

CAPÍTULO XV. MICROMEDIDORES Y MACROMEDIDORES EN CAÑERÍAS A PRESIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. MEDIDORES DE CONSUMOS (O MICROMEDIDORES)	2
2.1. UN POCO DE HISTORIA	2
2.2. EL PORQUÉ DE LA MICROMEDICIÓN	2
2.2.1. <i>Evitar el Uso Indebido.....</i>	<i>2</i>
2.2.2. <i>Una Explotación Racional del Sistema</i>	<i>4</i>
2.2.3. <i>Mayor Justicia Distributiva del Recurso Agua.....</i>	<i>4</i>
3. SELECCIÓN DE LOS MICROMEDIDORES	5
3.1. TIPOS DE MICROMEDIDORES	5
3.2. MICROMEDIDORES VOLUMÉTRICOS	5
3.2.1. <i>Micromedidores Volumétricos a Disco Oscilante</i>	<i>5</i>
3.2.2. <i>Micromedidores Volumétricos a Pistón Rotativo</i>	<i>7</i>
3.3. MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS	8
3.3.1. <i>Descripción</i>	<i>8</i>
3.3.2. <i>Micromedidor Velocimétrico a Chorro Múltiple. Principio de Funcionamiento</i>	<i>8</i>
3.3.3. <i>Micromedidor Velocimétrico a Chorro Único. Principio de Funcionamiento</i>	<i>9</i>
3.3.4. <i>Micromedidor de Cuadrante Seco</i>	<i>9</i>
3.3.5. <i>Micromedidor de Cuadrante Húmedo</i>	<i>9</i>
3.3.6. <i>Comparación Entre los Distintos Tipos de Micromedidores Velocimétricos.....</i>	<i>10</i>
3.3.6.1. <i>Chorro Múltiple vs Chorro Único.....</i>	<i>10</i>
3.3.6.2. <i>Cuadrante Húmedo vs Cuadrante Seco.....</i>	<i>10</i>
3.4. MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS VERSUS VOLUMÉTRICOS	12
4. CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LOS MICROMEDIDORES.....	13
4.1. DEFINICIONES	13

4.1.1. Caudal (q)	13
4.1.2. Caudal Permanente (q_p).....	13
4.1.3. Caudal de Sobrecarga (q_s).....	13
4.1.4. Caudal Mínimo (q_{\min}).....	13
4.1.5. Rango de Caudal.....	13
4.1.6. Caudal de Transición (q_t)	14
4.1.7. Dispositivo Totalizador	14
4.1.8. Presión de Trabajo	14
4.1.9. Presión Nominal (PN).....	14
4.1.10. Pérdida de Presión (ΔP)	14
4.1.11. Diámetro Nominal (DN)	14
4.1.12. Designación del Medidor (N)	14
4.2. CLASES METROLÓGICAS.....	15
4.2.1. Curva de Error.....	15
4.2.2. Comportamiento a Bajo Caudal	16
4.2.3. Significado Práctico de las Clases Metrológicas	17
5. SELECCION DEL MEDIDOR.....	20
6. ANALISIS DE LAS NORMAS SOBRE MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS.....	21
6.1. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LAS NORMAS PROPUESTAS POR MERCOSUR 06:02-001 Y LAS ISO 4064 PARTE 1	21
6.2. MATERIALES CONSTITUTIVOS DE LOS MEDIDORES	22
6.2.1. Cuerpo	22
6.2.2. Contador	22
6.2.3. Blindaje Magnético	22
6.2.4. Dimensiones.....	22
7. PRUEBA Y CONTROL DE LOS MICROMEDIDORES.....	23
7.1. APROBACIÓN DE TIPO.....	23
7.2. APROBACIÓN DE LOTES (O REMESAS).....	23
7.2.1. Indicación General.....	23
7.2.2. Muestra	23
7.2.3. Aceptación o Rechazo	24
7.2.4. Aceptación Individual.....	24
7.3. EQUIPAMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE LOS MICROMEDIDORES	25
7.3.1. Bancos de Prueba de la Exactitud.....	25
7.3.1.1. Bancos de Prueba de Principio Volumétrico	26
7.3.1.2. Banco de Prueba de Principio Gravimétrico.....	28
7.3.1.3. Bancos de Prueba de Principio Optico/Electrónico.....	28
7.3.1.4. Bancos de Prueba con Medidor Patrón.....	28
7.3.2. Prueba de Vida	30
7.3.3. Bancos para la Prueba de Vida	32
7.3.3.1. Banco de Ensayo de Caudal Discontinuo.....	32
7.3.3.2. Banco de Ensayo de Caudal Continuo.....	32
7.3.4. Ensayo de Pérdidas de Presión	32
7.3.4.1. Características.....	32
7.3.4.2. Dispositivos de Medición de Presión	33

