dimensionar un micro medidor para una industria que trabaja 10 horas por día con consumo medio diario de $50 \text{ m}^3/\text{día}$.

Así, se tiene:

Consumo mensual = $50 \times 30 = 1500 \text{ m}^3/\text{mes}$

(63) En la Tabla 4 se encuentra un micro medidor $q_n = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ tipo multichorro.

Observaciones:

En este caso es necesario verificar la presión disponible, garantizando que la misma no se constituirá en un factor restrictivo, considerándose la curva de pérdida de presión del micro medidor escogido.

En caso que la presión disponible no sea suficiente, se utilizará un micro medidor $q_n = 15 \text{ m}^3/\text{h}$, pero del tipo Woltmann.

1.2 Evaluación de medidores nuevos

(64) La creciente preocupación de las empresas de abastecimiento de agua de todo el mundo por el nivel de pérdidas de agua debido al desperdicio, ha dado como

← La evaluación consiste en la verificación, que asegura que el medidor cumple con la especificación previa.

resultado, en corto plazo, una enorme demanda de medidores en el mercado mundial. Por este motivo las industrias de medidores tuvieron que aumentar su producción en poco tiempo, de forma que se atendiera esta nueva situación. Con relación a este aspecto, en razón de la actual crisis económica mundial y de la natural dificultad de obtención de recursos, los fabricantes buscaron naturalmente, reducir los costos de producción para hacer sus productos más competitivos, dando como resultado, algunas veces, a una disminución de la calidad.

(65) Por lo tanto, es necesario que las EPSA efectúen estudios de investigación como única forma de garantizar las inversiones realizadas.

(66) La **evaluación de medidores** puede ser realizada por la propia **EPSA** o contratando los servicios de una **Empresa Privada**.

Responsables de la evaluación

(67) Para el **primer caso**, es necesario que la institución posea un taller de medidores de agua con equipos adecuados y personal debidamente capacitado. En la **segunda alternativa**, se debe utilizar una Empresa de prestigio que esté debidamente preparada.

(68) Los equipos fundamentales para las pruebas son:

- Bancos de prueba
- Manómetros
- Rotámetros
- Dispositivos eléctricos
- Bomba de presión

1.2.1 Proceso de evaluación de medidores

(69) La evaluación de medidores es un proceso imprescindible cuando se realiza una adquisición de medidores. Se verifican las muestras de los aparatos ofrecidos de tal manera que se obtengan criterios suficientes para tomar una decisión sobre la propuesta más conveniente.

(70) La evaluación de medidores se compone de **dos etapas**:

Etapas de evaluación

- De **pre-calificación** de las empresas que presentan los prototipos.
- Y la otra de **recepción de los lotes** de medidores de agua adquiridos.

(71) A continuación se presenta estas etapas en forma genérica.

a) Etapa de Pre-calificación

1º Etapa

Esta etapa comprende las actividades desarrolladas para que se conozcan las **características de diseño y de funcionamiento de un nuevo medidor** presentado por una determinada firma a la EPSA.

N°	Actividad	Descripción
1.1	Preparación de las especificaciones	El punto de partida en la evaluación de los medidores es la preparación de las especificaciones técnicas.
1.2	Preparación para el inicio de las pruebas	Consiste en el aforo de los bancos de pruebas y demás equipos dejándolos conforme a lo recomendado por las normas específicas.
1.3	Análisis dimensionales y visuales	Medición de las dimensiones y comparación con las existentes en las especificaciones. El examen visual verifica las características de la esfera del medidor y la superficie externa de la carcasa.
1.4	Pruebas para la determinación de las curvas características. Pruebas descritas en el mantenimiento de medidores	Los medidores son sometidos en fábrica a pruebas de calibración de acuerdo a dimensiones y características estándar, como presión y caudal nominales, es necesario ejecutar una calibración bajo las condiciones de trabajo establecidas por el EPSA.
1.5	Pruebas de presión	Las pruebas de presión pueden elaborarse individualmente en bomba de presión o en el propio banco de pruebas.
1.6	Comparación de los resultados de las pruebas con los valores de la especificación	Compara los resultados de pruebas y de las especificaciones.
1.7	Decisión sobre la aceptación del medidor	De acuerdo con los valores de la especificación, se decide si el modelo es aprobado o rechazado.

Tabla 5: Primera etapa, proceso de selección de medidores

b) Etapa de Examen Inicial

2º Etapa

Después de aprobado el modelo del medidor el cual se examina de acuerdo con lo expuesto en la etapa anterior, se autoriza el suministro de los lotes de medidores adquiridos, los cuales serán sometidos a lo descrito a continuación:

Nº	Actividad	Descripción
2.1	Determinación del método de muestreo	En función del nivel de calidad aceptable, se establece el tipo de muestreo a utilizarse. Normalmente se emplea un determinado tipo y durante los trabajos se hacen los ajustes necesarios.
2.2	Selección de los lotes y análisis dimensionales y visuales	Medición de las dimensiones y comparación con las existentes en las especificaciones. El examen visual verifica las características de la esfera del medidor y la superficie externa de la carcasa.
2.3	Preparación para el inicio de las pruebas	Consiste en el aforo de los bancos de pruebas y demás equipos, dejándolos conforme a lo recomendado por las normas específicas.
2.4	Pruebas de funcionamiento	Las pruebas de funcionamiento se realizan en tres flujos; límite inferior de exactitud; flujo separador y flujo normal.
2.5	Pruebas de presión	Las pruebas de presión pueden elaborarse individualmente con bomba de presión o en el propio banco de pruebas. Los valores de presión de prueba deben aparecer en las especificaciones.
2.6	Análisis de los resultados	El resultado de las pruebas debe ser volcado en gráficos que faciliten la visualización de los resultados.
2.7	Decisión final sobre la aprobación del lote	Luego de analizados los resultados, se deciden sobre la aprobación o rechazo del lote en estudio. En las especificaciones se detallan valores límites de rechazo del lote, que en caso de sobrepasarse, puede procederse a la descalificación del proveedor. Por ejemplo, el proveedor puede sustituir un lote que cuenta con menos de 20% de rechazo por otro que tendrá que pasar por las mismas pruebas. En caso que los valores de rechazo sean mayores al 20%, se procederá a la descalificación del proveedor.

Tabla 6: Segunda etapa, selección de medidores

1.3 Criterios de instalación de micro medidores

(72) Para que los clientes puedan pagar de forma proporcional a su consumo, es necesario que además de funcionar con la precisión adecuada, los medidores hayan sido seleccionados y dimensionados correctamente.

← Los medidores deben permitir: una lectura fácil y segura, facilidad en el mantenimiento y facilidad de corte y reconexión.

(73) Para permitir una **lectura fácil y segura**, el aparato debe ser ubicado de forma que el lector tenga fácil acceso, que el lugar tenga buena iluminación y sobre todo, que no ofrezca riesgo a la salud del lector.

(74) Permitir la ejecución de los **servicios de mantenimiento** significa considerar que el medidor deberá recibir mantenimiento de manera periódica. El aparato debe poseer una protección, de tal manera que los trabajos de mantenimiento sean efectuados sin necesidad de quebrar dicha protección.

(75) Con relación a los **aspectos relativos al corte**, es necesario que delimite claramente la línea de responsabilidad entre empresa/usuario y que proporcione facilidad de corte y reconexión.

(76) Se entiende por **instalación de un medidor** al montaje del mismo en un punto predeterminado de la conexión, de modo que todo el consumo sea registrado por él.

Concepto

(77) Es importante que la **instalación sea bien ejecutada**, brindando seguridad y accesibilidad, ya que influye directamente, no sólo en la preservación de las características metrológicas del medidor, sino también en sus características físicas.

Importancia

1.3.1 Recomendaciones para la instalación de medidores domiciliarios

(78) Para instalación de medidores domiciliarios se hace las siguientes recomendaciones:

- El medidor debe instalarse **perfectamente nivelado**, pues genera errores elevados en flujos bajos.
- El medidor debe instalarse de manera que esté **siempre lleno de agua**, o sea a un nivel inferior al de la salida más baja de la conexión intradomiciliaria o tubería donde esté localizado.
- El medidor debe estar instalado en un lugar de **fácil acceso**, para permitir operaciones de lectura o retiro o para mantenimiento, sin necesidad de utilizar accesorios o provocar rupturas en el lugar de ubicación.
- Por lo menos **una pieza de conexión del medidor**, de preferencia la de entrada, **debe estar provista de lacre** (elemento de seguridad), de manera de que se limiten las posibilidades de fraude por inversión del medidor.
- La **alineación de las conexiones** debe ser hecha con cuidado para evitar esfuerzos no uniformes que puedan provocar fugas prematuras.
- Cuando la tubería fuera rígida, utilizar siempre que sea posible en una de las conexiones del medidor, un acoplamiento tipo junta deslizante, que permita desplazar la tubería en el montaje y desmontaje sin forzar las conexiones.
- Se debe **evitar** la instalación de micro medidores en locales donde fueran previsibles variaciones bruscas de condiciones hidráulicas, tales como **cavitación y sobrepresión** por golpe de ariete.

← Un medidor de velocidad inclinado, sufre desgastes en los apoyos y pivotes del eje de la turbina.

- No instalar el medidor inmediatamente después de un cambio de dirección (codo) debido a la turbulencia que se genera y los consiguientes errores de medición.
- Se debe proteger adecuadamente el micro medidor en localidades donde la temperatura sea aproximada a 0°C (valores positivos o negativos).

1.3.2 Recomendaciones para la instalación de medidores industriales

(79) Se hace las siguientes recomendaciones:

- Cuando existan conexiones y accesorios en la tubería, asegurarse que entre éstas y el medidor haya una tubería rectilínea del mismo diámetro que el medidor, con una longitud mínima específica. Esta longitud mínima varía con el tipo de construcción del medidor de acuerdo con el fabricante.
- Los medidores no deben ser **instalados en puntos altos** de la tubería donde puede ocurrir acumulación de aire.
- Los medidores deben ser instalados de manera **que no estén sujetos a esfuerzos mecánicos** provenientes de variaciones térmicas y/o vibraciones excesivas.
- El medidor debe estar **protegido** de la acción **de los agentes físicos**.
- En el momento de la instalación, asegurarse que el medidor está **montándose en el sentido** correcto **del flujo**.
- Las instalaciones deben estar provistas de todos los **equipos de seguridad** requeridos para la protección del medidor.
- Los medidores de flujo de turbina tipo Woltmann deben ser **instalados con un filtro**, para prevenir la interferencia de sólidos con el mecanismo de turbina.
- Al instalar un medidor en la tubería se debe **tener cuidado para que las empaquetaduras** de las bridas no se proyecten en la tubería, perturbando así el perfil de las velocidades en la sección.
- Antes de la instalación del conjunto filtro/medidor, debe fluir un volumen de agua suficiente para eliminar partículas sólidas existentes en la tubería (micro medidores velocimétricos y volumétricos).
- En caso que el medidor forme parte de la instalación del aterramiento eléctrico, se debe conectar un conductor eléctrico de derivación de forma permanente al medidor y sus accesorios, para reducir riesgos al personal que opere en contacto con el aparato.

- Para facilitar el retiro para mantenimiento, **debe instalarse una válvula aguas arriba del medidor**, la cual deberá lacrarse de manera que sea manipulado sólo por personal autorizado. Para que el usuario pueda hacer reparaciones en la conexión, deberá instalarse otras válvulas aguas abajo del medidor.

1.3.3 Patrones de ubicación del medidor

(80) La ubicación del medidor es uno de los aspectos que ha causado gran divergencia de opinión entre los técnicos que trabajan en medición.

(81) Algunos optan por su instalación en la vereda, otros en el jardín, no existiendo un consenso definitivo.

(82) Lo importante es que al utilizar un determinado patrón, se realice el seguimiento de su comportamiento a lo largo del tiempo, corrigiéndolo y perfeccionándolo a la luz de los indicadores.

(83) Básicamente, la forma de instalación se puede clasificar de tres maneras, descritas a continuación:

← La ubicación del medidor debe estar de acuerdo con sus características y definir los patrones de instalación a utilizar.

1.3.3.1 Instalación en las veredas con caja de protección

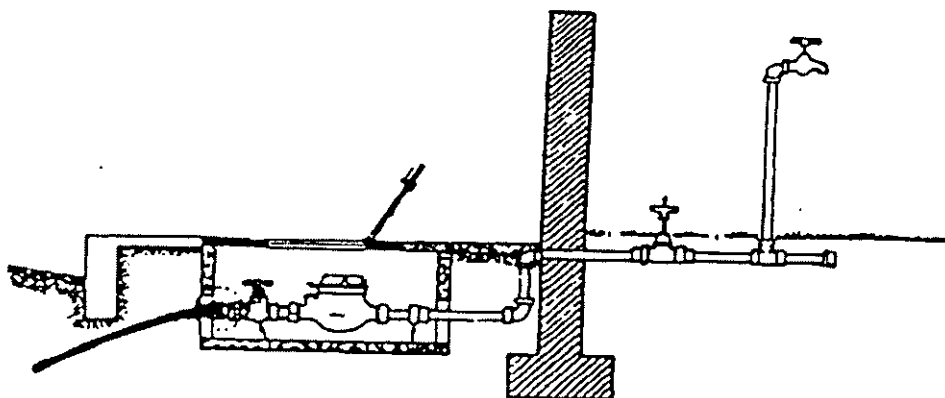


Fig. 1: Instalación de medidor en la vereda con caja de protección

Ventajas:

- Mayor facilidad de lectura.
- Dificulta la realización de derivación fraudulenta.
- Facilita el corte de la conexión domiciliar de agua.

← Uno de los problemas del medidor en la vereda es el elevado índice de damnificación del mismo por terceros y de la caja de protección, por vehículos estacionados.

- Define perfectamente la línea de responsabilidad del usuario y de la Empresa.
- Disminuye índices de lecturas no efectuadas por casa cerrada o perro bravo.
- Facilita el mantenimiento del medidor.
- Conduce a la economía de escala, debido al aumento de productividad y eficiencia de la lectura.
- Dificulta la inversión del medidor por parte del usuario.

Desventajas

- Mayor costo de mantenimiento
- Mayor costo de instalación
- Facilidad de robo del medidor

1.3.3.2 Instalación del medidor en el jardín

(84) Para la instalación del medidor en el jardín, los **patrones más comunes** son los siguientes:

- a) Instalación en Caballete sin Protección

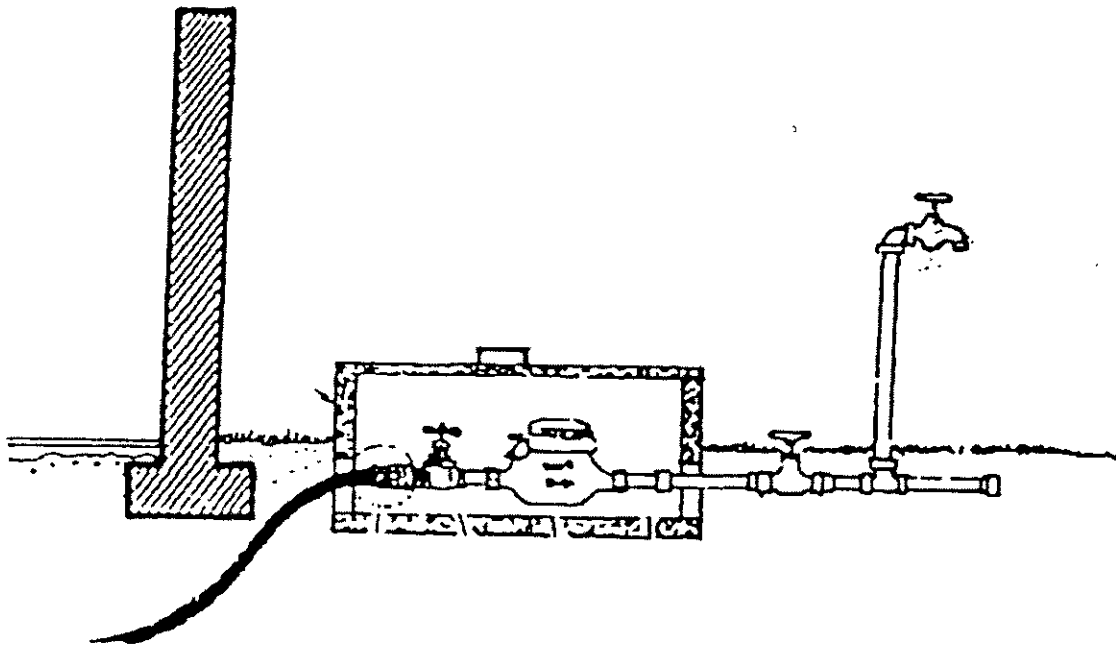


Fig. 2: Instalación en el interior del predio con caja protectora

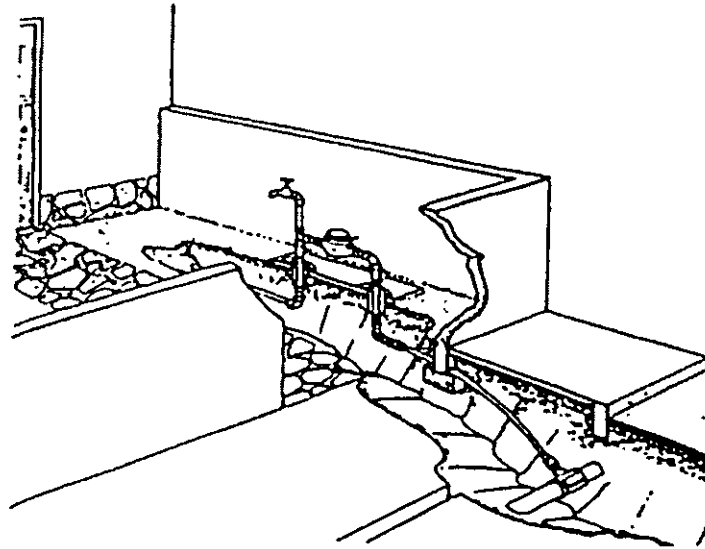


Fig. 3: Instalación de medidor en caballete sin protección dentro del predio

b) Instalación en Caballete con Protección

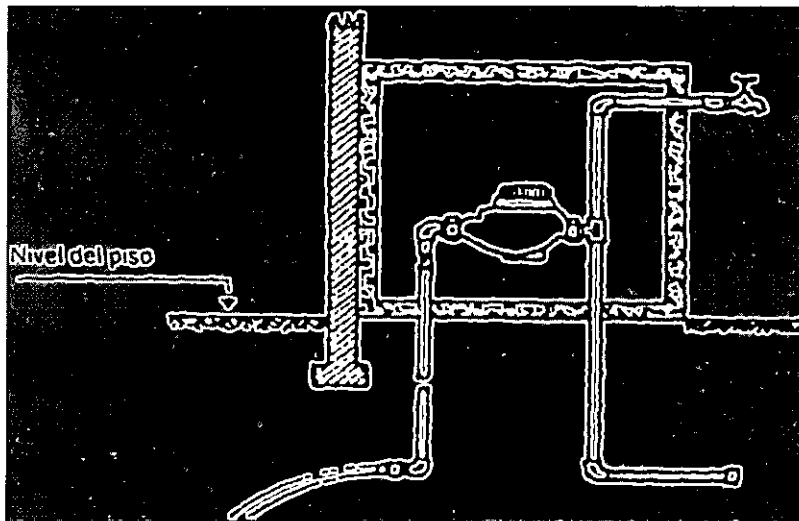


Fig. 4: Instalación en caballete con protección

c) Instalación en la Pared

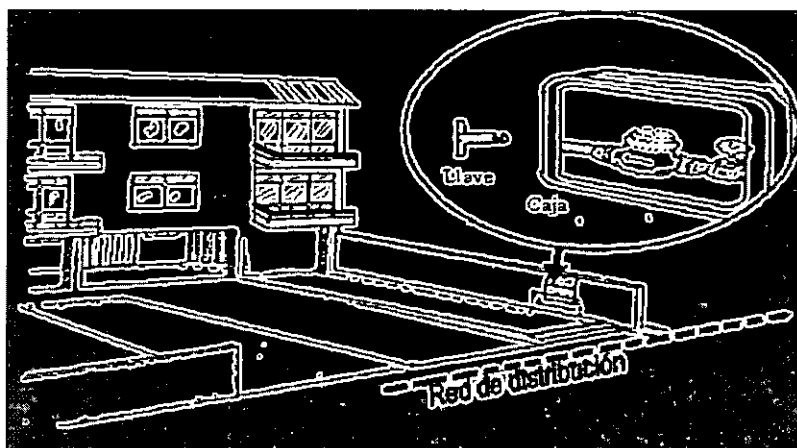


Fig. 5: Instalación en la pared

d) Instalación con Caja de Protección Pre-Moldeada

Ventajas

- Menor costo de mantenimiento
- Permite un contacto más cercano entre lector y cliente.

Desventajas

- Mayor índice de lecturas no efectuadas debido a casa cerrada, perro bravo, etc.
- Mayor facilidad de la ejecución de desvío fraudulento
- Mayor dificultad de la ejecución del corte

e) Instalación en la Pared Frontal

Los fabricantes en los últimos tiempos, sacaron medidores con la posibilidad de trabajar de forma horizontal bajo un régimen de medición y de forma vertical bajo otro régimen.

← Los medidores al trabajar horizontal y verticalmente, hacen posible su instalación en la pared frontal, facilitando la lectura.

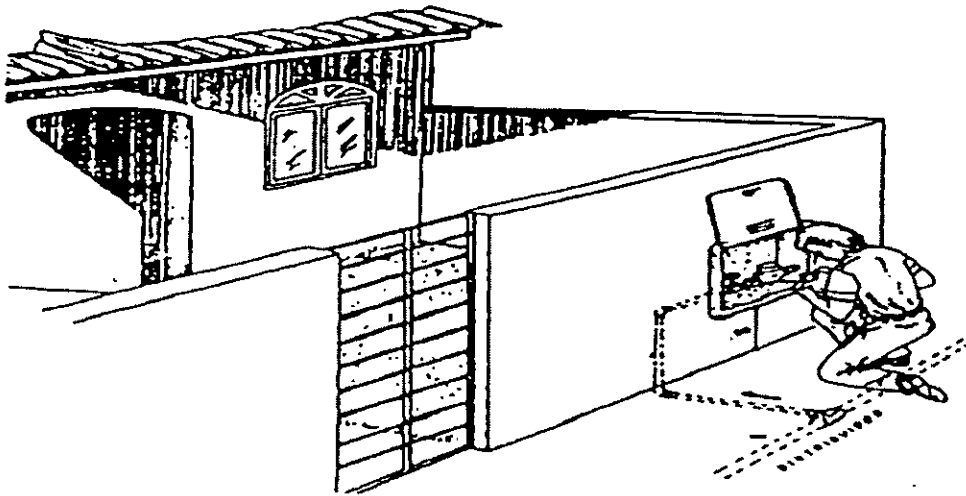


Fig. 6: Instalación en la pared del frente

Ventajas

- Lectura más rápida
- Dificulta derivaciones fraudulentas
- Facilidad de mantenimiento del medidor
- Dificultad de inversión del medidor por parte del cliente.

Desventajas

- Mayor costo de la instalación y de la protección
- Fugas pueden afectar la pared y comprometer su estabilidad.

1.3.4 Principales tipos de caballetes, cajas de protección y materiales utilizados

(85) Caballete es el trecho entre el extremo final de la conexión domiciliaria y el punto de suministro de agua.

← Caballete es el lugar donde se coloca el medidor.

(86) En el Anexo 3 se presentan, los diversos **tipos de caballetes, cajas de protección y materiales normalmente utilizados** en la instalación de micro medidores. Aunque estos materiales están siendo sustituidos por materiales como tubería de Polietileno de Alta Densidad (Politubo de Alta Densidad) y Racors de bronce, (Fig. 2) existen muchas EPSAs que todavía utilizan lo que aquí se describe.

(87) Cuando falta medidor para una instalación, es preferible dejar el caballete preparado, colocando un tubo en el espacio destinado al medidor. Esto facilita una instalación futura, bastando para esto, cortar el tubo provisional sin necesidad de mayor excavación.

1.4 Catastro

(88) Un **catastro de medidores** debe considerar aspectos estimados en el dimensionamiento del medidor según lo descrito en el numeral 1.1.3.1. Este catastro no tiene otra finalidad que no sea la de determinar si los medidores funcionan apropiadamente, si la protección cumple su cometido y verificar que las condiciones de diseño no han variado existiendo en cada predio un aproximado promedio de personas similar a los parámetros utilizados originalmente y si no ha existido producto del desarrollo urbano cambios en la categoría del servicio.

← El catastro genera información como: la cobertura de medidores instalados, cantidad y ubicación.

1.5 Lectura

(89) La lectura del medidor debe necesariamente ir acompañada del código que identifica la cuenta. Se puede planificar el sistema para informar otras ocurrencias en la lectura, con relación a observaciones hechas por la persona que lee, sean referentes al medidor, la localización, al predio, etc. que permitan producir listados especiales sobre tales observaciones.

← Dar el dato de lectura de medidores en una lista adecuada o catastro específico.

1.5.1 Ruta de recorrido

(90) Como resultados del Censo de clientes, en el área comercial se obtienen, un listado de clientes ordenado de

acuerdo a las rutas de lectura de medidores y planos de las diferentes zonas de la localidad, con la definición de rutas, que optimizan la lectura de medidores, la distribución de facturas, cortes y rehabilitaciones y otros trabajos a emprender como atención a los clientes, por lo que es recomendable que el área de Operaciones utilice lo establecido en la Comercial para realizar un trabajo coordinado.

(91) Se recomienda que las **rutas sean cerradas** de tal forma que concluyan donde se iniciaron, en el caso presente, tres de las rutas no han sido cerradas por coincidir este lado con el Arroyo San Juan que corta la ciudad. La particularidad de estas rutas es que en cada una existen aproximadamente 200 clientes o socios, lo que posibilita que en una jornada de trabajo se puedan leer todos los medidores.

← Se muestra un esquema de las rutas de la zona central de la ciudad de Trinidad.

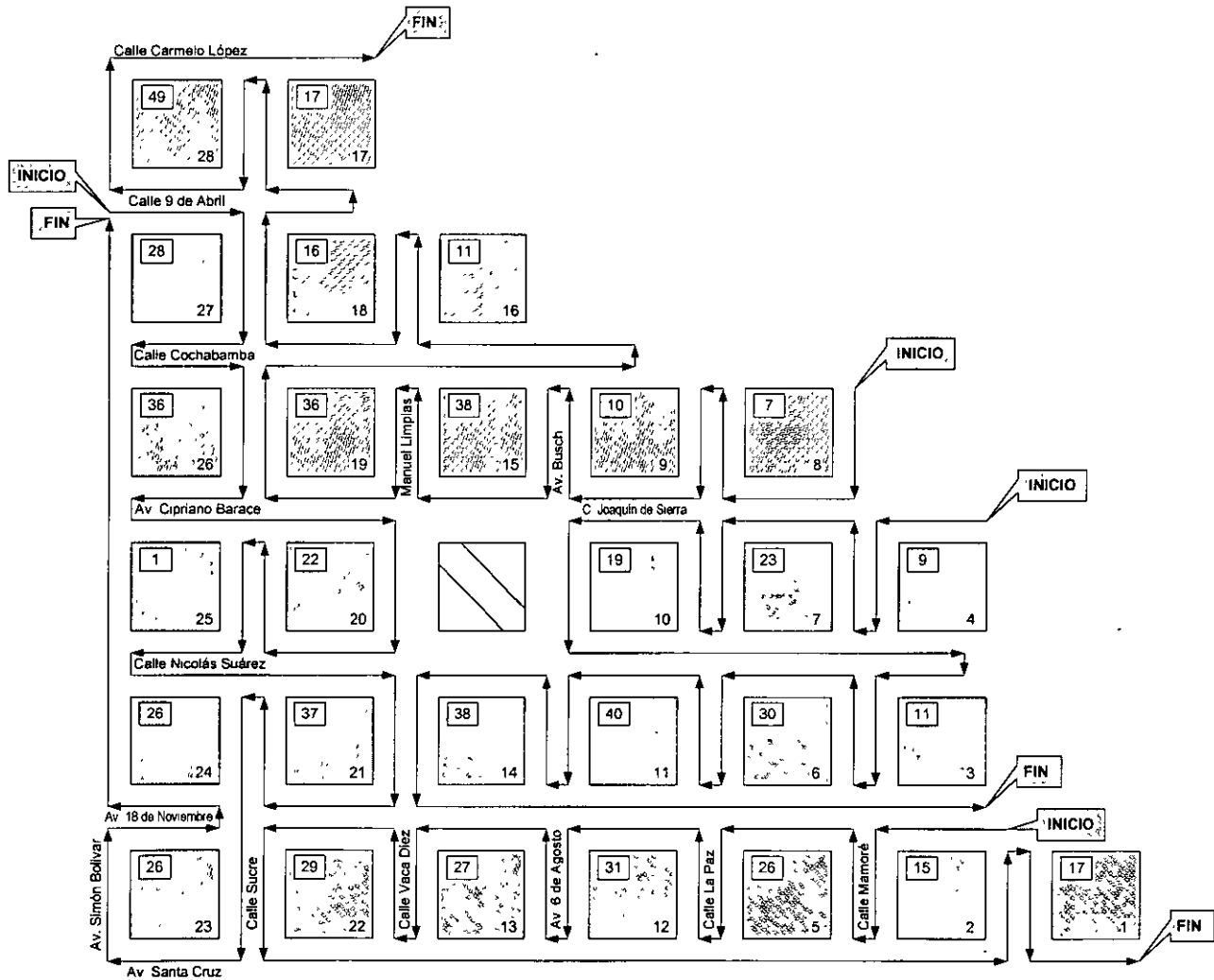


Fig. 7: Ejemplo de rutas de recorrido

1.6 Mantenimiento

(92) Existen dos categorías de mantenimiento: **el preventivo y el correctivo.**

(93) **El mantenimiento preventivo**, se lo realiza de forma rutinaria. Mediante una inspección generalmente realizada por el lector, el momento de la lectura y reportando el estado de las cajas y medidores, con datos como: seguridad rota, numerador roto, sin numerador, numerador suelto, numerador ilegible, cubierta empañada, cubierta quemada o escape antes o después del medidor, medidor instalado al revés, medidor retirado, caja inundada, tapa trabada, tapa rota, caja rota o sin caja, by pass, para que la EPSA tome las acciones que corresponden.

← Es útil que la EPSA cuente con un banco de pruebas portátil, o se instale en serie otro medidor para verificar las lecturas en duda.

(94) **El mantenimiento correctivo**, consiste principalmente en el cambio del sistema de relojería del medidor, a este objeto y luego de verificar en campo que las lecturas del medidor sufren de variaciones fuera de las tolerancias establecidas, se retira el medidor, se saca de él, el sistema de relojería, se despinta totalmente la carcasa utilizando métodos mecánicos, como chorro de arena u otros, posteriormente se procede a pintarlos nuevamente para darles un aspecto uniforme y se les coloca un nuevo sistema de relojería y se procede como con los medidores nuevos a calibrarlos y verificar su exactitud, el paso siguiente es destinarlos a las conexiones que así lo requieran.

(95) Se debe tener cuidado en asignar en el catastro a los predios a los que se les cambia el medidor, el nuevo número a fin de evitar duplicidad cuando los medidores reparados sean reinstalados.





← Cada medidor debe tener su tarjeta de catastro.

(96) A continuación adjuntamos un **formulario de informe, del taller** de medidores que se utiliza para proceder a la revisión de medidores.

Formulario para la
revisión de medidores

Informe del taller									
Código catastral			Ruta			Lectura			
Dirección									
Medidor retirado			Medidor instalado			Fechas			
Marca			Marca			Retiro			
Número			Número			Pruebas			
Diámetro			Diámetro			Informe			
Lectura									
Rata (l/h)	Consumo en la prueba (l)	Primera prueba - Lecturas				Segunda prueba - Lecturas			
		Inicial	Final	Litros registrados	Eficiencia %	Inicial	Final	Litros registrados	Eficiencia %

Fig. 8: Tarjeta de registro de pruebas por conexión

	<ol style="list-style-type: none"> 1. El recurso hídrico es cada vez mas escaso, por lo que se debe evitar al máximo las pérdidas, el derroche superfluo y el desperdicio del mismo. 2. El uso de micro medidores ayudará a detectar si existen fugas, pérdidas, o simplemente contabilizar el consumo del agua.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué se entiende por selección, evaluación y dimensionamiento de micro medidores? 2. ¿Cuáles son los dos tipos de medidores para grandes consumos? 3. ¿Qué se entiende por medidor subdimensionado y sobredimensionado? 4. ¿Quiénes son los responsables de realizar la evaluación de los medidores? 5. ¿Qué tipos de mantenimiento de medidores existen, y en que consisten?
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Leer la tabla No 2 donde se detalla las etapas de selección de medidores y analizarla. 2. Discutir la importancia de un correcto dimensionamiento del medidor. Leer el punto 1.1.3.3 donde se tratan los criterios de dimensionamiento. 3. Redacte algunas recomendaciones para la instalación de medidores domiciliarios e industriales.//Dibujar esquemáticamente las formas de instalación de medidores
	<ol style="list-style-type: none"> 1. La correcta instalación de un medidor, ayudará a minimizar las pérdidas y a tener un dato correcto sobre el consumo del agua. 2. Es importante elegir el medidor adecuado para cada uso, sea este industrial, domiciliario, etc.

2. MACRO MEDICION

2.1 Objetivos de la macro medición

(97) Tiene tres objetivos básicos:

a) El **caudal** para evaluar el comportamiento del sistema en función de su configuración física y la demanda de agua.

← Un objetivo es suministrar los datos que el planeamiento, el control operacional y el control de pérdidas necesitan.

b) La **presión** para identificar la falta o disponibilidad de agua en un punto dado del sistema de abastecimiento de agua potable.

c) El **nivel**, que determina la capacidad y permite que se efectúen operaciones rutinarias de operación y mantenimiento. Evitando reboses o falta de agua en reservorios, controlando manantiales y pozos.

(98) Son los componentes de la macro medición, siendo el principal usuario en la EPSA el Sistema Operacional.

(99) La selección de la metodología de medición depende del fin para el que se destina.

2.1.1 Planeamiento y control operacional

(100) El planeamiento y control operacional consiste en la elaboración periódica de un plan de los sistemas de abastecimiento de agua, con propuestas alternativas para el mejoramiento del desempeño.

2.1.2 Control de pérdidas

(101) Uno de los problemas más serios en los sistemas de abastecimiento de agua en América Latina y de diversas regiones del mundo es el elevado índice de agua no contabilizada (pérdidas), que muchas veces alcanza valores superiores a 40% del volumen del agua producida.

← El balance entre el agua producida y la cobrada, nos da la cantidad de agua que la EPSA pierde por muchos factores, como las pérdidas físicas.

(102) Una manera de medir pérdidas físicas en la red consiste, en medir el caudal mínimo nocturno en los sectores y subsectores de abastecimiento.

(103) La comparación dentro de un mismo tiempo (semana o mes) de las lecturas de un macro medidor con las lecturas obtenidas del micro medidor de los clientes servidos por la fuente macro medida, proporciona datos importantes para el cálculo de pérdidas comerciales y técnicas.

2.2 Criterios generales y específicos

2.2.1 Selección del lugar de montaje del macro medidor

(104) El lugar de instalación es un condicionante que interviene en la elección del tipo y dimensión del medidor. Los siguientes aspectos se deben observar en la selección del lugar de montaje:

a) Ubicación preliminar

Empleando un plano en escala 1:2000, identificar los lugares que ofrezcan facilidades de montaje, operación y mantenimiento del medidor y de la Estación Pitométrica (cuando se desee contar con un medio de calibración de la precisión).

← Verificar la existencia de otras instalaciones subterráneas que dificulten o impidan el montaje del medidor (cables eléctricos, tubos de teléfonos, etc.).

A continuación, hacer una inspección de campo para certificar si los registros catastrales están correctos. Emplee, si es necesario, un equipo localizador de cables y tuberías. Seleccione el lugar más adecuado entre los identificados.

b) Verificación de singularidades y tramos rectos de tuberías

En un croquis del lugar de montaje, localizar las tuberías, diámetros, válvulas, codos, conexiones y obstrucciones observadas en el catastro y en campo. En caso que sea necesario, emplear un equipo de detección de masas metálicas (localizador magnético) para localizar válvulas enterradas.

← En tramos rectos sin singularidades, instalar rectificadores de flujo aguas arriba del macro medidor.

Enseguida, analizar si hay espacio suficiente para instalar el macro medidor y las instalaciones complementarias como by pass, válvula de cierre, caja de protección (cuando sea aplicable) y la Estación Pitométrica para la calibración del aparato. En el análisis considerar las distancias recomendadas de tuberías rectas sin singularidades (codos, obstrucciones etc.) aguas arriba y aguas abajo del medidor y de la Estación Pitométrica (Ver Tabla 7).

Elementos	Ubicación del elemento con relación a la estación pitométrica	Longitud mínima en diámetros nominales de la tubería (DN)
Codos, Reducciones, Válvulas	Aguas Arriba	10 - 20 DN
Codos, Reducciones, Válvulas	Aguas Abajo	5 - 10 DN
Conjunto Motobomba	Aguas Arriba	50 - 100 DN
Macro medidor de Velocidad	Aguas Arriba o Aguas Abajo	20 DN
Macro medidor Deprimógeno	Aguas Arriba	10 DN
Macro medidor Deprimógeno	Aguas Abajo	20 DN

Tabla 7: Indicaciones generales de datos rectos para instalación de estación pitométrica

c) Pérdida de carga

Todos los medidores de caudal de tipo mecánico producen una pérdida de carga hidráulica en la tubería donde fueron instalados.

← Un ejemplo típico es el medidor velocimétrico tipo Woltmann, que necesita filtros para ciertas aplicaciones.

Sin embargo, la carga hidráulica disponible del sistema puede no soportar la pérdida de carga requerida sin interferir en las condiciones de abastecimiento de agua. En estos casos se debe procurar elegir equipos de baja pérdida de carga como, los equipos de montaje sin intrusión o medidores electromagnéticos.

d) Posibilidad de inundación de la instalación

Determinados modelos de medidores no son adecuados para permanecer sumergidos, como algunos modelos de medidores velocimétricos. En este caso, la instalación debe prever requerimientos para mantener el medidor en ambientes secos o en lugares donde no se mantengan sumergidos más de 8 horas.

← Medidores que se pueden sumergir son el Venturi y los electromagnéticos.

e) Disponibilidad de fuentes de energía eléctrica

Se debe verificar la disponibilidad de fuentes externas para instalaciones en donde el medidor necesita de fluido eléctrico.

f) Condiciones de acceso para la lectura, calibración y mantenimiento

Se debe verificar la existencia de condiciones principalmente para el control de las operaciones donde la recolección de datos de la macro medición debe ser realizada a diario.

2.2.2 Condiciones hidráulicas de flujo

2.2.2.1 Levantamientos de campo

(105) Se procederá a realizar las investigaciones de las **condiciones hidráulicas del flujo:**

Datos

- Caudal mínimo
- Caudal máximo
- Dirección del flujo (uni o bidireccional de acuerdo con las variaciones de la demanda)
- Presiones en la tubería
- Características del flujo (continuo, intermitente, etc.)
- Diámetro de la tubería

(106) **Instalar** la estación de medición **en el lugar** Estación de medición **seleccionado** y realizar las mediciones mencionadas.

(107) La estación de medición y el lugar de instalación del medidor debe ser totalmente **accesible**, facilitando posteriormente su calibración.

(108) En casos de bajas velocidades, puede ser necesario reducir el diámetro de la tubería para aumentar la velocidad de flujo y disminuir el tamaño del medidor.

(109) Es muy importante observar que la investigación debe realizarse por un período de tiempo que permita observar variaciones de demanda e indicar las reales direcciones de flujo.

2.2.2.2 Efectos de la calidad del agua

(110) En ubicaciones donde exista antecedentes de mala calidad de agua o impurezas, puede determinarse la inviabilidad de emplear algún tipo de equipos o la necesidad de instalar un filtro aguas arriba de los medidores.

← Los medidores velocimétricos, Annubar, electromagnéticos, y Pitot modificado, son aparatos que les afecta la calidad del agua.

(111) Problemas de obstrucciones en los filtros, pérdida de carga y frecuencia de mantenimiento elevadas, pueden determinar la necesidad de otro tipo de medidor (venturi, ultrasónico etc.).

2.2.2.3 Habilidad de medición bidireccional

(112) Por diversos factores puede ocurrir que el flujo del agua, en algunos puntos de medición de caudal en la red de distribución, tenga en un mismo día un período en un sentido y otro período el sentido del flujo se invierta.

← El medidor electromagnético realiza mediciones en ambas direcciones.

(113) La dirección del flujo en el punto de medición puede determinar la viabilidad de emplear algunos equipos.

2.2.3 Selección de medidor de caudal para instalaciones nuevas

(114) En el caso de selección de un medidor para instalaciones nuevas, se debe considerar las condiciones de operación de la instalación, al inicio y al final del plan de implantación del proyecto y adoptar una de las siguientes opciones:

- Dimensionar el elemento primario para las **condiciones de inicio del plan**, previéndose su sustitución por otro de mayor capacidad al final de la implantación del proyecto.
- Adoptar un macro medidor de **amplio rango** que pueda alcanzar los caudales mínimos y máximos que serán practicados al **inicio y final de plan**. Considerando que la

Opciones de selección de medidor

pérdida de carga introducida al final del plan podrá generar una pérdida de carga residual mayor que la prevista.

2.2.4 Costo de implantación del macro medidor

(115) Obviamente diferentes tipos de medidores involucran diferentes costos totales de implantación y la determinación de los costos involucrados a valor presente determinará el medidor de mejor relación costo / beneficio. Como alternativa, se puede escoger el medidor más adecuado en términos de costos para cada ítem de los que componen el costo total de implantación.

← Los ítems del costo de implantación son: el precio del medidor, costo de instalación y operación y mantenimiento.

(116) Después de la evaluación de cada uno de estos ítems se puede determinar el monto total aproximado para implantar la medición en el punto seleccionado. El valor determinará la preselección del medidor.

2.2.4.1 Precio del medidor

(117) Se deben elaborar sobre la base de las ofertas recibidas, cuadros con los precios de compra de los medidores bajo la clasificación de costo bajo, mediano y alto. Asimismo, para el caso de medidores de caudal se debe considerar, que para diámetros mayores, los costos de compra e instalación no aumentan en la misma proporción, sino en una proporción mayor.

2.2.4.2 Costo de instalación

(118) **Aparte del costo del medidor** se debe considerar en la evaluación del costo de instalación los siguientes aspectos:

Puntos a considerar del costo

- a) **Materiales y piezas** para la instalación hidráulica (tuberías, reducciones, codos, válvulas, etc.).
- b) Construcción de la **caja de protección** del Elemento Primario.
- c) Instalación de una **cubierta** (sí fuese aplicable) para el Elemento Secundario.
- d) **Mano de Obra** de Instalación en horas / hombre.

Diámetros iguales o superiores a 300 mm:

- a) Para diámetros superiores a 300 mm, considerar la utilización de medidores de caudal con montaje sin intrusión (ultrasónicos, pitot modificado, annubar, electromagnéticos de inserción y

← A velocidades bajas, reducir el diámetro de la tubería, así aumenta la velocidad del flujo y disminuye el tamaño del medidor, pero mide las velocidades máximas.

electromecánicos de inserción de turbina) que son de instalación más barata.

- b) En locales donde la velocidad mínima es superior a 0,3 m/s y el agua es filtrada, se recomienda medidores electromecánicos de inserción con turbina, pitot modificado, Annubar, eletromagnético de inserción.
- c) En casos particulares de medidores de inserción donde la medida se hace en el punto central de la tubería, como los medidores electromecánicos de turbina, deben solamente utilizarse cuando:
- Las velocidades del flujo sean mayores que la velocidad mínima de trabajo de la turbina, que es de 0.3 m/s. Esta preocupación debe ser particularmente observada para medición del caudal mínimo nocturnos y pruebas de paso en el control de fugas.
 - La precisión del macro medidor no es muy exigida, ya que este tipo de medidor puede presentar precisión del orden del 5% o mayor, por ser un aparato de inserción y de medición de sólo un punto en la curva de velocidad del flujo en la tubería.
 - La tubería esté bajo presión y el agua sea filtrada.
- d) En casos particulares de medidor de inserción tipo pitot modificado Annubar, sólo debe utilizarse cuando:
- La precisión del macro medidor no sea muy exigida, ya que este tipo de medidor puede presentarla de hasta 5% de error.
 - El rango de variación del caudal sea bajo.

Considerar la instalación de una tubería de derivación, en los casos de medición, para el control de pérdidas.

Tuberías con diámetros menores que 300 mm:

Se recomienda emplear un medidor del mismo diámetro de la tubería, siempre que el aparato consiga medir los caudales mínimos. Por lo general, el costo del medidor de menor tamaño más el costo adicional de reducir el diámetro de la tubería resulta mayor.

← En caso que sea necesario, considerar el uso de medidor compuesto o una tubería de derivación (by pass).

En casos de control de pérdidas en que los caudales mínimos nocturnos medidos en las pruebas de paso son bajos, siempre escoger el menor medidor que pueda medir los caudales máximos, en este particular caso, se debe reducir el diámetro de la tubería para instalar el medidor.

2.2.4.3 Costo de operación y mantenimiento

(119) Determinar costos de operación y mantenimiento a valor presente, para el tipo de instalación de medición preseleccionada.

(120) En caso que no haya previsión de vida útil del equipo de medición, se considera el valor presente y 20 años como su tiempo de operación y mantenimiento.

2.3 Selección

(121) Básicamente el concepto de selección, evaluación e implantación de macro medidores se da en 3 etapas:

- Son las **acciones necesarias para la definición** previa de la finalidad **del medidor**, seleccionar el lugar de su montaje en campo, definir el rango de trabajo más apropiado para medir la variable hidráulica considerada y especificar el tipo y dimensiones más adecuadas del equipo para alcanzar los objetivos de la medición.

Selección de medidores
- Son las acciones necesarias para la adquisición de macro medidores, **evaluar técnicamente los aparatos** ofrecidos de tal manera, que obtengan criterios suficientes para tomar una decisión sobre la oferta más conveniente.

Evaluación de macro medidores nuevos
- Son las acciones necesarias para la **determinación del apropiado punto de montaje** y la definición de los requisitos que deben ser obedecidos para una satisfactoria instalación, que garantice el adecuado funcionamiento del macro medidor.

Instalación de macro medidores

2.3.1 Tipos de macro medidores

(122) Los macro medidores más utilizados comúnmente para mediciones permanentes, son los de caudal, nivel y presión.

2.3.1.1 Medidores de caudal

a) Tipo Deprimogéneo

Son medidores que producen una señal de presión diferencial proporcional al caudal medido. No posee partes móviles y posee versiones para los dos tipos de montaje: montaje con intrusión (Venturi Patrón, Placa de Orificio o Tubo Dall) o montaje sin intrusión (Tubo Pitot modificado tipo Anubar).

← La construcción de cada medidor, impone diferencias como la pérdida de carga y costos menores de fabricación, aunque el principio fundamental es el mismo.

Las señales de presión diferencial son condicionadas a través de equipos mecánicos para la indicación y registro del caudal en cartas circulares. Opcionalmente pueden ser equipados para generar señales de salida analógicas 4 - 20 mA. La indicación en estos casos está disponible en cartas circulares o en paneles alfanuméricos.

b) Tipo Venturi

El Venturi origina una pequeña pérdida de carga y con las debidas precauciones, se puede usar para líquidos con determinadas concentraciones de sólidos.

← El medidor Venturi es un dispositivo preciso, para medir líquido en tuberías, pero su costo es alto.

En condiciones ideales, un Venturi puede tener precisión de $\pm 0.75\%$ a $\pm 2\%$ del rango de medición, repetibilidad $\pm 0.25\%$ y un rango 10:1.

Las ventajas técnicas del **medidor tipo Venturi** son:

Ventajas

- Precisión
- No obstruye el flujo
- Baja pérdida de carga
- Poca interferencia en el caso de partículas sólidas en movimiento
- Confiabilidad y simplicidad de diseño
- Resistencia
- Calibración simple
- Su mantenimiento no origina interrupción del flujo

Las desventajas del **medidor tipo Venturi** son:

Desventajas

- Rango de operación limitado
- Requiere mayores extensiones en su instalación, comparado con otros medidores.
- Restricciones en su instalación
- Alto costo

c) Medidor de Presión Diferencial Tipo Placa de Orificio

Requiere un largo tramo recto aguas arriba del lugar de su instalación, el cual puede alcanzar 40 a 60 veces el diámetro de la tubería de conducción. Las mediciones por orificio pueden tener precisión de ± 0.25 hasta 2% del máximo valor, repetibilidad $\pm 0.25\%$ y un rango de 4:1.

← El medidor tipo Placa de Orificio, es muy sensible a los efectos de turbulencia aguas arriba.

Las ventajas técnicas del **medidor Orificio** son:

Ventajas

- Pocas restricciones en su instalación

- Confiabilidad y simplicidad en su diseño
- Operación estable
- Calibración sensible
- Bajo costo
- Fácil transporte
- Posibilidad de mantenimiento sin interrupción del flujo
- No tiene partes móviles en contacto con el agua

Las desventajas del **medidor tipo Orificio** son:

Desventajas

- Rango de operación limitado
- Obstrucción del flujo
- Alta pérdida de carga
- Necesita mayor longitud en su instalación

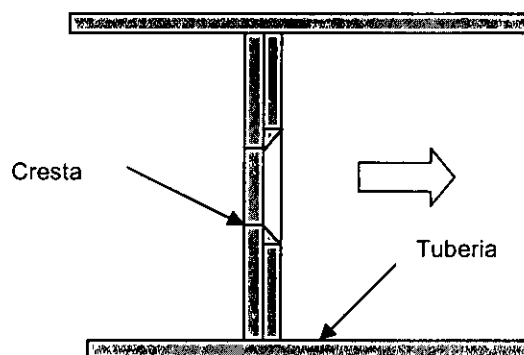


Fig. 9: Placa de orificio

Una interesante aplicación de este tipo de medidor es el llamado macro medidor proporcional, desarrollado por el Instituto Costarricense de Agua y Alcantarillado, AYA, y aplicado con mucho éxito por SeLA en la ciudad de Oruro.

d) Pitot Modificado Tipo Annubar

Este tipo de medidor comercial es una innovación del tubo Pitot, tiene precisión aceptable y es simple en su instalación, operación y mantenimiento, lo que hace atractiva su adquisición.

← La ubicación del Annubar en el conducto es importante, porque la turbulencia en el flujo afecta la precisión de la medición.

La precisión del medidor Annubar es de $\pm 0,5$ hasta $\pm 5\%$ del máximo valor, repetibilidad 0,5%, rango 4:1 en condiciones de instalación adecuadas. La pérdida de carga es baja. La interferencia de la calidad del agua es mediana, pudiendo trabajar con aguas no filtradas.

Las ventajas de **uso y construcción** del elemento primario del **tubo Pitot** son:

Ventajas

- Es económico
- Para su instalación requiere únicamente una perforación de $\varnothing 1"$, en la tubería donde es instalado
- Instalación rápida y simple
- Sin problemas para transporte
- Puede ser instalado en cualquier tipo de tubería
- Pérdida de carga baja
- Posibilidad de instalación inclusive con la tubería en operación.

Las desventajas del **medidor tipo Pitot** son:

Desventajas

- Cualquier fuga de agua en las canalizaciones o conexiones del instrumento puede afectar significativamente su precisión.
- Errores potenciales de calibración, debido al desalineamiento del tubo de inserción.
- Precisión relativamente baja

e) **Medidor Velocimétrico**

La medición se hace sobre la base de la proporcionalidad existente entre el número de revoluciones de la turbina y la velocidad del agua que atraviesa la tubería.

Dentro de esta clasificación de medidores se destacan los medidores mecánicos.

Velocimétricos de turbina de montaje con intrusión (Tipo Woltmann de 50 hasta 500 mm y Tipo turbina Helicoidal de 2" hasta 36") y medidor electromecánico de montaje sin intrusión (Tipo Quadrina de inserción).

Usualmente los medidores velocimétricos (Woltmann o de Turbina Helicoidal) poseen indicadores y totalizadores mecánicos. Estos medidores pueden ser equipados opcionalmente con un contador de pulsos para mediciones alejadas del lugar de instalación.

← Este medidor utiliza, como elemento de medición, una turbina que trabaja en una tubería bajo presión, el flujo de agua entra en dirección axial a la misma.

Los medidores electromecánicos de turbina hacen la conversión de la rotación de la turbina en una señal de salida en unidades de frecuencia. El montaje se hace sin intrusión y la turbina es montada en un asta que la posiciona en el centro de la tubería.

Los medidores de caudal tipo velocimétrico disponibles en el mercado presentan normalmente un amplio rango de utilización, alcanzando valores superiores a 100:1, precisión de $\pm 0,5$ hasta $\pm 2\%$ del rango y repetibilidad $+ 0,02\%$.

Para rangos aún mayores, del orden de 1000: 1, se puede adoptar medidores combinados. En este tipo de aparato de dos medidores, uno grande trabaja combinado con uno pequeño. Una válvula directora de flujo se encarga de encaminar el caudal sólo hacia uno de ellos. De esta manera se miden caudales bajos por el medidor pequeño y caudales grandes por el medidor grande.

Las principales restricciones de los rangos son:

- Pérdida de carga: imita los caudales superiores del rango de medición señalado por los fabricantes.
- Precisión: imita los caudales inferiores del rango de medición señalado por los fabricantes.

Las principales ventajas son:

Ventajas

- Secundario incorporado al primario en los modelos mecánicos
- No necesita energía eléctrica en los modelos mecánicos.
- Facilidad de mantenimiento, permitiendo el cambio de la turbina sin desmontaje de tubería.
- Costo de implantación relativamente bajo.
- Rango de Trabajo Amplio

Las principales desventajas son:

Desventajas

- Obstrucción al flujo (tipo Woltmann)
- Mantenimiento más frecuente en comparación con el medidor deprimógeno.
- Piezas móviles, ejes, engranajes
- Tiene límite de sumergibilidad. No puede trabajar continuamente sumergido (tipo Woltmann).

f) Medidor Electromagnético

Son medidores de estado sólido que producen una señal de salida en unidades de frecuencia o una señal analógica, que puede ser de 4 - 20 mA. Hay equipos para los dos tipos de montaje, con y sin intrusión.

El voltaje inducido en un conductor que se desplaza a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de dicho conductor.

← El principio de operación de este medidor es la Ley de Faraday.

Dos bobinas producen un campo magnético uniforme, a través de la parte interna del tubo. Conforme pasa el agua a través del cuerpo del medidor, ésta corta el campo magnético que sufre una inducción de voltaje captada por dos electrodos diametralmente opuestos y perpendiculares al campo magnético.

Este voltaje es medido, siendo posible así la obtención de la velocidad del agua.

Los medidores de caudal electromagnéticos disponibles en el mercado presentan presión $+0,5\%$ del rango, repetibilidad $+0,25\%$ y rango de utilización 1000:1.

Las ventajas principales de este medidor son:

Ventajas

- No posee partes móviles en contacto con el agua.
- El fabricante solicita una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba, normalmente un mínimo de cinco diámetros.
- Pérdida de carga ínfima
- La señal de salida de un medidor electromagnético es lineal con el caudal, lo que significa circuitos de generación de señales más simples en comparación con los medidores que provocan presión diferencial.
- Rango bastante amplio y variable, pudiendo regular de 0-0,5 a 0-13 m/s.

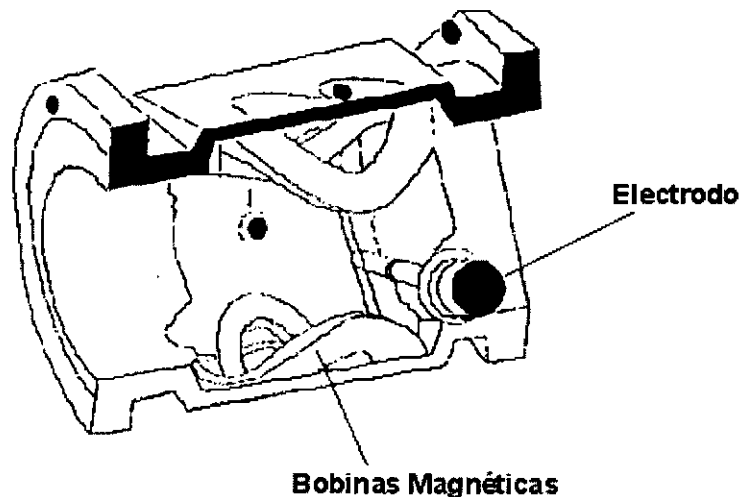


Fig. 10: Medidor electromagnético

Las principales desventajas son:

Desventajas

- Alto costo inicial, para tuberías con diámetros pequeños el medidor es costoso.

- Necesidad de mano de obra especializada para su instalación, calibración y mantenimiento.
- Requiere cuidados con relación a fuentes de energía externas, que puedan provocar distorsiones en la operación normal del equipo.
- Necesidad de mantenimiento periódico en los electrodos, pues las partículas metálicas que son arrastradas por el agua, se van depositando allí y después de algún tiempo interfieren en la medición. Este efecto puede ser minimizado evitando bajas velocidades y utilizando revestimientos adecuados.

Con el desarrollo de este tipo de medidor algunos fabricantes han garantizado ventajas adicionales en sus modelos más recientes, como equipos que soportan instalación sumergible y enterrable, operación confiable y sin mantenimiento por largo tiempo.

Estas ventajas permiten eliminar la necesidad de cámaras de protección, disminuyendo el costo de instalación.

g) Medidor Ultrasónico

Son medidores de estado sólido que producen una señal de salida en unidades de frecuencia o una señal analógica, que puede ser de 4 - 20 mA. Hay equipos para los dos tipos de montaje, con y sin intrusión. Mayormente es utilizado montaje sin intrusión.

Una **señal sónica es transmitida diagonalmente**, a través del tubo por donde pasa el agua; la velocidad de líquido afecta el tiempo que esta señal emplea para ir de un transmisor hasta el receptor. El **caudal es medido detectando las diferencias de tiempo** de tránsito de los pulsos ultrasónicos.

Principio de funcionamiento

Los medidores de caudal ultrasónicos disponibles en el mercado presentan precisión $\pm 1\%$ del rango, repetibilidad $\pm 0,25\%$ y rango de utilización 20:1.

Las ventajas son:

Ventajas

- No hay obstrucción del flujo, por lo tanto, no hay pérdida de carga.
- Medidores de montaje externo no ponen en riesgo la estructura de las paredes de la tubería.
- Los medidores de montaje interno no interrumpen el proceso de flujo durante el mantenimiento o reemplazo.
- No hay partes mecánicas en movimiento.
- Adaptable a un amplio rango de diámetros de tubería.

- Bajo costo de instalación y operación
- El flujo bidireccional es permisible.

Las desventajas son:

Desventajas

- Sensibles a los cambios en la composición del fluido.
- Alto contenido de sólidos o burbujas en el flujo, distorsionan y bloquean la propagación de ondas de sonido.
- Mide la velocidad principal a través de un diámetro, que no es el mismo, que la velocidad principal media.
- Sensible al perfil de velocidad del flujo; la precisión puede ser perjudicada por cambios en la aspereza de las paredes de la tubería y por cambios de flujo laminar a turbulento.
- Precisión perjudicada por disturbios en el flujo aguas arriba y aguas abajo, tales como ángulos y válvulas, que afectan el perfil de velocidad.
- Posición crítica de los sensores opuestos, para asegurar la intercepción de la señal.
- En el montaje externo, la presencia de revestimientos o materiales de las paredes de la tubería que absorben o dispersan sonidos, puede impedir el trabajo del medidor.

El medidor está disponible en dos formas:

Formas del medidor

- **Montaje externo** de los sensores, fijado a la pared externa de la tubería.
- **Montaje interno**, con los transductores instalados en nichos contruidos anexados a la tubería.

h) Medidores de Conducto Libre

Los medidores de conducto libre Parshall y Vertedero condicionan el flujo del agua en el canal de medición, de manera, que sea producida una señal de nivel, que indica el caudal a través de la curva de calibración del medidor.

Opcionalmente, se puede equipar la instalación con aparatos que detectan la variación de nivel y producen una señal de salida analógica 4 - 20 mA.

← La lectura de los medidores Vertedero y Parshall es hecha en el lugar de instalación por operadores entrenados.

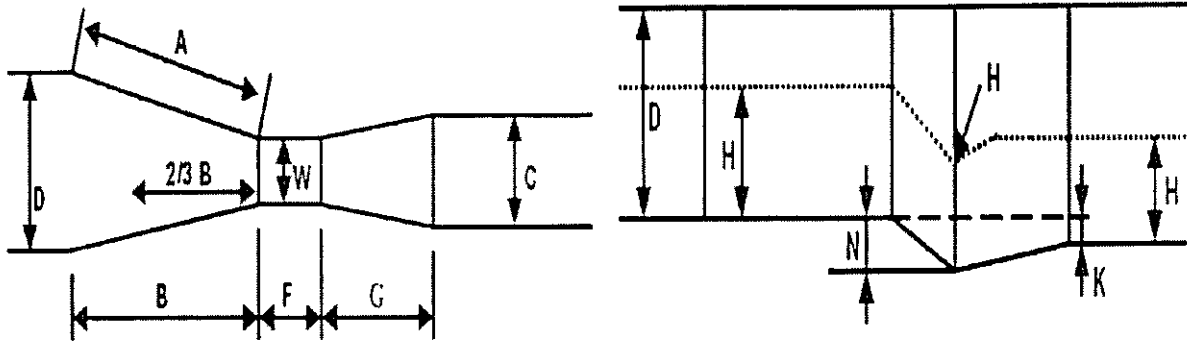


Fig. 11: Medidor Parshall

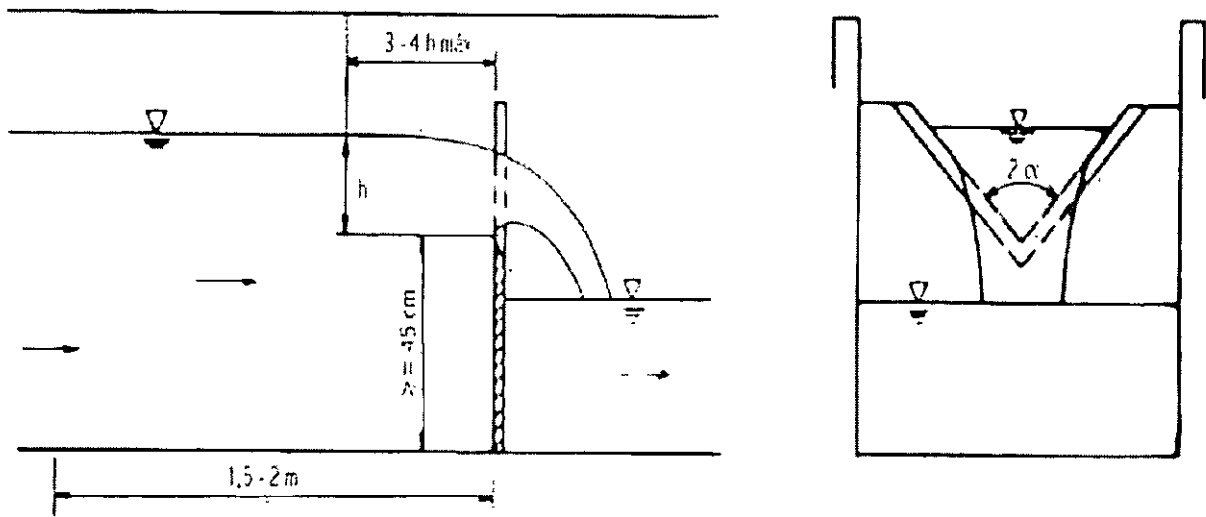


Fig. 12: Vertedero triangular

Ln	W	A	2/3 A	Wc	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Caudal	
																		Fluido Libre	
																		Minima	Máxima
7	7.6	46.7	31.1	19.8	45.7	17.8	25.9	61.0	15.2	30.5	30.5	5.7	40.6	30.5	76.8	30.5	3.8	0.0008	0.0538
15	15.21	62.1	41.4	31.5	61.0	39.4	39.7	61.0	30.5	61.0	91.4	11.4	40.6	30.5	90.2	61.0	7.6	0.0014	0.1104
22	22.9	88.0	58.7	46.0	86.4	38.1	57.5	76.2	30.5	45.7	91.4	11.4	40.6	30.5	108.0	61.0	7.6	0.0025	0.2520
30	30.5	137.2	91.4	66.5	143.3	61.0	84.5	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	50.8	38.1	149.2	61.0	7.6	0.0031	0.4559
45	45.7	144.8	96.5	83.6	134.3	76.2	102.6	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	50.8	38.1	167.6	61.0	7.6	0.0042	0.6966
60	61.0	152.4	101.6	120.3	149.5	91.4	149.9	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	50.8	38.1	185.4	61.0	7.6	0.0119	0.9373
90	91.5	167.6	111.8	135.3	164.5	121.9	157.2	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	50.8	38.1	222.3	61.0	7.6	0.0173	1.4272
120	121.9	182.9	121.9	169.8	179.4	152.4	193.7	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	61.0	45.7	271.1	61.0	7.6	0.0368	1.9227
150	152.4	198.1	132.1	204.3	194.3	182.9	230.2	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	61.0	45.7	308.0	61.0	7.6	0.0453	2.4239
180	182.9	213.4	142.3	238.8	209.2	213.4	266.7	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	61.0	45.7	344.2	61.0	7.6	0.0736	2.9308
210	213.4	228.6	152.4	273.3	224.2	243.8	303.2	91.4	61.0	91.4	91.4	22.9	61.0	45.7	381.0	61.0	7.6	0.0850	3.4377

Tabla 8: Dimensiones en cm y caudales en m³/s de los macro medidores Parshall

Las principales ventajas de los **medidores Parshall** son:

Ventajas

- Gran facilidad de realización de medidas
- Bajo costo de ejecución
- No hay sobre elevación de fondo
- No hay peligro de formación de depósitos, debido a las materias en suspensión, siendo de gran utilidad para el caso de desagües o de aguas que contienen sólidos en suspensión.
- Pueden funcionar como un dispositivo, donde una medición de H es suficiente.
- Funciona sumergido en gran medida, sin alteración de caudal.
- Medidores Parshall, de los más variados tamaños, fueron probados hidráulicamente, lo que permite su empleo en condiciones semejantes, sin necesidad de nuevas pruebas o calibraciones.
- En su ejecución, pueden ser empleados materiales diversos, seleccionándose el más conveniente para las condiciones locales. Ya fueron empleados: concreto, albañilería, madera, metal (medidores portátiles de tamaño hasta 10 pies), asbesto cemento, etc.

La principal **desventaja** es su **exposición a la intemperie** que puede producir contaminación del agua.

2.3.1.2 Medidores de presión

a) Manómetros Metálicos

Son recomendados para mediciones donde no hay necesidad de registro o generación de datos continuamente.

El tipo más común utilizado es el *BOURDON*, nombre dado en función del elemento sensor usado en su fabricación. Éste sensor es un tubo flexible conocido como *TUBO BOURDON* (ver Figura 13).

← Utilizados para medir presiones negativas y positivas, especialmente mediciones de altas presiones.

b) Elemento Primario BOURDON y Secundario Registrador

Los manómetros registradores portátiles, mayormente aplicados en investigaciones temporales, poseen el elemento primario sensor tipo "*BOURDON*" (la mayoría helicoidal) y un elemento secundario registrador gráfico. Su aplicación puede ser permanente a pesar de que los transmisores de presión con registradores gráficos o data *loggers*, son más

recomendados para aplicaciones que necesitan generar datos continuamente.

c) Elemento Primario Transmisor de Presión

El elemento primario son las células capacitivas o las células *strain gauge* sensoras de presión manométrica, que pueden generar señales eléctricas proporcionales a la presión. La presión de la tubería es aplicada en uno de los lados de la célula capacitiva del transmisor. En el otro lado se tiene presión atmosférica.

El circuito electrónico de las células genera una señal estandarizada de 4 a 20 mA DC en función de la presión manométrica, aplicada en el punto de medición. Esta señal puede ser recibida por un elemento secundario de medición, del tipo de registrador de cartas gráficas, como los anteriormente descritos, por conversores o *data loggers*.

Los **medidores de presión**, que utilizan como elemento sensor el tubo BOURDON, son utilizados largamente para aplicaciones temporales y permanentes. Donde se necesita, generar y registrar datos. Continuamente se debe considerar la aplicación de transmisores de presión como elemento primario.

Criterios de selección

A continuación son presentadas las **aplicaciones típicas** como elemento sensor **tubo BOURDON** y **Célula Capacitiva**:

Aplicaciones

Tipo de elemento	Utilización	Aplicación	Costo de implantación
C (BOURDON)	Manómetros Metálicos Indicadores	Presiones Diversas hasta 70 MPa	Bajo
ESPIRAL (BOURDON)	Manómetros Registradores	Rango Visual de Medición 0,1 - 1,5 MPa.	Mediano
HELICOIDAL (BOURDON)	Manómetros Registradores	Presiones Superiores a 1,5 MPa	Mediano
CELULA CAPACITIVA	Transmisores de Presión con indicación local de la medición	Presión manométrica de 0,123 KPa hasta 40 MPa	Mediano a Alto
CELULA CAPACITIVA	Transmisores de presión sin indicación local y elemento secundario registrador o data logger	Presión manométrica 0,125 KPa hasta 40 MPa	Alto
Observación: 1Mpa = 10 Kg/cm ² ; 1 KPa = 0,1 mca			

Tabla 9: Aplicación de manómetros tipo Bourdon y transmisores de presión

d) Manómetros Metálicos

En la selección del manómetro situar los valores de las presiones a ser medidas alrededor del 50% de la presión máxima de trabajo del equipo. Con esto se evitará trabajar en rangos bajos (25%<) y altos (>75%) del manómetro para no

perder precisión o disminuir la vida útil del equipo respectivamente.

Además, por problemas de desgaste del elemento flexible se debe considerar:

Rango de utilización*

- Para **presiones no pulsantes**, que el manómetro trabaje a $\frac{3}{4}$ (75%) del máximo de la escala (rango de utilización).
- Para **presiones pulsantes**, que el manómetro trabaje a $\frac{2}{3}$ (67%) del máximo de la escala.

e) Registrador de Presión Mecánico

Un elemento secundario como el registrador de presión mecánico, que se emplea con un equipo de medición de presión, debe ser utilizado dentro de los límites de presión, para los cuales fueron construidos, debido a que la elasticidad del material no es ilimitada.

← Sobrepasar el límite máximo, puede dañar el tubo Bourdon y permanecer alejado de ese límite significa pérdida de sensibilidad.

En las aplicaciones prácticas, se adopta como norma que el rango ideal de medición se sitúe entre 35% y 75% del fondo de la escala.

f) Precisión de los Manómetros

La precisión exigida en la medición, depende del tipo de aplicación. Para aplicaciones comunes, los manómetros existentes en el mercado las atienden satisfactoriamente. Para aplicaciones especiales en que se exige precisión de medición, se debe utilizar los equipos más precisos del mercado.

Las precisiones que se encuentran en el mercado son:

0,1%, 0,25%, 0,5%, 1%, 2%, 3% y 4% de la presión máxima del rango.

Manómetros comunes, usan precisión 1% de la presión máxima de rango.

Los **transmisores de Presión con célula capacitiva** son presentados **en varios modelos**. Los modelos empleados en empresas de abastecimiento de agua, son los transmisores de presión diferencial para medidores deprimógenos de caudal, transmisor de nivel para reservorios y transmisor de presión manométrica. Los transmisores requieren fluido eléctrico externo.

Transmisores de presión

Los modelos pueden ser suministrados con o sin indicación de la medición en el local de la instalación. En este último se debe asociar al medidor un elemento secundario (registrador, indicador, data *Logger*).

Precisión del instrumento = 0,1 %

Rango = 40:1 %

Temperatura hasta 85 °C

Hay dos tipos de montajes

Tipos de montaje

- Instalación directamente **en Bridas**
- Instalación directamente **en Tuberías**

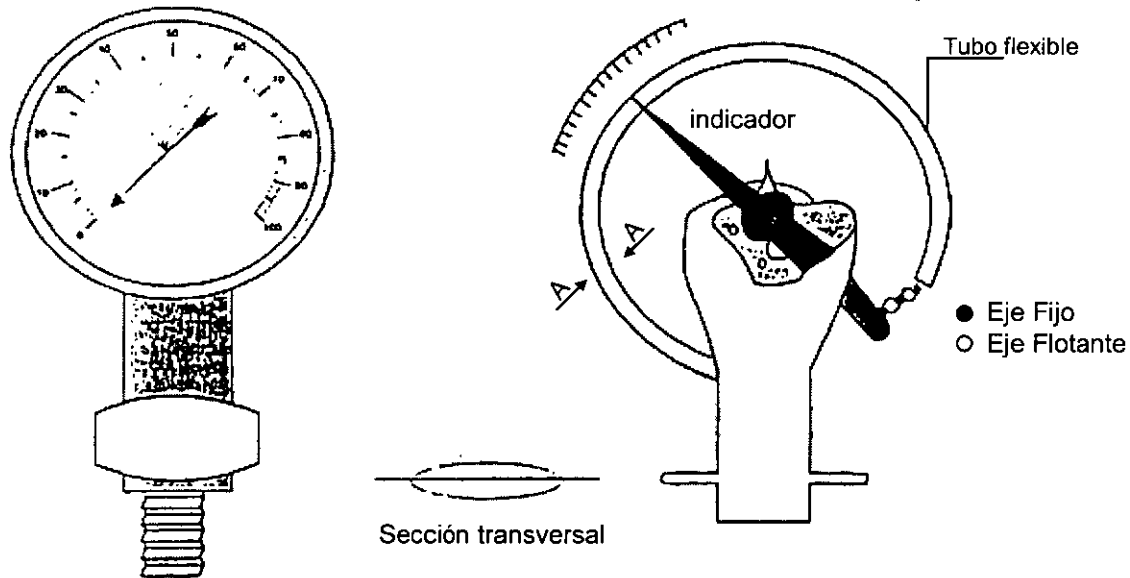


Fig. 13: Manómetro indicador metálico con tubo Bourdon

2.3.1.3 Medidores de nivel

a) Medidor de Nivel con Flotador

Este medidor está compuesto por un flotador de material resistente a la corrosión acoplado a un dispositivo para transmisión de su movimiento, que es indicado en una escala (ver Figura 14). La posición de la boya definirá el nivel de agua, ya que se calcula su parte inmersa para permanecer prácticamente constante.

La escala o regla externa debe ser fijada lo más cerca del reservorio, para evitar reducción de sensibilidad del aparato, debido a los componentes móviles de transmisión.

Algunos modelos poseen dispositivos que reciben el movimiento vertical de la boya y lo transforman en señales eléctricas, enviadas a un receptor indicador, que contiene alarmas incorporadas. Otros pueden recibir secundarios registradores tipo correctores de datos (*data loggers*), como puede ser visto en la Figura 15.

Las ventajas son:

Ventajas

- Simplicidad y fuerza
- No se necesita energía
- Bajo costo
- Puede recibir un elemento secundario recolector de datos

Las desventajas son:

Desventajas

- La fricción del sistema de transmisión reduce la sensibilidad del aparato.
- La corrosión y desgastes pueden comprometer la medición.
- Se requiere mantenimiento.

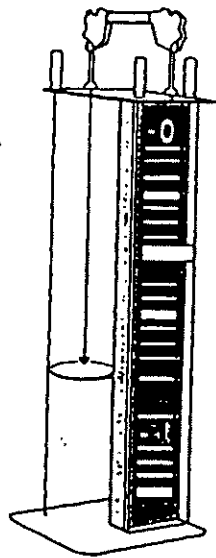


Fig. 14: Medidor de nivel con flotador

Aplicación: Nivel de agua
Sensor: en el eje roldano
no necesita energía externa

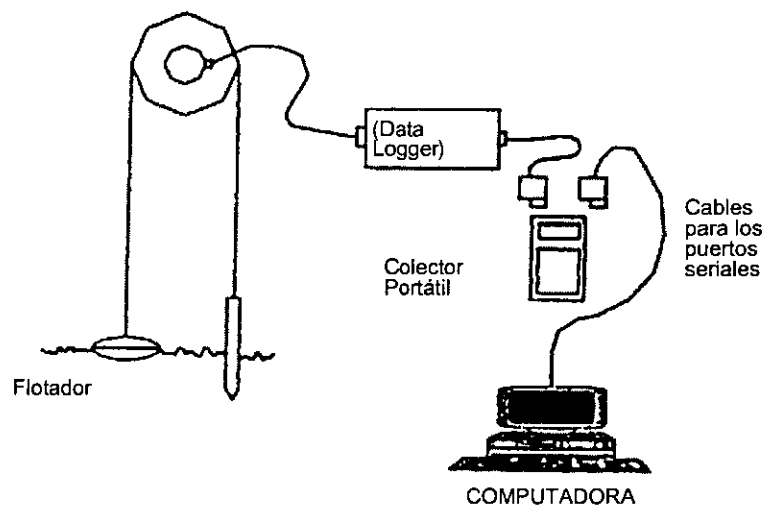


Fig. 15: Medidor de nivel de agua con flotador y secundario recolector de datos

b) Medidor de Nivel Ultrasónico

Las aplicaciones típicas son mostradas en la Figura 16.

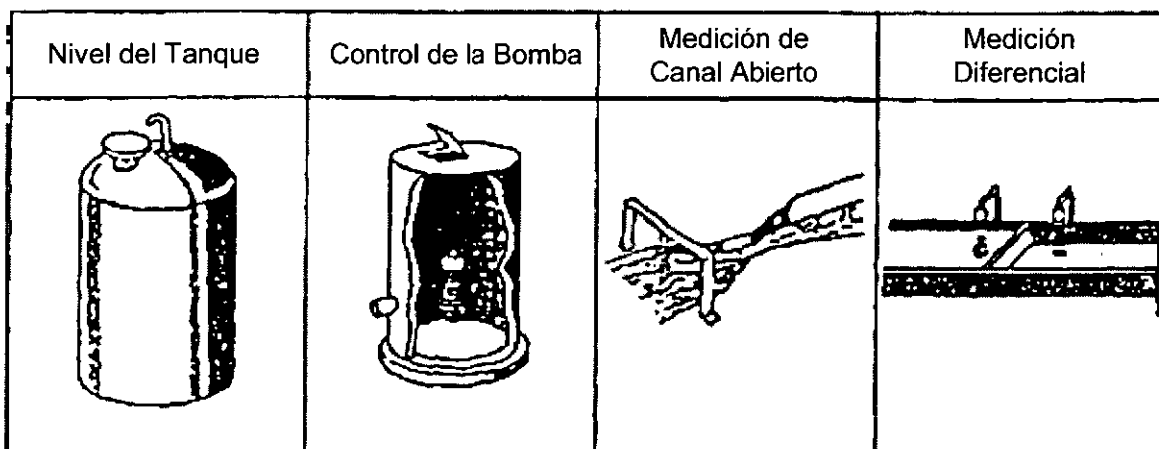


Fig. 16: Aplicaciones típicas de medidor de nivel ultrasónico

El medidor está compuesto de un sensor ultrasónico (el elemento primario de medición), instalado en la tapa del tanque, reservorio, cámara o canal abierto y un conversor de señales (elemento secundario de medición), montado en la pared. Donde los datos de la medición son recolectados, almacenados e indicados.

← En canales abiertos estandarizados, el medidor proporciona también la medición del caudal.

c) Medidor de Nivel con Transmisor de Presión

Existen **dos tipos**: instalación externa e instalación sumergible.

Clases de Instalación

1. Instalación Externa

i. Elemento Primario

El **transmisor de presión** está compuesto de dos partes principales: un sensor (célula capacitiva o célula tipo *strain gauge*) y un circuito electrónico (Ver Figura 17).

← Medidor compuesto de: un transmisor de presión en la base del tanque, un conversor de señales y panel de alimentación y protección.

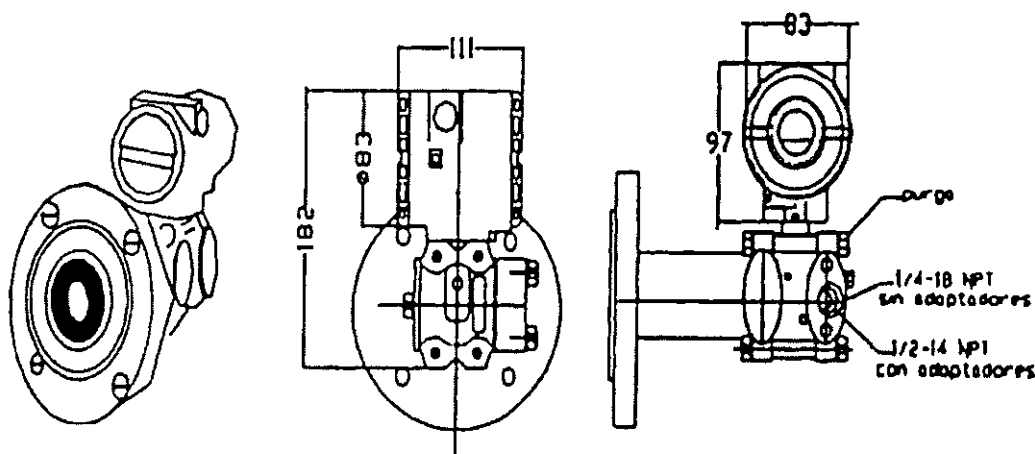
En el centro de la célula capacitiva, se encuentra el diafragma sensor, que flexiona deformándose en función de la presión aplicada. Esta deformación es percibida por el circuito electrónico que genera una señal eléctrica estandarizada (4 a 20 mA) proporcional a la presión aplicada, es decir, el nivel de agua en el reservorio.

ii. Elemento Secundario

El **convertor de señales** puede ser de varios tipos: indicador/controlador, *data logger* o transmisor. El elemento secundario recibe la señal eléctrica, condiciona y convierte las informaciones recolectadas y las almacena en su memoria o las indica en su pantalla.

iii. Panel de Alimentación y Protección

Este **panel alimenta los elementos primario y secundario** y protege el sistema contra interferencias electromagnéticas, eléctricas, etc.



NOTA: dimensiones en mm

Fig. 17: Transmisor de presión para instalación directamente en bridas

Las ventajas son:

- Precisión de medición
- Las informaciones pueden ser procesadas por computadora.

Ventajas

Las desventajas son:

- Costo inicial alto
- Requiere mano de obra calificada para mantenimiento del equipo.

Desventajas

2. Instalación Sumergible

La diferencia básica, sólo se encuentra en el elemento eléctricamente por baterías.

En el siguiente esquema se aprecia una aplicación del elemento primario transmisor (sensor de profundidad) con

conversor/acondicionador de señales y recolector de datos (ver Figura 18). El recolector de datos a su vez presenta dos alternativas de transferencia de datos: directamente en la computadora o preliminarmente en un recolector "Hand Held".

2.3.1.4 Criterios de selección para medidores de nivel

(123) En la selección de este tipo de medidor serán abordados los siguientes aspectos:

- Finalidad del Medidor
- Condicionantes del Local de Instalación
- Costo de Implantación
- Capacitación Tecnológica para Operar y Mantener los Aparatos
- Certificados de Garantía
- Finalidad del Medidor

(124) Las **aplicaciones típicas** de medición de nivel en empresas de agua y alcantarillado son:

Mediciones de nivel

- Tanques (Reservorios)
- Pozo de succión de estaciones de bombeo
- Medidores de caudal de canal abierto (Canal Parshall y Vertedero)
- Primarios de medición
- Secundario de medición

(125) Los reservorios deben presentar secundarios que permitan lectura visual, capacidad para almacenar datos, colecta de datos por colectores "Hand Held" y salida de señales para alarmas de nivel mínimo / máximo.

(126) En los pozos de succión de estaciones de bombeo, se debe contar sólo con equipos que generen señales de salida, para el funcionamiento automático de las bombas y, si fuese aplicable, alarma de nivel de rebose.

(127) En los canales con instalación de medidores Parshall y vertedero los medidores de nivel deben contar con secundario que permita lectura visual, capacidad de almacenamiento de datos, colecta de datos con colectores "Hand Held" o, si fuese aplicable, colectores de datos "Data Loggers".