7.3.4.3. Medición del Caudal	33
7.3.5. Ensayos de Blindaje Magnético	33
7.3.5.1. Ubicación de los Imanes	34
7.3.5.2. Procedimiento	34
7.3.6. Acoplamiento Magnético. Resbalamiento	34
8. INSTALACIÓN DE MICROMEDIDORES	35
8.1. EN LA PARED (O EN UN CABALLETE)	35
8.2. BAJO NIVEL DE VEREDA	35
8.3. CONDICIONES GENERALES PARA LA INSTALACIÓN	35
9. LECTURA DE MICROMEDIDORES	37
9.1. DISTINTOS SISTEMAS	37
9.1.1. Forma Manual Sobre Planilla	37
9.1.2. Forma Manual Sobre Colectora	37
9.1.3. Forma Manual por Contacto (Touchread)	38
9.1.4. Lectura Vía Radio	38
9.1.5. Lectura Vía Cable Telefónico	39
9.2. CAMPO DE APLICACIÓN DE CADA SISTEMA	39
10. MACROMEDIDORES	40
10.1. DEFINICIÓN	40
10.2. ALCANCE	40
10.3. CLASES DE MACROMEDIDORES	40
11. MACROMEDIDORES A TURBINA (TIPO WOLTMANN)	42
11.1. DISTINTOS MODELOS DE MEDIDORES WOLTMANN	43
11.1.1. Medidor Woltmann de Eje Horizontal	43
11.1.2. Medidor Woltmann de Eje Vertical	45
11.1.3. Medidores Woltmann con Salida a 90°	46
11.2. CONSTRUCCIONES ESPECIALES	47
11.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS	47
11.4. MEDIDORES WOLTMANN COMPUESTOS (COMPOUND)	49
11.5. INSTALACIÓN DE LOS MEDIDORES WOLTMANN	51
11.5.1. Influencia de la Temperatura	51
11.5.2. Influencia de la Presión	51
11.5.3. Influencia de los Golpes de Ariete (golpes de presión)	51
11.5.4. Influencia de la Turbulencia	51
11.5.5. Efecto del Aire	55
11.5.6. Influencia de la Suciedad	56
12. MACROMEDIDORES A HÉLICE	57
13. MACROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS A PALETAS DE INSERCIÓN ...	58

13.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	58
13.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	58
13.2.1. <i>Ventajas</i>	<i>58</i>
13.2.2. <i>Limitaciones</i>	<i>58</i>
14. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS	61
14.1. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS POR EFECTO DOPPLER	61
14.2. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS POR “TIEMPO DE TRÁNSITO”	62
14.2.1. <i>Comparación entre los Dos Métodos (Doppler y Tiempo de Tránsito).....</i>	<i>63</i>
14.2.2. <i>Ventajas y Restricciones de los Medidores Ultrasónicos de Tiempo de Tránsito</i>	<i>63</i>
14.2.3. <i>Campo de Aplicación de los Macromedidores por Tiempo de Tránsito.....</i>	<i>63</i>
15. MACROMEDIDORES DIFERENCIALES	64
15.1. PLACA ORIFICIO	65
15.2. TUBO VENTURI (CORTO O LARGO).....	66
15.3. TOBERAS.....	66
15.4. MEDIDORES PROPORCIONALES	66
15.4.1. <i>Descripción General.....</i>	<i>66</i>
15.4.2. <i>Forma Constructiva del Sistema de Medición.....</i>	<i>68</i>
15.4.3. <i>Principio de Funcionamiento</i>	<i>68</i>
15.4.4. <i>Ventajas sobre Otros Sistemas de Medición.....</i>	<i>69</i>
15.4.5. <i>Rango de Medición.....</i>	<i>69</i>
15.4.6. <i>Normas de Instalación</i>	<i>70</i>
15.5. TUBO PITOT MODIFICADO.....	70
16. MACROMEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS.....	72
17. MACROMEDIDORES DE VÓRTICE	73
18. SISTEMA DE MEDICIÓN PROPORCIONAL APROXIMADA.....	74
19. BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los medidores de agua en clases metrológicas	17
Tabla 2. Programa de ensayos según Normas Mercosur 06: 02-001	24
Tabla 3. Partes constitutivas del banco de prueba	27
Tabla 4. Características del ensayo de funcionamiento prolongado	31
Tabla 5. Desvíos de los Errores Permisibles	31
Tabla 6. Características típicas de funcionamiento y dimensiones de medidores tipo Woltmann (fabricados por una firma comercial).....	44
Tabla 7. Características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical, (fabricados por una firma comercial).....	45
Tabla 8. características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical con salida a 90° (fabricados por una firma comercial).....	46
Tabla 9. Características dimensionales y metrológicas de medidores velocimétricos “compound” (fabricados por una fibra comercial).....	50
Tabla 10. Caudal total en función del caudal aforado	76

FIGURAS

Figura 1. Variación estacional del consumo	3
Figura 2. Influencia de la evapotranspiración en el consumo.....	3
Figura 3. Vista en corte de un micromedidor volumétrico.....	5
Figura 4. Despiece de un micromedidor volumétrico (a disco oscilante)	6
Figura 5. Cámara de medición de micromedidor volumétrico	7
Figura 6. Vista en corte de un micromedidor volumétrico.....	7
Figura 7. Designación de los micromedidores según su totalizador	11
Figura 8. Detalle del compensador de presión	12
Figura 9. Curva de error.....	16
Figura 10. Límites de los errores según las clases metrológicas	16
Figura 11. Unidad colectora de información (Data – Logger)	18
Figura 12. Esquema de banco de prueba de principio volumétrico.....	26
Figura 13. Banco de prueba de micromedidores en serie	27
Figura 14. Banco de prueba de principio gravimétrico	28
Figura 15. Medidor patrón portátil.....	29
Figura 16. Banco electrónico portátil.....	30
Figura 17. Esquema para la medición de la pérdida de presión	32
Figura 18. Dispositivo para verificar las características de los imanes	33
Figura 19. Medidor de caudal desarrollado por Woltmann	42
Figura 20. Corte de un medidor Woltmann de eje horizontal	43
Figura 21. Medidor Woltmann de eje vertical.....	45
Figura 22. Aspecto externo de un medidor con salida a 90°	46
Figura 23. Medidor Woltmann con emisores de pulsos.....	47
Figura 24. Curva de error característica de un medidor Woltmann	48
Figura 25. Curva de pérdida de carga (presión)	48
Figura 26. Esquema de medidor compuesto con medidores principales y secundarios conectados en paralelo	49
Figura 27. Medidor compuesto en serie con medidor secundario posterior al medidor principal	49
Figura 28. Medidor Compound fabricado en E.E.U.U.	50
Figura 29. Perfil de velocidades en un flujo laminar	52
Figura 30. Perfil de velocidades en un flujo turbulento	52
Figura 31. Alteraciones en el perfil de velocidad debidas a un codo ubicado aguas arriba.....	53
Figura 32. Perfiles asimétricos	53
Figura 33. Configuraciones que provocan un avance rotativo del flujo	54
Figura 34. Ejemplos de instalación	55
Figura 35. Macromedidor a hélice.....	57
Figura 36. Vista del conjunto cuerpo y turbina.....	59
Figura 37. Forma de instalación en una cañería de diámetro pequeño	59
Figura 38. Distintos tipos de indicadores para conectar vía cable a la salida de las turbinas.....	60
Figura 39. Principio de Medición por Efecto Doppler.....	61
Figura 40. Montaje en “Z” - A y B: trasductores	62
Figura 41. Montaje en “V”.....	62
Figura 42. Conducto circular, horizontal	64
Figura 43. Corte esquemático de un Tubo Venturi corto	66
Figura 44. Corte de un medidor proporcional construido sobre un tubo Venturi.....	67
Figura 45. Medidor secundario conectado sobre dos puntos de distinta presión.....	67
Figura 46. Tubo Venturi utilizado para totalizar volumen (a) y para indicar el caudal instantáneo (b).68	
Figura 47. Curvas características del tubo Venturi (1) y del medidor secundario (2).....	69
Figura 48. Rangos de medición de medidores proporcionales.....	70
Figura 49. Recomendaciones de instalación para medidores proporcionales	70
Figura 50. Vista en corte de un tubo de Pitot modificado	71
Figura 51. Principio físico de funcionamiento de un macromedidor electromagnético.....	72
Figura 52. Vista en corte de un medidor de vórtice	73
Figura 53. Esquema de instalación	74

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Diariamente asistimos a nuevos cambios tecnológicos que facilitan la adquisición, acumulación, manejo e interpretación de cantidades crecientes de información. Se suele decir que actualmente el poder está en manos de quien maneja la información. Este enunciado que nos resulta fácilmente visible a nivel de los grandes acontecimientos, es también válido para organizaciones más pequeñas, en las áreas de la investigación, producción, administración y así continuando con una lista interminable, que indiscutiblemente incluye a las empresas de servicios públicos.

Si centramos nuestra atención en una compañía que preste el servicio de provisión de agua a una comunidad, hoy día es admitido mundialmente que deben medirse como mínimo:

- 1). Los consumos individuales.
- 2). La extracción directa de agua del subsuelo.
- 3). El agua captada proveniente de reservorios naturales, ríos, represas, etc.
- 4). El agua que entra a la planta de potabilización y el agua utilizada en distintos procesos de la planta.
- 5). El agua producida y distribuida a las redes.

En nuestro país una serie de comportamientos humanos y colectivos han dificultado la obtención de los objetivos deseados. Ha prevalecido una política de “Canilla libre” para los consumos de agua. Ésta, asociada a un régimen tarifario basado en el valor inmobiliario del punto de consumo, indisciplina en el pago y derroche de agua, concluyó en: mala calidad de los servicios, insatisfacción de la demanda, etc.