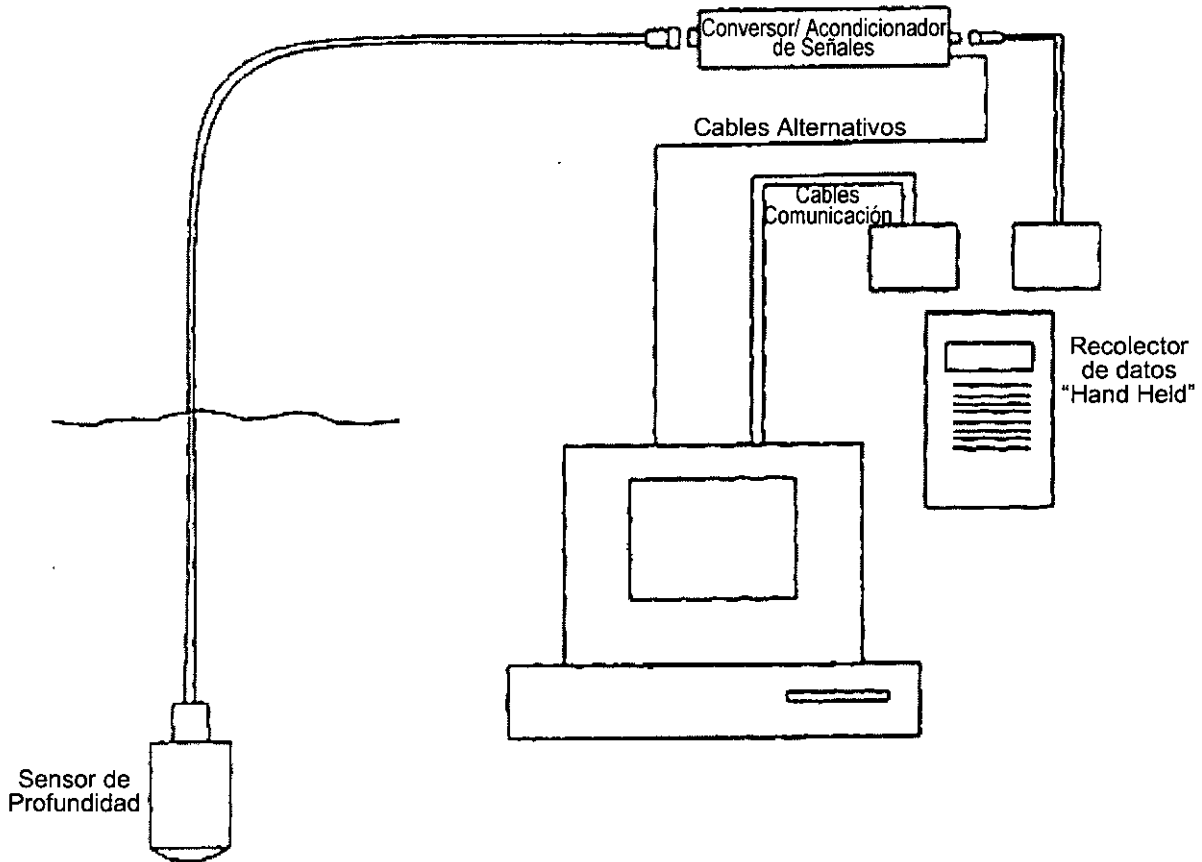


Fig. 18: Medidor de nivel con transmisor sensor de profundidad

2.3.1.5 Elementos secundarios de medición

(128) Los **indicadores son dispositivos** que proporcionan medición instantánea por medio de una escala con aguja indicadora o por cualquier otro medio que proporcione datos que indiquen la **medición en el instante en que ésta ocurre**. Las lecturas son efectuadas en intervalos de tiempo predeterminados y anotados en una planilla, ya que estos dispositivos no registran, imprimen o almacenan las informaciones.

Indicadores de medición instantánea

(129) Los registradores con elementos mecánicos son bastante utilizados debido a su **funcionamiento mecánico**, independiente de fuentes externas de alimentación, ya sea para medición, accionamiento o registro del gráfico. La transmisión de movimiento del elemento de medición se realiza a través de un aparato, el cual acciona un brazo que contiene un dispositivo de registro en la extremidad, para impresión de los valores medidos en una carta circular. La carta puede ser un gráfico circular de 300 mm de diámetro, con revolución completa escalonable en 24 horas o 7 días, a través de un mecanismo de relojería a cuerda o eléctrico.

Registradores gráficos

(130) El **registrador utiliza**, como elemento primario para la conversión de señales, **el tubo bourdon** en forma espiral o helicoidal y fuelles.

Registrador
mecánico de presión

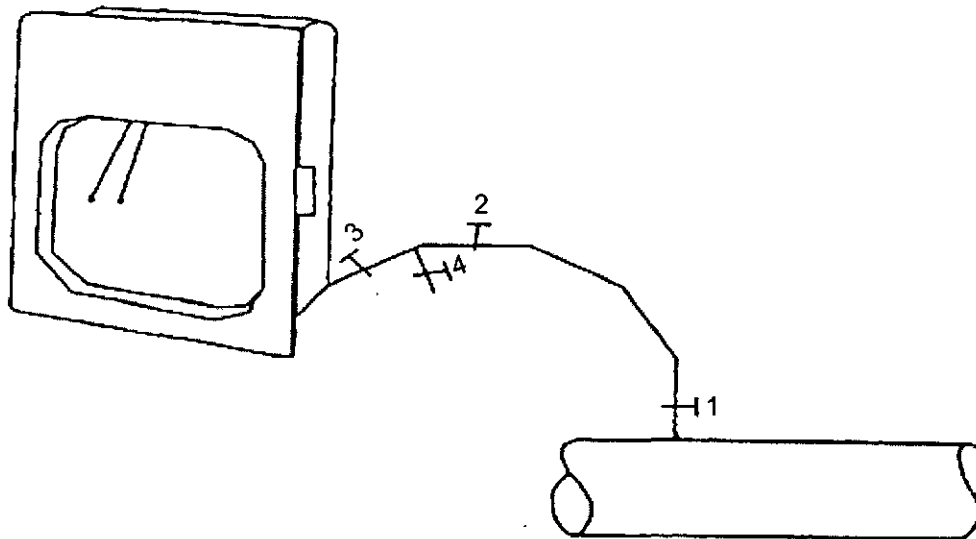


Fig. 19: Registrador de presión

(131) Los **registradores** utilizados son **del tipo portátil, dotados de células diferenciales** tipo drifo o simdar, que transforman la señal de presión diferencial en caudal. Dichos registradores son acoplados directamente a las conexiones de presión del tubo Pitot a través de mangueras de goma.

Registradores de
caudal mecánicos

(132) Este tipo de registro permite un seguimiento de la demanda de los sistemas de distribución durante las 24 horas o 7 días, caracterizando los picos de consumo en ese intervalo. Su aplicación típica es en control de fugas.

(133) El registrador utiliza, como elemento primario para la conversión de señales, **aparatos transmisores equipados con células capacitivas o células strain gauge.**

Registradores con
elementos eléctricos

(134) El transmisor genera señales standard 4 - 20 mA DC, proporcionales a la presión diferencial o presión manométrica, para registradores gráficos, mostradores con paneles alfanuméricos, *data loggers* o conversor/transmisor. Este tipo de aparato es recomendado en aplicaciones permanentes donde es necesario generar o registrar datos continuamente.

(135) El mostrador eléctrico (**electrónico con visor alfanumérico o colector de datos**), requiere un elemento primario de medición, que genere señales eléctricas 4 - 20 mA DC.

Mostrador eléctrico

(136) Los conversores, son **aparatos que poseen dispositivos microprocesadores y memoria interna** con capacidad de acumular lecturas. Las señales enviadas por el elemento primario de medición son recibidas en las entradas (analógica, digital o impulso) del dispositivo.

Conversor -
Transmisor

(137) La presentación de la medición es efectuada en modo local y/o modo remoto. En el modo local, el conversor presenta la medición en un visor alfanumérico y, adicionalmente, vía un puerto serial que puede ser conectado a una computadora *notebook* o recolector de datos del tipo "*Hand Held*".

(138) En el modo control remoto, el dispositivo transmite señales eléctricas estandarizadas (4 - 20 mA) por telemetría a computadoras en una central de comando.

(139) En las computadoras las mediciones son presentadas en las formas deseadas: medición instantánea, medición totalizada, unidad, variadas, registros diarios, semanales, mensuales, etc.

(140) Al igual que el conversor, es un **dispositivo con microprocesador y memoria interna**, entradas de señales, presentación de medición vía puerto serial, etc.

Data Logger

(141) Sin embargo, presenta características más simples: no transmite señales de alarma, no posee teclas de programación y no posee visor alfanumérico.

(142) Su gran ventaja es ser un sistema móvil que funciona con batería interna y de gran resistencia, pudiendo ser instalado para campañas de medición temporal en ambientes agresivos. El aparato puede recibir señales analógicas enviadas por un medidor de caudal y un medidor de presión al mismo tiempo. Las señales pueden ser estandarizadas 4 - 20 mA DC o pueden ser señales de pulso.

(143) Cuando sea necesario, los datos recolectados pueden ser recuperados por una computadora personal portátil, a través de los puertos seriales de los dos equipos (ver Figura 20).

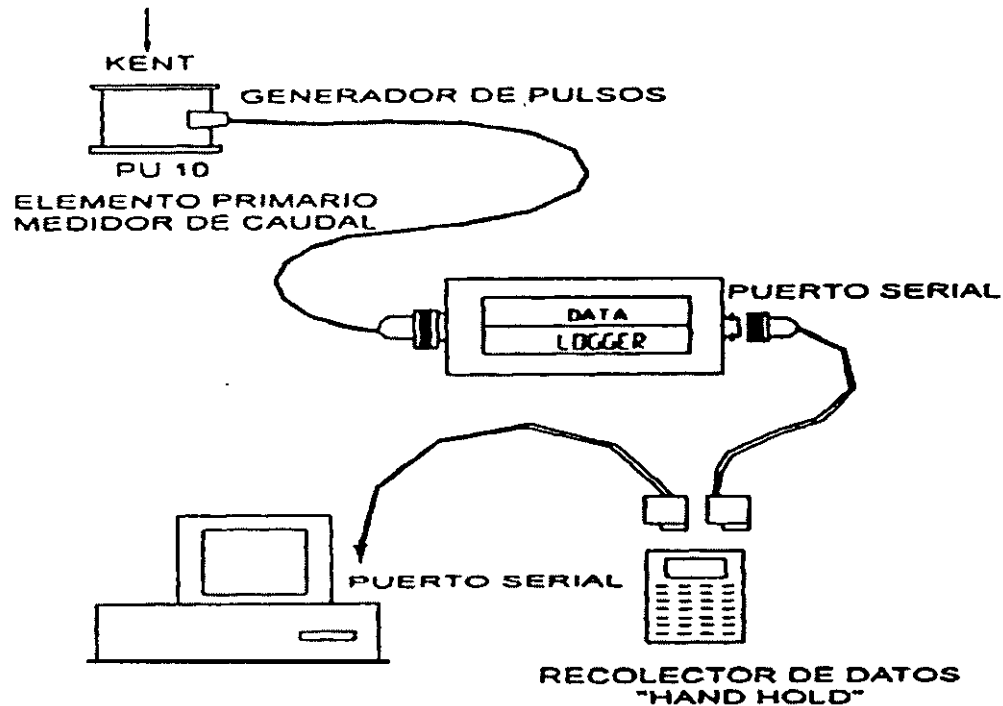


Fig. 20: Medición de caudal con elemento primario generador de pulsos y secundario tipo "Data Logger"

(144) Las **desventajas** de la lectura visual en gráficos de registradores son las siguientes:

- Se requiere experiencia para interpretar los datos.
- La lectura errada de los datos es inevitable.
- Toma un mayor tiempo recolectar y analizar los datos.
- El manejo de los datos no puede ser simplificado.
- Se requiere que los datos sean procesados a mano.
- El cambio de la variable medida a una unidad del elemento secundario no es registrado.
- En el caso de recolectar los datos continuos de un mes, se incurre en muchos gastos para instalar el sistema en un lugar.

Desventajas y
Ventajas del
registrador gráfico

(145) Las **ventajas de la lectura visual en gráficos** de registradores son las siguientes:

- Bajo costo de los elementos secundarios de medición
- Bajo costo de mantenimiento
- Data Logger

(146) Las **desventajas** del recolector de datos son:

- Hardware y software para análisis de los datos

Desventajas y
ventajas del
recolector de datos

- Personal capacitado para trabajo de computadoras
 - Requiere asistencia técnica del fabricante.
- (147) Las **ventajas** del recolector de datos son:
- No hay lectura errónea de datos.
 - El procesamiento de datos de alta velocidad está disponible.
 - El ordenamiento de los datos se puede hacer fácilmente.
 - Todo el procesamiento de datos se puede efectuar con la Computadora Personal.
 - El cambio de la variable medida a una unidad del elemento Secundario es registrado.
 - La recolección de datos para un mes está disponible. El sistema puede ser instalado en cualquier lugar.

2.3.2 Calibración e instalación

(148) Los transmisores de presión y medidores de nivel son, por lo general, instalados según diseños específicos, considerando:

- El tipo de medidor seleccionado
- El tipo de operación del medidor (forma de la lectura y registro de datos, calibración y mantenimiento)
- Proyecto de la instalación (tuberías, válvulas, caja de protección, cables etc.)

← En este documento se abordarán las recomendaciones técnicas para la instalación de macro medidores de caudal.

2.4 Instalación de macro medidores de caudal

2.4.1 Precauciones generales para la instalación

a) Distancias Mínimas de Tuberías Rectas del Medidor

- Para garantizar las condiciones de medición de los macro medidores, deben ser respetadas distancias mínimas aguas arriba y aguas abajo, si hay singularidades, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- En la Tabla 10 y 11, están los requerimientos de tramos rectos de tubería sin singularidades para cada tipo de medidor. Además, en el numeral 2.4.2.1 son especificadas distancias para casos específicos.

← Si no hay especificaciones un largo de 50 diámetros aguas arriba del medidor es una distancia segura para la instalación.

b) Rectificadores de flujo

- Estos accesorios pueden ser instalados entre el macro medidor y la singularidad aguas arriba con el objeto de disminuir la longitud del tramo recto necesario para la regularización de flujo.
- La distancias entre el rectificador y el medidor, deben ser entre 10 y 20 diámetros aguas arriba para garantizar la disipación de la perturbación en el flujo. Las Figuras 21, 22 y 23 presentan el diseño esquemático de 3 modelos de rectificadores de flujo.

← Se recomienda los rectificadores de flujo, en lugares donde las distancias mínimas aguas arriba del medidor, no puede ser respetada.

c) Caja de Protección

- El piso de la caja del macro medidor, debe permitir la eliminación del agua que penetre en ella a fin de evitar inundación. Si este desagüe no puede ser realizado en forma natural, debe ser a través de bombeo.
- La estructura de la caja deberá **tener resistencia física** adecuada al tránsito local. La tapa de la caja deberá estar constituida por una parte fija, removible y tener una abertura de acceso con una tapa menor para **permitir la entrada de una persona**. Además, debe **tener dimensiones suficientes** para que la persona se desplace en su interior, así como una escalera e iluminación. Se debe prever un lugar para instalar el data logger (estantería o gancho), en la parte superior de la caja. Se debe considerar en el dimensionamiento de la caja, la posible existencia de válvulas, filtros, rectificadores o tuberías de derivación (by pass).

Características de la caja de protección

d) Precauciones de Carácter General

- El macro medidor debe estar instalado en un lugar de fácil acceso para permitir operaciones rutinarias de lectura o de retiro para su mantenimiento, sin necesidad de utilizar accesorios.
- En el momento de la instalación, debe asegurarse que el macro medidor esté montando en el sentido correcto del flujo.
- Cuando la tubería fuera rígida, utilizar siempre que sea posible en una de las conexiones del macro medidor, un acoplamiento tipo junta deslizante, que permita desplazar la tubería en el montaje y desmontaje sin forzar las conexiones.
- Se debe evitar la instalación de macro medidores en lugares donde fueran previsibles variaciones bruscas de

← El macro medidor instalado en tuberías, debe estar siempre bajo presión, y no en puntos altos donde hay acumulación de aire.

condiciones hidráulicas, tales como cavitación y sobrepresión por golpe de ariete.

- Al instalar un macro medidor en la tubería, se debe tener cuidado para que las empaquetaduras de las bridas no se proyecten en la tubería, perturbando así el perfil de las velocidades en la sección.

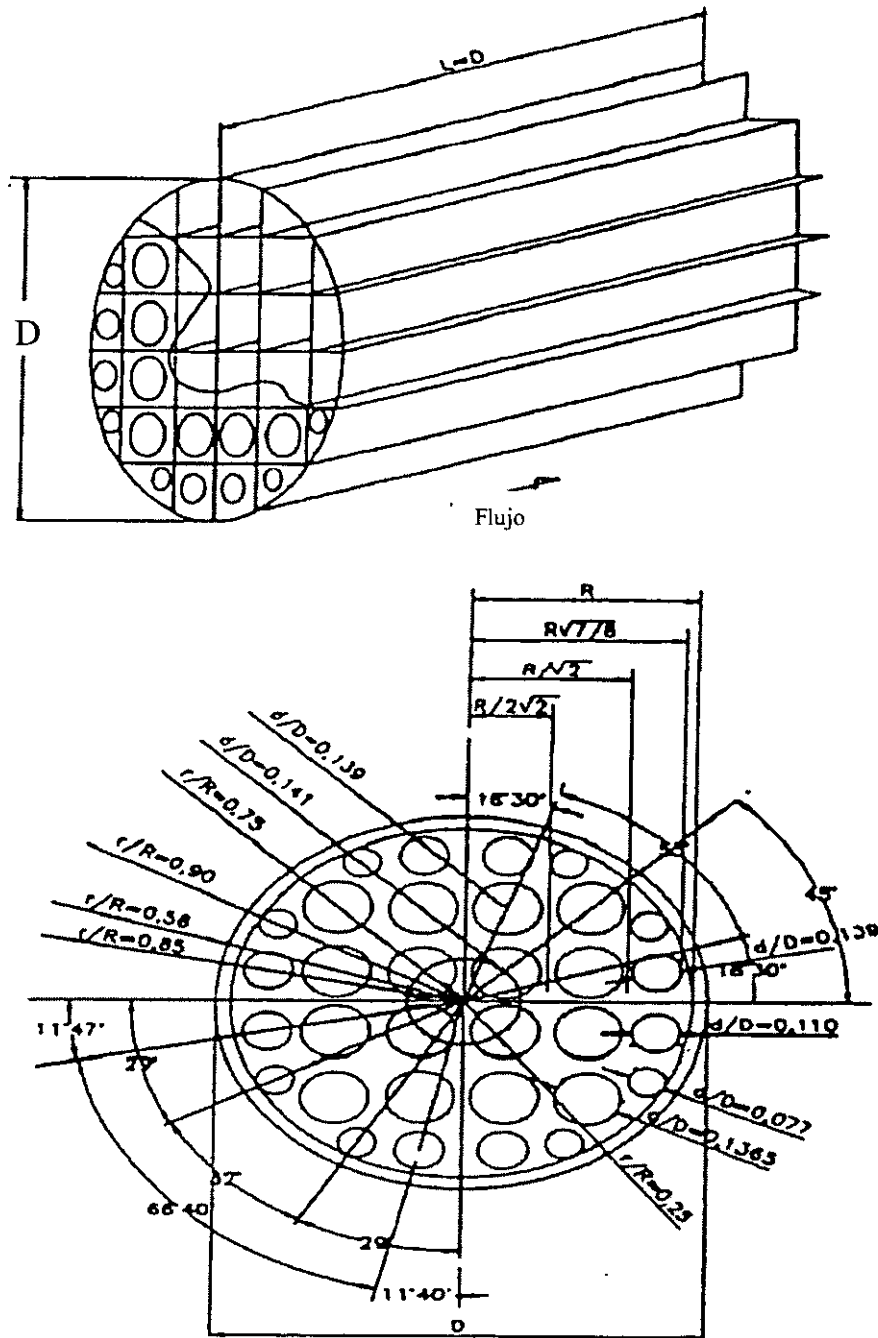


Fig. 21: Rectificador de flujo tipo Sprengle

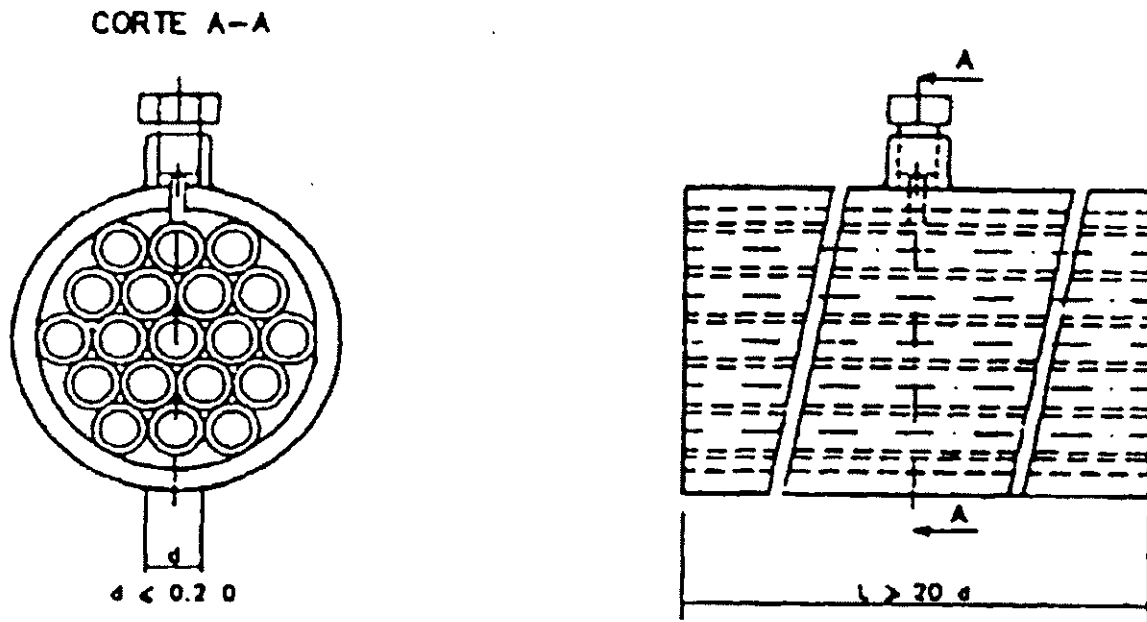


Fig. 22: Rectificador de flujo tipo Sprengle

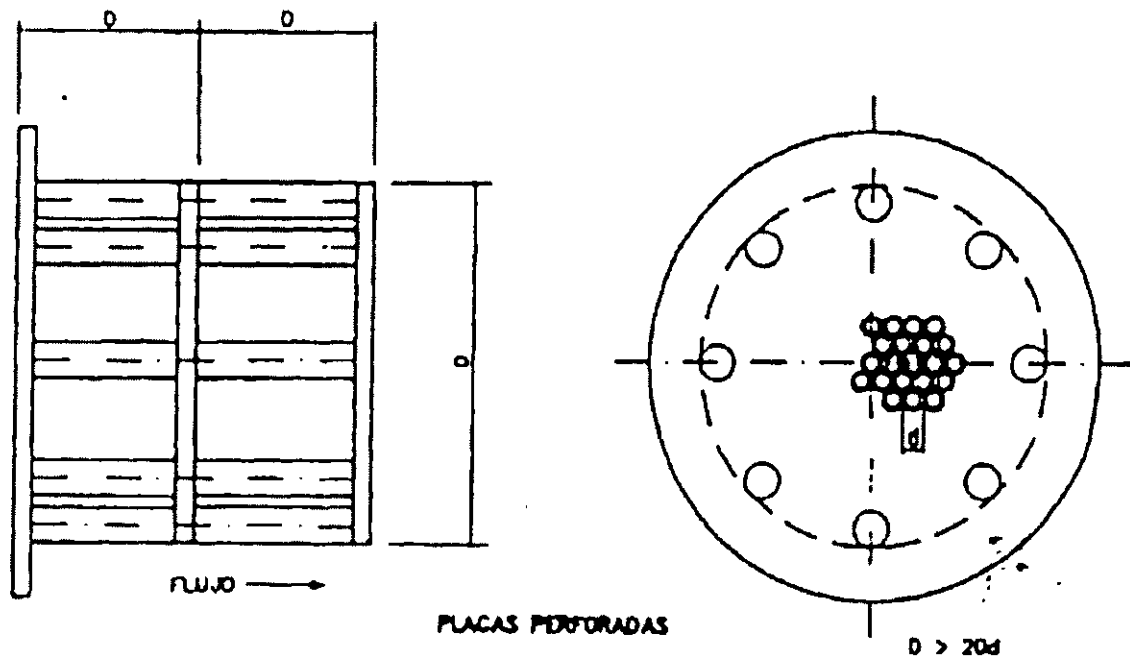


Fig. 23: Rectificador tipo Haz de tubo

2.4.2 Precauciones de carácter específico

2.4.2.1 Instalación de medidores deprimogéneos (o diferenciales)

(149) Cuando exista conexiones y accesorios en la tubería, se debe asegurar que entre estas y el macro medidor haya una tubería rectilínea del mismo diámetro.

(150) Las normas más conocidas que tratan del asunto son la AGA y ASME en los Estados Unidos y la ISO R/541, más observada en Europa. Para cada tipo de perturbación y β , las normas indican los valores de longitud de tramo recto por pares, un valor para aguas arriba y otro para aguas abajo del punto de medición.

← Un análisis de la norma y observaciones de los fabricantes, muestra que no hay diferencia, cuando se consideran las tolerancias.

(151) La norma ISO tiene la ventaja de **proporcionar 2 pares de valores en cada caso**: una más larga, que será usada para mediciones más precisas, y otra más corta, suficiente para aplicaciones de orden en general. Al tramo más largo, corresponderá a la tolerancia usualmente prevista en las normas, sobre los coeficientes de caudal indicados para cada tipo de elemento primario. Con tramos más cortos, habrá necesidad de aumentar aritméticamente una tolerancia global de la siguiente forma: $+I-(2a + 0,5\%)$.

Ventajas de la norma ISO

(152) Las normas americanas recomiendan un solo par de valores de longitudes de tramos rectos en cada caso. Estos valores corresponden a los tramos más cortos de la norma ISO.

(153) Las normas en cuestión presentan tablas con valores aplicables a:

- Venturi Largo (Patrón) y Venturi Corto
- Placa de orificios. Para tubos de Pitot, utilizados para aferición de los macro medidores deprimogéneos, las distancias correspondientes a $\beta=0,70$ de esta norma pueden ser observadas.

(154) A continuación se presentan tablas donde las longitudes mínimas de **tramos rectos de las tuberías** están suministrados en **función del número de diámetros nominales de la línea**, del macro medidor, de la relación d/D (β) y del tipo de singularidad existente en la línea.

Valores de longitudes mínimas – Tramo recto

- Para Venturi Largo (Patrón)
 $DN = \text{diámetro de la tubería}$ $d = \text{diámetro del Venturi}$
 Longitud mínima aguas arriba = FACTOR X DN
 Longitud mínima aguas abajo = FACTOR X d

β	Factores para longitudes mínimas de tramos rectos						
	Aguas arriba (DN)						Aguas abajo (d)
	A	C	D	E	F	G	B
0.30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4.0
0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4.0
0.40	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	4.0
0.45	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.5	4.0
0.50	0.5	1.5	8.5	1.5	0.5	2.5	4.0
0.55	0.5	1.5	12.5	1.5	0.5	2.5	4.0
0.60	1.0	2.5	17.5	1.5	0.5	2.5	4.0
0.65	1.5	2.5	23.5	2.5	1.5	2.5	4.0
0.70	2.0	2.5	27.5	3.5	2.5	3.5	4.0
0.75	3.0	3.5	29.5	4.5	3.5	3.5	4.0

Tabla 10: Longitudes mínimas de tramos rectos, Venturi largo

- Para Placas de Orificios y Venturi Corto:
 D_n = diámetro de la tubería
 Longitud mínima = FACTOR X DN

β	Factores para longitudes mínimas de tramos rectos (DN)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
0.20	6.0	2.2	8.5	16.5	8.0	6.5	6.0	9.0	6.0	17.5
0.25	6.0	2.2	8.5	16.5	8.0	6.5	6.0	9.0	6.0	18.5
0.30	6.0	2.7	9.0	17.0	8.0	6.5	6.0	9.0	6.0	19.5
0.35	6.0	2.7	9.0	18.0	8.0	6.5	6.0	9.5	6.0	20.8
0.40	6.5	3.0	9.0	18.0	8.0	6.5	6.0	10.0	6.0	22.0
0.45	7.0	3.1	9.0	19.0	9.0	7.0	6.0	10.0	6.0	23.5
0.50	7.0	3.2	10.0	20.0	9.5	7.5	6.5	11.0	7.0	25.0
0.55	8.0	3.4	11.0	22.0	10.0	8.0	7.0	12.0	8.0	27.8
0.60	9.0	6.6	13.0	24.0	11.0	9.0	7.5	13.0	9.0	30.5
0.65	11.0	3.7	16.0	27.0	12.0	10.5	8.5	14.0	10.0	34.5
0.70	14.0	3.9	18.0	31.0	13.0	12.0	10.0	16.0	13.0	38.5
0.75	17.0	4.1	21.0	35.0	14.0	13.0	12.0	18.0	16.0	44.3
0.80	20.0	4.2	25.0	40.0	15.0	15.0	15.0	21.0	20.0	50.0

Tabla 11: Longitudes mínimas de tramos rectos Venturi corto y placas de orificios

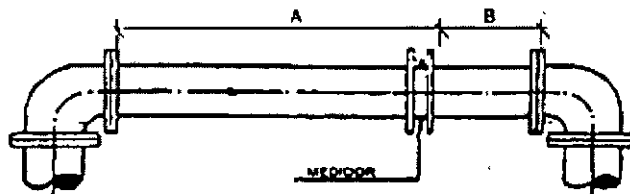
- Para tubo Dall
 Para obtener las longitudes mínimas de tuberías rectas para este tipo de medidor, multiplicar por 7 las longitudes obtenidas para un Venturi Largo (Patrón).
- Utilizando rectificadores de flujo: Longitud mínima = FACTOR X DN

β	Factores para longitudes mínimas de tramos rectos (DN)									
	C	C1	C2	D	D1	D2	J	J1	J2	B
0.2	-	-	-	9.5	5.0	4.5	9.0	5.0	4.0	2.7
0.3	9.0	5.0	4.0	9.5	5.0	4.5	9.0	5.0	4.0	3.0
0.4	9.0	5.0	4.0	9.5	5.0	4.5	9.5	5.0	4.5	3.2
0.5	9.0	5.0	4.0	10.0	5.0	5.0	10.2	5.0	5.2	3.6
0.6	10.0	5.5	4.5	11.0	5.5	5.5	12.0	5.2	6.8	4.0
0.7	12.0	6.5	5.5	13.5	6.5	7.0	15.0	6.3	8.7	4.3
0.8	16.0	8.0	8.0	16.5	7.0	8.5	19.5	7.5	12.0	4.5

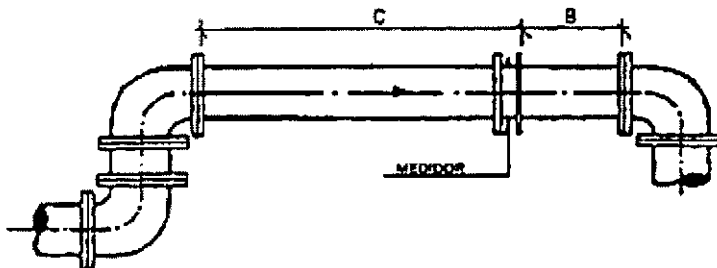
Tabla 12: Longitudes mínimas con rectificadores de flujo

(155) En las Figuras 24 y 25 se muestran los esquemas de instalación de estos macro medidores.

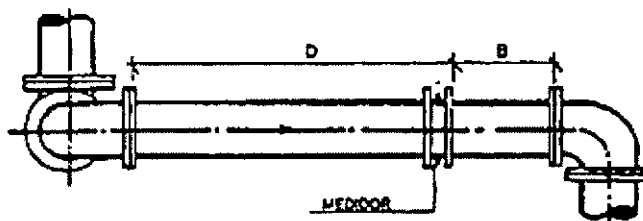
1. MEDIDOR LOCALIZADO DESPUES DE UNA CURVA O TE (FLUJO E UN SOLO RAMAL)



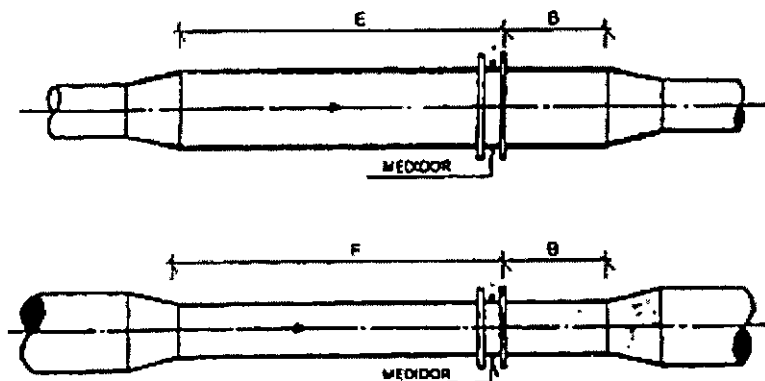
2. MEDIDOR LOCALIZADO DESPUES DE DOS CURVAS EN EL MISMO PLANO



3. MEDIDOR LOCALIZADO DESPUES DE DOS CURVA EN PLANOS DIFERENTES



4. MEDIDOR LOCALIZADO DESPUES DE VARIACION DE DIÁMETRO



5. MEDIDOR LOCALIZADO DESPUES DE VÁLVULA DE COMPUERTA COMPLETAMENTE ABIERTA

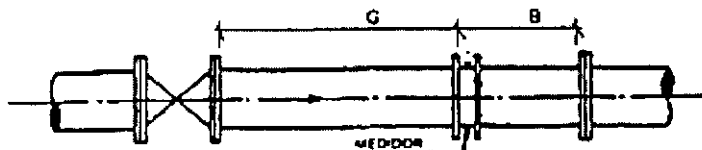
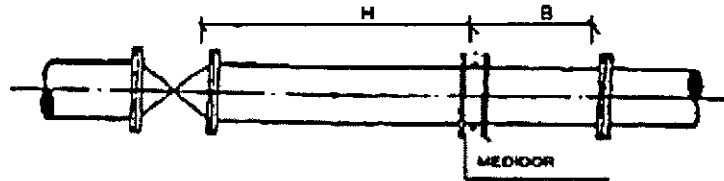
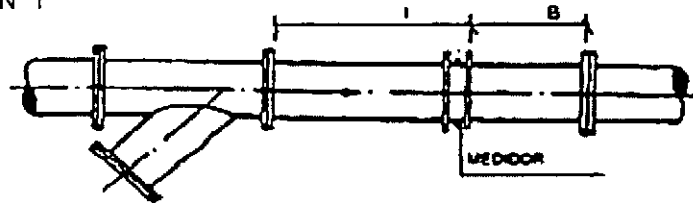


Fig. 24: Longitudes mínimas de tramos rectos

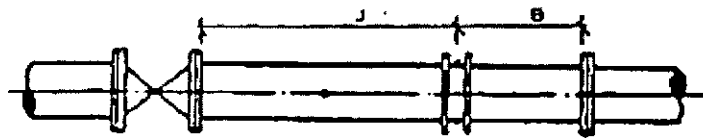
6. VÁLVULA GLOBO Y RETENCIÓN COMPLETAMENTE ABIERTA



7. EMPALME EN "T"

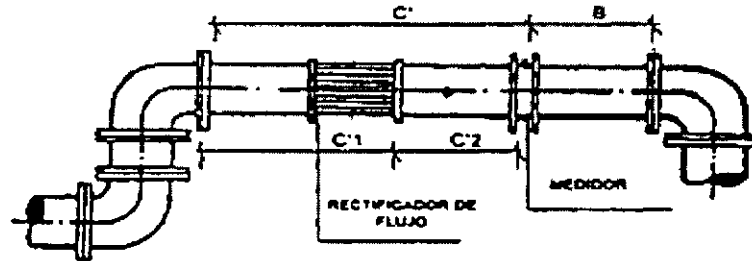


8. VÁLVULA DE CONTROL O PARCIALMENTE CERRADA

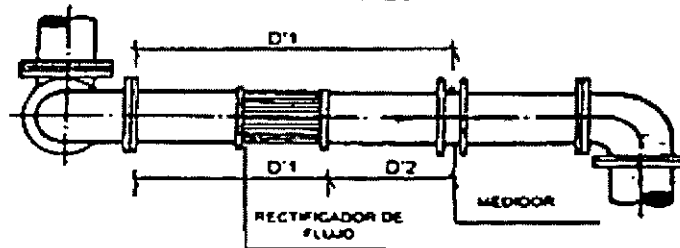


9. CON INSTALACIÓN DE RECTIFICADOR DE FLUJO

9.1 DOS CURVAS EN EL MISMO PLANO



9.2 DOS CURVAS EN PLANOS DIFERENTES



9.3 VÁLVULAS DE CONTROL PARCIALMENTE CERRADAS

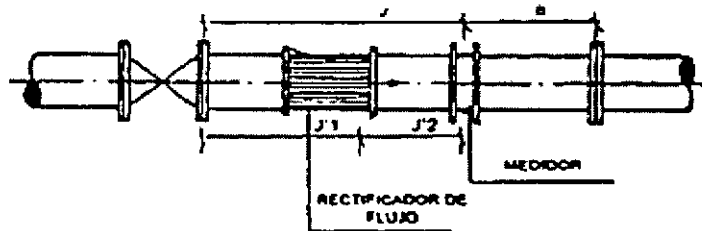


Fig. 25: Longitudes mínimas de tramos rectos

2.4.2.2 Otras recomendaciones para instalación de medidores deprimógenos

- Asegurarse que el macro medidor esté montado en el sentido correcto del flujo, pues caso contrario, genera diferenciales de presión diferentes a los previstos, ocasionando errores muy grandes en la medición.
- Los macro medidores no deben ser instalados en el punto más alto de la tubería, donde pueda ocurrir acumulación de aire.
- El macro medidor debe estar ubicado en el eje horizontal de la tubería, entre 2 tramos rectos, donde las únicas conexiones admisibles son: el dren y la toma de presión.
- En el sitio de la instalación debe haber siempre una presión superior a la presión diferencial producida por el macro medidor, para permitir su condición de operación, inclusive en caso que el transmisor esté instalado lejos del elemento primario.
- Los fabricantes deben extender la placa para incluir una tapa encima del borde de la brida de la tubería. La tapa apropiada para datos del fabricante, debe contener datos pertinentes sobre la instalación específica y debe identificar el lado aguas arriba. Para prevenir errores en la medición del flujo, las empaquetaduras no se deben proyectar sobre la placa, además de las paredes de tuberías, proyectándose en su interior. Típicamente, la placa de orificio requiere un tramo recto de flujo suave antes y después de la placa. Las tapas de presión deben ser instaladas perpendicularmente a la pared de la tubería. Para los tramos horizontales de la tubería, las tapas de presión deben estar en el plano horizontal de la línea central de la tubería. Las imperfecciones o protuberancias en la toma deben ser eliminadas.

← Generalmente la placa de orificio está montada entre un par de bridas.

2.4.2.3 Instalación de medidores tubo pitot modificado - Annubar

- El medidor Annubar debe estar alejado como mínimo 20 D (aguas arriba) y 10 D (aguas abajo) de cualquier accesorio (D = diámetro de la tubería).
- Cuando existan curvas o codos, por precaución, multiplicar por 2 estas longitudes para evitar turbulencia y posibilitar un flujo laminar.

← La instalación del medidor Annubar, debe ser un tramo recto de la tubería.

- El punto seleccionado debe estar alejado, como mínimo, 20 m de redes de alta tensión, para evitar campos magnéticos.
- Otras recomendaciones:
 - Instalar el elemento primario en forma perpendicular a la tubería, correctamente centrado.
 - Alinear, el eje de los orificios de impacto, para que sean perpendiculares al sentido de flujo.
 - Verificar que el orificio de instalación del medidor tipo Annubar cercano a la superficie de la tubería, por donde se introduce el medidor, no este obstruido por incrustaciones de la propia tubería.
 - Evitar irregularidades en el acabado superficial del medidor, que puedan producir alteraciones en la medición.

← El diferencial de presión debe ser mínimo de 127 mm de columna de agua, para que el elemento secundario capte la señal hidráulica sin dificultades.

2.4.2.4 Instalación de medidores Woltmann

(156) Cuando exista conexiones y accesorios en la tubería, se debe asegurar que entre estos y el macro medidor haya una tubería rectilínea del mismo diámetro que el macro medidor, con una longitud mínima específica. Esta longitud mínima varía con el tipo de construcción del medidor, o sea, si la turbina está posesionada vertical u horizontalmente, y también puede variar de un fabricante a otro.

← Siempre que se adquiera un macro medidor, solicitar la distancia mínima que el fabricante especifica y debe ser respetada.

(157) Como ejemplo se presenta en las Figuras 26 y 27 las distancias mínimas exigidas por los macro medidores Woltmann.

(158) El macro medidor no debe ser instalado en puntos altos de la tubería donde pueda ocurrir acumulación de aire.

(159) El macro medidor debe ser instalado de tal manera que no estén sujetos a esfuerzos mecánicos provenientes de variaciones térmicas y/o vibraciones excesivas.

(160) El macro medidor debe estar protegido de la acción de los agentes físicos.

(161) Debe evitarse la circulación del flujo en sentido contrario al previsto por el macro medidor.

(162) En el momento de la instalación, debe asegurarse que el macro medidor está montándose en el sentido correcto del flujo.

(163) Las instalaciones deben estar provistas de todos los equipos de seguridad requeridos para la protección del macro medidor.

(164) El macro medidor debe instalarse perfectamente nivelado, pues cuando está inclinado sufre desgastes prematuros en los apoyos y pivotes del eje de la turbina y genera errores elevados de lectura en flujos bajos.

(165) Los medidores de flujo de turbina o propulsores deben ser instalados con un filtro para prevenir la interferencia de sólidos con el mecanismo de turbina. Debido a que estos medidores son afectados por las configuraciones aguas arriba que causan remolinos o fluctuaciones de velocidad, los fabricantes a menudo proporcionan o recomiendan rectificadores de flujo aguas arriba de la tubería.

← Los rectificadores de flujo son instalados para minimizar el efecto de las irregularidades de perfil y suavizar la entrada del flujo en el medidor.

(166) Al seleccionar un medidor para una aplicación específica, se debe tener cuidado en asegurar que el flujo máximo no será excedido, excepto por períodos cortos. Pasar la velocidad máxima, por períodos extensos, aumentará el desgaste en los mecanismos y alteraciones en el coeficiente del medidor (K).

(167) Se debe evitar su ubicación cerca de un punto de inyección de productos químicos, y los mecanismos electrónicos que generan las pulsaciones para el elemento secundario, deben ser protegidos de la influencia electromagnética.

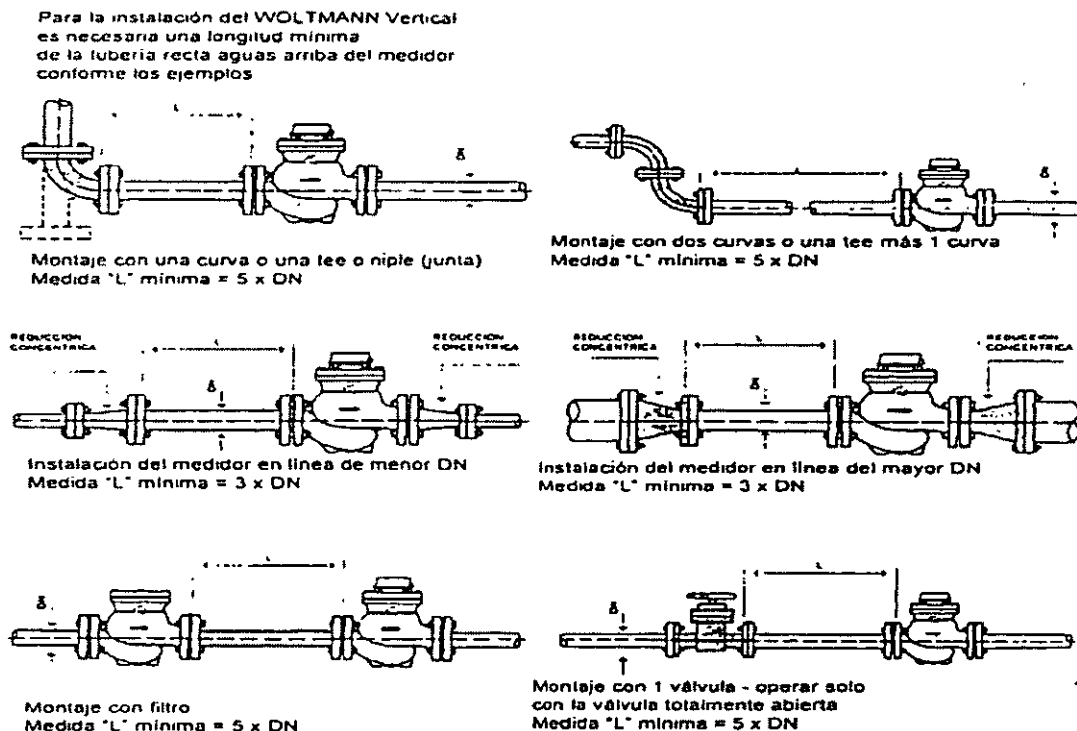


Fig. 26: Longitud mínima para macro medidores Woltmann vertical

Para la instalación del macromedidor Woltmann Horizontal es necesaria una longitud mínima de tubería recta aguas arriba del medidor conforme los ejemplos.

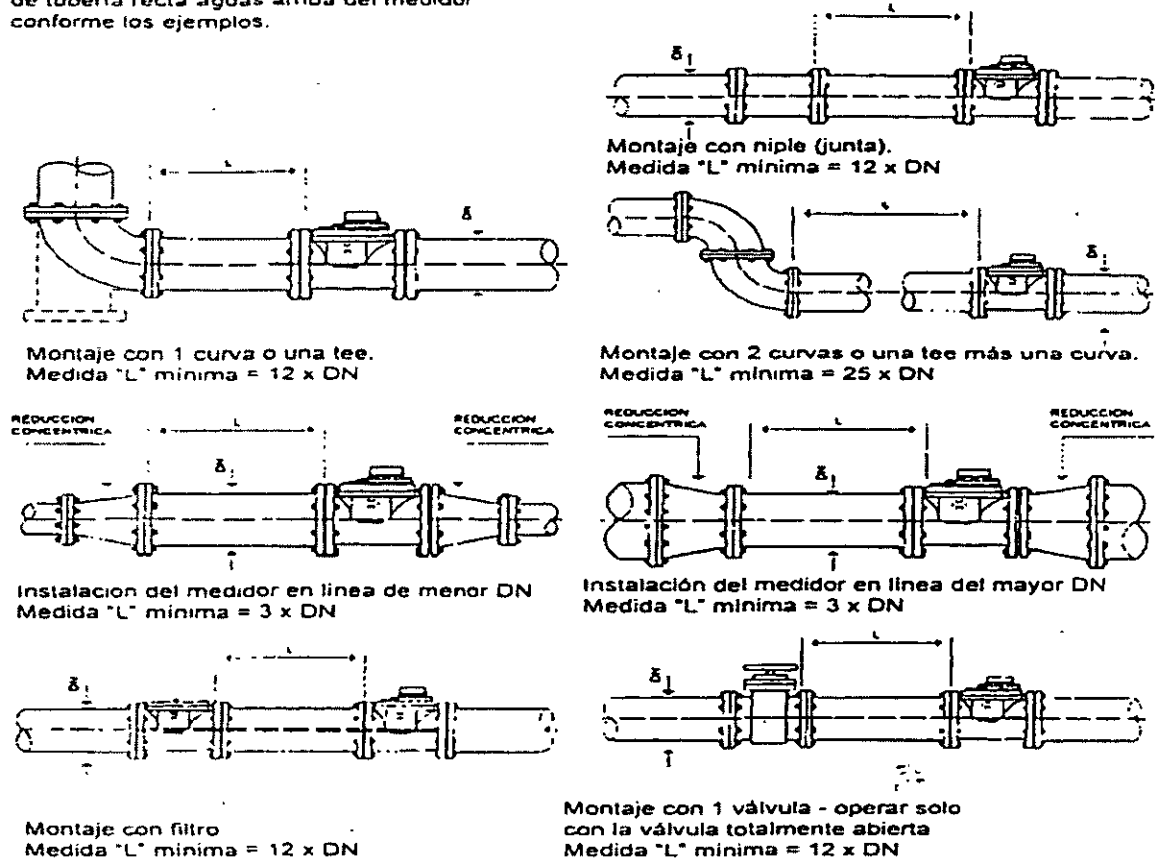


Fig. 27: Longitud mínima para macro medidores Woltmann horizontal

2.4.2.5 Instalación del medidor electromagnético

(168) Un medidor de flujo magnético debe ser instalado con los electrodos ubicados en los bordes del diámetro horizontal y no en el diámetro vertical. Esto asegurará la inmersión continua del electrodo, incluso donde existen burbujas de aire presentes en la corriente de agua.

(169) Se deben seguir las siguientes indicaciones para que el medidor funcione apropiadamente:

- Cuando existan conexiones y/o accesorios en la tubería, asegurarse que entre éstas y el macro medidor, haya una tubería rectilínea del mismo diámetro que el medidor, con una longitud mínima de 5 veces el diámetro interno de la tubería, aguas arriba.
- Seleccionar un medidor que tenga una velocidad razonable en el flujo máximo (1.5 m/s y una velocidad en el flujo mínimo no menor de 0,3 m/s).

- Utilizar conexiones a tierra para derivar las corrientes eléctricas alrededor del medidor, en caso que el medidor esté instalado en una tubería que forma parte de un sistema de prevención de protección catódica.
- Otras consideraciones:
 - En el local de la instalación, la conductividad del agua debe ser $\geq 1\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemen/centímetro).
 - El macro medidor no debe ser instalado en puntos altos de la tubería donde pueda ocurrir acumulación de aire.
 - El macro medidor puede ser instalado en cualquier posición siempre y cuando permanezca siempre lleno de agua, pero los electrodos deben estar siempre en posición horizontal para evitar el paso de burbujas de aire o gases.
 - En el montaje deberá usarse juntas de goma, neopreno o material blando y el ajuste de los tornillos debe ser solamente el suficiente para que quede hermético y no dañe el revestimiento.
 - Cuando se usa, en el montaje, tubería de material sintético o revestido con material aislante, es necesario el uso de anillos de aterramiento colocados entre las bridas o el uso de un tercer electrodo para aterramiento.
 - Instalarlo en un local distante de motores de gran tamaño, transformadores y líneas de alta tensión, que puedan generar campos magnéticos intensos, influyendo en el campo magnético generado por el macro medidor.
 - Las conexiones entre macro medidor y el conversor deben seguir siempre las especificaciones del catálogo. Utilizando cables blindados y conductores metálicos independientes, para alimentación y señal, para evitar inducción de la tensión de alimentación de las bobinas en la señal proveniente de los electrodos.

← Asegurar el aislamiento apropiado, entre el cuerpo del medidor y la tubería, para evitar interferencia transitoria de voltaje.

2.4.2.6 Instalación del medidor ultrasónico

(170) Un medidor sónico requiere aproximadamente, 10 diámetros de tubería de tramo recto aguas arriba y 5 diámetros de tubería de tramo recto aguas abajo, para su correcto desempeño. El medidor no debe ser ubicado cerca de un punto donde haya una caída súbita de presión, que pueda liberar cantidades pequeñas de gas a partir del líquido. El medidor requiere una fuente de energía y debe usar de 8 a 50 W de energía.

← Las tuberías deben ser aisladas del ruido y vibración que puedan interferir con la propagación del sonido del medidor.

(171) El medidor está disponible en dos formas:

Clases de medidor

- **Montaje externo** de los sensores, fijado a la pared externa de la tubería.
- **Montaje interno** con los transductores instalados en nichos contruidos anexados a la tubería.

(172) Para medidores que utilizan el principio de medición por tiempo de tránsito (*Time of Flight*), el agua en el local de la instalación, no podrá contener, más que un valor mínimo de sólidos en suspensión estipulado por el fabricante.

(173) En cambio los medidores, que utilizan el principio de medición por efecto *Doppler*, el agua en el local de instalación, debe contener un valor mínimo de sólidos en suspensión estipulado por el fabricante.

2.4.2.7 Instalación del medidor Parshall

(174) Las indicaciones para la instalación del medidor son:

- El macro medidor será instalado, precedido aguas arriba, por un reservorio de gran dimensión, donde la velocidad sea sensiblemente nula, o por un trecho de canal prismático donde el flujo se realice en régimen uniforme y seguido por un trecho de canal primario en que el flujo sea también uniforme.
- El macro medidor, debe tener el mismo eje de los canales aguas arriba y aguas abajo.
- Puede ser instalado por conveniencia operacional lo más cerca posible de la compuerta de regularización de caudal aguas arriba, pero suficientemente lejos de ésta.
- En la instalación debe asegurarse que el tramo convergente de entrada, que es plano, quede perfectamente nivelado y centrado con relación al canal.
- Se debe escoger un sitio del canal donde el macro medidor trabaje desahogado.
- Se debe prever acceso fácil a los puntos de medición.

← El flujo en la región de entrada del macro medidor, será uniforme y completamente libre de vértices, turbulencias y ondas.

2.4.2.8 Instalación de los vertederos triangulares

- El canal de aproximación, debe tener una sección transversal lo más regular posible y con una longitud de tramo recto suficiente, para asegurar un flujo laminar con velocidad de aproximación uniforme.

Indicaciones de instalación

- El tramo rectilíneo, debe ser mínimo 10 veces el ancho del canal, en caso que el ancho del vertedor sea igual a la mitad del ancho del canal de aproximación.
- La uniformidad del flujo puede ser conseguida con rejas colocadas transversalmente en el sentido del flujo.
- Las condiciones deseables de uniformidad de velocidad se consiguen, a través de placas deflectoras verticales de madera. Estas placas están a una distancia mínima, aguas arriba del vertedor, de 10 veces la máxima carga hidráulica a ser medida.
- La estructura que forma el vertedero debe ser rígida, sin fugas y capaz de soportar cargas, sin sufrir rajaduras por deformaciones.
- La estructura donde se fija la lámina vertedora no debe presentar protuberancias en la cara aguas arriba y aguas abajo. No presentar interferencias que perjudiquen la aireación de la vena líquida.
- La lámina vertedora debe instalarse perfectamente nivelada.
- La parte aguas abajo del vertedero, debe permitir en cualquier condición flujo con lámina desahogada.

2.5 Lecturas y datos

(175) Los macro medidores son equipos compuestos por un elemento primario y un elemento secundario.

1 Interacción de los Elementos en la Medición

Generación de datos

El **elemento primario registra el cambio** que está ocurriendo en el flujo o en la superficie del agua y enseguida **lo indica al elemento secundario**. La indicación es hecha físicamente o a través de una señal eléctrica proporcional a la interacción ocurrida.

La indicación física puede ser hidráulica (a través de tuberías) o mecánica (transmitida por ejes y engranajes).

En la indicación a través de señales eléctricas, los elementos primarios generan señales estandarizadas (mayormente un estándar de 4 a 20 mA DC - corriente continua) al elemento secundario, donde son condicionadas.

Al final el elemento secundario también genera señales estándar 4 a 20 mA DC para funciones posteriores como: medición local/remota, transmisión vía modem por telemetría, conversión a puertos seriales de computadoras, etc.

2 Lectura y Recolección de los Datos

Lectura de datos

La información de salida del dispositivo de medición puede ser leída no sólo localmente, sino remotamente a distancias significativas del local de la medición.

Localmente, **los instrumentos muestran la información de salida en forma de indicación, gráfico o totalización.**

Incluso, se pueden usar colectores de datos (*data loggers*), para almacenar las informaciones de salida y ponerlas a disposición de las computadoras cuando sea necesario. Programas especiales hacen el procesamiento de los datos y emiten informes de medición en el formato deseado.

En la EPSA donde existan condiciones financieras y desarrollo tecnológico, también se pueden utilizar técnicas de telemetría. En esta técnica, las cantidades físicas medidas pueden ser transmitidas a lugares distantes en formatos adecuados para visualización y análisis en computadoras. La transmisión puede ser efectuada vía radio, microondas, teléfono, etc.

← Por telemetría e instalaciones computarizadas se puede monitorear todo un sistema de abastecimiento de agua.

2.6 Mantenimiento

2.6.1 Capacitación tecnológica para operar y mantener los aparatos

(176) Las opciones de medidores mencionadas, presentan tecnologías de fabricación, que requieren un nivel adecuado de capacitación del personal. De esta manera, es conveniente considerar en la selección del medidor la realidad de la EPSA en cuanto a su capacitación tecnológica.

← Personal capacitado debe operar los medidores. Y los proveedores de los equipos son los indicados para esta capacitación.

(177) Sin embargo, en cuanto al mantenimiento, se debe considerar la posibilidad, que el fabricante suministre repuestos, asistencia técnica en el país y, si fuera aplicable, ejecute el mantenimiento. Lo que implica costos adicionales, por servicio técnico especializado.





(178) No obstante, siempre que sea posible, se recomienda seleccionar medidores tipo Woltmann, ya que la EPSA podrá estar capacitada para mantener este tipo de medidor en sus talleres de mantenimiento.

2.6.2 Certificados de garantía

(179) Además de atender las expectativas determinadas por los requerimientos de control operacional y control de pérdidas, siempre se debe tener especial atención en certificar la evaluación de los medidores ofertados por los fabricantes, calidad del producto y garantía.

← Los certificados de evaluación de los medidores, deben extenderse en lo posible cuando estos son instalados y operando en campo.

(180) Estos certificados de evaluación deben ser emitidos por organismos prestigiosos para casos de calibración del medidor en condiciones ideales y en condiciones reales de operación.

	<p>3. El caudal, la presión y el nivel de agua son datos importantes para el departamento de operaciones de una EPSA, con cuya información se podrán determinar las políticas a seguir para el abastecimiento de agua. Para obtener tal información es de mucha utilidad el empleo de macro medidores.</p> <p>4. La comparación de datos obtenidos de los macro y micro medidores nos dará una información más precisa de las pérdidas de agua que existen en el sistema de abastecimiento.</p>
	<p>6. ¿Cuáles son los objetivos de la macro medición?</p> <p>7. ¿Qué aspectos se deben observar para seleccionar el lugar de montaje de un macro medidor?</p> <p>8. ¿Qué ítems comprende el costo de implantación del macro medidor?</p> <p>9. ¿Qué tipos de macro medidores son empleados para mediciones permanentes?</p> <p>10. ¿Cómo funciona la generación de datos en los macro medidores?</p>
	<p>4. Citar que medidores de nivel existen.</p> <p>5. Enumere las precauciones generales para la instalación de macro medidores de caudal.</p>
	<p>3. Para obtener una macro medición cabal, se deben emplear los medidores adecuados a cada caso, estar bien instalados y ser manejados por personal capacitado.</p> <p>4. Los macro medidores deberán poseer un certificado de garantía que acredite el estado óptimo del aparato, no solo antes de instalarlo sino cuando este esta también funcionando.</p>

3. SECTORIALIZACION DE REDES

(181) Los distritos o sectores de medición son parte de la red de distribución de una zona de presión, pueden independizarse desde el punto de vista hidráulico, por medio de maniobras en válvulas o aislando los conductos con tapones; con la finalidad de realizar estudios de distribución de consumos y de reducción de pérdidas.

← El objetivo principal de la sectorización de la red de medición, es facilitar la reducción de pérdidas por fugas.

(182) El aislamiento de parte de la red de distribución, se hace de forma que, el distrito formado de esta manera sea abastecido por una sola entrada, a veces esto no es posible, siendo común encontrar distritos con más de una entrada y, eventualmente con más de una salida, debiendo aislar el distrito mediante la operación de las válvulas.

(183) Aplicar esta metodología exige que se introduzcan una serie de mejoras en la red de distribución, haciéndola efectivamente operacional y reduciendo costos de operación y mantenimiento.

3.1 Conocimiento de la red de distribución (catastro de redes)

(184) Antes de encarar un proyecto de distritación o sectorización de la red, es necesario conocer en detalle la red de distribución, por lo que es conveniente ejecutar previamente un catastro de redes, como elemento básico de infraestructura de control de pérdidas de agua y de control operacional y gerencial, que debe funcionar integrado al sistema operacional, permitir desarrollar un sistema técnico administrativo permanente y facilitar el perfeccionamiento del sistema de información catastral y la intervención directa en la red de distribución.

(185) Apoyado en una base cartográfica, se debe, **localizar y dibujar sobre el plano maestro la información existente** sobre los siguientes aspectos: Tuberías (primarias y secundarias), diámetros, material longitud, válvulas (tipo y estado), hidrantes (tipo y estado). Mediante inspección verificar la localización, el estado de funcionamiento y las características de los accesorios en la red y determinar longitudes de la red en cada diámetro.

Recopilación de información

(186) Medir caudales en algunos puntos importantes para **determinar como se está distribuyendo el agua a lo largo de la red**, con equipos ultrasónicos portátiles cuyos resultados debe registrarse en el plano maestro de acuerdo con los sitios seleccionados.

(187) **Medir presiones a diferentes horas del día en puntos estratégicos de la red**, tales como puntos bajos, altos y en el centro de la localidad. Es muy fácil realizar con un manómetro indicador de glicerina, existen también equipos electrónicos.

(188) **Establecer la operación actual del sistema**, en lo referente a periodos de suspensión por zonas, válvulas de cierre, sectores definidos, etc.

EPSA										
Diagnóstico rápido de red				Formulario SR-01						
Red	Diámetro	Material	Longitud (m)	Válvulas			Hidrantes			
				N°	Tipo	Estado		N°	Estado	
✓	X	✓	X							
Matriz	12"	PVC	---							
	10"	AC	---							
	10"	FG	---							
	12"	FF	---							
	8"	FFD	---							
Secundaria	8"	PVC	300	2	Compuerta	2		1		1
	6"	PVC	922	4	Compuerta	3	1	1	1	
	4"	PVC	505	5	Compuerta	3	2	1	1	
	3"	PE	11140	15	Compuerta	12	3	4	4	
	2"	FG	10315	---						
	3/4"	FG	1560	---						
Totales			24742	26		20	5	7	6	1
PVC	Cloruro de polivinilo	PE	Poliétileno de Alta Densidad	AC	Asbesto cemento	✓				Buen estado
FG	Fierro galvanizado	FFD	Fierro Fundido dúctil	FF	Fierro fundido	X				Mal estado

Tabla 13: Tabla resumen de características de la red

(189) Esta actividad sirve para determinar datos importantes como:

Características de la red

- Longitud total de la red del sector en revisión

Es necesario conocer en cada distrito la red en detalle, la longitud, diámetro y material de las tuberías, fecha de instalación, estos datos son útiles a la hora de ejecutar un control de pérdidas y evaluar indicadores de operación y mantenimiento.

- Número de viviendas, edificaciones y sitios existentes

Son imprescindibles los datos generados por el área comercial, registrados en lo que se denomina Catastro de Clientes, donde se indican datos como el número de viviendas en el sector, habitantes por vivienda, destino del servicio o categoría, doméstico, comercial o industrial.

- Estado de los medidores de los clientes

Una práctica corriente es mantener un catastro de medidores, que no es otra que un registro mediante tarjetas o base de datos, con información sobre el estado del medidor, fecha de instalación, fecha de mantenimiento preventivo, estado de la caja e información sobre defectos que puede presentar el medidor, como vidrio empañado, instalado al revés y otros. Hasta hace muy poco se contemplaba la ubicación en el predio, actualmente los medidores se instalan siempre en el exterior de las viviendas, lo que permite un fácil acceso para su lectura y mantenimiento, en caso de corte del servicio por mora en el pago facilita el trabajo, lo que generalmente no sucede cuando el medidor se encuentra en el interior de la vivienda.

- Fugas visibles e invisibles

Las fugas en las tuberías pueden ser visibles, que son fácilmente detectadas porque fluyen a la superficie e inundan las vías e invisibles aquellas que por la naturaleza del suelo u otros factores son difíciles de detectar y tienen generalmente como salida las redes de alcantarillado. Estas pueden producir un ruido leve o audible.

- Fugas en conexiones

Las fugas en las conexiones domiciliarias ocupan un alto porcentaje de origen de las mismas en los programas de detección y control de fugas, esta certeza ha llevado a muchas EPSAs a adoptar materiales diferentes a los utilizados de forma tradicional, como el polietileno de alta densidad, estas experiencias han tenido como resultado una disminución importante en este factor de pérdidas.

- Datos de los clientes

Es necesario conocer también datos de los usuarios o clientes, como categoría del servicio, si el servicio es medido o no, cantidad de personas a las que se sirve y clientes que gozan de beneficios decretados por disposiciones legales en actual vigencia, como los privilegios de las personas mayores a 65 años.

3.2 Actividades de la operación de la red

(190) La actividad más importante de operación de la red, es la apertura y cerrado de válvulas, trabajo que debe desarrollarse de forma lenta, sin apresuramientos, que pueden causar efectos en cadena a lo largo de la red, debido a los cambios de presión que

producen estos cierres de válvulas, conocidos como golpe de ariete.

3.3 Criterios para sectorializar la red de distribución de agua

3.3.1 Concepción

(191) El distrito o sector de medición debe **cumplir con los siguientes requisitos:**

- Debe tener el menor número posible de entradas y salidas, siempre que sea posible, tendrá solamente una entrada y ninguna salida.
- El diámetro de la tubería de entrada debe ser compatible con el consumo esperado, de tal forma que sea posible medir caudales dentro de una precisión aceptable.
- Los límites del distrito en lo posible deben coincidir con avenidas, carreteras, vías férreas y ríos, de no ser así el distrito puede aislarse de la red de distribución cerrándose válvulas de paso. Las redes de distribución, internas y externas al distrito, deben tener buenas condiciones de presión aún en las horas de gran consumo.
- El distrito debe estar dentro de los límites de una sola zona de presión y debe en lo posible coincidir con la propia zona de presión.

← La velocidad promedio en la tubería debe ser superior a 0,40 m/s durante las horas de consumo mínimo.

(192) El tamaño de la red comprendida en los distritos no debe ser muy grande, para evitar cambio en las características de consumo y otras condiciones de la red a lo largo del tiempo de desarrollo de los mismos. Los coeficientes de consumo, incluyendo a los que pueden colocar a la red bajo sospecha de fugas, pueden dar indicaciones inexactas cuando los distritos abarcan grandes extensiones de red, agravándose la situación debido a la existencia de industrias y otras conexiones que consumen agua durante la noche.

(193) Para priorizar la **implantación de distritos** se debe considerar **dos aspectos** básicos:

- La **red** está **mal abastecida** y la detección, localización y reparación de fugas puede resolver este problema.
- La **red** es **antigua** o hecha de material inadecuado y presenta una gran cantidad de fugas.

3.3.2 Proyecto

(194) Proyectar un distrito significa **proponer obras y mejoras** que se encuadren en los requisitos mencionados.

(195) En el proyecto de distrito deben considerarse:





- Proponer obras de eliminación de puntos muertos de la red.
- Complementar y reforzar las tuberías primarias.
- Proyectar válvulas de paso que permitan dividir la red del distrito en tramos de pequeña longitud (menores a 1000m).
- Las estaciones de medición se deben proyectar con **dos finalidades distintas**:
 1. **Medir los consumos del distrito**, para lo que es necesario establecer estaciones de medición en las entradas y salidas del distrito, teniendo cuidado que el diámetro de la tubería sea compatible con los consumos esperados, evitando bajas velocidades e imprecisión de las medidas. Si la velocidad del agua en la tubería de entrada es baja (inferior a 0.40 m/s) se debe proyectar un by pass de manera que la velocidad del desvío sea adecuada.
 2. **Medición de consumos nocturnos**, en tramos de la red de longitud inferior a 1000m.
- Reforzar la red secundaria, para que a partir de la única entrada sea posible abastecer bajo buenas condiciones de presión la tubería del distrito, en las horas de consumo mínimo nocturno.
- Proyectar válvulas de paso que permitan aislar el distrito del resto de la zona de presión, sin causar falta de agua.

3.4 Frecuencia de lectura de macro medidores, en fuentes y en distritos

(196) Las lecturas de macro medidores y micro medidores deben ser coincidentes, sean estas diarias o semanales.

(197) Las pérdidas para un sistema de agua potable, representan la diferencia entre la medida de las cantidades de agua suministrada al sistema de distribución en un intervalo de tiempo determinado, con la suma de los consumos obtenidos en los medidores de los clientes y los volúmenes facturados o estimados de edificaciones registradas en el catastro, pero sin medidores o cuyos medidores no funcionan, en el mismo intervalo de tiempo.

← Las lecturas en los medidores deben ser realizadas en el mismo período de tiempo, para poder ser comparadas.

	<p>5. Una adecuada sectorialización de la red, facilitará la ubicación de macro y micro medidores.</p> <p>6. En una red bien sectorializada se puede reducir al máximo las pérdidas por fugas visibles e invisibles.</p>
	<p>11. ¿Por qué es importante sectorializar la red de distribución de agua?</p> <p>12. ¿Cuál es la actividad más importante de operación en la red?</p> <p>13. ¿Con que finalidad se debe proyectar la estación de medición?</p>
	<p>6. Citar en que criterios se basa la sectorialización de una red.</p> <p>7. Analizar los aspectos que comprende un proyecto de distrito de la red de distribución de agua.</p>
	<p>5. Un plano y catastro de la zona bien levantados, son la base para una sectorialización de la red de distribución de agua.</p>

4. BALANCE HÍDRICO O DE AGUAS

(198) Es el **método para calcular los volúmenes de pérdida de agua** en los diferentes procesos que se realizan en un sistema de agua potable (ver Fig. 28). Definición

(199) Los resultados del balance de agua permiten conocer: Objetivos

- Condiciones técnicas de funcionamiento del sistema de agua potable.
- Determinar los niveles o **índices de pérdidas** en los subsistemas que lo constituyen.
- Formular y priorizar un **programa de disminución y control de pérdidas**, que redunde en el mejoramiento de la gestión técnica y empresarial de la EPSA y el cumplimiento de las normas existentes.

4.1 Información necesaria

(200) Para establecer el balance hídrico en un sistema de agua potable **es necesario contar con la información empresarial y técnica** mencionada, así mismo incluye lo referente al manejo propio de la EPSA, así como información complementaria obtenida a través de mediciones en campo.

← Para calcular el balance hídrico en el sistema de distribución, es necesario establecer la confiabilidad de la información obtenida.

4.2 Forma de realización

(201) Un balance hídrico se realiza a partir de la evaluación de la información general relacionada con la prestación del servicio de agua potable y, en especial, de los resultados del diagnóstico empresarial y técnico del sistema.

(202) La Tabla 14, presenta de manera ordenada la información general, comercial y técnica requerida, **la metodología de cálculo para determinar el balance hídrico** del sistema de agua potable, así como también los resultados de los análisis sobre pérdidas en el sistema, que es generado por el área técnica.

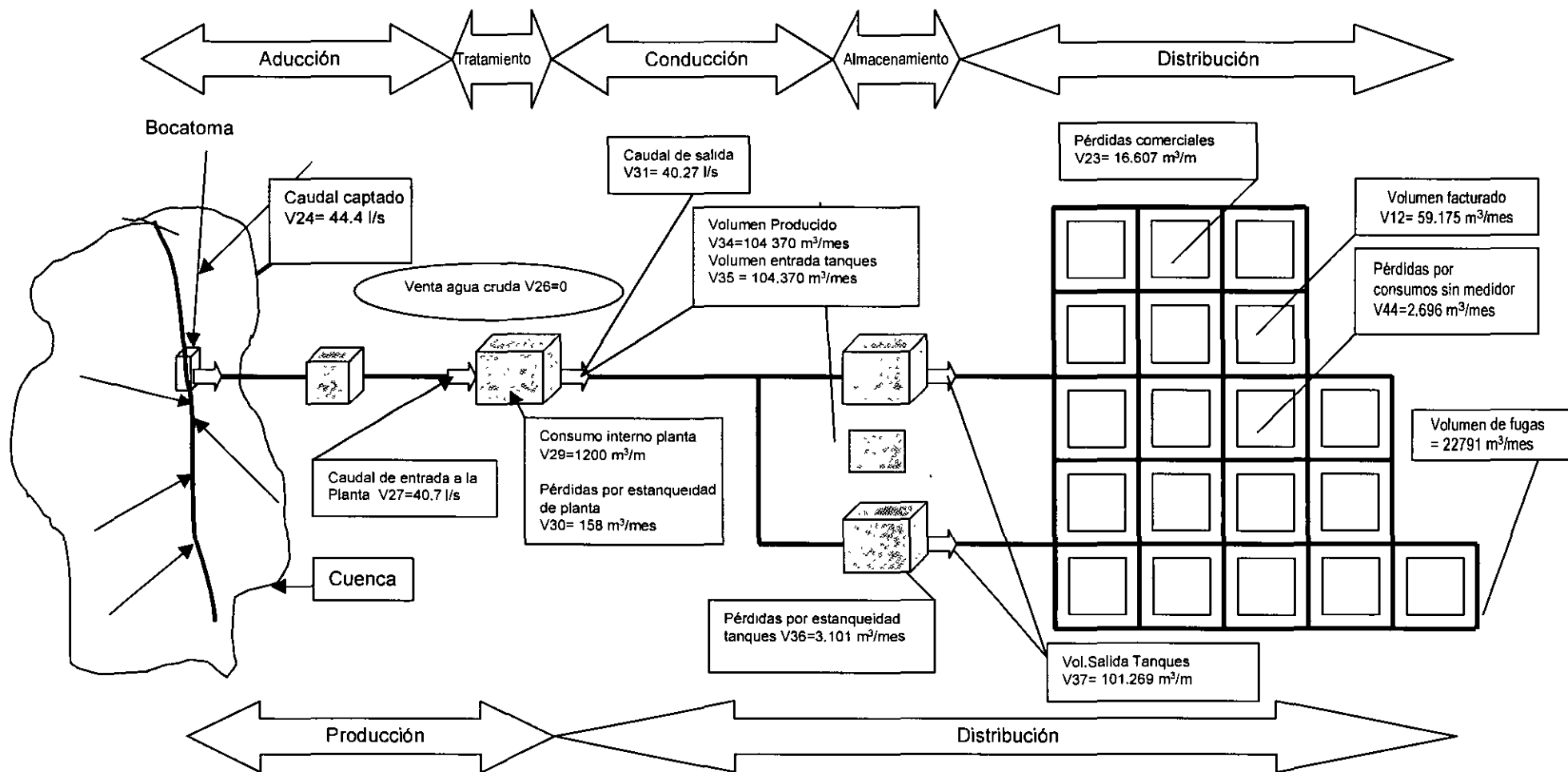


Fig. 28: Esquema de un sistema de Agua Potable

EPSA					
Balance de Aguas					Formulario
Información general					
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento
V1	Población urbana	Habitantes	12.750	Oficina de Planificación Municipal	Información INE o plan de desarrollo municipal o Plan Operativo Anual
V2	Número de domicilios (incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales, oficiales e institucionales)	Unidades	2.550	INE, Oficina de Planificación Municipal, unidad de catastro de clientes	INE censo de población o plan de desarrollo municipal o POA
Información comercial					
V3	Número de conexiones o clientes registrados	Unidad	2,539	EPSA	Formulario 1-Anexo
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Unidad	2,241	EPSA	Formulario 1-Anexo
V5	Número de conexiones con medidor parado	Unidad	288	EPSA	Formulario 1-Anexo
V6	Número de conexiones sin medidor	Unidad	10	Fórmula	V3-(V4+V5)
V7	Número estimado de conexiones clandestinas	Unidad	11	Fórmula Censo de clientes	V2-V3
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	m ³ /mes	58,707	EPSA	Formulario 2-Anexo (Total consumo mes)
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	m ³ /mes	288	EPSA	Formulario 2-Anexo
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	m ³ /mes	180	EPSA	Formulario 2-Anexo
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	m ³ /mes	0	EPSA	
V12	Volumen total facturado	m ³ /mes	59,175	EPSA	V8+V9+V10+V11
V13	Error promedio en los micromedidores	%	12.7	Banco de pruebas de medidores	13 ensayos a diferentes caudales por medidor
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	m ³ /mes	66,163	Fórmula	V8*(1+V13/100)
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	(m ³ /mes-usuario)	29.5	Fórmula	V14/V4
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	1.8	EPSA	Información comercial
V16	Consumo real por usuario sin medición	(m ³ /mes-usuario)	53.1	EPSA	Formulario 3-Anexo
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	m ³ /mes	8,503	Fórmula	V15*V5
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medidor	m ³ /mes	531	EPSA	Formulario 3-Anexo
V19	Pérdidas por error en micromedición	m ³ /mes	7,456	Fórmula	V14 -V8
V20	Pérdidas por usuarios sin medición	m ³ /mes	351	Fórmula	V18 -V10
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	m ³ /mes	8,215	Fórmula	V17 -F41
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	m ³ /mes	585	Fórmula	V16*V7
V23	Total pérdidas comerciales	m ³ /mes	16,607	Fórmula	V19+V20+V21+V22
Información técnica operativa					
V24	Volumen de agua captado	m ³ /mes	115,085	Bocatoma	
V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	m ³ /mes	0	Punto de entrada a la aducción	Medición de caudal

Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor	Obtención de la variable	
				Sitio	Procedimiento
V26	Volumen de agua cruda vendido	m ³ /mes	0	EPSA	Información comercial
V27	Volumen de entrada a la planta	m ³ /mes	105,728	Punto cercano de llegada a la planta	
V28	Pérdidas en el proceso de captación	m ³ /mes	9,357	Fórmula	V24+V25-V26-V27
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	m ³ /mes	1,200	Registros de consumo planta	
V30	Pérdidas por estanquidad, filtración en válvulas y accesorios en la planta	m ³ /mes	158	Entrega desagüe planta	Medida volumétrica
V31	Volumen de salida de la planta	m ³ /mes	104,370	A menos de 200 mts de la salida	
V32	Pérdidas por otras fugas y reboses en la planta	m ³ /mes	0	Fórmula	V27-V29-V30-V31
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	m ³ /mes	0	EPSA	Información comercial
V34A	Volumen producido (suministrado por ESP)	m ³ /mes	104,370	EPSA	Información comercial
V34	Volumen producido (con medición)	m ³ /mes	104,370	Fórmula	V31+V33
V34B	Pérdidas por error en macromedición	m ³ /mes	0		V34-V34A
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	m ³ /mes	104,370	Medida entrada a tanque	
V36	Volumen de pérdidas por estanquidad en los tanques de almacenamiento	m ³ /mes	3,101	Tanques de almacenamiento	
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento	m ³ /mes	101,269	Salida tanques	
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	m ³ /mes	0	Fórmula	V35-V36-V37
V39	Volumen por venta de agua en bloque	m ³ /mes	0	EPSA	Información comercial
V40	Caudal mínimo nocturno medio	m ³ /mes	55,676	A la salida de los tanques especializado	Medición con equipo
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	m ³ /mes	32,885	Usuarios industriales	Lecturas de consumo
V42	Caudal promedio diario	m ³ /mes	101,269	A la salida de los tanques especializado	Medición con equipo
V43	Volumen de consumo operacional (Lavado de tanques + purga y lavado de tuberías)	m ³ /mes	0	EPSA	Registros de información operativa
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor (Riego parques + bomberos + carrotanques + fuentes públicas)	m ³ /mes	2,600	EPSA	Registros de información operativa
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	m ³ /mes	45,195	Fórmula	V34 -V12
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	m ³ /mes	3,101	Fórmula	V36+V38
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	m ³ /mes	22,791	Fórmula	V40-V41
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	m ³ /mes	96	Fórmula	V45-V47-V46-V44-V43-V23
V49	Factor de investigación	Factor	0.23	Fórmula	(v40-V41)/V42
	Búsqueda de fugas		Innecesaria		
V50	IANC en el proceso de CAPTACIÓN	%	8.1%	Fórmula	V28/V27*100
V51	IANC en el proceso TRATAMIENTO	%	0.1%	Fórmula	(V30+V32)/V27*100
V52	IANC en el proceso DISTRIBUCIÓN	%	43.3%	Fórmula	V45/V34*100

Tabla 14: Procedimiento para determinar el ANC

(203) El **balance hídrico** en el proceso de distribución **está determinado por una ecuación lineal**, que puede tener una o varias incógnitas y cuya estructura general es la siguiente:

Ecuación del balance hídrico

$$\text{Pérdidas de distribución} = \text{pérdidas comerciales} + \text{pérdidas técnicas}$$

(204) Empleando las mismas variables de la tabla 14, la estructura de esta ecuación sería:

$$V45 = (V19 + V20 + V21 + V22) + (V43 + V44 + V46 + V47 + V48)$$

(205) En términos generales, las **incógnitas más frecuentes** son:

Incógnitas de la ecuación

- Pérdidas por operación inadecuada del sistema, las cuales están representadas en fugas ocasionadas por excesos de presión en la red.
- Pérdidas por conexiones clandestinas, las cuales no se pueden determinar fácilmente (V22).
- Pérdidas por usuarios sin medición, debido a que no se conocen los comportamientos reales de consumo de estos usuarios (V20).

(206) Durante el procedimiento para calcular el balance hídrico en el sistema de distribución, es necesario establecer la contabilidad de la información obtenida para calcular estas variables. Aquella variable que cuente con menor contabilidad, debe ser utilizada como incógnita para hacer el cierre o balance de la ecuación. En nuestro ejemplo se utilizó como incógnita la variable de pérdidas por operación inadecuada del sistema, ya que el municipio cuenta con buena información sobre conexiones clandestinas y usuarios no medidos.

← Frecuentes incógnitas son: las pérdidas por: usuarios sin medición, operación inadecuada del sistema y conexión clandestina.

(207) Los resultados del balance de aguas del sistema del ejemplo se muestran en la Tabla 15.

(208) Las pérdidas en el proceso de distribución se deben descomponer, para formular de manera adecuada el programa de control de pérdidas. Para tal efecto se puede emplear el formato T-02 (ver Tabla 15).

EPSA				
FORMATO T-02	COMPOSICIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN			
Concepto	Volumen de pérdidas (m ³ /mes)	Puntos Porcentuales de pérdidas*	Puntos porcentuales fijos por concepto**	Meta de reducción en puntos porcentuales
PERDIDAS COMERCIALES	16.607	15.9	5.0	7.9
Pérdidas por error en micromedición	7.456	7.1	3.0	0
Pérdidas por usuarios sin medición	351	0.3	0	0
Pérdidas por usuarios con medidor parado	8.215	7.9	0	7.9
Pérdidas por usuarios clandestinos	585	0.6	2.0	0
PÉRDIDAS TÉCNICO-OPERATIVAS	25.588	27.4	14.0	10.4
Volumen de consumos operacionales	0	0	2.0	0
Pérdidas por consumos especiales sin medidor	2.600	2.5	0	0
Pérdidas en tanques de almacenamiento	3.101	3.0	0	3.0
Pérdidas en fugas visibles y no visibles	22.791	21.8	10.0	7.4
Pérdidas en operación inadecuada del sistema	96	0.1	2.0	0
TOTAL PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN	45.195	43.3	19.0	18.3

* Los puntos porcentuales de pérdidas por cada concepto se calculan dividiendo la columna de volumen de pérdidas entre el volumen de producción (V34).

** Los puntos fijos de un sistema se ajustan teniendo en cuenta, para cada paso en particular, las metas propuestas, los costos de reducción del índice y los parámetros de comparación establecidos.

Tabla 15: Composición de las pérdidas en distribución

(209) Las **metas propuestas** suponen **reducir el índice de agua no contabilizada (IANC)** al 25%, concentrando los esfuerzos en **tres objetivos**, que en orden de importancia son:

Objetivos del IANC





1. Reducir las pérdidas por clientes con medidor parado.
2. Reducir las pérdidas por fugas visibles y no visibles.
3. Reducir las pérdidas por estanqueidad en los tanques.

(210) No se ha propuesto una mayor reducción de pérdidas en fugas visibles y no visibles, teniendo como criterio el **valor del factor de investigación (F1)** calculado en el formato T01 de la tabla 14 (variable V49), ya que el resultado obtenido de 0.25, indica que no es prioritario reducir las pérdidas por este concepto. Este factor debe **compararse con los siguientes valores de referencia:**

Valores del factor de investigación

- | | |
|-------------------------------|--|
| Sí $F_i < 0.3$ | No hay necesidad de buscar fugas. |
| Sí F_i está entre 0.3 y 0.6 | Se debe iniciar un programa de búsqueda de fugas. |
| Sí $F_i > 0.6$ | Es prioritario iniciar un programa de búsqueda de fugas. |

(211) La información obtenida en este capítulo aporta los elementos que se requieren para establecer unos criterios precisos para formular el programa de control de pérdidas, desarrollado en el capítulo siguiente.

	7. <i>Por medio del balance hídrico de aguas se podrá calcular el volumen de las pérdidas en el sistema de distribución de agua.</i>
	14. <i>¿Cuáles son los objetivos del balance hídrico de aguas?</i> 15. <i>¿Qué incógnitas son las más frecuentes en la ecuación del balance hídrico de agua?</i> 16. <i>¿Entre que valores está el factor de investigación y que significa cada rango?</i>
	8. <i>Leer y analizar la Tabla 14, donde se detalla el procedimiento de cálculo del agua no contabilizada (ANC).</i> 9. <i>Dibujar un esquema del sistema de agua potable.</i>
	6. <i>El determinar la existencia de fugas por uno u otro motivo, servirá para plantear el programa de control de pérdidas del recurso hídrico.</i>

5. PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS

5.1 Definición

(212) Un programa de control de pérdidas es un conjunto armónico de actividades realizadas por una empresa, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en el que los componentes y las causas de las pérdidas sean los mínimos posibles, dentro de condiciones de viabilidad ambiental, financiera y social. Las actividades de control de pérdidas se extienden a todas las áreas de la EPSA.

← El desconocimiento sobre la magnitud de las pérdidas, no permite a los gerentes desarrollar acciones eficaces para su reducción.

(213) Los resultados alcanzados por la EPSA a través del **control de pérdidas contribuyen para una gestión empresarial y técnica eficiente**, capaz de alcanzar en forma permanente sus objetivos con el menor costo posible. Esta gestión está enmarcada en el logro de **cinco metas** fundamentales que la caracterizan:

Metas de una gestión eficiente

- a) El sistema de abastecimiento de agua debe ser capaz de captar, bombear, conducir, tratar y distribuir volúmenes de agua suficientes para la atención de la demanda de la población (**cantidad**).
- b) El agua entregada a la población debe cumplir con parámetros de calidad dentro de los estándares de potabilización reconocidos (**calidad**).
- c) El sistema de abastecimiento de agua debe proveer a la población un servicio continuo, sin intermitencia (**continuidad**).
- d) Las variables capaces de influir en el abastecimiento de agua deben ser bien conocidas y dominadas por el personal encargado de las labores de operación y mantenimiento (**confiabilidad**).
- e) El costo del agua entregada a la población debe ser el menor posible (**eficiencia costo**), asegurando márgenes de rentabilidad.

(214) La prestación ineficiente del servicio mantiene a los gerentes y/o administradores del servicio en constante estado de tensión, presionados por los reclamos de los usuarios a causa del mal servicio, por la insuficiencia de recursos financieros para hacer frente a las necesidades de ampliación de la cobertura del servicio y, en especial, porque no saben cuáles son las verdaderas causas del problema.

← Desconocer las pérdidas de agua, impide desarrollar acciones gerenciales eficaces, trasladando a los clientes los costos de una mala gestión.

(215) Una gestión empresarial y técnica del servicio que sea ineficiente, lleva a un menor alcance de los proyectos, implica la construcción de nuevos sistemas o ampliaciones mucho antes que los sistemas iniciales hayan cumplido su vida útil.

↳ La decisión de ampliar el sistema de agua potable, se basa en la deficiencia del suministro de agua y no en datos contables y estudios de diagnósticos reales.

(216) Por ello, un programa de control de pérdidas debe enfocar no sólo aspectos relativos a sus efectos, como fugas, errores de medición, entre otros, sino que debe también establecer las acciones que lleven a eliminar sus causas. El programa no involucra únicamente a la empresa, sino también a los usuarios y a la comunidad en general.

5.2 Objetivos de un programa de control de pérdidas

(217) El objetivo general de un programa de control de pérdidas es establecer las acciones necesarias para hacer el diagnóstico de las pérdidas y la formulación y puesta en marcha de actividades prioritarias, que las disminuyan hasta valores mínimos admisibles, de acuerdo con criterios de rentabilidad financiera, ambiental y social.

(218) Estas acciones requieren la coordinación de las personas e instituciones que intervienen en el proceso, de manera que, con una asignación y ejecución racional de tareas se logre un estado gerencial eficiente en la entidad prestadora del servicio.

(219) Un **programa de control de pérdidas** está compuesto **por varios subprogramas** que, al ser aplicados en conjunto, constituyen los instrumentos de acción para reducir las pérdidas en un sistema de agua potable.

Conformación de un programa

(220) De acuerdo con lo visto en los capítulos anteriores, la reducción de los niveles de agua no contabilizada implica el desarrollo de acciones prioritarias en las distintas áreas de trabajo de la EPSA, según la importancia de las pérdidas, para llevarlas a valores admisibles, a través del desarrollo de los siguientes subprogramas:

5.2.1 Subprograma comercial

(221) Contempla las acciones y actividades necesarias para reducir las pérdidas de agua relacionadas con las actividades de comercialización del servicio de agua potable. Comprende, entre otros, la ejecución de los siguientes proyectos: instalación de micro medidores, catastro de usuarios,

detección y control de conexiones clandestinas. El alcance y las actividades de cada uno de estos proyectos se describen a continuación.

a) Proyecto de instalación de micro medidores

Incluye el desarrollo de las siguientes actividades:

- Definición de políticas de micro medición (criterios técnicos, sociales, económico-financieros)
- Procedimientos administrativos (adquisición, instalación y control de micro medidores)
- Mantenimiento de los medidores (correctivo y preventivo)
- Determinación de consumos (lectura y crítica)
- Análisis del comportamiento de los consumos y de los medidores (tipo de consumidores).

← Los micro medidores controlan la utilización racional del servicio de agua potable, cobrándolo según su uso y distribuyendo al mayor número de usuarios.

b) Proyectos de censo de clientes y catastro de usuarios

Incluye a los usuarios reales y a los clandestinos para el cobro del servicio, así como también a los factibles potenciales para la planificación y la comercialización necesarias para la expansión de los servicios. Prevé la actualización del sistema comercial de la empresa.

← El censo permite registrar los consumidores que constituyen el mercado consumidor de la empresa.

c) Proyecto de detección y control de conexiones clandestinas

Tiene como finalidad reducir el porcentaje del consumo de agua no facturada en aquellos predios ubicados en áreas de servicio de la empresa que hacen uso del agua del sistema de agua potable mediante fraude en sus instalaciones. Este proyecto incluye el **desarrollo de las siguientes actividades:**

- Diagnóstico y legalización de conexiones clandestinas
- Estudios para detección, clasificación y caracterización de conexiones clandestinas masivas.
- Estudios para detección, clasificación y caracterización de conexiones clandestinas dispersas.
- Medidas encaminadas a disminuir el porcentaje de conexiones clandestinas.

Actividades del programa

5.2.2 Subprograma técnico

(222) Comprende las acciones y actividades necesarias para reducir las pérdidas de agua que se presentan en los componentes técnicos del sistema de agua potable. Contempla, entre otros, la ejecución de los siguientes proyectos:

- Instalación de equipos de macro medición
- Sectorización de las redes de distribución
- Control de fugas visibles y no visibles
- Rehabilitación de las redes

← La empresa debe reducir al mínimo el tiempo promedio que transcurre entre la aparición de una fuga y su eliminación.

(223) El alcance y las actividades que contempla cada uno de los anteriores proyectos se describen a continuación:

a) Proyecto de control de fugas visibles y no visibles

Reducir al mínimo **el tiempo** promedio, que transcurre, entre la **aparición de una fuga y su eliminación**, a través de la revisión y el ajuste de los procedimientos y la metodología.

Objetivo

El proyecto debe contemplar las siguientes etapas:

Etapas del proyecto

- Establecer un procedimiento para promover entre la población la **comunicación de fugas visibles**.
- Establecer en la empresa procedimientos que garanticen una **atención al público** correcta y eficiente.
- Diseñar procedimientos, para la **eliminación rápida de fugas**.
- Participación de los funcionarios de la empresa en la **información sobre fugas visibles** detectadas durante trabajos externos.
- Identificación de áreas críticas donde hay mayor incidencia de fugas y **adopción de medidas correctivas**.
- Instrumentación de un servicio de **detección y localización de fugas no visibles**, a través de procesos compatibles con las condiciones tecnológicas, operacionales, económicas y financiera de la empresa. La determinación del proceso más adecuado deberá basarse en un análisis de beneficio/ costo.
- Disponibilidad de **equipos o instrumentos** básicos para **detección de fugas**, bien sea mediante adquisición o alquiler.
- **Capacitación** del personal
- **Caracterización** en planos o formatos de las fugas detectadas.

- Acciones para **reducir fugas** en las instalaciones **intradomiciliarias**, mediante instalación de medidores y campañas de educación de los usuarios, para mejorar el mantenimiento de sus instalaciones hidráulicas.
- Reducción de la pérdida de agua por fugas mediante la **reducción de la presión** en la red de distribución.

b) Proyecto de catastro de redes del sistema de Agua Potable

Actualización del catastro de tuberías y accesorios indispensables, para la operación del sistema de abastecimiento.

Objetivo

Este proyecto incluye el desarrollo de las siguientes actividades:

- Definición de características de los planos catastrales
- Definición de las características de los croquis de cruces de vías públicas (esquineros)
- Definición de los procesos, para archivo y recuperación de información catastral.
- Definición de los procedimientos, para el levantamiento de la información catastral en el campo.
- Instrucciones para la actualización de los planos catastrales y los croquis de cruces de vías.

← El proyecto de catastro sirve de apoyo a las tareas de detección, localización y reparación de fugas.

c) Proyecto de instalación de macro medidores

Se desarrolla con el fin de instalar medidores permanentes para la obtención, procesamiento, análisis y divulgación de datos operacionales de rutina relativos a caudales, presiones y niveles de agua en el sistema de abastecimiento. Si bien con la ejecución de este proyecto no se reducen las pérdidas en el sistema, es un programa indispensable para tomar acciones razonables, desde el punto de vista económico.

Para poner en marcha este proyecto, la EPSA debe identificar y seleccionar puntos estratégicos de medición que le permitan establecer el balance hídrico del sistema, tal como se indicó en el capítulo anterior; adecuar sitios de medición; instalación de elementos y/o equipos de medición; analizar y evaluar los resultados obtenidos y acometer las acciones para controlar las pérdidas.

La macro medición es un instrumento imprescindible para orientar la operación del sistema de abastecimiento de agua y para obtener estadísticas de producción y distribución de agua, tales como:

← El número y tipo de macro medidor que se instale depende de la complejidad y características del sistema.

- Evaluación permanente de las condiciones hidráulicas reales del funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua.
- Determinación de los volúmenes y caudales de agua en varios puntos del sistema y su análisis, teniendo en cuenta los comportamientos esperados.
- Determinación y análisis de las presiones en las tuberías y de los niveles de agua en tanques o pozos, para orientar tanto la operación de rutina del sistema, como la planificación de cambios en ella.
- Evaluación del tiempo de saturación de los sistemas, en función de la evolución demográfica, socioeconómica y cultural de las comunidades.
- Determinación periódica de las pérdidas en el sistema de distribución, a través de la diferencia entre los volúmenes de agua producidos y suministrados al sistema de distribución y los volúmenes de agua facturados.
- Determinación periódica de los componentes de las pérdidas, tales como errores de macro y micro medición, pérdida de agua por fugas y rebalses, conexiones clandestinas, consumos especiales y consumos operacionales.
- Determinación de coeficientes de consumo, incluidos los consumos per cápita, los relativos a hora y día de mayor consumo, los consumos por extensión de la red, por conexión domiciliaria, los consumo mínimos nocturnos.
- Determinación de los volúmenes de agua potable producidos e inyectados al sistema de distribución.
- Determinación de los volúmenes de agua utilizados en el proceso de tratamiento del agua.
- Evaluación de los sistemas de micro medición existente, incluyendo: grado de adecuación de los medidores domiciliarios al régimen de demanda de los domicilios, grado de precisión y sensibilidad de los medidores y equipos, eficiencia del mantenimiento, planificación de la sustitución de los medidores y grado de eficiencia de la lectura y el procesamiento de datos.

d) Proyecto de sectorización redes de distribución

Procesar y analizar la información que caracteriza el estado de funcionamiento hidráulico de las redes en cuanto a caudales, presiones, niveles de agua y procesos de manipulación de elementos de control, como válvulas de control y estaciones de bombeo.

← Mejorar las condiciones de funcionamiento, operación y mantenimiento de las redes de distribución de agua potable.

Para desarrollar este proyecto, es necesario que la EPSA conozca las características físicas de la red, es decir, cuente con el catastro técnico y esté al tanto de su funcionamiento hidráulico. Es importante que al definirse los límites de los sectores y subsectores, se haga de manera que, corten el menor número de tuberías y se minimice el número de puntos de medición de caudal, sin afectar la calidad del servicio.

Este proyecto incluye el desarrollo de las siguientes actividades:

Actividades del proyecto

- **Planificación** de la operación del sistema de distribución.
- **Definición de criterios y opciones de operación** destinados a establecer la configuración más adecuada del sistema de abastecimiento de agua.
- **Diseño de los sectores** de la red.
- **Desarrollo y utilización de modelos computacionales** de simulación de las condiciones hidráulicas de las redes.
- **Materialización de los sectores** en el terreno.
- Implantación de **métodos de medición** de caudales por sectores.
- **Regulación de las presiones** de servicio en las redes de distribución.

e) Proyecto de rehabilitación de redes

Se desarrolla con el fin de rehabilitar o reponer oportunamente las redes de transporte y distribución de agua del sistema de agua potable, garantizando así la atención de la demanda, la continuidad y calidad del servicio en el corto, mediano y largo plazo.

← Reducir al mínimo las pérdidas de agua por causa del deterioro físico de las redes.

Para realizar este proyecto, se requiere que la EPSA identifique las causas que motivan la rehabilitación de las redes, como: ocurrencia de daños, edad de las tuberías, materiales de las redes y adecuación de las redes a proyectos de ampliación.

Este proyecto incluye el desarrollo de las siguientes actividades:

- **Registro y control** del estado de funcionamiento de las redes, en cuanto a número de roturas, fugas, etc.
- Desarrollo de programas de **mantenimiento preventivo y correctivo**.
- **Elaboración de planes y programas de renovación** de redes, con criterios de factibilidad técnica, económica y financiera.

5.3 Formulación del programa de control de pérdidas

(224) Para reducir las pérdidas en el sistema de agua potable, la EPSA identificará los proyectos y las actividades que requiere realizar en el corto, mediano y largo plazo y que le permitan desarrollar una gestión eficiente en la prestación del servicio. Para este fin, una vez concluido el diagnóstico técnico y empresarial y evaluados sus resultados, la EPSA debe programar las metas anuales a alcanzar.

← Un sistema de agua tiene pérdidas fijas y mínimas, debajo de las cuales resulta inconveniente y antieconómico desarrollar programas para su reducción.

(225) A manera de guía, el formato P-01 presenta los puntos o porcentajes de pérdidas para, cada subprograma y proyecto que conforma un programa de control de pérdidas. Estos puntos permiten orientar las prioridades para que la EPSA reduzca el índice de agua no contabilizada hasta niveles admisibles.

EPSA			
Programa	Puntos totales	Puntos fijos de un sistema	Meta de puntos a reducir
Subprograma comercial:			
Micro medición	15.3	3	7.9
Catastro de usuarios, facturación y clandestinos	0.6	2	0
SUBTOTAL	15.9	5	7.9
Subprograma técnico			
Fugas no visibles, visibles, sectorización	27.4	13	10.4
Catastro de redes	0	0	0
Macro medición	0	1	0
SUBTOTAL	27.4	14	10.4
TOTAL IANC	43.3	19	18.3
IANC: índice de agua no contabilizada			

Porcentaje de pérdidas de cada subprograma

Tabla 16: Puntos o porcentajes de pérdidas para cada subprograma y proyecto que conforma un programa de control de pérdidas

(226) El formato P-01 presenta una metodología para la formulación y el seguimiento del plan de acción de la EPSA, conducente a la reducción y al control de pérdidas en el sistema de agua potable.

EPSA										
FORMATO P-01	FORMULACIÓN PLAN DE ACCIÓN									
EMPRESA:					MUNICIPIO:					
Programa	Actividades	Indicadores	Valor actual	Metas anuales						Total
				2001	2002	2003	2004	2005	2006	
A. Subprograma técnico										
MACRO MEDICIÓN	Adquisición y montaje	Nº macro medidores instalados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
SECTORIZACIÓN	Estudio y materialización	Nº sectores ejecutados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
FUGAS NO VISIBLES	Detección y control de fugas	Nº de días de atención								
		Nº de investig. Reportadas y atend./mes								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
FUGAS VISIBLES	Reparación de tuberías rotas	Nº de horas promedio de atención								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
	Control rebalse de tanques	Nº rebalses controlados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
CATASTRO DE REDES	Actualización planos									
	Recuperación IANC (%)									
	Inversión (miles \$)									
REHABILITACIÓN DE REDES	Rehabilitación de redes									
	Recuperación IANC (%)									
	Inversión (miles \$)									
TOTAL		Recuperación IANC (%)								
		Inversión TOTAL (miles \$)								

EPSA										
FORMATO P-01	FORMULACIÓN PLAN DE ACCIÓN									
EMPRESA:					MUNICIPIO:					
Programa	Actividades	Indicadores	Valor actual	Metas anuales						Total
				2001	2002	2003	2004	2005	2006	
B. Subprograma Comercial										
MICRO MEDICIÓN	Adquisición y montaje	N° de medidores instalados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
CATASTRO DE USUARIOS	Actualización de usuarios	N° de usuarios actualizados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
CLANDESTINAS MASIVAS Y DISPERSAS	Detección y control	N° de clandestinos incorporados								
		Recuperación IANC (%)								
		Inversión (miles \$)								
TOTAL		Recuperación IANC (%)								
		Inversión Total (miles \$)								

Tabla 17: Metodología para la formulación y el seguimiento del plan de acción de la EPSA

(227) Se incluye a manera de referencias algunas metodologías para la determinación de pérdidas de agua por estanqueidad en estructuras tales como las plantas de tratamiento y tanques de almacenamiento, así como para el cálculo de los caudales promedio diarios y mínimos nocturnos medidos y conocidos enunciados en el presente manual. Por lo tanto, la aplicación de cualquier método debe ajustarse a las características particulares de los sistemas de agua potable de cada localidad.

← Estos métodos no son únicos, son una guía de cómo obtener información de apoyo, para estudios de diagnóstico como el balance de aguas.

5.3.1 Metodología y cálculo de aforos volumétricos para determinar pérdidas por estanqueidad en las plantas de tratamiento

(228) Se afora el caudal de desagüe de la planta a la salida de la tubería, en la cámara de entrega. El **aforo volumétrico** consiste en medir mínimo unas 5 veces el volumen de agua que se recoge en periodos de 30 segundos, determinando un resultado promedio de las pruebas, así:

Metodología

Prueba	Tiempo (s)	Litros aforados
1	30	3.045
2	30	2.980
3	30	3.049
4	30	2.990
5	30	3.015
6	30	3.007
7	30	3.030
Volumen promedio de las siete pruebas		3.016

Resultados de la prueba

Tabla 18: Aforo volumétrico

Cálculo de pérdidas (Q) por estanqueidad en la planta

$$Q(l/s) = \frac{\text{volumen (litros)}}{\text{tiempo (segundos)}}$$

$$Q(l/s) = \frac{3.016 l}{30 s}$$

$$Q(l/s) = 0.100 (l/s)$$

$$\begin{aligned} Q(m^3/mes) &= 0.100 l/s * 86.400 s/d * 30 d/mes \\ &= 259000 l/mes * 1 m^3 \\ &= 1.000 l \end{aligned}$$

$$Q(m^3/mes) = 259 m^3/mes$$

Cálculo del caudal perdido

(229) Las pérdidas encontradas **obedecen** fundamentalmente a:

Causas de las pérdidas

- **Filtraciones por fisuras** en las estructuras de concreto, como floculadores, sedimentadores, filtros, canales y tanques para aguas cloradas, y por consumo interno.
- **Filtraciones en válvulas** de lavado y desagüe, por desgaste en el sello hermético.
- **Filtraciones en tuberías**, codos, tees, cruces, pasamuros, compuertas e instalaciones hidráulicas en general.

5.3.2 Metodología y cálculo de aforos volumétricos para determinar pérdidas por estanqueidad en el tanque de almacenamiento

(230) La prueba de estanqueidad se puede realizar según el siguiente procedimiento:

Metodología

- Se **desocupa el tanque**, cerrando la válvula de entrada y abriendo totalmente la de salida.
- Se **toman las medidas internas del tanque**: largo, ancho, profundidad y altura del rebose.
- Se **llena el tanque** cerrando la válvula de salida y abriendo la de entrada.
- Una vez lleno, se **cierra la válvula de entrada**.
- A partir de este momento, se **registra el descenso de nivel** y sus diferencias cada tres minutos, durante 27 minutos.
- Con estos datos se **calculan los metros cúbicos de agua perdidos** en este intervalo de tiempo.

Ejemplo

- Medidas internas y altura de rebose del tanque

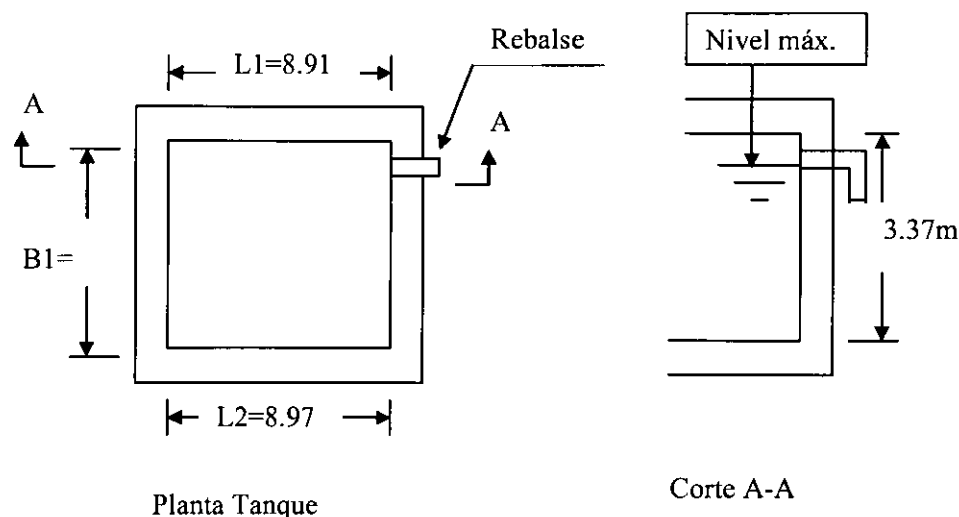


Fig. 29: Ejemplo de tanque

Área superficial del tanque = lado * altura = L*B

Longitud promedio (L): $L = (8.91 + 8.97)/2 = 8.940 \text{ m}$

Ancho promedio (B): $B = (8.96 + 8.87)/2 = 8.915 \text{ m}$

Área superficial del tanque = $8.94 * 8.915 = 79.70 \text{ m}^2$

Resultados de las pruebas volumétricas

Área tanque (m ²)	Altura (m)	Diferencia nivel de agua (m)	Tiempo (s)	Volumen (m ³)	Caudal (l/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (1)*(3)	(6) = [(5)/(4)]*100
79.70	3.370	0.000	0	0	0
	3.365	0.005	180	0.3985	2.21
	3.358	0.007	180	0.5579	3.10
	3.355	0.003	180	0.2391	1.33
	3.349	0.006	180	0.4782	2.66
	3.345	0.004	180	0.3188	1.77
	3.341	0.004	180	0.3188	1.77
	3.335	0.006	180	0.4782	2.66
	3.332	0.003	180	0.2391	1.33
	3.330	0.002	180	0.1594	0.89
Totales		0.040	1.620	3.1880	17.72

Tabla 19: Aforos volumétricos para determinar pérdidas por estanqueidad en un tanque de almacenamiento

Volumen de pérdidas en m³/mes

Área superficial del tanque = 79.70 m²

Volumen de agua desalojado = 79.70 m² * 0.040 m

= 3.188 m³ (en 1620 s)

$$\text{Caudal de pérdidas (m}^3 \text{ / mes)} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{3.188 \text{ m}^3}{1.620 \text{ s}} \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}}$$

$$\text{Caudal de pérdidas (m}^3 \text{ / mes)} = 5.101 \text{ m}^3 \text{ / mes}$$

- Filtraciones por **fisuras y porosidades** en las estructuras de concreto.
- **Filtraciones en pasamuros y válvulas de lavado.**

Causas de las pérdidas

5.3.3 Metodología y pruebas para determinar el caudal promedio diario (Q_{PD}) y el caudal mínimo nocturno (Q_{MN}) a la salida del tanque de almacenamiento

(231) Para la medición de caudales con equipo por ultrasonido se deben **seguir los siguientes procedimientos y recomendaciones**, con el fin de minimizar los problemas causados por la instalación inadecuada de los equipos de medición o por la selección equivocada de la localización del punto de medición:

Metodología

- El punto o sitio de medición debe ser de **fácil acceso** para la instalación e inspección futura del equipo.
- El sitio debe estar lo más **lejos posible de válvulas y accesorios**, que puedan causar turbulencia y, por consiguiente, interferencia en la señal del equipo. Se requiere por lo menos que esté a una distancia equivalente a 20 diámetros de tubería aguas arriba y a 10 diámetros aguas abajo.
- Para puntos cercanos a estaciones de bombeo o válvulas reguladores, se requiere que el punto se localice como mínimo a una distancia aguas arriba equivalente a 50 veces el diámetro de la tubería y 20 veces aguas abajo.
- Es necesario que en el punto seleccionado la **tubería esté trabajando a sección plena**, o "tubo lleno", para evitar la interferencia del aire en la señal del equipo.
- Efectuar una **limpieza general** de maleza, en un radio de acción de al menos 3 m.
- Efectuar una excavación de 1.10 m x 1.10 m, a la profundidad necesaria, de modo que el **tubo quede libre unos 20 cm por encima del suelo y permita la instalación de sensores** o transductores del equipo. Se debe evitar en lo posible profundidades mayores a 2.5 m.

Selección punto de medición

Adecuación del sitio

(232) Una vez seleccionado y adecuado el sitio, se procede a **instalar el equipo**, teniendo en cuenta que para las mediciones de caudal con equipo por ultrasonido **se emplean dos métodos**:

- **Método en V**, es considerado el método estándar y debe ser usado en todas las ocasiones, excepto cuando se requiera únicamente.
- **Método en Z**, permite una lectura más exacta, pues utiliza una trayectoria de medida más larga.

(233) Antes de montar los transductores, se debe:

- Limpiar el sitio donde se van a instalar la tubería, removiendo polvo, escamas o pintura floja.

Montaje de transductores

- Aplicar una capa generosa de compuesto sónico a las caras de cada transductor.
- Determinar la longitud que separa los transductores: para ello es necesario introducir el programa del equipo y los datos de entrada, como diámetro de la tubería, espesor del material, tipo de fluidos y método utilizado. Entonces, el equipo exhibirá en pantalla la longitud deseada.
- Para ajustar la longitud entre los transductores, se utiliza una riel calibrada en milímetros y en pulgadas.
- Por último, se pone en marcha el equipo.

(234) **Método en Z**, la ventaja de este método es que **trabaja en circunstancias que no lo hace el método en V**, por la disminución de las señales a causa de la presencia de aire o de sólidos en el agua o por el revestimiento inapropiado de la tubería. Una ventaja adicional es que por lo general **trabaja en tuberías con diámetros más grandes** y requiere menos espacio para la montura en el tubo.

Método en Z

(235) La razón por la que el método en Z **tiene menos interferencias**, es porque utiliza una señal transmitida de transductor a transductor, atravesando el líquido una sola vez.

(236) Para el método en Z **no se puede utilizar la riel calibrada**, razón por la que se debe establecer una referencia en (ambas) posiciones opuestas (equivalentes a las manecillas del reloj en las 3 y en las 9): para ello se envuelve un papel con escala de medición (medido) alrededor del tubo, marcando el punto de referencia en ambos lados del tubo, equivalentes a 180° y 360°. Por ejemplo, si el perímetro del tubo mide 48 pulgadas, los 180° estarán a 24 pulgadas del otro costado.

(237) Para la instalación de los transductores se utilizan **correas de acero graduables** para diferentes diámetros de tubería.

(238) La frecuencia del **registro de datos es programable en el equipo**. Para este ejemplo de cálculo se programaron los resultados cada hora, durante un periodo de 24 horas. A continuación se presentan los resultados de los caudales horarios, la forma de calcular el caudal promedio diario y el caudal mínimo nocturno para una de las cuatro tuberías de suministro a la red de distribución del municipio de Campoalegre:

Resultados de la medición

Hora	Lectura ultrasonido	Diferencia (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
22:32	7404071			
23:32	7385831	-18.240	3.600	-5.06
00:32	7411393	250562	3.600	7.10
01:32	7421713	10.320	3.600	*2.86
02:32	7431919	10.206	3.600	*2.83
03:32	7439249	7.330	3.600	*2.03
04:32	7441801	2.552	3.600	*0.71
05:32	7457077	15.276	3.600	4.24
06:32	7442395	-14.682	3.600	-4.08
07:32	7497966	55.571	3.600	15.44
08:32	7514991	17.025	3.600	4.73
09:32	7522969	7.978	3.600	2.21
10:32	7586569	63.600	3.600	17.66
11:32	7607598	21.029	3.600	5.84
12:32	7706872	99.274	3.600	27.57
13:32	7674154	-21.718	3.600	-9.09
14:32	7674154		3.600	
15:32	7674154		3.600	
16:32	7674154		3.600	
17:32	7674154		3.600	
18:32	7674154		3.600	
19:32	7623610	-50.544	3.600	-14.04
20:32	7648126	24.516	3.600	6.81
21:32	7710694	62.694	3.600	17.38
Totales	306.623	306.623	82.800	3.70

Tabla 20: Registro horario de caudales

- Cálculo de caudal promedio diario - Q_{PD}

Cálculo de caudales

$$Q_{PD} = \frac{\text{lectura final} - \text{lectura inicial (l)}}{\text{Tiempo transcurrido entre lecturas (s)}}$$

$$Q_{PD} = \frac{7710694 - 7404071 (l)}{82.800 (s)} = \frac{306.623 (l)}{82.800 (s)} = 3.70 \text{ l/s}$$

- Cálculo del caudal mínimo nocturno - Q_{MN} medio

Se determina a partir del análisis de los caudales suministrados a un sector o municipio en horas de mínima demanda (normalmente en la madrugada).

Para este ejemplo:

$$Q_{MN} \text{ medio} = \frac{\text{Promedio de caudales registrados entre 1 a.m. y 4 a.m.}}{4}$$

$$Q_{MN} \text{ medio} = \frac{(2.86 + 2.83 + 2.03 + 0.71) \text{ l/s}}{4} = 2.11 \text{ l/s}$$

- Cálculo del Caudal Mínimo Nocturno conocido - Q_{MN} conocido
Corresponde a los caudales de consumos nocturnos constantes generados por actividades domésticas o industriales que demandan el consumo de agua. Normalmente este caudal es aforado por las entidades prestadoras del servicio, conociéndose con algún grado de precisión su volumen o por el contrario estimándose con base a la actividad económica que lo demande.

5.3.4 Metodología y cálculo para determinar los subregistros de consumo en los micro medidores

(239) A cada medidor de agua se le debe realizar 13 pruebas, consistentes en hacer pasar por el medidor volúmenes de 100, 50, 20 y 10 litros durante diferentes tiempos, conformando así 13 caudales de 3000, 2500, 2000, 1500, 1000, 750, 250, 150, 120, 90, 60, 40 y 30 l/h. Para cada caudal volumen de paso se toman las lecturas inicial y final del medidor en litros, y su diferencia se relaciona con los volúmenes conocidos, expresados en porcentajes de exactitud.

Metodología

- Ensayo de exactitud por medidor

Resultados de la prueba

Caudal l/h	Volumen (l)	Lectura Inicial (l)	Lectura Final (l)	Exactitud (%)	Exactitud Requerida (%)
3000	100	853,80	958,00	104,20 (1)	98 - 102
2500	100	958	1061,80	103,80 (1)	98 - 102
2000	100	1061,80	1165,60	103,80 (1)	98 - 102
1500	100	1165,60	1268,90	103,30 (1)	98 - 102
1000	100	1268,90	1371,50	102,60 (1)	98 - 102
750	100	1371,50	1472,50	101,00 (1)	98 - 102
250	50	1472,50	1522,10	99,20 (1)	98 - 102
150	20	1522,10	1522,10	0,00 (1)	98 - 102
120	20	1522,10	1522,10	0,00 (1)	98 - 102
90	10	1522,10	1522,10	0,00 (2)	95 - 105
60	10	1522,10	1522,10	0,00 (2)	95 - 105
40	10	1522,10	1522,10	0,00 (2)	95 - 105
30	10	1522,10	1522,10	0,00 (2)	95 - 105

Tabla 21: Ejemplos de ensayos por exactitud por medidor

(240) Una vez realizada la prueba individual a cada medidor, se procede a clasificar el grado de exactitud por marca, tipo y rango de caudal entre 30 - 120 l/h y 120 - 3000 l/h, denominados campo inferior y superior de medición. Los resultados se pueden presentar en los siguientes formatos:

Forma de presentar resultados

Medidor N°	Exactitud promedio presentada	
	Caudales	Caudales
3057	30 - 120 l/h	120 - 3000 l/h
Promedio	0.00 (2)	79.77 (1)

(1) y (2): El porcentaje de exactitud de cada caudal para cada medidor, se calcula como el promedio aritmético de los porcentajes de exactitud obtenidos para los diferentes caudales en estos rangos.

Tabla 22: Campo inferior y superior de medición por medidor

5.4 Equipos utilizados para la detección de fugas

5.4.1 Correlador acústico microcorr

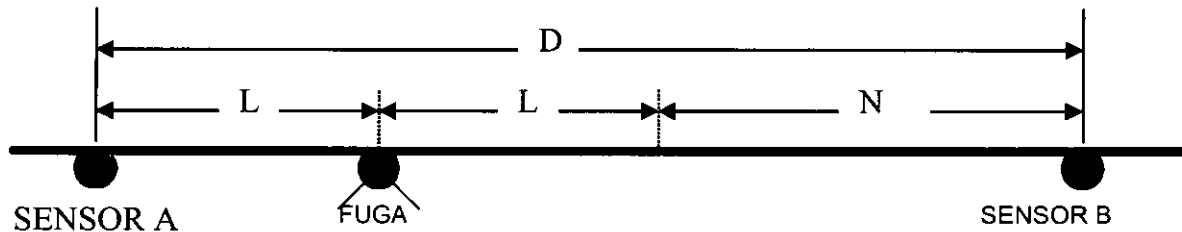


Fig. 30: Aplicación de un correlador acústico

(241) El tiempo transcurrido para que el ruido alcance el punto A es inferior al tiempo transcurrido para que alcance el punto B:

Tiempo para alcanzar el sensor A = L/V

Tiempo para alcanzar el sensor B = $(D - L)/V$

La resta entre estos valores proporciona la diferencia entre los dos tiempos de recorrido:

$$TN = \frac{(D - 2L)}{V} \quad \text{o} \quad L = \frac{(D - VTN)}{2}$$

Donde:

D = distancia entre los dos sensores

L = distancia de la fuga al sensor más próximo

V = Velocidad del ruido a lo largo del tubo

TN = Diferencia entre los tiempos transcurridos para que el ruido de la fuga alcance los dos sensores

← El ruido de una fuga se propaga en la tubería en sentidos opuestos, con velocidades iguales.

5.4.2 Geófono electrónico

(242) Equipo que transmite una señal sonora la misma produce diferentes sonidos, según el material que atraviesa y especialmente con el material en el que rebota, normalmente metálico.

5.4.3 Detector electrosónico de fugas de agua

(243) Tiene una acústica y sensibilidad alta, parecido a un instrumento sismológico, cuenta con un amplificador de alta fidelidad y un medidor visual que señala las intensidades de los sonidos.

5.4.4 Caudalímetro ultrasónico

(244) Macro medidor ultrasónico de fácil instalación y que permite medir de forma precisa el caudal que pasa por una tubería.

← Método que realiza mediciones en dos puntos a la vez, en un sector se puede medir caudales de entrada y salida.

5.4.5 Detector de tubería metálica

(245) El instrumento tiene un funcionamiento basado en la propagación de ondas, el equipo genera una onda que si no encuentra la tubería se pierde en el terreno, en cambio cuando encuentra una tubería genera un rebote que a su vez produce una señal audible.

5.4.6 Detector de tubería no metálica

(246) Este equipo detecta el movimiento del agua dentro de la tubería, por las vibraciones que produce, debido a que detectar algo no metálico es difícil, si no se ha previsto la colocación de algún elemento que ayude a su detección. Está basado en ondas sonoras por lo que generalmente se realiza en trabajo nocturno donde los ruidos de la ciudad son menores disminuyendo la generación de ruidos fantasmas que pueden producir resultados falsos.

5.4.7 Detector de válvulas

(247) Su funcionamiento es el mismo que los instrumentos para detectar tubería metálica.

5.4.8 Registrador continuo de presión

(248) Basado en un manómetro, tiene la posibilidad de registrar los cambios de forma gráfica en periodos de tiempo determinados, posibilita la realización de comparaciones entre caudales y presiones en los mismos tiempos.

	<p>8. <i>El desarrollar un correcto programa de control de pérdidas, llevará a una eficiente gestión empresarial y técnica del servicio de agua potable.</i></p> <p>9. <i>Un servicio de agua deficiente, derivará en la construcción de nuevos sistemas de abastecimiento o ampliaciones, siendo estos innecesarios por tratarse de pérdidas de agua no controladas.</i></p>
	<p>17. <i>¿Cuál es el objetivo de un programa de control de pérdidas de agua?</i></p> <p>18. <i>¿Qué subprogramas conforman el programa de control de pérdidas?</i></p> <p>19. <i>¿Qué actividades contempla el proyecto de rehabilitación de redes?</i></p>
	<p>10. <i>Citar los equipos que existen para la detección de fugas.</i></p> <p>11. <i>Hacer una lista de los proyectos que contempla el subprograma técnico.</i></p> <p>12. <i>Describir la metodología de cálculo de pérdidas de agua por estanqueidad en las plantas de tratamiento y en los tanques de almacenamiento.</i></p>
	<p>7. <i>Emplear equipos para detectar fugas existentes.</i></p> <p>8. <i>Implementar un programa de control de pérdidas, que no se limite solo a analizar el efecto de las pérdidas sino también a solucionar las causas de las mismas. Para ello deben estar involucrados tanto la empresa que dá el servicio como el usuario.</i></p>

* * *

ANEXOS

Anexo 1: Formato de planificación del Módulo (FPM)

Area:	Operaciones Técnicas	Código: 2	Programa:	Distribución	Código: 2.2
Objetivo del Programa:	Suministrar agua en condiciones seguras evitando fugas				

Módulo:	MACRO-MICRO MEDICION Y CONTROL DE FUGAS	Código: 2.2.2	Requi- Sitos:	<ul style="list-style-type: none"> Experiencia 2 años en operación de redes Técnico medio, superior o Ingeniero
Objetivo terminal del Mód.:	Los/las participantes son capaces de: Cuantificar el agua no contabilizada, identificar y controlar fugas			Tiempo total [hr:min reloj]: 37:00

UNIDADES TEMATICAS

Cod.	Objetivo parcial Los/las participantes	Tema y contenidos	Prerrequisitos	Bibliografía recomendada	Tiempo [hr:min reloj]
2.2.2.1	Pueden seleccionar medidores adecuados a las necesidades de la EPSA, calibrarlos, instalarlos, llevar un catastro, interpretar y criticar resultados y mantenerlos	Objetivos de la micro medición 1. Selección, evaluación y dimensionamiento de micro medidores 2. Evaluación de medidores nuevos 3. Criterios de instalación de micro medidores 4. Catastro 5. Lectura 6. Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Operación de Banco de pruebas 		13:00
2.2.2.2	Son capaces de seleccionar medidores adecuados a las características del lugar a medir y de la calidad del agua, calibrarlos, instalarlos, llevar un catastro, interpretar y criticar resultados y mantenerlos	Macro medición 1. Objetivos de la macro medición 2. Criterios generales y específicos 3. Selección 4. Instalación de macro medidores de caudal 5. Lecturas y datos 6. Mantenimiento			10:30
2.2.2.3	Saben los criterios para sectorializar la Red, instalar macro medidores.	SECTORIALIZACION DE REDES 1. Conocimiento de la red de distribución (catastro de redes) 2. Actividades de la operación de la red 3. Criterios para sectorializar la red de distribución de agua 4. Frecuencia de lectura de macro medidores, en fuentes y en distritos			04:00
2.2.2.4	Son capaces de interpretar las lecturas y realizar un balance hidrico	Balance hídrico o de aguas 1. Información necesaria 2. Forma de realización			02:00
2.2.2.5	Tienen los criterios y conocimientos para elaborar y ejecutar el programa de control de agua no contabilizada	Programa de control de pérdidas 1. Definición 2. Objetivos de un programa de control de pérdidas 3. Formulación del programa de control de pérdidas 4. Equipos utilizados para la detección de fugas			07:30

Anexo 2: Ejemplo de especificaciones técnicas para la adquisición de micromedidores

1. Objetivo

Esta especificación fija las características exigibles en la adquisición de medidores de caudal para conexiones domiciliarias de agua potable.

Abarca los aparatos del tipo: de velocidad; de chorro múltiple o único; con mostrador seco, transmisión magnética y clase metrológica E, para las siguientes capacidades:

DIAMETRO NOMINAL (pulg)	CHORRO	CAPACIDAD NOMINAL (m ³ /h)
½"	Múltiple ó único	3
¾"	Múltiple	5
1"	Múltiple	7
1½"	Múltiple	20

Tabla 23: Capacidades nominales de medidores por diámetro

2. Definiciones

a) Muestra

Medidores de agua retirados aleatoriamente de un lote a ser inspeccionado.

b) Tamaño de la Muestra (n)

Número de medidores que forman parte de la muestra.

c) Lote

Determinada cantidad de medidores de agua del mismo modelo y grupo, presentados en conjunto para inspección en un mismo tiempo.

d) Tamaño del Lote (N)

Número de medidores de agua que forman parte del lote.

e) Lote de Entrega (o Partida)

Determinada cantidad de medidores de agua, comprendiendo uno o más lotes de medidores del mismo modelo y grupo, recibida o expedida para fines comerciales.

f) Regulador Externo

Dispositivo que permite regular el medidor sin necesidad de interferencia en la Cámara de Medición.

3. Disposiciones Generales

3.1 Precalificación

a) Cada participante de la licitación debe presentar 5 medidores para cada modelo ofertado de los cuales serán seleccionados 3 en forma aleatoria para las pruebas de *Aprobación del Modelo*.

b) Los proveedores de medidores con modelo aprobado estarán habilitados técnicamente para participar en la licitación.

- c) Los proveedores con modelo reprobado estarán eliminados del proceso licitatorio.
- d) Luego de la entrega oficial de las muestras de medidores para precalificación, no será permitida la sustitución bajo ninguna argumentación.
- e) El local de entrega de los modelos será la oficina de la EPSAA

3.2 Lotes de adquisición

- a) La cantidad de medidores a ser adquirida, la definición de los lotes de entrega y el local de entrega constan en el Cuadro 1 anexo a esta Especificación.
- b) La entrega de los medidores será de acuerdo al cronograma anexo a esta Especificación.
- c) Los medidores deben ser sometidos a EXAMEN INICIAL, probados y sellados con certificado emitido por el IBNORCA.
- d) Los costos de prueba y sello deben ser incluidos en el precio, atendiendo a la legislación oficial vigente.
- e) La inspección, recepción y métodos de ensayo de los lotes de entrega deben obedecer las normas que indique IBNORCA.
- f) Si el lote de entrega fuera rechazado, el fabricante deberá proveer un nuevo lote, con numeración de serie totalmente nuevo y distinto del lote rechazado. De este nuevo lote serán escogidas nuevas muestras para repetición de los ensayos.
- g) En el caso de rechazar un segundo lote de entrega, quedará a criterio de la EPSA la resolución administrativa del Contrato.
- h) El lote de entrega deberá ser acomodado en sus embalajes, y éstos deberán ser cerrados y lacrados por la fiscalización. La entrega final del lote deberá aguardar la aprobación de los medidores de agua en los ensayos de recepción.
- i) El atraso generado por lotes rechazados no será motivo para ampliación del plazo de entrega.

3.3 Garantiza

- a) Los medidores de agua deberán ser garantizados por el fabricante durante dos años contra cualquier defecto de fabricación o de material, a partir de la fecha de entrega.
- b) Los medidores de agua que presenten defectos o averías durante el periodo de garantía, deberán ser reparados por el fabricante, sin costo alguno para la EPSA.

3.4 Repuestos

- a) A criterio de la EPSA, podrán ser suministrados juegos completos de sobresalientes (todos los componentes de un medidor de agua, excepto carcasa, tuerca superior y acoples en sub-conjuntos pre-armados) en cantidad equivalente al 5% del total de medidores suministrados, adoptándose el criterio de redondearlos para más, en caso de cantidades inexactas.
- b) El fabricante está obligado a suministrar durante un periodo mínimo de 10 (diez) años, a partir de la fecha de entrega, los repuestos de cualquier pieza o conjunto del modelo suministrado.

4. Condiciones técnicas

4.1 Generales

- a) Los medidores de agua deben ser del tipo de velocidad, chorro múltiple o único, con mostrador seco, transmisión magnética y clase metrológica B y equipados con dispositivos de regulación.

- b) Los medidores de agua deben poseer dispositivos que aseguren su inviolabilidad, así como deben poseer dispositivos para lacrarlos a la conexión.

4.2 Normas Técnicas

Los medidores de agua deberán ser fabricados obedeciendo las siguientes normas técnicas:

- ISO 4064/1 (International Organization for Standardization);
- ISO 4064/3 (International Organization for Standardization).

4.3 Blindaje Magnético

- a) Los medidores de agua deberán ser dotados de blindaje magnético de modo que funcionen perfectamente cuando sean inmersos en un campo magnético generado por dos imanes externos.
- b) Para garantizar los medidores contra fraudes futuros, éstos deben ser sometidos a ensayo de blindaje magnético.
- c) El ensayo consiste en someter los medidores a un campo magnético generado por imanes de características definidas, a través de tres pruebas consecutivas por encima del caudal mínimo.
- d) En seguida los medidores son nuevamente probados tres veces consecutivas por encima del caudal mínimo pero sin campo magnético en esta oportunidad.
- e) La diferencia entre el error promedio en las situaciones con y sin imanes deberá ser igual o menor que 5%.
- f) Las características de los imanes para el ensayo referido son:
- Diámetro externo 60 mm;
 - Diámetro interno 24 mm;
 - Altura (12 ± 1) mm.
- g) La intensidad del campo magnético generada por los imanes se considera satisfactoria cuando atiende las siguientes condiciones:
- Con una fuerza $F=21,6\text{N}$ (2.2 Kgf) aplicada lentamente, los imanes deben mantenerse acoplados por un periodo no menor de 30 s”;
 - Con una fuerza $F=27,5$ (2,8 kgf) aplicada lentamente, debe haber desplazamiento de las piezas móviles.

4.4 Temperatura del agua

Los medidores de agua deben ser diseñados para trabajar bajo temperaturas del agua desde 1 grado centígrado encima de su punto de congelación hasta 40 grados centígrados.

5. Características de construcción

5.1 Carcaza

- a) La carcaza de los medidores de agua debe tener las siguientes indicaciones en alto o bajo relieve:
- Sentido de flujo de agua en por lo menos uno de los lados de su cuerpo;
 - Número correspondiente a flujo máximo en por lo menos uno de los lados de su cuerpo;
 - Señales + (más) y - (menos) en el dispositivo de regulación.
- b) Los medidores deben tener numeración secuencial por series en ambos lados del cuerpo. La numeración es en bajo relieve y debe tener la profundidad mínima de 0,3 mm.

- c) Los medidores deben tener en ambos lados de su cuerpo un campo para recibir numeración. Este campo debe ser plano y debe obedecer además las siguientes condiciones:
- Ser paralelo al plano vertical que pasa por el eje del tubo del medidor de agua;
 - Tener un largo mínimo de 40 mm;
 - Tener un ancho mínimo de 6 mm;
 - Estar constituido por dos campos superpuestos con un área equivalente a la opción anterior.
- d) En ambos extremos del medidor deberá existir un rebajamiento interno para encajar la extremidad del niple con las siguientes características:
- Diámetro interno del rebajamiento: $D_r=23,0$ mm;
 - Profundidad mínima del rebajamiento: $B_r=3,0$ mm;
 - Excentricidad máxima del rebajamiento: $E_r=0.25$ mm.

5.2 Filtro

- a) El filtro deberá ser construido de material resistente a oxidación y el área filtrante deberá ser igual ó superior a dos veces el área de la sección de entrada del instrumento. Deberá ser de fácil remoción para limpieza, sustitución o reparación.
- b) Los orificios de los filtros deberán retener el pasaje de una esfera de diámetro igual al del espacio entre la turbina y el diámetro de la cámara de medición.

5.3 Materiales

- a) La carcasa deberá ser de aleación de cobre, con un mínimo de 75% de cobre,
- b) Los demás materiales empleados en la fabricación del medidor deberán garantizar al instrumento una vida útil de por lo menos 10 (diez) años.
- c) Los medidores deberán tener sus extremidades protegidas por tapones para evitar daños así como el ingreso de cuerpos extraños durante el transporte y almacenamiento.
- d) Los medidores serán conectados a la tubería por medio de tuercas y niples con aleación de cobre con un mínimo de 60% de cobre.

Anexo 3: Principales tipos de caballetes, cajas de protección y materiales utilizados en conexiones domiciliarias

1. Caballete Montado en Caja en la Calzada para Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h de o ½ ó ¾, 7 m³/h y 10 m³/h de o 1".

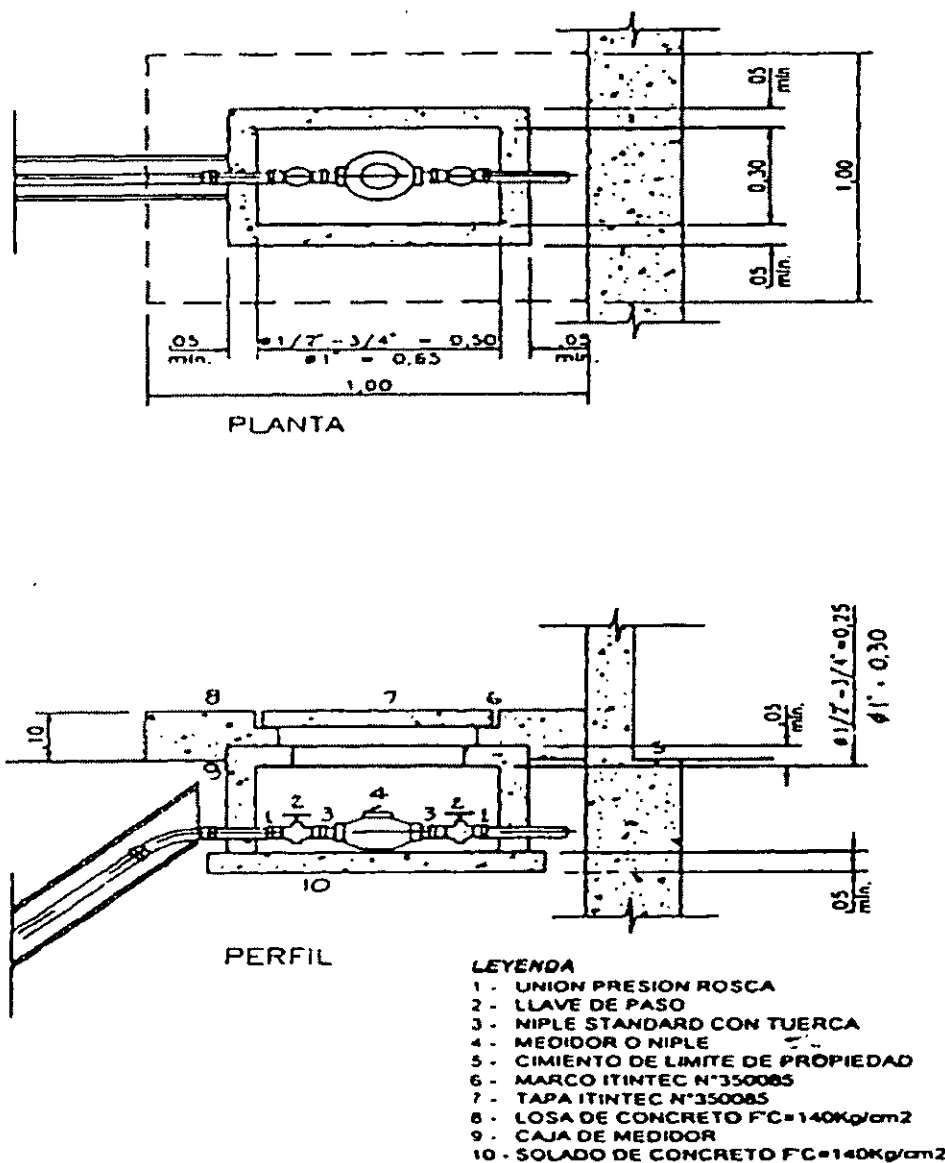


Fig. 31: Medidor con protección

2. Caballete de o 19 mm (o ¼") y Caja de Protección para Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h y 5 m³/h (sin medidor).

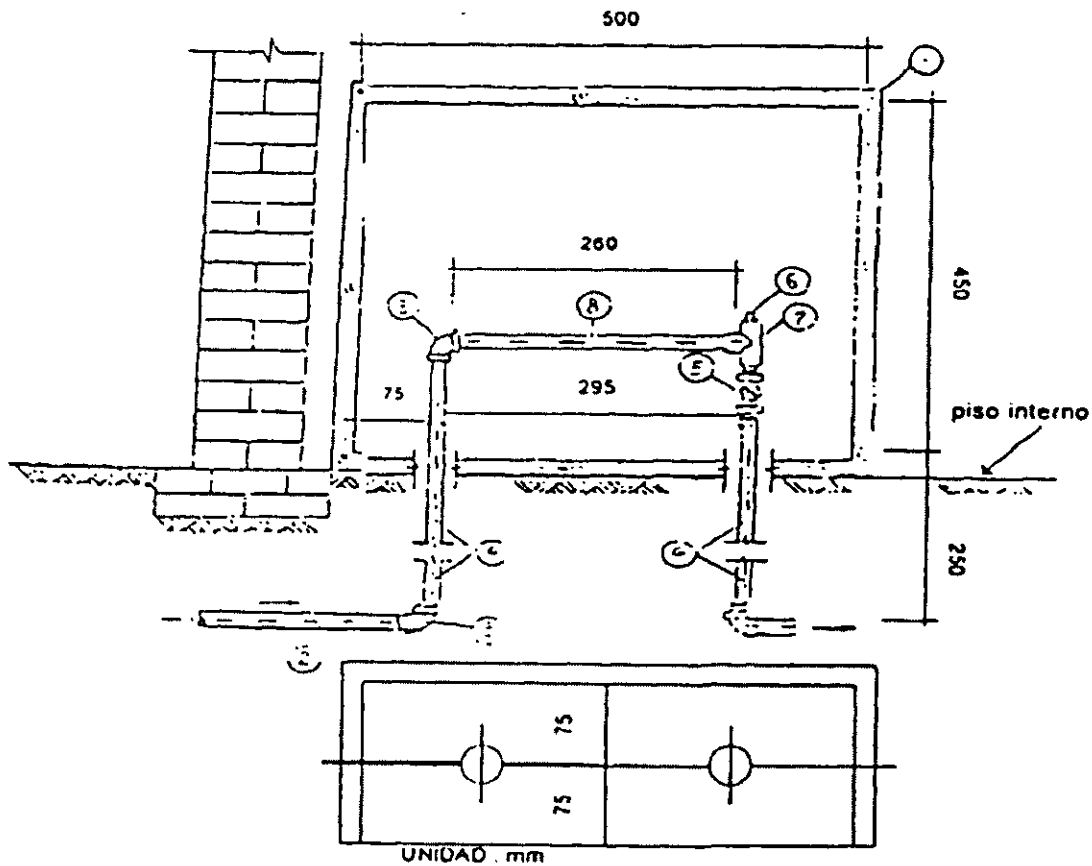


Fig. 32: Conexión en caballete con protección para medidor de 1,5;3 y 5 m³/h sin medidor

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1.	Caja de protección de concreto o albañilería	500x450x150 mm	1
2.	Tubo de PVC rígido con rosca	20 mm	3
3.	Codo de F°G° - 90°	¾"	3
4.	Cañería de F°G° - Largo:400 mm	¾"	3
5.	Llavé de pasó cortina - Bronce	¾"	1
6.	Tapón de F°G°	¾"	1
7.	Te de F°G°	¾"	1
8.	Cañería de F°G° - Largo:260mm	¾"	1

Nota:
La puerta de la caja de protección es opcional; cuando sea colocada, no las medidas internas libres

Tabla 24: Detalle de materiales de una conexión en caballete con protección para 1,5,3 y 5 m³/h sin medidor

3. Caballete de 0 19 mm /o 3/4" y Caja de Protección para Micromedidores de 3 a 10 m³/h (sin medidor).

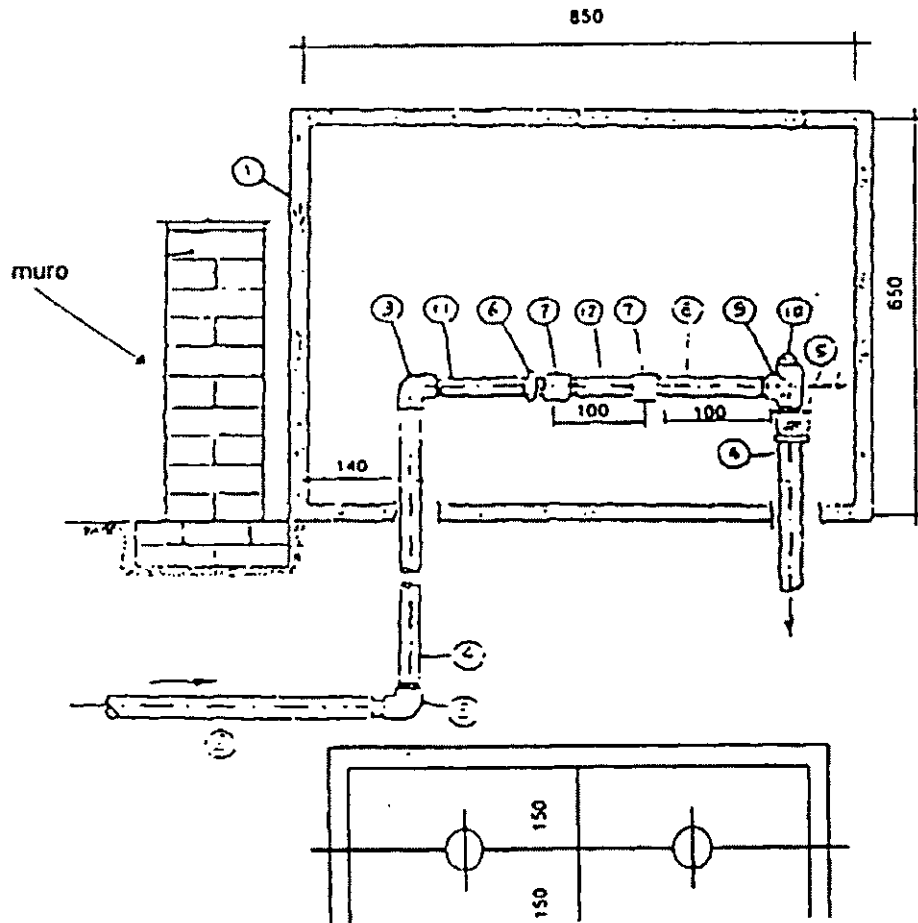


Fig. 33: Caballete de 3/4" y Caja de Protección para Micromedidores de 3 a 10 m³/h (sin medidor)

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Caja de protección de concreto o albañilería	800x650x300 mm	1
2	Cañería de PVC – acometida	3/4"	-
3	Codo de FºGº - 90º	3/4"	2
4	Cañería de FºGº - Largo:450 mm	3/4"	2
5	Llave de paso cortina – Bronce	3/4"	1
6	Niple hexagonal de FºGº	3/4"	1
7	Copla Normal de FºGº	3/4"	2
8	Cañería de FºGº - Largo:260mm	3/4"	1
9	Te de FºGº	3/4"	1
10	Tapón de FºGº	3/4"	1
11	Cañería de FºGº - Largo:170mm	3/4"	1
12	Cañería de FºGº - Largo:170mm	3/4"	1

Tabla 25: Materiales para Caballete de 3/4" y Caja de Protección para Micromedidores de 3 a 10 m³/h (sin medidor)

4. Caballete de $\varnothing 32 \text{ mm}$ ($\varnothing 1 \frac{1}{4}''$) y Caja de Protección para Micromedidores de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (sin medidor)

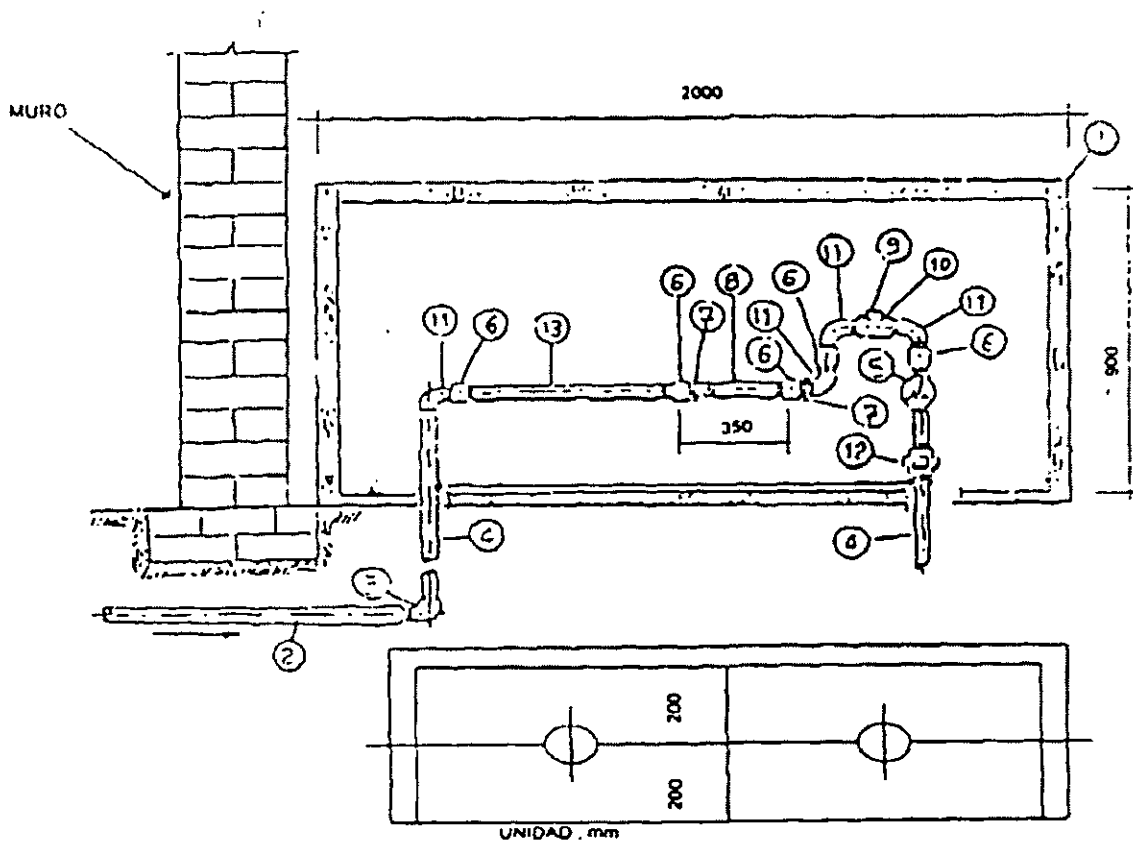


Fig. 34: Caballete de $\varnothing 1 \frac{1}{4}''$ y Caja de Protección para Micromedidores de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (sin medidor)

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Caja de protección de concreto o albañilería	2,00x0,90x0,40(m)	1
2	Tubería de Acometida	1 1/4"	1
3	Codo de FºGº - 90º	1 1/4"	1
4	Cañería de FºGº -Largo:variable	1 1/4"	2
5	Llave de paso cortina - Bronce	1 1/4"	1
6	Cople de FºGº	1 1/4"	4
7	Contra rosca de FºGº	1 1/4"	2
8	Tubo de FºGº-Largo:205mm	1 1/4"	1
9	Tapón de FºGº	1 1/4" x 3/4"	1
10	Te de reducción de FºGº	1 1/4"	1
11	Curva macho de FºGº - 90º	1 1/4"	4
12	Unión patente de FºGº	1 1/4"	1
13	Tubo de FºGº-Largo:500 mm	1 1/4"	1
14	Tubo de FºGº-Largo:220mm	1 1/4"	1

Nota:
La puerta de la caja de protección es opcional; si es colocada no podrá limitar las medidas internas libres.

Tabla 26: Materiales de Caballete de $\varnothing 1 \frac{1}{4}''$ y Caja de Protección para Micromedidores de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (sin medidor)

5. Caballete de \varnothing 50 mm (\varnothing 2") y Caja de Protección para Micromedidores de 50 mm tipo Woltmann (sin medidor)

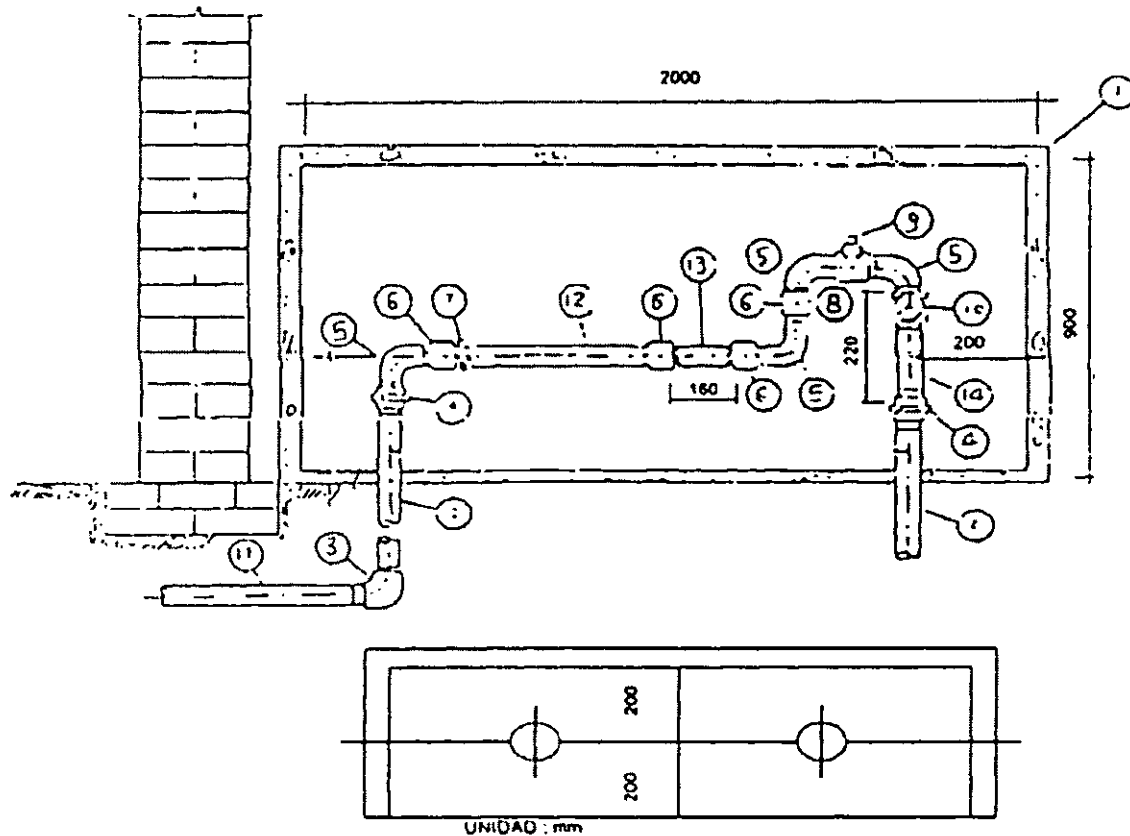
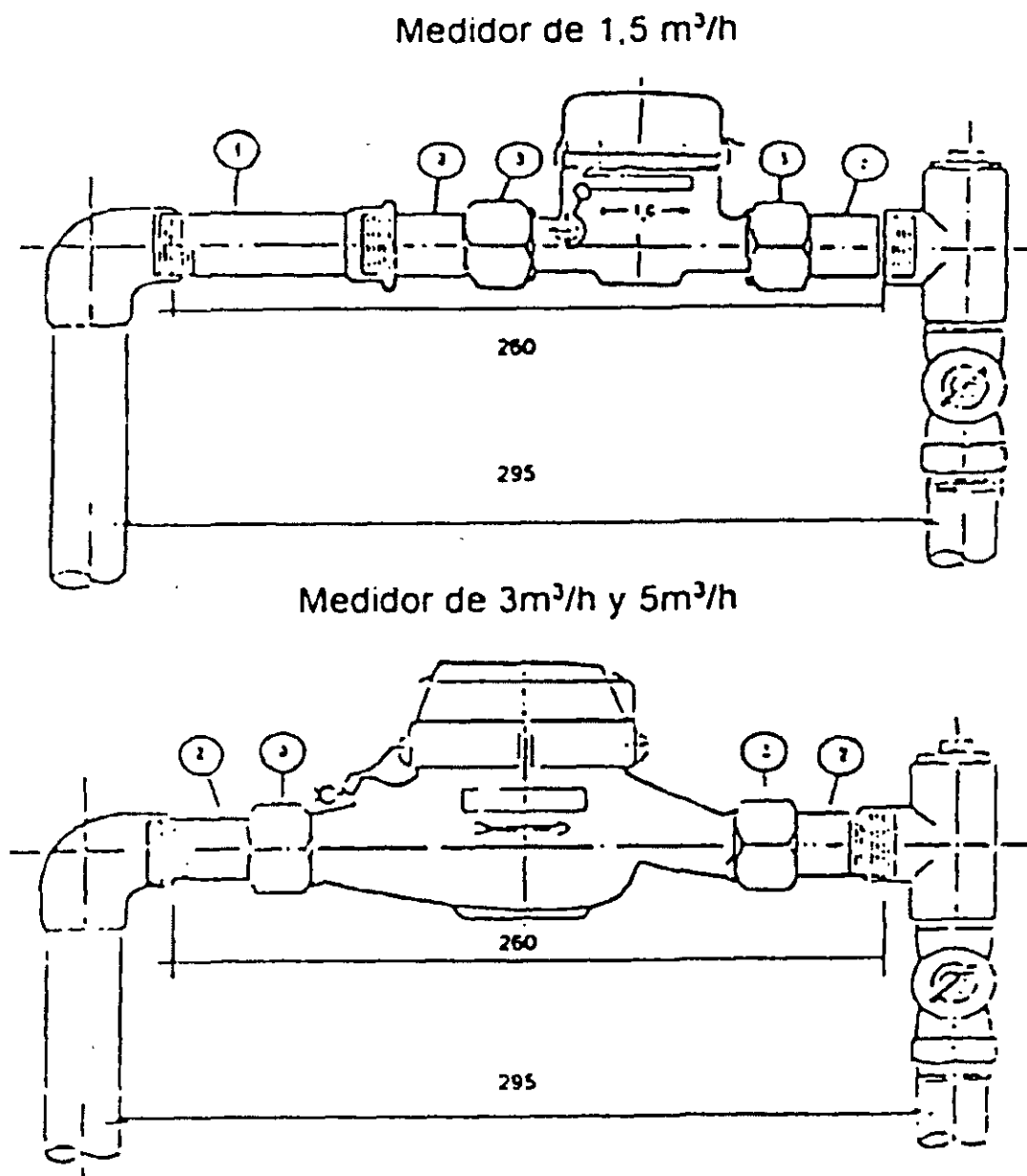


Fig. 35: Caballete de \varnothing 2" y Caja de Protección para Micromedidores de 50 mm tipo Woltmann (sin medidor)

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Caja de protección de concreto o albañilería	2,00x0,90x0,40(m)	1
2	Tubo de F°G°-Largo=variable	2"	2
3	Codo de F°G°	2"	1
4	Unión patente de F°G°	2"	2
5	Curva macho de F°G°	2"	4
6	Copla normal de F°G°- 90°	2"	4
7	Niple Hexagonal de F°G°	2"	1
8	Te de F°G°	2"	1
9	Tapón de F°G°	2"x1"	1
10	Llave de paso tipo cortina	3/4"	1
11	Tubería de la acometida	50 mm	-
12	Tubo de F°G°-Largo:545mm	2"	1
13	Tubo de F°G° - Largo: 160mm	2"	1
14	Tubo de F°G°-Largo:220 mm	2"	1

Nota:
La puerta de la caja de protección es opcional; si es colocada no podrá limitar las medidas internas libres.

Tabla 27: Materiales para un Caballete de \varnothing 2" y Caja de Protección para Micromedidores de 50 mm tipo Woltmann (sin medidor)

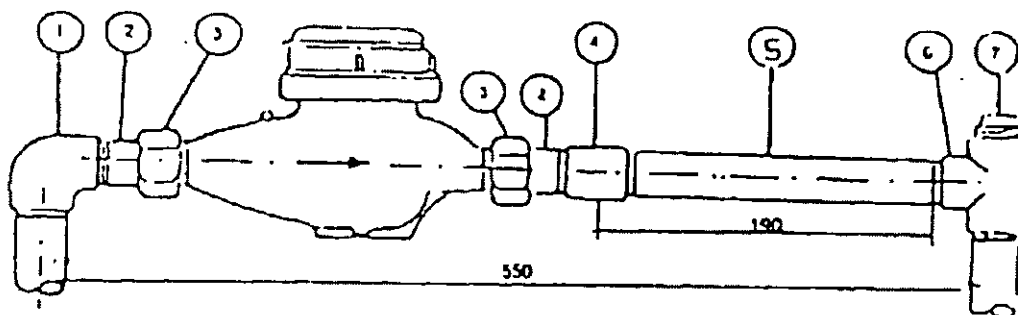
6. Caballete de $\varnothing 3/4"$ para Micromedidores de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y $5 \text{ m}^3/\text{h}$.Fig. 36: Caballete de $\varnothing 3/4"$ para Micromedidores de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y $5 \text{ m}^3/\text{h}$

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Copla Macho y hembra – FºGº Largo = 90mm	$3/4"$	1
2	Niple de bronce – largo= 50mm	$3/4"$	2
3	Tuerca de bronce	$3/4"$	2

Tabla 28: Materiales para caballete de $\varnothing 3/4"$ para Micromedidores de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, $3 \text{ m}^3/\text{h}$ y $5 \text{ m}^3/\text{h}$.

7. Caballete de Ø 19 mm (Ø ¾") para Micromedidores de 3 a 10 m³/h.

Medidor de 3m³/h a 5m³/h



Medidor de 7 m³/h a 10 m³/h

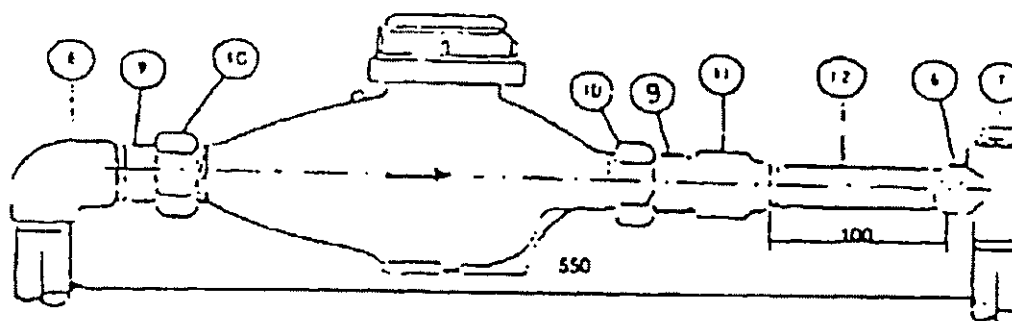


Fig. 37: Caballete de Ø ¾" para Micromedidores de 3 a 10 m³/h

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Codo de FºGº - 90º	¾"	1
2	Niple de bronce	¾"	2
3	Tuerca de bronce	¾"	2
4	Copla de FºGº	¾"	1
5	Cañería de FºGº - Largo: 190mm	¾"	1
6	Te de FºGº	¾"	1
7	Tapón de FºGº	¾"	2
8	Codo de 90º de FºGº	¾"	1
9	Niple de Bronce	1"	2
10	Tuerca de Bronce	1"	2
11	Copla de FºGº	¾"	1
12	Cañería de FºGº - Largo: 100 mm	¾"	1

Tabla 29: Materiales para caballete de Ø ¾" para Micromedidores de 3 a 10 m³/h.

8. Caballete de Ø 50 mm (Ø2") para Medidor Ø 50 mm tipo Woltmann (Ø2")

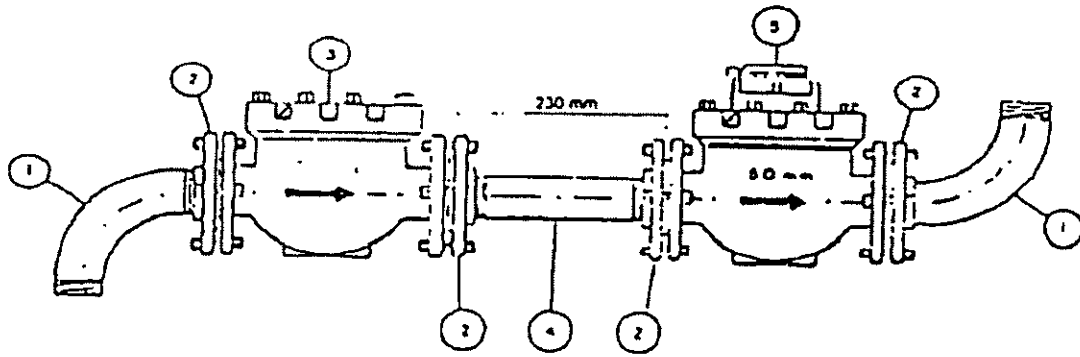


Fig. 38: Caballete de Ø2" para Medidor tipo Woltmann (Ø2")

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
1	Curva macho de FºGº - 90º	2"	2
2	Brida FºFº - Completo	50mm	4
3	Filtro	50 mm	1
4	Tubo de FºGº - Largo: 200 mm	2"	1
5	Medidor de 50 mm(2") Woltmann	50mm	1

Nota: La brida de fierro fundido (item 5) se provee siempre sin rosca, pues ésta debe ser elaborada de acuerdo al diámetro externo real del extremo del tubo cilíndrico donde será enroscada.

Tabla 30: Materiales para caballete de Ø2" para Medidor tipo Woltmann (Ø2")

9. Caballete de Ø 80 mm (Ø 3") y Caja de Protección para Micromedidores de 80 mm tipo Woltmann (Ø3")

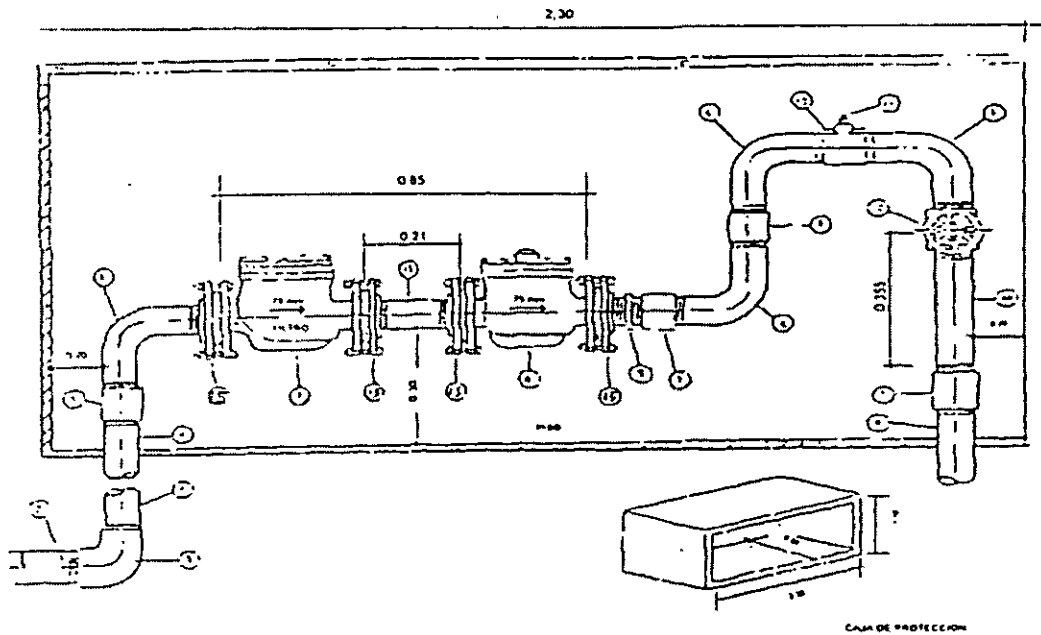


Fig. 39: Caballete de Ø 3" y Caja de Protección para Micromedidores de 80 mm tipo Woltmann (Ø3")

Ref.	Descripción	Medidas	Cantidad
1	Caja de protección de hormigón o de albañilería	2,30x1,10x0,50	1
2	Cañería de la conexión con rosca	3"	2
3	Niple de reducción	3"	1
4	Tubo de FºGº - Largo=variable	3"	2
5	Unión patente de FºGº	3"	4
6	Curva macho de FºGº - 90º	3"	4
7	Brida suelta de FºGº - Completo	75 mm	1
8	Medidor de Ø80mm - 3"	75 mm	1
9	Niple hexagonal de FºGº	3"	1
10	Te de FºGº	3"x1"	1
11	Tapón de FºGº	1"	1
12	Llave de paso tipo cortina	3"	1
13	Cañería de FºGº - Largo: 210 mm	3"	1
14	Cañería de FºGº - Largo: 355mm	3"	1
15	Brida de FºFº - Completo	3"	1

Nota: La puerta de la caja de protección es opcional; si es colocada no podrá limitar las medidas internas libres.

Tabla 31: Materiales para caballete de Ø 80 mm (Ø 3") y Caja de Protección para Micromedidores de 80 mm tipo Woltmann (Ø3")

10. Caballete de Ø 100 mm (Ø 4") y Caja de Protección para Micromedidores de Ø 100 tipo Woltmann (Ø 4")

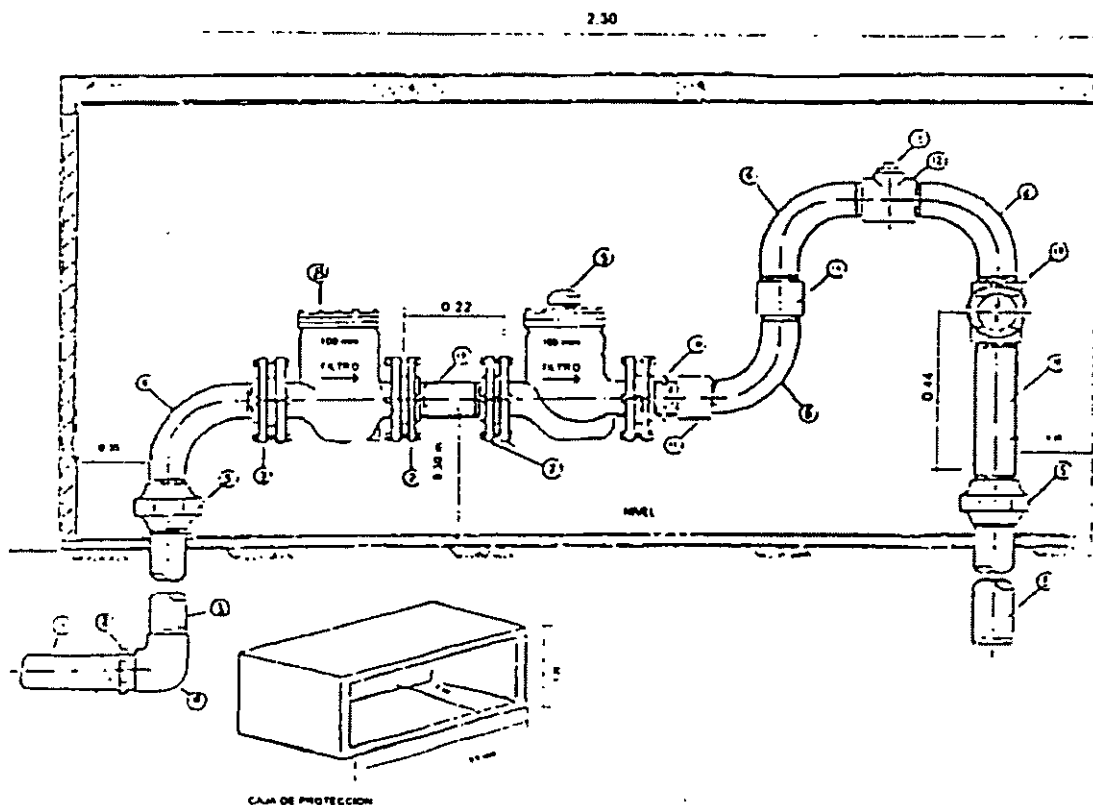


Fig. 40: Caballete de Ø 100 mm (Ø 4") y Caja de Protección para Micromedidores de Ø 100 tipo Woltmann (Ø 4")

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
0	Caja de protección de hormigón o albañilería	3,00x1,25x0,80(m)	1
1	Cañería de la conexión con rosca	75mm	-
2	Niple de reducción	4"x3"	1
3	Tubo de FºGº - Largo=variable	4"	2
4	Codo de FºGº	4"	1
5	Unión patente de FºGº	4"	2
6	Curva macho de FºGº - 90º	4"	4
7	Brida suelta de FºFº - Completo	100,mm	4
8	Filtro para medidor de Ø100mm	100mm	1
9	Medidor de Ø100mm	100mm	1
10	Niple hexagonal	4"	1
11	Copla normal de FºGº	4"	2
12	Te de FºGº	4" x 2"	1
13	Tapón de FºGº	2"	1
14	Llave de paso tipo cortina	4"	1
15	Cañería de FºGº - Largo: 220 mm	4"	1
16	Cañería de FºGº - Largo: 440 mm	4"	1

Nota: La puerta de la caja de protección es opcional; si es colocada no podrá limitar las medidas internas libres...