En este capítulo se describen los equipos disponibles para realizar la micro y macro medición del agua en cañerías a presión, con las recomendaciones prácticas, que permitan recuperar en nuestro país el atraso que existe hoy día.

Se denomina macromedición a la medición de caudales de cierta importancia y micromedición a la medición de pequeños canales. Sin embargo, como se desarrolla en detalle en el punto 10, en el caso de conductos cerrados se suelen denominar técnicamente macromedidores a los elementos de medición utilizados en cañerías de diámetro mayor a 40 mm.

En los sistemas de agua potable se usa el término de “macromedición” para la medición del agua captada, producida y distribuida y se usa el término “micromedición” a la medición de los consumos, sean estos domiciliarios, comerciales y aún industriales, independientemente del tamaño de los equipos a utilizar.

2. MEDIDORES DE CONSUMOS (O MICROMEDIDORES)

2.1. UN POCO DE HISTORIA

Seguramente el deseo de medir el agua distribuida para uso público, surgió conjuntamente con la aparición de los primeros servicios.

En las ruinas de Pompeya se han encontrado arandelas metálicas que, ubicadas a la entrada de cada vivienda, restringían el caudal. Elementos similares deben haber sido usados para conseguir una distribución equitativa de este vital elemento a través de los años.

En el siglo pasado se registran las primeras patentes de medidores totalizadores de volumen: en 1852 Thomas Kennedy patentó en Inglaterra un medidor en base al desplazamiento de un pistón. Por su tamaño, para cañerías de 125 mm. (5"), no podría ser considerado como domiciliario, pero su principio fue válido para aplicarlo con mucho éxito desde comienzos de este siglo a medidores de 15 mm. (1/2"). En Argentina, en la ciudad de Bahía Blanca, pueden encontrarse medidores domiciliarios con fecha de fabricación 1902 y un peso de 35 kg.

2.2. EL PORQUÉ DE LA MICROMEDICIÓN

2.2.1. Evitar el Uso Indebido

La medición es la forma más efectiva para inducir a los usuarios a un menor consumo, por la vía de eliminar el derroche y adecuar las instalaciones para evitar pérdidas internas. Cuidadosos estudios demuestran reducciones desde el 13 al 45 % entre sistemas de tarifa fija y medida (**Figura 1**). De uno de ellos, "Residencial water conservation projects" concluido hace años por el Departamento de Aguas de Denver (una zona semiárida de los Estados Unidos), se extrae además que la reducción varía fuertemente con las estaciones (2 % en invierno; 25 % en verano) y con el índice total mensual de evapotranspiración (**Figura 2**). Ese índice resume una serie de factores meteorológicos, temperatura, humedad relativa, precipitaciones, etc. e indica en forma científica relaciones que en forma intuitiva nos parecen evidentes: los consumos aumentan, con la temperatura, con los días secos y bajan con las precipitaciones.

La reducción en el consumo se traduce en: evitar el derroche de energía utilizada en la potabilización y distribución del agua, reducir los costos por insumos químicos, mano de obra utilizada, disminuir las inversiones para igual prestación, preservar un recurso natural escaso, sólo parcialmente renovable y mejorar el servicio de toda la comunidad con las instalaciones existentes.