Tabla 32: Materiales para caballete de Ø 100 mm (Ø 4") y Caja de Protección para Micromedidores de Ø 100 tipo Woltmann (Ø 4")

11. Caballete de Ø 150 mm (Ø 6") y Caja de Protección para Micromedidores de 150 mm tipo Woltmann (Ø 6").

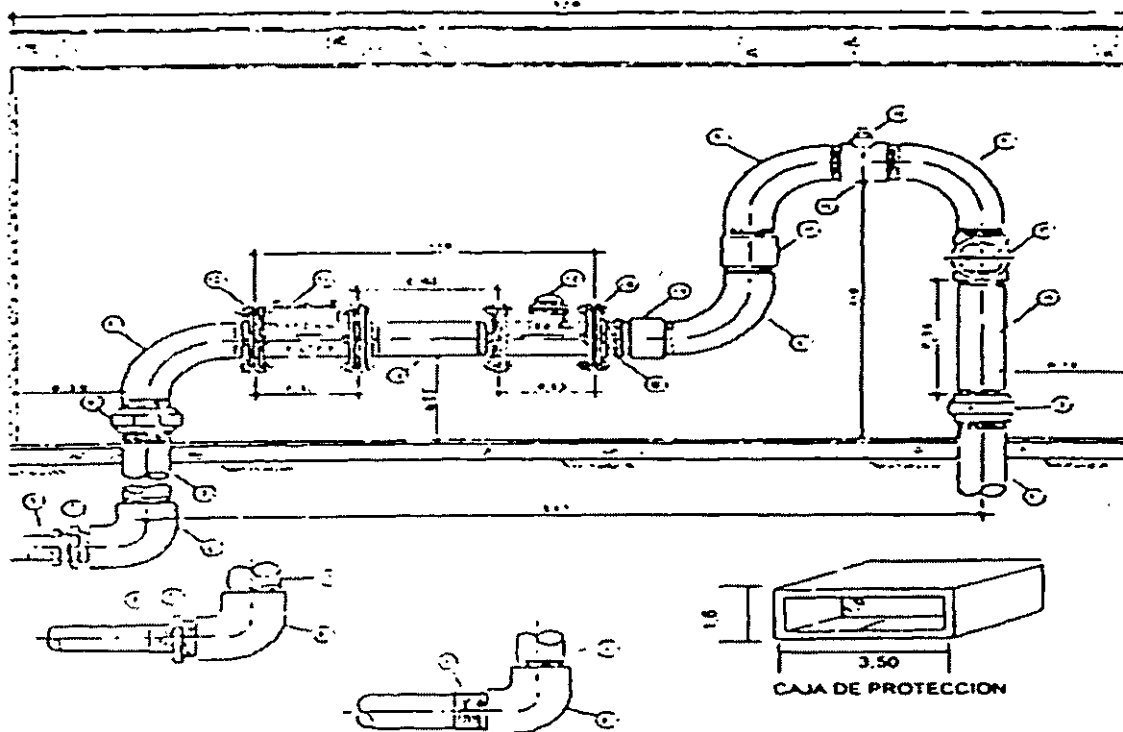
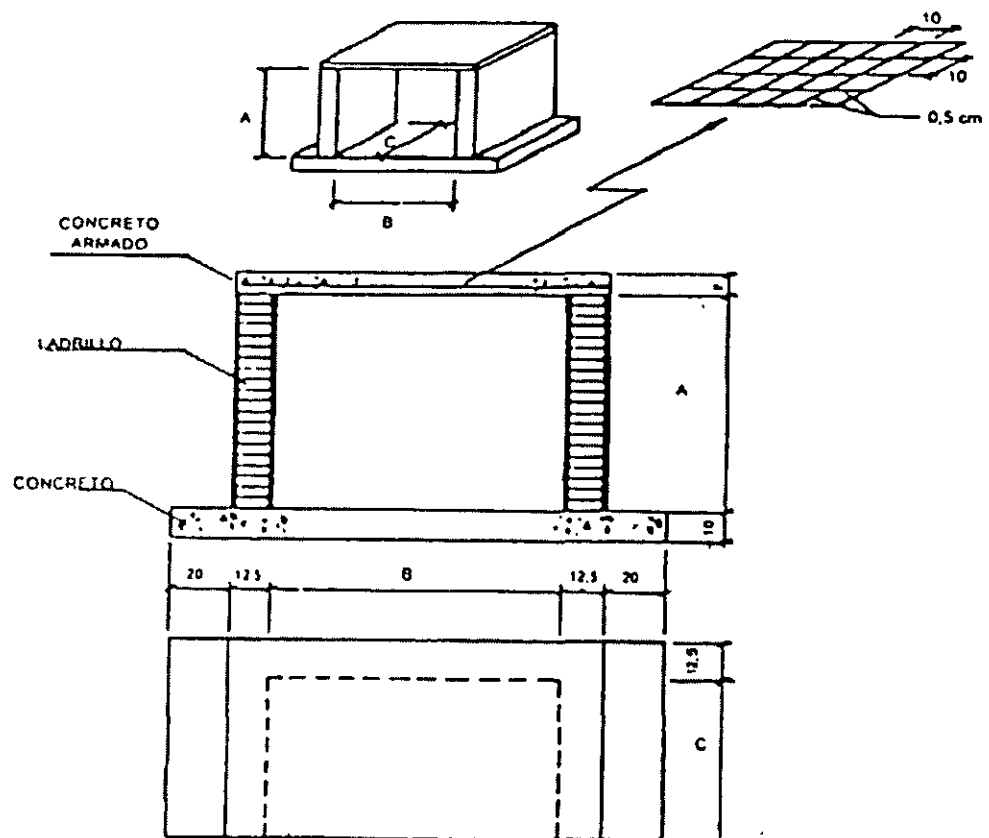


Fig. 41: Caballete de Ø 150 mm (Ø 6") y Caja de Protección para Micromedidores de 150 mm tipo Woltmann (Ø 6")

Ref.	Descripción	Medida	Cantidad
0	Caja de protección de hormigón o albañilería	3,50x1,60x1,00 (m)	1
1	Tubo de PVC con punta y rosca	150 mm	-
2	Tubo de PVC con punta y rosca	100 mm	-
3	Tubo de PVC con punta y rosca	75mm	-
4	Cañería de reducción F°G°	4"x3"	1
5	Cañería de reducción F°G°	6"x4"	1
6	Codo de F°G°	6"	1
7	Tubo de F°G° - Largo variable	6"	2
8	Unión universal de F°G° - asiento de hierro	6"	2
9	Curva de F°G°-90°	6"	4
10	Brida suelta de F°F° - Completo	150 mm	4
11	Filtro para medidor de Ø150mm	150mm	1
12	Medidor de Ø 150mm	150mm	1
13	Niple hexagonal	6"	1
14	Copla normal de F°G°	6"	2
15	Te de F°G°	6"x3"	1
16	Tapón de F°G°	3"	1
17	Registro de gaveta	6"	1
18	Tubo de F°G° - Largo: 450 mm	6"	1
19	Tubo de F°G° - Largo:500 mm	6"	1

Nota: La puerta de la caja de protección es opcional; si es colocada no podrá limitar las medidas internas libres.

Tabla 33: Materiales para caballete de Ø 150 mm (Ø 6") y Caja de Protección para Micromedidores de 150 mm tipo Woltmann (Ø 6").

12. Caja de Protección para Caballete de \varnothing 19 mm.

Dimensiones internas (A=65, B=85, C=30)

Concreto Armado (Fierro \varnothing 0,5 cm)

Composición :

Cemento - 1 volumen
 Arena - 2,5 volumen
 Piedra - 3,0 volumen

Concreto Simple :

Composición :

Cemento - 1 volumen
 Arena - 5 volumen
 Piedra - 5 volumen

Fig. 42: Caja de protección medidor de $\frac{3}{4}$ "

13. Caja de Protección Pre-Fabricada para Instalación de Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h, 5 m³/h, en el suelo.

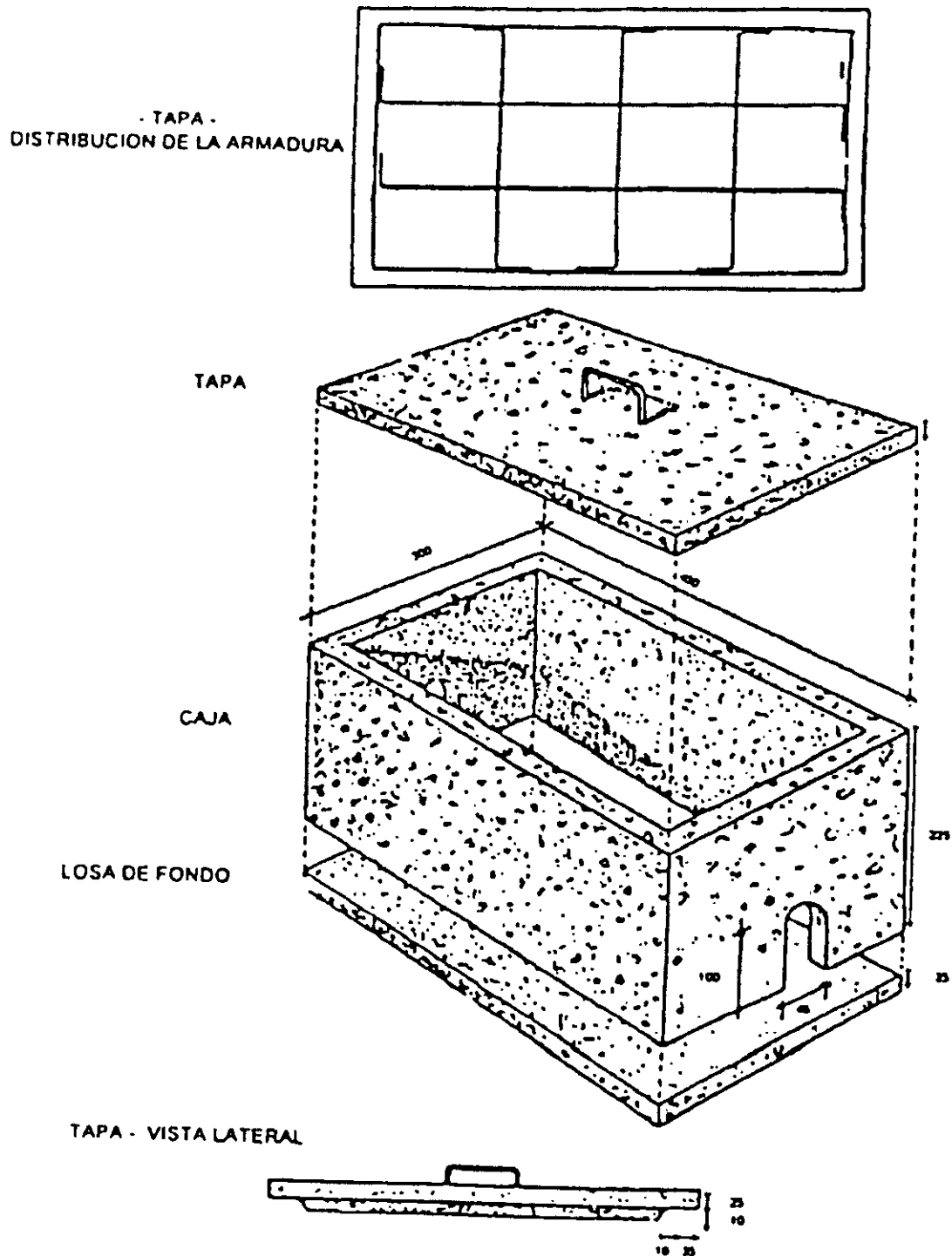


Fig. 43: Caja de Protección Pre-Fabricada para Instalación de Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h, 5 m³/h, en el suelo

14. Caja de Protección en Fibra de Vidrio para Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h, 5 m³/h, Instalación en la Pared.

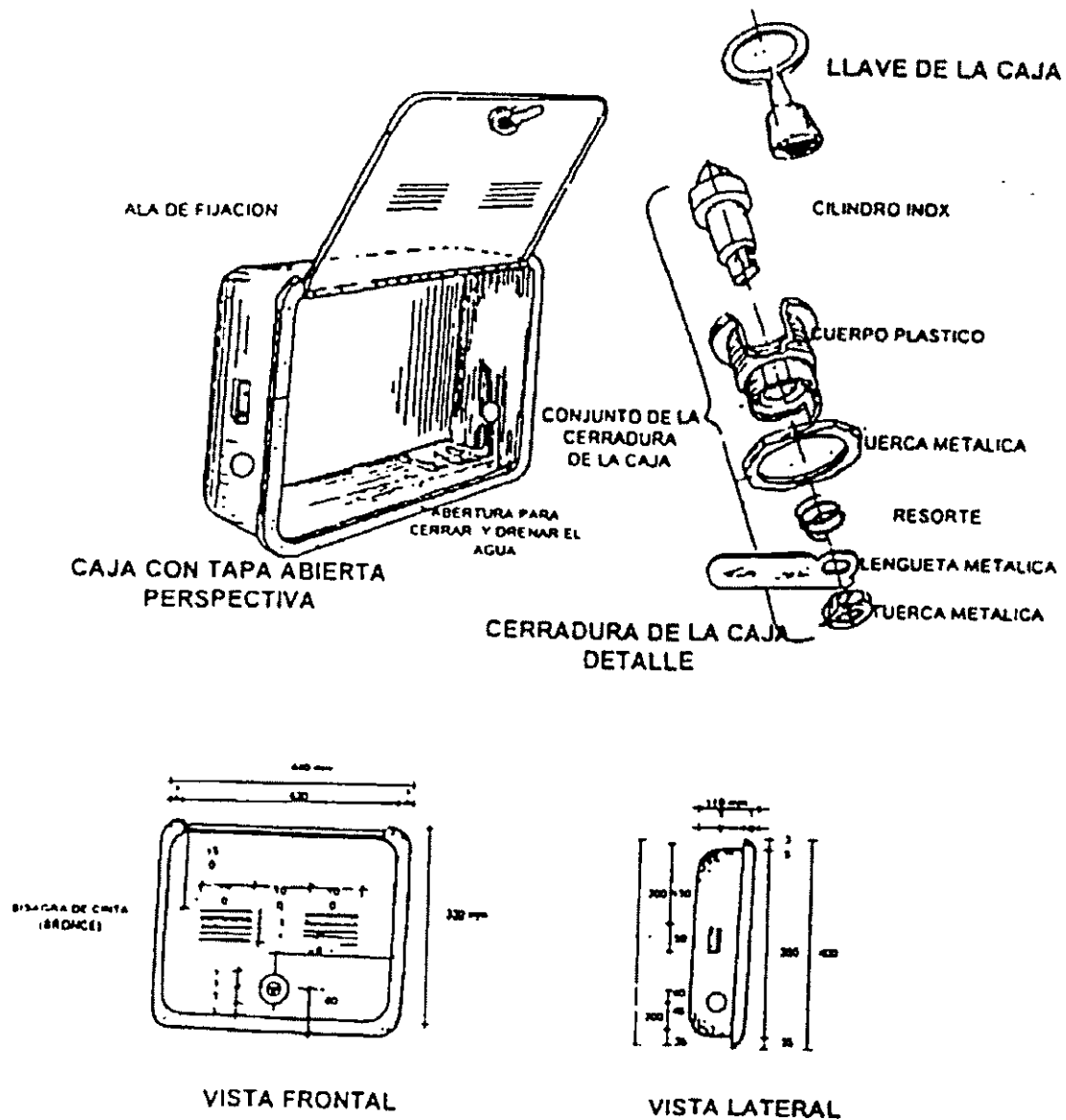


Fig. 44: Caja de Protección en Fibra de Vidrio para Micromedidores de 1,5 m³/h, 3 m³/h, 5 m³/h, Instalación en la Pared

Anexo 4: Glosario

Notas:

- Los términos en este glosario están definidos para fines del presente Módulo y de acuerdo a la realidad en las EPSAs, o sea que las **definiciones** no necesariamente son aplicables tal cual a otros ámbitos. Se ha tratado de lograr un juego lógico de definiciones sin contradicciones entre ellas, combinando diferentes definiciones halladas en la literatura existente¹ con formulaciones propias.
- La **flecha** → señala otros términos que también son explicados en este glosario. En el caso que un mismo término a referenciar aparezca varias veces en una definición, la flecha se usa solamente la primera vez.

acometida

= ramal

- tubería de AP comprendida entre el collar de toma sobre la matriz de distribución y el punto de →conexión domiciliaria con la →instalación predial; la ubicación de ese punto final de la acometida es *variable* pero en todo caso tiene que estar después del →micromedidor, sea en la vía pública, sea en interior predio, sea incluyendo o no un →caballete (ver también →instalación domiciliaria)
- "tramo comprendido entre la tubería de distribución y la válvula de salida del medidor"²

(Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)

agua

volumen de AP consumida fraudulentamente, en las siguientes situaciones:

clandestina

Situación contractual	Situación del servicio de AP	Cuantificación de consumos	Ubicación del consumo fraudulento		
			antes de la conexión domiciliaria	detrás de la conexión domiciliaria	
				daño causado x usuario clandestino	cliente (suscrito)
sin contrato	sin servicio contratado	estimación o →Micro medición	daño económico para la EPSA	[No viene al caso porque no existe conexión domiciliaria contratada.]	
	con servicio, pero inactivo (cortado o suspendido)			[No viene al caso porque no corre AP detrás de la conexión domiciliaria.]	
con contrato	con servicio activo	estimación	causado por →usuarios clandestinos	X	X
		→Micro medición	o →clientes	X	

Según el caso, es parte o del →agua no contabilizada o del →consumo facturable y, en todo caso, del →volumen no justificado.

agua de barrido

volumen de AP que se utiliza *antes* de la conexión domiciliaria para limpiar los tanques en la red de distribución y que implica un costo para la EPSA. Es parte del agua no contabilizada y del →volumen justificado; *no* es parte del consumo facturable.

¹ Ver bibliografía en el Anexo siguiente.

² definición no tan exacta como la anterior, que figura en el Reglamento Nacional de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Centros Urbanos de 1992, Artº 32

agua no contabilizada (ANC)	volumen de AP consumida <i>antes</i> de la conexión domiciliaria que por tanto no fue registrado ni por →micromedición ni mediante estimación de consumos y que implica un daño económico respectivamente costo para la EPSA Consiste de agua de barrido (→volumen justificado), ANC por baja →sensibilidad del →micromedidor, →agua clandestina y →pérdidas por fugas (→volúmenes no justificados)
agua no contabilizada por baja →sensibilidad del →micromedidor	volumen de AP suministrada a la conexión domiciliaria que no es registrada porque la hélice del micromedidor no se mueve con la velocidad debida y que implica un daño económico para la EPSA Es parte del agua no contabilizada y del volumen no justificado; <i>no</i> es parte del →consumo facturable.
analista (de →lecturas)	funcionario de la EPSA encargado de la →crítica de lecturas
anormalidad (de →lectura)	circunstancia de la toma de →lectura que dificulta o incluso impide la →lectura; se da en las modalidades de →violación y de →irregularidad; diferente a una →inconsistencia
artefacto	aparato o accesorio que facilita el consumo de AP para una determinada finalidad de uso, p.ej. lavamanos, ducha, inodoro, urinario; cada artefacto está dotado de un punto de agua (pila o grifo) (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)
balance de agua (en la →red de distribución)	interrelación cuantitativa de diferentes tipos de volúmenes de AP que corren por la →red de distribución Uno de los cálculos más importantes del balance es el de la diferencia "D" (=agua no contabilizada) entre el volumen de AP "E" entregado a la red de distribución (p.ej. a la salida de la planta potabilizadora) y el volumen "S" suministrado a las conexiones domiciliarias (=consumo facturable); o sea: $E - S = D$.
caballete	último tramo de la →acometida que eleva el →micromedidor a una altura de aprox. 30 a 50 cm sobre el nivel del suelo; su →instalación es opcional (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)
caja de protección	receptáculo de aprox. 50 x 30 x 30 cm hecho de concreto, fierro fundido, material termoplástico, fibra de vidrio u otro material que tiene la función de albergar y proteger el →micromedidor de agentes externos; se instala a ras del suelo o a la altura del →caballete
capacidad (de un micromedidor)	medida del caudal máximo o del caudal nominal que pasa por un →micromedidor de modo satisfactorio (ver también →características dimensionales)
características dimensionales (de un micromedidor)	conjunto de características nominales y/o reales relativas al tamaño de un determinado →modelo de micromedidor o de un determinado ejemplar de micromedidor; las características incluyen los parámetros de →capacidad, →diámetro y →presión o →carga nominales

características hidráulicas (de un micromedidor)	conjunto de características nominales y/o reales relativas al →flujo del agua a través de un determinado →modelo de micromedidor o de un determinado ejemplar de →micromedidor; las características incluyen sobre todo el parámetro de la →pérdida de carga
características metrológicas (de un micromedidor)	conjunto de características nominales y/o reales relativas a la →medición del agua que fluye a través de un determinado →modelo de micromedidor o de un determinado ejemplar de micromedidor; las características incluyen los parámetros de →sensibilidad y →precisión
carga	= →presión
catastro de clientes	registro que tiene por objeto el mantenimiento adecuado de datos sobre los diversos tipos de →cliente de la EPSA; debería contener datos también sobre los otros →usuarios; usa como un criterio de ordenamiento entre otros, el →código catastral
cliente	persona natural o jurídica que tiene suscrito (caso de los clientes activos e inactivos) o que podría llegar a suscribir (clientes factibles y potenciales) un contrato de servicios con la EPSA; puede o no ser →usuario Cuando el término no va acompañado por ningún adjetivo, se refiere a los clientes suscritos.
código catastral	sigla alfanumérica de identificación general de una conexión domiciliaria instalada por la EPSA, que incluye los →códigos de contrato, predio, ruta/secuencia y micromedidor
código de anomalía	sigla alfanumérica de identificación y definición de una →anormalidad de lectura
código de conexión	= →código de contrato
código de consumo	sigla numérica que clasifica el resultado de una →revisión previa de un consumo lecturado, indicando el tipo de desviación del consumo promedio; está relacionado al →código de resultado de inspección de campo
código de contrato	= →código de conexión sigla numérica de identificación de un determinado contrato/conexión de servicio entre la EPSA y un determinado cliente; el código es individual, correlativo según orden de fecha de celebración del contrato, y caduca al terminar el contrato; forma parte del →código catastral
código de micro medidor	sigla alfanumérica de identificación de un determinado micro medidor; el código es fijo, independiente de la conexión y del predio; consiste de sub-códigos para marca, número de fábrica, capacidad, diámetro y lugar de instalación; se habilita con la salida de almacén y caduca con la baja del micro medidor; forma parte del código catastral
código de predio	sigla alfanumérica fija de identificación de la ubicación geográfica de un determinado predio o lote donde se encuentra o no una conexión domiciliaria; forma parte del código catastral

código de resultado de →inspección de campo	sigla alfanumérica que clasifica el resultado de una →inspección de campo, indicando el tipo de desviación del consumo promedio y su causa; está relacionado al código de consumo
código de →ruta/secuencia	= →código operativo sigla numérica de identificación del lugar ordinal en la secuencia operativa del →recorrido que tiene un determinado predio o lote donde se encuentra o no una conexión domiciliaria; el código es secuencial, de principio variable, pero mejor fijo con la facilidad de intercalar nuevos lotes; consiste de sub-códigos para ruta y secuencia; forma parte del código catastral
código operativo	= →código de ruta/secuencia
conexión domiciliaria (de agua potable)	<ul style="list-style-type: none"> • punto físico de enlace entre la acometida y la →instalación predial o domiciliaria; por lo común es la unión entre el orificio de salida del micromedidor y el siguiente niple o tubo que deja instalado el cliente por cuenta propia; interfaz EPSA / cliente (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.) • por extensión, la totalidad de las →instalaciones hidráulicas comprendidas entre el collar de toma sobre la matriz de distribución y los puntos de consumo en interior predio³ (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.) • desde el punto de vista comercial, una cuenta de un cliente, con o sin →micro medición; en cualquier categoría de usuario (doméstica [→vivienda o residencia unifamiliar ó multifamiliar], comercial, industrial, pública etc.) y para cualquier volumen de consumo El número de conexiones domiciliarias no necesariamente es idéntico al número de clientes.
consumo facturable	volumen de AP suministrada a, y consumida <i>después</i> de, la conexión domiciliaria; es estimado o micromedido Consiste de →consumo racional (→volumen justificado), →consumo supérfluo y →pérdidas por fugas intradomiciliarias (→volúmenes no justificados).
consumo racional	volumen de AP que es consumido <i>después</i> de la conexión domiciliaria, cubriendo las necesidades básicas (beber, cocinar, bañar, limpiar, lavar) con cuantías razonables Es parte del consumo facturable y del volumen justificado; <i>no</i> es parte del agua no contabilizada.
consumo suntuoso	ver →consumo supérfluo

³ Aparentemente, esta definición es respaldada por aquella del Reglamento Nacional de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Centros Urbanos de 1992, que reza en su Artº 31: "Toda conexión domiciliaria consta de las obras externas a la respectiva propiedad, comprendidas entre la tubería de distribución a la línea de fachada, verja, límite del predio, ó al lado de salida del medidor. Desde este punto hacia el interior de la propiedad están comprendidas las obras de instalación intradomiciliaria.", aparentemente, porque la formulación del Artº 31 no dice completa y claramente que la conexión domiciliaria consta de las obras externas y [!] de las obras de instalación intradomiciliaria.

consumo supérfluo	= →consumo suntuoso volumen de AP que es consumido irracionalmente <i>después</i> de la conexión domiciliaria, derrochándose el líquido elemento en necesidades básicas y usos suntuosos Es parte del consumo facturable y del volumen no justificado; <i>no</i> es parte del agua no contabilizada.
crítica (de →lecturas)	2ª fase del proceso de identificación y →depuración de →inconsistencias, que consiste de una sub-fase de →inspección de campo y de una sub-fase de →depuración y →validación en gabinete; su objetivo es asegurar el mayor grado posible de confiabilidad (minimizar el margen de error) de los consumos facturables
depuración	actividad durante la crítica que consiste en la corrección de inconsistencias, modificando los consumos registrados en la 1ª →lectura a la luz de los resultados de la →inspección de campo, para fines de →validación; se da en las modalidades de →rectificación, de confirmación y de estimación de consumos
desperdicio	= → volumen no justificado
diámetro (de un micromedidor)	= diámetro nominal medida del orificio de →entrada del hidrómetro; se indica en milímetros (mm) o en pulgadas (") En este texto no se distingue entre "diámetro D" y "diámetro <i>nominal</i> D _n " porque el diámetro de un aparato es uno solo para fines del presente módulo. El fabricante sin embargo prefiere llamarlo <i>nominal</i> porque entre un y otro ejemplar del mismo modelo puede haber centésimas de mm de diferencia en la producción, o porque un mismo ejemplar varía ínfimamente su medida debido a cambios de temperatura.
dinámico	= →velocimétrico, →inferencial
display⁴	= →escaparate una superficie que forma parte del →registro y que exhibe una →relojería análoga y/o un →totalizador digital que permite la →lectura numérica de los consumos efectuados; está protegida por una tapa de plástico o vidrio
escaparate	= →display
estanqueidad	capacidad de mantener el agua durante un tiempo determinado y a una determinada presión, sin fugas, sin exudación y sin deformación del →hidrómetro.
flanch	= brida unión de dos tubos por medio de aros perpendiculares unidos mediante pernos
flujo	= →gasto caudal o volumen de agua que atraviesa una sección de un conducto hidráulico (cauce, canal, tubería)

⁴ pronúnciese *dísplay*

grandes consumidores	→clientes que consumen > 500 m ³ /mes; por lo común se los encuentra en las categorías comercial, industrial y pública
hidrómetro	= →medidor
hidrómetro de grandes caudales	= →macro medidor
hidrómetro de consumo	= →micro medidor
inconsistencia (de →lectura)	<p>falta de plausibilidad numérica en un →registro de consumo tomado en la 1ª →lectura, que es detectada en la →revisión previa y que será sometida a →crítica post-lectura; diferente a una →anormalidad</p> <p>Las inconsistencias corresponden a los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • consumos significativamente altos • consumos significativamente bajos • consumos cero • consumos negativos (→lectura actual menor que la anterior) • sin →lectura. <p>(ver también →depuración)</p>
inferencial	= →velocimétrico, →dinámico
inspección de campo	sub-fase de la →crítica en la cual →inspectores tratan de subsanar →inconsistencias de lectura seleccionadas, detectando sus causas
inspector (de →lecturas)	funcionario de la EPSA encargado de una inspección de campo
instalación	<ul style="list-style-type: none"> • <i>acción</i> de disponer (colocar, arreglar, construir etc.) materiales, accesorios y equipos hidráulicos de tal manera que cumplan una función de suministro y consumo de agua • <i>conjunto de hardware</i> hidráulico (materiales, accesorios y equipos) que juntos cumplen una función de suministro y consumo de agua
instalación domiciliaria	<p>= →instalación predial</p> <p>conjunto de <i>hardware</i> hidráulico que transporta el AP entre el punto de conexión domiciliaria y los puntos de consumo en interior predio (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)</p>
instalación extradomiciliaria	<p>conjunto de <i>hardware</i> hidráulico que transporta el AP desde el collar de toma sobre la matriz de distribución hacia el predio, y termina en la pared exterior del muro perimetral, o sea en el límite del espacio público vs. el privado (ver también →instalación intradomiciliaria e →instalación domiciliaria)⁵</p> <p>(Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)</p>

⁵ El Reglamento Nacional de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Centros Urbanos de 1992, Artº 27 conoce el término equivalente "Conexión Domiciliaria Externa".

instalación intradomiliaria	conjunto de <i>hardware</i> hidráulico que transporta el AP desde la pared exterior del muro perimetral del predio, o sea desde el límite del espacio público vs. el privado, hacia los puntos de agua y los →artefactos en interior predio (ver también →instalación extradomiliaria e →instalación domiciliaria) ⁶ (Ver también <u>Fig. 45</u> al final de este glosario.)
instalación predial	= →instalación domiciliaria (Ver también <u>Fig. 45</u> al final de este glosario.)
irregularidad	tipo de →anormalidad de lectura que ocurre al azar, por descuido o por desorganización, pero sin mediar ánimos de engañar (ver también →violación)
lector	expresión incorrecta equivalente a →lecturista
lectura (de micromedidores)	operación que consiste en tomar el dato que da el dispositivo →registrador de los micromedidores instalados en las conexiones domiciliarias de AP Un micromedidor dado es lecturado de principio una sola vez por ciclo de facturación (1ª lectura). Puede ser lecturado otra vez en el contexto de la fiscalización por parte de un supervisor, o, en caso de →inconsistencia de lectura, en el contexto de la →inspección de campo.
lectura directa	→lectura en micromedidores cuyo <i>display</i> indica los dígitos del valor →registrado mediante un →totalizador
lectura indirecta	→lectura en micromedidores cuyo <i>display</i> indica los dígitos del valor registrado mediante una →relojería La lectura se efectúa reloj por reloj de izquierda a derecha.
lecturista	= lectorador funcionario de la EPSA o funcionario de una empresa subcontratada, encargado de la toma de →lecturas
libro de lectura	formato que sirve para documentar (anotar) las →lecturas tomadas y que puede manejarse en forma de →listado o →tarjetas
liquidación	homologación de los consumos →validados y su conversión a valores monetarios (aplicando la tarifa vigente en la fecha de →lectura del micromedidor ⁷), en el contexto del proceso de facturación
listado de lectura	ver →libro de lectura

⁶ El mismo Art° 27 referido en la anterior nota al pie de página y además el Art° 33, conocen el término "Conexión Intradomiliaria" el cual sin embargo se refiere a lo que en este texto llamamos instalación predial o domiciliaria, toda vez que el Reglamento identifica sus inicio con "la válvula de salida del medidor" y no con el límite del predio.

⁷ según Art° 67 del Reglamento de Prestación de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario para titulares de concesión, Borrador de Marzo 2001, norma que aún no está aprobada ni vigente

macromedición	conjunto de acciones destinadas a cuantificar y registrar los caudales y volúmenes producidos y distribuidos en los sistemas de abastecimiento de agua (agua cruda y AP), además del registro de los niveles de agua en los tanques de almacenamiento y presión en las tuberías de agua potable ⁸ También puede darse en el sistema de ALC-S.
macromedidor	= →hidrómetro de grandes caudales aparato mecánico o magnético que realiza la →macromedición
medición	<ul style="list-style-type: none"> • conjunto de acciones destinadas a cuantificar y registrar los volúmenes de agua cruda, AP o agua residual que fluyen por una tubería, con ayuda de →medidores • mecanismo de un →micro medidor cuya función es la cuantificación de volúmenes de AP que fluyen por una →acometida (ver también →trasmisión y →registro)
medición de consumos	= →micromedición
medición domiciliaria	= →micromedición
medidor	= →hidrómetro aparato mecánico o magnético que realiza la →medición
Micro medición	= →medición domiciliaria = →medición de consumos conjunto de acciones destinadas a cuantificar y registrar los volúmenes de AP que son suministrados a las →conexiones domiciliarias e ingresan a interior predio, con ayuda de micromedidores (ver también →macromedición)
Micro medidor	= →hidrómetro de consumo aparato mecánico o magnético que realiza la micromedición (Ver también Fig. 45 al final de este glosario.)
modelo (de micromedidor)	categoría de micromedidor que se define por un mismo diseño constructivo e idénticas →características dimensionales, hidráulicas y metrológicas Varios <i>modelos</i> pueden corresponder a un mismo → <i>tipo</i> , y de un determinado <i>modelo</i> se suele producir muchos <i>ejemplares</i> .
molinete	tipo de →turbina “tangencial” donde el agua fluye perpendicularmente al eje de la →turbina (ver también →hélice)
nutación	Movimiento p.ej. de un disco que oscila alrededor de su eje pero sin que gire el disco y sin que se mueva su centro; esto se ve más o menos como un trompo en movimiento o como si nos echáramos a andar a bastante velocidad en una bicicleta donde las tuercas de la rueda delantera están muy sueltas, y nos imagináramos que el trompo o la rueda no estuviera girando. El disco →nutativo es un dispositivo de movimiento en la →medición que se da en los micromedidores volumétricos.

⁸ formulación propia en base a CAVALCANTI (1997), pág. 31

nutativo	ver →nutación
pérdida de carga	pérdida de presión hidráulica que sucede debido a la presencia del medidor u otros accesorios en la tubería de agua
pérdida por fuga	volumen de AP que es desperdiciado <i>antes o después</i> de la conexión domiciliaria por desperfectos en las instalaciones hidráulicas Según el caso, es parte o del agua no contabilizada o del consumo facturable y, en todo caso, del volumen no justificado
precisión	característica del funcionamiento de un micromedidor dentro de límites preestablecidos; es la relación porcentual entre el volumen de AP registrado y el volumen que pasa efectivamente a través del aparato; se la establece mediante diagnóstico, revisión y pruebas (ver también →sensibilidad, →estanqueidad y →características metrológicas)
presión	= →carga relación entre una fuerza y la superficie sobre la cual ésta actúa (ver también →características dimensionales y →pérdida de carga)
recorrido	= →ruta
rectificación	modalidad de →depuración que se aplica en los casos sin →lectura y de error de lectura (= →inconsistencias aparentes), supliendo la falta de valor respectivamente reemplazando el valor registrado en la 1ª lectura, por aquel de la 2ª
red de distribución	conjunto de tuberías para abastecimiento de AP a una población, con determinados volúmenes previstos para un determinado período
red de micro medidores	conjunto físico-hidráulico de los micromedidores instalados en una →red de distribución; diferente al →subsistema de micromedición que es un concepto bajo el enfoque sistémico
reemplazo (de micromedidor)	→retiro de un micromedidor instalado con (posibles) defectos y subsiguiente cambio por uno sin defectos
registrador	dispositivo de un micromedidor cuya función es el →registro de volúmenes de AP; puede funcionar de manera análoga (→relojería) o digital (→totalizador)
registro	<ul style="list-style-type: none"> • acción de documentar los volúmenes de agua cruda, AP o agua residual que fluyen por una tubería, con ayuda de →medidores • mecanismo de un →micromedidor cuya función es la documentación de volúmenes de AP que fluyen por una →acometida (ver también →registrador, →medición y →transmisión)
relojería	varios punteros o agujas que giran en el sentido del reloj, cada cual señalando a una escala redonda que abarca de 0 a 9; es parte del <i>display</i>
retiro (de micromedidor)	desinstalación de un micromedidor instalado con (posibles) defectos, con o sin subsiguiente cambio por uno sin defectos (ver también →reemplazo)

revisión previa (de lecturas)	1ª fase del proceso de identificación y depuración de inconsistencias, que se desarrolla en gabinete; su objetivo es identificar <i>preliminarmente</i> las inconsistencias en las primeras lecturas
revisor (de lecturas)	funcionario de la EPSA encargado de la →revisión previa de lecturas
ruta	= →recorrido organización de la secuencia de predios y micro medidores a lecturar, idealmente alrededor de los manzanos; facilita sustancialmente el trabajo de lectura
sector (de servicio)	superficie o área exactamente delimitada que corresponde a una parte hidráulicamente específica de la red de distribución y donde se desarrolla un conjunto de →lecturas; varios sectores componen una →zona
sensibilidad (del micromedidor)	característica del funcionamiento de un micro medidor dentro de límites preestablecidos; es determinado caudal con el cual empieza a reaccionar la →turbina, →hélice, →pistón o →disco del micromedidor
sistema comercial	conjunto de funciones, rutinas, operaciones e instrumentos, destinado a la venta de los servicios de AP y ALC y a establecer, mantener y disolver la relación entre la EPSA y sus →clientes, con los propósitos establecidos en los contratos de servicio, en los estatutos, reglamentos internos, planes estratégicos y operativos de la EPSA; comprende los sub-sistemas de <ol style="list-style-type: none"> 1. promoción y contratación 2. →catastro de clientes 3. →instalación, corte y rehabilitación de los servicios 4. →micro medición 5. →lectura y →crítica 6. facturación 7. cobranzas 8. atención al cliente y tiene interfaces con otros sistemas transversales de la EPSA en general, como ser los de →medición, información, planificación y educación sanitaria
sistema de medición	sistema operativo transversal de la EPSA, compuesto por el →subsistema de macromedición y el →subsistema de micromedición
subsistema de macromedición	sistema operativo del Area 2 "Operaciones técnicas" de la EPSA que está a cargo de la macromedición y que forma parte del →sistema de medición
subsistema de micromedición	sistema operativo del Area 3 "Comercial" de la EPSA que está a cargo de la →micromedición y que forma parte del →sistema de medición; diferente a la →red de micromedidores que es un concepto bajo el enfoque físico-hidráulico
tambor	dispositivo del →registro que recibe el movimiento de los engranajes y determina la totalización de los volúmenes de AP que pasan por el →hidrómetro; se encuentra debajo del <i>display</i> y acciona la →relojería o el →totalizador
tarjetas de lectura	ver →libro de lectura

tipo (de micro-medidor)	<p>categoría de micro medidor que se define por el principio de funcionamiento; dentro de un tipo existen varios modelos</p>
totalizador	<p>marcador consistente de un aro de plástico que gira hacia abajo, exhibiendo consecutivamente a través de una ventanilla los dígitos 0 a 9 que se encuentran impresos sobre el aro; es parte del <i>display</i></p>
trasmisión	<ul style="list-style-type: none"> • acción de transformar volúmenes cuantificados de agua cruda, AP o agua residual que fluyen por una tubería, en volúmenes documentados, con ayuda de medidores • mecanismo de un micro medidor cuya función es la transformación del número de movimientos originados en el elemento móvil de medición por el AP que fluye por una →acometida (revoluciones respectivamente carreras), en otros movimientos que accionen debidamente los tambores del registro
turbina	<p>dispositivo rotativo en la cámara de medición de un micro medidor velocimétrico que gira con el paso del AP; se lo encuentra en forma de molinete o hélice</p>
usuario	<ul style="list-style-type: none"> • persona natural o jurídica que usa los servicios de AP y/o ALC de la EPSA, esté amparada en ello por un contrato de servicios vigente o no (usuario clandestino; ver también →agua clandestina); incluye a los →clientes suscritos • <i>"toda persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza alguno de los Servicios de Agua Potable o Alcantarillado Sanitario"</i>⁹
validación	<p>última actividad durante la →crítica que consiste en la aprobación de todos los consumos incluyendo los →depurados; su resultado son los →consumos facturables que pasan a →liquidación</p>
velocimétrico	<p>= de velocidad, →inferencial, →dinámico característica común a los micro medidores de aquel tipo donde el principio de medición se basa en el conteo del número de revoluciones de la turbina</p>
violación (de micro medidores y conexiones domiciliarias)	<p>tipo de anomalía de lectura cometida activamente y de mala fe por algún usuario (ver también →irregularidad)</p>
vivienda	<p>= residencia unidad constructiva y urbanística que está destinada al alojamiento más o menos permanente de sus habitantes; un predio o lote puede abarcar varias viviendas, y una vivienda puede estar compuesta de una sola unidad socio-económica u hogar (= vivienda "unifamiliar") o de varios hogares (= vivienda "multifamiliar", p.ej. en el caso de un edificio de departamentos)</p>

⁹ Ley 2066 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, Art. 8°, inc. x)

volumen justificado	volumen de AP usada racionalmente <i>antes o después</i> de la conexión domiciliaria Según el caso, es parte o del agua no contabilizada o del consumo facturable y consiste de →agua de barrido y →consumo racional.
volumen no justificado	= →desperdicio volumen de AP desperdiciada irracionalmente <i>antes o después</i> de la conexión domiciliaria Según el caso, es parte o del agua no contabilizada o del consumo facturable y consiste de ANC por baja sensibilidad del micro medidor, consumos supérfluos, agua clandestina y pérdidas por fugas
volumétrico	= de desplazamiento positivo característica común a los micro medidores de aquel tipo donde el principio de medición es con ayuda de un depósito "testigo", llenándose un compartimiento y vaciándose el otro
zona (de servicio)	superficie o área exactamente delimitada que corresponde a una parte hidráulicamente específica de la red de distribución y que se compone de varios sectores

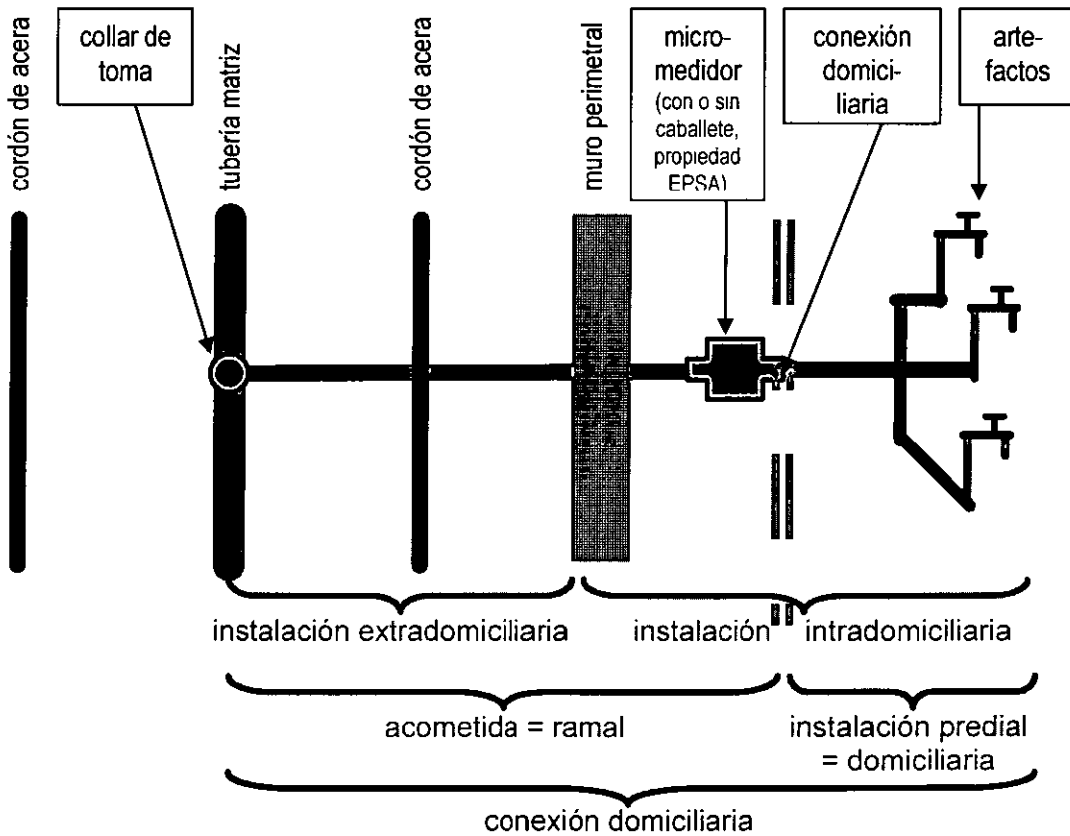
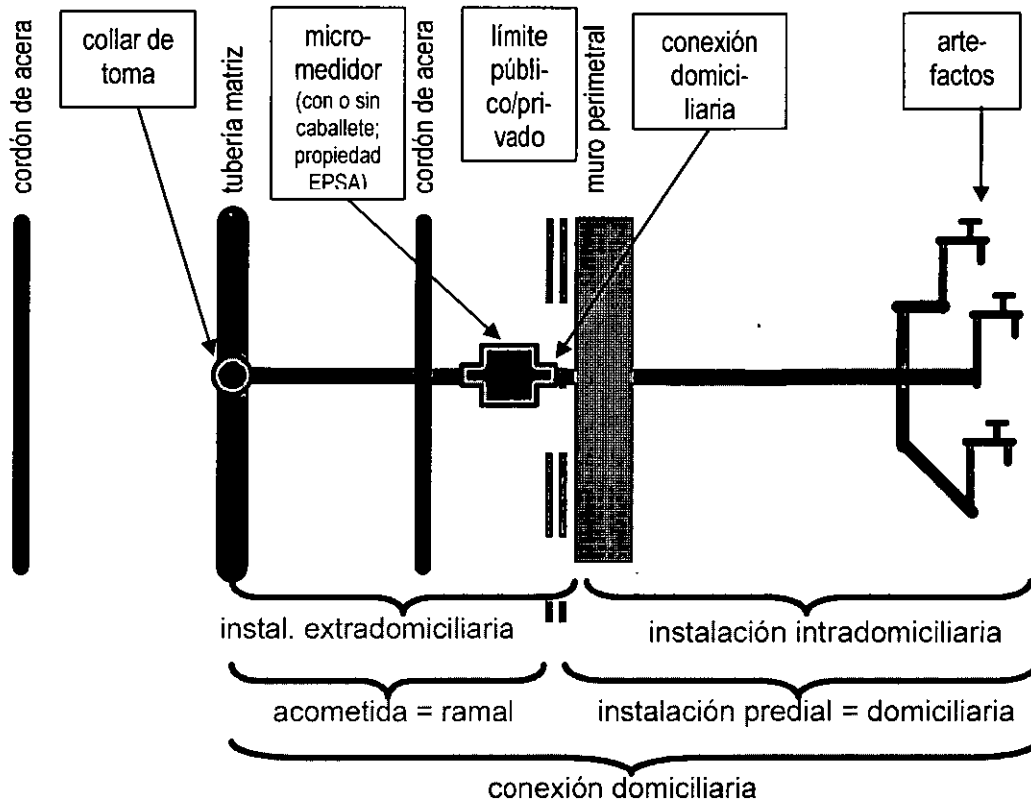


Fig. 45: Interrelación de términos en torno a la →conexión domiciliaria (propuesta)

Anexo 5: Bibliografía

1.- Literatura consultada

- CAVALCANTI Adalberto *Macro y Micro medición en sistemas de Agua Potable*
1983 CEPIS
- DINASBA - IBNORCA *Norma Técnica de diseño para sistemas de agua potable NB*
689 Capítulo 11 Red de Distribución.
- DINASBA – IBNORCA. *Reglamentos técnicos de diseño para sistemas de agua*
potable, Noviembre
- ANESAPA Ing. José Luis *Programa de Medidas Complementarias (Fortalecimiento*
Cabero Rea, . *Institucional) Sistema Técnico Operacional*
Diciembre 2000





DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

MOD. 14

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

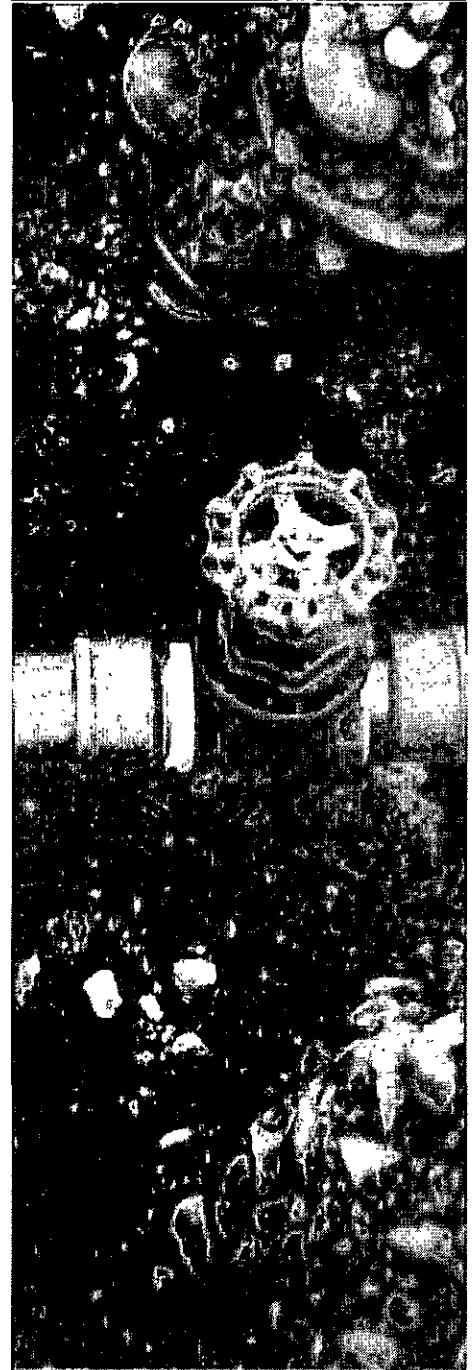
Medición y Control de Fugas

Autor: Ing. Pedro A. Aliaga Doria Medina

Diciembre, 2003

La Paz - Bolivia

sistema modular de capacitación



**Operaciones
Técnicas**

PREFACIO

Proporcionar herramientas operativas sencillas y ágiles que faciliten el manejo de los sistemas de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado sanitario con criterios de calidad, eficacia y eficiencia, constituye uno de los requisitos fundamentales para el fortalecimiento y la consolidación especialmente de las pequeñas y medianas empresas de servicio en el país. Esta es una tarea requerida y fomentada por la Ley No. 2066 de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del 11 de abril 2000.

En el marco de sus servicios de capacitación, el SAS quiere dar a conocer guías prácticas que conduzcan al logro de la excelencia en la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua y alcantarillado sanitario. Asimismo pretende crear determinados conocimientos y competencias transversales mínimas que deberían existir por igual entre todos y cada uno de los funcionarios de esas entidades. Esta iniciativa puede contribuir a la reducción de los consabidos efectos de los deficientes servicios de AP y ALC-S que atentan contra la salud y el medio ambiente y que forman parte de las causas estructurales de los problemas que vive Bolivia.

El presente documento es uno de los textos didácticos de la serie de módulos de capacitación del Sistema Modular que el SAS viene preparando desde 1999. La forma de presentación representa una innovación didáctica en el sector saneamiento básico en el país; todos los módulos corresponderán a un mismo concepto didáctico y a un estilo uniforme de diagramación.

Deseamos que éste como todos los textos didácticos por publicar enriquezcan a capacitados y docentes, sea en la situación del curso como en el estudio individual.

Ing. Ronny Vega Márquez
Gerente General
ANESAPA

Lic. Michael Rosenauer
Coordinador del Programa de Agua
Potable y Alcantarillado Sanitario
en Pequeñas y Medianas Ciudades
PROAPAC - GTZ



ÍNDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
PREFACIO	2
SIGLAS Y ABREVIACIONES UTILIZADAS	5
INTRODUCCIÓN	6
1. OBJETIVOS DE LA MICRO MEDICIÓN	7
1.1 Selección, evaluación y dimensionamiento de micro medidores	7
1.1.1 Selección	8
1.1.2 Especificaciones técnicas de micro medidores	15
1.1.3 Dimensionamiento de medidores	17
1.2 Evaluación de medidores nuevos	22
1.2.1 Proceso de evaluación de medidores	23
1.3 Criterios de instalación de micro medidores	24
1.3.1 Recomendaciones para la instalación de medidores domiciliarios	25
1.3.2 Recomendaciones para la instalación de medidores industriales	26
1.3.3 Patrones de ubicación del medidor	27
1.3.4 Principales tipos de caballetes, cajas de protección y materiales utilizados	31
1.4 Catastro	31
1.5 Lectura	31
1.5.1 Ruta de recorrido	31
1.6 Mantenimiento	33
2. MACRO MEDICION	35
2.1 Objetivos de la macro medición	35
2.1.1 Planeamiento y control operacional	35
2.1.2 Control de pérdidas	35
2.2 Criterios generales y específicos	36
2.2.1 Selección del lugar de montaje del macro medidor	36
2.2.2 Condiciones hidráulicas de flujo	37
2.2.3 Selección de medidor de caudal para instalaciones nuevas	38
2.2.4 Costo de implantación del macro medidor	39
2.3 Selección	41
2.3.1 Tipos de macro medidores	41
2.3.2 Calibración e instalación	63
2.4 Instalación de macro medidores de caudal	63
2.4.1 Precauciones generales para la instalación	63
2.4.2 Precauciones de carácter específico	67
2.5 Lecturas y datos	77
2.6 Mantenimiento	78
2.6.1 Capacitación tecnológica para operar y mantener los aparatos	78
2.6.2 Certificados de garantía	79
3. SECTORIALIZACION DE REDES	80
3.1 Conocimiento de la red de distribución (catastro de redes)	80

3.2	Actividades de la operación de la red	82
3.3	Criterios para sectorializar la red de distribución de agua	83
3.3.1	Concepción	83
3.3.2	Proyecto	84
3.4	Frecuencia de lectura de macro medidores, en fuentes y en distritos	84
4.	BALANCE HÍDRICO O DE AGUAS	86
4.1	Información necesaria	86
4.2	Forma de realización	86
5.	PROGRAMA DE CONTROL DE PÉRDIDAS	93
5.1	Definición	93
5.2	Objetivos de un programa de control de pérdidas	94
5.2.1	Subprograma comercial	94
5.2.2	Subprograma técnico	96
5.3	Formulación del programa de control de pérdidas	100
5.3.1	Metodología y cálculo de aforos volumétricos para determinar pérdidas por estanqueidad en las plantas de tratamiento	103
5.3.2	Metodología y cálculo de aforos volumétricos para determinar pérdidas por estanqueidad en el tanque de almacenamiento	104
5.3.3	Metodología y pruebas para determinar el caudal promedio diario (QPD) y el caudal mínimo nocturno (QMN) a la salida del tanque de almacenamiento	106
5.3.4	Metodología y cálculo para determinar los subregistros de consumo en los micro medidores	109
5.4	Equipos utilizados para la detección de fugas	110
5.4.1	Correlador acústico microcorr	110
5.4.2	Geófono electrónico	111
5.4.3	Detector electrosónico de fugas de agua	111
5.4.4	Caudalímetro ultrasónico	111
5.4.5	Detector de tubería metálica	111
5.4.6	Detector de tubería no metálica	111
5.4.7	Detector de válvulas	112
5.4.8	Registrador continuo de presión	112
ANEXOS		113
Anexo 1:	Formato de planificación del Módulo (FPM)	114
Anexo 2:	Ejemplo de especificaciones técnicas para la adquisición de micromedidores	115
Anexo 3:	Principales tipos de caballetes, cajas de protección y materiales utilizados en conexiones domiciliarias	119
Anexo 4:	Glosario	133
Anexo 5:	Bibliografía	146

SIGLAS Y ABREVIACIONES UTILIZADAS

AAPOS	Administración Autónoma para Obras Sanitarias (EPSA en Potosí)
ALC	alcantarillado
ALC-S	alcantarillado sanitario
ANESAPA	Asociación Nacional de Empresas e Instituciones de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (La Paz)
AP	agua potable
cap.	capítulo (del presente texto)
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Lima / Perú)
CT	Comisión Técnica
d	día(s)
D	diámetro
DINASBA	Dirección Nacional de Saneamiento Básico (La Paz)
D _n	diámetro nominal
ed.	editor; editado por; editorial
EPSA	Entidad Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (antiguamente EPS)
etc.	<i>et cetera</i> (y restantes)
Fig.	figura
FPM	Formato de Planificación de Módulos
ft.	pie(s) (del inglés: foot [pronúnciese <i>fuf</i>], plural: feet [pronúnciese <i>fit</i>])
FT	Fuerza de Tarea
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (Cooperación técnica alemana)
h	hora(s)
inc.	inciso
INE	Instituto Nacional de Estadística (La Paz)
kg/cm ²	kilogramo(s) por centímetro cuadrado
l	litro(s)
l/h	litro(s) por hora
m	metro(s)
m ³	metro(s) cúbico(s)
m ³ /d	metro(s) cúbico(s) por día
m ³ /h	metro(s) cúbico(s) por hora
MVSB	Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos (La Paz)
O&M	operación y mantenimiento
pág.	página
p.ej.	por ejemplo
PFI	Proyecto de Fortalecimiento Institucional AAPOS y SeLA (con financiamiento de la GTZ)
PROAPAC	Programa de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en Pequeñas y Medianas Ciudades
Q	caudal o volumen o flujo o gasto de agua (potable)
SAS	Dirección de Servicios de Capacitación y Asistencia Técnica de ANESAPA (Servicios de Apoyo a la Sostenibilidad en Saneamiento Básico)
SeLA	Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado (EPSA en Oruro)
SISAB	Superintendencia Sectorial de Saneamiento Básico (La Paz)
VSB	Viceministerio de Servicios Básicos (La Paz)
vol.	volumen (de agua)

INTRODUCCIÓN

El presente módulo de Capacitación pretende brindar un conocimiento general sobre los aspectos pertinentes de macro medición, micro medición, sectorialización de la red y control de pérdidas, para el caso del área técnica definido como control de fugas.

Los dos primeros capítulos dan al lector una idea de cómo dimensionar, seleccionar y aplicar tanto la macro medición como la micro medición, se presentan características de diferentes medidores evaluando su ventajas y desventajas, abriendo un abanico de posibilidades, que permite lograr mejores resultados, por su carácter descriptivo tiende a ser un material árido, pero es importante conocerlo y poder aplicarlo.

El capítulo tres está relacionado con la sectorialización de la red, donde se describe una metodología útil a la hora de dividir la red en sectores de fácil operación y donde se pueden realizar trabajos de control de pérdidas.

En el capítulo quinto, se describe lo referido al control de pérdidas, haciendo énfasis en dos subprogramas: uno correspondiente al área técnica en si y otro que corresponde al área comercial. Se describen ambos para conocimiento del lector, profundizando en el que corresponde al área técnica, este conocimiento global del problema, esperamos facilite la solución del mismo.

Se evitó textos largos, haciendo uso de tablas donde se visualizan mejor las alternativas.

Este material está dirigido en general al personal del área de operaciones, técnico medio y superior, asignado a funciones de producción y distribución (operación y mantenimiento de redes), para que adquieran conocimientos generales sobre el tema y a ingenieros como una guía de cómo realizar un programa de control de pérdidas.

Previo a cerrar esta introducción, se expresa un **agradecimiento** a los integrantes de la CT2 / FT2 quienes han aportado sugerencias al texto, y al Ing. José Luis Cabero quien realizó una profunda revisión técnica de los contenidos. Finalmente cabe agradecer a la Lic. Janett Ferrel Díaz por su prolija labor de edición técnica del texto.

Ing. Pedro A. Aliaga Doria Medina
Consultor
Fuerza de Tarea 2

Ing. Ximena Gonzáles
Redactor del Texto Didáctico

MACRO Y MICRO MEDICION Y CONTROL DE FUGAS

1. OBJETIVOS DE LA MICRO MEDICIÓN

(1) El crecimiento de la población, el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo urbanístico, económico e industrial de las ciudades, han originado un gran incremento de la demanda global, per cápita y de instalaciones adecuadas para su suministro y evacuación. Los desagües de viviendas e industrias están contaminando las fuentes de agua. Estos factores contribuyen a la continua disminución de la disponibilidad de oferta de agua per cápita y al aumento de los costos de producción, con el consecuente mayor requerimiento de ingresos financieros para cubrirlos.

← El agua cercana a las poblaciones ya está utilizada y el abastecimiento tiene que ser de fuentes distantes y escasas.

(2) La solución natural y lógica a ese problema de escasez y costo tiene que ser la optimización del aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles, teniendo máximos cuidados en su conservación y en la producción de agua, minimizando su pérdida en las instalaciones y eliminando los consumos superfluos y los desperdicios.

← El empleo de medidores de agua es la mejor forma de reducir el desperdicio de agua.

(3) Democratizando el pago, al contabilizar el volumen de agua suministrada para efectos de cobranza, correspondiendo un mayor pago a un mayor consumo.

1.1 Selección, evaluación y dimensionamiento de micro medidores

(4) Debe entenderse como:

Definiciones

- **Selección**, la acción necesaria que define las características y dimensiones de los aparatos, que se adecuan mejor a las condiciones locales.
- **Evaluación** de medidores nuevos, es la acción necesaria cuando se desea realizar una adquisición de medidores. Se deben evaluar las muestras de los aparatos ofrecidos, de tal manera que se obtengan criterios suficientes para tomar una decisión sobre la oferta más conveniente.

- **Dimensionamiento** del medidor de agua, es el proceso por el que se define, el medidor a ser colocado en una conexión específica. Aquí, además de escoger las dimensiones, se indica el tipo de aparato que satisface las condiciones locales.

1.1.1 Selección

(5) Antes de empezar la selección propiamente dicha, es necesario, se analice lo siguiente:

- ¿Cuál es el tipo de medidor de agua que se utiliza en las EPSA?
- ¿Cuál es el aparato de menor capacidad utilizado?
- ¿En qué criterio se fundamentó la selección del tipo de medidor utilizado?
- ¿Existe la seguridad de que éste es el medidor más adecuado al uso o categoría en la que se va a utilizar?

(6) Para responder estas interrogantes, se puede afirmar que se emplea el medidor que se adapta mejor a las condiciones locales.

← Se emplea el medidor que está disponible en el mercado, o el más adecuado a las necesidades.

(7) Sin embargo, los beneficios del empleo de medidores no se obtienen sólo con la compra de un medidor cualquiera; es necesario que estos aparatos sean seleccionados correctamente a fin de que registren con precisión los volúmenes de agua que los atraviesan y mantengan esta precisión durante toda su vida útil o al menos por un período de tiempo muy cercano.

(8) Para que esto ocurra, es menester que los medidores se seleccionen partiendo de la base del comportamiento de los flujos, que ocurren en las conexiones a las que se destinan.

← Seleccionando adecuadamente el medidor, se asegura la confiabilidad. Por eso se necesitan investigaciones específicas.

(9) En realidad, la mayoría de las veces, debido a que una investigación de esta especie demanda cierto grado de tecnología y conocimiento, este tipo de selección se ha realizado sobre la base de estimaciones.

1.1.1.1 Criterios para la selección de medidores domiciliarios

(10) La elección del tipo de medidor a utilizarse debe, realizarse sobre la base del conocimiento de las características del flujo en la conexión domiciliaria y de la extensión del

← Los criterios para la selección de medidores son: calidad del agua, tecnología de medición, costo de inversión y operación y la vida útil.

rango de medición dentro del cual funciona el medidor para patrones aceptables de errores.

(11) Queda entendido que se debe tener en cuenta la calidad del agua con la cual funciona el medidor. Esta es una consideración importante ya que un medidor puede tener un excelente comportamiento en las pruebas de laboratorio y sin embargo, poco tiempo después de su instalación, la curva de errores puede presentar un cambio bastante acentuado.

(12) Al elegir entre un medidor de desplazamiento positivo (volumétrico) y uno de velocidad, a manera de análisis se puede afirmar que **los medidores de desplazamiento tienen una sensibilidad superior a los de velocidad**. Sin embargo, se ven afectados más frecuentemente por la calidad del agua y tienen un costo de adquisición entre 30 y 40% mayor a los de velocidad y un costo de mantenimiento mayor al 60% con relación a los de velocidad. Los medidores de principio volumétrico tienen la característica de trabarse e impedir el paso del agua a domicilios donde están instalados debido a las impurezas arrastradas por el agua.

1.1.1.2 Clasificación de los medidores de agua

(13) **Existen varios criterios** que pueden ser usados para **clasificar los micro medidores**. A continuación se presentan los diferentes tipos con sus ventajas y desventajas.

Tipos de medidores

Clasificación	Características	Ventajas	Desventajas	Observaciones	
Con relación al principio de funcionamiento	Volumétricos	De pistón rotativo	Comienza a indicar consumo con caudales muy bajos (3 a 5 litros por hora) y por eso su caudal mínimo es bajo.	Puede presentar problemas rápidamente, en caso que el agua no sea de óptima calidad. Los problemas más frecuentes que ocurren en este tipo de micro medidor son el trabe, por la mala calidad del agua, y grandes errores, debidos al desgaste de las piezas móviles. Su trabe puede obstruir la entrada del agua en el inmueble, cuando trabaja con agua con partículas sólidas.	
		De pistón nutativo			
	De velocidad o taquímetro	Multichorro	Son más baratos que los de tipo volumétrico.		Caudal mínimo más elevado que sus similares volumétricos.
		Unichorro	Trabajan mejor con agua de baja calidad, que contengan partículas.		
Con relación al mecanismo de transmisión	Mecánica de esfera seca	La relojería seca posibilita una lectura fácil.	El rozamiento del eje en el anillo disminuye la sensibilidad del micro medidor en los bajos caudales. Este sistema puede llegar a tener problemas en la estanqueidad ya que puede presentar filtraciones y consecuentemente entrar agua en la cámara del mecanismo registrador.		
	Magnética de esfera inmersa en medio propio	Facilita la lectura, pues la relojería nunca queda empañada.	Es más caro que el tipo de relojería seca.		
	Mecánica de esfera húmeda	Comienza a funcionar con menores caudales, porque no posee un anillo que logre la estanqueidad, que si posee el micro medidor de esfera seca y que dificulta el movimiento del eje. Si un micro medidor de esfera seca comienza a funcionar, por ejemplo, con un caudal de 9 a 10 litros por hora, el micro medidor húmedo funcionará con 3 a 5 litros por hora.	Con el tiempo, los residuos y sedimentos traídos por el agua acaban por ensuciar los engranajes, lo que ocasiona que se pierda sensibilidad. Además, puede llegar a ensuciar el mostrador (panel) y dificultar su lectura.		
	Magnética de esfera seca	No presenta anillos para la estanqueidad, manteniendo además el reductor y la relojería secas, teniendo una mejor sensibilidad que los de transmisión mecánica de esfera seca.	Con caudales altos o variaciones bruscas en el caudal puede ocurrir patinaje de los imanes ocasionando errores de medición.		
Con relación al mecanismo totalizador	Con la indicación por medio de rodillos (cilindro - ciclo-métricos) - lectura recta a. l.	Menos posibilidad de errores en la lectura.	Mayor fuerza para mover los rodillos.		
	Con indicación por manecillas - lectura circular	Necesita menor fuerza para poder moverse.	La lectura es más difícil y exige mayor atención. Dificultad de fabricación ya que los engranajes deben estar muy bien hechos para no acusar errores en la indicación de las manecillas, además la escala del número de mostradores (carátulas) debe estar muy bien centralizada. De no ocurrir este ajuste, puede haber desfase de una manécilla con relación a otra, lo que terminaría provocando errores de lectura.		Por estos motivos, a partir de 1970, este tipo de registrador ha sido abandonado, prefiriéndose el uso de registradores por rodillos.

Tabla 1: Clasificación de los medidores de agua

1.1.1.3 Criterio para la selección de medidores para grandes consumos

(14) Para esta selección se emplean básicamente dos tipos de medidores: los Woltmann y los compuestos.

(15) Los medidores Woltmann se pueden clasificar en **verticales y horizontales**.

Medidores Woltmann

(16) Los medidores **Woltmann verticales** son aparatos cuyo eje de turbina trabaja perpendicularmente a la tubería en la cual se encuentran instalados.

(17) Los medidores **Woltmann horizontales** son aparatos cuyo eje trabaja paralelamente al eje de la tubería en la cual se encuentran instalados.

(18) Los **medidores compuestos** son aparatos formados por un medidor grande asociado a uno pequeño dispuesto de tal forma que los grandes caudales sean registrados en el medidor grande y los pequeños en el otro.

Medidores compuestos

(19) Los criterios a utilizar son semejantes a los citados para la selección de medidores domiciliarios. Llamamos la atención al hecho de que un pequeño número de estos medidores es generalmente responsable del 40% del volumen total medido en una empresa, considerándose este valor el consumo de agua que realizan los grandes consumidores, siendo el restante 60% las conexiones domésticas, con pequeños consumos y en virtud de esto, se debe dar una especial atención a la extensión del campo de medición del aparato versus el costo del agua por medir. El empleo correcto se debe basar también en una investigación "in situ".

1.1.1.4 Método para la selección de un medidor

(20) El método de selección de medidores de agua que se verá a continuación, cuenta con **tres etapas**, las cuales deben permitir el completo conocimiento de las condiciones de funcionamiento de las conexiones a que se destinan los medidores.

(21) Las etapas son las siguientes:

1. **Investigación** sobre el comportamiento de los consumos de las conexiones.
2. **Exámenes**, pruebas en taller de los medidores y análisis comparativo.
3. Investigación de los **medidores en servicios**, o sea en condiciones normales de trabajo.

Etapas del método de selección

(22) Para la perfecta selección de los medidores, es necesario que se conozca el comportamiento del flujo en las conexiones a que se destinan. Este comportamiento puede variar substancialmente en residencias de características idénticas si éstas tienen diferentes sistemas de distribución de agua, es decir, que una tenga la distribución hecha por un tanque propio elevado y la otra tenga los grifos alimentados directamente de la red de distribución.

← Los medidores donde predomina el consumo a través de tanques con flotador, debe ser más sensible que los de residencias que consumen de tanques.

(23) En la **Tabla 2** se presenta las **etapas que componen el método propuesto**, detallando las actividades generales comprendidas en él. Cada una de esas actividades puede dividirse en sub-actividades, las que se abordarán en líneas generales. El método tiene tres fases muy distintas. Todas ellas son indispensables para la obtención del objetivo propuesto.

(24) A continuación se presenta cada una de las etapas citadas.

Nº	Etapas	Descripción
1.1	Análisis del comportamiento del flujo en las conexiones	En esta etapa se seleccionan aparatos registradores de consumo de rango compatible con el de las conexiones que se desean aforar. Para efectuar la selección de medidores domiciliarios se debe investigar un número suficiente de conexiones, de forma que el resultado refleje el comportamiento del universo en estudio. Una de las principales dificultades que se presentan para realizar una investigación de este tipo es la necesidad de adquisición de los equipos de registro de caudal.
2.1	Recepción del prototipo y examen visual	Inicialmente, los medidores recibidos son analizados visualmente, verificándose en esa oportunidad la superficie de la carcasa y el tipo de regulación del aparato, ya sea externa o interna. También se debe verificar la unidad de medida, ya sea en metros cúbicos u otra y las características del mostrador del medidor. Se verifica la indicación mínima y máxima, tamaño de los números indicadores de consumo, etc. En caso que el medidor esté de acuerdo con las especificaciones exigidas, se puede continuar con las pruebas siguientes. Se verifican las dimensiones del medidor comparándolas con las especificaciones utilizadas para cada caso.
2.2	Preparación para la realización de las pruebas en taller de los medidores	Estas actividades comprenden la selección del método de pruebas que se ha utilizado y la preparación de los equipos a ser empleados en las pruebas. En caso que no existan en la EPSA los equipos necesarios para la realización de las pruebas, se puede realizar las pruebas en el taller de una EPSA que posee equipos, bajo la fiscalización de empleados autorizados.
2.3	Pruebas para la determinación de las curvas características de los medidores	Se prueban los medidores en un número de flujos que lleven la definición completa de la curva de "error" y de la curva de "pérdida de presión". Un buen procedimiento es que cada flujo se repita por lo menos tres veces, si se utiliza el método de aforo tradicional. En la práctica, cuando se prueban medidores nuevos, se deben realizar pruebas a intervalos pequeños en el "campo inferior de medición" y mayores en el "campo superior de medición". Esto es necesario debido a la forma típica de la curva de error de un medidor de agua domiciliario. Las pruebas para determinación de la curva característica de los medidores están detalladas en el Capítulo Mantenimiento de Medidores.
2.4	Pruebas de presión en los medidores	Los medidores se prueban a presión estática establecida en las especificaciones existentes. Esta prueba es importante porque refleja el periodo de servicio del medidor. Para esta prueba se utiliza normalmente una presión de 20 kg/cm ² durante 1 minuto o 10 kg/cm ² durante 15 minutos. En esas pruebas el equipo utilizado consta de una bomba de presión equipada con manómetro de escala compatible con las presiones de pruebas.

N°	Etapa	Descripción
2.5	Comparación de las curvas de funcionamiento de las conexiones con las curvas características del medidor	Al conocerse las curvas de funcionamiento de las conexiones, se puede comparar con las características de medición y de pérdida de presión de los medidores. Luego, se estima el volumen de agua que sería registrado por el medidor instalado en la conexión en estudio. De acuerdo al volumen y flujos correspondientes, se estiman las pérdidas en dinero e inclusive, si fuese el caso, se compara alternativas de varios tipos de medidores a utilizar, analizando los costos y los beneficios preliminares, ya que sólo con las pruebas de servicio es que se puede hacer la evaluación económica definitiva. Es probable que en esa etapa se verifique la inconveniencia patente de algunos medidores con relación al tipo de conexión a que se destina, o en otras palabras, si tenemos un comportamiento de las conexiones, por ejemplo, con 70% de los consumos ocurridos por debajo de 60 l/h, en ese caso el medidor seleccionado debe tener menos de 40 l/h.
2.6	Verificación de la resistencia a la presión estática	Verificar si durante la prueba el medidor resiste o no, sin fugas o con fugas internas la presión a la que es sometido, lo cual se establece en las especificaciones. Esta prueba debe realizarse con atención especial en los medidores de transmisión mecánica debido a que estos medidores tienen en la caja de empaque del eje de transmisión un punto por demás vulnerable.
2.7	Pruebas de resistencia o fatiga	Para la realización de la prueba de fatiga se deben destacar dos puntos: <ul style="list-style-type: none"> • Prueba de flujos continuos. • Prueba de flujos discontinuos Al no contar con Normas Bolivianas, los procedimientos para la realización de estas pruebas deben obedecer a la ISO 4064 -Parte III, Medición de Agua en Conductos Cerrados - Métodos de Ensayo y Equipos.
2.8	Análisis de los resultados	Luego de obtenidos los resultados se construyen las curvas de error, ubicándolos en el mismo gráfico de la curva original. Las condiciones de aprobación del modelo de medidor de agua son las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Que no se constate con relación a la curva de error inicial, variación de medición superior a 1.5% entre Q_t y Q_{max} y superior a 3% entre Q_{min} y Q_t. • Que el medidor presente un error máximo de $\pm 6\%$ entre Q_{min} y Q_t y de 2.5 entre Q_t y Q_{max}.
3.1	Instalación de los medidores en servicio normal	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar los clientes donde serán instalados los medidores en condiciones normales de servicio, utilizando métodos de muestreo, de forma que esas unidades sean representativas del universo al cual se destinan los medidores seleccionados. • El diseño de la instalación fue ejecutado para que permita y facilite los aforos periódicos que se realicen 'in situ'. Para eso se colocó una "té" de derivación después del medidor, en la cual se puede conectar la extremidad del equipo de aforo portátil
3.2	Seguimiento de los medidores en servicio	Esta es una fase de extrema importancia en el proceso de selección de medidores, ya que si no se ejecuta con perfección, puede comprometer definitivamente el resultado. Las pruebas hechas en taller permiten verificar las características de funcionamiento del medidor en condiciones ideales. Mientras tanto, hay necesidad de someter el medidor a las condiciones reales de servicio, evaluando la influencia del agua en su mecanismo. De acuerdo con las características de diseño, un medidor puede influenciarse fácilmente por la calidad del agua. Se puede efectuar este seguimiento de dos maneras: Verificación de las ocurrencias en los medidores instalados Este seguimiento comprende la estadística de ocurrencias en el medidor, como por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> • Medidores dañados • Medidores parados • Con fugas en la carcasa • Vidrio empañado, etc. Normalmente, este seguimiento se realiza con una computadora utilizando el proceso normal de la medición de los consumos vigente en la EPSA. Verificación de la continuidad de medida (precisión a lo largo del tiempo). Esta consiste en la precisión a lo largo del tiempo, con el fin de averiguar con que intensidad determinada influye el agua en la calidad de medida del aparato. Esta acción se efectúa utilizando medidores patrones (medidores testigo) o empleando bancos portátiles de prueba. En este caso, se determina la precisión relativa del contador.
3.3	Análisis de resultado y estudio de costo beneficio	Con los datos obtenidos de acuerdo al párrafo anterior, se efectúa una evaluación del costo beneficio, es decir, si el medidor ofrece alguna ventaja con relación a los medidores conocidos. Existe la posibilidad de que se compruebe la inviabilidad de utilización del tipo de medidor en estudio, debido a incompatibilidad entre su rango de medición y el rango de flujos a que están sometidas las conexiones.

Tabla 2: Etapas para la selección de medidores



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

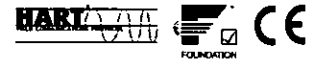
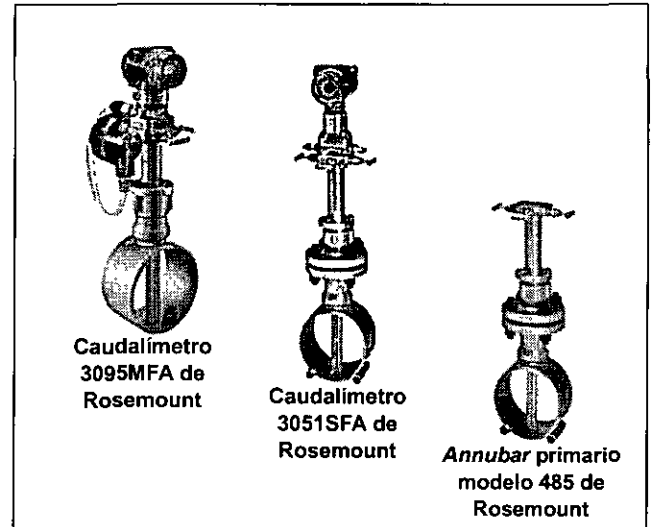
TEMA:

MEDIDORES ANNÚBAR

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

Serie de caudalímetros Annubar®

- *La combinación de elementos primarios Annubar con los transmisores de presión Rosemount resulta en los caudalímetros integrados de presión diferencial líderes en la industria*
- *Rendimiento superior con técnicas de medición innovadoras*
- *El diseño integral del sensor de temperatura permite efectuar mediciones de caudal másico en tiempo real*
- *Mayor tiempo efectivo de funcionamiento con un diseño que no requiere mantenimiento*
- *Gracias a una mínima pérdida permanente de presión se logran ahorros de energía*



Contenido

Serie de caudalímetros Annubar. página 2

Guía para la selección de caudalímetros de la serie Annubar página 3

Caudalímetro ProBar® modelo 3051SFA de Rosemount. página 4

 Especificaciones. página 4

 Certificaciones del producto. página 10

 Planos dimensionales página 13

 Información para hacer pedidos. página 18

Caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount página 24

 Especificaciones. página 24

 Certificaciones del producto. página 28

 Planos dimensionales página 30

 Información para hacer pedidos. página 35

Annubar primario modelo 485 de Rosemount. página 40

 Especificaciones. página 40

 Planos dimensionales página 44

 Información para hacer pedidos. página 49

Hoja de datos de la configuración (CDS, por sus siglas en inglés). página 53

Hoja de datos del fluido (FDS, por sus siglas en inglés). página 56

Serie de caudalímetros Annubar

Serie de caudalímetros *Annubar*

Caudalímetros integrados de presión diferencial líderes en la industria

Al integrar la electrónica del transmisor de presión con el tubo de Pitot promediador *Annubar* (APT, por sus siglas en inglés), Rosemount ofrece el caudalímetro de presión diferencial de inserción del más alto rendimiento. Este caudalímetro totalmente integrado elimina la necesidad de acoplamientos, tuberías, válvulas, adaptadores, manifolds y soportes de montaje, reduciendo de esa manera el tiempo de soldadura e instalación.

Rendimiento superior con técnicas de medición innovadoras

La precisión y repetibilidad de cada punto de medición de caudal se ven mejorados gracias al diseño de ranura frontal del *Annubar* y a su revolucionaria configuración. El incremento de la intensidad de la señal y la reducción del ruido permiten un riguroso control de procesos.

Gracias al diseño integral del sensor de temperatura, es posible efectuar mediciones de caudal másico en tiempo real

El sensor en forma de T patentado incluye un termopozo de retención de presión sellado que permite el caudal másico en todos los tamaños de línea con una sola penetración de tubo. La tecnología multivariable en las aplicaciones de vapor y gases compensa las variaciones en presión y temperatura, que pueden causar errores importantes en el caudal.

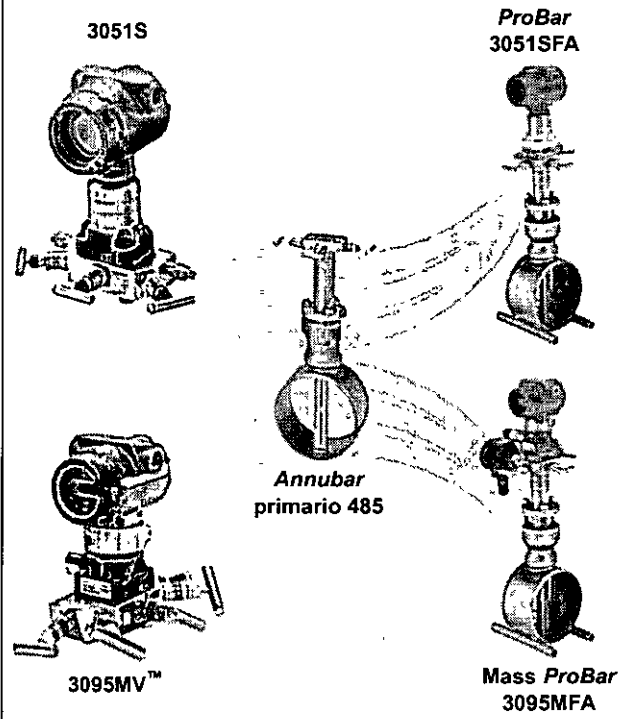
El tiempo efectivo de funcionamiento se incrementa gracias a que su diseño no requiere mantenimiento

El sensor *Annubar* está diseñado para evitar el desgaste y las obstrucciones en la tubería. Nuestra electrónica es la más estable en la industria y permite ciclos de calibración de hasta 10 años, por lo cual se obtienen ahorros importantes en mantenimiento.

Gracias a una mínima pérdida permanente de presión se logran ahorros de energía

El diseño no obstructivo del sensor *Annubar* introduce una mínima obstrucción en la tubería, reduciendo así la pérdida permanente de presión. La reducción de las pérdidas permanentes de presión se traduce directamente en ahorros de energía reflejados en el costo de compresión para gases, el gasto de electricidad para el bombeo de líquidos y el costo de combustible para la generación de vapor.

La combinación de los transmisores de presión Rosemount y el *Annubar* primario modelo 485 de Rosemount resulta en los mejores caudalímetros de su tipo



Funcionalidad avanzada *PlantWeb*[®]



Los caudalímetros *Annubar* de Rosemount accionan el sistema *PlantWeb* a través de una arquitectura escalable y ofrecen, además, capacidades para diagnósticos avanzados y MultiVariable. De esta manera se reducen los gastos operacionales y de mantenimiento, a la vez que se mejora el rendimiento y la gestión de los servicios generales.

Soluciones Rosemount para medición de caudal por presión diferencial (DP)

Serie de caudalímetros *Annubar*: Rosemount 3051SFA, 3095MFA y 405

La combinación del innovador *Annubar* modelo 485 de Rosemount de la quinta generación con el transmisor multivariable 3051S ó 3095MV produce un caudalímetro de inserción preciso, repetible y seguro.