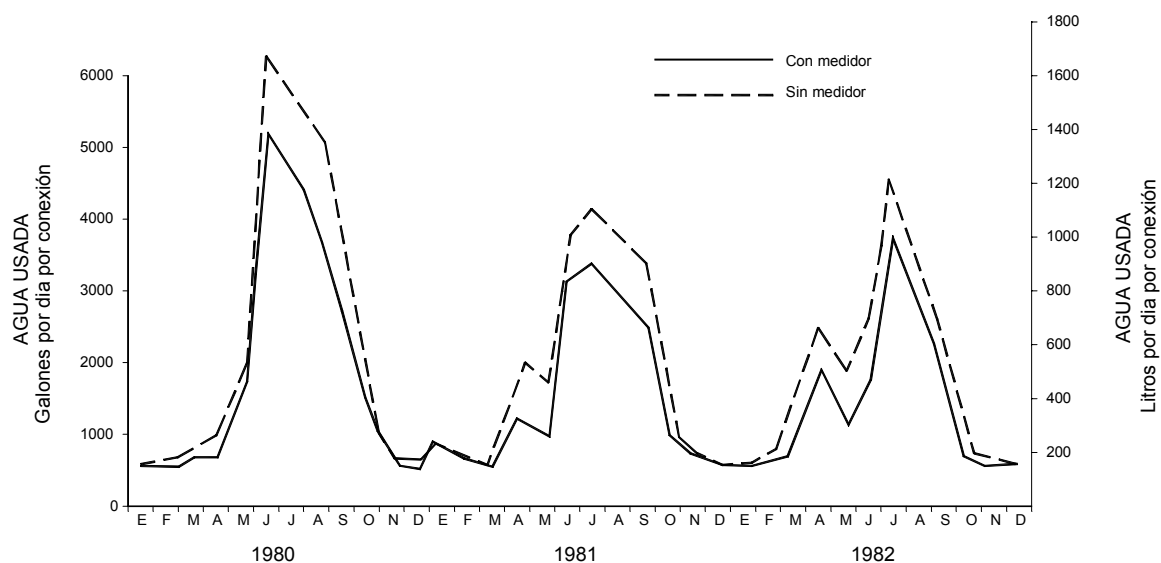


Figura 1. Variación estacional del consumo

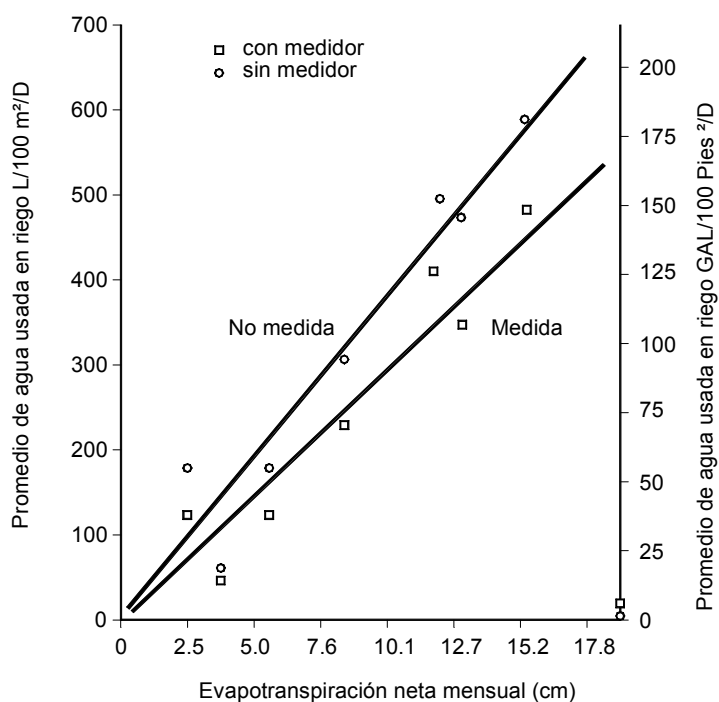


Figura 2. Influencia de la evapotranspiración en el consumo

2.2.2. Una Explotación Racional del Sistema

La información obtenida por medio de la micromedición comparada con la de la macromedición, permite analizar la magnitud del agua no contabilizada e indirectamente las pérdidas en la red de distribución, problema al que no se le ha prestado históricamente la debida importancia, y que como volumen de agua perdida puede sobrepasar al derroche domiciliario.

Debe pensarse que las pérdidas en las redes se mantienen durante todo el tiempo, aumentando (aunque no en proporción directa) con la presión de la red, es decir durante la noche y el invierno.

Conceptos como: eficiencia, rentabilidad, conservación de la energía, todavía extraños en los servicios de agua, no serán efectivamente realidad si entre otras cosas, no se cuenta con sistemas completos de micro y macromedición.

2.2.3. Mayor Justicia Distributiva del Recurso Agua

Medir los consumos domiciliarios es el dato básico para la posterior facturación del servicio prestado.

Sin embargo ésta no puede ser una simple relación aritmética entre los metros cúbicos entregados y el valor facturado. La gran incidencia que tiene el agua potable sobre la salud física de la población y las grandes diferencias y limitaciones socio-económicas existentes, obligan a que los regímenes tarifarios deban ser cuidadosamente balanceados, para asegurar la prestación del servicio aun en zonas geográficas, o económicas, consideradas marginales.

3. SELECCIÓN DE LOS MICROMEDIDORES

3.1. TIPOS DE MICROMEDIDORES

Sobre una gran variedad de dispositivos capaces de totalizar el volumen de agua que circula por un conducto cerrado, dos principios de funcionamiento se han generalizado para la medición del agua potable:

- Medidores volumétricos (o de desplazamiento positivo)
- Medidores velocimétricos (o inferenciales)

3.2. MICROMEDIDORES VOLUMÉTRICOS

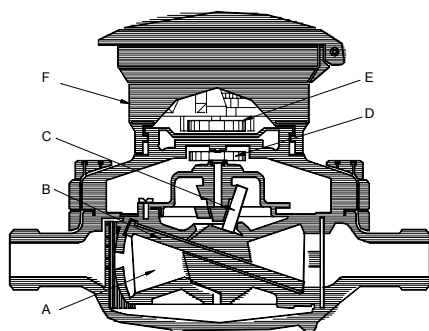
Básicamente poseen una cámara de volumen fijo determinado, dentro de la cual se desplaza un elemento móvil (disco oscilante, pistón) perfectamente ajustado con la parte interior de la cámara. Al circular el agua se produce alternativamente el llenado y vaciado de ésta y la rotación del elemento móvil, que es transmitida por un tren de engranaje hasta el sistema contador de metros cúbicos.