Serie de caudalímetros con orificio compacto: Rosemount 3051SFC, 3095MFC y 405

Los caudalímetros de orificio compactos se pueden instalar entre las bridas existentes, hasta un valor de Clase 600 (PN100). En aplicaciones de ajuste firme, se tiene disponible una versión de placa de orificio acondicionadora que requiere sólo dos diámetros de tramo recto corriente arriba.

Serie de caudalímetros con orificio integral: Rosemount 3051SFP, 3095MFP y 1195

Estos caudalímetros de orificio integral no presentan las inexactitudes que son más evidentes en instalaciones de líneas de orificios pequeños. Los caudalímetros completamente armados, listos para instalarse, reducen el costo y simplifican la instalación.

Sistemas de elemento primario de la placa de orificio: Placas de orificio Rosemount 1495 y 1595, conexiones bridadas 1496 y secciones medidoras 1497

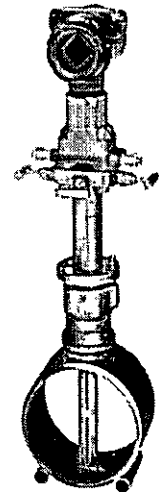
Una amplia variedad de placas de orificio, conexiones bridadas y secciones medidoras fáciles de especificar y pedir. La placa de orificio acondicionadora modelo 1595 proporciona una mayor eficacia en aplicaciones de ajuste firme.

Guía para la selección de caudalímetros de la serie *Annubar*

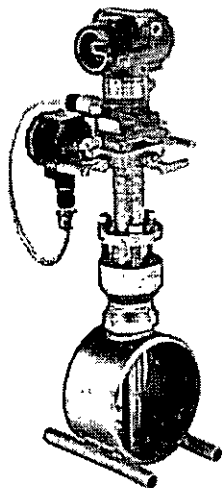
Caudalímetro *ProBar* modelo 3051SFA de Rosemount

La información para hacer un pedido se encuentra en la página 18.

- Combina el transmisor de presión escalable Rosemount modelo 3051S con el *Annubar* primario modelo 485 de Rosemount
- Precisión de hasta $\pm 0,80\%$ del caudal volumétrico
- La pantalla de cristal líquido y los puertos de comunicación se pueden montar en forma remota para fácil acceso
- Disponible con el protocolo fieldbus *FOUNDATION®*
- Tipo ideal de fluido: líquido



Caudalímetro *ProBar* modelo 3051SFA de Rosemount



Caudalímetro *Mass ProBar* modelo 3095MFA de Rosemount

Caudalímetro *Mass ProBar* modelo 3095MFA de Rosemount

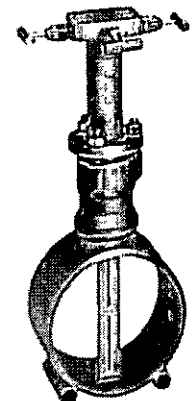
La información para hacer un pedido se encuentra en la página 35.

- Combina el transmisor multivariable de caudal másico modelo 3095MV de Rosemount con el *Annubar* primario modelo 485 de Rosemount
- Precisión de hasta $0,90\%$ del caudal másico en gas y vapor
- Con la penetración de un solo tubo, mide la presión diferencial, la presión estática y la temperatura del proceso
- Calcula dinámicamente el caudal másico compensado
- Tipos ideales de fluido: gas y vapor

***Annubar* primario modelo 485 de Rosemount**

La información para hacer un pedido se encuentra en la página 49.

- Gracias a su innovador diseño en ranura y en forma de T, su precisión se incrementa a $\pm 0,75\%$
- Una amplia variedad de configuraciones de montaje
- El manifold de cabeza integrada permite el montaje directo de los transmisores de presión diferencial
- El diseño Flo-Tap permite efectuar la instalación sin tener que parar el sistema
- Tipos ideales de fluido: líquido, gas y vapor



Annubar primario modelo 485 de Rosemount



Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetro *ProBar*[®] modelo 3051SFA de Rosemount

ESPECIFICACIONES

Funcionamiento

Precisión de la referencia del sistema

Porcentaje (%) de caudal volumétrico

Clásico (Turndown de 8:1)	Ultra (Turndown de 8:1)	Ultra para caudal (Turndown de 14:1)
±1,10%	±0,90%	±0,80%

Repetibilidad

±0,1%

Tamaños de las tuberías

- Sensor de tamaño 1: 50 a 200 mm (2 a 8 in.)
- Sensor de tamaño 2: 150 a 900 mm (6 a 36 in.)
- Sensor de tamaño 3: 300 a 1800 mm (12 a 72 in.)

TABLA 1. Número de Reynolds y ancho de la probeta

Tamaño del sensor	Número de Reynolds mínimo (R_d)	Ancho de la probeta (d)
1	6500	14,99 mm (0,590 in.)
2	12500	26,92 mm (1,060 in.)
3	25000	49,15 mm (1,935 in.)

Donde

d = Ancho de la probeta (pies)

V = Velocidad del fluido (pies/seg)

ρ = Densidad del fluido (lb_m/pie^3)

μ = Viscosidad del fluido ($\text{lb}_m/\text{pies-seg}$)

$$R_d = \frac{d \times V \times \rho}{\mu}$$

Salida

HART

- 4–20 mA ADC, salida de caudal. El protocolo digital HART se superpone a la señal de 4–20 mA; disponible para cualquier host que cumpla con el protocolo HART.

Fieldbus FOUNDATION (código de salida F)

- 17,5 mA para todas las configuraciones (incluyendo la opción con pantalla de LCD)

Suposiciones de la declaración de funcionamiento

- El diámetro interno de la tubería ha sido medido
- La electrónica ha sido adaptada para optimizar la precisión en el caudal

Dimensionamiento

Contactar a un representante de Emerson Process Management para obtener ayuda. Se requiere una hoja de datos de la configuración antes de hacer el pedido para verificar la aplicación.

Estabilidad a largo plazo

Ultra

- ±0,20% del límite superior del rango para 10 años; para ±28 °C (50 °F)

Clásico

- ±0,125% del límite superior del rango para 5 años; para ±28 °C (50 °F)

Acabado superficial del sensor *Annubar*

La superficie delantera del *Annubar* primario se ha texturizado para las aplicaciones con un número de Reynolds alto (generalmente gas y vapor). La superficie texturizada crea una capa límite más turbulenta en la superficie delantera del sensor. Gracias al incremento en la turbulencia, la separación del flujo en el borde del sensor es más predecible y repetible. Se determinará el acabado superficial adecuado para cada aplicación con el programa de dimensionamiento de Emerson Process Management.

Operativas

Aplicaciones

- Líquido
- Gas
- Vapor

Fuente de alimentación

Opción de 4–20 mA

- Se requiere una fuente de alimentación externa. Cuando no está bajo carga, el transmisor estándar (4–20 mA) funciona a un voltaje de 10,5 a 42,4 V CC.

Opción de fieldbus FOUNDATION

- Se requiere una fuente de alimentación externa. El transmisor funciona a un voltaje de terminales de entre 9,0 y 32,0 V CC

Límites de temperatura del proceso

Electrónica de montaje directo

- 232 °C (450 °F)
- 400 °C (750 °F) cuando se usa con manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura (Plataforma de conexión del sistema electrónico código 6)

Electrónica de montaje remoto

- 677 °C (1250 °F) – El material del sensor es *Hastelloy*[®]
- 454 °C (850 °F) – El material del sensor es acero inoxidable

Límites de temperatura para la electrónica

Ambiente

- –40 a 85 °C (–40 a 185 °F)
- Con pantalla de cristal líquido integrada: –20 a 80 °C (–4 a 175 °F)

Almacenamiento

- –46 a 110 °C (–50 a 230 °F)
- Con pantalla de cristal líquido integrada. –40 a 85 °C (–40 a 185 °F)



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Límites de presión y temperatura⁽¹⁾

Electrónica de montaje directo

- Hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- No es posible la medición de temperatura integrada con tipo de montaje bridado mayor que clase 600

Electrónica de montaje remoto

- Hasta ANSI n° 2500 (250 bar a 38 °C (3600 psig a 100 °F))

Límites de presión estática

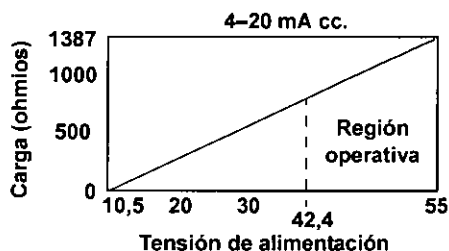
- Rango 1A: Funciona dentro de las especificaciones a presiones estáticas en la línea de 0,03 bar-A a 138 bar-G (0.5 psia a 2000 psig)
- Rangos 2A–3A: Funciona dentro de las especificaciones a presiones estáticas en la línea de 0,03 bar-A a 250 bar-G (0.5 psia y 3626 psig)

Limitaciones de la carga

La resistencia máxima del lazo se determina mediante el nivel de voltaje de la fuente de alimentación externa, como se describe a continuación:

Resistencia

máx. del lazo = 43,5 (Tensión de alimentación – 10,5)



La comunicación *HART* requiere una resistencia del lazo de 250 ohmios como mínimo

Límites de sobrepresión

Los caudalímetros resisten los siguientes límites sin sufrir daño alguno:

- Rango 1A: 138 bar (2000 psig)
- Rangos 2A–3A: 250 bar (3626 psig)

Límites de humedad

Humedad relativa del 0 al 100%

Fluido inerte de llenado del sensor

No disponible con rendimiento clase 3: Ultra para caudal

Tiempo de activación

El funcionamiento dentro de las especificaciones ocurre en menos de 2 segundos después de encender el transmisor

Amortiguación

Para una constante temporal dada, el usuario puede seleccionar entre 0 y 60 segundos para la respuesta analógica de salida a una entrada en escalón. Esta amortiguación del software se suma al tiempo de respuesta del módulo del sensor.

(1) La selección de presión estática puede afectar los límites de presión.

Serie de caudalímetros Annubar

Alarma del modo de fallo

HART 4–20mA (código de salida A)

- Si el autodiagnóstico detecta un fallo mayor en el transmisor, la señal analógica será llevada fuera de la escala para alertar al usuario. Además de los niveles de alarma estándar de Rosemount y Namur, se dispone de niveles de alarma especiales (consultar la Tabla 2 a continuación).
- La señal de la alarma de alta o de baja se selecciona mediante el software o el hardware a través del interruptor opcional (opción D1)

TABLA 2. Configuración de la alarma

	Alarma de alta	Alarma baja
Rosemount	$\geq 21,75$ mA	$\leq 3,75$ mA
En conformidad con NAMUR ⁽¹⁾	$\geq 22,5$ mA	$\leq 3,6$ mA
Niveles especiales ⁽²⁾	20,2–23,0 mA	3,6–3,8 mA

(1) Los niveles de la salida analógica están en conformidad con la recomendación NAMUR NE 43

(2) La alarma de baja debe ser 0,1 mA menor que la saturación baja. La alarma de alta debe ser 0,1 mA mayor que la saturación alta.

Fieldbus FOUNDATION

- El bloque de AI permite que el usuario fije las configuraciones de alarma ALTA-ALTA, ALTA, BAJA o BAJA-BAJA.

Ajuste de cero y del span

Los valores del cero y del span pueden fijarse en cualquier sitio dentro del rango. El span debe ser mayor que o igual al span mínimo.

EMC (compatibilidad electromagnética)

Cumple con todos los requisitos relevantes de IEC/EN 61326 y NAMUR NE-21.

Efectos de la vibración

Transmisor

- Menos que $\pm 0,1\%$ de URL cuando se comprueba de acuerdo con los requisitos de campo IEC60770-1 ó tuberías con alto nivel de vibración (desplazamiento de 0,21 mm de pico a pico a 10–60 Hz / 60–2000 Hz 3 g)

Estilo de alojamiento códigos 1J, 1K, 1L, 2J

- Menos que $\pm 0,1\%$ de URL cuando se comprueba de acuerdo con los requisitos de campo IEC60770-1 ó tuberías con bajo nivel de vibración (desplazamiento de 0,15 mm de pico a pico a 10–60 Hz / 60–500 Hz 2 g)

Protección contra transitorios (opción T1)

Cumple con IEEE C62 41, categoría B

Cresta de 6 kV (0,5 μ s – 100 kHz)

Cresta de 3 kA (8 x 20 microsegundos)

Cresta de 6 kV (1,2 x 50 microsegundos)

Cumple con el estándar IEEE C37.90.1, capacidad de resistencia a la sobrecorriente

Cresta SWC de 2,5 kV, en forma de onda de 1,25 MHz

Especificaciones generales:

Tiempo de respuesta: < 1 nanosegundo

Sobrecorriente máxima 5000 amperios a la carcasa

Voltaje máximo de los transitorios: 100 V CC.

Impedancia del circuito: < 25 ohmios

Estándares aplicables. IEC61000-4-4, IEC61000-4-5

NOTA:

Calibraciones a 20 °C (68 °F) de acuerdo con ASME Z210.1 (ANSI).

Consumo de corriente (fieldbus FOUNDATION (código de salida F))

- 17,5 mA para todas las configuraciones (incluyendo la opción con pantalla de LCD)
- Acero inoxidable

Rendimiento dinámico

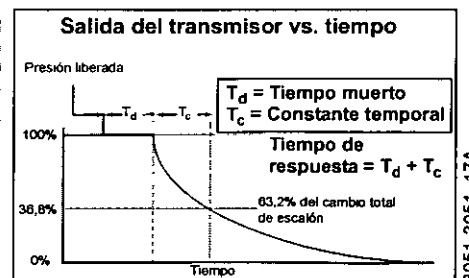
TABLA 3 Rendimiento para 3051SFC – Puntos a considerar para la instalación

	4–20 mA (HART [®]) ⁽¹⁾	Fieldbus FOUNDATION ⁽³⁾	Tiempo de respuesta típico del transmisor
Tiempo de respuesta total (Td + Tc)⁽²⁾:			
.3051S_C, Rangos 2–5:	100 milisegundos	152 milisegundos	
Rango 1:	255 milisegundos	307 milisegundos	
Tiempo muerto (Td)	45 milisegundos (nominal)	97 milisegundos	
Frecuencia de actualización	22 veces por segundo	22 veces por segundo	

(1) El tiempo muerto y la frecuencia de actualización son aplicables a todos los modelos y rangos; solamente salida analógica

(2) Tiempo nominal total de respuesta en condiciones de referencia a 24 °C (75 °F).

(3) Sólo la salida fieldbus del transmisor, no se incluye el macrociclo del segmento.



Requerimientos de tramo recto de tubería

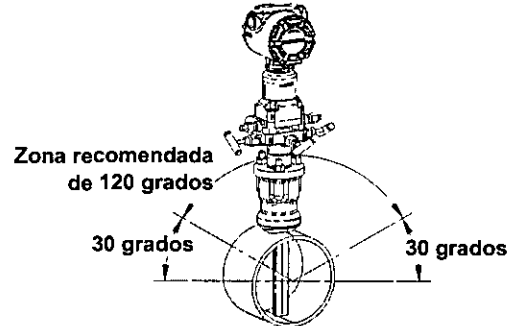
	Dimensiones corriente arriba					Dimensiones corriente abajo	
	Sin aletas ⁽¹⁾		Con aletas ⁽²⁾				
	En el plano A	Fuera del plano A	A'	C	C'		
1		8	10	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
2		11	16	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
3		23	28	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
4		12	12	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
5		18	18	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
6		30	30	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4

(1) "En el plano A" significa que la barra se encuentra en el mismo plano que el tubo acodado "Fuera del plano A" significa que la barra se encuentra perpendicular al plano del tubo acodado

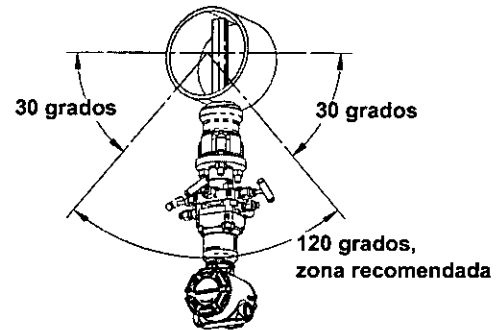
(2) Para reducir la longitud de los tramos rectos requerida se deben usar aletas enderezadoras

Orientación del caudalímetro

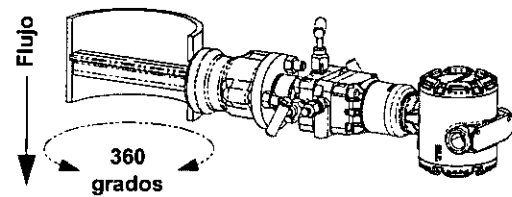
Gases (horizontal)



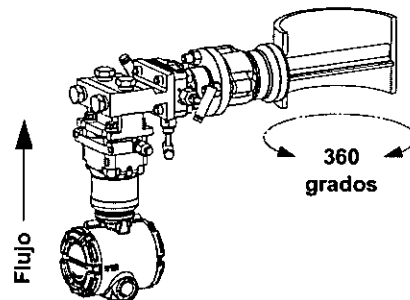
Líquidos y vapor (horizontal)



Gases (vertical)



Vapor (vertical)



Perforar un agujero del diámetro adecuado al tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Diámetro
1	20 mm (3/4 in.)
2	35 mm (1 5/16 in.)
3	65 mm (2 1/2 in.)

Serie de caudalímetros Annubar

Detalles físicos

Medición de la temperatura

Termoresistencia integral

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios
- Termoresistencia de 4 cables ($\alpha = 0,00385$)

Termoresistencia remota

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios, cargada por resorte; con conexión y boquilla NPT de 1/2 pulg.

Termopozo con termoresistencia remota

- NPT de 1/2 pulg. x 1/2 pulg., acero inoxidable 316, con casquillo de soldadura de 1/2 pulg. para corresponder con el material de la tubería

Conexiones electrónicas

Conducto con NTP 14 de 1/2, G1/2 y M20 x 1.5 (CM20) Conexiones de interfaz HART unidas al bloque de terminales para el código de salida A

Material del sensor Annubar

- Acero inoxidable 316
- Hastelloy 276

Tipo Annubar

Consultar "Planos dimensionales" en la página 13

Modelo Pak-Lok (opción P)

- Se suministra con un mecanismo de sellado de compresión cuya clasificación ANSI es de hasta n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- Empaquetadura de grafito (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))

Bridado con modelo de soporte al lado opuesto (opción F)

- Se suministra con soporte al lado opuesto, que es del mismo material que la tubería y requiere una segunda penetración en la tubería
- La brida del sensor es del mismo material que el sensor Annubar, la brida de montaje es del mismo material que la tubería.
- Tornillería de montaje de las bridas: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- Acero inoxidable. (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))
- Hastelloy: (-184 a 677 °C (-300 a 1250 °F))

Modelo Flange-Lok (opción L)

- El conjunto Flange-Lok se suministra en acero inoxidable 316.
- Tornillería de montaje del modelo Flange-Lok: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)

Modelos Flo-Tap (opciones G y M)

- El soporte de lado opuesto no está disponible
- La conexión roscada no está disponible con el sensor tamaño 3
- El accionamiento de engrane no está disponible con el sensor tamaño 1
- Se requiere prensaestopas de empaquetadura
- Límites de temperatura del material del prensaestopas de empaquetadura
 - Teflon® (PTFE): De -40 a 204 °C (de -40 a 400 °F)
 - Grafito: De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)
- Se incluye válvula de aislamiento
 - La válvula de aislamiento tiene la misma clasificación de presión que la brida del sensor y la brida de montaje especificadas en el tipo de montaje
 - Las válvulas de bola tienen una limitación n° 300
 - Para modelos Flo-tap roscados, el tamaño NPT de la válvula de aislamiento es de 1 1/4 pulgadas (sensor tamaño 1) y 2 pulgadas (sensor tamaño 2)

Tamaño de la brida según el tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Dimensiones de la brida		Dimensiones ODF
	ANSI	DIN	
1	1 1/2 in. 150#	DN40 PN16	78,5 mm (3.09 in.)
1	1 1/2 in. 300#	DN40 PN40	81,5 mm (3.21 in.)
1	1 1/2 in. 600#	DN40 PN100	98,6 mm (3.88 in.)
1	1 1/2 in. 900#	No corresponde	125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 1500#	No corresponde	125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 2500#	No corresponde	171,7 mm (6.76 in.)
2	2.0 in. 150#	DN50 PN16	86,4 mm (3.40 in.)
2	2.0 in. 300#	DN50 PN40	89,2 mm (3.51 in.)
2	2.0 in. 600#	DN50 PN100	109,2 mm (4.30 in.)
2	2.0 in. 900#	No corresponde	149,4 mm (5.88 in.)
2	2.0 in. 1500#	No corresponde	149,4 mm (5.88 in.)
2	3.0 in. 2500#	No corresponde	250,7 mm (9.87 in.)
3	3.0 in. 150#	DN80 PN16	97,5 mm (3.84 in.)
3	3.0 in. 300#	DN80 PN40	105,7 mm (4.16 in.)
3	3.0 in. 600#	DN80 PN100	125,7 mm (4.95 in.)
3	4.0 in. 900#	No corresponde	208,0 mm (8.19 in.)
3	4.0 in. 1500#	No corresponde	217,4 mm (8.56 in.)
3	4.0 in. 2500#	No corresponde	284,2 mm (11.19 in.)

Tabla de especificaciones del tipo Annubar

Código de opción	Descripción	Pak-Lok ⁽¹⁾	Flange-Lok	Brida	Accionamiento Flo-Tap manual y por engranaje
T1 ⁽¹⁾	Cuerpo del Pak-Lok Conexión roscada	X			X
A1	RF ANSI n° 150		X	X	X
A3	RF ANSI n° 300		X	X	X
A6	RF ANSI n° 600		X	X	X
A9 ⁽²⁾	RF ANSI n° 900			X	
A15 ⁽²⁾	RF ANSI n° 1500			X	
A25 ⁽²⁾	RF ANSI n° 2500			X	
D1	DN PN 16		X	X	X
D3	DN PN 40		X	X	X
D6	DN PN 100		X	X	X
R9 ⁽²⁾	Brida RTJ n° 900			X	
RF ⁽²⁾	Brida RTJ n° 1500			X	
RT ⁽²⁾	Brida RTJ n° 2500			X	

(1) Disponible hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F)).

(2) Montaje remoto solamente.

Rangos de temperatura para las conexiones del instrumento

TABLA 4. Rango de temperatura mínima / máxima

Código	Descripción	Temperatura
G1	Válvulas de aguja, acero al carbono	-29 a 260 °C (-20 a 500 °F)
G2	Válvulas de aguja, acero inoxidable	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G3	Válvulas de aguja, <i>Hastelloy</i>	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G5	Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono	-29 a 413 °C (-20 a 775 °F)
G6	Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable	-40 a 454 °C (-40 a 850 °F)
G7	Válvula de compuerta OS&Y, <i>Hastelloy</i>	-40 a 677 °C (-40 a 1250 °F)

Caudalímetro instalado en sección de tubería bridada del conjunto rotor (códigos de opción H3, H4 y H5)

- Todas las secciones de tubería bridada del conjunto rotor son secciones de tubería bridada
- La sección de tubería bridada del conjunto rotor está construida del mismo material que la tubería
- Consultar a la fábrica con respecto a las mediciones remotas de temperatura y a las clasificaciones ANSI por arriba del n° 600 y bridas DIN

TABLA 5. Espesor para la sección de tubería bridada del conjunto rotor

ANSI	Espesor
150# ANSI	40
300# ANSI	40
600# ANSI	80

TABLA 6. Longitud de la sección de tubería bridada del conjunto rotor

Tamaño nominal de la tubería	Longitud
50 mm (2 in.)	267,2 mm (10.52 in.)
80 mm (3 in.)	288,8 mm (11.37 in.)
100 mm (4 in.)	323,6 mm (12.74 in.)
150 mm (6 in.)	364,0 mm (14.33 in.)
200 mm (8 in.)	421,1 mm (16.58 in.)

Piezas en contacto con el proceso

Manifolds integrales

- Acero inoxidable 316
- *Hastelloy C-276*

Manifolds remotos

- Acero inoxidable 316
- *Hastelloy C-276*

Bridas de proceso y válvulas de ventilación del transmisor

- Acero inoxidable 316
- *Hastelloy C-276*

Diafragmas de aislamiento del proceso

- Acero inoxidable 316L
- *Hastelloy C-276*

Juntas tóricas

- TFE relleno de vidrio

Juntas tóricas de manifolds integrales

- Teflon (PTFE) / grafito

Piezas sin contacto con el proceso

Fluido de relleno del módulo del sensor

- Aceite de silicona
- Relleno inerte opcional

Juntas tóricas de las tapas

- Buna-N

Abrazaderas de montaje remoto

- Acero inoxidable

Montaje del sensor (incluyendo tuercas, pernos y empaquetadura)

- Hacer coincidir el material de la tubería del proceso

Carcasa de los componentes electrónicos

- Aluminio con bajo contenido de cobre, NEMA 4x, IP65
- Acero inoxidable (opcional)

Pintura

- Poliuretano

Tornillos

- Acero al carbono

Serie de caudalímetros Annubar

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO

Ubicaciones de los sitios de fabricación aprobados

Rosemount Inc. – Chanhassen, Minnesota, EE.UU.

Emerson Process Management GmbH & Co. OHG – Wessling, Alemania

Emerson Process Management Asia Pacific Private Limited – Singapur

Beijing Rosemount Far East Instrument Co., LTD – Beijing, China

Información sobre las directivas europeas

La declaración de conformidad EC de este producto con todas las directivas europeas aplicables puede encontrarse en www.rosemount.com. Se puede obtener una copia impresa poniéndose en contacto con un representante de Emerson Process Management.

Directiva ATEX (94/9/EC)

Emerson Process Management cumple con la directiva ATEX.

Directiva europea para equipo a presión (Directiva PED) (97/23/CE)

Modelos 3051S_CA4; 3051S_CD2, 3, 4, 5; (también con la opción P9) Transmisores de presión – Certificado de evaluación QS – EC N° PED-H-20, Evaluación de conformidad Módulo H

Todos los demás transmisores de presión modelo 3051S – procedimiento técnico de alto nivel

Accesorios del transmisor. Sello de diafragma – brida de proceso – manifold – procedimiento técnico de alto nivel

Elementos primarios, Caudalímetro

– Consultar la guía para instalación rápida del elemento primario.

Compatibilidad electromagnética (EMC, por sus siglas en inglés) (89/336/EEC)

Todos los modelos. EN 50081-1: 1992; EN 50082-2:1995; EN 61326-1:1997 – Industrial

Certificación sobre ubicaciones ordinarias para FM

Como es estándar, el transmisor ha sido examinado y probado para determinar que el diseño cumple con los requisitos básicos eléctricos, mecánicos, y de protección contra incendios de FM, un laboratorio de pruebas de reconocimiento nacional (NRTL, por sus siglas en inglés) según lo acredita la Federal Occupational Safety and Health Administration (Administración para la seguridad y salud laboral, OSHA).

Certificaciones de ubicaciones peligrosas

Certificaciones norteamericanas

Aprobaciones FM

E5 A prueba de explosión para clase I, división 1, grupos B, C y D; a prueba de polvos combustibles para clase II y clase III, división 1, grupos E, F y G; zonas peligrosas; carcasa tipo 4X, no se requiere sello del conducto cuando se instale según el plano 03151-1003 de Rosemount.

I5 Intrínsecamente seguro para uso en clase I, división 1, grupos A, B, C y D; clase II, división 1, grupos E, F y G; clase III, división 1, clase I, zona 0 AEx ia IIC cuando se conecta de acuerdo con el plano 03151-1006 de Rosemount; incombustible para clase I, división 2, grupos A, B, C y D), carcasa tipo 4X
Para parámetros de entidad, ver plano de control 03151-1006.

Canadian Standards Association (CSA)

E6 Antideflagrante para la clase I, división 1, grupos B, C y D; a prueba de inflamación por polvos para las clases II y III, división 1, grupos E, F y G; apropiado para la clase I, división 2, grupos A, B, C y D, cuando se instala según el plano 03151-1013 de Rosemount, carcasa CSA tipo 4X, no se requiere el sello del conducto.

I6 Intrínsecamente seguro para clase I, división 1, grupos A, B, C y D cuando se conecta de acuerdo con los planos 03151-1016 de Rosemount; para parámetros de entidad ver el plano de control 03151-1016.

Certificaciones europeas


I1 Seguridad intrínseca ATEX
Certificado n°: BAS01ATEX1303X Ⓢ II 1G
EEx ia IIC T5 (–60°C ≤ T_a ≤ 40°C)
T4 (–60°C ≤ T_a ≤ 70°C)
T4 (–60°C ≤ T_a ≤ 40°C) (FISCO)
CE 1180

TABLA 7. Parámetros de entrada

Lazo/Alimentación	Grupos
U _i = 30 V	HART / Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / SIS
U _i = 17,5 V	FISCO
I _i = 300 mA	HART / Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / SIS
I _i = 380 mA	FISCO
P _i = 1,0 W	HART / Visualización remota / SIS
P _i = 1,3 W	Fieldbus FOUNDATION
P _i = 5,32 W	FISCO
C _i = 30 nF	SuperModule™
C _i = 11,4 nF	HART / SIS
C _i = 0	Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / FISCO
L _i = 0	HART / Fieldbus FOUNDATION / SIS / FISCO
L _i = 60 μH	Pantalla remota.


Condiciones especiales para un uso seguro (x)

- El aparato, excluyendo los tipos 3051 S–T y 3051 S–C (en línea y Coplanar SuperModules respectivamente), no es capaz de resistir la prueba a 500 V tal y como se define en la cláusula 6.4.12 de EN 50020. Se debe tener esto en cuenta durante la instalación.
- Las clavijas terminales de los tipos 3051 S–T y 3051 S–C deben estar protegidas a un mínimo de IP20.

N1 ATEX Tipo n
 Certificado n°: BAS01ATEX3304X  II 3 G
 EEx nL IIC T5 ($T_a = -40\text{ °C}$ a 70 °C)
 $U_i = 45\text{ Vcc máx}$
 IP66
 CE


Condiciones especiales para un uso seguro (x)

El aparato no es capaz de resistir la prueba de aislamiento a 500 V requerida por la cláusula 9.1 de EN 50021 1999. Esto debe ser tomado en cuenta al instalar el aparato.

ND ATEX Polvo
 N° de certificado: BAS01ATEX1374X  II 1 D
 $T_{105\text{ °C}} (-20\text{ °C} \leq T_{\text{amb}} \leq 85\text{ °C})$
 $V_{\text{máx}} = 42,4\text{ voltios máx}$
 $A = 24\text{ mA}$
 IP66
 CE 1180

Condiciones especiales para un uso seguro (x)

1. El usuario debe asegurarse de no exceder el voltaje y el amperaje máximos nominales (42,4 voltios y 22 miliamperios, CC). Todas las conexiones a otros aparatos o a equipo asociado deberán tener un control sobre este voltaje y amperaje equivalente al de un circuito de categoría "ib" según EN 50020.
2. Las entradas de los cables que se deben usar son aquellas que mantienen una protección de la entrada de la carcasa de al menos IP66.
3. Las entradas de los cables que no sean usadas deben cubrirse con tapones de cierre apropiados; de esta manera se mantiene la protección de la entrada de la carcasa a al menos IP66.
4. Las entradas de los cables y los tapones de cierre deben ser adecuados para el rango de condiciones ambientales de los aparatos y deben poder resistir una prueba de impacto 7J.
5. El 3051S debe atomillarse firmemente en su lugar para mantener la protección de la entrada de la carcasa.

E1 Incombustible según ATEX
 Certificado n°: KEMA00ATEX2143X  II 1/2 G
 EEx d IIC T6 ($-50\text{ °C} \leq T_{\text{amb}} \leq 65\text{ °C}$)
 EEx d IIC T5 ($-50\text{ °C} \leq T_{\text{amb}} \leq 80\text{ °C}$)
 $V_{\text{máx}} = 42,4\text{V}$
 CE 1180

Condiciones especiales para un uso seguro (x)

Este dispositivo contiene un diafragma de pared delgada. Su instalación, uso y mantenimiento deberán tener en cuenta las condiciones ambientales a las cuales estará expuesto el diafragma. Las instrucciones del fabricante para la instalación y el mantenimiento deben seguirse detalladamente para garantizar el funcionamiento seguro durante su vida útil. El transmisor de presión modelo 3051S debe incluir una carcasa de la serie 300S integrada a un módulo del sensor de la serie 3051S, según se ilustra en el diagrama 03151-1023 de Rosemount.

Certificaciones australianas

E7 Antideflagrante y a prueba de ignición por polvos según SAA
 Certificación n° AUS Ex 3798X
 Ex d IIC T6 ($T_a = 60\text{ °C}$) IP66
 DIP A21 TA T6 ($T_a = 60\text{ °C}$) IP66

Condiciones especiales para un uso seguro (x)

1. Una condición de fabricación es que cada módulo de transmisor se pruebe para presión de acuerdo con la cláusula 4.3 de AS 2380 2 a una presión mínima de 1450 kPa. Debido a que la carcasa modelo 300S pasó las pruebas a 4 veces la presión de referencia (400 kPa para carcasa simple y 3800 kPa para carcasa de compartimiento dual) y a que no es de construcción soldada, puede estar exenta de prueba de presión a lo largo del trayecto según la cláusula 4.3 de AS 2380.2.
2. Una condición de fabricación es que cada combinación de módulo de transmisor y carcasa esté sujeta a una prueba rutinaria de alto voltaje de acuerdo con la cláusula 6.2 de AS 2380.1, con la siguiente variación. El voltaje de prueba aplicado a cada carcasa simple o de compartimiento dual no debe ser menor de 500 V, 47 a 62 Hz, por un periodo no inferior a un minuto, con una corriente de ruptura menor de 5 mA.
3. Un uso seguro requiere que cada carcasa esté conectada a los circuitos externos mediante conducto apropiado o con prensaestopas de cable certificadas por Standards Australia. Cuando se use una sola entrada para la conexión a los circuitos externos, la entrada que no esté siendo usada debe taparse mediante el tapón de cierre suministrado por el fabricante del equipo o mediante un tapón de cierre adecuado que esté certificado por Standards Australia.
4. Un uso seguro requiere que se aplique una prueba de intensidad dieléctrica cada vez que el bloque de terminales se cambie o se reemplace tanto en las carcasas con compartimiento dual como en las de compartimiento individual. La corriente de ruptura deberá ser menor a 5 mA cuando se aplican por un minuto 500 V con una frecuencia de 47 a 62 Hz. Nota: si la prueba se efectúa acoplado un bloque de terminales para protección contra transitorios T1 opcional, la protección se activará y, por lo tanto, no se mostrará corriente alguna.
5. Un uso seguro requiere que cada módulo del transmisor se use con una carcasa modelo 300S, para cumplir con los requerimientos de incombustibilidad.
6. Un uso seguro requiere que cada carcasa modelo 300S acoplada con un módulo del transmisor se marque con la misma información del código que indica la certificación. En caso de que la carcasa inicial vaya a reemplazarse con otra carcasa modelo 300S, la nueva carcasa deberá tener la misma información del código que indica la certificación de la carcasa que está siendo reemplazada.



Serie de caudalímetros Annubar

Certificaciones IECEx

- I7** Seguridad intrínseca según IECEx
 Certificado n°: IECExBAS04.0017X
 Ex ia IIC T5 ($T_a = -60\text{ °C}$ a 40 °C) – HART/SIS/Medidor remoto
 Ex ia IIC T4 ($T_a = -60\text{ °C}$ a 70 °C) – HART/SIS/Medidor remoto
 Ex ia IIC T4 ($T_a = -60\text{ °C}$ a 70 °C) – FIELDBUS FOUNDATION
 Ex ia IIC T4 ($T_a = -60\text{ °C}$ a 40 °C) – FISCO
 IP66

- N7** IECEx Tipo n
 Certificado n°: IECExBAS04 0018X
 Ex nC IIC T5 ($T_a = -40\text{ °C}$ a 70 °C)
 $U_i = 45\text{ Vcc MÁX}$
 IP66
Condiciones especiales para un uso seguro (x)
 El aparato no es capaz de resistir la prueba de aislamiento a 500 V requerida por la cláusula 8 de IEC 79-15: 1987.

TABLA 8. Parámetros de entrada

Lazo/Alimentación	Grupos
$U_i = 30\text{ V}$	HART / Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / SIS
$U_i = 17,5\text{ V}$	FISCO
$I_i = 300\text{ mA}$	HART / Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / SIS
$I_i = 380\text{ mA}$	FISCO
$P_i = 1,0\text{ W}$	HART / Visualización remota / SIS
$P_i = 1,3\text{ W}$	Fieldbus FOUNDATION
$P_i = 5,32\text{ W}$	FISCO
$C_i = 30\text{ nF}$	SuperModule™
$C_i = 11,4\text{ nF}$	HART / SIS
$C_i = 0$	Fieldbus FOUNDATION / Visualización remota / FISCO
$L_i = 0$	HART / Fieldbus FOUNDATION / SIS / FISCO
$L_i = 60\text{ μH}$	Pantalla remota

Condiciones especiales para un uso seguro (x)

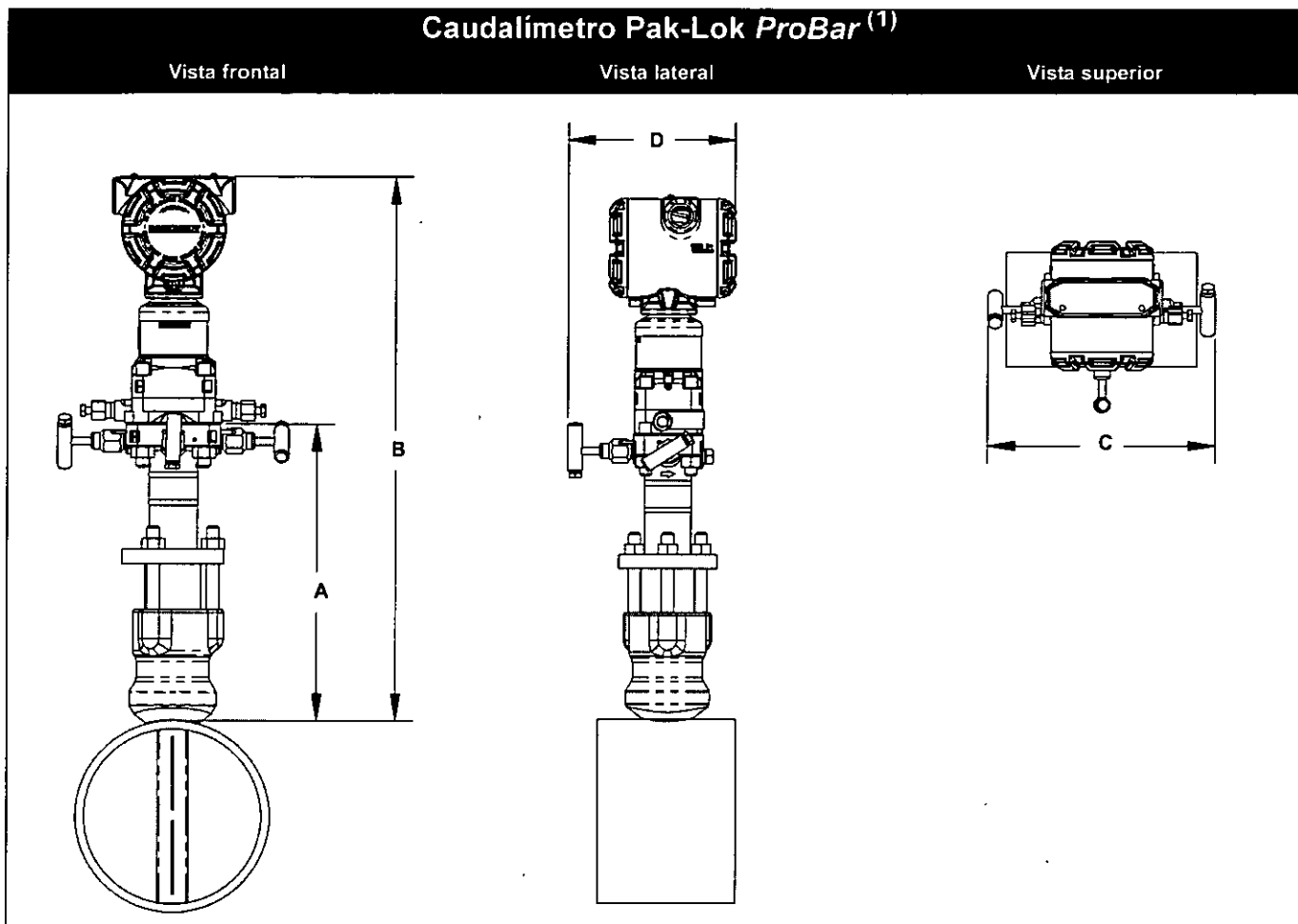
- Los modelos 3051S HART 4–20 mA, 3051S Fieldbus, 3051S Profibus y 3051S FISCO no son capaces de soportar la prueba de 500 V como se define en la cláusula 6 4 12 de IEC 60079-11. Se debe tomar esto en cuenta durante la instalación.
- Las clavijas terminales de los tipos 3051S–T y 3051S–C deben estar protegidas a un mínimo de IP20.

Combinaciones de certificaciones

Cuando la aprobación opcional ha sido especificada, se suministra una etiqueta de certificación de acero inoxidable. Una vez que se haya instalado un dispositivo etiquetado con los tipos de aprobaciones múltiples, dicho dispositivo no deberá reinstalarse haciendo uso de cualquier otro tipo de aprobaciones. Marcar permanentemente la etiqueta de aprobación para distinguirla de los tipos de aprobación que no estén siendo usados.

- K1** Combinación de E1, I1, N1 y ND
- K5** Combinación de E5 e I5
- K6** Combinación de E6 e I6
- K7** Combinación de E7, I7 y N7
- KA** Combinación de E1, I1, E6, e I6
- KB** Combinación de E5, I5, I6 y E6
- KC** Combinación de E5, E1, I5 e I1
- KD** Combinación de E5, I5, E6, I6, E1 e I1

PLANOS DIMENSIONALES



(1) El modelo Pak-Lok de Annubar está disponible hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F)).

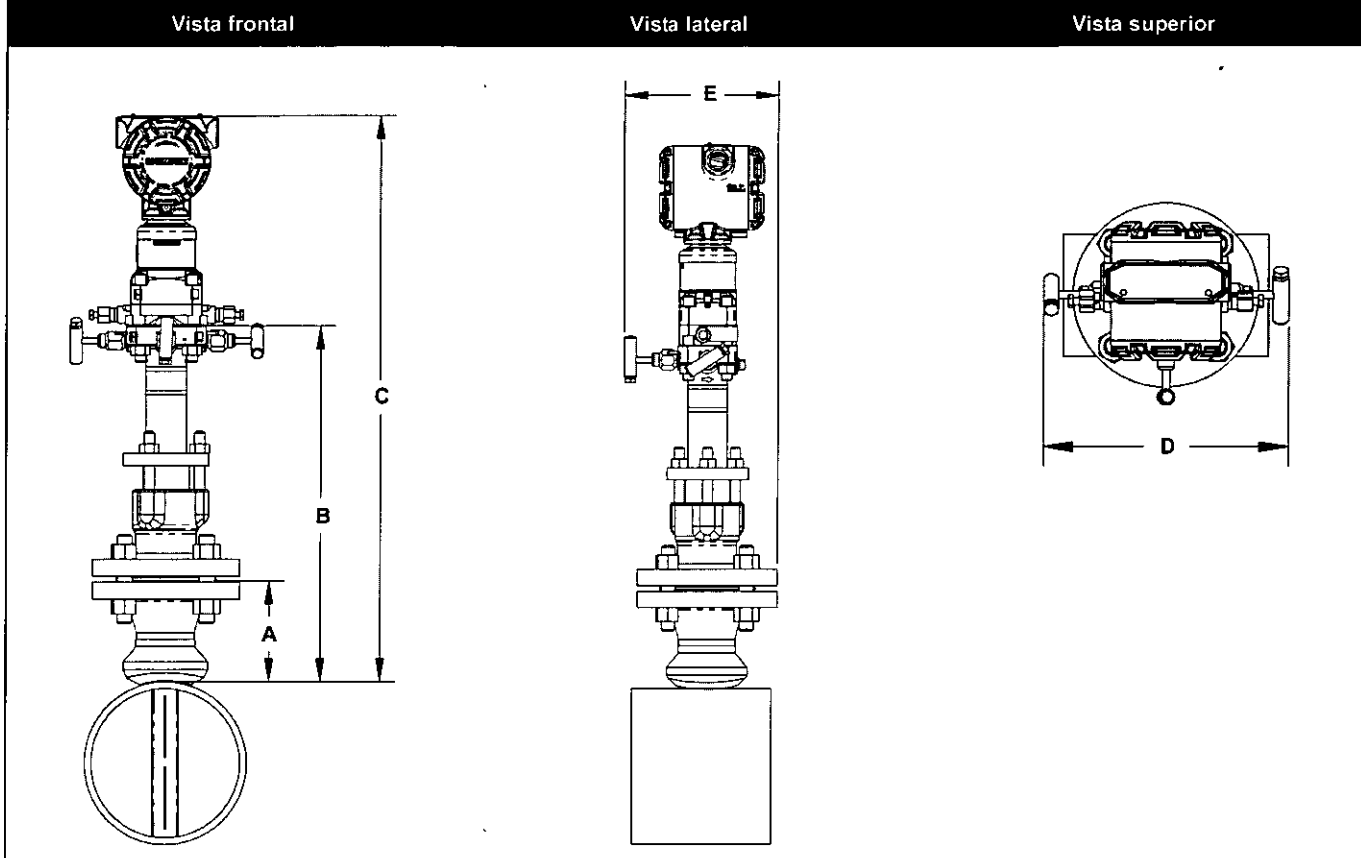
TABLA 9 Datos dimensionales del caudalímetro ProBar Pak-Lok

Tamaño del sensor	A (máx.)	B (máx.)	C (máx.)	D (máx.)
1	215,9 (8.50)	432,6 (17.03)	228,6 (9.00)	175,3 (6.90)
2	279,4 (11.00)	496,1 (19.53)	228,6 (9.00)	175,3 (6.90)
3	317,5 (12.50)	534,2 (21.03)	228,6 (9.00)	175,3 (6.90)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetro Flange-Lok ProBar ⁽¹⁾



(1) El modelo Flange-Lok de Annubar puede montarse directamente hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))

TABLA 10. Datos dimensionales del caudalímetro ProBar Flange-Lok

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C (máx.)	D (máx.)	E (máx.)
1	1 1/2 - 150#	98,6 (3.88)	311,2 (12.25)	527,8 (20.80)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	311,2 (12.25)	527,8 (20.80)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	311,2 (12.25)	527,8 (20.80)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	362,0 (14.25)	578,6 (22.78)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	362,0 (14.25)	578,6 (22.78)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	362,0 (14.25)	578,6 (22.78)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	444,5 (17.50)	661,2 (26.03)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	444,5 (17.50)	661,2 (26.03)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	444,5 (17.50)	661,2 (26.03)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Caudalímetro bridado ProBar

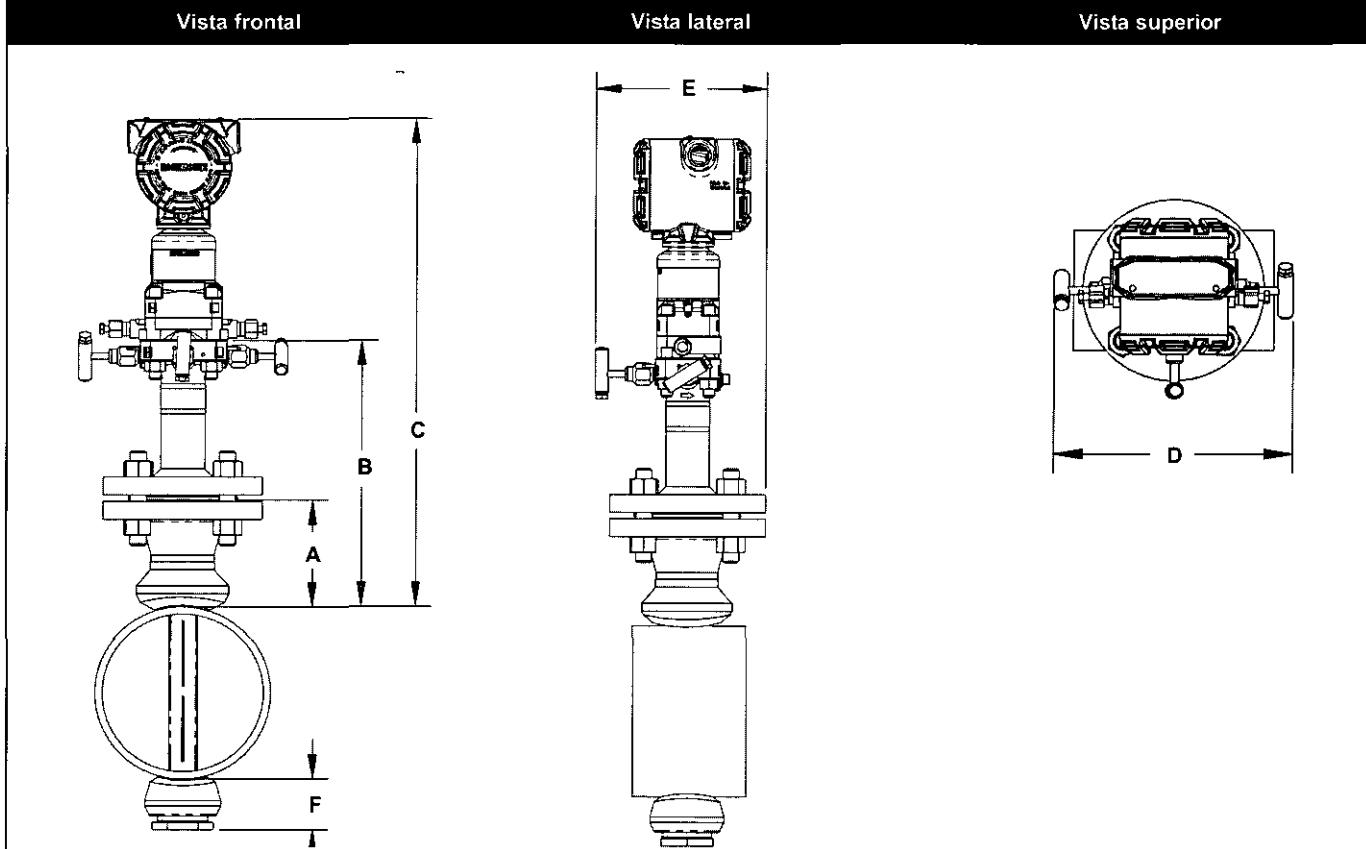


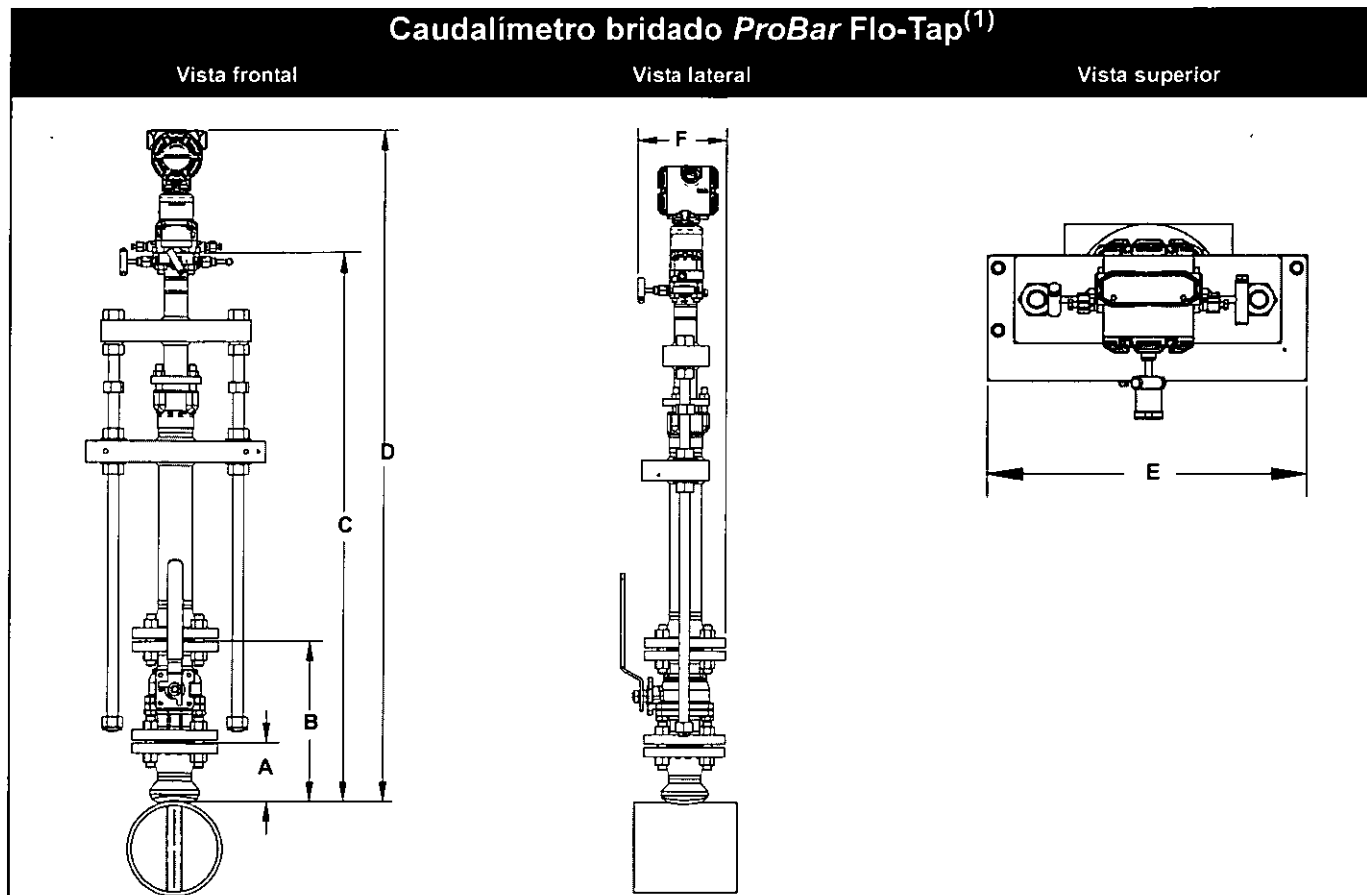
TABLA 11. Datos dimensionales del caudalímetro bridado ProBar

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C ± 6,4 (0.25)	D (máx.)	E (máx.)	F (máx.)
1	1 1/2 - 150#	98,6 (3.88)	266,7 (10.5)	483,4 (19.03)	228,6 (9.00)	160,0 (6.30)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	266,7 (10.5)	483,4 (19.03)	228,6 (9.00)	174,2 (6.86)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	266,7 (10.5)	483,4 (19.03)	228,6 (9.00)	174,2 (6.86)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 900#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	-	-	-	101,6 (4.00)
1	1 1/2 - 1500#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	-	-	-	101,6 (4.00)
1	1 1/2 - 2500#	171,7 (6.76)	295,5 (11.64)	-	-	-	101,6 (4.00)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	279,4 (11.00)	496,1 (19.53)	228,6 (9.00)	172,7 (6.80)	127,0 (5.00)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	279,4 (11.00)	496,1 (19.53)	228,6 (9.00)	179,1 (7.05)	127,0 (5.00)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	279,4 (11.00)	496,1 (19.53)	228,6 (9.00)	179,1 (7.05)	127,0 (5.00)
2	2 - 900#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	-	-	-	114,3 (4.50)
2	2 - 1500#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	-	-	-	114,3 (4.50)
2	3 - 2500#	250,7 (9.87)	396,7 (15.62)	-	-	-	114,3 (4.50)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	342,9 (13.50)	559,6 (22.03)	228,6 (9.00)	191,8 (7.55)	101,6 (4.00)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	342,9 (13.50)	559,6 (22.03)	228,6 (9.00)	201,3 (7.93)	101,6 (4.00)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	342,9 (13.50)	559,6 (22.03)	228,6 (9.00)	201,3 (7.93)	101,6 (4.00)
3	4 - 900#	208,0 (8.19)	331,9 (13.07)	-	-	-	177,8 (7.00)
3	4 - 1500#	217,4 (8.56)	350,8 (13.81)	-	-	-	177,8 (7.00)
3	4 - 2500#	284,2 (11.19)	439,8 (17.32)	-	-	-	177,8 (7.00)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetro bridado ProBar Flo-Tap⁽¹⁾



(1) El caudalímetro bridado ProBar Flo-Tap está disponible con opciones de accionamiento manual y por engranaje.

TABLA 12. Datos dimensionales del caudalímetro bridado ProBar Flo-Tap

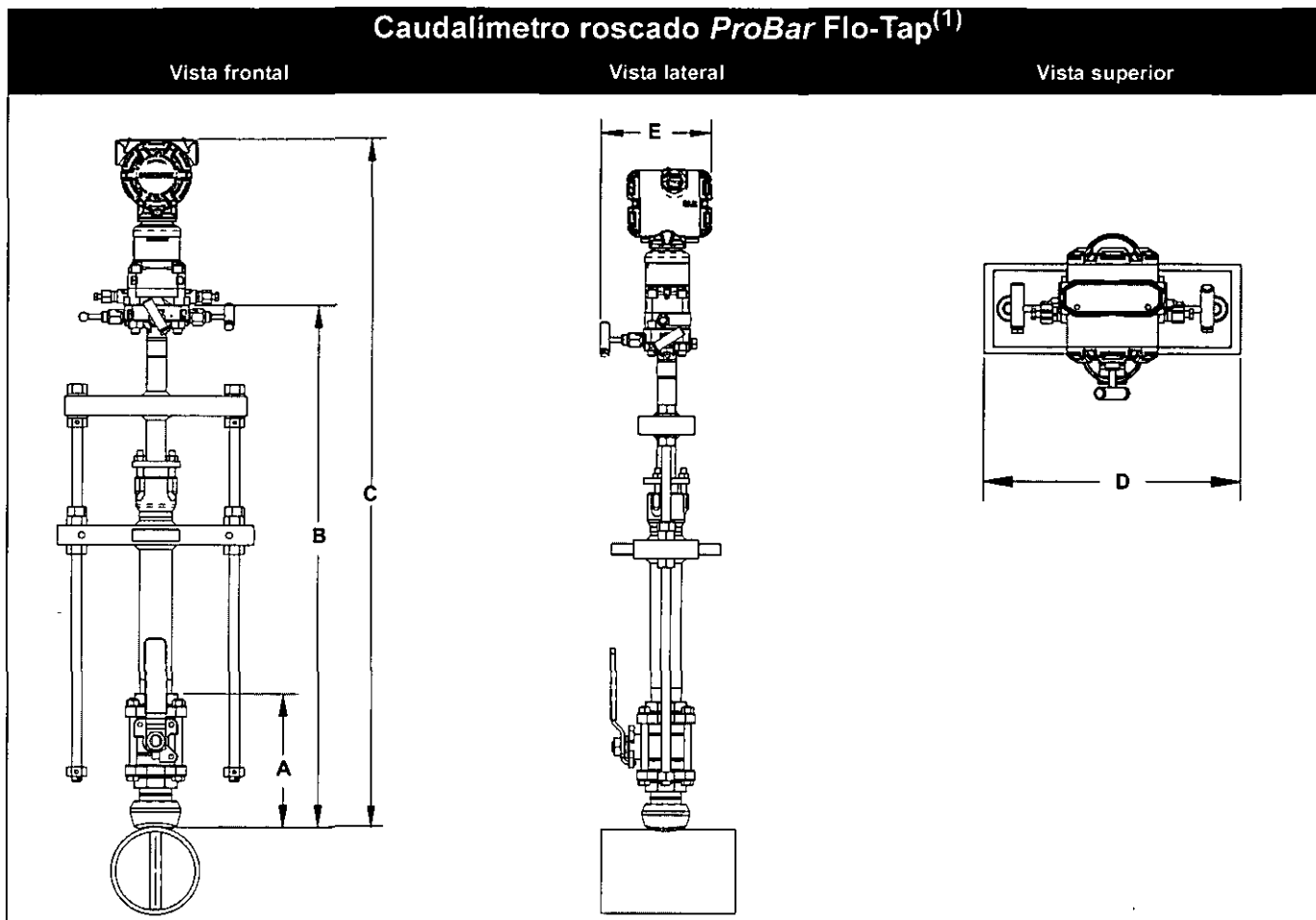
Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C ¹ (Accionamiento de engrane)	C ¹ (manual)	D (máx.)	E (máx.)	F (máx.)
1	1 1/2 - 150#	98,5 (3.88)	266,7 (10.50)	-	482,6 (19.0)	C + 217 (8.53)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	298,5 (11.75)	-	482,6 (19.0)	C + 217 (8.53)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	357,2 (14.06)	-	482,6 (19.0)	C + 217 (8.53)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	285,8 (11.25)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 217 (8.53)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	330,2 (13.00)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 217 (8.53)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	416,0 (16.38)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 217 (8.53)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	323,9 (12.75)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 217 (8.53)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	412,8 (16.25)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 217 (8.53)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	495,4 (19.50)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 217 (8.53)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Insertado, dimensión C = Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + B + C¹

Retraído, dimensión C = 2 x (Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + B) + C¹

Caudalímetro roscado ProBar Flo-Tap⁽¹⁾



(1) El caudalímetro bridado ProBar Flo-Tap está disponible con opciones de accionamiento manual y por engranaje.

TABLA 13. Datos dimensionales del caudalímetro roscado ProBar Flo-Tap

Tamaño del sensor	A ± 6,4 (0.25)	B ^I (Accionamiento de engrane)	B ^I (manual)	C (máx.)	D (máx.)	E (máx.)
1	177,8 (7.00)	—	431,8 (17 0)	215,9 (B + 8 5)	266,7 (10.50)	175,3 (6.90)
2	218,7 (8.61)	599,4 (23.6)	518,2 (20.4)	215,9 (B + 8.5)	319,0 (12.56)	175,3 (6.90)

El sensor tamaño 3 no está disponible para el Flo-Tap roscado.

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Insertado, dimensión B = Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A + B^I

Retraído, dimensión B = 2 x (Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A) + B^I

Serie de caudalímetros Annubar

INFORMACIÓN PARA HACER PEDIDOS

Información para hacer un pedido del caudalímetro *ProBar* Rosemount modelo 3051SFA

Modelo	Descripción del producto		
3051SFA	Caudalímetro <i>ProBar</i>		
Código	Tipo de medición		
D	Presión diferencial (sin compensar)		
Código	Tipo de fluido		
L	Líquido		
G	Gas		
S	Vapor		
Código	Tamaño de la tubería	Código	Tamaño de la tubería
020	50 mm (2 in.)	140	350 mm (14 in.)
025	63,5 mm (2 1/2 in.)	160	400 mm (16 in.)
030	80 mm (3 in.)	180	450 mm (18 in.)
035	89 mm (3 1/2 in.)	200	500 mm (20 in.)
040	100 mm (4 in.)	240	600 mm (24 in.)
050	125 mm (5 in.)	300	750 mm (30 in.)
060	150 mm (6 in.)	360	900 mm (36 in.)
070	175 mm (7 in.)	420	1066 mm (42 in.)
080	200 mm (8 in.)	480	1210 mm (48 in.)
100	250 mm (10 in.)	600	1520 mm (60 in.)
120	300 mm (12 in.)	720	1820 mm (72 in.)
Código	Rango del diámetro interno de la tubería (consultar el "Código de Rango del diámetro interno de la tubería - medido en milímetros (pulgadas)" en la página 23)		
A	Rango A de la tabla del diámetro interno de la tubería		
B	Rango B de la tabla del diámetro interno de la tubería		
C	Rango C de la tabla del diámetro interno de la tubería		
D	Rango D de la tabla del diámetro interno de la tubería		
E	Rango E de la tabla del diámetro interno de la tubería		
Z	El diámetro interno de la tubería no es estándar. El rango o los tamaños de las tuberías son mayores de 305 mm (12 in.)		
Código	Material de la tubería / material del conjunto de montaje		
C	Acero al carbono		
S	Acero inoxidable 316		
G	Cromo-molibdeno grado F-11		
N	Cromo-molibdeno grado F-22		
J	Cromo-molibdeno grado F-91		
0 ⁽¹⁾	Sin montaje (lo hace el cliente)		
Código	Orientación de la tubería		
H	Tubería horizontal		
D	Tubería vertical con flujo descendente		
U	Tubería vertical con flujo ascendente		
Código	Tipo <i>Annubar</i>		
P	Pak-Lok		
F	Bridado con soporte del lado opuesto		
L	Flange-Lok		
G	Flo-Tap accionado por engranaje		
M	Flo-Tap de accionamiento manual		
Código	Material del sensor		
S	Acero inoxidable 316		
H	Hastelloy C-276		

Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro ProBar Rosemount modelo 3051SFA

Código	Tamaño del sensor		
1	Sensor tamaño 1 – Los tamaños de las tuberías son de 50 mm (2 in.) a 200 mm (8 in.)		
2	Sensor tamaño 2 – Los tamaños de las tuberías son de 150 mm (6 in.) a 900 mm (36 in.)		
3	Sensor tamaño 3 – Los tamaños de las tuberías son mayores de 300 mm (12 in.)		
Código	Tipo de montaje		
T1	Conexión de compresión o roscada		
A1	RF ANSI n° 150		
A3	RF ANSI n° 300		
A6	RF ANSI n° 600		
A9 ⁽²⁾	RF ANSI n° 900		
AF ⁽²⁾	RF ANSI n° 1500		
AT ⁽²⁾	RF ANSI n° 2500		
D1	Brida DN PN16		
D3	Brida DN PN40		
D6	Brida DN PN100		
R9 ⁽²⁾	Brida RTJ n° 900		
RF ⁽²⁾	Brida RTJ n° 1500		
RT ⁽²⁾	Brida RTJ n° 2500		
Código	Soporte del lado opuesto y prensaestopas de empaquetadura		
0	Sin soporte del lado opuesto ni prensaestopas de empaquetadura (requerida para los modelos Pak-Lok y Flange-Lok)		
Soporte del lado opuesto – Requerido para los modelos bridados			
C	Conjunto de soporte opuesto roscado NPT – punta prolongada		
D	Conjunto de soporte opuesto soldado – punta prolongada		
Prensaestopas de empaquetadura – Requerido para los modelos Flo-Tap			
	Material del prensaestopas de empaquetadura	Material de la varilla	Material de la empaquetadura
J	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Teflon
K	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Teflon
L	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Grafito
N	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Grafito
R	Prensaestopas de empaquetadura de Hastelloy/Boquilla de caja	Acero inoxidable	Grafito
Código	Válvula de aislamiento para los modelos Flo-Tap		
1	Válvula de la compuerta, acero al carbono		
2	Válvula de compuerta, acero inoxidable		
5	Válvula de bola, acero al carbono		
6	Válvula de bola, acero inoxidable		
0 ⁽¹⁾	No corresponde o el cliente lo proporciona		
Código	Medición de la temperatura		
T	Termoresistencia integral – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600		
R	Termopozo y termoresistencia remotos		
0	Sin sensor de temperatura		
Código	Plataforma de conexión de los componentes electrónicos		
3	Manifold integral de 3 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600		
5	Manifold de 5 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600		
6	Manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600		
7	Conexiones NPT de montaje remoto		
8	Conexiones SW de montaje remoto		
Código	Rangos de presión diferencial		
1A	0 a 62,2 mbar (0 a 25 in H ₂ O) (No aplicable con clase de rendimiento Ultra para caudal código U3)		
2A	0 a 623 mbar (0 a 250 in H ₂ O)		
3A	0 a 2,5 bar (0 a 1000 in H ₂ O)		

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro ProBar Rosemount modelo 3051SFA

Código	Protocolo de salida
A	4–20 mA con señal digital basada en el protocolo <i>HART</i>
B ⁽³⁾	Señal 4–20 mA certificada para seguridad con señal digital basada en el protocolo <i>HART</i> (requiere carcasa <i>PlantWeb</i>)
F	Fieldbus <i>FOUNDATION</i> : Bloque AI, Link Master, bloque selector de entrada (requiere carcasa <i>PlantWeb</i>)
Código	Tipo de carcasa de componentes electrónicos
	<i>Tipo de alojamiento</i>
	<i>Material</i>
	<i>Tamaño de la entrada del conducto</i>
1A	Carcasa <i>PlantWeb</i> Aluminio 1/2-14 NPT
1B	Carcasa <i>PlantWeb</i> Aluminio M20 x 1,5
1C	Carcasa <i>PlantWeb</i> Aluminio G1/2
1J	Carcasa <i>PlantWeb</i> Acero inoxidable 316 1/2-14 NPT
1K	Carcasa <i>PlantWeb</i> Acero inoxidable 316 M20 x 1,5
1L	Carcasa <i>PlantWeb</i> Acero inoxidable 316 G1/2
2A	Carcasa de la caja de conexiones Aluminio 1/2-14 NPT
2B	Carcasa de la caja de conexiones Aluminio M20 x 1,5
2C	Carcasa de la caja de conexiones Aluminio G1/2
2E	Carcasa de la caja de conexiones con salida para interfaz y pantalla remotas Aluminio 1/2-14 NPT
2F	Carcasa de la caja de conexiones con salida para interfaz y pantalla remotas Aluminio M20 x 1,5
2G	Carcasa de la caja de conexiones con salida para interfaz y pantalla remotas Aluminio G1/2
2J	Carcasa de la caja de conexiones Acero inoxidable 316L 1/2-14 NPT
2M	Carcasa de la caja de conexiones con salida para interfaz y pantalla remotas Acero inoxidable 316L 1/2-14 NPT
00	Ninguna (la conexión eléctrica es suministrada por el cliente)
Código	Clase de características de los componentes electrónicos
3	Ultra para caudal: precisión de caudal de hasta 0,8%, turndown de 14:1, estabilidad durante diez años, garantía limitada de 12 años
1	Ultra: precisión de caudal de hasta 0,9%, turndown de 8:1, estabilidad durante diez años, garantía limitada de 12 años
2	Clásico: precisión de caudal de hasta 1,1%, turndown de 8:1, 5 años de estabilidad
Código	Opciones
Prueba hidrostática	
P1	Prueba hidrostática
PX	Prueba hidrostática prolongada
Limpieza especial	
P2	Limpieza para procesos especiales
PA	Limpieza según ASTM G93 nivel D (sección 11.4)
Examen mediante líquidos penetrantes	
V1	Examen mediante líquidos penetrantes
Examen radiográfico	
V2	Examen radiográfico
Calibración del caudal	
W1	Calibración del caudal (K medio)
WZ	Calibración especial
Inspección Especial	
QC1	Inspección certificada visual y dimensional
QC7	Certificado de inspección y funcionamiento
Acabado superficial	
RL	Acabado superficial para flujo de gases y vapor con número de Reynolds bajo
RH	Acabado superficial para flujo de líquidos con número de Reynolds alto
Certificado de rastreo del material	
Q8	Certificado de materiales según ISO 10474 3.1.B y EN 10204 3.1.B

Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro ProBar Rosemount modelo 3051SFA

Cumplimiento del código	
J1	Registro canadiense
J2	ANSI B31.1
J3	ANSI B31.3
J4	ANSI B31.8
J5 ⁽⁴⁾	NACE MR-0175 / ISO 15156
J6	Directiva europea para equipos a presión (PED)
Instalada en la sección de tubería bridada del conjunto rotor	
H3	Conexión bridada nº 150 con espesor y longitud estándar de Rosemount
H4	Conexión bridada nº 300 con espesor y longitud estándar de Rosemount
H5	Conexión bridada nº 600 con espesor y longitud estándar de Rosemount
Conexiones de instrumentos para la opción de montaje remoto	
G1	Válvulas de aguja, acero al carbono
G2	Válvulas de aguja, acero inoxidable
G3	Válvulas de aguja, Hastelloy
G5	Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono
G6	Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable
G7	Válvula de compuerta OS&Y, Hastelloy
Envío especial	
Y1	La tornillería de montaje se envía por separado
Dimensiones especiales	
VM	Montaje variable
VT	Punta variable
VS	Sección del conjunto rotor de longitud variable
V9	Dimensión especial
Certificación de calibración del transmisor	
Q4	Certificado de datos de calibración para transmisor
Certificaciones del producto	
E1	Incombustibilidad según ATEX
I1	Intrínsecamente seguro según ATEX
N1	Tipo n según ATEX
K1	Antideflagrante, seguridad intrínseca, tipo N, y polvos (combinación de E1, I1, N1 y ND) según ATEX
ND	Polvo combustible según ATEX
E5	A prueba de explosiones según FM
I5	Intrínsecamente seguro y antideflagrante según FM
K5	A prueba de explosiones, intrínsecamente seguro, antideflagrante, (combinación de E5 y I5) según FM
E6	A prueba de explosiones según CSA
I6	Intrínsecamente seguro y antideflagrante según CSA
K6	Antideflagrante, intrínsecamente seguro, incombustible según CSA (combinación de E6 e I6)
E7	Antideflagrante y DIP según SAA
I7	Intrínsecamente seguro según IECEx
N7	IECEx Tipo n
K7	Antideflagrante y DIP según SAA, intrínsecamente seguro según IECEx, y tipo n (combinación de E7, I7 y N7)
KA	Antideflagrante e intrínsecamente seguro según ATEX y CSA (combinación de E1, I1, E6 e I6) <i>Nota: Disponible sólo en carcasa códigos 00, IA, IJ, 2A, 2J, 2E ó 2M.</i>
KB	A prueba de explosiones e intrínsecamente seguro según FM y CSA (combinación de E5, E6, I5 y I6) <i>Nota: Disponible sólo en carcasa códigos 00, IA, IJ, 2A, 2J, 2E ó 2M.</i>
KC	Antideflagrante e intrínsecamente seguro según FM y ATEX (combinación de E5, E1, I5 e I1) <i>Nota: Disponible sólo en carcasa códigos 00, IA, IJ, 2A, 2J, 2E ó 2M.</i>
KD	Antideflagrante e intrínsecamente seguro según FM, CSA y ATEX (combinación de E5, I5, E6, I6, E1 e I1) <i>Nota: Disponible sólo en carcasa códigos 00, IA, IJ, 2A, 2J, 2E ó 2M.</i>

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro ProBar Rosemount modelo 3051SFA

Materiales alternativos de construcción del transmisor	
L1	Fluido inerte de llenado del sensor (no disponible con rendimiento código de clase 3)
L2	Junta tórica de Teflon® (PTFE) rellena de grafito
LA	Fluido inerte de llenado del sensor y junta tórica de Teflon (PTFE) rellena de grafito (No aplicable con rendimiento código de clase 3)
Pantalla de cristal líquido	
M5	Pantalla de LCD <i>PlantWeb</i> (requiere carcasa <i>PlantWeb</i>)
M7	Pantalla LCD e interfaz para montaje remoto, carcasa <i>PlantWeb</i> , sin cable, soporte de acero inoxidable
M8 ⁽⁵⁾	Pantalla de cristal líquido e interfaz de montaje remoto, cable de 15,24 m (50 ft.), alojamiento de aluminio, soporte de acero inoxidable
M9 ⁽⁵⁾	Pantalla de cristal líquido e interfaz de montaje remoto, cable de 30,48 m (100 ft.), alojamiento de aluminio, soporte de acero inoxidable
Bloques de terminales	
T1	Bloque de terminales de protección contra transitorios
T2 ⁽⁶⁾	Bloque de terminales con terminales de abrazadera por resorte WAGO®
T3 ⁽⁶⁾	Bloque de terminales contra transitorios con terminales de abrazadera por resorte WAGO
Manifold de la opción de montaje remoto	
F1	Manifold de tres válvulas, acero al carbono
F2	Manifold de tres válvulas, acero inoxidable
F3	Manifold de tres válvulas, <i>Hastelloy C</i> .
F5	Manifold de cinco válvulas, acero al carbono
F6	Manifold de cinco válvulas, acero inoxidable
F7	Manifold de cinco válvulas, <i>Hastelloy C</i>
Funcionalidad Anywhere mediante Software para control <i>PlantWeb</i>	
A01	Juego de control regulador: PID, ant, carga de señales, integ, etc. (requiere carcasa de <i>PlantWeb</i> y fieldbus <i>FOUNDATION</i>)
Software de diagnóstico avanzado de <i>PlantWeb</i>	
D01	Conjunto de diagnóstico: Diagnósticos SPM y de detección de línea de impulsos obstruida (requiere carcasa de <i>PlantWeb</i> y fieldbus <i>FOUNDATION</i>)
Límites de alarma	
C4 ⁽⁵⁾	Niveles de las señales de alarma y saturación según NAMUR, alarma alta
C5 ⁽⁵⁾	Niveles de las señales de alarma y saturación según NAMUR, alarma baja
C6 ⁽⁵⁾	Alarma especial y niveles de la señal de la saturación, alarma de alta
C7 ⁽⁵⁾	Alarma especial y niveles de la señal de la saturación, alarma de baja
C8 ⁽⁵⁾	Alarma baja (niveles de las señales de alarma y saturación de Rosemount estándar)
Configuración especial del transmisor (hardware)	
D1 ⁽⁵⁾	Ajuste del hardware (cero, span, seguridad)
D4	Tornillo de conexión a tierra externa
DA ⁽⁵⁾	Ajuste del hardware (cero, span, seguridad) y tornillo externo de conexión a tierra
Conector eléctrico de conducto portacables	
GE ⁽⁷⁾	Conector macho M12, 4 espigas (<i>euromast</i> ®)
GM ⁽⁷⁾	Miniconector macho de 4 pines (<i>minifast</i> ®)

Número de modelo típico: 3051SFA D L 060 D C H P S 2 T1 0 0 0 3 2A A 1A 3

- (1) Proporcionar la dimensión "A" para modelos bridados, Flange-Lok y Flo-Tap roscado. Proporcionar la dimensión "B" para modelos Flo-Tap bridados.
- (2) Disponible solamente en aplicaciones de montaje remoto.
- (3) Requiere código de opción D1 de ajustes de hardware
- (4) Los materiales de construcción cumplen con las recomendaciones según NACE MR0175/ISO 15156 para entornos de producción de petróleo ácido. Existen límites medioambientales aplicables a ciertos materiales. Para más información, consultar el estándar más reciente. Los materiales seleccionados también cumplen con NACE MR0103 para entornos de refinación con alto contenido de azufre. No disponible con rendimiento código de Clase 3.
- (5) No está disponible con el protocolo fieldbus *FOUNDATION*.
- (6) Disponible sólo con protocolo de salida código A y carcasa *PlantWeb*
- (7) No disponible con ciertas certificaciones para localizaciones peligrosas. Contactar a un representante de Emerson Process Management para obtener detalles.



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Código de Rango del diámetro interno de la tubería – medido en milímetros (pulgadas)

Consultar la "Información para hacer un pedido del caudalímetro ProBar Rosemount modelo 3051SFA" en la página 18.

Para las tuberías cuyo rango de diámetro interno (D.I.) o espesor de su pared no aparezca en esta tabla o para aquellas tuberías cuyo tamaño sea mayor de 300 mm (12 pulgadas), se debe elegir el código de opción Z y especificar las dimensiones exactas de la tubería (el diámetro interno y el espesor de la pared) en la "Hoja de datos de la configuración (CDS, por sus siglas en inglés)" en la página 53. El programa de dimensionamiento de Emerson process Management determinará este código, de acuerdo a la tubería de la aplicación.

Tamaño de la tubería			Espesor de la pared de la tubería			Código del rango del D.I.
Nominal	D.E. máximo	Código de opción	Rango del diámetro interno (D.I.)	Tuberías ANSI	Tuberías que no son ANSI	
50 mm (2 in.)	66,68 mm (2.625 in.)	020	45,31 a 46,76 mm (1.784 a 1.841 in.)	1,7 a 13,8 mm (0.065 a 0.545 in.)	1,7 a 12,4 mm (0.065 a 0.488 in.)	A
			46,79 a 49,23 mm (1.842 a 1.938 in.)		1,7 a 11,4 mm (0.065 a 0.449 in.)	B
			49,25 a 52,50 mm (1.939 a 2.067 in.)		1,7 a 10,6 mm (0.065 a 0.417 in.)	C
			52,53 a 56,03 mm (2.068 a 2.206 in.)		1,7 a 10,3 mm (0.065 a 0.407 in.)	D
63,5 mm (2 1/2 in.)	80,98 mm (3.188 in.)	025	56,06 a 58,98 mm (2.207 a 2.322 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	2,1 a 11,4 mm (0.083 a 0.448 in.)	B
			59,00 a 62,71 mm (2.323 a 2.469 in.)		2,1 a 10,6 mm (0.083 a 0.417 in.)	C
			62,74 a 65,99 mm (2.470 a 2.598 in.)		2,1 a 11,0 mm (0.083 a 0.435 in.)	D
80 mm (3 in.)	95,25 mm (3.75 in.)	030	66,01 a 67,23 mm (2.599 a 2.647 in.)		2,1 a 13,1 mm (0.083 a 0.515 in.)	E
			67,26 a 69,88 mm (2.648 a 2.751 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	2,1 a 11,7 mm (0.083 a 0.460 in.)	A
			69,90 a 73,63 mm (2.752 a 2.899 in.)		2,1 a 10,6 mm (0.083 a 0.416 in.)	B
			73,66 a 77,93 mm (2.900 a 3.068 in.)		2,1 a 10,0 mm (0.083 a 0.395 in.)	C
89 mm (3 1/2 in.)	107,95 mm (4.25 in.)	035	77,95 a 81,99 mm (3.069 a 3.228 in.)		2,1 a 10,3 mm (0.083 a 0.404 in.)	D
			82,02 a 84,66 mm (3.229 a 3.333 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	3,0 a 12,6 mm (0.120 a 0.496 in.)	B
			84,68 a 90,12 mm (3.334 a 3.548 in.)		3,0 a 9,8 mm (0.120 a 0.386 in.)	C
100 mm (4 in.)	127,81 mm (5.032 in.)	040	90,14 a 94,84 mm (3.549 a 3.734 in.)		3,0 a 10,5 mm (0.120 a 0.415 in.)	D
			94,87 a 97,16 mm (3.735 a 3.825 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	3,0 a 13,0 mm (0.120 a 0.510 in.)	B
			97,18 a 102,26 mm (3.826 a 4.026 in.)		3,0 a 10,2 mm (0.120 a 0.400 in.)	C
			102,29 a 107,62 mm (4.027 a 4.237 in.)		3,0 a 9,9 mm (0.120 a 0.390 in.)	D
125 mm (5 in.)	154,79 mm (6.094 in.)	050	107,65 a 112,70 mm (4.238 a 4.437 in.)		3,0 a 10,2 mm (0.120 a 0.401 in.)	E
			112,73 a 116,10 mm (4.438 a 4.571 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 12,2 mm (0.134 a 0.481 in.)	A
			116,13 a 122,22 mm (4.572 a 4.812 in.)		3,4 a 9,5 mm (0.134 a 0.374 in.)	B
			122,25 a 128,19 mm (4.813 a 5.047 in.)		3,4 a 9,7 mm (0.134 a 0.380 in.)	C
Sensor de tamaño 1 150 mm (6 in.)	176,02 mm (6.93 in.)	060	128,22 a 133,32 mm (5.048 a 5.249 in.)		3,4 a 10,5 mm (0.134 a 0.413 in.)	D
			133,35 a 138,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 9,9 mm (0.134 a 0.3919 in.)	A
			139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		3,4 a 8,3 mm (0.134 a 0.327 in.)	B
			146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		3,4 a 7,9 mm (0.134 a 0.31 in.)	C
Sensor de tamaño 2 150 mm (6 in.)	176,02 mm (6.93 in.)	060	154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		3,4 a 7,5 mm (0.134 a 0.297 in.)	D
			133,35 a 139,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	3,4 a 28,7 mm (0.134 a 1.132 in.)	A
			139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		3,4 a 27,1 mm (0.134 a 1.067 in.)	B
			146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		3,4 a 26,7 mm (0.134 a 1.05 in.)	C
Sensor de tamaño 1 180 mm (7 in.)	201,42 mm (7.93 in.)	070	154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		3,4 a 26,3 mm (0.134 a 1.037 in.)	D
			162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 9,5 mm (0.134 a 0.374 in.)	B
			168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		3,4 a 5,5 mm (0.134 a 0.216 in.)	C
			178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		3,4 a 6,2 mm (0.134 a 0.246 in.)	D
Sensor de tamaño 2 180 mm (7 in.)	201,42 mm (7.93 in.)	070	162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	3,4 a 28,3 mm (0.134 a 1.114 in.)	B
			168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		3,4 a 24,3 mm (0.134 a 0.956 in.)	C
			178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		3,4 a 25,0 mm (0.134 a 0.986 in.)	D
			187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)			
Sensor de tamaño 1 200 mm (8 in.)	246,08 mm (9.688 in.)	080	193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)	6,4 a 18,5 mm (0.250 a 0.73 in.)	6,4 a 12,6 mm (0.250 a 0.499 in.)	B
			202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		6,4 a 9,5 mm (0.250 a 0.374 in.)	C
			213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		6,4 a 7,9 mm (0.250 a 0.312 in.)	D
			222,68 a 232,97 mm (8.767 a 9.172 in.)		6,4 a 9,2 mm (0.250 a 0.364 in.)	E
Sensor de tamaño 2 200 mm (8 in.)	246,08 mm (9.688 in.)	080	187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 31,4 mm (0.250 a 1.239 in.)	B
			193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)		6,4 a 28,3 mm (0.250 a 1.114 in.)	C
			202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		6,4 a 26,7 mm (0.250 a 1.052 in.)	D
			213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		6,4 a 28,0 mm (0.250 a 1.104 in.)	E
250 mm (10 in.)	298,45 mm (11.75 in.)	100	222,68 a 232,97 mm (8.767 a 9.172 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 27,1 mm (0.250 a 1.065 in.)	A
			232,99 a 242,85 mm (9.173 a 9.561 in.)		6,4 a 27,5 mm (0.250 a 1.082 in.)	B
			242,87 a 254,51 mm (9.562 a 10.020 in.)		6,4 a 25,7 mm (0.250 a 1.012 in.)	C
			254,53 a 267,87 mm (10.021 a 10.546 in.)		6,4 a 24,0 mm (0.250 a 0.945 in.)	D
			267,89 a 279,37 mm (10.547 a 10.999 in.)		6,4 a 25,9 mm (0.250 a 1.018 in.)	E
300 mm (12 in.)	331,15 mm (13.0375 in.)	120	279,40 a 288,87 mm (11.000 a 11.373 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 27,9 mm (0.250 a 1.097 in.)	B
			288,90 a 303,23 mm (11.374 a 11.938 in.)		6,4 a 23,0 mm (0.250 a 0.906 in.)	C
			303,25 a 311,15 mm (11.939 a 12.250 in.)		6,4 a 29,4 mm (0.250 a 1.159 in.)	D

Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetro Mass *ProBar* modelo 3095MFA de Rosemount

ESPECIFICACIONES

Funcionamiento

Precisión de la referencia del sistema

Precisión de hasta $\pm 0,90\%$ (turndown de 8: 1) del caudal máxico en gas y vapor

Repetibilidad

$\pm 0,1\%$

Tamaños de las tuberías

- Sensor de tamaño 1: 50 a 200 mm (2 a 8 in.)
- Sensor de tamaño 2: 150 a 900 mm (6 a 36 in.)
- Sensor de tamaño 3: 300 a 1800 mm (12 a 72 in.)