Existen dos formas constructivas básicas:

- Medidores volumétricos a disco oscilante
- Medidores volumétricos a pistón rotativo

3.2.1. Micromedidores Volumétricos a Disco Oscilante

El corte esquemático de la **Figura 3** ilustra sobre las partes constitutivas más importantes de un medidor domiciliario de este tipo y el despiece de la **Figura 4**, permite apreciar dentro del recuadro 3, el aspecto de la cámara de medición con su “disco oscilante” (4), construido tradicionalmente de ebonita (una goma dura de gran resistencia mecánica), actualmente reemplazada por materiales plásticos con incorporación de productos anti-fricción.



- A: Cámara de medición
- B: Disco oscilante (movimiento nutante)
- C: Eje del disco
- D: Imán de acoplamiento de la parte húmeda (inferior)
- E: Imán de acoplamiento, seguidor del anterior, de la parte seca (superior)
- F: Cabezal del contador, totalizador de metros cúbicos.

Figura 3. Vista en corte de un micromedidor volumétrico

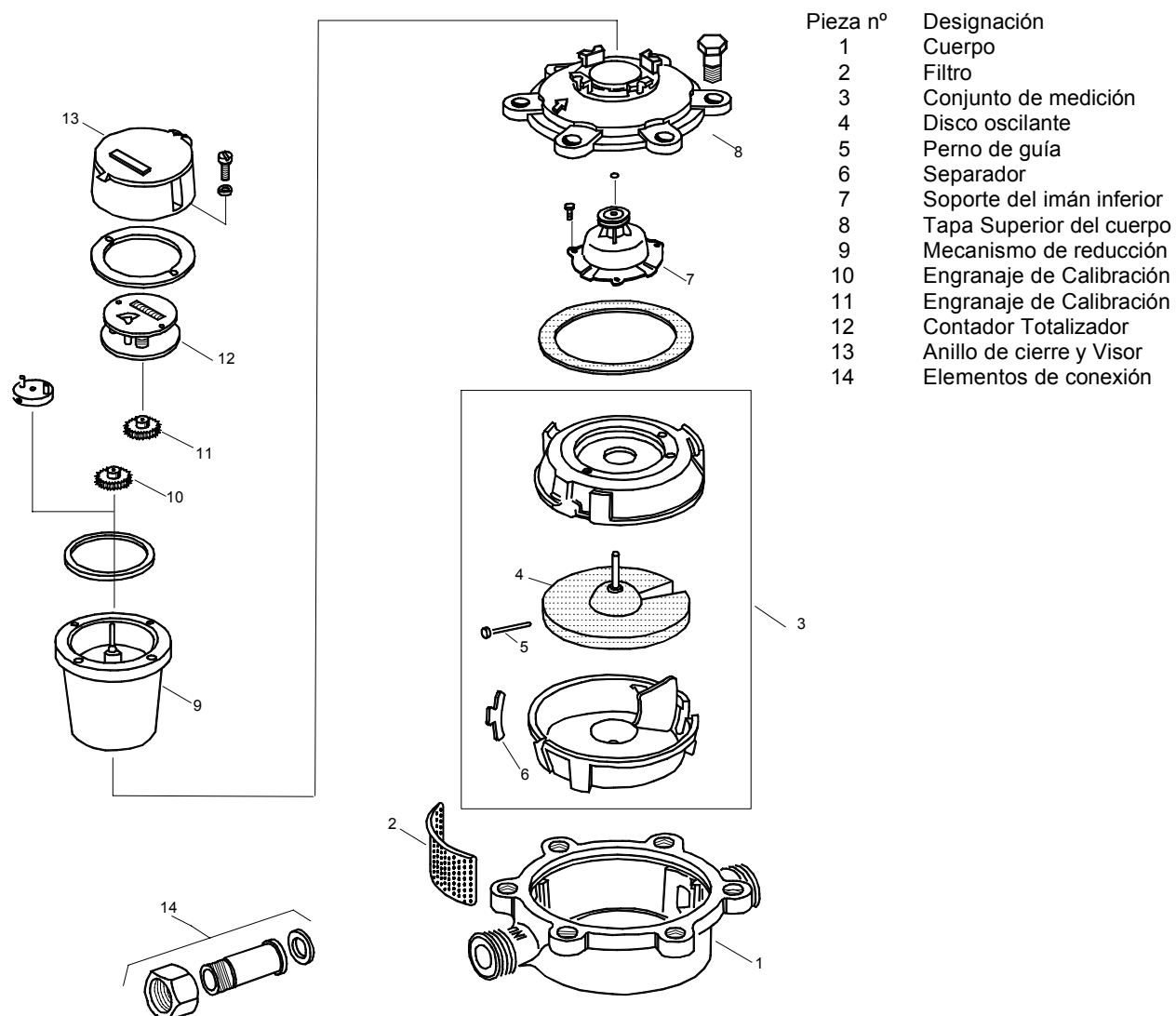


Figura 4. Despiece de un micromedidor volumétrico (a disco oscilante)

Además de lo ya mencionado, es interesante prestar atención a la pieza 2, el filtro, al que solo se accede desarmando al medidor y a las piezas 10 y 11, juego de engranajes, que permiten calibrar, o recalibrar al medidor, eligiendo combinaciones de dientes de cada uno de ellos. (ver **Figura 4**).