TABLA 14. Número de Reynolds y ancho de la probeta

Tamaño del sensor	Número de Reynolds mínimo (R_d)	Ancho de la probeta (d) mm (pulgadas)
1	6500	14,99 mm (0.590 in.)
2	12500	26,92 mm (1.060 in.)
3	25000	49,15 mm (1.935 in.)

Donde

d = Ancho de la probeta (pies)

v = Velocidad del fluido (pies/seg)

ρ = Densidad del fluido (lbm/pie³)

μ = Viscosidad del fluido (lbm/pie-seg)

$$R_d = \frac{d \times v \times \rho}{\mu}$$

Salida

Señal de 4–20 mA de dos hilos, el usuario puede seleccionar DP, AP, GP, PT, flujo máxico o flujo totalizado. El protocolo digital HART se superpone a la señal de 4–20 mA; disponible para cualquier host que cumpla con el protocolo HART

Suposiciones de la declaración de funcionamiento

- El diámetro interno de la tubería ha sido medido
- La electrónica ha sido adaptada para optimizar la precisión en el caudal.

Dimensionamiento

Contactar a un representante de ventas de Emerson Process Management para obtener ayuda. Se requiere una hoja de datos de la configuración antes de hacer el pedido para verificar la aplicación

Turndown

El turndown es de 8:1

Especificación opcional de clase de funcionamiento

Ultra para caudales (Código U3): precisión de caudal máxico de hasta 0,95%, turndown de 10:1, estabilidad durante diez años, garantía limitada de 12 años

Acabado superficial del sensor *Annubar*

La superficie delantera del *Annubar* primario se ha texturizado para las aplicaciones con un número de Reynolds alto (generalmente gas y vapor). La superficie texturizada crea una capa límite más turbulenta en la superficie delantera del sensor. Gracias al incremento en la turbulencia, la separación del flujo en el borde del sensor es más predecible y repetible. Se determinará el acabado superficial adecuado para cada aplicación con el programa de dimensionamiento de Emerson Process Management.

Operativas

Aplicaciones

- Líquido
- Gas
- Vapor

Fuente de alimentación

Opción de 4–20 mA

- Se requiere una fuente de alimentación externa. Cuando no está bajo carga, el transmisor estándar (4–20 mA) funciona a un voltaje de 11 a 55 V CC.

Límites de temperatura del proceso

Electrónica de montaje directo

- 232 °C (450 °F)
- 400 °C (750 °F) cuando se usa con manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura (Plataforma de conexión del sistema electrónico código 6)

Electrónica de montaje remoto

- 677 °C (1250 °F) – El material del sensor es *Hastelloy*
- 454 °C (850 °F) – El material del sensor es acero inoxidable

Límites de temperatura para la electrónica

Ambiente

- –40 a 85 °C (–40 a 185 °F)
- Con pantalla de cristal líquido integrada: –20 a 80 °C (–4 a 175 °F)

Almacenamiento

- –46 a 110 °C (–50 a 230 °F)
- Con pantalla de cristal líquido integrada: –40 a 85 °C (–40 a 185 °F)

Límites de presión y temperatura⁽¹⁾

Electrónica de montaje directo

- Hasta ANSI nº 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- No es posible la medición de temperatura integrada con tipo de montaje bridado mayor que clase 600

Electrónica de montaje remoto

- Hasta ANSI nº 2500 (250 bar a 38 °C (3600 psig a 100 °F))

Límites de presión estática

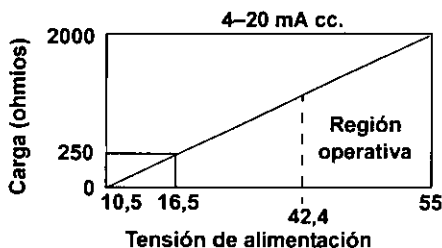
- Funciona dentro de las especificaciones para presiones estáticas de entre 0,03 bar-A (0.5 psia) y el límite superior del rango (URL, por sus siglas en inglés) del sensor de presión estática.

(1) La selección de presión estática puede afectar los límites de presión. Los códigos B y C del rango de presión estática están limitados a 800 psia y 800 psig respectivamente.

Limitaciones de la carga

La resistencia máxima del lazo se determina mediante el nivel de voltaje de la fuente de alimentación externa, como se describe a continuación:

$$\text{Resistencia máx. del lazo} = \frac{\text{Tensión de alimentación} - 11,0}{0,022}$$



La aprobación por CSA requiere que la fuente de alimentación no exceda de 42,4 V cc
La comunicación HART requiere una resistencia del lazo de 250 ohmios como mínimo.

Límites de sobrepresión

- De cero a dos veces el rango de presión absoluta, con un máximo de 250 bar (3626 psia).

Límites de humedad

Humedad relativa del 0 al 100%

Fluido inerte de llenado del sensor

- No disponible con los códigos B y D del rango de presión estática
- No disponible con el código 1 del rango de presión diferencial

Tiempo de activación

- En un lapso de 7 a 10 segundos después de que el transmisor se enciende, las variables digitales y analógicas sujetas a medición estarán dentro de las especificaciones.
- En un lapso de 10 a 14 segundos después de que el transmisor se enciende, la salida digital y analógica correspondiente al caudal estará dentro de las especificaciones.

Amortiguación

Para una constante temporal dada, el usuario puede seleccionar entre 0 y 29 segundos para la respuesta analógica de salida a una entrada en escalón. Esta amortiguación de software es adicional al tiempo de respuesta del módulo del sensor.

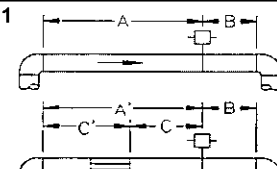
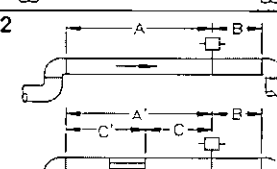

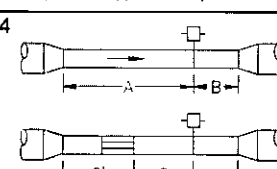
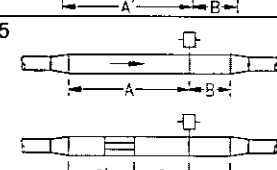
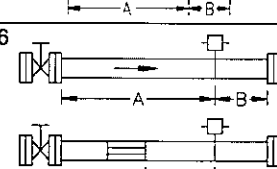
Alarma del modo de fallo

HART 4-20mA (código de salida A)

- Si el autodiagnóstico detecta un fallo importante en el transmisor, la señal analógica será llevada por debajo de 3,75 mA o por encima de 21,7 mA para así alertar al usuario. Haciendo uso de un puente interno, el usuario selecciona la señal de alarma de baja o de alta.

Puntos a considerar para la instalación

Requerimientos de tramo recto de tubería

	Dimensiones corriente arriba					Dimensiones corriente abajo	
	Sin aletas ⁽¹⁾		Con aletas ⁽²⁾				
	En el plano A	Fuera del plano A	A'	C	C'		
1		8	10	-	-	-	4
2		11	16	-	-	-	4
3		23	28	-	-	-	4
4		12	12	-	-	-	4
5		18	18	-	-	-	4
6		30	30	-	-	-	4

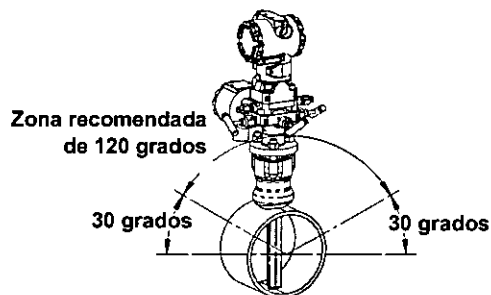
(1) "En el plano A" significa que la barra se encuentra en el mismo plano que el tubo acodado. "Fuera del plano A" significa que la barra se encuentra perpendicular al plano del tubo acodado.

(2) Para reducir la longitud de los tramos rectos requerida se deben usar aletas enderezadoras.

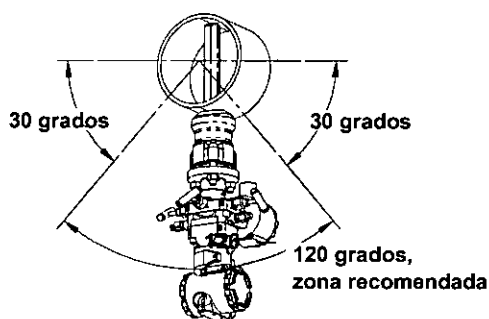
Serie de caudalímetros Annubar

Orientación del caudalímetro

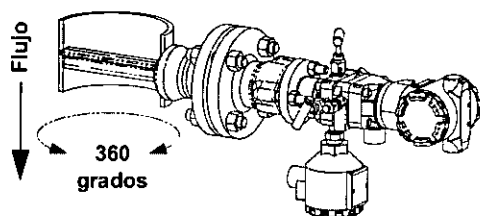
Gases (horizontal)



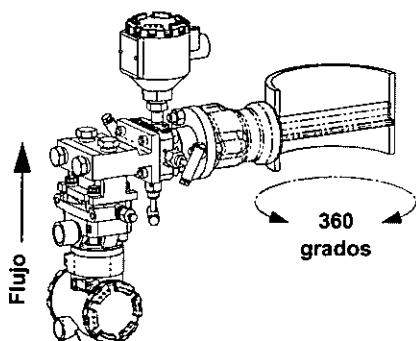
Líquidos y vapor (horizontal)



Gases (vertical)



Vapor (vertical)



Perforar un agujero del diámetro adecuado al tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Diámetro
1	20 mm ($\frac{3}{4}$ in.)
2	35 mm ($1\frac{5}{16}$ in.)
3	65 mm ($2\frac{1}{2}$ in.)

Detalles físicos

Medición de la temperatura

Termoresistencia integral

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios
- Termoresistencia de 4 cables ($\alpha = 0,00385$)

Termoresistencia remota

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios, cargada por resorte, con conexión y boquilla NPT de $\frac{1}{2}$ pulg.

Termopozo

- NPT de $\frac{1}{2}$ pulg. x $\frac{1}{2}$ pulg., acero inoxidable 316, con casquillo de soldadura de $\frac{1}{2}$ pulg. para corresponder con la tubería del proceso.

Conexiones electrónicas

Conducto con NTP 14 de $\frac{1}{2}$, G $\frac{1}{2}$ y M20 x 1.5 (CM20). Conexiones de interfaz HART unidas al bloque de terminales para el código de salida A

Material del sensor Annubar

- Acero inoxidable 316
- Hastelloy 276

Tipo Annubar

Consultar "Planos dimensionales" en la página 30

Modelo Pak-Lok (opción P)

- Se suministra con un mecanismo de sellado de compresión cuya clasificación ANSI es de hasta n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- Empaquetadura de grafito (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))

Bridado con modelo de soporte al lado opuesto (opción F)

- Se suministra con soporte al lado opuesto, que es del mismo material que la tubería y requiere una segunda penetración en la tubería
- La brida del sensor es del mismo material que el sensor Annubar, la brida de montaje es del mismo material que la tubería.
- Tornillería de montaje de las bridas: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- Acero inoxidable: (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))
- Hastelloy: (-184 a 677 °C (-300 a 1250 °F))

Modelo Flange-Lok (opción L)

- El conjunto Flange-Lok se suministra en acero inoxidable 316.
- Tornillería de montaje del modelo Flange-Lok: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)

Modelos Flo-Tap (opciones G y M)

- El soporte de lado opuesto no está disponible
- La conexión roscada no está disponible con el sensor tamaño 3
- El accionamiento de engrane no está disponible con el sensor tamaño 1
- Se requiere prensaestopas de empaquetadura
- Límites de temperatura del material del prensaestopas de empaquetadura
 - Teflon® (PTFE): De -40 a 204 °C (de -40 a 400 °F)
 - Grafito: De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)
- Se incluye válvula de aislamiento
 - La válvula aislamiento tiene la misma clasificación de presión que la brida del sensor y la brida de montaje especificadas en el tipo de montaje
 - Las válvulas de bola tienen una limitación n° 300
 - Para modelos flo-tap roscados, el tamaño NPT de la válvula de aislamiento es de $1\frac{1}{4}$ pulgadas (sensor tamaño 1) y 2 pulgadas (sensor tamaño 2).

Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Tamaño de la brida según el tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Dimensiones de la brida		Dimensiones ODF
	ANSI	DIN	
1	1 1/2 in. 150#	DN40 PN16	78,5 mm (3.09 in.)
1	1 1/2 in. 300#	DN40 PN40	81,5 mm (3.21 in.)
1	1 1/2 in. 600#	DN40 PN100	98,6 mm (3.88 in.)
1	1 1/2 in. 900#	No corresponde	125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 1500#	No corresponde	125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 2500#	No corresponde	171,7 mm (6.76 in.)
2	2,0 in. 150#	DN50 PN16	86,4 mm (3.40 in.)
2	2,0 in. 300#	DN50 PN40	89,2 mm (3.51 in.)
2	2,0 in. 600#	DN50 PN100	109,2 mm (4.30 in.)
2	2,0 in. 900#	No corresponde	149,4 mm (5.88 in.)
2	2,0 in. 1500#	No corresponde	149,4 mm (5.88 in.)
2	3,0 in. 2500#	No corresponde	250,7 mm (9.87 in.)
3	3,0 in. 150#	DN80 PN16	97,5 mm (3.84 in.)
3	3,0 in. 300#	DN80 PN40	105,7 mm (4.16 in.)
3	3,0 in. 600#	DN80 PN100	125,7 mm (4.95 in.)
3	4,0 in. 900#	No corresponde	208,0 mm (8.19 in.)
3	4,0 in. 1500#	No corresponde	217,4 mm (8.56 in.)
3	4,0 in. 2500#	No corresponde	284,2 mm (11.19 in.)

Tabla de especificaciones del tipo Annubar

Código de opción	Descripción	Pak-Lok ⁽¹⁾	Flange-Lok	Brida	Accionamiento Flo-Tap manual y por engranaje
T1 ⁽¹⁾	Cuerpo del Pak-Lok Conexión roscada	X			X
A1	RF ANSI nº 150		X	X	X
A3	RF ANSI nº 300		X	X	X
A6	RF ANSI nº 600		X	X	X
A9 ⁽²⁾	RF ANSI nº 900			X	
AF ⁽²⁾	RF ANSI nº 1500			X	
AT ⁽²⁾	RF ANSI nº 2500			X	
D1	DN PN 16		X	X	X
D3	DN PN 40		X	X	X
D6	DN PN 100		X	X	X
R9 ⁽²⁾	Brida RTJ nº 900			X	
RF ⁽²⁾	Brida RTJ nº 1500			X	
RT ⁽²⁾	Brida RTJ nº 2500			X	

(1) Disponible hasta ANSI nº 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F)).

(2) Montaje remoto solamente.

Rangos de temperatura para las conexiones del instrumento

TABLA 15. Rango de temperatura mínima / máxima

Código	Descripción	Temperatura
G1	Válvulas de aguja, acero al carbono	-29 a 260 °C (-20 a 500 °F)
G2	Válvulas de aguja, acero inoxidable	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G3	Válvulas de aguja, <i>Hastelloy</i>	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G5	Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono	-29 a 413 °C (-20 a 775 °F)
G6	Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable	-40 a 454 °C (-40 a 850 °F)
G7	Válvula de compuerta OS&Y, <i>Hastelloy</i>	-40 a 677 °C (-40 a 1250 °F)

Caudalímetro instalado en sección de tubería bridada del conjunto rotor (códigos de opción H3, H4 y H5)

- Todas las secciones de tubería bridada del conjunto rotor son secciones de tubería bridada
- La sección de tubería bridada del conjunto rotor está construida del mismo material que la tubería
- Consultar a la fábrica con respecto a las mediciones remotas de temperatura y a las clasificaciones ANSI por arriba del nº 600 y bridas DIN

TABLA 16. Espesor para la sección de tubería bridada del conjunto rotor

ANSI	Espesor
ANSI nº 150	40
ANSI nº 300	40
ANSI nº 600	80

TABLA 17. Longitud de la sección de tubería bridada del conjunto rotor

Tamaño nominal de la tubería	Longitud
50 mm (2 in.)	267,2 mm (10.52 in.)
80 mm (3 in.)	288,8 mm (11.37 in.)
100 mm (4 in.)	323,6 mm (12.74 in.)
150 mm (6 in.)	364,0 mm (14.33 in.)
200 mm (8 in.)	421,1 mm (16.58 in.)



Serie de caudalímetros Annubar

CERTIFICACIONES DEL PRODUCTO

La declaración de conformidad EC de este producto con todas las directivas europeas aplicables puede encontrarse en la página de Internet de Rosemount en www.rosemount.com. Se puede obtener una copia impresa poniéndose en contacto con nuestra oficina de ventas local.

Directiva ATEX (94/9/EC)

Emerson Process Management cumple con la directiva ATEX.

Directiva europea para equipo a presión (Directiva PED) (97/23/CE)

Transmisores de caudal 3095M_2/3,4/D – Certificado de evaluación QS – EC No. PED-H-20
Evaluación de conformidad Módulo H

Todos los otros transmisores/controlador de nivel 3095 – procedimiento técnico de alto nivel

Accesorios del transmisor: Brida de proceso – Manifold – procedimiento técnico de alto nivel

Caudalímetro másico de orificio integral modelo 3095MFP – Consultar la declaración de conformidad para la clasificación de la serie de orificio integral modelo 1195.

Compatibilidad electromagnética (EMC, por sus siglas en inglés) (89/336/EEC)

Transmisores de caudal modelo 3095MV
– EN 50081-1: 1992, EN 50082-2:1995, EN 61326-1 1997 – Industrial

Certificación sobre ubicaciones ordinarias según Factory Mutual

Como es estándar, el transmisor ha sido examinado y probado para determinar que el diseño cumple con los requisitos básicos eléctricos, mecánicos, y de protección contra incendios de FM, un laboratorio de pruebas de reconocimiento nacional (NRTL, por sus siglas en inglés) según lo acredita la Federal Occupational Safety and Health Administration (Administración para la seguridad y salud laboral, OSHA).

Certificaciones de ubicaciones peligrosas

Certificaciones norteamericanas

Aprobaciones FM

- E5 A prueba de explosión para clase I, división 1, grupos B, C y D. A prueba de polvos combustibles para clase II/clase III, división 1, grupos E, F y G. Carcasa tipo NEMA 4X. Sellado de fábrica. Proporciona conexiones incombustibles de termoresistencia para clase I, división 2, grupos A, B, C y D.
- I5 Intrínsecamente seguro para ubicaciones peligrosas exteriores clase I, II y III, división 1, grupos A, B, C, D, E, F y G. Incombustible para la clase I, división 2, grupos A, B, C y D. Código de temperatura T4. Sellado de fábrica.
- Para los parámetros de entrada, consultar el diagrama de control 03095-1020.

Canadian Standards Association (CSA)

- E6 A prueba de explosión para clase I, división 1, grupos B, C y D, a prueba de polvos combustibles para clase II/clase III, división 1, grupos E, F y G. Carcasa CSA tipo 4X apropiada para ubicaciones peligrosas interiores y exteriores. Proporciona conexión incombustible para la termoresistencia (RTD) para clase I, división 2, grupos A, B, C y D. Sellado de fábrica. Instalar de acuerdo con el plano 03095-1024 de Rosemount. Aprobado para clase I, división 2, grupos A, B, C y D.
- I6 Intrínsecamente seguro para la clase I, división I, grupos A, B, C y D cuando se conecta de acuerdo con el plano 03095-1021 de Rosemount. Código de temperatura T3C.
- Para los parámetros de entrada, consultar el diagrama de control 03095-1021.



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Certificaciones europeas

- I1 Seguridad intrínseca según ATEX**
Número de certificado: BAS98ATEX1359X II 1 G
EEx ia IIC T5 ($T_{amb} = -45\text{ °C a } 40\text{ °C}$)
EEx ia IIC T4 ($T_{amb} = -45\text{ °C a } 70\text{ °C}$)
CE 1180

TABLA 18. Parámetros de conexión (terminales de alimentación/señal)

$U_i = 30\text{ V}$
$I_i = 200\text{ mA}$
$P_i = 1,0\text{ W}$
$C_i = 0,012\text{ }\mu\text{F}$
$L_i = 0$

TABLA 19 Parámetros de conexión del sensor de temperatura

$U_o = 30\text{ V}$
$I_o = 19\text{ mA}$
$P_o = 140\text{ mW}$
$C_i = 0,002\text{ }\mu\text{F}$
$L_i = 0$

TABLA 20 Parámetros de conexión de los terminales del sensor de temperatura

$C_o = 0,066\text{ }\mu\text{F}$	Grupo de gas IIC
$C_o = 0,560\text{ }\mu\text{F}$	Grupo de gas IIB
$C_o = 1,82\text{ }\mu\text{F}$	Grupo de gas IIA
$L_o = 96\text{ mH}$	Grupo de gas IIC
$L_o = 365\text{ mH}$	Grupo de gas IIB
$L_o = 696\text{ mH}$	Grupo de gas IIA
$L_o/R_o = 247\text{ }\mu\text{H}/\text{ohmio}$	Grupo de gas IIC
$L_o/R_o = 633\text{ }\mu\text{H}/\text{ohmio}$	Grupo de gas IIB
$L_o/R_o = 633\text{ }\mu\text{H}/\text{ohmio}$	Grupo de gas IIA

Condiciones especiales para un uso seguro

El modelo 3095, cuando se acopla con el bloque de terminales contra transitorios (código de pedido B), no son capaces de soportar la prueba de aislamiento de 500 voltios requerida por EN50 020, Cláusula 6.4.12 (1994). Esta condición debe tenerse en cuenta durante la instalación.

- N1 Tipo N según ATEX**
Número de certificado: BAS98ATEX3360X II 3 G
EEx nL IIC T5 ($T_{amb} = -45\text{ °C a } 40\text{ °C}$)
EEx nL IIC T4 ($T_{amb} = -45\text{ °C a } 70\text{ °C}$)
 $U_i = 55\text{ V}$
CE

El aparato está diseñado para conectarse a un sensor de temperatura remoto tal como una termoresistencia.

Condiciones especiales para un uso seguro

El modelo 3095, cuando se acopla con el bloque de terminales contra transitorios (código de pedido B), no son capaces de soportar la prueba de aislamiento de 500 voltios requerida por EN50 021, Cláusula 9.1 (1995). Esta condición debe tenerse en cuenta durante la instalación.

- E1 Incombustible según ATEX**
Certificado número: KEMA02ATEX2320X II 1/2 G
EEx d IIC T5 ($-50\text{ °C} \leq T_{amb} \leq 80\text{ °C}$)
T6 ($-50\text{ °C} \leq T_{amb} \leq 65\text{ °C}$)
CE 1180

Condiciones especiales para un uso seguro (x):

El dispositivo contiene un diafragma de pared delgada. Para la instalación, el mantenimiento y el uso se deben tener en cuenta las condiciones ambientales a las cuales estará sujeto el diafragma. Se deben seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante para la instalación y el mantenimiento para garantizar la seguridad durante su tiempo de vida útil esperado.

- ND Polvos ATEX**
Certificado número: KEMA02ATEX2321 II 1 D
 $V = 55\text{ Vcc MÁX}$
 $I = 23\text{ mA MAX}$
IP66
CE 1180

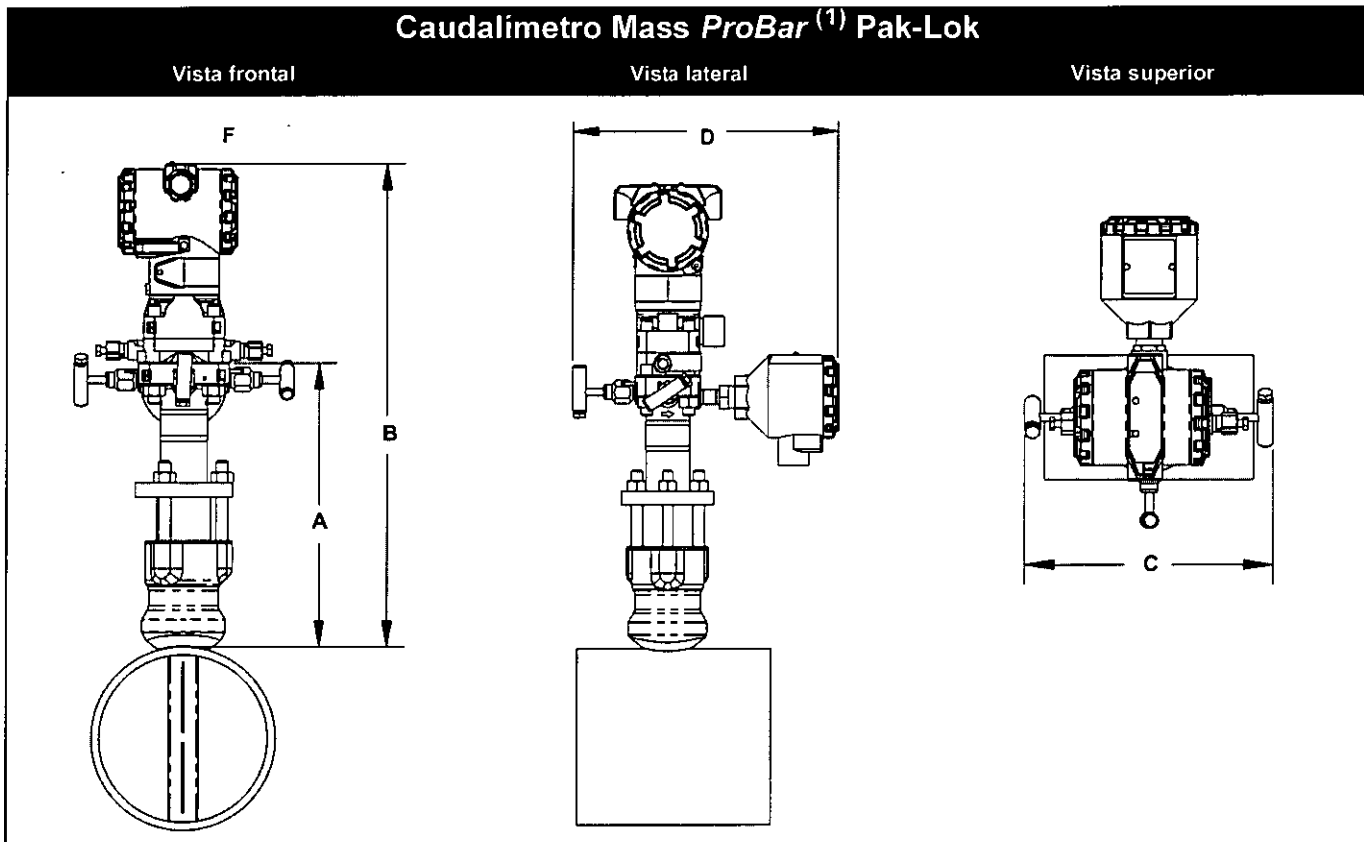
Combinaciones de certificaciones

Cuando la aprobación opcional ha sido especificada, se suministra una etiqueta de certificación de acero inoxidable. Una vez que se haya instalado un dispositivo etiquetado con los tipos de aprobaciones múltiples, dicho dispositivo no deberá reinstalarse haciendo uso de cualquier otro tipo de aprobaciones. Marcar permanentemente la etiqueta de aprobación para distinguirla de los tipos de aprobación que no estén siendo usados.

- K5 Combinación de E5 e I5
K6 Combinación de E6 e I6
K1 Combinación de I1, N1, E1 y ND

Serie de caudalímetros Annubar

PLANOS DIMENSIONALES

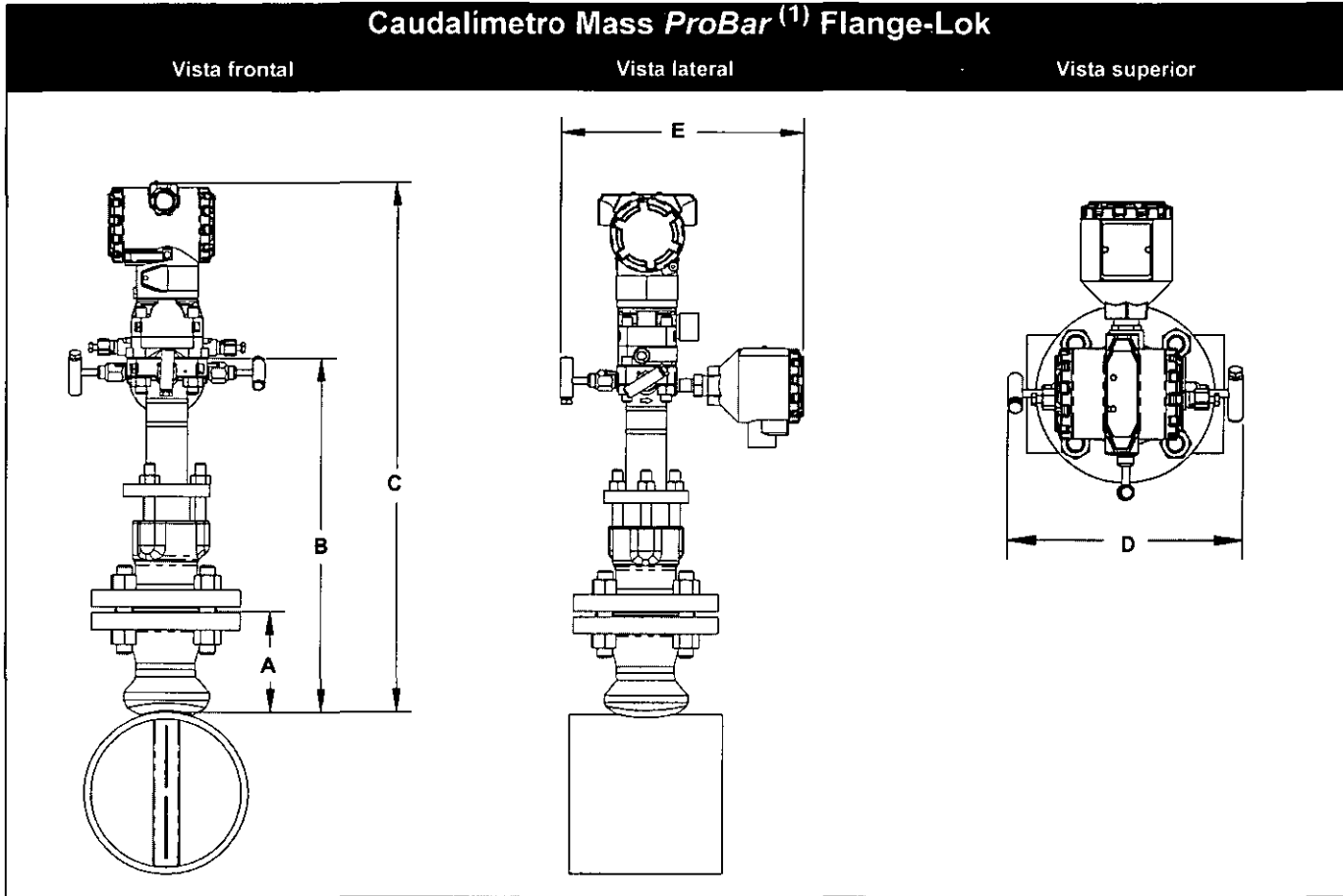


(1) El modelo Pak-Lok de Annubar está disponible hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))

TABLA 21. Datos dimensionales del caudalímetro Mass ProBar Pak-Lok

Tamaño del sensor	A (máx.)	B (máx.)	C (máx.)	D (máx.)
1	215,9 (8.50)	395,5 (15.57)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	279,4 (11.00)	459,0 (18.07)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	317,5 (12.50)	497,1 (19.57)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)



(1) El modelo Flange-Lok de Annubar puede montarse directamente hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F)).

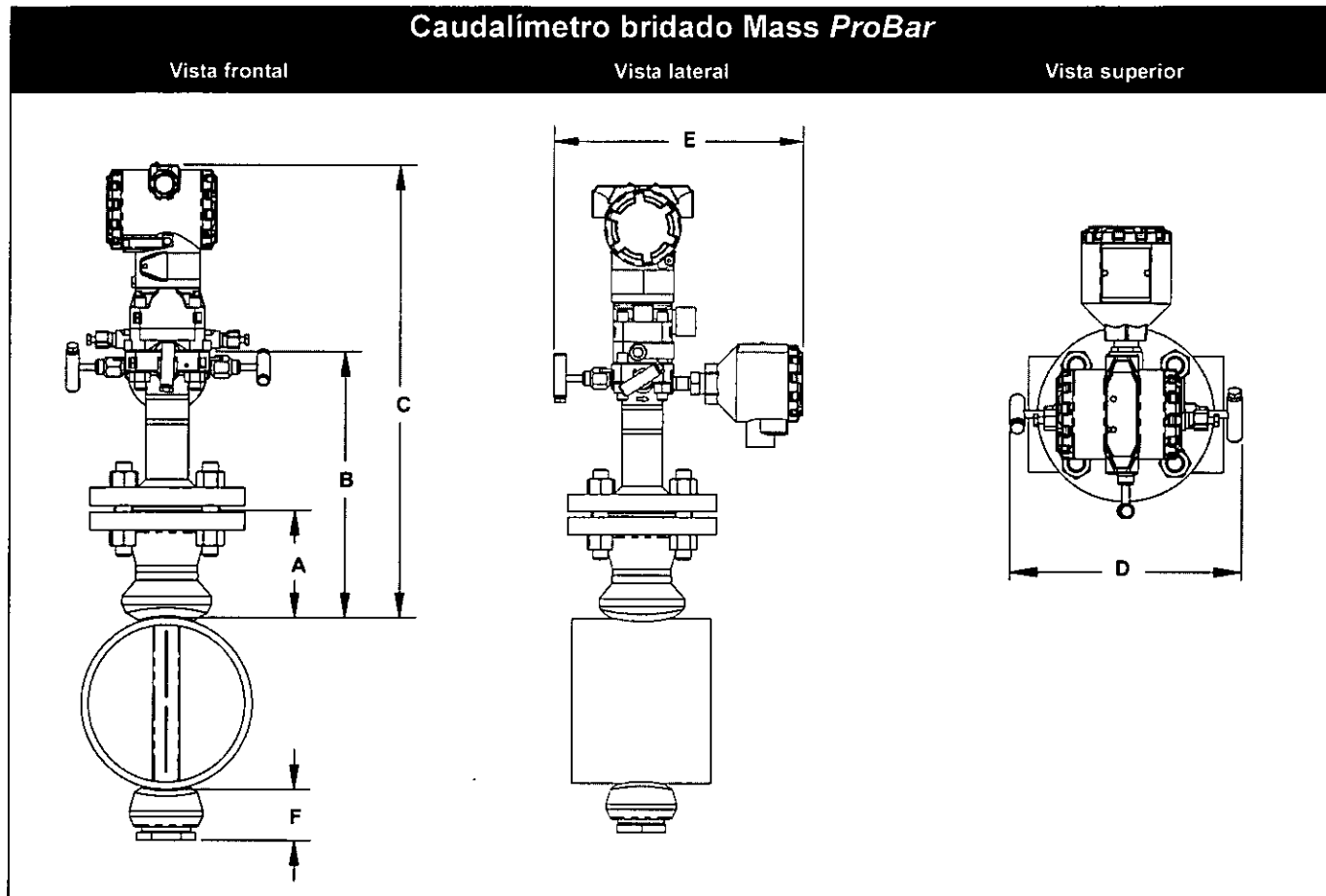
TABLA 22. Datos dimensionales del caudalimetro Mass ProBar Flange-Lok

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C (máx.)	D (máx.)	E (máx.)
1	1 1/2 - 150#	98,6 (3.88)	311,2 (12.25)	490,7 (19.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	311,2 (12.25)	490,7 (19.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	311,2 (12.25)	490,7 (19.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	362,0 (14.25)	541,5 (21.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	362,0 (14.25)	541,5 (21.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	362,0 (14.25)	541,5 (21.32)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	444,5 (17.50)	624,1 (24.57)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	444,5 (17.50)	624,1 (24.57)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	444,5 (17.50)	624,1 (24.57)	228,6 (9.00)	285,8 (11.25)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Serie de caudalímetros Annubar

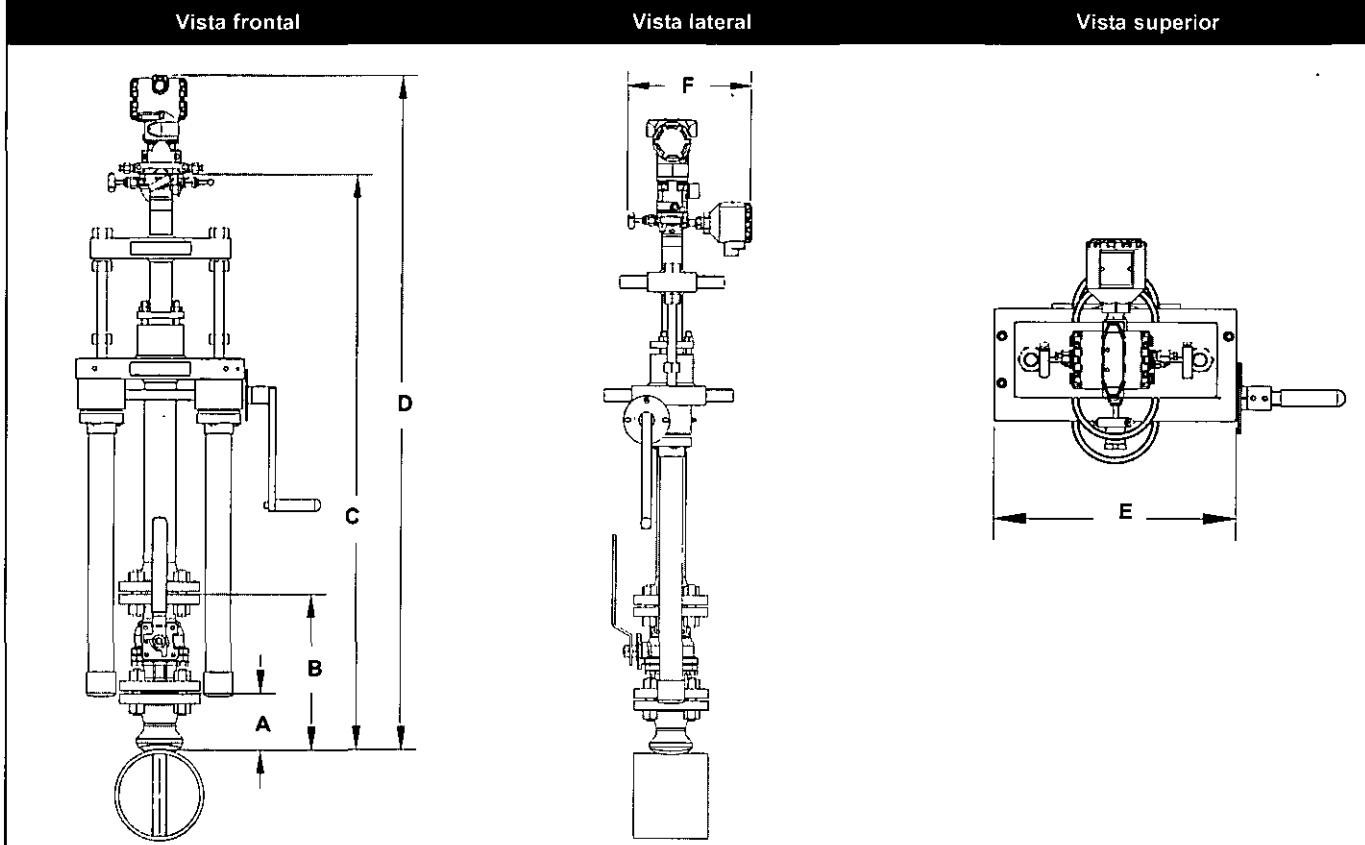
Caudalímetro bridado Mass ProBar


TABLA 23. Datos dimensionales del caudalímetro bridado Mass ProBar

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 0,125 (3.2)	B ± 0,25 (6.4)	C ± 0,25 (6.4)	D (máx.)	E (máx.)	F (máx.)
1	1/2 - 150#	98,6 (3.88)	266,7 (10.5)	446,3 (17.57)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	88,9 (3.50)
1	1/2 - 300#	104,9 (4.13)	266,7 (10.5)	446,3 (17.57)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	88,9 (3.50)
1	1/2 - 600#	112,8 (4.44)	266,7 (10.5)	446,3 (17.57)	228,6 (9.0)	11,25 (285,8)	88,9 (3.50)
1	1/2 - 900#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	-	-	-	101,6 (4.00)
1	1/2 - 1500#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	-	-	-	101,6 (4.00)
1	1/2 - 2500#	171,7 (6.76)	295,5 (11.64)	-	-	-	101,6 (4.00)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	279,4 (11.00)	459,0 (18.07)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	127,0 (5.00)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	279,4 (11.00)	459,0 (18.07)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	127,0 (5.00)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	279,4 (11.00)	459,0 (18.07)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	127,0 (5.00)
2	2 - 900#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	-	-	-	114,3 (4.50)
2	2 - 1500#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	-	-	-	114,3 (4.50)
2	3 - 2500#	250,7 (9.87)	396,7 (15.62)	-	-	-	114,3 (4.50)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	342,9 (13.50)	522,5 (20.57)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	101,6 (4.00)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	342,9 (13.50)	522,5 (20.57)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	101,6 (4.00)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	342,9 (13.50)	522,5 (20.57)	228,6 (9.00)	11,25 (285,8)	101,6 (4.00)
3	4 - 900#	208,0 (8.19)	331,9 (13.07)	-	-	-	177,8 (7.00)
3	4 - 1500#	217,4 (8.56)	350,8 (13.81)	-	-	-	177,8 (7.00)
3	4 - 2500#	284,2 (11.19)	439,8 (17.32)	-	-	-	177,8 (7.00)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Caudalímetro bridado Mass ProBar Flo-Tap⁽¹⁾



(1) El caudalímetro bridado ProBar Flo-Tap está disponible con opciones de accionamiento manual y por engranaje.

TABLA 24. Datos dimensionales del caudalímetro bridado Mass ProBar Flo-Tap

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C ¹ (Accionamiento de engrane)	C ¹ (manual)	D (máx.)	E (máx.)	F (máx.)
1	1/2 - 150#	98,5 (3.88)	266,7 (10.50)	—	482,6 (19.0)	C + 216,7 (7.07)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
1	1/2 - 300#	104,9 (4.13)	298,5 (11.75)	—	482,6 (19.0)	C + 216,7 (7.07)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
1	1/2 - 600#	112,8 (4.44)	357,2 (14.06)	—	482,6 (19.0)	C + 216,7 (7.07)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	285,8 (11.25)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 216,7 (7.07)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	330,2 (13.00)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 216,7 (7.07)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	416,0 (16.38)	635,0 (25.0)	558,8 (22.0)	C + 216,7 (7.07)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	323,9 (12.75)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 216,7 (7.07)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	412,8 (16.25)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 216,7 (7.07)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	495,4 (19.50)	685,8 (27.0)	609,6 (24.0)	C + 216,7 (7.07)	358,9 (14.13)	285,8 (11.25)

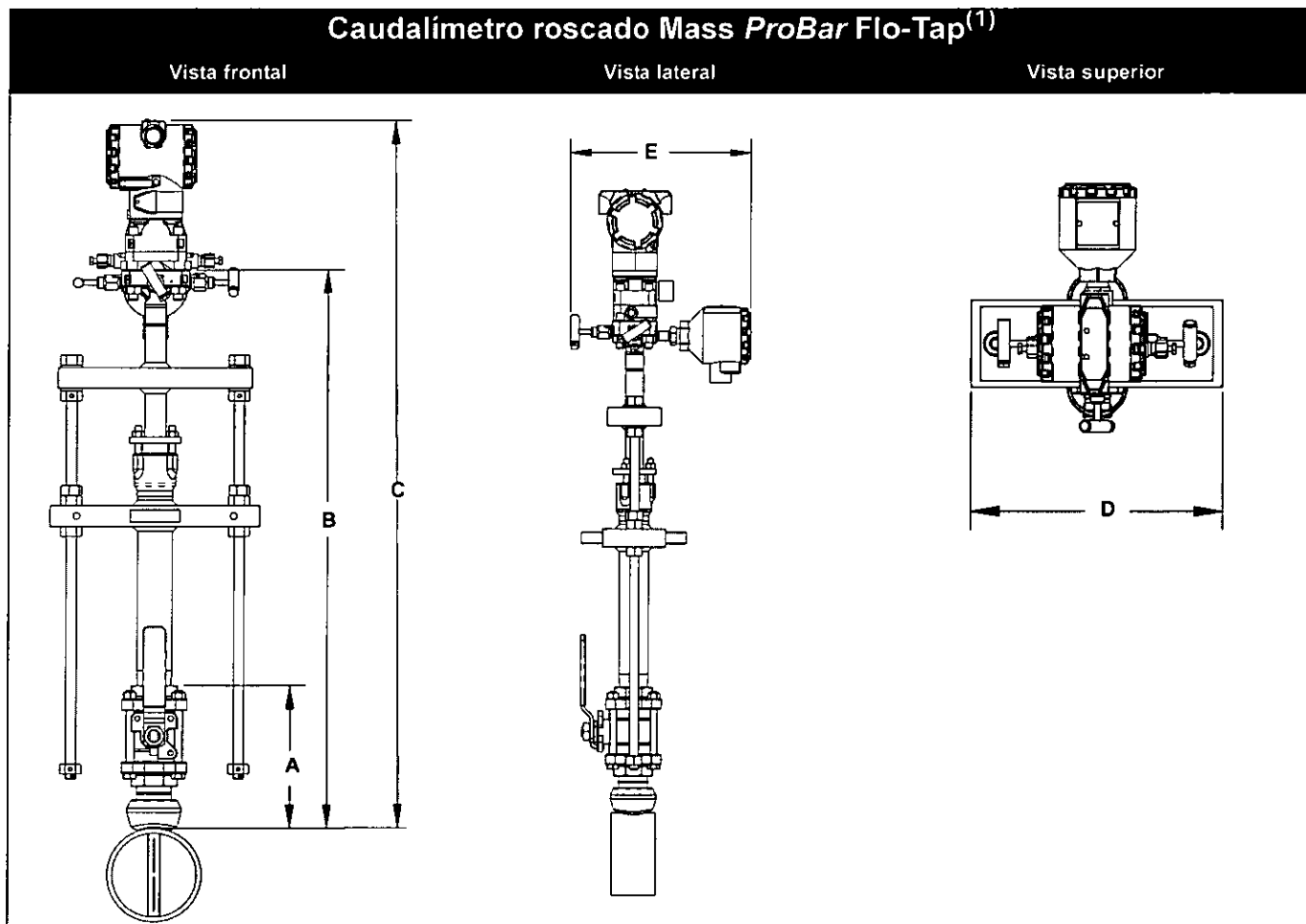
Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Insertado, dimensión C = Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + B + C¹

Retraído, dimensión C = 2 x (Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + B) + C¹

Serie de caudalímetros Annubar

Caudalímetro roscado Mass ProBar Flo-Tap⁽¹⁾



(1) El caudalímetro brido ProBar Flo-Tap está disponible con opciones de accionamiento manual y por engranaje.

TABLA 25. Datos dimensionales del caudalímetro roscado Mass ProBar Flo-Tap

Tamaño del sensor	A ± 6,4 (0.25)	B ¹ (Accionamiento de engrane)	B ¹ (manual)	C (máx.)	D (máx.)	E (máx.)
1	177,8 (7.00)	457,2 (18.0)	432 (17.00)	179,6 (B + 7.07)	266,7 (10.50)	285,8 (11.25)
2	218,7 (8.61)	599 (23.6)	518 (20.4)	179,6 (B + 7.07)	319,0 (12.56)	285,8 (11.25)

El sensor tamaño 3 no está disponible para el Flo-Tap roscado.

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Insertado, dimensión B = Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A + B¹

Retraído, dimensión B = 2 x (Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A) + B¹

Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

INFORMACIÓN PARA HACER PEDIDOS

Información para hacer un pedido del caudalímetro Mass *ProBar* modelo 3095MFA de Rosemount

Modelo	Tipo de caudalímetro para flujo con DP	
3095MFA	Caudalímetro Mass <i>ProBar</i>	
Código	Tipo de fluido	
L	Líquido	
G	Gas	
S	Vapor	
Código	Tamaño de la tubería	Código
020	50 mm (2 in.)	140
025	63,5 mm (2 1/2 in.)	160
030	80 mm (3 in.)	180
035	89 mm (3 1/2 in.)	200
040	100 mm (4 in.)	240
050	125 mm (5 in.)	300
060	150 mm (6 in.)	360
070	175 mm (7 in.)	420
080	200 mm (8 in.)	480
100	250 mm (10 in.)	600
120	300 mm (12 in.)	720
		Tamaño de la tubería
		350 mm (14 in.)
		400 mm (16 in.)
		450 mm (18 in.)
		500 mm (20 in.)
		600 mm (24 in.)
		750 mm (30 in.)
		900 mm (36 in.)
		1066 mm (42 in.)
		1210 mm (48 in.)
		1520 mm (60 in.)
		1820 mm (72 in.)
Código	Rango del diámetro interno de la tubería (consultar el "Código de Rango del diámetro interno de la tubería – medido en milímetros (pulgadas)" en la página 39)	
A	Rango A de la tabla del diámetro interno de la tubería	
B	Rango B de la tabla del diámetro interno de la tubería	
C	Rango C de la tabla del diámetro interno de la tubería	
D	Rango D de la tabla del diámetro interno de la tubería	
E	Rango E de la tabla del diámetro interno de la tubería	
Z	El diámetro interno de la tubería no es estándar. El rango o los tamaños de las tuberías son mayores de 305 mm (12 in.)	
Código	Material de la tubería / material del conjunto	
C	Acero al carbono	
S	Acero inoxidable 316	
G	Cromo-molibdeno grado F-11	
N	Cromo-molibdeno grado F-22	
J	Cromo-molibdeno grado F-91	
0 ⁽¹⁾	Sin montaje (lo hace el cliente)	
Código	Orientación de la tubería	
H	Tubería horizontal	
D	Tubería vertical con flujo descendente	
U	Tubería vertical con flujo ascendente	
Código	Tipo <i>Annubar</i>	
P	Pak-Lok	
F	Bridado con soporte del lado opuesto	
L	Flange-Lok	
G	Flo-Tap accionado por engranaje	
M	Flo-Tap de accionamiento manual	
Código	Material del sensor	
S	Acero inoxidable 316	
H	Hastelloy C-276	
Código	Tamaño del sensor	
1	Sensor tamaño 1 – Los tamaños de las tuberías son de 50 mm (2 in.) a 200 mm (8 in.)	
2	Sensor tamaño 2 – Los tamaños de las tuberías son de 150 mm (6 in.) a 900 mm (36 in.)	
3	Sensor tamaño 3 – Los tamaños de las tuberías son mayores de 300 mm (12 in.)	

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount

Código	Tipo de montaje
T1	Conexión de compresión/roscada
A1	RF ANSI n° 150
A3	RF ANSI n° 300
A6	RF ANSI n° 600
A9	RF ANSI n° 900
AF	RF ANSI n° 1500
AT	RF ANSI n° 2500
D1	Brida DN PN16
D3	Brida DN PN40
D6	Brida DN PN100
R9	Brida RTJ n° 900
RF	Brida RTJ n° 1500
RT	Brida RTJ n° 2500

Código	Soporte del lado opuesto y prensaestopas de empaquetadura
0	Sin soporte del lado opuesto ni prensaestopas de empaquetadura (requerida para los modelos Pak-Lok y Flange-Lok)
Soporte del lado opuesto – Requerido para los modelos bridados	
C	Conjunto de soporte opuesto roscado NPT – punta prolongada
D	Conjunto de soporte opuesto soldado – punta prolongada
Prensaestopas de empaquetadura – Requerido para los modelos Flo-Tap	

	Material del prensaestopas de empaquetadura	Material de la varilla	Material de la empaquetadura
J	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Teflon
K	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Teflon
L	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Grafito
N	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Grafito
R	Prensaestopas de empaquetadura de <i>Hastelloy</i> /Boquilla de caja	Acero inoxidable	Grafito

Código	Válvula de aislamiento para los modelos Flo-Tap
1	Válvula de la compuerta, acero al carbono
2	Válvula de compuerta, acero inoxidable
5	Válvula de bola, acero al carbono
6	Válvula de bola, acero inoxidable
0 ⁽¹⁾	No corresponde o el cliente lo proporciona

Código	Medición de la temperatura
T	Termoresistencia integral – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
R	Termopozo y termoresistencia remotos
0	Sin sensor de temperatura

Código	Plataforma de conexión de los componentes electrónicos
3	Manifold integral de 3 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
5	Manifold de 5 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
6	Manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
7	Conexiones NPT de montaje remoto
8	Conexiones SW de montaje remoto

Código	Rangos de presión diferencial
1	0 a 62,2 mbar (0 a 25 pulgadas de H ₂ O) – no disponible con el código H para material del sensor
2	0 a 623 mbar (0 a 250 in H ₂ O)
3	0 a 2,5 bar (0 a 1000 in H ₂ O)

Código	Rangos de presión estática
B	de 0–55,16 a 0–5515,8 kPa (de 0–8 a 0–800 psia)
C	de 0–55,16 a 0–5515,8 kPa (de 0–8 a 0–800 psig)
D	de 0–250 a 0–25000 kPa (de 0–36,2 a 0–3626 psia) – no disponible con rango de presión diferencial código 1
E	de 0–250 a 0–25000 kPa (de 0–36,2 a 0–3626 psig) – no disponible con rango de presión diferencial código 1

Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount

Código	Protocolo de salida																					
A	4-20 mA con señal digital basada en el protocolo HART																					
Código	Tipo del alojamiento de la electrónica / Material / Tamaño del conducto de entrada																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de alojamiento</th> <th>Material</th> <th>Tamaño de la entrada del conducto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1A</td> <td>Carcasa PlantWeb Aluminio</td> <td>1/2-14 NPT</td> </tr> <tr> <td>1B</td> <td>Carcasa PlantWeb Aluminio</td> <td>M20 x 1,5</td> </tr> <tr> <td>1C</td> <td>Carcasa PlantWeb Aluminio</td> <td>G1/2</td> </tr> <tr> <td>1J</td> <td>Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316</td> <td>1/2-14 NPT</td> </tr> <tr> <td>1K</td> <td>Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316</td> <td>M20 x 1,5</td> </tr> <tr> <td>1L</td> <td>Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316</td> <td>G1/2</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de alojamiento	Material	Tamaño de la entrada del conducto	1A	Carcasa PlantWeb Aluminio	1/2-14 NPT	1B	Carcasa PlantWeb Aluminio	M20 x 1,5	1C	Carcasa PlantWeb Aluminio	G1/2	1J	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	1/2-14 NPT	1K	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	M20 x 1,5	1L	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	G1/2
Tipo de alojamiento	Material	Tamaño de la entrada del conducto																				
1A	Carcasa PlantWeb Aluminio	1/2-14 NPT																				
1B	Carcasa PlantWeb Aluminio	M20 x 1,5																				
1C	Carcasa PlantWeb Aluminio	G1/2																				
1J	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	1/2-14 NPT																				
1K	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	M20 x 1,5																				
1L	Carcasa PlantWeb Acero inoxidable 316	G1/2																				
Código	Opciones																					
Clase de rendimiento																						
U3 ⁽²⁾	Ultra para caudal: precisión de caudal másico de hasta 0,95%, turndown de 10:1, estabilidad durante diez años, garantía limitada de 12 años																					
Prueba hidrostática																						
P1	Prueba hidrostática																					
PX	Prueba hidrostática prolongada																					
Limpieza especial																						
P2	Limpieza para procesos especiales																					
PA	Limpieza según ASTM G93 nivel D (sección 11.4)																					
Examen mediante líquidos penetrantes																						
V1	Examen mediante líquidos penetrantes																					
Examen radiográfico																						
V2	Examen radiográfico																					
Calibración del caudal																						
W1	Calibración del caudal (K medio)																					
WZ	Calibración especial																					
Inspección Especial																						
QC1	Inspección certificada visual y dimensional																					
QC7	Certificado de inspección y funcionamiento																					
Acabado superficial																						
RL	Acabado superficial para flujo de gases y vapor con número de Reynolds bajo																					
RH	Acabado superficial para flujo de líquidos con número de Reynolds alto																					
Certificado de rastreo del material																						
Q8	Certificado de materiales según ISO 10474 3.1 B y EN 10204 3.1 B																					
Cumplimiento del código																						
J1	Registro canadiense																					
J2	ANSI B31,1																					
J3	ANSI B31,3																					
J4	ANSI B31.8																					
J5 ⁽³⁾	NACE MR-0175 / ISO 15156																					
J6	Directiva europea para equipos a presión (PED)																					
Instalada en la sección de tubería bridada del conjunto rotor																						
H3	Conexión bridada nº 150 con espesor y longitud estándar de Rosemount																					
H4	Conexión bridada nº 300 con espesor y longitud estándar de Rosemount																					
H5	Conexión bridada nº 600 con espesor y longitud estándar de Rosemount																					

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount
Conexiones de instrumentos para la opción de montaje remoto

G1	Válvulas de aguja, acero al carbono
G2	Válvulas de aguja, acero inoxidable
G3	Válvulas de aguja, <i>Hastelloy</i>
G5	Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono
G6	Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable
G7	Válvula de compuerta OS&Y, <i>Hastelloy</i>

Envío especial

Y1	La tornillería de montaje se envía por separado
----	---

Dimensiones especiales

VM	Montaje variable
VT	Punta variable
VS	Sección del conjunto rotor de longitud variable
V9	Dimensión especial

Certificación de calibración del transmisor

Q4	Certificado de datos de calibración para transmisor
----	---

Certificaciones del producto

E5	Aprobaciones FM, a prueba de explosiones
I5	Aprobaciones FM, Seguridad intrínseca e Incombustible
K5	Aprobaciones FM, a prueba de explosiones, seguridad intrínseca e incombustibles, (combinación de E5 e I5)
E6	A prueba de explosiones según CSA
I6	Intrínsecamente seguro según CSA
K6	A prueba de explosión, seguridad intrínseca, incombustible (combinación de E6 e I6) según CSA
I1	Seguridad intrínseca según ATEX
E1	Incombustibilidad según ATEX
N1	Tipo N según ATEX
ND	Polvo según ATEX
K1	Antideflagrante, seguridad intrínseca, tipo N, y polvos (combinación de E1, I1, N1 y ND) según ATEX

Materiales alternativos de construcción del transmisor

L1	Fluido inerte de llenado del sensor (no disponible con los códigos B y D del rango de presión estática ni con el código 1 del rango de presión diferencial)
----	---

Pantalla de cristal líquido

M5	Pantalla de cristal líquido integrada
----	---------------------------------------

Bloques de terminales

T1	Protección contra transitorios
----	--------------------------------

Manifold de la opción de montaje remoto

F1	Manifold de tres válvulas, acero al carbono
F2	Manifold de tres válvulas, acero inoxidable
F3	Manifold de tres válvulas, <i>Hastelloy C</i>
F5	Manifold de cinco válvulas, acero al carbono
F6	Manifold de cinco válvulas, acero inoxidable
F7	Manifold de cinco válvulas, <i>Hastelloy C</i>

Número de modelo típico: 3095MFA L 060 D C H P S 2 T1 0 0 0 3 2 C A 1A

- Proporcionar la dimensión "A" para modelos bridados, Flange-Lok y Flo-Tap roscado. Proporcionar la dimensión "B" para modelos Flo-Tap bridados.
- No disponible con el código 1A del rango de presión diferencial. No disponible con el código de opción L1. No disponible con código J5 para cumplimiento de código.
- Los materiales de construcción cumplen con las recomendaciones según NACE MR0175/ISO 15156 para entornos de producción de petróleo ácido. Existen límites medioambientales aplicables a ciertos materiales. Para más información, consultar el estándar más reciente. Los materiales seleccionados también cumplen con NACE MR0103 para entornos de refinación con alto contenido de azufre.



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Código de Rango del diámetro interno de la tubería – medido en milímetros (pulgadas)

Consultar la "Información para hacer un pedido del caudalímetro Mass ProBar modelo 3095MFA de Rosemount" en la página 35

Para las tuberías cuyo rango de diámetro interno (D.I.) o espesor de su pared no aparezca en esta tabla o para aquellas tuberías cuyo tamaño sea mayor de 300 mm (12 pulgadas), se debe elegir el código de opción Z y especificar las dimensiones exactas de la tubería (el diámetro interno y el espesor de la pared) en la "Hoja de datos de la configuración (CDS, por sus siglas en inglés)" en la página 53. El programa de dimensionamiento de Emerson process Management determinará este código, de acuerdo a la tubería de la aplicación

Tamaño de la tubería			Espesor de la pared de la tubería		Código del rango del D.I.
Nominal	D.E. máximo	Código de opción	Tuberías ANSI	Tuberías que no son ANSI	
50 mm (2 in.)	66,68 mm (2.625 in.)	020	45,31 a 46,76 mm (1.784 a 1.841 in.)	1,7 a 13,8 mm (0.065 a 0.545 in.)	A
			46,79 a 49,23 mm (1.842 a 1.938 in.)		B
			49,25 a 52,50 mm (1.939 a 2.067 in.)		C
			52,53 a 56,03 mm (2.068 a 2.206 in.)		D
63,5 mm (2 1/2 in.)	80,98 mm (3.188 in.)	025	56,06 a 58,98 mm (2.207 a 2.322 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	B
			59,00 a 62,71 mm (2.323 a 2.469 in.)		C
			62,74 a 65,99 mm (2.470 a 2.598 in.)		D
			66,01 a 67,23 mm (2.599 a 2.647 in.)		E
80 mm (3 in.)	95,25 mm (3.75 in.)	030	67,26 a 69,88 mm (2.648 a 2.751 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	A
			69,90 a 73,63 mm (2.752 a 2.899 in.)		B
			73,66 a 77,93 mm (2.900 a 3.068 in.)		C
			77,95 a 81,99 mm (3.069 a 3.228 in.)		D
89 mm (3 1/2 in.)	107,95 mm (4.25 in.)	035	82,02 a 84,66 mm (3.229 a 3.333 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	B
			84,68 a 90,12 mm (3.334 a 3.548 in.)		C
			90,14 a 94,84 mm (3.549 a 3.734 in.)		D
100 mm (4 in.)	127,81 mm (5.032 in.)	040	94,87 a 97,16 mm (3.735 a 3.825 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	B
			97,18 a 102,26 mm (3.826 a 4.026 in.)		C
			102,29 a 107,62 mm (4.027 a 4.237 in.)		D
			107,65 a 112,70 mm (4.238 a 4.437 in.)		E
125 mm (5 in.)	154,79 mm (6.094 in.)	050	112,73 a 116,10 mm (4.438 a 4.571 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	A
			116,13 a 122,22 mm (4.572 a 4.812 in.)		B
			122,25 a 128,19 mm (4.813 a 5.047 in.)		C
			128,22 a 133,32 mm (5.048 a 5.249 in.)		D
Sensor de tamaño 1 150 mm (6 in.)	176,02 mm (6.93 in.)	060	133,35 a 138,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	A
			139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		B
			146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		C
			154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		D
Sensor de tamaño 2 150 mm (6 in.)	176,02 mm (6.93 in.)	060	133,35 a 139,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	A
			139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		B
			146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		C
			154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		D
Sensor de tamaño 1 180 mm (7 in.)	201,42 mm (7.93 in.)	070	162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	B
			168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		C
			178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		D
Sensor de tamaño 2 180 mm (7 in.)	201,42 mm (7.93 in.)	070	162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	B
			168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		C
			178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		D
Sensor de tamaño 1 200 mm (8 in.)	246,08 mm (9.688 in.)	080	187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)	6,4 a 18,5 mm (0.250 a 0.73 in.)	B
			193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)		C
			202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		D
			213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		E
Sensor de tamaño 2 200 mm (8 in.)	246,08 mm (9.688 in.)	080	187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	B
			193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)		C
			202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		D
			213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		E
250 mm (10 in.)	298,45 mm (11.75 in.)	100	222,68 a 232,97 mm (8.767 a 9.172 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.470 in.)	A
			232,99 a 242,85 mm (9.173 a 9.561 in.)		B
			242,87 a 254,51 mm (9.562 a 10.020 in.)		C
			254,53 a 267,87 mm (10.021 a 10.546 in.)		D
			267,89 a 279,37 mm (10.547 a 10.999 in.)		E
300 mm (12 in.)	331,15 mm (13.0375 in.)	120	279,40 a 288,87 mm (11.000 a 11.373 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.470 in.)	B
			288,90 a 303,23 mm (11.374 a 11.938 in.)		C
			303,25 a 311,15 mm (11.939 a 12.250 in.)		D



Serie de caudalímetros Annubar

Annubar primario modelo 485 de Rosemount**ESPECIFICACIONES****Funcionamiento****Suposiciones de la declaración de funcionamiento**

El diámetro interno de la tubería ha sido medido

Factor del coeficiente de descarga

±0,75% de la medida del caudal

Repetibilidad

±0,1%

Tamaños de las tuberías

- Sensor de tamaño 1: 50 a 200 mm (2 a 8 in.)
- Sensor de tamaño 2: 150 a 900 mm (6 a 36 in.)
- Sensor de tamaño 3: 300 a 1800 mm (12 a 72 in.)

TABLA 26. Número de Reynolds y ancho de la probeta

Tamaño del sensor	Número de Reynolds mínimo (R_d)	Ancho de la probeta (d) mm (pulgadas)
1	6500	14,99 mm (0.590 in.)
2	12500	26,92 mm (1.060 in.)
3	25000	49,15 mm (1.935 in.)

Donde

$$R_d = \frac{d \times v \times \rho}{\mu}$$

d = Ancho de la probeta (pies)
 v = Velocidad del fluido (pies/seg)
 ρ = Densidad del fluido (lbm/pie³)
 μ = Viscosidad del fluido (lbm/pie-seg)

Dimensionamiento

Contactar a un representante de Emerson Process Management para obtener ayuda. Se requiere una hoja de datos de la configuración antes de hacer el pedido para verificar la aplicación.

Turndown

10:1 ó mejor

Acabado superficial del sensor Annubar

La superficie delantera del Annubar primario se ha texturizado para las aplicaciones con un número de Reynolds alto (generalmente gas y vapor). La superficie texturizada crea una capa límite más turbulenta en la superficie delantera del sensor. Gracias al incremento en la turbulencia, la separación del flujo en el borde del sensor es más predecible y repetible. Se determinará el acabado superficial adecuado para cada aplicación con el programa de dimensionamiento de Emerson Process Management.

Operativas**Aplicaciones**

- Líquido
- Gas
- Vapor

Límites de temperatura del proceso

Electrónica de montaje directo

- 232 °C (450 °F)
- 400 °C (750 °F) cuando se usa con manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura (Plataforma de conexión del sistema electrónico código 6)

Electrónica de montaje remoto

- 677 °C (1250 °F) – El material del sensor es *Hastelloy*
- 454 °C (850 °F) – El material del sensor es acero inoxidable

Límites de presión y temperatura⁽¹⁾

Electrónica de montaje directo

- Hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- No es posible la medición de temperatura integrada con tipo de montaje bridado mayor que clase 600

Electrónica de montaje remoto

- Hasta ANSI n° 2500 (250 bar a 38 °C (3600 psig a 100 °F)).

(1) La selección de presión estática puede afectar los límites de presión.

Puntos a considerar para la instalación

Requisitos para tramos rectos de tubería (1)

	Dimensiones corriente arriba					Dimensiones corriente abajo	
	Sin aletas ⁽²⁾		Con aletas ⁽³⁾				
	En el plano A	Fuera del plano A	A'	C	C'		
1		8	10	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
2		11	16	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
3		23	28	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
4		12	12	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
5		18	18	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4
6		30	30	-	-	-	4
		-	-	8	4	4	4

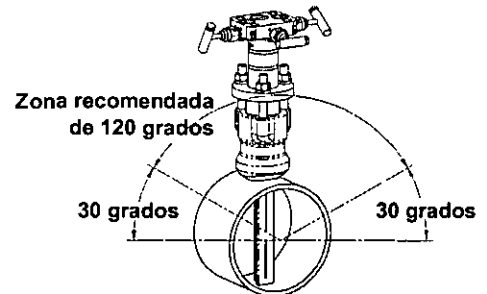
(1) Consultar al fabricante para obtener instrucciones relativas al uso en conductos cuadrados o rectangulares

(2) "En el plano A" significa que la barra se encuentra en el mismo plano que el tubo acodado "Fuera del plano A" significa que la barra se encuentra perpendicular al plano del tubo acodado.

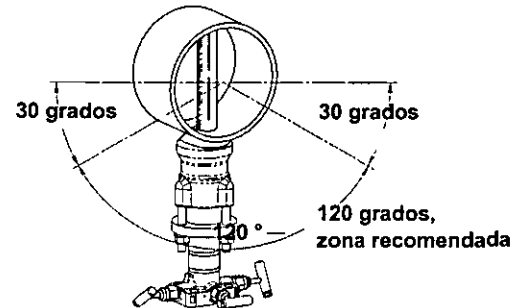
(3) Para reducir la longitud de los tramos rectos requerida se deben usar aletas enderezadoras.

Orientación del caudalímetro

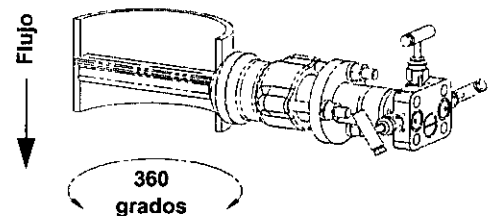
Gases (horizontal)



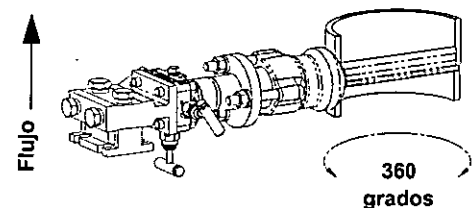
Líquidos y vapor (horizontal)



Gases (vertical)



Vapor (vertical)



Perforar un agujero del diámetro adecuado al tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Diámetro
1	20 mm (3/4 in.)
2	35 mm (1 5/16 in.)
3	65 mm (2 1/2 in.)

Serie de caudalímetros Annubar

Detalles físicos

Medición de la temperatura

Termoresistencia integral

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios
- Termoresistencia de 4 cables ($\alpha = 0,00385$)

Termoresistencia remota

- Termoresistencia de platino de 100 ohmios, cargada por resorte; con conexión y boquilla NPT de 1/2 pulg.
- El material de la termoresistencia remota es el mismo que el de la tubería especificada.

Termopozo

- NPT de 1/2 pulg. x 1/2 pulg. de acero inoxidable 316, con casquillo de soldadura de 1/2 pulg. de acero al carbono

Conexiones electrónicas

Conducto con NTP 14 de 1/2, G¹/₂ y M20 x 1,5 (CM20). Conexiones de interfaz HART unidas al bloque de terminales para el código de salida A

Material del sensor Annubar

- Acero inoxidable 316
- Hastelloy 276

Tipo Annubar

Consultar "Planos dimensionales" en la página 44.

Modelo Pak-Lok (opción P)

- Se suministra con un mecanismo de sellado de compresión cuya clasificación ANSI es de hasta n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))
- Empaquetadura de grafito (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))

Bridado con modelo de soporte al lado opuesto (opción F)

- Se suministra con soporte al lado opuesto, que es del mismo material que la tubería y requiere una segunda penetración en la tubería
- La brida del sensor es del mismo material que el sensor Annubar; la brida de montaje es del mismo material que la tubería.
- Tornillería de montaje de las bridas: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- Acero inoxidable: (-184 a 454 °C (-300 a 850 °F))
- Hastelloy. (-184 a 677 °C (-300 a 1250 °F))

Modelo Flange-Lok (opción L)

- El conjunto Flange-Lok se suministra en acero inoxidable 316.
- Tornillería de montaje del modelo Flange-Lok: tuercas, pernos y empaquetaduras metálicas (construidos del mismo material que la tubería)
- De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)

Modelos Flo-Tap (opciones G y M)

- El soporte de lado opuesto no está disponible
- La conexión roscada no está disponible con el sensor tamaño 3
- El accionamiento de engrane no está disponible con el sensor tamaño 1
- Se requiere prensaestopas de empaquetadura
- Límites de temperatura del material del prensaestopas de empaquetadura
 - Teflon® (PTFE): De -40 a 204 °C (de -40 a 400 °F)
 - Grafito: De -184 a 454 °C (de -300 a 850 °F)
- Se incluye válvula de aislamiento
 - La válvula aislamiento tiene la misma clasificación de presión que la brida del sensor y la brida de montaje especificadas en el tipo de montaje
 - Las válvulas de bola tienen una limitación n° 300
 - Para modelos Flo-tap roscados, el tamaño NPT de la válvula de aislamiento es de 1 1/4 pulgadas (sensor tamaño 1) y 2 pulgadas (sensor tamaño 2).

Tamaño de la brida según el tamaño del sensor

Tamaño del sensor	Dimensiones de la brida			Dimensiones ODF
	ANSI	DIN		
1	1 1/2 in. 150#	DN40 PN16		78,5 mm (3.09 in.)
1	1 1/2 in. 300#	DN40 PN40		81,5 mm (3.21 in.)
1	1 1/2 in. 600#	DN40 PN100		98,6 mm (3.88 in.)
1	1 1/2 in. 900#	No corresponde		125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 1500#	No corresponde		125,5 mm (4.94 in.)
1	1 1/2 in. 2500#	No corresponde		171,7 mm (6.76 in.)
2	2,0 in. 150#	DN50 PN16		86,4 mm (3.40 in.)
2	2,0 in. 300#	DN50 PN40		89,2 mm (3.51 in.)
2	2,0 in. 600#	DN50 PN100		109,2 mm (4.30 in.)
2	2,0 in. 900#	No corresponde		149,4 mm (5.88 in.)
2	2,0 in. 1500#	No corresponde		149,4 mm (5.88 in.)
2	3,0 in. 2500#	No corresponde		250,7 mm (9.87 in.)
3	3,0 in. 150#	DN80 PN16		97,5 mm (3.84 in.)
3	3,0 in. 300#	DN80 PN40		105,7 mm (4.16 in.)
3	3,0 in. 600#	DN80 PN100		125,7 mm (4.95 in.)
3	4,0 in. 900#	No corresponde		208,0 mm (8.19 in.)
3	4,0 in. 1500#	No corresponde		217,4 mm (8.56 in.)
3	4,0 in. 2500#	No corresponde		284,2 mm (11.19 in.)

Tabla de especificaciones del tipo Annubar

Código de opción	Descripción	Pak-Lok ⁽¹⁾	Flange-Lok	Brida	Accionamiento Flo-Tap manual y por engranaje
T1 ⁽¹⁾	Cuerpo del Pak-Lok Conexión roscada	X			X
A1	RF ANSI n° 150		X	X	X
A3	RF ANSI n° 300		X	X	X
A6	RF ANSI n° 600		X	X	X
A9 ⁽²⁾	RF ANSI n° 900			X	
AF ⁽²⁾	RF ANSI n° 1500			X	
AT ⁽²⁾	RF ANSI n° 2500			X	
D1	DN-PN 16		X	X	X
D3	DN PN 40		X	X	X
D6	DN-PN 100		X	X	X
R9 ⁽²⁾	Brida RTJ n° 900			X	
RF ⁽²⁾	Brida RTJ n° 1500			X	
RT ⁽²⁾	Brida RTJ n° 2500			X	

(1) Disponible hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))

(2) Montaje remoto solamente.



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Rangos de temperatura para las conexiones del instrumento

TABLA 27. Rango de temperatura mínima / máxima

Código	Descripción	Temperatura
G1	Válvulas de aguja, acero al carbono	-29 a 260 °C (-20 a 500 °F)
G2	Válvulas de aguja, acero inoxidable	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G3	Válvulas de aguja, <i>Hastelloy</i>	-40 a 316 °C (-40 a 600 °F)
G5	Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono	-29 a 413 °C (-20 a 775 °F)
G6	Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable	-40 a 454 °C (-40 a 850 °F)
G7	Válvula de compuerta OS&Y, <i>Hastelloy</i>	-40 a 677 °C (-40 a 1250 °F)

Caudalímetro instalado en sección de tubería bridada del conjunto rotor (códigos de opción H3, H4 y H5)

- Todas las secciones de tubería bridada del conjunto rotor son secciones de tubería bridada
- La sección de tubería bridada del conjunto rotor está construida del mismo material que la tubería
- Consultar a la fábrica con respecto a las mediciones remotas de temperatura y a las clasificaciones ANSI por arriba del n° 600 y bridas DIN.

TABLA 28. Espesor para la sección de tubería bridada del conjunto rotor

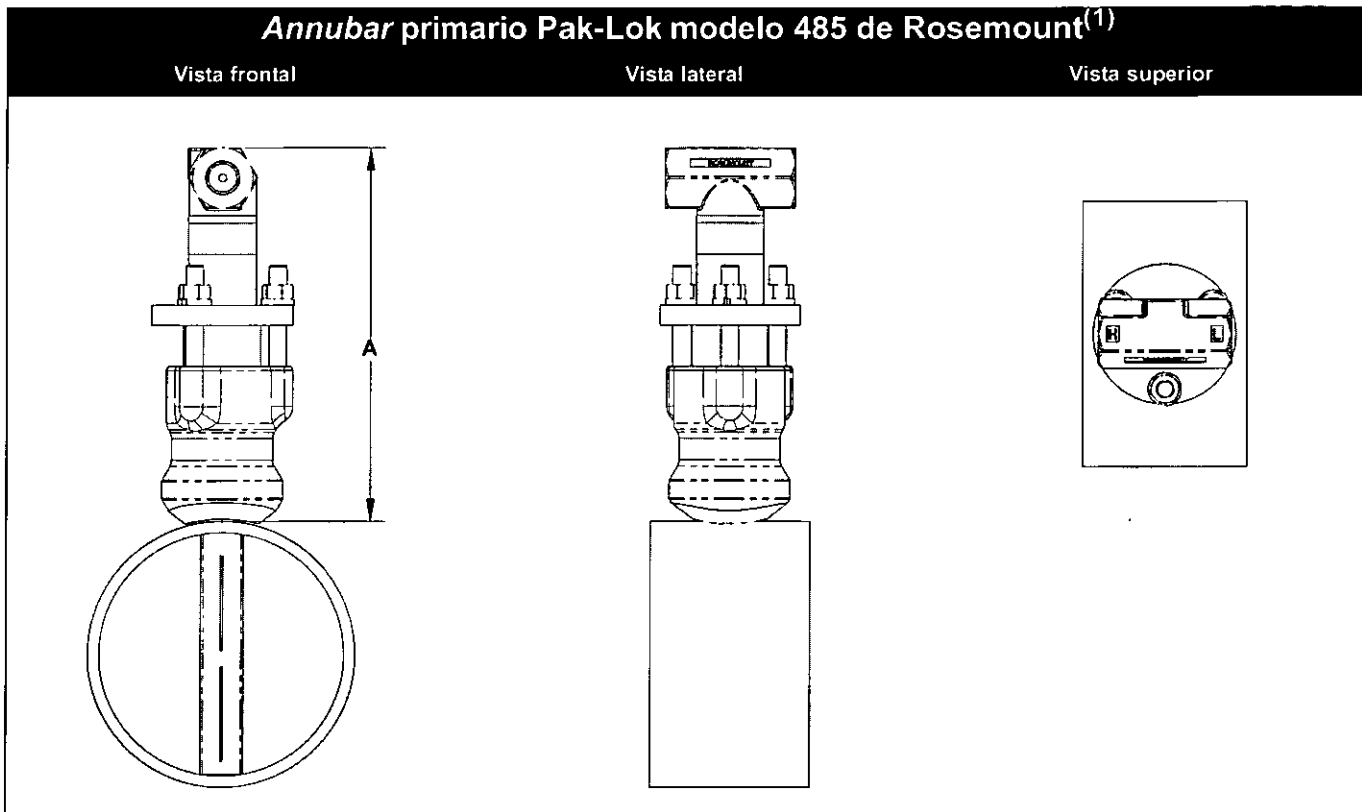
ANSI	Espesor
ANSI n° 150	40
ANSI n° 300	40
ANSI n° 600	80

TABLA 29. Longitud de la sección de tubería bridada del conjunto rotor

Tamaño nominal de la tubería	Longitud
50 mm (2 in.)	267,2 mm (10.52 in.)
80 mm (3 in.)	288,8 mm (11.37 in.)
100 mm (4 in.)	323,6 mm (12.74 in.)
150 mm (6 in.)	364,0 mm (14.33 in.)
200 mm (8 in.)	421,1 mm (16.58 in.)

Serie de caudalímetros Annubar

PLANOS DIMENSIONALES



(1) El modelo Pak-Lok de Annubar está disponible hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F))

TABLA 30. Datos dimensionales del Annubar primario Pak-Lok modelo 485 de Rosemount

Tamaño del sensor	A (máx.)
1	217,1 (8.50)
2	279,4 (11.00)
3	317,5 (12.50)

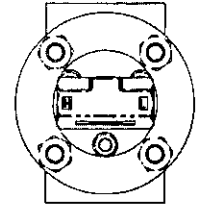
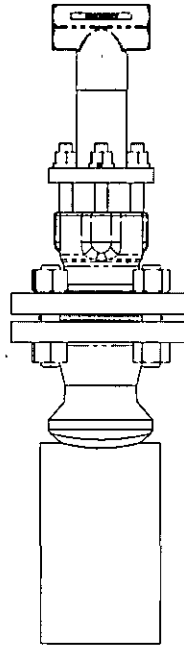
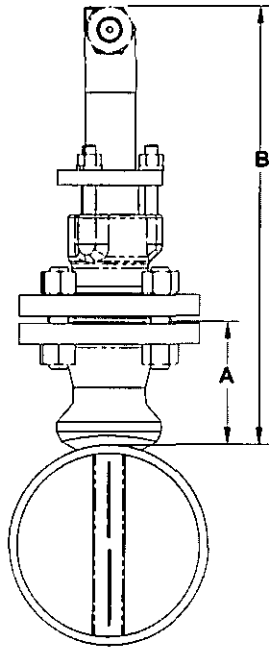
Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Annubar primario Flange-Lok modelo 485 de Rosemount⁽¹⁾

Vista frontal

Vista lateral

Vista superior



(1) El modelo Flange-Lok de Annubar puede montarse directamente hasta ANSI n° 600 (99 bar a 38 °C (1440 psig a 100 °F)).