3.2.2. Micromedidores Volumétricos a Pistón Rotativo

El elemento primario de medición (**Figura 5**) está constituido por un pistón cilíndrico que se desplaza con el paso del agua en forma rotativa (no, ascendente - descendente), dentro de una cámara también cilíndrica y de mayor tamaño.

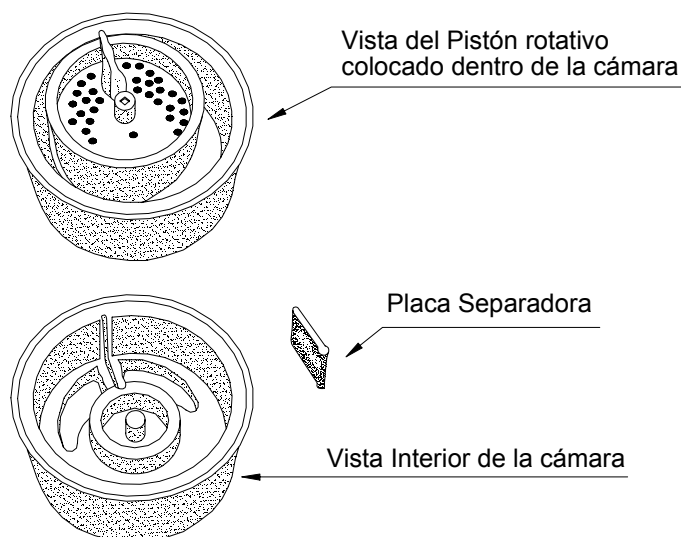


Figura 5. Cámara de medición de micromedidor volumétrico

El siguiente corte, **Figura 6**, muestra además de la cámara y el pistón, al acoplamiento magnético y el contador totalizador del volumen que ha circulado.

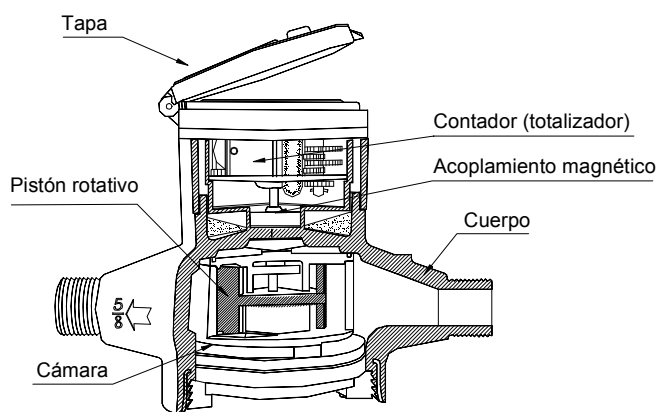


Figura 6. Vista en corte de un micromedidor volumétrico

3.3. MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS

También llamados “inferenciales” porque determinan un volumen a partir de la medición de una velocidad (o sea, infieren una magnitud a partir de otra).

Su funcionamiento se basa en que el agua en circulación, incide sobre una turbina, imprimiéndole a esta un movimiento rotativo que es proporcional a la velocidad del chorro o de los chorros de agua incidentes.

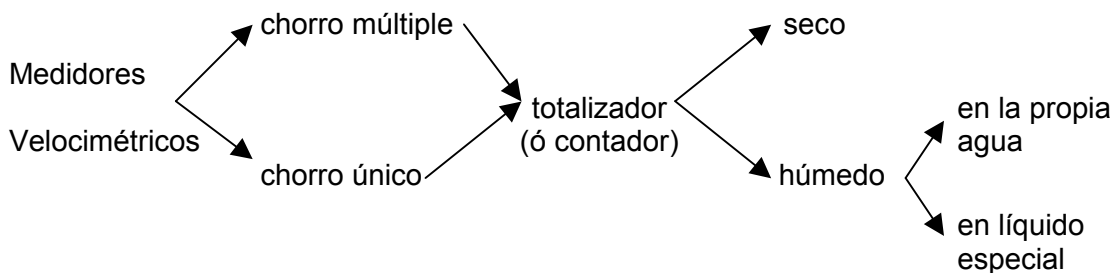
Como el área de pasaje del líquido es fija y constante, la velocidad de este chorro o de estos chorros es a su vez proporcional al caudal que circula por el medidor, o sea que si se integra esta velocidad en función del tiempo, se tiene el volumen total acumulado en ese período.

En los medidores velocimétricos, esta integración es realizada en forma mecánica por un tren de engranajes (tren reductor) y un contador.