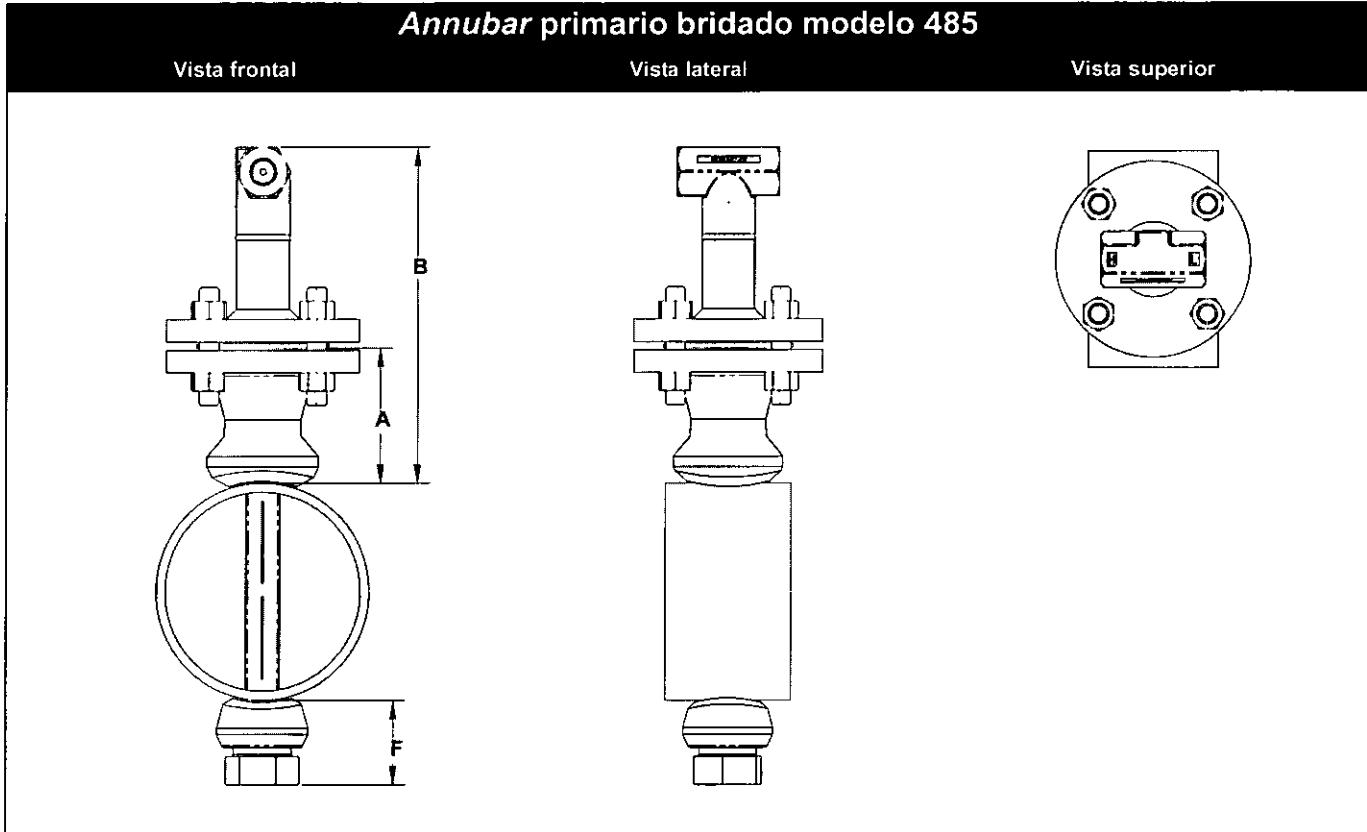
TABLA 31. Datos dimensionales del Annubar primario Flange-Lok modelo 485

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)
1	1 1/2 - 150#	98,6 (3.88)	311,2 (12.25)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	311,2 (12.25)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	311,2 (12.25)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	362,0 (14.25)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	362,0 (14.25)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	362,0 (14.25)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	444,5 (17.50)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	444,5 (17.50)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	444,5 (17.50)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Serie de caudalímetros Annubar

Annubar primario bridado modelo 485


TABLA 32. Datos dimensionales del caudalímetro bridado Mass ProBar

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	F (máx.)
1	1 1/2 - 150#	98,6 (3.88)	266,7 (10.5)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 300#	104,9 (4.13)	266,7 (10.5)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 600#	112,8 (4.44)	266,7 (10.5)	88,9 (3.50)
1	1 1/2 - 900#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	101,6 (4.00)
1	1 1/2 - 1500#	125,5 (4.94)	236,6 (9.32)	101,6 (4.00)
1	1 1/2 - 2500#	171,7 (6.76)	295,5 (11.64)	101,6 (4.00)
2	2 - 150#	104,9 (4.13)	279,4 (11.00)	127,0 (5.00)
2	2 - 300#	111,3 (4.38)	279,4 (11.00)	127,0 (5.00)
2	2 - 600#	120,9 (4.76)	279,4 (11.00)	127,0 (5.00)
2	2 - 900#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	114,3 (4.50)
2	2 - 1500#	149,4 (5.88)	266,8 (10.51)	114,3 (4.50)
2	3 - 2500#	250,7 (9.87)	396,7 (15.62)	114,3 (4.50)
3	3 - 150#	117,6 (4.63)	342,9 (13.50)	101,6 (4.00)
3	3 - 300#	127,0 (5.00)	342,9 (13.50)	101,6 (4.00)
3	3 - 600#	136,7 (5.38)	342,9 (13.50)	101,6 (4.00)
3	4 - 900#	208,0 (8.19)	331,9 (13.07)	177,8 (7.00)
3	4 - 1500#	217,4 (8.56)	350,8 (13.81)	177,8 (7.00)
3	4 - 2500#	284,2 (11.19)	439,8 (17.32)	177,8 (7.00)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

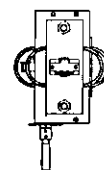
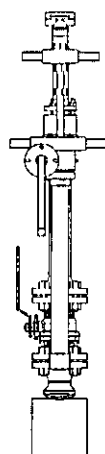
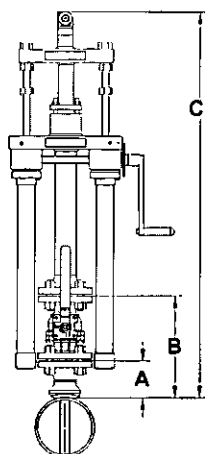
Annubar primario bridado Flo-Tap modelo 485

Vista frontal

Vista lateral

Vista superior

Accionamiento de engrane



Vista frontal

Vista lateral

Vista superior

Manual

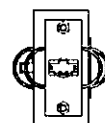
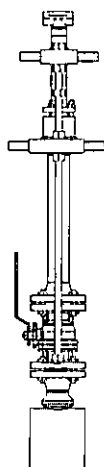
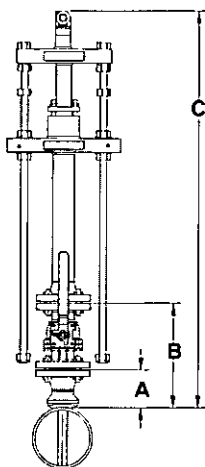


TABLA 33. Datos dimensionales del Annubar primario bridado Flo-Tap modelo 485

Tamaño del sensor	Tamaño y clasificación de las bridas	A ± 3,2 (0.125)	B ± 6,4 (0.25)	C (Máx) – usar las siguientes fórmulas para calcular el valor de C
1	1½ – 150#	98,5 (3.88)	266,7 (10.50)	Accionamiento manual (C ¹): 508 (20) Accionamiento por engranaje (C ¹): 648 (25.5)
1	1½ – 300#	104,9 (4.13)	298,5 (11.75)	
1	1½ – 600#	112,8 (4.44)	357,2 (14.06)	
2	2 – 150#	104,9 (4.13)	285,8 (11.25)	Accionamiento manual (C ¹): 584 (23.0) Accionamiento por engranaje (C ¹): 699 (27.5)
2	2 – 300#	111,3 (4.38)	330,2 (13.00)	
2	2 – 600#	120,9 (4.76)	416,0 (16.38)	
3	1½ – 150#	117,6 (4.63)	323,9 (12.75)	Accionamiento manual (C ¹): 648 (25.5) Accionamiento por engranaje (C ¹): 749 (29.5)
3	1½ – 300#	127,0 (5.00)	412,8 (16.25)	
3	1½ – 600#	136,7 (5.38)	495,4 (19.50)	

Usar la fórmula apropiada para calcular el valor de C:

Fórmula introducida: diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + valor de B + C¹ (usar el valor de C¹ correspondiente a accionamiento manual o por engranaje)

Fórmula retirada [2 x (diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + valor de B)] + C¹ (usar el valor de C¹ correspondiente a accionamiento manual o accionamiento por engranaje)

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Serie de caudalímetros Annubar

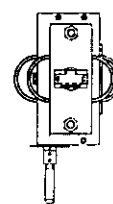
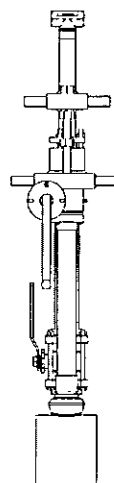
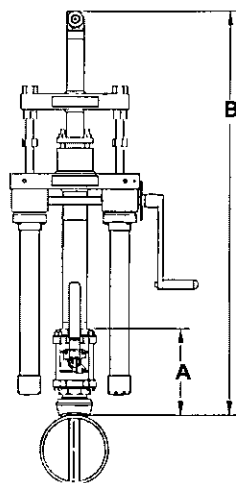
Annubar primario roscado Flo-Tap modelo 485

Vista frontal

Vista lateral

Vista superior

Accionamiento de engrane



Vista frontal

Vista lateral

Vista superior

Manual

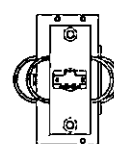
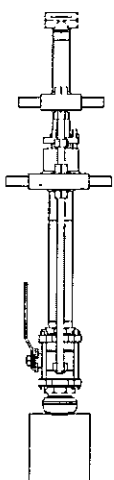
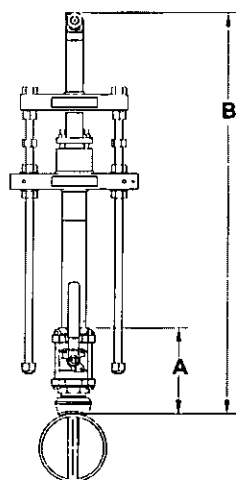


TABLA 34. Datos dimensionales del Annubar primario roscado Flo-Tap modelo 485

Tamaño del sensor	A ± 6,4 (0,25)	B (Máx) – usar las siguientes fórmulas para calcular el valor de B	
1	178 (7.00)	432 (17.00)	-
2	219 (8.61)	Accionamiento manual (B ¹): 518 (20.4)	Accionamiento por engranaje (B ¹): 599 (23.6)

El sensor tamaño 3 no está disponible para el Flo-Tap roscado.

Las dimensiones están en milímetros (pulgadas)

Insertado, dimensión B = Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A + B¹

Retraído, dimensión B = 2 x (Diámetro interno de la tubería + espesor de la pared + A) + B¹



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

INFORMACIÓN PARA HACER PEDIDOS

Información para hacer un pedido del Annubar primario modelo 485 de Rosemount

Modelo	Tipo primario para flujo con DP	
485	Elemento del Annubar primario	
Código	Tipo de fluido	
L	Líquido	
G	Gas	
S	Vapor	
Código	Tamaño de la tubería	Código
020	50 mm (2 in.)	140
025	63,5 mm (2 1/2 in.)	160
030	80 mm (3 in.)	180
035	89 mm (3 1/2 in.)	200
040	100 mm (4 in.)	240
050	125 mm (5 in.)	300
060	150 mm (6 in.)	360
070	175 mm (7 in.)	420
080	200 mm (8 in.)	480
100	250 mm (10 in.)	600
120	300 mm (12 in.)	720
Código	Rango del diámetro interno de la tubería (consultar el "Código de Rango del diámetro interno de la tubería - medido en milímetros (pulgadas)" en la página 52)	
A	Rango A de la tabla del diámetro interno de la tubería	
B	Rango B de la tabla del diámetro interno de la tubería	
C	Rango C de la tabla del diámetro interno de la tubería	
D	Rango D de la tabla del diámetro interno de la tubería	
E	Rango E de la tabla del diámetro interno de la tubería	
Z	El diámetro interno de la tubería no es estándar. El rango o los tamaños de las tuberías son mayores de 305 mm (12 in.)	
Código	Material de la tubería / material del conjunto	
C	Acero al carbono	
S	Acero inoxidable 316	
G	Cromo-molibdeno grado F-11	
N	Cromo-molibdeno grado F-22	
J	Cromo-molibdeno grado F-91	
0 ⁽¹⁾	No se incluye en el montaje (el cliente la proporciona)	
Código	Orientación de la tubería	
H	Tubería horizontal	
D	Tubería vertical con flujo descendente	
U	Tubería vertical con flujo ascendente	
Código	Tipo Annubar	
P	Pak-Lok	
F	Bridado con soporte del lado opuesto	
L	Flange-Lok	
G	Flo-Tap accionado por engranaje	
M	Flo-Tap de accionamiento manual	
Código	Material del sensor	
S	Acero inoxidable 316	
H	Hastelloy C-276	
Código	Tamaño del sensor	
1	Sensor tamaño 1 - Los tamaños de las tuberías son de 50 mm (2 in.) a 200 mm (8 in.)	
2	Sensor tamaño 2 - Los tamaños de las tuberías son de 150 mm (6 in.) a 900 mm (36 in.)	
3	Sensor tamaño 3 - Los tamaños de las tuberías son mayores de 300 mm (12 in.)	

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del Annubar primario modelo 485 de Rosemount

Código	Tipo de montaje
T1	Conexión de compresión/roscada
A1	RF ANSI nº 150
A3	RF ANSI nº 300
A6	RF ANSI nº 600
A9	RF ANSI nº 900
AF	RF ANSI nº 1500
AT	RF ANSI nº 2500
D1	Brida DN PN16
D3	Brida DN PN40
D6	Brida DN PN100
R9	Brida RTJ nº 900
RF	Brida RTJ nº 1500
RT	Brida RTJ nº 2500

Código	Soporte del lado opuesto y prensaestopas de empaquetadura	Material de la varilla	Material de la empaquetadura
0	Sin soporte del lado opuesto ni prensaestopas de empaquetadura (requerida para los modelos Pak-Lok y Flange-Lok)		
Soporte del lado opuesto – Requerido para los modelos bridados			
C	Conjunto de soporte opuesto roscado NPT – punta prolongada		
D	Conjunto de soporte opuesto soldado – punta prolongada		
Prensaestopas de empaquetadura – Requerido para los modelos Flo-Tap			
	<i>Material del prensaestopas de empaquetadura</i>	<i>Material de la varilla</i>	<i>Material de la empaquetadura</i>
J	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Teflon
K	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Teflon
L	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero al carbono	Grafito
N	Prensaestopas/boquilla de jaula de acero inoxidable	Acero inoxidable	Grafito
R	Prensaestopas de empaquetadura de <i>Hastelloy</i> /Boquilla de caja	Acero inoxidable	Grafito

Código	Válvula de aislamiento para los modelos Flo-Tap
1	Válvula de la compuerta, acero al carbono
2	Válvula de compuerta, acero inoxidable
5	Válvula de bola, acero al carbono
6	Válvula de bola, acero inoxidable
0 ⁽¹⁾	No corresponde o el cliente lo proporciona

Código	Medición de la temperatura
T	Termoresistencia integral – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
R	Termopozo y termoresistencia remotos
0	Sin sensor de temperatura

Código	Plataforma de conexión de los componentes electrónicos
3	Manifold integral de 3 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
5	Manifold de 5 válvulas de montaje directo – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
6	Manifold de 5 válvulas de montaje directo para alta temperatura – no disponible con modelo bridado mayor de clase 600
7	Conexiones NPT de montaje remoto
8	Conexiones SW de montaje remoto

Código	Opciones
Prueba hidrostática	
P1	Prueba hidrostática
PX	Prueba hidrostática prolongada
Limpieza especial	
P2	Limpieza para procesos especiales
PA	Limpieza según ASTM G93 nivel D (sección 11.4)
Examen mediante líquidos penetrantes	
V1	Examen mediante líquidos penetrantes
Examen radiográfico	
V2	Examen radiográfico



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Información para hacer un pedido del Annubar primario modelo 485 de Rosemount

Calibración del caudal

W1 Calibración del caudal (K medio)

WZ Calibración especial

Inspección Especial

QC1 Inspección certificada visual y dimensional

QC7 Certificado de inspección y funcionamiento

Acabado superficial

RL Acabado superficial para flujo de gases y vapor con número de Reynolds bajo

RH Acabado superficial para flujo de líquidos con número de Reynolds alto

Certificado de rastreo del material

Q8 Certificado de materiales según ISO 10474 3.1.B y EN 10204 3 1.B

Cumplimiento del código

J1 Registro canadiense

J2 ANSI B31,1

J3 ANSI B31,3

J4 ANSI B31,8

J5(2) NACE MR-0175 / ISO 15156

J6 Directiva europea para equipos a presión (PED)

Instalada en la sección de tubería bridada del conjunto rotor

H3 Conexión bridada nº 150 con espesor y longitud estándar de Rosemount

H4 Conexión bridada nº 300 con espesor y longitud estándar de Rosemount

H5 Conexión bridada nº 600 con espesor y longitud estándar de Rosemount

Conexiones de instrumentos para la opción de montaje remoto

G1 Válvulas de aguja, acero al carbono

G2 Válvulas de aguja, acero inoxidable

G3 Válvulas de aguja, Hastelloy

G5 Válvula de la compuerta OS&Y, acero al carbono

G6 Válvula de la compuerta OS&Y, acero inoxidable

G7 Válvula de compuerta OS&Y, Hastelloy

Envío especial

Y1 La tornillería de montaje se envía por separado

Acoplar a

H1 Acoplar al Transmisor

Dimensiones especiales

VM Montaje variable

VT Punta variable

VS Sección del conjunto rotor de longitud variable

V9 Dimensión especial

Número de modelo típico: 485 L 060 D C H P S 2 T1 0 0 0 3

(1) Proporcionar la dimensión "A" para modelos bridados, Flange-Lok y Flo-Tap roscado. Proporcionar la dimensión "B" para modelos Flo-Tap bridados.

(2) Los materiales de construcción cumplen con las recomendaciones según NACE MR0175/ISO 15156 para entornos de producción de petróleo ácido. Existen límites medioambientales aplicables a ciertos materiales. Para más información, consultar el estándar más reciente. Los materiales seleccionados también cumplen con NACE MR0103 para entornos de refinación con alto contenido de azufre.

Serie de caudalímetros Annubar

Código de Rango del diámetro interno de la tubería – medido en milímetros (pulgadas)

Consultar la "Información para hacer un pedido del Annubar primario modelo 485 de Rosemount" en la página 49.

Para las tuberías cuyo rango de diámetro interno (D.I.) o espesor de su pared no aparezca en esta tabla o para aquellas tuberías cuyo tamaño sea mayor de 300 mm (12 pulgadas), se debe elegir el código de opción Z y especificar las dimensiones exactas de la tubería (el diámetro interno y el espesor de la pared) en la "Hoja de datos de la configuración (CDS, por sus siglas en inglés)" en la página 53. El programa de dimensionamiento de Emerson process Management determinará este código, de acuerdo a la tubería de la aplicación.

Tamaño de la tubería			Código de opción	Rango del diámetro interno (D.I.)	Espesor de la pared de la tubería		Código del rango del D.I.
Nominal	D.E. máximo				Tuberías ANSI	Tuberías que no son ANSI	
50 mm (2 in.)	66,68 mm (2.625 in.)	020		45,31 a 46,76 mm (1.784 a 1.841 in.)	1,7 a 13,8 mm (0.065 a 0.545 in.)	1,7 a 12,4 mm (0.065 a 0.488 in.)	A
				46,79 a 49,23 mm (1.842 a 1.938 in.)		1,7 a 11,4 mm (0.065 a 0.449 in.)	B
				49,25 a 52,50 mm (1.939 a 2.067 in.)		1,7 a 10,6 mm (0.065 a 0.417 in.)	C
				52,53 a 56,03 mm (2.068 a 2.206 in.)		1,7 a 10,3 mm (0.065 a 0.407 in.)	D
63,5 mm (2 1/2 in.)	80,98 mm (3.188 in.)	025		56,06 a 58,98 mm (2.207 a 2.322 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	2,1 a 11,4 mm (0.083 a 0.448 in.)	B
				59,00 a 62,71 mm (2.323 a 2.469 in.)		2,1 a 10,6 mm (0.083 a 0.417 in.)	C
				62,74 a 65,99 mm (2.470 a 2.598 in.)		2,1 a 11,0 mm (0.083 a 0.435 in.)	D
				66,01 a 67,23 mm (2.599 a 2.647 in.)		2,1 a 13,1 mm (0.083 a 0.515 in.)	E
				67,26 a 69,88 mm (2.648 a 2.751 in.)	2,1 a 14,3 mm (0.083 a 0.563 in.)	2,1 a 11,7 mm (0.083 a 0.460 in.)	A
80 mm (3 in.)	95,25 mm (3.75 in.)	030		69,90 a 73,63 mm (2.752 a 2.899 in.)		2,1 a 10,6 mm (0.083 a 0.416 in.)	B
				73,66 a 77,93 mm (2.900 a 3.068 in.)		2,1 a 10,0 mm (0.083 a 0.395 in.)	C
				77,95 a 81,99 mm (3.069 a 3.228 in.)		2,1 a 10,3 mm (0.083 a 0.404 in.)	D
				82,02 a 84,66 mm (3.229 a 3.333 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	3,0 a 12,6 mm (0.120 a 0.496 in.)	B
89 mm (3 1/2 in.)	107,95 mm (4.25 in.)	035		84,68 a 90,12 mm (3.334 a 3.548 in.)		3,0 a 9,8 mm (0.120 a 0.386 in.)	C
				90,14 a 94,84 mm (3.549 a 3.734 in.)		3,0 a 10,5 mm (0.120 a 0.415 in.)	D
				94,87 a 97,16 mm (3.735 a 3.825 in.)	3,0 a 15,2 mm (0.120 a 0.600 in.)	3,0 a 13,0 mm (0.120 a 0.510 in.)	B
100 mm (4 in.)	127,81 mm (5.032 in.)	040		97,18 a 102,26 mm (3.826 a 4.026 in.)		3,0 a 10,2 mm (0.120 a 0.400 in.)	C
				102,29 a 107,62 mm (4.027 a 4.237 in.)		3,0 a 9,9 mm (0.120 a 0.390 in.)	D
				107,65 a 112,70 mm (4.238 a 4.437 in.)		3,0 a 10,2 mm (0.120 a 0.401 in.)	E
				112,73 a 116,10 mm (4.438 a 4.571 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 12,2 mm (0.134 a 0.481 in.)	A
125 mm (5 in.)	154,79 mm (6.094 in.)	050		116,13 a 122,22 mm (4.572 a 4.812 in.)		3,4 a 9,5 mm (0.134 a 0.374 in.)	B
				122,25 a 128,19 mm (4.813 a 5.047 in.)		3,4 a 9,7 mm (0.134 a 0.380 in.)	C
				128,22 a 133,32 mm (5.048 a 5.249 in.)		3,4 a 10,5 mm (0.134 a 0.413 in.)	D
				133,35 a 138,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 9,9 mm (0.134 a 0.391 in.)	A
Sensor de tamaño 1	150 mm (6 in.)	060		139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		3,4 a 8,3 mm (0.134 a 0.327 in.)	B
				146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		3,4 a 7,9 mm (0.134 a 0.31 in.)	C
				154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		3,4 a 7,5 mm (0.134 a 0.297 in.)	D
				133,35 a 139,99 mm (5.250 a 5.472 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	3,4 a 28,7 mm (0.134 a 1.132 in.)	A
Sensor de tamaño 2	150 mm (6 in.)	060		139,01 a 146,30 mm (5.473 a 5.760 in.)		3,4 a 27,1 mm (0.134 a 1.067 in.)	B
				146,33 a 154,05 mm (5.761 a 6.065 in.)		3,4 a 26,7 mm (0.134 a 1.05 in.)	C
				154,08 a 162,13 mm (6.066 a 6.383 in.)		3,4 a 26,3 mm (0.134 a 1.037 in.)	D
				162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 15,6 mm (0.134 a 0.614 in.)	3,4 a 9,5 mm (0.134 a 0.374 in.)	B
Sensor de tamaño 1	180 mm (7 in.)	070		168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		3,4 a 5,5 mm (0.134 a 0.216 in.)	C
				178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		3,4 a 6,2 mm (0.134 a 0.246 in.)	D
				162,15 a 168,25 mm (6.384 a 6.624 in.)	3,4 a 34,4 mm (0.134 a 1.354 in.)	3,4 a 28,3 mm (0.134 a 1.114 in.)	B
Sensor de tamaño 2	180 mm (7 in.)	070		168,28 a 178,38 mm (6.625 a 7.023 in.)		3,4 a 24,3 mm (0.134 a 0.956 in.)	C
				178,41 a 187,76 mm (7.024 a 7.392 in.)		3,4 a 25,0 mm (0.134 a 0.986 in.)	D
				187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)	6,4 a 18,5 mm (0.250 a 0.73 in.)	6,4 a 12,6 mm (0.250 a 0.499 in.)	B
Sensor de tamaño 1	200 mm (8 in.)	080		193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)		6,4 a 9,5 mm (0.250 a 0.374 in.)	C
				202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		6,4 a 7,9 mm (0.250 a 0.312 in.)	D
				213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		6,4 a 9,2 mm (0.250 a 0.364 in.)	E
				187,78 a 193,65 mm (7.393 a 7.624 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 31,4 mm (0.250 a 1.239 in.)	B
Sensor de tamaño 2	200 mm (8 in.)	080		193,68 a 202,72 mm (7.625 a 7.981 in.)		6,4 a 28,3 mm (0.250 a 1.114 in.)	C
				202,74 a 213,36 mm (7.982 a 8.400 in.)		6,4 a 26,7 mm (0.250 a 1.052 in.)	D
				213,39 a 222,66 mm (8.401 a 8.766 in.)		6,4 a 28,0 mm (0.250 a 1.104 in.)	E
				222,68 a 232,97 mm (8.767 a 9.172 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 27,1 mm (0.250 a 1.065 in.)	A
250 mm (10 in.)	298,45 mm (11.75 in.)	100		232,99 a 242,85 mm (9.173 a 9.561 in.)		6,4 a 27,5 mm (0.250 a 1.082 in.)	B
				242,87 a 254,51 mm (9.562 a 10.020 in.)		6,4 a 25,7 mm (0.250 a 1.012 in.)	C
				254,53 a 267,87 mm (10.021 a 10.546 in.)		6,4 a 24,0 mm (0.250 a 0.945 in.)	D
				267,89 a 279,37 mm (10.547 a 10.999 in.)		6,4 a 25,9 mm (0.250 a 1.018 in.)	E
				279,40 a 288,87 mm (11.000 a 11.373 in.)	6,4 a 37,3 mm (0.250 a 1.47 in.)	6,4 a 27,9 mm (0.250 a 1.097 in.)	B
				288,90 a 303,23 mm (11.374 a 11.938 in.)		6,4 a 23,0 mm (0.250 a 0.906 in.)	C
300 mm (12 in.)	331,15 mm (13.0375 in.)	120		303,25 a 311,15 mm (11.939 a 12.250 in.)		6,4 a 29,4 mm (0.250 a 1.159 in.)	D



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA
Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Hoja de datos de la configuración (CDS, por sus siglas en inglés)

CDS PARA FLUJOS CON DP

El objetivo de completar este formulario es definir una configuración especial de flujo para los caudalímetros de presión diferencial. A menos que se especifique de otra manera, el caudalímetro será enviado con los valores por defecto identificados por el símbolo ★.

Llamar a un representante de Rosemount si se requiere ayuda para llenar esta HDC.

NOTA

Cualquier información faltante será procesada haciendo uso de los valores por defecto indicados.

* = Información requerida

★ = Por defecto

Información sobre el cliente

Cliente	Persona con quién comunicarse:
Teléfono del cliente:	Fax del cliente:
Firma de aprobación del cliente:	Orden de compra del cliente.

Aprobación para calcular una estimación

Marcar esta casilla si se requiere el cálculo de una estimación a ser aprobada antes de la fabricación.

Hoja de datos de la configuración y de la aplicación (requerida con el pedido)

Etiqueta:

N° del modelo ⁽¹⁾

* **Seleccionar el tipo de fluido** Líquido Gas Vapor Líquido

* **Nombre del fluido**⁽²⁾

Información del caudalímetro (opcional)

*Dirección de la alarma de fallo (seleccionar una) Alarma de alta★ Alarma de baja

Etiqueta de software: _____ (8 caracteres)

Descriptor: _____ (16 caracteres)

Mensaje: _____
_____ (32 caracteres)

Fecha: Día ____ (numérico) Mes ____ (numérico) Año ____ (numérico)

(1) El número completo del modelo es necesario para que Rosemount Inc. pueda procesar el pedido.

(2) Si el fluido no aparece en la Tabla 35 en la página 55, se debe llenar la "Hoja de datos del fluido (FDS, por sus siglas en inglés)" en la página 56

Para uso exclusivo de Rosemount

S.O.:	LI
CHAMP:	FECHA:
	ADMIN:



Serie de caudalímetros Annubar

* = Información requerida

★ = Por defecto

Información del elemento primario

*Seleccionar el elemento que produce la presión diferencial (seleccionar sólo uno)

Annubar

- 485 Annubar/ 3095MFA Mass ProBar, 3051SFA ProBar
- Annubar Diamond II + / Mass Probar
- Tomas de pared de radio largo, ASME
- Tomas de pared de radio largo, ISO
- ISA 1932, ISO

Venturi

- Boquilla, ISO
- Orificio de entrada fundido de acabado basto o refinado, ASME
- Orificio de entrada fundido redondo, ASME
- Orificio de entrada mecanizado, ASME
- Orificio de entrada mecanizado, ISO
- Orificio de entrada soldado, ISO

Otros (todas las opciones requieren un valor del coeficiente de descarga)

- Orificio calibrado: Tomas bridadas, en ángulo o D y D/2.

Coeficiente de descarga: _____

- Orificio calibrado: Tomas 2¹/₂ D y 8D

Coeficiente de descarga: _____

- Boquilla calibrada

Coeficiente de descarga: _____

- Venturi calibrado

Coeficiente de descarga: _____

- Medidor promediador de área

Coeficiente de descarga: _____

- V-Cone®

Coeficiente de descarga: _____

Diámetro (d) _____

Orificio

- 3051SFP, 3095MFP, 1195
- 405C, 405P, 3051SFC, 3095MFC
- Placa de orificio acondicionadora 1595
- Tomas 2¹/₂ D y 8D, ASME
- Tomas de esquina, ASME
- Tomas de esquina, ISO
- Tomas D y D/2, ASME
- Tomas D y D/2, ISO
- Tomas D y D/2; ISO 99, enmienda n° 1
- Tomas bridadas, AGA
- Tomas bridadas, ASME
- Tomas bridadas, ISO
- Tomas bndadas; ISO 99, enmienda n° 1
- Tomas bridadas de diámetro pequeño, ASME

pulgadas★ a _____

milímetros

°F °C

68 °F★

ODF _____

ODT _____

Dimensión especial Annubar

(se requiere si el cliente proporciona la tornillería de montaje).

Información de la tubería

* Orientación / dirección del flujo. Vertical ascendente Vertical descendente Horizontal

* Tamaño de tubería/ espesor. _____ Diámetro interno del cuerpo (D): _____

Materiales de construcción

* Material de la tubería Acero al carbono 304 SST 316 SST Hastelloy Otro _____

* Material del elemento primario 316 SST Hastelloy Otro _____

(Favor de verificar la disponibilidad del material)

Condiciones operativas

	A un valor de 4 mA	Mínimo	Normal	Máximo	Al límite de la medida del caudal: 20 mA (diseño conforme P y T)	Por diseño
Flujo nominal	0	*(1)	*	*		
Presión (P)	-	*(1)	*	*(1)	*(2)	
Temperatura (T)	-	*(1)	*	*(1)	*	

Modo de la termoresistencia

Modo normal ★ (Se requiere que una termoresistencia esté conectada. Si la termoresistencia se desconecta o falla, la salida del 3095MV se coloca en el valor de alarma)

Modo de temperatura fija: Especificar el valor de temperatura fija _____ °F °C

Modo de respaldo (la temperatura se mide a través de la termoresistencia conectada. Si la termoresistencia se desconecta o falla, el transmisor utiliza como respaldo un valor fijo de la temperatura. De esta manera, la salida en mA no se colocará en el valor de alarma, por lo cual no se causan inexactitudes potenciales en las mediciones del flujo). Valor de la temperatura fija que será usada como respaldo _____ °F °C



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA
 Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

* = Información requerida

★ = Por defecto

Puntos de referencia

Referencia estándar (P = 101,325 kPa / 14.696 psia abs, T = 15,56 °C (60 °F))

Referencia normal (P = 101,325 kPa / 14.696 psia abs, T = 0 °C (32 °F))

Referencia estándar para gas natural (AGA) (P = 101,559 kPa / 14.73 psia, T = 15,56 °C (60 °F))

Definidas por el usuario: P = _____ Unidades: _____ T = _____ Unidades = _____

Compresibilidad en el punto de referencia: _____

O

Densidad en el punto de referencia: _____

(1) La configuración del transmisor requiere los rangos operativos de la presión y la temperatura

(2) Se requiere para verificar que el producto seleccionado satisface los criterios de diseño.

TABLA 35. Base de datos para fluidos de Rosemount⁽¹⁾

Ácido acético	Éter de divinilo	Metano	n-hexano	1-heptanol
Acetona	Etano	Metanol	n-octano	1-hepteno
Acetonitrilo	Etanol	Metil acrilato	n-pentano	1-hexeno
Acetileno	Etilamina	Metil etil cetona	Oxígeno	1-hexadecanol
Acrlonitrilo	Etilbenceno	Metil vinil éter	Pentafluoretano	1-octanol
Aire	Etileno	m-cloronitrobenzono	Fenol	1-octeno
Alcohol alílico	Etileno	Neón	Propadieno	1-nonanol
Amoniaco	Glicoletileno	Neopentano	Pireno	1-pentadecanol
Argón	Óxido	Ácido nítrico	Propileno	1-pentanol
Benceno	Fluoreno	Óxido nítrico	Estireno	1-penteno
Benzaldehído	Furano	Nitrobenzono	Dióxido de azufre	1-undecanol
Alcohol bencílico	Helio 4	m-diclorobenzono	Propano	1-nonanal
Bifenil	Hidracina	Nitroetano	Tolueno	1,2,4-triclorobenzono
Dióxido de carbono	Hidrógeno	Nitrógeno	Tricloroetileno	1,1,2-tricloroetano
Monóxido de carbono	Cloruro de hidrógeno	Nitrometano	Acetato de vinilo	1,1,2,2-tetrafluoretano
Tetracloruro de carbono	Cianuro de hidrógeno	Óxido nitroso	Cloruro de vinilo	1,2-butadieno
Cloro	Peróxido de hidrógeno	n-butano	Ciclohexano de vinilo	1,3-butadieno
Clorotrifluoretileno	Sulfuro de hidrógeno	n-butanol	Agua	1,3,5-triclorobenzono
Cloropreno	Isobutano	n-butilaldehído	1-buteno	1,4-dioxano
Cicloheptano	Isobuteno	n-butironitrilo	1-deceno	1,4-hexadieno
Ciclohexano	Isobutilbenceno	n-decano	1-decanal	2-metil-1-penteno
Ciclopentano	Isopentano	n-dodecano	1-decanol	2,2-dimetilbutano
Ciclopenteno	Isopreno	n-heptadecano	1-dodeceno	
Ciclopropano	Isopropanol	n-heptano	1-dodecanol	

(1) Esta lista está sujeta a cambios sin previo aviso. Los valores para el vapor fueron tomados de las tablas de vapor de la ASME. Los valores para todos los otros fluidos son según el AIChE.

Planos/notas



Serie de caudalímetros Annubar

Hoja de datos del fluido (FDS, por sus siglas en inglés)

Para fluidos especiales no incluidos en la base de datos de fluidos de Rosemount

Llamar a un representante de Emerson Process Management si se requiere ayuda técnica para llenar esta hoja de datos. Llenar este formulario para caracterizar un fluido especial. El símbolo ★ identifica el valor por defecto.

NOTA

Este formulario no se requiere si se usa la base de datos de fluidos de Rosemount.

* = Información requerida

★ = Por defecto

Información sobre el cliente

Cliente:	Persona con quién comunicarse.
Teléfono del cliente.	Fax del cliente:
	Orden de compra del cliente:

Propiedades del fluido

- | | |
|---|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Líquido especial – Llenar la tabla | <input type="checkbox"/> Líquido |
| <input type="checkbox"/> Gas especial – Llenar la tabla | <input type="checkbox"/> Gas |
| <input type="checkbox"/> Gas natural especial – Llenar la tabla | <input type="checkbox"/> Gas natural |

Para uso exclusivo de Rosemount

S.O.:	LI
CHAMP:	FECHA:
	ADMIN:



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

TABLA 36. Ficha de trabajo para un líquido especial

* = Información requerida

★ = Por defecto

Información de la viscosidad y la densidad de la masa líquida

1. Anotar las siguientes temperaturas operativas

- a) _____ mín.
- b) _____ [$1/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- c) _____ [$2/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- d) _____ máx.

2. Transcribir los valores anotados en la sección anterior a las líneas numeradas que siguen.

- 3 Marcar una de las casillas de la densidad y después anotar los valores correspondientes a la densidad estándar y a cada una de las temperaturas.
- 4. Marcar una de las casillas de la viscosidad y después anotar los valores para cada una de las temperaturas (se requiere al menos un valor de la viscosidad).

Densidad

- Densidad en lbs/ft³
- Densidad en kg/m³

Viscosidad

- Viscosidad en centipoise
- Viscosidad en lbs/ft-seg
- Viscosidad en pascal seg

Temperatura

- a) _____ mín.
- b) _____ [$1/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- c) _____ [$2/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- d) _____ máx.

Temperatura

- a) _____ mín.
- b) _____ [$1/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- c) _____ [$2/3$ (máx. – mín.)] + mín.
- d) _____ máx.

Densidad de referencia _____
(a las condiciones de referencia especificadas)

Información de la viscosidad y la densidad volumétrica del líquido

*Densidad del caudal: _____ Unidades: lb/ft³ Kg/m³ Otra:
O

Gravedad específica del caudal _____

*Viscosidad del caudal: _____ Unidades: Centipoise Otra:



Serie de caudalímetros Annubar

TABLA 37. Ficha de trabajo para un gas especial

* = Información requerida

★ = Por defecto

Información de la viscosidad y compresibilidad de la masa gaseosa

1. Anotar las siguientes temperaturas y presiones operativas

Presiones operativas

- 1) _____ mín.
- 2) _____ [$^{1/3}$ (máx. - mín.)] + mín.
- 3) _____ [$^{2/3}$ (máx. - mín.)] + mín.
- 4) _____ máx.

Temperaturas operativas

- 5) _____ mín.
- 6) _____ [$^{1/2}$ (máx. - mín.)] + mín.
- 7) _____ máx.
- 8) _____ [$^{1/3}$ (máx. - mín.)] + mín.
- 9) _____ [$^{2/3}$ (máx. - mín.)] + mín.

2. Transcribir los valores anotados en la sección anterior a las líneas numeradas que siguen

3. Marcar una de las casillas de densidad / compresibilidad y después anotar los 12 valores para cada rango de presión y temperatura.

4. Marcar una de las casillas de la viscosidad y después anotar los valores para cada una de las temperaturas (se requiere al menos un valor de la viscosidad).

5. Anotar los valores del peso molecular, el exponente isentrópico y la densidad estándar (o la compresibilidad estándar).

Densidad

Densidad en lbs/ft³

Densidad en kg/m³

Compresibilidad

Presión

Temperatura

- | | |
|----------|----------|
| 1) _____ | 5) _____ |
| 2) _____ | 5) _____ |
| 3) _____ | 5) _____ |
| 4) _____ | 5) _____ |
| 1) _____ | 6) _____ |
| 2) _____ | 6) _____ |
| 3) _____ | 6) _____ |
| 4) _____ | 6) _____ |
| 1) _____ | 7) _____ |
| 2) _____ | 7) _____ |
| 3) _____ | 7) _____ |
| 4) _____ | 7) _____ |

Viscosidad

Viscosidad en centipoise

Viscosidad en lbs/ft-seg

Viscosidad en pascal seg

Temperatura

- 5) _____
- 8) _____
- 9) _____
- 7) _____

Peso molecular: _____

Exponente isentrópico: _____ 1,4 ★

Densidad/compresibilidad estándar _____

Información de la viscosidad y compresibilidad volumétrica del gas

*Densidad del caudal: _____ Unidades: lb/ft³ Kg/m³ Otra:

0

Peso molecular / gravedad específica del caudal: _____

Compresibilidad del caudal: _____

Compresibilidad en el punto de referencia: _____

*Viscosidad del caudal: _____ Unidades: Centipoise Otra. Exponente isentrópico (K): _____ 1,4 ★



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

TABLA 38. Ficha de trabajo del gas natural

NOTA

Los requerimientos mínimos para las opciones volumétricas están resaltados en color gris en la página 59

Información del factor de compresibilidad

Elegir el método de caracterización deseado e introducir solamente los valores correspondientes a ese método.

Método de caracterización detallada (AGA8 1992)

		Porcentaje molar	Rango válido
CH ₄	Porcentaje molar de metano	%	0-100 por ciento
N ₂	Porcentaje molar de nitrógeno	%	0-100 por ciento
CO ₂	Porcentaje molar de dióxido de carbono	%	0-100 por ciento
C ₂ H ₆	Porcentaje molar de etano	%	0 - 100 por ciento
C ₃ H ₈	Porcentaje molar de propano	%	0-12 por ciento
H ₂ O	Porcentaje molar de agua	%	0-punto de rocío
H ₂ S	Porcentaje molar de sulfuro de hidrógeno	%	0-100 por ciento
H ₂	Porcentaje molar de hidrógeno	%	0 - 100 por ciento
CO	Porcentaje molar de monóxido de carbono	%	0-3,0 por ciento
O ₂	Porcentaje molar de oxígeno	%	0-21 por ciento
C ₄ H ₁₀	Porcentaje molar de i-butano	%	0-6 por ciento ⁽¹⁾
C ₄ H ₁₀	Porcentaje molar de n-butano	%	0 - 6 por ciento ⁽¹⁾
C ₅ H ₁₂	Porcentaje molar de i-pentano	%	0-4 por ciento ⁽²⁾
C ₅ H ₁₂	Porcentaje molar de n-pentano	%	0 - 4 por ciento
C ₆ H ₁₄	Porcentaje molar de n-hexano	%	0-punto de rocío
C ₇ H ₁₈	Porcentaje molar de n-heptano	%	0 - punto de rocío
C ₈ H ₁₈	Porcentaje molar de n-octano	%	0-punto de rocío
C ₉ H ₂₀	Porcentaje molar de i-nonano	%	0 - punto de rocío
C ₁₀ H ₂₂	Porcentaje molar de n-decano	%	0-punto de rocío
He	Porcentaje molar de helio	%	0-3,0 por ciento
Ar	Porcentaje molar de argón	%	0-1,0 por ciento

Método de caracterización global, Código de opción 1 (AGA8 Gr-Hv-CO₂)

	Porcentaje molar	Rango válido
Gravedad específica a 14,73 psia y 60 °F		0,554-0,87
Valor de calentamiento bruto volumétrico a las condiciones de referencia	BTU/SCF	477-1150 BTU/SCF
Porcentaje molar de dióxido de carbono	%	0-30 por ciento
Porcentaje molar de hidrógeno	%	0-10 por ciento
Porcentaje molar de monóxido de carbono	%	0-3,0 por ciento

Método de caracterización global, código de opción 2 (AGA8 Gr-CO₂-N₂)

	Porcentaje molar	Rango válido
Gravedad específica a 14,73 psia y 60 °F	%	0,554-0,87
Porcentaje molar de dióxido de carbono	%	0-30 por ciento
Porcentaje molar de nitrógeno	%	0-50 por ciento
Porcentaje molar de hidrógeno	%	0-10 por ciento
Porcentaje molar de monóxido de carbono	%	0-3,0 por ciento

(1) La suma de i-butano y n-butano no puede ser mayor a 6 por ciento.

(2) La suma de i-pentano y n-pentano no puede ser mayor a 4 por ciento.



Hoja de datos del producto

00813-0109-4809, Rev DA

Octubre de 2004

Serie de caudalímetros Annubar

Rosemount, el logotipo de Rosemount, ProBar, Mass ProBar y Annubar son marcas comerciales registradas de Rosemount Inc. MultiVariable (MV), Coplanar, SuperModules y Tri-Loop son marcas comerciales de Rosemount Inc. Inconel es una marca comercial registrada de International Nickel Co. Hastelloy es una marca comercial registrada de Haynes International. HART es una marca registrada de HART Communication Foundation. FOUNDATION es una marca comercial de Fieldbus Foundation. Todas las demás marcas son propiedad de sus respectivos dueños.

Emerson Process Management

Rosemount Inc.

8200 Market Boulevard
Chanhassen, MN 55317 EE.UU.
Teléfono (en EE.UU.) 1-800-999-9307
Teléfono (Internacional) (952) 906-8888
Fax (952) 949-7001
www.rosemount.com

Emerson Process Management, SA

Ctra Fuencarral-Alcobendas, Km12,2
28049 MADRID
España
Teléfono +34 91 358 6000
Fax +34 91 358 9145

Emerson Process Management Temperature GmbH

Frankenstrasse 21
63791 Karlstein
Alemania
Teléfono 49 (6188) 992 0
Fax (49) (6188) 992 112

Emerson Process Management Asia Pacific Private Limited

1 Pandan Crescent
Singapur 128461
Teléfono (65) 6777 8211
Fax (65) 6777 0947
AP.RMT-Specialist@emersonprocess.com



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

MEDIDORES DE CADUAL EN TUBERIAS

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

MEDIDORES DE CAUDAL EN TUBERÍAS

Los fluidos están presentes en la mayoría de los procesos industriales, ya sea porque intervienen en forma directa en el proceso de producción o porque pertenecen a los circuitos secundarios necesarios. Sea por la razón que sea, los fluidos están ahí y, por tanto, hay que controlarlos, para lo que es necesario saber en todo momento cuáles son las principales características de los fluidos, que pueden variar mucho de una aplicación a otra. En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como de principios de funcionamiento. Esto es debido a que se intenta conseguir la máxima precisión para la mayor cantidad de aplicaciones.

Los medidores a tratar en este artículo, se utilizan para estimar el gasto en determinada sección de la tubería, y se clasifican como: medidores volumétricos y másicos, teniendo en cuenta que ambos pueden servir para la misma aplicación, ya que volumen y masa son proporcional entre sí.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento es el fenómeno físico en que se basa el medidor, y es una característica de diseño. Para los medidores de caudal volumétricos, los principales sistemas son presión diferencial, área variable, velocidad, tensión inducida, desplazamiento positivo y vórtice. Para los másicos se deben destacar el sistema térmico y el sistema basado en la fuerza de Coriolis.

• Presión diferencial

La fórmula para el caudal para este tipo de funcionamiento se deduce de la aplicación del teorema de Bernoulli. Este teorema relaciona la energía cinética, la potencial y la presión de un fluido en diferentes puntos de la vena fluida. Mediante la interposición de un Diafragma, una Tobera, un tubo Venturi, un tubo Pitot o un tubo Annubar, se puede relacionar el cambio de velocidad y presión que experimenta el fluido con el caudal.

DIAFRAGMA: Consiste en una placa con un orificio que se interpone en la tubería. Como resultado de esta obstrucción existe una pérdida de carga, que es la que se mide por comparación con una sonda aguas arriba y otra aguas debajo de la instalación. Este tipo de medidor es utilizado en tuberías donde se permita una gran pérdida de energía. El cambio de área que se genera al colocar el diafragma, provoca un estrangulamiento de la sección, lo que da lugar a un cambio de presiones antes y después del diafragma, cuyo valor determina el gasto en la sección.

Utilizados en tuberías donde se permita una gran pérdida de energía para efectuar el aforo.

TOBERAS: En este medidor al igual que en el diafragma, se dispone de una toma de presión anterior y otra posterior, de manera que se puede medir la presión diferencial. La tobera permite caudales muy superiores a los que permite el diafragma (del orden de 60% superiores). Se utilizan en el caso de tuberías con diámetros mayores de 30cm.

VENTURI: La función básica de este medidor consiste en producir un estrangulamiento en la sección transversal de la tubería, el cual modifica las presiones, con la medición de este cambio es posible conocer el gasto que circula por la sección, el estrangulamiento de esta es muy brusco, pero la ampliación hasta la sección original es gradual. Generalmente es una pieza fundida que consta de (1) una porción aguas arriba, la cual tiene el mismo tamaño de la tubería, tiene un revestimiento en bronce y contiene un anillo piezométrico para medir la presión estática; (2) en una región cónica convergente, (3) una garganta cilíndrica con un revestimiento en bronce que contiene un anillo piezométrico y (4) una región cónica gradualmente divergente que desemboca en una sección cilíndrica del tamaño de la tubería. Un manómetro diferencial conecta los dos anillos piezométricos. El precio de este se dispara, pudiendo llegar a un costo 20 veces superior a un diafragma. Para obtener resultados acertados este medidor debe ser precedido de una tubería recta con una longitud de por lo menos 10 diámetros.

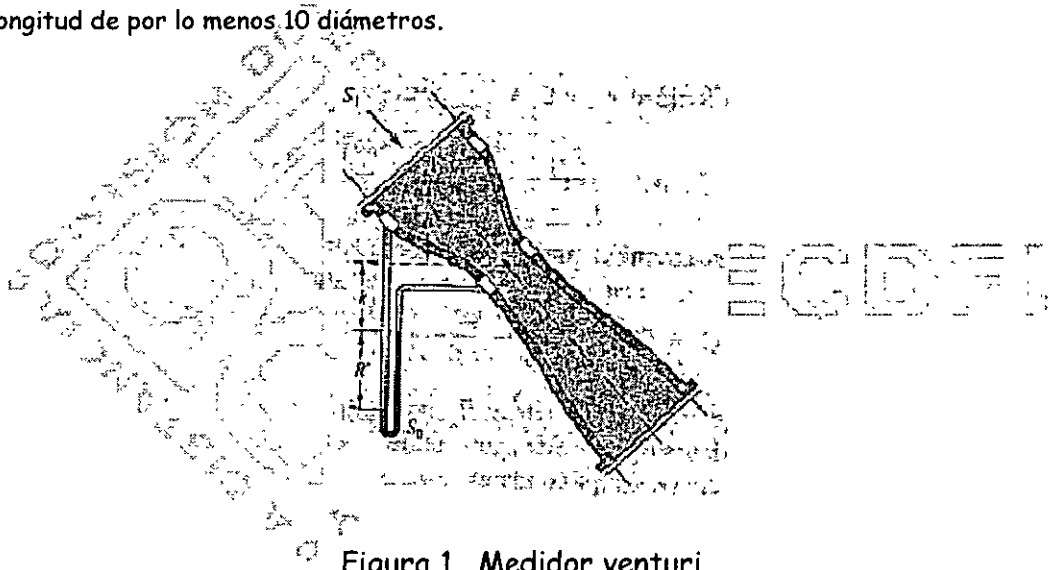


Figura 1. Medidor venturi.

AFORADOR DE CODO:

Es uno de los medidores de caudal mas simple, las aberturas piezométricas en el lado interno y externo del codo se conectan a un manómetro diferencial. Debido a la fuerza centrífuga en la curva, la diferencia de presiones está relacionada con el caudal. Una longitud recta de apaciguamiento debe preceder el codo, y para resultados mas exactos el medidor debería calibrarse in situ. Debido a que la mayoría de las tuberías tienen un codo este puede utilizarse como medidor. Después de la calibración los resultados son tan confiables como los obtenidos con los dispositivos anteriormente mencionados.

PITOT:

Mide la velocidad del flujo en un punto del fluido, consta de un hueco alineado con el flujo que se aproxima y está cerrado por uno de sus extremos con un tapón redondo que tiene un pequeño orificio en la línea central del tubo. El fluido dentro del tubo Pitot es estacionario,

en tanto que el que se aproxima fluye alrededor de este. Una partícula de fluido que se mueve a lo largo de la línea de corriente, que coincide con el eje del tubo Pitot, alcanza el reposo al acercarse a la punta del tubo Pitot (S), debido a que debe dividirse y pasar por ambos lados del tubo. Al entrar momentáneamente en reposo, la presión del fluido se eleva a un valor P_s el cual se conoce como presión de estancamiento y se relaciona con la velocidad del tubo corriente arriba. La presión del flujo estacionario en el interior del tubo Pitot es igual a la presión de estancamiento del flujo externo con el que está en contacto a través del pequeño orificio localizado en el punto de estancamiento S del tubo.

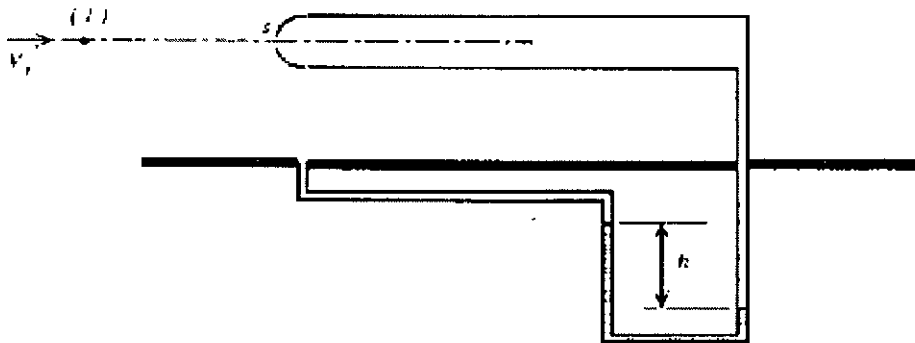


Figura 2: Tubo pitot.

ANNUBAR: Es una mejora del tubo pitot, y se basa en medir la presión estática y la total. Con la diferencia que se obtiene la velocidad del fluido, y conociendo la sección se obtiene el caudal.

Los Diafragmas, Toberas, y los tubos venturi se basan en cambiar el perfil de la vena fluida y, por consiguiente, su velocidad y presión; en cambio tanto los tubos Pitot como los Annubar se basan en introducir un sensor dentro de la tubería, intentando que no afecten la vena fluida.

• Área variable

Los medidores de caudal de área variable se deben instalar verticalmente. Su principio de funcionamiento se basa en un flotador que cambia de posición dentro de un tubo de área variable. El área del tubo es pequeña en la parte inferior y va aumentando hasta alcanzar la mayor sección en la parte superior.

El flotador, sólido, tiende a bajar debido a la fuerza de gravedad (su peso) y el fluido, que circula de abajo hacia arriba, tiende a levantarlo debido a la fuerza de arrastre de este. Además de la fuerza de arrastre, existe una fuerza que ejerce el fluido sobre el flotador, que es igual al peso del volumen del fluido que desaloja. El flotador queda en la posición de equilibrio de fuerzas, indicando en el tubo el caudal del fluido que pasa. El tubo debe estar convenientemente graduado, además de permitir la visualización del flotador. El tubo se puede graduar teniendo en cuenta que la fuerza de arrastre depende de la velocidad del fluido, y una vez se conoce esta, se puede obtener el caudal. Como se puede intuir, la fuerza de arrastre depende de la viscosidad del fluido. La medida puede ser directa al

estar la escala graduada en el tubo, pero también existen modelos en los que el flotador da una señal en función de su posición, y se puede utilizar esta para extraer la medida en otra escala graduada, o bien para acondicionar la señal y adecuarla para un bus de campo o bien transmitirla a un regulador. El medidor más representativo de esta clase es el rotámetro, el cual opera con el mecanismo anteriormente descrito.



Figura 3. Rotámetro

•Velocidad

Principalmente existen tres elementos para caudalímetros que basan su principio de funcionamiento en la velocidad del fluido: Los vertederos (para canales abiertos), las turbinas y las sondas ultrasónicas. Los primeros, en este artículo no serán de mucho interés, los medidores de caudal tipo turbina se basan en un rotor que gira a una velocidad proporcional al caudal

del fluido que pasa. Para obtener la velocidad de giro del rotor se pueden utilizar dos técnicas. La primera de ellas consiste en la variación de la reluctancia que experimenta un circuito magnético exterior al paso de cada una de las palas del rotor. Dentro del grupo de los medidores rotativos, destacan el cicloidal, el birrotor y el oval.

Los cicloidales consisten en dos lóbulos engranados entre sí que giran en direcciones opuestas y desplazando un volumen fijo de fluido en cada revolución. El sistema birrotor consta de dos rotores sin contacto mecánico entre sí que giran sincronizados gracias a un acoplamiento con engranajes externo a la cámara por donde pasa el fluido (donde están los dos rotores). El desgaste mecánico es mínimo por no existir contacto entre los dos rotores y porque estos están equilibrados estática y dinámicamente. Además, se apoyan en rodamientos de bola de acero inoxidable. Su aplicación principal es la medición de caudales de productos petrolíferos. Los medidores ovales están formados por dos ruedas ovales que engranan entre sí. Su movimiento de giro es debido a la presión diferencial creada por el fluido.

•Coriolis:

El teorema de Coriolis dice que la aceleración absoluta de un móvil es la resultante de la relativa, la de arrastre y la de Coriolis. Los medidores de caudal másico basados en este teorema son de dos tipos. El primer tipo consta de un tubo en forma de Ω , el cual se hace vibrar perpendicularmente al sentido del desplazamiento del flujo. Esta vibración controlada crea una fuerza de aceleración en la tubería de entrada del fluido y una fuerza de deceleración en la de salida, con lo que se genera un par que provoca la torsión del tubo,

que es proporcional a la masa instantánea del fluido circulante. El segundo tipo está formado por dos tubos paralelos; estos se hacen vibrar de forma controlada a su frecuencia de resonancia. Con los sensores adecuados (generalmente ópticos) se detecta la fase de la vibración y con ella el caudal masa, ya que es proporcional. Cuando el caudal masa es cero, la diferencia de fase también es nula. La gran ventaja de los caudalímetros basados en la aceleración de coriolis es que son inmunes a prácticamente todo: presión (tanto nominal como posibles pulsaciones), temperatura (excepto variaciones bruscas), densidad, viscosidad, perfil del flujo, y flujos multifase (con sólidos en suspensión). Un posible problema es la vibración, que si no está controlada y no actúa en forma correcta sobre

los elementos preparados para tal fin, se puede transmitir a los tubos y, consecuentemente, someterlos a un proceso de fatiga que conduciría a finalizar con un deterioro prematuro.

•Térmico:

Los medidores térmicos de caudal usan dos técnicas para la determinación del caudal másico. La primera es la elevación de temperatura que experimenta el fluido en su paso por un cuerpo caliente y la segunda es la pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en un fluido. Sea cual sea la técnica que utilicen los caudalímetros térmicos, se basan en la general insensibilidad de los fluidos a la variación de su calor específico en función de la presión y de la temperatura, es decir, el calor específico de los fluidos se puede considerar prácticamente independiente de la presión y de la temperatura.

Según la primera ley de la termodinámica, la pérdida de calor del fluido (q) es proporcional al caudal másico (m), al calor específico (c_p) y al salto térmico (ΔT): $q = m * c_p * \Delta T$

Si se conoce el fluido, se sabe su calor específico, el salto térmico se puede medir mediante sensores y el calor cedido es el aportado externamente para poder realizar la medición. Solo queda el caudal másico como incógnita y por tanto, se puede calcular.

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de medidores los cuales tienen diversos principios de funcionamiento, como también diversos tipos de usos por lo tanto de acuerdo a las necesidades se seleccionara determinado medidor.



Figura 4. Diversos medidores.

A continuación se mostrará una lista de algunos medidores que actualmente se pueden conseguir en el mercado, a excepción de los medidores tradicionales, mencionados anteriormente.

Sensor de caudal con ruedas de paleta: se utiliza cuando los datos sobre el caudal deben transmitirse como salida de impulsos. este sensor contiene un transductor que trasmite una señal de 0-100Hz. La señal de la salida es linealmente proporcional al caudal. Este medidor funciona en medios como: el agua y líquidos de baja viscosidad



Figura 5. sensor de caudal con ruedas de paleta.

Sensor de caudal de turbina: La alta precisión es la característica principal de este sensor. Mide con precisión el caudal de los líquidos transparentes sobre una amplia gama de caudales. Este medidor puede instalarse en cualquier orientación deseada siempre y cuando se tenga cuidado de mantener el medidor lleno de líquido. El movimiento del líquido a través del medidor provoca la rotación de la turbina. Un sensor de proximidad externo detecta la rotación de la turbina sondeando el movimiento de las partículas. La rotación de la turbina es lineal con respecto al caudal. La pantalla y módulo de control convierten la señal del impulso en un número visualizado, este medidor presenta una tolerancia en cuanto a viscosidad a la de fluidos similares al agua.

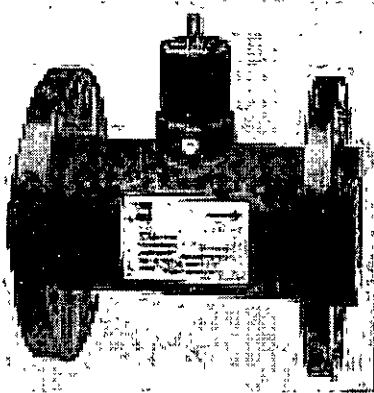
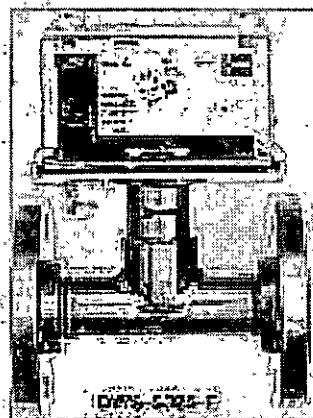
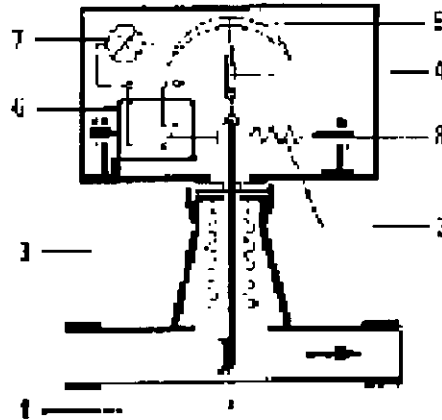


Figura 6. Sensor de caudal de turbina.

Medidor de caudal con fuelles de paleta: este tipo de disposición es ideal para utilizarse en aplicaciones donde la suciedad y los contaminantes de granos sólidos son una gran preocupación. Este dispositivo opera de la siguiente forma: el caudal provoca que la paleta (1) sea desviada en la dirección del caudal contra la fuerza de un resorte (2). Un fuelle (3) fabricado de bronce (o de preferencia acero inoxidable), aísla en forma hermética el medio de la sección de medición. El movimiento de la paleta (1) se transmite directamente a un

indicador (4) , este indica el caudal o la trasmite a un condicionador de señales. Un microinterruptor (6) y una lámpara indicadora (7) se activan cuando se alcanza el punto de referencia. La lámpara se acciona cuando el caudal está por debajo del punto de referencia. Las unidades están disponibles para instalación en línea de tuberías ya sea con extremos roscados o bridados.



ECDFA

Figura 7. Medidor de caudal con flechas de paleta.

Medidor de caudal magnético: es utilizado en el análisis de líquidos difíciles y fangos, este medidor es un tubo hueco forrado con varios electrodos periféricos metálicos. puesto que los electrodos sobresalen de manera insignificante en las paredes de la tubería del medidor, el medidor está casi totalmente libre en su interior, esto ayuda a hacer que este medidor sea adecuado para líquidos que varían desde lodos de alcantarilla hasta una gran variedad de aplicaciones químicas.



Figura 8. Medidor de caudal magnético.

Sensor de caudal térmico compacto: utiliza el principio calorimétrico para monitorear en forma continua el caudal tanto de medios viscosos como de no viscosos. La velocidad del caudal se transmite por medio de una salida mientras que un interruptor opcional proporciona la función de alarma. La capacidad de transmisión se hace posible gracias al alto grado de estabilidad de temperatura proporcionado por su diseño. La integración de las funciones de calefacción y medición permite a la sonda estar estructurada en una superficie sencilla, continua y libre de salientes. La ausencia de salientes evita que los contaminantes se acumulen en la punta de la sonda.

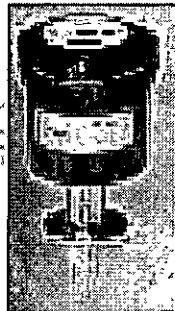


Figura 9. Medidor de caudal térmico compacto.

Medidor de caudal bridado: este dispositivo funciona con el principio de área variable, es ideal para aplicaciones difíciles en las que se requiera una operación a alta presión o una pérdida de baja presión. Su diseño está disponible en acero. En la configuración estándar es un medidor puramente mecánico.

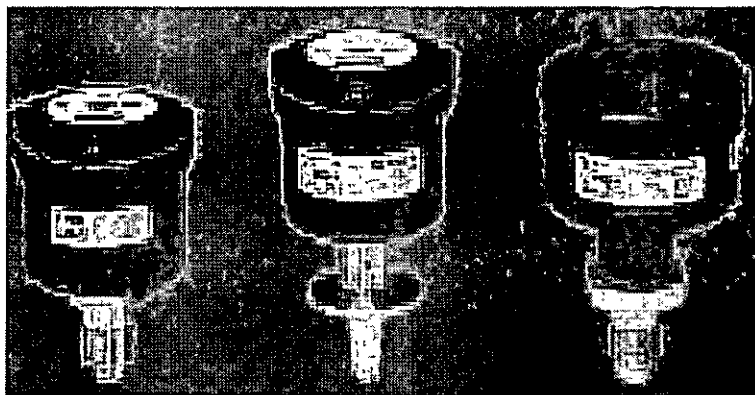


Figura 10. Medidor de caudal bridado.

Medidor de caudal de presión diferencial: estos medidores están diseñados para aplicaciones en ambientes difíciles, la falta de sensibilidad ante campos magnéticos y la capacidad de resistir grandes presiones excesivas sin daños, se combinan para hacer de este un instrumento resistente. Es de fácil uso, fácil lectura y fácil mantenimiento, se puede utilizar en tuberías horizontales o verticales. Este dispositivo determina el caudal mediante la medición de la pérdida de presión a través de un orificio calibrado.

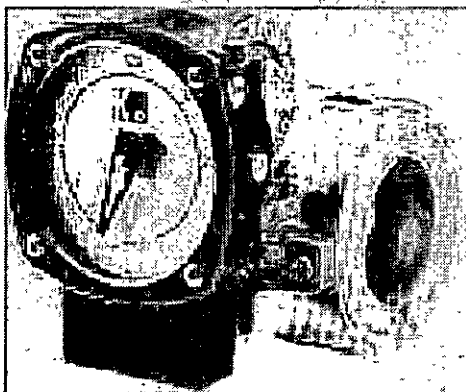


Figura 11. Medidor de caudal de presión diferencial.

Medidor de caudal de masa electrónico: mide caudales de gas, en contraste con la mayoría de otros dispositivos de dosificación de caudal volumétrico, este medidor no necesita corrección de presión o temperatura. Esto hace que la unidad sea ideal para una amplia variedad de aplicaciones de caudal de gas, incluyendo el control de procesos generales, el caudal en sistemas de vacío, la prueba de fugas, y la calibración del caudal. Se encuentra disponible en aluminio o acero inoxidable, con o sin una pantalla digital.

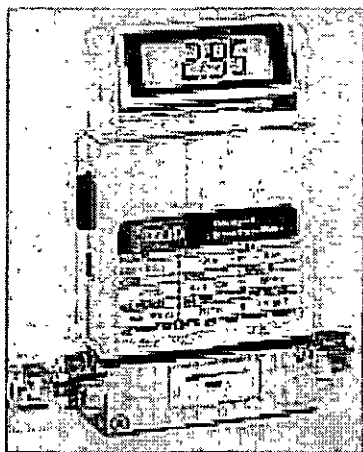


Figura 12. Medidor de caudal de masa electrónico.

Totalizador mecánico: este se puede ser muy funcional en las aplicaciones de dosificación que impliquen agua con temperaturas de 35°F a 194°F . el indicador estilo contador con rotación de 360° y un mecanismo acoplado magnéticamente ofrece una solución confiable. Se utiliza para control de dosificación en planta, monitoreo de filtros, sistemas de irrigación, maquinaria industrial.

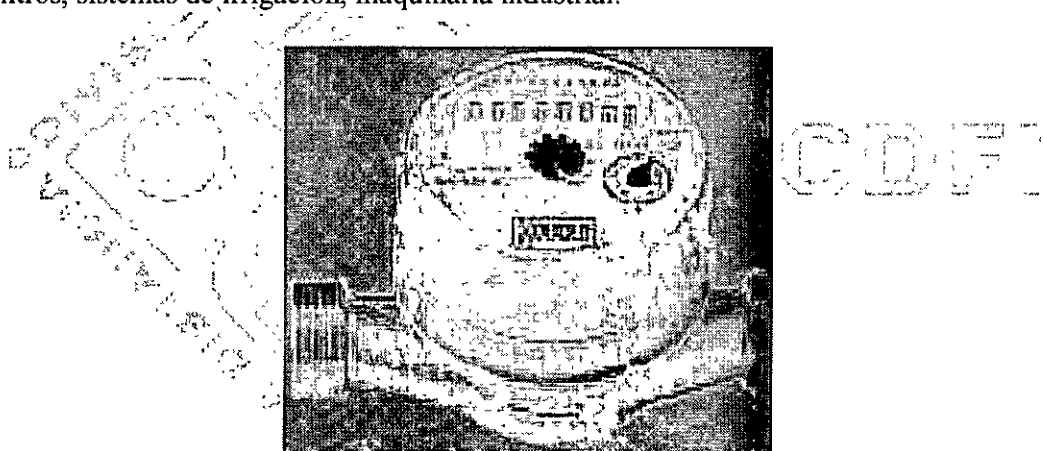


Figura 13. Totalizador mecánico.

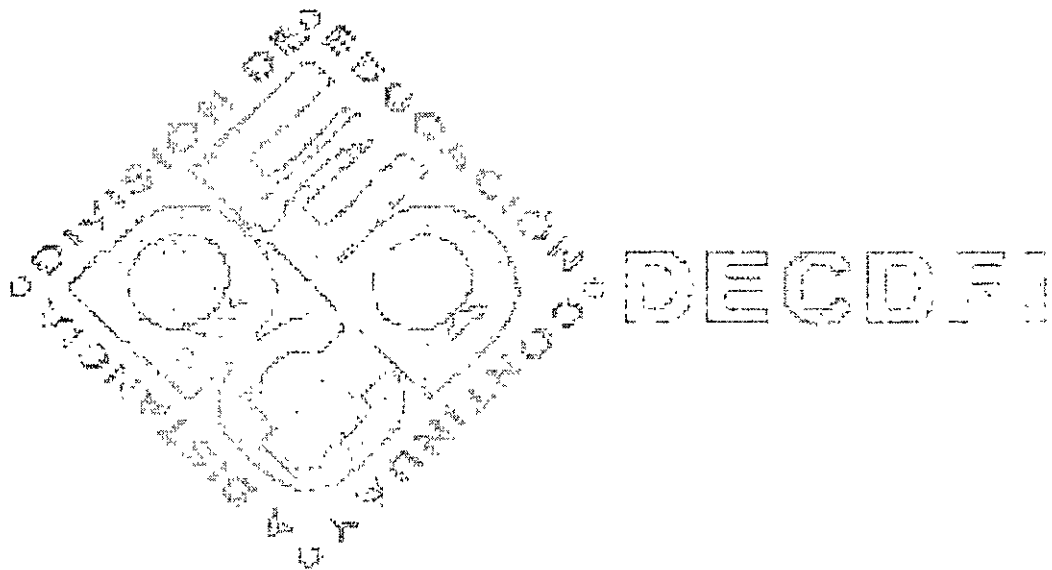
REFERENCIAS

- Revista automática e instrumentación, N° 280. artículo "Medidores de caudal". EPM.
- Sotelo Avila, hidráulica aplicada
- Fay James A, mecánica de fluidos, 1ª edición, editorial CECSA ,México 1996.
- Streeter Victor L. Mecánica de fluidos, 9ª edición, Mc Graw Hill, 1999.

Sitios Web: Los sitios encontrados solo son lugares donde promocionan ciertos medidores.

www.torbar.co.uk/

www.mccrometer.com/mc/





DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

NMX-CH-001-2-1993

**EXPOSITOR: M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**



SECRETARIA DE COMERCIO

Y

FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA MEXICANA

NMX-CH-001/2-1993-SCFI

**MEDICION DE FLUJO DE AGUA EN CONDUCTOS CERRADOS DE
SISTEMAS HIDRAULICOS-MEDIDORES PARA AGUA POTABLE
FRIA-PARTE 2: REQUISITOS DE INSTALACION**

*MEASUREMENT OF WATER FLOW IN CLOSED CONDUITS-METER
FOR COLD POTABLE WATER OF HYDRAULICS SYSTEMS-PART 2:
INSTALLATION REQUIREMENTS*

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

PREFACIO

Esta norma se elaboró en el Comité Técnico de Normalización Nacional de Metrología por el Grupo de Trabajo "Flujo y Volumen" con la participación de los representantes de las Organizaciones e Instituciones que a continuación se citan:

- COMISION NACIONAL DEL AGUA
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
- DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACIÓN HIDRAULICA, DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
- COMPAÑIA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DEL AGUA, S.A. DE C.V.
- CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA
- MEDIDORES AZTECA, S.A. DE C.V.
- GENERAL DE MEDIDORES, S.A. DE C.V.
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.
- COMISION DE AGUAS DEL D.D.F.
- DIRECCION GENERAL DE NORMAS DEPARTAMENTO DE CERTIFICACION DE INSTRUMENTOS DE MEDICION
- BRADMEX, S.A. DE C.V.
- BADGER METER DE LAS AMERICAS, S.A. DE C.V.

**MEDICION DE FLUJO DE AGUA EN CONDUCTOS CERRADOS DE
SISTEMAS HIDRAULICOS-MEDIDORES PARA AGUA POTABLE
FRIA-PARTE 2: REQUISITOS DE INSTALACION**

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta norma establece criterios de selección de medidores para agua, nuevos o reparados, conexiones asociadas, instalación, requisitos especiales y puesta en operación para asegurar una medición exacta, constante y confiable.

Esta norma se aplica a medidores para agua de varias clases metrológicas que pueden funcionar a gastos permanentes entre $0.6\text{m}^3/\text{h}$ y $4\ 000\text{m}^3/\text{h}$, soportando una presión de trabajo máxima admisible igual o mayor a 1MPa (10bar) y una temperatura máxima de 30°C .

También se aplica a medidores para agua que se definen como instrumentos de medición con integración propia, que continuamente determinan el volumen de agua que pasa a través de ellos empleando un proceso mecánico directo que incluye el uso de cámaras volumétricas de paredes móviles (medidores para agua volumétricos) o la acción de la velocidad del agua sobre la rotación de una parte en movimiento (medidores de velocidad).

2 REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de esta norma, se deben consultar las siguientes Normas Mexicanas vigentes:

NOM-012-SCFI Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos - Medidores para agua potable fría - Especificaciones.

3 CRITERIO PARA LA SELECCION DE MEDIDORES PARA AGUA

El tipo, clase metrológica y dimensiones de los medidores para agua, se determinan de acuerdo a las condiciones de operación de la instalación, tomando en cuenta entre otros los siguientes parámetros:

- la presión real de operación del agua en la toma;
- pérdida de presión aceptable a través del medidor;
- los gastos previstos; los relativos q_{\min} , q_p y q_s del medidor como se definen en el inciso 4 de la NOM-012-SCFI compatibles con las condiciones de gasto estimado de instalaciones;
- compatibilidad del tipo de medidor con las condiciones de instalación descritas a continuación:

4 ACCESORIOS PARA LA INSTALACION

La instalación de medidores para agua debe incluir:

4.1 Aguas arriba del medidor

4.1.1 Una válvula de paso.

4.1.2 Mantener un tramo de tubería recto, libre de accesorios cuya longitud mínima sea equivalente a ocho diámetros de la tubería de la toma. Si es necesario, para alinear el flujo entre la válvula y el medidor, puede instalarse otro dispositivo.

4.1.3 Un medio de precintado entre el medidor y la línea de entrada de agua, para detectar cualquier movimiento no autorizado del medidor.

4.2 Aguas abajo del medidor

4.2.1 Debe existir un dispositivo de longitud ajustable, que permita instalar y retirar fácilmente el medidor.

4.2.2 Mantener un tramo de tubería recto, libre de accesorios cuya longitud mínima sea equivalente a seis diámetros de la tubería de la toma.

4.2.3 Si se requiere, un dispositivo que incluya una válvula de drenado, que pueda utilizarse para supervisar la presión y muestreo del agua.

4.2.4 Para todos los medidores deben instalarse, una válvula de paso.

4.2.4.1 En caso de que exista retorno de agua caliente, se debe instalar una válvula de retención.

5 INSTALACION

5.1 Requisitos generales

5.1.1 El medidor para agua y sus accesorios deben instalarse lo más próximo al paramento interior del predio de tal manera que sea fácilmente accesible su lectura, su mantenimiento y retiro para desarmar el mecanismo en el mismo lugar si es necesario.

Cuando se trate de medidores para agua, con masa superior a 25kg, debe haber un acceso libre al sitio de instalación que permita colocarlo o retirarlo de su posición de trabajo.

Los requisitos que debe cumplir el sitio de instalación, entre otros son los siguientes:

- iluminación adecuada;

- el piso debe ser adecuado y seguro.
- alejado de cualquier instalación eléctrica.

5.1.2 En todos los casos debe evitarse la contaminación del agua en la zona de instalación del medidor. Si es necesario, la zona de instalación debe estar provista de un resumidero o drenaje.

5.2 Requisitos de instalación

5.2.1 El medidor debe estar protegido contra daños ocasionados por golpes o vibraciones inducidos por agentes externos.

5.2.2 El medidor no debe estar sujeto a esfuerzos causados por tuberías y conexiones. Si es necesario, debe montarse sobre una cimentación.

Las tuberías aguas arriba y aguas abajo del medidor, deben anclarse para asegurar que la instalación no pueda ser desplazada bajo el empuje del agua.

5.2.3 El medidor y la zona de instalación deben ser protegidas contra daños ocasionados por fenómenos de la naturaleza.

5.2.4 La posición del medidor debe ser la adecuada a su tipo.

5.2.5 El medidor para agua y el cuadro de instalación no debe formar parte de una tierra eléctrica.

5.2.6 Se deben tomar precauciones para disminuir o evitar daños al medidor por condiciones hidráulicas desfavorables (cavitación y golpes de ariete).

5.2.7 La cámara de medición siempre debe estar llena de agua

6 CONDICIONES ESPECIALES PARA INSTALACION DE MEDIDORES TIPO HELICE

Este tipo de medidor es sensible a turbulencias del flujo aguas arriba del medidor, lo cual causa grandes errores y desgaste prematuro.

Un flujo puede estar sujeto a dos tipos de turbulencias: distorsión del perfil de velocidad y remolinos.

La distorsión del perfil de velocidad es causada típicamente por una obstrucción que bloquea parcialmente la tubería y, puede ser minimizada fácilmente.

Los remolinos son causados principalmente por dos o más codos en diferentes planos o algún otro accesorio. Este efecto puede ser controlado asegurando una longitud de tubería recta aguas arriba del medidor, o, mediante la instalación de un dispositivo directriz.

7 PRIMERA OPERACION DE MEDIDORES PARA AGUA NUEVOS O REPARADOS

Antes de instalar el medidor, la tubería de alimentación de agua debe lavarse para remover arrastres y el filtro.

Después de la colocación del medidor, debe purgarse la instalación hidráulica.

8 BIBLIOGRAFIA

International Standard ISO-4064/II-1978 Measurement of water flow in closed conduits-Meter for cold potable water-Part II; Installation Requirements.

9 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma concuerda básicamente con la Norma Internacional mencionada en la Bibliografía, (ver 8).

México, D.F., Julio 13, 1993

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS

A black and white image of a handwritten signature in white ink on a black background. The signature is stylized and appears to read 'Luis G. Ibarra'.

LIC. LUIS GUILLERMO IBARRA

Fecha de aprobación y publicación: Julio 27, 1993



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

NOTAS

**EXPOSITOR: DR. OSCAR FUENTES MARILES
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

8. REVISIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

8.1 FUNDAMENTOS DEL FLUJO EN TUBERÍAS

En la mayoría de los problemas con flujos, es necesario analizar un estado arbitrario de movimiento del fluido. Éste se define por la geometría, las condiciones de contorno y las leyes de la mecánica.

Se definirá el concepto de fluido como una sustancia que sufre una deformación continua al someterse al efecto de un esfuerzo cortante, sin importar que tan pequeño sea dicho esfuerzo. La fuerza cortante es el componente paralelo a la superficie, y este componente dividido entre el área de la superficie en la cual actúa, es el esfuerzo cortante promedio sobre el área.

También se enuncian las ecuaciones básicas que son utilizadas para establecer el comportamiento de los fluidos.

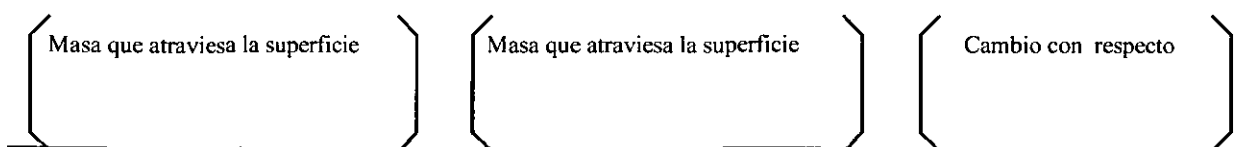
8.1.1 Ecuaciones fundamentales

Las leyes básicas que son utilizadas para describir el movimiento completo de un fluido (*flujo de un fluido*), no resultan fáciles de formular ni el manejo desde el punto de vista matemático ya que se requiere gran apoyo de la experimentación y tiempo en la observación de los fenómenos.

Ecuación de continuidad en un conducto cerrado

La figura 8.1 muestra un flujo limitado por la superficie u (que generalmente coincide con una frontera sólida, o por ésta y una superficie libre) y por las secciones transversales 1 y 2, normales al eje que une los centros de gravedad de todas las secciones. Las velocidades en cada punto de una misma sección transversal poseen un valor medio V , con dirección tangencial al eje de la vena.

Se considera como volumen elemental de líquido, el limitado lateralmente por la superficie que envuelve a la vena líquida (mostrado en la figura 8.1), así como por dos secciones transversales normales al eje de la vena, separadas la distancia ds , donde s representa la coordenada curvilínea siguiendo el eje de la vena, y aplicando el principio de la conservación de la materia, expresado de la siguiente manera:



de frontera que entra al volumen en la unidad de tiempo — de frontera que sale del volumen en la unidad de tiempo = al tiempo de la masa contenida en el volumen

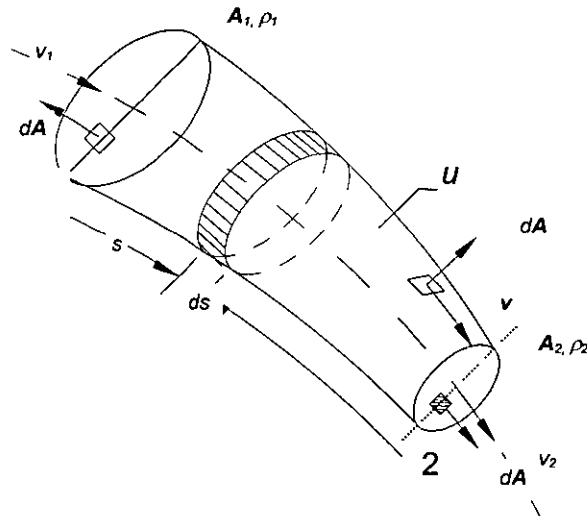


Figura 8.1 Ecuación de continuidad para una vena líquida.

La cantidad neta de masa que atraviesa la superficie de frontera, del volumen elemental en estudio, es:

$$\left[\rho v A + \frac{\partial(\rho v A)}{\partial s} ds \right] - \rho v A = \frac{\partial(\rho v A)}{\partial s} ds \quad (8.1)$$

Tomando en cuenta que el flujo es *permanente*⁴, el cambio de la masa (contenida dentro del volumen) respecto al tiempo es igual a cero, de donde resulta que

$$\rho v A = C, \text{ siendo } C \text{ una constante.} \quad (8.2)$$

Si el fluido es incompresible ρ no varía y, por tanto $v A$ es igual a una constante. Esto significa que no cambia el gasto que circula por cada sección de la vena líquida en flujo permanente. Así para las secciones transversales 1 y 2, se cumple lo siguiente:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (8.3)$$

⁴ Se trata de un flujo *permanente* si las características en un punto se mantienen constantes para cualquier instante o bien, si las variaciones en ellas son muy pequeñas con respecto a sus valores medios y éstos no varían con el tiempo (Sotelo, 1991).

Ecuación de la energía

La ecuación de la energía planteada en dos secciones transversales de una tubería de longitud L funcionando a presión (figura 8.2), en flujo permanente queda establecida así:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum_1^2 h_r \quad (8.4)$$

La deducción de la ecuación anterior puede ser consultada en el libro de Hidráulica General de Sotelo (1991).

Cada uno de los términos, de la ecuación 8.4 corresponden a una longitud de carga. El término z medido desde un plano horizontal de referencia, se llama carga de posición; donde p/γ es la carga de presión; $\alpha v^2/2g$ la carga de velocidad (siendo α el coeficiente de Coriolis, que toma en cuenta la variación de la velocidad real con respecto a la velocidad media, de la sección transversal en estudio); $\sum_1^2 h_r$ la pérdida de carga entre las secciones 1 y 2.

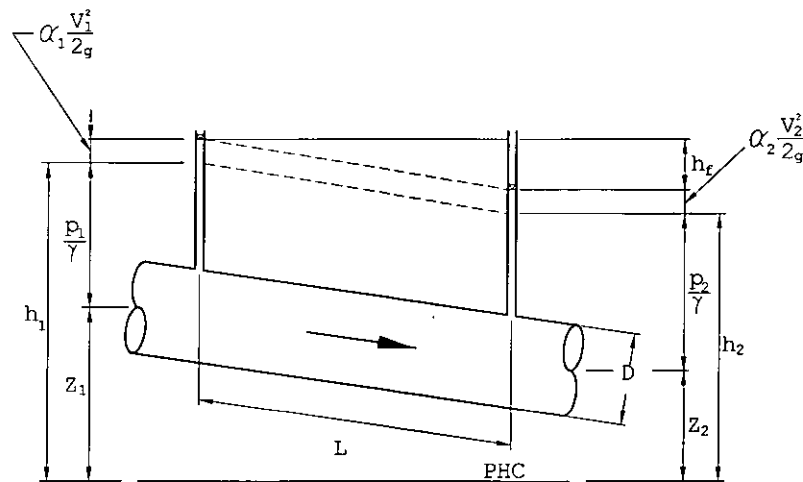


Figura 8.2 Cargas en los extremos de un tubo

La ecuación 8.4 establece las relaciones entre las diferentes transformaciones de la energía mecánica del líquido, por unidad de peso del mismo $[FL/L]$. La carga de posición es la *energía potencial*; la carga de presión es la *energía correspondiente al trabajo mecánico* ejecutado por las fuerzas debidas a la presión; la carga de velocidad es la *energía cinética* de toda la vena líquida; la pérdida de carga es la energía transformada en otro tipo de

energía (transferencia de calor) que, en el caso de los líquidos, no es utilizable en el movimiento.

De la ecuación 8.4 el término $\sum_I h_r$ está constituido por la pérdida debida a la fricción ($\sum_I h_f$) y las pérdidas menores ($\sum_I h_m$), las cuales se analizarán más adelante, esto es:

$$\sum_I h_r = \sum_I h_f + \sum_I h_m \quad (8.5)$$

8.1.2 Clasificación de flujos

El flujo de un fluido se puede clasificar desde varios puntos de vista. En el siguiente esquema se muestran los más importantes utilizados en la ingeniería.

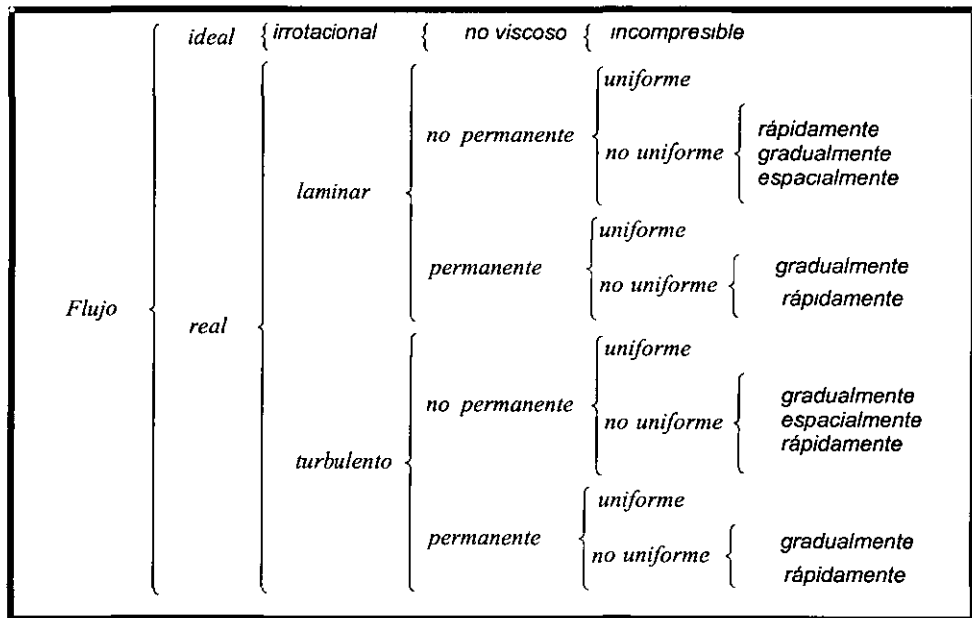


Figura 8.3 Clasificación de flujos.

Para la descripción de algunos flujos, se utilizará el concepto de aceleración total (*White et al, 1988*):

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \underbrace{\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} u + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} v + \frac{\partial \bar{v}}{\partial w} w}_{\text{aceleración}} + \underbrace{\frac{\partial \bar{v}}{\partial t}}_{\text{aceleración}} \quad (8.6)$$

aceleración total = aceleración + aceleración

A continuación se establecen algunas de las características que distinguen a los flujos.

Flujo ideal

Un *fluido ideal* es incompresible y no viscoso. No debe confundirse con un gas ideal. El gas ideal tiene viscosidad y puede, por lo tanto, desarrollar esfuerzos cortantes y es compresible de acuerdo a la ley del gas ideal. La suposición de un fluido ideal es útil en el análisis de situaciones de flujo que comprenden grandes extensiones de fluidos, como en el movimiento de un avión o un submarino.

Se denomina proceso reversible, cuando después de una o varias modificaciones durante dicho proceso, se regresa a su estado original sin ningún cambio ya sea en el sistema o sus alrededores. Un fluido no viscoso no desarrolla fricción. Los procesos de este flujo son reversibles.

Flujo real

Es un fluido que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea ese esfuerzo. El esfuerzo cortante en un punto es el valor límite de la fuerza cortante al área cuando ésta se reduce al punto.

Otros flujos

A continuación se mencionan algunos tipos de flujos que se considera importante hacer mención de las características que los distinguen.

Flujo a régimen permanente

El *flujo permanente* ocurre cuando las condiciones en cualquier punto del fluido no cambian con el tiempo. En este tipo de flujo no hay cambio en la velocidad v , densidad ρ , presión p o temperatura T con el tiempo en cualquier punto; así

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (8.7)$$

En flujo turbulento, debido al movimiento errático de las partículas del fluido, siempre ocurren pequeñas fluctuaciones en cualquier punto. La definición para flujo a régimen permanente debe generalizarse para incluir estas fluctuaciones.

Cuando la velocidad media temporal

$$\bar{v} = \frac{1}{t} \int_0^t v dt \quad (8.8)$$

no cambia con el tiempo, se dice que el flujo es a régimen permanente. La misma generalización se aplica a la densidad, presión, temperatura, etc., cuando sustituyen en v de la fórmula anterior.

En el flujo permanente, la aceleración local es cero.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad (8.9)$$

Flujo a régimen no permanente

El flujo se desarrolla a *régimen no permanente* cuando las condiciones de velocidad v , presión p , densidad ρ o temperatura T en cualquier punto cambian con el tiempo, es decir, expresando matemáticamente

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0, \quad \frac{\partial T}{\partial t} \neq 0 \quad (8.10)$$

En el flujo no permanente, la aceleración local es diferente de cero.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \quad (8.11)$$

Flujo laminar

En *flujo laminar*, las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias suaves en láminas, o capas, con una capa deslizándose suavemente sobre una capa adyacente. El flujo laminar es gobernado por la ley de viscosidad de Newton

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (8.12)$$

donde

- τ es la relación entre el esfuerzo cortante y la rapidez de la deformación angular para el flujo unidimensional de un fluido
- μ es el factor de proporcionalidad característica del fluido que se conoce como viscosidad dinámica
- $\frac{du}{dy}$ es la relación entre el cambio de velocidad y la distancia sobre la cual ocurre dicho cambio

El flujo laminar se rige por la acción de la viscosidad. El flujo laminar no es estable en situaciones en las que hay combinaciones de baja viscosidad y alta velocidad.

Flujo turbulento

En *flujo turbulento*, las partículas del fluido se mueven en trayectorias irregulares que causan un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra próxima. En una situación en la que un flujo podría ser turbulento o laminar, la turbulencia establece mayores esfuerzos cortantes en todo el fluido y causa mayor disipación de la energía hidráulica.

Se puede escribir una ecuación para flujo turbulento similar en forma a la establecida para el flujo laminar, basándose en la ley de viscosidad de Newton que describe el flujo:

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (8.13)$$

El factor η sin embargo no sólo es una propiedad del fluido, sino que depende del movimiento del fluido y de la densidad; se le denomina viscosidad aparente o de recambio (Eddy).

En muchas situaciones prácticas de flujo, tanto la viscosidad como el movimiento del fluido contribuyen al esfuerzo cortante:

$$\tau = (\mu + \eta) \frac{du}{dy} \quad (8.14)$$

Además de los mencionados en los incisos anteriores, se considera necesario explicar brevemente los siguientes:

Flujo uniforme

El **flujo uniforme** ocurre cuando, en todo punto, el vector de velocidad es idénticamente el mismo (en magnitud y dirección) para cualquier instante dado. Expresando lo anterior matemáticamente

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial s} = 0 \quad (8.15)$$

s es un desplazamiento en cualquier dirección. La ecuación establece que no hay cambio en el vector de velocidad en toda dirección a través del fluido en distintos instantes.

En términos de la aceleración, el flujo permanente es uniforme cuando la aceleración convectiva es cero, es decir

$$\frac{\partial v}{\partial x} u + \frac{\partial v}{\partial y} v + \frac{\partial v}{\partial w} w = 0 \quad (8.16)$$

Flujo no uniforme

El flujo en que el vector de velocidad varía de un lugar a otro (en magnitud y sentido) es **flujo no uniforme**

$$\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0 \quad (8.17)$$

En este caso, la aceleración convectiva es diferente de cero.

$$\frac{\partial v}{\partial x} u + \frac{\partial v}{\partial y} v + \frac{\partial v}{\partial w} w \neq 0 \quad (8.18)$$

Flujo rotacional

La rotación de una partícula fluida en torno a un eje dado, por ejemplo el eje z , se define como la velocidad angular promedio de dos elementos de línea infinitesimales en la partícula que está en ángulo recto el uno con el otro y con el eje dado. Si las partículas de fluido dentro de una región tienen rotación en torno a cualquier eje, el flujo se llama **rotacional**, o **flujo de vórtice**. De modo que expresando lo anterior en términos matemáticos se tiene (Echávez, et al 1997).

$$\text{rot } \bar{v} \neq 0 \quad \text{ó} \quad \nabla \times \bar{v} \neq \bar{0} \quad (8.19)$$

Flujo irrotacional

Si el fluido dentro de una región no tiene rotación, se llama **flujo irrotacional**. En análisis hidrodinámico, se demuestra que si un fluido está en reposo y no tiene fricción, cualquier movimiento posterior de este fluido será irrotacional, por lo que (Echávez, et al 1997).

$$\text{rot } \bar{v} = 0 \quad \text{ó} \quad \nabla \times \bar{v} = \bar{0} \quad (8.20)$$

Flujo compresible

Se clasifica como **flujo compresible** cuando los cambios de densidad de un punto a otro de análisis son distintos de cero. En la práctica, sólo en los problemas de golpe de ariete es necesario considerar que el flujo de un líquido es compresible (Echávez, et al 1997). Así,

$$\text{div } \bar{v} \neq 0 \quad \text{ó} \quad \nabla \cdot \bar{v} \neq 0 \quad (8.21)$$

Flujo incompresible

Un **flujo incompresible** se considera si los cambios de densidad de un punto a otro son despreciables (Echávez, et al 1997). En términos matemáticos, lo anterior se expresa como

$$\text{div } \bar{v} = 0 \quad \text{ó} \quad \nabla \cdot \bar{v} = 0 \quad (8.22)$$

Flujo adiabático

El **flujo adiabático** es aquel flujo de un fluido en el que no hay transferencia de calor con el exterior desde el fluido o hacia éste.

8.1.3 Pérdidas de energía

El movimiento del agua en cualquier conducto siempre se produce con una cierta transformación de energía, causada por la resistencia que se presenta en oposición al movimiento. Tal resistencia se debe principalmente a dos efectos, uno es el de la fricción entre sí de los filamentos líquidos con las paredes de los conductos o al choque entre las partículas fluidas que se mezclan debido al movimiento turbulento.

Las transformaciones irreversibles ó “pérdidas de energía” tienen lugar en los flujos reales por la viscosidad que convierte energía mecánica en energía calorífica, energía que no es recuperable.

Pérdidas por esfuerzo cortante

En la aplicación de los métodos de análisis para el cálculo de las pérdidas de energía hidráulica debidas al esfuerzo cortante en estructuras largas son muy importantes, por lo

que ha tenido especial interés en las investigaciones teórico experimentales para obtener soluciones satisfactorias y sobre todo, de fácil aplicación.

La viscosidad es la propiedad de los fluidos que causa esfuerzos cortantes para fluidos en movimiento, y es también uno de los medios por los cuales se desarrollan las pérdidas de energía. En flujos turbulentos, los movimientos aleatorios de fluidos superpuestos al movimiento promedio crean esfuerzos cortantes aparentes que son más importantes que los debidos al corte viscoso.

Para analizar el problema de la resistencia al flujo, resulta necesario revisar los tipos de flujo y poner especial interés en la diferencia del comportamiento entre los flujos laminar y turbulento mencionados en los puntos anteriores.

Cualquiera que sea la tendencia del flujo hacia la inestabilidad y la turbulencia, se amortigua por fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de las capas adyacentes. Sin embargo, en el flujo turbulento, las partículas se mueven en forma errática, con un intercambio de cantidad de movimiento transversal muy violento.

La velocidad del fluido en cualquier punto de la tubería para flujo laminar es constante en el tiempo. Si el flujo es turbulento, ocurre en el fluido una mezcla muy violenta y la velocidad en un punto varía aleatoriamente con el tiempo.

Las diferencias entre los flujos laminar y turbulento en una tubería fueron esclarecidos en primera instancia por Osborne Reynolds en 1883. Reynolds condujo una serie de experimentos en los cuales inyectó un colorante en agua que fluía en una tubería de vidrio. La figura 8.4 ilustra las observaciones de Reynolds.

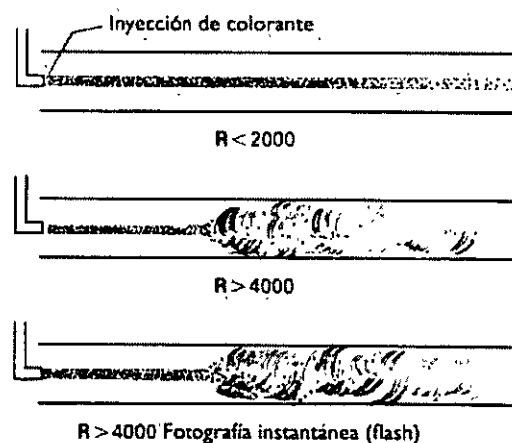


Figura 8.4 Representación esquemática de las observaciones de Reynolds de los flujos laminar y turbulento en tuberías

A bajas velocidades, el colorante permaneció uniforme y regular a medida que fluía aguas abajo. A velocidades más elevadas, parecía que el colorante explotaba, mezclándose rápidamente a través de toda la tubería. Con una fotografía moderna de alta velocidad de la mezcla del colorante, revelaría un patrón de flujo muy completo, no discernible en los experimentos de Reynolds.

Los experimentos de Reynolds demostraron que la naturaleza del flujo en tuberías depende del cociente de la fuerza inercial entre la fuerza viscosa; por tanto, si este cociente es grande, cabe esperar que las fuerzas inerciales dominen a las fuerzas viscosas. Esto normalmente es cierto cuando ocurren cambios geométricos cortos y repentinos; en tramos largos de tuberías o canales abiertos la situación es distinta.

Una medida de turbulencia es un término carente de dimensión, llamado *número de Reynolds*:

$$\Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (8.23)$$

donde V es la velocidad promedio, D es el diámetro interno de la tubería, ρ es la densidad de masa y μ la viscosidad.

El cociente entre ρ y μ se le denomina viscosidad cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (8.24)$$

Reynolds encontró que si el valor de \Re era menor que aproximadamente 2000, el flujo siempre era laminar, mientras que a números de Reynolds mayores, el flujo era turbulento. El valor exacto del número de Reynolds que define el límite entre el flujo laminar y turbulento dependía de las condiciones experimentales. Si el agua en el depósito de entrada permanecía totalmente en reposo y no había vibración en el equipo, Reynolds encontró que el flujo laminar se podía mantener a números de Reynolds mucho mayores que 2000. También encontró que si comenzaba con un valor muy alto de \Re con flujo turbulento en la tubería y después lo disminuía, el flujo se convertía en laminar a un valor de \Re alrededor de 2000.

Aunque en un laboratorio es posible obtener un flujo laminar a números de Reynolds más elevados, la mayoría de las situaciones de ingeniería pueden considerarse como “no perturbadas”. En la práctica de la ingeniería, el límite superior del número de Reynolds para flujo laminar en una tubería se toma como

$$\Re \approx 2300 \quad \text{Máximo para flujo laminar en una tubería}$$

Para números de Reynolds entre 2300 y 4000, el flujo es impredecible y a veces pulsa o cambia de laminar a turbulento y viceversa. Este tipo de flujos se denomina flujo de transición. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, generalmente es turbulento:

$\Re \approx 4000$ Mínimo para flujo turbulento estable en una tubería

Una de las fórmulas más empleadas para obtener la pérdida de carga por fricción en una tubería, es la de Darcy-Weisbach desarrollada en 1850 con el apoyo de otros investigadores más. Tiene la ventaja respecto a otras, de ser más precisa (Rojas, 1994) al considerar además de las características de las tuberías, a la velocidad y viscosidad del fluido que circula dentro de ella. La fórmula está dada de la manera siguiente:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (8.25)$$

donde f es el factor de fricción (adimensional), L la longitud de la tubería (en m), d es el diámetro de la tubería (en m), v la velocidad del flujo en la tubería (en m/s) y g es la aceleración de la gravedad (en m/s^2).

El factor de fricción f depende del tamaño promedio de las protuberancias de la pared interior de la tubería ε (denominada rugosidad absoluta), el diámetro de la tubería, la velocidad del flujo y viscosidad del fluido que circula en la tubería; estos factores se resumen en la llamada rugosidad relativa (ε/d) y el número de Reynolds.

Para la selección adecuada de la altura de rugosidad equivalente ε se recomienda usar tablas normalizadas aprobadas por alguna institución o de fabricantes que la especifiquen. Es necesario mencionar que al paso del tiempo, en la tubería se presentan incrustaciones y alteraciones en la composición del material que provocan un aumento en la rugosidad absoluta de dicha tubería. Para la revisión hidráulica en redes de tuberías que tienen algunos años funcionando y que no han cumplido su periodo de vida útil es necesario considerar un ajuste en la rugosidad equivalente ε .

Cuando se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach, en términos del gasto se tiene que

$$h_f = CQ^2 \quad (8.26)$$

donde C corresponde a la siguiente expresión

$$C = f \frac{L}{A^2} \frac{1}{d} \frac{1}{2g} \quad (8.27)$$

siendo f el factor de rugosidad (adimensional), L la longitud de la tubería (en m), d el diámetro de la tubería (en m), v la velocidad del flujo en la tubería (m/s), g es la aceleración de la gravedad (en m/s^2) y A es el área de la sección transversal de la tubería (en m^2).

Para obtener el factor de fricción se puede usar el diagrama universal de Moody (figura 8.5) que se utiliza para determinar el factor de fricción f en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualquier líquido.

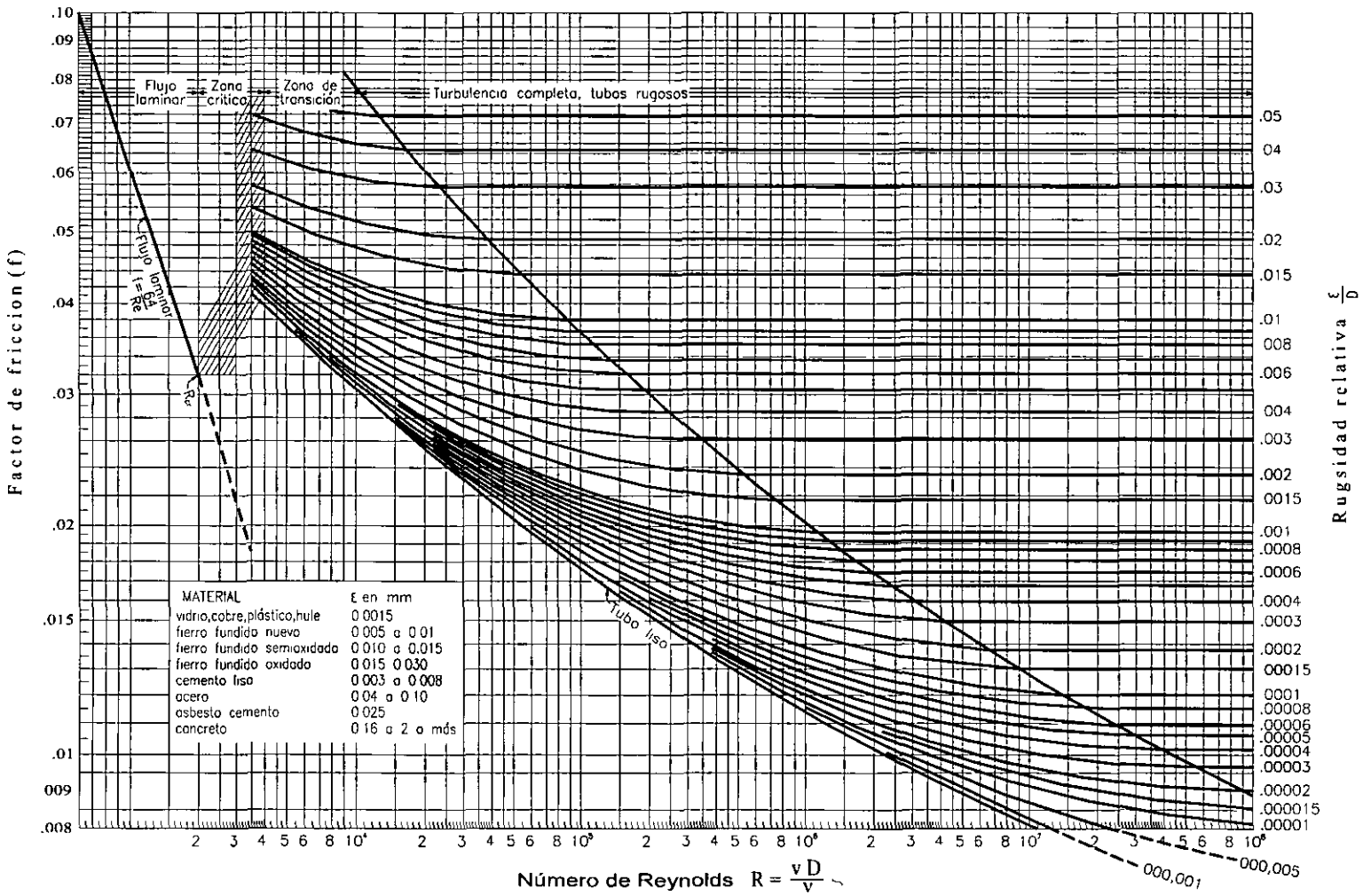


Figura 8.5 Diagrama de Moody

Pérdidas locales

Además de la liberación continua de energía que ocurre con el movimiento del agua a lo largo del conducto, los cambios de geometría de la sección, los dispositivos para el control de las descargas y a modificaciones necesarias en la dirección de la tubería, para avenirse a los accidentes topográficos, producen pérdidas de energía denominadas *locales* o *menores*. Ésta se localizan en un sitio a escasa longitud donde se produce el cambio de geometría o dirección del flujo.

La magnitud de las pérdidas locales se expresa, como una fracción de la carga de velocidad, de la forma siguiente:

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (8.28)$$

donde

- h_m es la pérdida local de energía (en m);
- K es el coeficiente sin dimensiones que depende del tipo de pérdida que se trate, el número de Reynolds y de la rugosidad del tubo;
- $\frac{v^2}{2g}$ es la carga de velocidad aguas abajo de la zona de alteración del flujo, salvo aclaración en caso contrario (en m).

En la tabla 8.1, presentan algunos valores del coeficiente K , de acuerdo con el tipo de perturbación, sin embargo en la literatura técnica con la que actualmente se cuenta se pueden encontrar tablas más completas del valor de dicho coeficiente.

En ciertas ocasiones, la determinación de las pérdidas locales por medio de la fórmula 8.28 ofrece dificultades y por esta razón se recurre a otros métodos como el de las *longitudes virtuales* o *equivalentes*, el cual consiste en añadir a la longitud real de la tubería, para efectos de cálculo, longitudes de tubos con el mismo diámetro del conducto en estudio, capaces de causar las mismas pérdidas de carga ocasionadas por las piezas a las que sustituyen.

Cabe señalar que la pérdida producida por una perturbación en el flujo puede ser obtenida con la expresión de Darcy-Weisbach, donde f es calculada con la ecuación de Swamme y Jain (Rojas, 1994) que más adelante se mostrará. En el caso de las pérdidas menores en donde interviene el coeficiente de descarga C_d , éste se puede estimar en función del parámetro K y se calcula como sigue

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{K}} \quad (8.29)$$

Tabla 8.1 Valores del coeficiente K
Fuente: Paschoal Silvestre. 1983

PIEZA	K	PIEZA	K
Ampliación gradual	0.30*	Unión	0.40
Boquillas	2.75	Medidor Venturi	2.50**
Compuerta abierta	1.00	Reducción gradual	0.15*
Codo de 90°	0.90	Válvula de ángulo abierto	5.00
Codo de 45°	0.40	Válvula de compuerta abierta	0.20
Colador	0.75	Válvula de globo abierta	10.00
Curva de 90°	0.40	Salida de canalización	1.00
Curva de 45°	0.20	Te, de paso directo	0.60
Entrada normal	0.50	Te, salida de lado	1.30
Entrada de Borda	1.00	Te, salida bilateral	1.80
Velocidad	1.00	Válvula de pie	1.75
Válvula de retención	2.75		

* Con base en la velocidad mayor y

** Con base en la velocidad en la canalización

8.2 ECUACIONES EN EL ANÁLISIS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

Para el análisis del funcionamiento hidráulico de una red de distribución de agua en régimen permanente (red estática), es necesario contar con las cargas en los extremos de sus tubos y los gastos que fluyen en los mismos. Para determinarlas analíticamente, se emplean para cada tubería de la red los principios de conservación de la energía y conservación de la masa (ecuación de continuidad). Además, se requiere establecer la ecuación de continuidad donde se unen dos o más tubos.

Retomando la ecuación 8.4 se tiene

$$z_s + \frac{p_s}{\gamma} + \alpha_s \frac{v_s^2}{2g} = z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \alpha_i \frac{v_i^2}{2g} + h_f \quad (8.30)$$

considerando que

$$h_s = z_s + \frac{p_s}{\gamma} \quad (8.31)$$

$$h_i = z_i + \frac{p_i}{\gamma} \quad (8.32)$$

la ecuación 8.30 se puede escribir como

$$h_s + \alpha_s \frac{v_s^2}{2g} = h_i + \alpha_i \frac{v_i^2}{2g} + h_f \quad (8.33)$$

para una tubería con área de sección transversal constante $A_s = A_i$ la ecuación de continuidad define que $A_s v_s = A_i v_i$, por consiguiente $v_s = v_i$. Si al mismo tiempo, se acepta que $\alpha_s = \alpha_i = 1$, la ecuación 8.33 se reduce a

$$h_f = h_s - h_i \quad (8.34)$$

De acuerdo con esta expresión, la pérdida de carga es igual a la caída de carga que se presenta en la tubería entre las secciones s e i .

Como se describió en el capítulo anterior, la pérdida de carga está en función de las características de flujo (velocidad y viscosidad cinemática) y características de la tubería (diámetro, longitud y rugosidad absoluta ε). La fórmula de Darcy-Weisbach se puede utilizar para calcular dicha pérdida (ecuación 8.25).

De la ecuación 8.3 se sabe que

$$v = Q / A \quad (8.35)$$

sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación 8.25 tendremos

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2g A^2} \quad (8.36)$$

si además

$$C = f \frac{L}{D} \frac{1}{2g A^2} \quad (8.37)$$

donde

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (8.38)$$

como C es un parámetro que depende de las características geométricas de la tubería, la ecuación 8.25 se puede escribir como

$$h_f = C_j |Q_j| |Q_j| \quad (8.39)$$

donde C_j se calcula con los datos del tubo j y Q_j es el gasto que fluye por él.

Por otra parte, si se toma en cuenta la ecuación 8.37 en la 8.34 se obtiene

$$h_s - h_i = C_j |Q_j| |Q_j| \quad (8.40)$$

Despejando el gasto Q_j

$$Q_j = \sqrt{\frac{1}{C_j}} \sqrt{h_s - h_i}$$

cuya solución se plantea de la siguiente manera

$$Q_j = \begin{cases} k_j (h_s - h_i)^{1/2} & \text{si } h_s \geq h_i \\ -k_j (h_s - h_i)^{1/2} & \text{si } h_s < h_i \end{cases} \quad (8.41)$$

El coeficiente k_j está definido como

$$k_j = \left(\frac{1}{C_j} \right)^{1/2} \quad (8.42)$$

8.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si en la red por analizar se conocen en los nudos los gastos que entran o salen de éste y al menos una carga, es posible calcular las cargas y los gastos en toda la red. Para lograrlo se tiene que resolver un sistema de ecuaciones no lineales como se mostrará adelante.

El principio de continuidad para flujo permanente establece que la suma de los gastos que llegan a un nudo es igual a la suma de los gastos que salen del mismo.

Al aplicar este principio en cada nudo de la red se establece una ecuación lineal en términos de los gastos. Por ejemplo, para el nudo 15 de la red de la figura 8.6 se tiene que

$$Q_{17} + Q_{18} - Q_{19} - Q_{20} = G_{15} \quad (8.43)$$

donde Q_j es el gasto que fluye dentro de la tubería j y G_n el gasto de salida de la red desde el nudo n .

En general para cualquier nudo n de la red se plantea una ecuación de la forma siguiente:

$$\sum_{j=1}^m Q = G_n \quad (8.44)$$

donde la suma se hace para todos los tubos j conectados al nudo n .

Si ahora se sustituye cada uno de los gastos que circulan dentro de las tuberías en términos de los niveles piezométricos (según la ecuación 8.41), se forma un sistema no lineal de ecuaciones.

Así para el nudo 15 de la figura 8.6 se tendrá que

$$k_{17}(h_{14} - h_{15})^{1/2} + k_{18}(h_3 - h_{15})^{1/2} - k_{19}(h_{15} - h_5)^{1/2} - k_{20}(h_{15} - h_7)^{1/2} = g_{15} \quad (8.45)$$

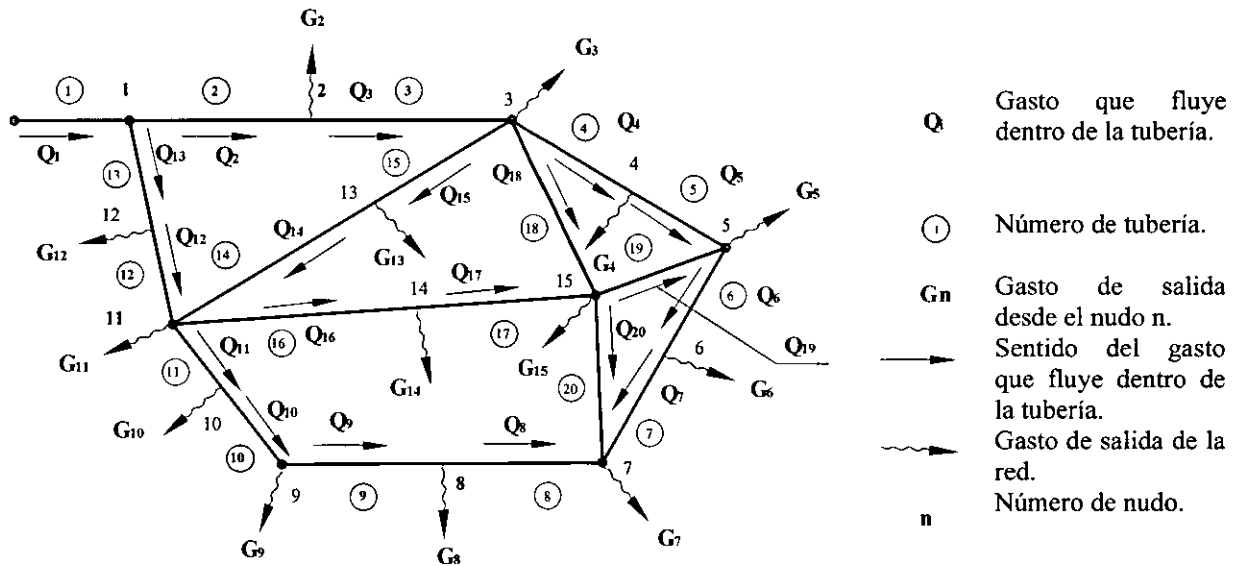


Figura 8.6 Red de tuberías

De este modo para cualquier nudo n de la red se puede escribir que

$$\Sigma F(h) = G_n \quad (8.46)$$

En la expresión anterior la suma se efectúa para todos los tubos j conectados al nudo n y $F(h)$ es una función no lineal que incluye a las cargas piezométricas en los extremos de todos los tubos j .

La solución a la red consiste en encontrar las cargas h que satisfacen simultáneamente el sistema de ecuaciones 8.46. Una vez obtenidas las cargas de presión, con la ecuación 8.41 se calculan los gastos que fluyen dentro de las tuberías.

8.4 MÉTODOS DE REVISIÓN

Se mencionarán tres métodos de solución para resolver un sistema de ecuaciones no lineales, debido a que finalmente es lo que conlleva a la solución de la red.

Por facilidad de cálculo la red se puede analizar por circuitos, por lo que se debe asignar convencionalmente (si se trata de los gastos) signos positivos a los gastos que circulan conforme a la dirección de las manecillas del reloj y negativos en caso contrario.

8.4.1 Método de la teoría lineal

El método de la teoría lineal ayuda a resolver los sistemas de ecuaciones pertenecientes a redes aún cuando se cuenta con bombas y depósitos o cuando no se conocen los gastos externos a la red, ya que pueden ser obtenidos como parte de la solución; tiene varias ventajas sobre los métodos de Newton Raphson y Hardy Cross (que más adelante se describirán), ya que en primer lugar no se requieren datos precisos para comenzarlos a aplicar y en segundo lugar siempre tiende a converger con relativa facilidad (pocas iteraciones).

Si se recuerda que la carga total disponible en una tubería está dada por la ecuación 8.39 escrita como sigue:

$$h_f = C_j \left| Q_j^{n-1} \right| Q_j = C'_j Q_j \quad (8.47)$$

donde el coeficiente C'_j está definido para cada tubería como el producto de C_j multiplicado por Q_j^{n-1} , siendo éste último una estimación casi igual al caudal que fluye en la tubería. Si se aplica este artificio en las expresiones obtenidas con la aplicación de la ecuación de la energía en los circuitos de la red a analizar, se puede formar un sistema de ecuaciones compatible; que por otro lado, estará constituido con las ecuaciones resultantes de la aplicación del principio de continuidad en cada nudo.

El sistema de ecuaciones planteado es lineal, cuya solución es relativamente fácil de obtener, sin embargo, la solución inicial no necesariamente será la correcta porque el gasto Q_j^{n-1} (en las expresiones resultantes de la aplicación de la ecuación de la energía) probablemente no se estimó igual al gasto Q_j . Empero, si se repite el proceso una vez que se mejoró la estimación de Q_j , eventualmente el Q_j^{n-1} será igual a Q_j , después de esta iteración la solución correcta habrá sido obtenida.

Cuando se aplica el método de la teoría lineal no se requiere proporcionar una suposición inicial del gasto como aparentemente se necesita es decir, en la primera iteración el valor de C_j puede ser igual al de C_j , lo cual implica que el valor del gasto Q_j^{n-1} sea igual a la unidad. Es posible observar durante la aplicación del método que las iteraciones sucesivas siempre convergen. Wood (Fuentes y Martínez, 1988), sugiere que después que han sido obtenidas dos soluciones iterativas, el promedio de ambas sea utilizado para la siguiente iteración, esto es:

$$Q_j^n = \frac{Q_j^{n-1} + Q_j^{n-2}}{2} \quad (8.48)$$

La solución del sistema de ecuaciones lineales se puede conseguir utilizando alguno de los siguientes métodos: Eliminación de Gauss, Eliminación de Gauss-Jordan, Descomposición LU, Gauss-Seidel, Sobrerrelajación, Jacobi, etc., (para la consulta de cualquiera de los métodos antes citados se recomienda Fuentes y Martínez, 1988). De preferencia uno que aproveche la gran cantidad de coeficientes de las incógnitas que son nulos.

En el cálculo del parámetro C es necesario conocer el coeficiente de rugosidad (el factor de fricción f si se utiliza la expresión de Darcy-Weisbach), que requerirá conocer la velocidad, por lo que inicialmente se tendrá que proponer un valor característico del coeficiente de rugosidad de acuerdo con las condiciones establecidas y la expresión a emplear. Una vez determinados los gastos en la primera iteración de la secuela del cálculo se hará la corrección requerida en los parámetros C de cada tubería para la siguiente iteración, y así sucesivamente.

El método es aplicable aún en redes alimentadas por bombas o en las que se cuenta con dispositivos como válvulas reductoras de presión. Actualmente existen programas basados en este método que permiten realizar eficientemente un análisis de una red (Fuentes y Martínez, 1988).

8.4.2 Método de Newton-Raphson

Uno de los métodos ampliamente utilizados para resolver ecuaciones implícitas (no lineales) es el de Newton-Raphson. Su extensa aplicación se debe a que una vez obtenida la primer derivada de la función converge rápidamente a la solución.

La solución de la ecuación $f(x) = 0$ es obtenida por medio de la fórmula iterativa

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (8.49)$$

La ecuación anterior se deduce de la serie de Taylor escrita en la forma

$$f(x + \Delta x) = f(x) + f'(x)\Delta x + \frac{1}{2!}f''(x)\Delta x^2 + \dots + \frac{1}{m!}f^m(x)\Delta x^m \quad (8.50)$$

Si se toma en cuenta que $\Delta x = x_{n+1} - x_n$ y que el valor calculado a partir del tercer término después de la igualdad de la serie de Taylor es muy pequeño, razón por lo cual no tiene caso considerarlo; entonces

$$x + \Delta x = x_n + (x_{n+1} - x_n) = x_{n+1} \quad (8.51)$$

y la ecuación 8.50 se puede escribir como

$$f(x_{n+1}) = f(x_n) + f'(x_n)(x_{n+1} - x_n) \quad (8.52)$$

En el método se desea que $x_{n+1} \approx \alpha$ (α , es la raíz), por consiguiente $f(x_{n+1}) = 0$ y la ecuación 8.52 se escribe

$$0 = f(x_n) + f'(x_n)(x_{n+1} - x_n) \quad (8.53)$$

finalmente si se despeja la incógnita x_{n+1} se llega a la ecuación 8.49

Para extender la aplicación de este método de una sola función a un sistema de ecuaciones, basta con remplazar la variable independiente x y la función $f(x)$ por los vectores \bar{x} y $\bar{f}(x)$, de la misma forma la inversa del jacobiano J^{-1} sustituye al elemento $1/f'(x)$, de tal modo que se tendrá

$$\bar{x}_{n+1} = \bar{x}_n - J^{-1}\bar{f}(x_n) \quad (8.54)$$

Al resolver un sistema de ecuaciones donde las incógnitas son las cargas en el sistema, el vector \bar{x} se convertirá en el vector \bar{h} , si por otro lado, los valores buscados son los gastos que circulan por las tuberías, dicho vector será $\Delta \bar{Q}$; los elementos de los que estarán constituidos estos vectores serán

$$\bar{h} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_L \end{bmatrix} \quad \Delta \bar{Q} = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta Q_L \end{bmatrix}$$

La matriz J denominada jacobiano es la que está constituida por las derivadas de las funciones del sistema, el primer renglón será la derivada de la primera función con respecto a las variables independientes, de la misma forma el segundo renglón estará constituido por las derivadas de la segunda función con respecto a las variables independientes, respetando el orden establecido inicialmente y así sucesivamente; por ejemplo el jacobiano cuando se tienen las cargas como incógnitas es el de la ecuación 8.55.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial h_1} & \frac{\partial f_1}{\partial h_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial h_j} \\ \frac{\partial f_2}{\partial h_1} & \frac{\partial f_2}{\partial h_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial h_j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_j}{\partial h_1} & \frac{\partial f_j}{\partial h_2} & \dots & \frac{\partial f_j}{\partial h_j} \end{bmatrix} \quad (8.55)$$

El último término de la ecuación 8.54 contiene la inversa del jacobiano (J^{-1}), sin embargo, en el caso de la aplicación del método de Newton-Raphson no conviene obtener dicha inversa y premultiplicarla por el vector de funciones $\vec{f}(x)$ como lo implica la ecuación antes mencionada. Lo que generalmente se emplea, es la solución de un vector \vec{z} del siguiente sistema lineal $D\vec{z} = \vec{f}$ el cual es sustraído de una previa iteración con un vector de valores supuestos. Si tomamos nuevamente un sistema de ecuaciones donde las cargas son las incógnitas, la fórmula iterativa de Newton-Raphson estará definida por la ecuación 8.56.

$$\vec{h}_{n+1} = \vec{h}_n - \vec{z}_n \quad (8.56)$$

la equivalencia de las ecuaciones 8.54 y 8.56 es evidente ya que $\vec{z} = D^{-1}\vec{f}$. Esto se hace con el objetivo de facilitar la programación por computadora del método, porque de lo contrario sería necesario encontrar la inversa de la matriz J y ello implica más cálculos que procediendo del primer modo.

El método de Newton-Raphson, por lo tanto, obtiene la solución de un sistema de ecuaciones no lineales por medio de iteraciones en un sistema de ecuaciones lineales. En este sentido el método es similar al de la teoría lineal, ambos pueden emplear el mismo algoritmo de solución; sin embargo, el jacobiano es una matriz simétrica que facilita la obtención de resultados y en consecuencia, se prefiere su empleo.

En este método se requiere al inicio de una suposición de valores con una aproximación razonable a los resultados finales, porque de lo contrario es posible que no tienda a

converger, pero probablemente es la mejor opción para resolver sistemas de ecuaciones grandes. Además, los programas de cómputo que en él se basan tienen la ventaja de ocupar menos capacidad de memoria durante su operación.

8.4.3 Método de Hardy Cross

Este método consiste en aproximaciones sucesivas que pueden aplicarse a los gastos supuestos en un principio, o bien, a las pérdidas de carga iniciales.

a) *Balanceo de cargas por corrección de gastos acumulados.*

Debido a que es muy difícil tratándose de una red hacer una suposición concreta de la distribución de los escurrimientos en las diversas tuberías, en el método de aproximaciones sucesivas de Hardy Cross se procede a calcular los errores contenidos en la distribución de gastos inicialmente supuestos en un circuito, aplicar las correcciones consiguientes y repetir el procedimiento hasta que la pérdida de carga por cualquier camino recorrido del circuito sea la misma; y se alcance así el equilibrio hidráulico en la red.

Si se analiza el siguiente circuito

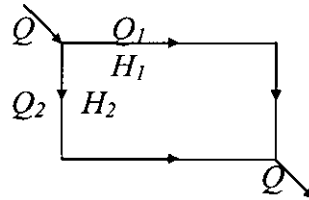


Figura 8.7 Circuito de análisis

A cada gasto Q_1 y Q_2 corresponden pérdidas de carga H_1 y H_2 respectivamente, las pérdidas en función del gasto están dadas por la ecuación:

$$H = C Q^m \quad (8.57)$$

donde

C es una constante que depende de la tubería
 m es una constante común en todas las tuberías, adopta el valor de 2 cuando se aplican las fórmulas de Darcy-Weisbach y Manning, y un valor de 1.852 para el uso de la expresión de Hazen-Williams.

Tomando Q_1 y Q_2 de un sistema balanceado hidráulicamente se tendrá

$$\begin{aligned} H_1 &= C_1 Q_1^m \\ H_2 &= C_2 Q_2^m \end{aligned}$$

Entonces $H_1 = C_1 Q_1^m$ debe ser igual a $H_2 = C_2 Q_2^m$, o sea, $H_1 - H_2 = 0$. Lo más usual en un primer ensayo es que $H_1 \neq H_2$.

Por consiguiente, debe aplicarse una corrección a los valores iniciales Q_1 y Q_2 ; así por ejemplo, si $H_1 < H_2$, Q_1 necesita un incremento q quedando $Q_1' = Q_1 + q$, mismo que debe ser restado al Q_2 , por lo que $Q_2' = Q_2 - q$.

Si q es la corrección real, tenemos que $H_1' - H_2' = 0$, o bien

$$C_1 (Q_1 + q)^m - C_2 (Q_2 - q)^m = 0 \quad (8.58)$$

Si se desarrollan los binomios de la ecuación 8.58 y se considera que la primera estimación del gasto ha sido razonable de tal forma que q será pequeño pudiéndose despreciar algunos términos, se llega a la expresión (Sotelo, 1987):

$$q = - \frac{H_1 - H_2}{m \left(\frac{H_1}{Q_1} + \frac{H_2}{Q_2} \right)} \quad (8.59)$$

en donde Q_1 , Q_2 , H_1 y H_2 tienen los signos correspondientes (+ ó -) según el sentido del recorrido. Generalizando la expresión 8.59

$$q = - \frac{\sum H}{m \sum \frac{H}{Q}} \quad (8.60)$$

El número de correcciones que debe hacerse depende de la aproximación del gasto distribuido en la primera estimación y del grado de exactitud deseado en los resultados.

Para efectuar los cálculos conviene tabular los siguientes datos: el número del circuito por analizar, que en primer lugar será el más próximo al tanque de regularización, los tramos considerados a partir de los puntos de alimentación al igual que su longitud, gasto acumulado (de acuerdo al sentido del recorrido y al criterio del proyectista) y diámetro supuesto, para las dos ramas del circuito; enseguida, se tendrán que anotar los datos de los demás circuitos. Previamente, se deben consignar en la tabla los datos de la línea de alimentación y la cota de terreno del tanque.

Tabulados los datos, se determinan las pérdidas de carga en las ramas de los circuitos y se hacen las correcciones que sean necesarias a los diámetros supuestos, a continuación se determinan las diferencias de pérdidas de carga con que se llega a los puntos de equilibrio en cada uno de los circuitos que se tienen, se aplican las correcciones consiguientes y se determinan nuevamente las pérdidas de carga en cada tramo de las tuberías principales. Se

repite el procedimiento hasta que las pérdidas de carga que se tengan en las dos ramas de cada circuito sean prácticamente iguales.

Generalmente, con dos correcciones que se hagan, se obtiene el ajuste del funcionamiento hidráulico en redes de localidades urbanas pequeñas.

Logrado el ajuste del funcionamiento hidráulico de la red, se anotan en las tablas de cálculo las elevaciones de terreno para cada uno de los tramos considerados; después se obtienen las cotas piezométricas (considerando el tanque vacío) que se tienen al final de cada tramo y, finalmente, las cargas de presión disponibles en las tuberías principales; las que deberán estar comprendidas entre los valores recomendados.

En caso contrario, se procederá a efectuar las modificaciones que sean necesarias, de preferencia variando el diámetro de las tuberías o modificando si es posible la elevación del tanque de regularización.

b) Balanceo de gastos por corrección de cargas.

Si los gastos son desconocidos y hay varias entradas, la distribución del gasto puede determinarse por el método de balanceo de gastos. Se deben conocer las cargas de presión en las entradas y salidas.

El método se basa en considerar que la suma de los gastos en un nudo es igual a cero y que los gastos de entrada y salida están dados con signo contrarios.

La carga supuesta en toda la tubería está definida por la ecuación 8.57 y la carga corregida por la siguiente ecuación

$$H + h = C (Q + q)^m = C (q^m + m q Q^{m-1} + \dots) \quad (8.61)$$

en donde h es la corrección de la carga, sustituyendo las ecuaciones 8.57 y $H/Q = C Q^{m-1}$ (del desarrollo de la ecuación 8.58 César,1991), se tendrá

$$H + h = H + m q \frac{H}{Q} \quad (8.62)$$

por lo que $q = \frac{h Q}{m H}$ en cada nudo. Exceptuando los nudos de entrada y salida, la suma de los gastos corregidos debe ser igual a cero, por lo que se tendrá $\sum(Q + q) = 0$, $\sum Q = -\sum q$, pero

$$\sum q = \frac{h}{m} \sum \frac{Q}{H} \quad (8.63)$$

despejando la corrección de la carga h

$$h = -\frac{m \sum Q}{\sum Q/H} \quad (8.64)$$

el valor de m dependerá de la expresión empleada para el cálculo de las pérdidas por fricción.

La secuela de cálculo para la aplicación de este método es la siguiente:

- a) Se calcula la pérdida de carga en los tramos (diferencia de niveles).
- b) Se supone que los gastos de entrada a un nodo tendrán signo positivo y los de salida negativo.
- c) Se encuentra el gasto en cada tramo, teniendo como datos el coeficiente de rugosidad, la longitud y diámetro de la tubería y la carga H .
- d) Se encuentra la corrección h con la expresión 8.64.
- e) Se suma algebraicamente $H+h$ obteniendo la H_1 , el proceso se repite hasta alcanzar una corrección tan pequeña como se quiera.
- f) Se encuentra la H compensada. Se hace en forma arbitraria de tal manera que la suma de Q sea igual a cero (gastos de ingreso y extracción en el nudo equilibrados).

8.5 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

Para resolver las ecuaciones de una red de tuberías se puede utilizar un procedimiento apoyado en el método de Newton-Raphson (Fuentes y Sánchez, 1991).

Considerando nuevamente la serie de Taylor (ecuación 8.50)

$$f(x + \Delta x) = f(x) + f'(x)\Delta x + \frac{1}{2!}f''(x)\Delta x^2 + \dots + \frac{1}{n!}f^n(x)\Delta x^n$$

Sea la función $f(Q)$, sustituyendo en la ecuación anterior y considerando hasta la primera derivada se tendrá

$$f(Q + \Delta Q) = f(Q) + f'(Q)\Delta Q \quad (8.65)$$

de la ecuación 8.39 se obtiene

$$f(Q) = C_j | Q_j | Q_j \quad (8.66)$$

$$f'(Q) = 2 C_j Q_j \quad (8.67)$$

Si tomamos en cuenta que $Q = Q_j^k$, donde k representa una condición conocida y $\Delta Q = Q_j^{k+1} - Q_j^k$, entonces

$$f(Q) = f(Q_j^k) = C_j (Q_j^k)^2$$

$$f'(Q) = f'(Q_j^k) = 2 C_j (Q_j^k)$$

$$f(Q + \Delta Q) = f(Q_j^{k+1}) = C_j (Q_j^{(k+1)})^2 \quad (8.68)$$

$$f(Q + \Delta Q) = h_s^{k+1} - h_t^{k+1}$$

sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación (8.65)

$$h_s^{k+1} - h_t^{k+1} = C_j (Q_j^k)^2 + 2 C_j (Q_j^k) (Q_j^{k+1} - Q_j^k) \quad (8.69)$$

despejando Q_j^{k+1} se tendrá

$$Q_j^{k+1} = \frac{h_s^{k+1} - h_i^{k+1}}{2 C_j |Q_j^k|} + \frac{Q_j^k}{2} \quad (8.70)$$

Si se considera

$$\alpha_j = \frac{1}{2 C_j |Q_j^k|} \quad (8.71)$$

entonces la ecuación 8.71 se puede escribir

$$Q_j^{k+1} = \alpha_j (h_s^{k+1} - h_i^{k+1}) + \frac{1}{2} Q_j^k \quad (8.72)$$

A medida que k aumenta, Q_j^k y Q_j^{k+1} tienden a ser iguales y la ecuación 8.72 se hace similar a la ecuación 8.41. La expresión 8.72 es la ecuación fundamental del método.

Si los gastos (en el entendido que corresponden a los valores de gasto de la iteración k) de cada tubería de la red se expresan en términos de las cargas piezométricas de acuerdo con la ecuación 8.72 y luego, se sustituyen en las ecuaciones de continuidad (ecuación 8.44), se obtiene una ecuación lineal en términos de las cargas. Por ejemplo, al nudo 15 de la red de la figura 8.6 le corresponde la expresión algebraica 8.43. Al sustituir los gastos que aparecen en esta ecuación (Q_{17} , Q_{18} , Q_{19} y Q_{20}) por las expresiones que resultan al considerar la ecuación 8.60, se encuentra

$$\begin{aligned} & (-\alpha_{17} - \alpha_{18} - \alpha_{19} - \alpha_{20}) h_{15}^{k+1} + \alpha_{17} h_{14}^{k+1} + \alpha_{18} h_3^{k+1} + \alpha_{19} h_5^{k+1} + \alpha_{20} h_7^{k+1} \\ & = \left(-\frac{Q_{17}^k}{2} - \frac{Q_{18}^k}{2} + \frac{Q_{19}^k}{2} + \frac{Q_{20}^k}{2} \right) + G_{15} \end{aligned} \quad (8.73)$$

En la ecuación anterior se aprecia que, si se prescinde del superíndice k , el término entre paréntesis del miembro derecho es precisamente $-G_{15} / 2$ (de la ecuación 8.43). Por lo cual la ecuación anterior se puede escribir

$$(\alpha_{17} - \alpha_{18} - \alpha_{19} - \alpha_{20}) h_{15}^{k+1} + \alpha_{17} h_{14}^{k+1} + \alpha_{18} h_3^{k+1} + \alpha_{19} h_5^{k+1} + \alpha_{20} h_7^{k+1} = G_{15} / 2 \quad (8.74)$$

En general, se afirma que se requiere resolver un sistema de ecuaciones lineales del tipo

$$A h^{k+1} = b \quad (8.75)$$

donde las incógnitas son las cargas h en la iteración $k+1$.

Los coeficientes de la matriz A dependen de los parámetros α_j y el vector columna b de los gastos de demanda G_n y algunos parámetros α_j , cuando se relaciona con una carga conocida (por ejemplo, de un tanque).

Como en la iteración k , las variables Q^k y h^k son conocidas, con la ecuación 8.71 es posible calcular los parámetros α y luego, es sencillo formar el sistema de ecuaciones lineales, 8.75.

La solución del sistema 8.75 proporciona los valores de las cargas piezométricas h^{k+1} . A partir de estas cargas, con la ecuación 8.70 se calculan los gastos Q_j^{k+1} . Cuando en todas las tuberías los gastos entre dos iteraciones consecutivas Q_j^k y Q_j^{k+1} son aproximadamente iguales, se obtuvo la solución de la red. Cuando se llega a esta situación se afirma que los gastos que fluyen en la tuberías tienen los valores Q_j^{k+1} y que en sus nudos las cargas piezométricas son h^{k+1} . De otro modo, se asignan a las variables en la iteración k las de la iteración $k+1$ y se repite el proceso a partir del cálculo de los parámetros α .

En el diagrama de bloques de figura 8.6 se puede observar la secuela de cálculo a seguir, y con base en el cual se podría realizar un programa de cómputo que facilitará la aplicación del método para el análisis estático de una red de tuberías.

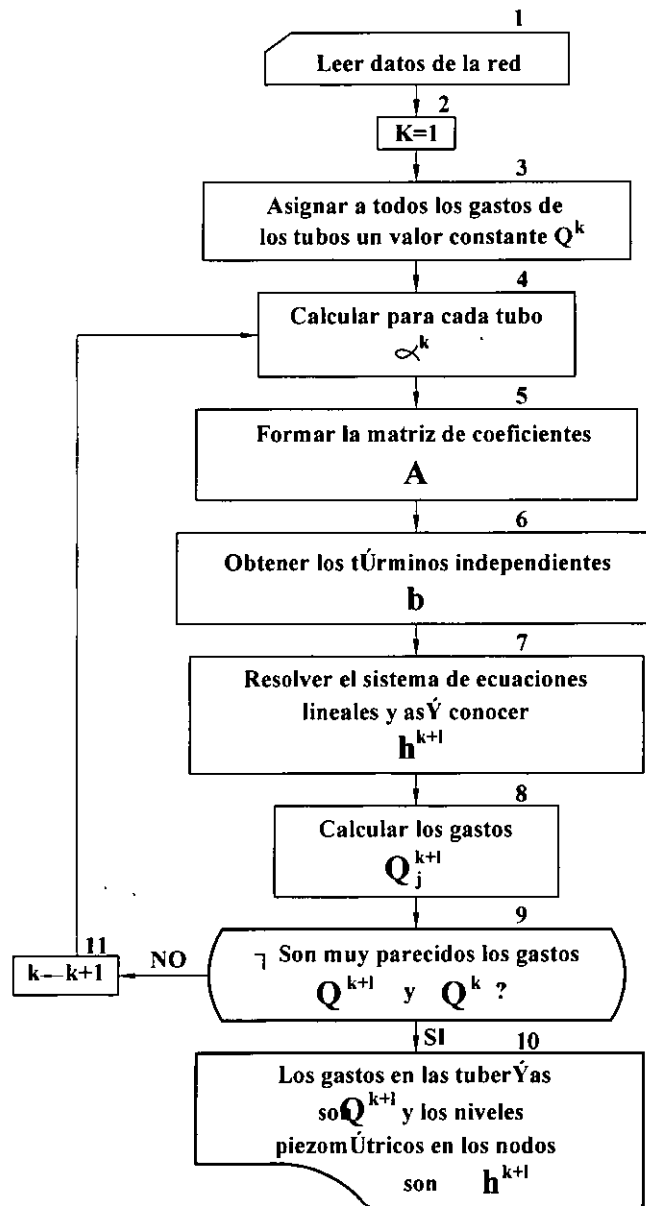


Figura 8.8 Diagrama de bloques del método



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

SECTORIZACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN SEGUNDA FASE

CI 54

TEMA:

APUNTES 101011 SECTORIZACIÓN

**EXPOSITOR: DR. OSCAR FUENTES MARILES
DEL 18 AL 22 DE OCTUBRE DE 2010
INGENIERÍA AMBIENTAL**

2. APUNTES DE SECTORIZACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE.

Notas tomadas de la publicación del Ing Antonio Capella Vizcaíno elaborada para CONAGUA.

No es difícil entender que una empresa dedicada a la producción y venta de agua embotellada sea muy estricta en controlar el volumen de agua que compra y el que vende, mantiene contacto con sus principales distribuidores y lleva una contabilidad de su actividad, preocupándose especialmente de sus estados financieros.

Dentro del subsector agua potable y saneamiento, la situación no es tan simple, pues el producto que se vende es el **servicio** más que el **agua**. Siendo el agua un elemento de "propiedad común", lo que se ofrece realmente es la captación del agua, su conducción, purificación, y su entrega a domicilio. Este proceso se complica en la medida que se incrementa el volumen de clientes que lo demandan, porque además es una responsabilidad de las autoridades municipales y un derecho humano de los habitantes de una localidad.

Con el crecimiento demográfico, y principalmente con la desordenada expansión de los asentamientos humanos, los organismos operadores de agua potable enfrentan numerosas complicaciones para incrementar la infraestructura y buscar nuevas fuentes de abastecimiento, olvidando casi por completo el mantener y reforzar la infraestructura actual.

Ante esta situación, es imprescindible voltear la mirada hacia una mejor gestión del agua potable, priorizando aquellas acciones encaminadas al manejo de los consumos y el incremento en la eficiencia con la que se presta el servicio, reduciendo el volumen de agua perdida en fugas, verificando las tarifas y aumentando la base de facturación y real cobro.

Actualmente, y con base en la experiencia de varios países que lo han logrado, algunos de los organismos operadores nacionales también han adoptado esta nueva visión en el manejo del agua, y casi todos ellos coinciden en la sectorización como uno de los primeros pasos para facilitar el control gradual de la red de distribución, avanzando en forma ordenada y sólida.

"En el problema del agua, no todo es financiamiento, tarifas y cultura de uso, algo tiene que ver la ingeniería"

Antonio Capella Vizcaíno

2.1 Configuración

La distribución de agua a la población se lleva a cabo con un sistema de tubería, generalmente enterrada, conformada por una red primaria, que puede ser cerrada, formando circuitos, o bien abierta o ramificada, cuyo objetivo principal es conducir el agua a todas las zonas de la localidad, y cuyos diámetros se diseñan para satisfacer la máxima demanda en la hora de mayor consumo. La red secundaria se alimenta de la primaria y se construye en todas y cada una de las calles a fin de llevar el agua hasta los usuarios, quienes se conectarán a esta red a través de las denominadas tomas domiciliarias.

Este sistema de tubos denominado red de distribución, se diseña a partir de cálculos teóricos que generalmente parten de una serie de hipótesis y ecuaciones empíricas, lo que ocasiona que su funcionamiento real pueda ser diferente a las condiciones de partida. Es por ello que se hace necesaria la instalación de una serie de controles que permitan regular el flujo y manipular la presión interna, lo que se consigue con la operación de válvulas. Así, cuando el caudal o la presión del agua no son suficientes para realizar el reparto uniforme a toda la población, los encargados de esta tarea abren y cierran válvulas en forma “estratégica” para distribuir el líquido de la mejor manera.

La gran mayoría de las redes de nuestro país no logran distribuir uniformemente el agua y mucho menos mantener esta perfecta distribución, por la razón ya descrita, lo que da origen al término “tandeo”, que significa que se realizará el abasto a las viviendas a través de tandas; es decir, primero se suministran algunas zonas y después a otras. Este tandeo se traduce en que los usuarios pueden estar sin servicio varias horas al día en el mejor de los casos, o algunos días de la semana, lo que es común; una consecuencia adicional es las redes que “sufren” los tandeos, presentan un envejecimiento y deterioro prematuro.

En ocasiones, la red también presenta diversas configuraciones de acuerdo a la topografía de la localidad. Aparentemente, una ciudad plana ofrecería ventajas para la operación normal de una red, pero los puntos más alejados reciben menores caudales con bajas presiones.

Algunos fabricantes de válvulas ofrecen modelos que mantienen la presión; otras soluciones abarcan la instalación de bombas que incrementan la carga de presión (tipo booster), o la operación de válvulas de seccionamiento en los puntos cercanos a la alimentación para mantener la presión y suministrar directamente a los puntos alejados.

Seguramente las zonas montañosas o con fuertes pendientes, son las que exigen mayores controles para evitar las fuertes presiones y las altas velocidades. Generalmente, las redes primarias en estas condiciones son sectorizadas desde su diseño, en ocasiones con la construcción de cajas rompedoras de presión, que

no son más que un recipiente que devuelve al fluido la presión atmosférica para posteriormente alimentar a otra parte de la red, aunque también existen en el mercado válvulas reguladoras de presión.

Es sumamente importante resaltar que las redes en malas condiciones, muy comunes en nuestro país, requieren igual atención en lo relativo al control de las presiones, a pesar de tener una topografía plana u operar con bajas presiones.

En la literatura técnica se llega a encontrar como tipología de redes de distribución, la que divide a las redes que funcionan por acción de la fuerza de gravedad, gracias a la alimentación de un tanque, superficial o elevado, que se encuentra a una altura topográfica suficiente para el funcionamiento de la red; y las que son alimentadas por equipos de bombeo, a partir de tanques subterráneos, o directamente de las bombas que extraen el agua de pozos.

2.2 Operación normal

El buen funcionamiento de una red de distribución se logra al abastecer de agua potable a todos los usuarios conectados, no sólo en cantidad y a una adecuada presión, sino también en continuidad. La existencia del tandeo suele justificarse por la falta de agua, aunque en la mayoría de los casos se debe a la manipulación del funcionamiento de la red, en principio por las deficiencias en el diseño del sistema, pero la realidad indica que la operación de válvulas y el establecimiento del servicio tandeado es para tratar de llevar el agua hasta las zonas más alejadas o más altas, en donde el agua no llegará nunca mientras ésta tenga el camino libre a las zonas bajas. A veces concientes y a veces no, los operadores abren y cierran válvulas para controlar la presión y reducir las fugas en lo posible, haciendo en forma artesanal la función de las válvulas reguladoras.

Evidentemente, mientras se disponga de más puntos de control, se podrá intervenir en su funcionamiento, pero al mismo tiempo se vuelve más compleja la combinación de aberturas y cierres en cada interconexión, quedando esta delicada tarea en manos de los operadores, quienes solo cuentan con su experiencia y sentimiento.

Es importante resaltar aquí que el proceso de cambio de un sistema de suministro a otro no es sencillo y debe pasar por una correcta planeación de actividades y una apropiada sectorización de la red, tema que se discutirá más adelante.

No debe extrañar al lector el hecho de que países desarrollados mantengan bombeos directos a la red, dado que controlan perfectamente las variaciones en la demanda así como el comportamiento hidromecánico de los equipos de bombeo,

ya sea con arreglos de varias unidades y el arranque o paro de motores en forma programada, con cambios automáticos en la velocidad de rotación a través de variadores de frecuencia, o bien con la instalación de válvulas de control de bomba. Esto permite manipular los gastos de entrega y las presiones en la red dentro de un cierto rango de operación.

2.3 Problemas comunes de operación

Existen un sinnúmero de dificultades que enfrentan los que operan una red de distribución, las que dependen en gran medida de las características del sistema, el estado de la infraestructura, las condiciones topográficas, etc. Sin embargo, pueden citarse los problemas más frecuentes que pueden detectarse en un sistema común.

El diseño de la red de distribución lo hace el ingeniero proyectista con base en su experiencia, sin contar con las recomendaciones que son importantes para los responsables de la operación del sistema.

La construcción de la red suele ir acompañada de modificaciones al diseño original sin la emisión de planos de obra terminada, ocasionando con esto la dificultad de actuar sobre la infraestructura existente al no coincidir con la información plasmada en el proyecto.

En el mejor de los casos, la red de distribución puede tener el comportamiento esperado y funcionar bien, pero el paso del tiempo provoca el incremento de la rugosidad en las conducciones y el envejecimiento de los materiales, acompañado del deterioro natural y primeros fallos en los accesorios y equipos que constituyen el sistema. Ante esto, los operadores inician el desarrollo de sus aptitudes “artesanales” para controlar el suministro con cierto nivel de calidad.

Crecimiento anárquico de la red, construyendo ampliaciones que no responden a una simulación hidráulica previa y que generalmente no satisface la demanda de la manera más eficiente, en detrimento de los nuevos usuarios, y afectando el flujo y las presiones de la red.

Falta de mantenimiento que acelera el deterioro de la infraestructura, ocasionando el incremento de fugas. En el caso de los equipos de bombeo, no sólo se reduce la eficiencia en su operación incrementándose los consumos de energía eléctrica, también presentan fallas continuas y deficiencias que demeritan la calidad del servicio.

Cuando el bombeo es directo a la red, las condiciones de operación cambian en el transcurso del día al variar la demanda, lo que provoca que las bombas salgan de la zona eficiente de operación para las que fueron seleccionadas, trabajando con presiones y gastos muy variables, lo que se traduce en la presencia de fenómenos transitorios y sometiendo a la tubería a fluctuaciones importantes de esfuerzos.

En general, los problemas de operación se recrudecen cuando no existe información fidedigna sobre la infraestructura y su funcionamiento, particularmente sobre los registros de mediciones de caudal y presión en los

puntos de alimentación y en algunos puntos estratégicos, la medición de los consumos de los usuarios en las tomas domiciliarias, o cuando menos la injerencia de datos a partir de algunos muestreos; tampoco existe una cultura de elaboración de bases de datos sobre las fallas de tubería, el registro de reparaciones, el control programado de mantenimiento, el historial de “vida” de los equipos de bombeo, etc.

Cuando se aborda el tema de la sectorización, motivo de este trabajo, quizás el problema principal es la baja eficiencia física de las redes de distribución, entendida como el cociente que resulta de la relación entre el volumen de agua producido y el que finalmente llega a los usuarios.

Los estudios de evaluación de pérdidas de agua¹ elaborados a la fecha en diversas ciudades del país, indican que en los sistemas de abastecimiento de agua potable, las pérdidas físicas son de aproximadamente el 40%; y de éstas, las dos terceras partes se pierden en las tomas domiciliarias (68% del volumen de agua perdida).

¹ *Estudios de Evaluación de pérdidas* elaborados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 1994. México.

Como resultado de lo anterior, se ha publicado una norma oficial mexicana de carácter obligatorio, que busca minimizar las pérdidas de agua potable en este elemento. La norma se identifica como la NOM-002-CNA-1995; en la que se establecen las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir la toma domiciliaria para el abastecimiento de agua potable, con el fin de preservar el recurso hidráulico, y puede consultarse a través de la Gerencia de Normas Técnicas de la CONAGUA (www.cna.gob.mx).

Uno de los problemas más graves detectados en los sistemas de distribución de agua se vincula con los incrementos de presión interna en la tubería debido a la caída del consumo durante varias horas de la madrugada. En la figura 2.8 se muestran las variaciones en la demanda a través del día y el consecuente incremento de la presión en la red, tomados de un estudio elaborado en el sector Santa Lucía 1, en el poniente de la Ciudad de México, D.F.²

Evidentemente, los trabajos iniciaron con la creación de un circuito controlado, en el que se realizó una campaña de mediciones del gasto de entrada y tomas de presión; los detalles se reportan en el último apartado, al presentar los casos de éxito seleccionados.

² Capella Vizcaíno, A. *Control de presiones y reducción de fugas en el sector Sta. Lucía 1, D.F.* Informe de los resultados alcanzados, junio 2002, México.

Este aumento en la presión multiplica el número y el volumen de las fugas; dado que el consumo real de los usuarios entre las 0:00 y las 5:00 horas del día es mínimo o nulo, los gastos medidos representan entonces el agua destinada al llenado de cisternas y tinacos, a usuarios industriales, y sobre

todo a la pérdida a través de las fugas. Para que esto sea evidente, es necesario llevar a cabo esta práctica de mediciones en un determinado sector aislado de la red de distribución, a fin de garantizar que no existan derivaciones de caudal hacia otras zonas.

Detectada la situación y el nivel de sobre-presiones existente, la tarea se convierte en controlar, generalmente con válvulas reguladoras de presión, y reducir el volumen de fugas. En la figura 2.9 se muestran los resultados obtenidos en el trabajo de referencia, derivado del control de presiones en el sector, con la instalación de válvulas reguladoras de presión, logrando mantener una presión máxima nocturna del orden de los 40 mca (3,52 bar), en lugar de los 89 mca (7,84 bar), y reduciendo el caudal nocturno, de 58 a 21 L/s.

“Los humanos y las redes (de agua potable) tenemos algo en común: ... a partir de cierta edad, sufrimos de hipertensión”

Antonio Capella Vizcaíno

2.4 Sectorización

Curiosamente, la palabra sectorización no es reconocida por la Real Academia de la Lengua Española y no existe en el diccionario; la palabra sector está definida como a una parte de una ciudad, o como subdivisión de una red. Dentro del subsector de agua potable, el término sectorización es conocido como la formación de zonas de suministro autónomas, mas no independientes, dentro de una red de distribución; en palabras simples, es la partición de la red en muchas pequeñas redes, con el fin de facilitar su operación. De este modo, será mucho más sencillo controlar los caudales de entrada en cada sector, las presiones internas de la tubería, la demanda y el consumo, así como las pérdidas de agua, tanto en fugas como en usos no autorizados. Aun más, puede conducirse el agua por la red primaria, sin exceso de conexiones con la secundaria, desde la fuente de alimentación hasta los puntos más lejanos, generalmente sacrificados en la distribución del agua.

distrito hidrométrico = sector hidrométrico = sector

Es una sección de la red de distribución de agua potable, perfectamente delimitada por medio de válvulas de seccionamiento, adecuadamente instrumentada para aforar el caudal de entrada, para medir y controlar la presión de operación, a fin de brindar la misma calidad del servicio de suministro a la totalidad de los usuarios contenidos en esta red.

Ante tales ventajas, cualquier organismo operador desearía llevar a cabo la sectorización; no obstante, se requiere una serie de condiciones que permitan

realizarla con cierto nivel de confiabilidad y obtener los resultados esperados. **Debe contarse con la información completa del sistema de distribución (catastro), y la forma de operación real**, a fin de estar en posibilidades de utilizar un software o modelo numérico que permita simular el funcionamiento hidráulico del sistema, mismo que deberá verificarse a través de algunas mediciones estratégicas, y realizar así una calibración del modelo.

Son comunes los casos en que **los operadores creen conocer “su red” a la perfección**. Las decisiones de abrir y cerrar válvulas son totalmente empíricas, y distribuyen el agua a la localidad en forma ineficiente. La calibración de un modelo numérico permite contar con una red virtual idéntica a la real, en cuyos tubos podemos medir gastos y presiones que indiquen el comportamiento real del sistema. Cualquier cambio que se haga en el modelo permitirá conocer los efectos que produce, tomando entonces las decisiones pertinentes con la seguridad de que el funcionamiento real será el mismo que el obtenido a través de la computadora.

* Generalmente, el catastro no se incluye en las acciones de sectorización, pero es indispensable contar con esta información. Algunos operadores no consideran la importancia que tiene el catastro, y éstos tienen razón si sólo se hace para guardar los planos. Cabe destacar que no se requiere tener la información de la totalidad de la red, pero sí deberá ser una acción que vaya por delante al proceso de sectorización.

Al contar con un modelo confiable, debidamente calibrado, se podrá “jugar” con varias formas de operación, y sobre todo, la red puede dividirse en varios sectores mediante la conformación de los llamados “distritos hidrométricos”, que no es más que el establecimiento de sectores a fin de controlar y mantener presiones adecuadas, y realizar la auditoría del agua por zonas; es decir, conocer lo que sucede con el agua.

2.6 Factibilidad técnica y económica

La necesidad de llevar a cabo la sectorización de la red de distribución se hace mayor mientras ésta sea más grande, y por consecuencia su operación se vuelve más compleja. De este modo, destacan dos características principales de las grandes redes:

- **funcionan con diversos niveles de presión, a lo largo de la red y en el transcurso del día, y**
- **están formadas por una exagerada cantidad de circuitos cerrados, lo que en el medio se conoce como “fuertemente mallada”.**

De este modo, se hace necesaria una evaluación de la conveniencia de llevar a cabo la sectorización, pues debe garantizarse, cuando menos, que el servicio se mantenga en el mismo nivel de calidad. Aunque parezca absurda la aseveración anterior, no es muy remota la idea de provocar cambios bruscos en la operación

de la red en perjuicio de los usuarios, pues el proceso es lento y los resultados no son inmediatos. Por ello cobra importancia la confiabilidad de la información y la actualidad del catastro, así como la simulación del funcionamiento del sistema con un modelo calibrado.

Por otra parte, resulta indispensable el análisis de factibilidad económica a corto y mediano plazo, en donde se evalúe la rentabilidad de los diversos esquemas de sectorización planteados.

Los costos asociados a estas acciones, adicionales a los relacionados con la actualización del catastro y la modelación de un simulador hidráulico, incluyen la instalación de válvulas de seccionamiento y de control de la presión; y los cortes requeridos para independizar circuitos, así como la obra civil derivada de la instalación de nuevas líneas de interconexión, rehabilitación de tubería existente, nuevos tanques de almacenamiento, etc.

2.7 Etapas de la sectorización

El proceso de esta acción es largo y absorbe una importante cantidad de recursos humanos y económicos, por lo que debe partir de una planeación muy bien definida y sobre todo comprometida por parte de los responsables de la prestación del servicio de agua potable a una localidad, más aun si se considera que los resultados no se obtienen en el corto plazo y tampoco ofrece las bondades que representan las obras visibles que ganan popularidad entre la comunidad. Por ello, cobra gran importancia mantener informada a la ciudadanía sobre la necesidad de llevar a cabo estas acciones.

No está por demás el acercamiento a los organismos que de alguna manera ya han vivido la experiencia de este proceso con éxito, por lo que en el siguiente apartado se abordarán algunos casos destacados en la materia y cuyos resultados han dejado suficiente evidencia de su progreso.

En seguida se resumen las etapas que deben seguirse durante la sectorización:

- 1. Catastro del sistema de distribución de agua potable.**
- 2. Anteproyecto del sistema, definiendo puntos de alimentación y posibles interconexiones controladas para protección de eventualidades.**
- 3. Diseño e implementación de un sector piloto, incluyendo las válvulas de seccionamiento necesarias, los mecanismos para el control de las presiones, la medición de gastos de alimentación, así como la variación diaria de la demanda, ya sea que ésta sea supuesta o inferida por algunas mediciones.**
- 4. Calibración de un modelo de simulación hidráulica con base a las mediciones del punto anterior.**
- 5. Ajustar el proyecto piloto a partir de la modelación, controlando las presiones, midiendo los gastos, y evaluando la relación entre presión y fugas:**

6. Ampliación de la experiencia piloto a dos o tres sectores más.

7. Con los resultados obtenidos, puede evaluarse el proyecto integral de sectorización, con una muy buena aproximación sobre los costos y los beneficios que pueden esperarse, así como los tiempos necesarios.

2.8 Definición de sectores y puntos de alimentación

El sector está definido como una red de distribución más pequeña, perfectamente limitada y homogénea en su operación, de tal forma que facilite el control de su funcionamiento. Los criterios a seguir para llevar a cabo la división en sectores parten de la infraestructura existente y de las diferentes zonas de presión en operación normal antes de iniciado el proceso, lo que significa una primera propuesta de sectorización; las adecuaciones a ésta, pueden realizarse con la ayuda de las siguientes recomendaciones generales:

- Generalmente se puede considerar de 1 a 5 sectores por cada 100 hectáreas (1 km²); en zonas con alta densidad de población, los sectores pueden ser de 10 a 15 hectáreas. Algunos expertos dimensionan los sectores en función del número de usuarios o de tomas.
- Cualquiera de las recomendaciones que haya sido seleccionada para definir el tamaño de los sectores, deberá ajustarse a la geometría de la red, sobre todo a la adaptación de las condiciones de operación actuales y la facilidad de contar con un punto de suministro, aunque siempre será prudente contar con una alimentación de respaldo, aunque ésta se mantenga cerrada y sólo se utilice en contingencias.
- Minimizar las variaciones de presión de servicio al interior del sector; esto es, mantener una cierta uniformidad de presiones entre los 15 y 50 mca (1,32 y 4,40 bar), correspondientes a la dinámica mínima y estática máxima, respectivamente.
- Siempre será conveniente verificar las velocidades del agua, las que podrán estar comprendidas entre 0,6 y 2,0 m/s.

3 Ochoa A., Leonel; Bourguett O., Víctor. *Reducción integral de pérdidas de agua potable*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 2001.

Si bien es cierto que no resulta tan sencillo seguir todas estas sugerencias, las dificultades encontradas siempre podrán solventarse. Algunos de los problemas más comunes se refieren a la delimitación de los sectores, la caída de la presión en algunos puntos, la presencia de altas velocidades y la elevación de la presión durante las horas de menor consumo. Generalmente, este tipo de inconvenientes se reducen al considerar dos puntos de alimentación o al incluir la instalación de dispositivos reductores de presión, aunque en varias ocasiones será necesaria la construcción de líneas de interconexión adicionales.

Actualmente, la sugerencia se basa en la separación de la red primaria y la secundaria, de modo que no decaiga la presión interna de la conducción principal. De este modo, se ha dado paso a la construcción de redes en

bloques que poco a poco van sustituyendo las redes secundarias convencionales, tal y como se ilustra en las figuras 3.1 y 3.2.

La recomendación reiterativa, la más importante, se refiere a la alimentación del sector, misma que deberá contar con medición del caudal; sin embargo, también es muy recomendable contar con un tanque que regule los consumos y suministre el agua a la red con una presión relativamente constante.

El bombeo directo a la red provoca una variación adicional en las presiones de abastecimiento derivado del arranque y paro de los equipos, ya sean controlados o por fallas de energía eléctrica, así como a la propia naturaleza de operación de una bomba, de acuerdo a la rigurosa relación entre el gasto bombeado y la presión en la descarga, tal y como se muestra en la figura 3.3, donde se ilustra una curva característica tipo de una bomba común.

Probado y elegido el esquema de sectorización, se procede entonces a la selección de los elementos de control, que representan los medios para operar el funcionamiento del sistema, para aislar alguna zona de la red, reducir o mantener la presión del agua, permitir el flujo entre sectores, etc.

Algunas recomendaciones complementarias que buscan contar con un sistema de distribución confiable, son las siguientes:

- Mantener interconexiones entre sectores y entre fuentes de suministro, con válvulas cerradas, de modo que puedan derivarse caudales en casos extraordinarios.
- Verificar la capacidad de conducción de las líneas principales, considerando las situaciones de emergencia en las que deban alimentar a otros sectores. De ser necesario, incrementar el diámetro de esta tubería.

Finalmente, la selección del esquema de sectorización idóneo será aquél que mejor se adapte a las necesidades propias de cada sistema de distribución, pero ante todo, evaluar el costo en la construcción de nuevas líneas de conducción y tanques de regulación, cortes, instalación de válvulas, etc. El mejor esquema será el que ofrezca un adecuado y confiable funcionamiento hidráulico al menor costo posible.

2.9 Armonía con el sistema comercial

Los beneficios que ofrecen la sectorización se extienden al área comercial, pues de la misma forma que se generan sectores autónomos, también se crean zonas de consumos que, a través de la medición o estimación en la tomas de los usuarios, se establecen las demandas domésticas, comerciales e industriales, realizando así un balance que apoye los aspectos técnicos para la derivación de caudales a las diferentes zonas de demanda.

De este modo, se puede llevar a cabo una sectorización comercial, en armonía con los distritos hidrométricos o sectores, a partir de la facturación de los consumos por ciclos, facilitando el control de los usuarios y el pago de los servicios.

2.10 Reducción de pérdidas

Cuando se usa la frase “pérdidas de agua”, generalmente se piensa en las fugas por tubos rotos o válvulas que no sellan, el derrame de tanques, etc. Lo cierto es que la frase incluye el **agua que no se contabiliza**, que no se conoce su destino final. También es cierto que algunas veces se confunde con el agua que no se cobra, pero el agua perdida no abarca a este volumen, pues puede estar medida y saber el usuario que la consume (el consumidor puede estar exento de pago), y no por ello es agua perdida.

De esta forma, puede separarse el agua perdida en **fugas**, en **tomas no autorizadas** o clandestinas, y en volumen de agua que no se contabiliza por **estimaciones erróneas** (cuando no se mide) o por **falta de precisión en los medidores** de caudal.

Cualquiera que sea el origen del agua perdida, ésta podrá reducirse notablemente en la medida en que se lleve a cabo el control de presiones sobre una óptima sectorización, pues de ésta se derivará el balance hidráulico y la detección de las zonas con mayores problemas de pérdidas.

La detección de pérdidas parte del aislamiento de un sector y la medición de los volúmenes de entrada y de consumo durante un período que no debe ser menor de 24 horas. Un ejemplo de esta información es la Figura 2.8, en la que se registran los caudales cada 15 minutos durante 24 horas. De esta información se desprenden una serie de parámetros que se definen de la siguiente manera:

CT Consumo total en el período, en m³.

CHP Consumo horario promedio, en m³/h ó L/s.

CHM Consumo horario máximo, que se refiere al máximo valor del consumo durante una hora, en m³/h o su equivalente en L/s.

CMN Consumo mínimo nocturno, que se refiere al mínimo valor del consumo durante una hora, en el intervalo de las 0:00 a las 5:00 horas, en m³/h o su equivalente en L/s.

El cociente de CHM entre CMN nos da una primera idea del estado en que se encuentra el sector analizado. Valores altos de este cociente (del orden de 6 a 8), indican un buen mantenimiento o un bajo nivel de fugas. No debe perderse de vista que un porcentaje aceptable de fugas en toda la red puede no necesariamente serlo en un sector controlado, donde se requiere una mayor exigencia en los resultados.

De los consumos anteriores, se calculan:

ICHM Índice de consumo horario máximo.

ICMN Índice de consumo mínimo nocturno.

CEP Consumo específico promedio.

De esta forma, con los datos utilizados para la construcción de la gráfica, a manera de ejemplo, y el cálculo de los parámetros anteriores, se obtienen los valores siguientes:

ICHM = 1.55

ICMN = 0.59

CEP = 0.08 L/s /Km

suponiendo una longitud de 6 Km

La relación entre CEP y el consumo promedio por habitante, indica la densidad de tomas domiciliarias en el sector, incluso el nivel socioeconómico de los usuarios.

En sectores de la red de distribución que sólo cuenten con consumos domésticos, el valor del ICMN mostrará la magnitud de las fugas en la red. Cuando este índice es menor a 0,20 , se cuenta con un sector con bajos niveles de fugas; conforme el valor de ICMN se incrementa, debe esperarse niveles de fugas mayores.

Si dentro del sector se tienen grandes consumidores (industriales o comerciales), el tratamiento de estos parámetros requieren un mayor análisis, mismo que se puede consultar en la referencia 3.