3.3.1. Descripción

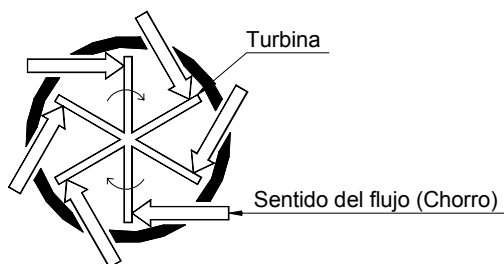
Comprenden los de caudales de hasta 15 m³/h y sus características dimensionales, metrológicas y generales se encuentran detalladas en la Norma ISO 4064 – parte 1, en la Norma IRAM 2718 en la Norma propuesta Mercosur NM 06:02 – 001 (Diciembre 1998) y en varias otras. Mas adelante se realiza un comentario detallado de estas normas.

Existen diferentes formas constructivas que se analizarán por separado desarrollando el siguiente cuadro:



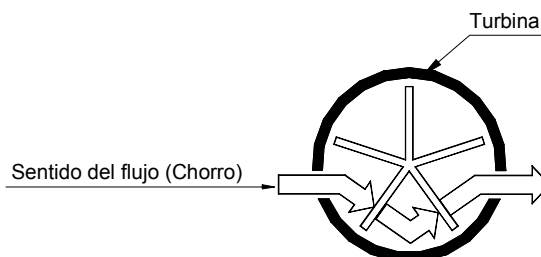
3.3.2. Micromedidor Velocimétrico a Chorro Múltiple. Principio de Funcionamiento

El agua después de atravesar un filtro ingresa a través de unos agujeros oblicuos en una cámara llamada distribuidor, incidiendo equilibradamente sobre una turbina colocada en su interior a la que imprime un movimiento rotativo, proporcional a la velocidad del líquido. Como la sección de pasaje de éstos agujeros es constante, la velocidad del líquido y de la turbina son proporcionales al caudal que circula por el medidor. Un contador mecánico graduado en m³ y en litros, totaliza el número de vueltas de la turbina y de esta forma el volumen que circula.



3.3.3. Micromedidor Velocimétrico a Chorro Único. Principio de Funcionamiento

En este tipo, no existe una cámara de distribución del líquido como en el modelo anterior, sino que el agua es canalizada a través de un único conducto cilíndrico antes de incidir sobre la turbina, a la que también le imprimirá una velocidad proporcional al valor del caudal que circula. La parte mecánica de reducción y registro de las vueltas es similar a la del modelo de chorro múltiple.



3.3.4. Micromedidor de Cuadrante Seco

Son aquellos en los que el agua no ingresa al receptáculo donde se encuentra el sistema contador, el que se halla dentro de una cámara hermética, recibiendo el movimiento a través de un acoplamiento de tipo magnético.

3.3.5. Micromedidor de Cuadrante Húmedo

Son aquellos en los que el contador se encuentra sumergido en un medio líquido, que según la forma constructiva, puede ser:

- La propia agua de la red.
- Un líquido especial (glicerina, por ejemplo).

Este último también es llamado comercialmente semi-seco (o semi-dry), en alusión a que si bien tiene el cuadrante en contacto con un líquido especial, posee características propias de los medidores secos.

3.3.6. Comparación Entre los Distintos Tipos de Micromedidores Velocimétricos

3.3.6.1. Chorro Múltiple vs Chorro Único

En el sistema de chorro múltiple los esfuerzos sobre la turbina son equilibrados, resultando nula la componente radial. No ocurre lo mismo con el chorro único, donde aparece una componente radial de esfuerzo sobre la turbina, que aumenta el roce entre bujes y ejes. Los medidores de chorro único son de menor tamaño, longitud y peso que los de chorro múltiple, comparando diámetros y capacidades iguales. Son también de menor precio.

3.3.6.2. Cuadrante Húmedo vs Cuadrante Seco

Se creía que la ventaja de los medidores húmedos residía en que si se rompía intencionalmente su vidrio, fluía agua al exterior. Si bien se trata de una afirmación real, la experiencia práctica de muchos años en los servicios de agua en nuestro país, demuestra que los porcentajes de rotura de vidrios de medidores secos y húmedos son similares y además muy bajos. La ventaja del “sistema húmedo” es que todas las piezas del contador construidas de plástico, de peso específico próximo al del agua, prácticamente flotan en ésta, reduciendo los roces, desgastes y mejorando su sensibilidad. Pero si las aguas no son perfectamente limpias, o sea que arrastran sólidos capaces de depositarse sobre el cuadrante o sobre los dientes de los engranajes (óxidos, arenas, restos de floculantes, etc.) éstos dificultan la lectura del medidor y pueden trabar o endurecer sus mecanismos. Para atenuar estos inconvenientes en algunos modelos de medidores, como ya se ha indicado, se sumerge al contador en un líquido distinto y aislado del agua que circula. De esta forma se aprovecha la ventaja de que todos los mecanismos presenten los menores roces, aumentando la sensibilidad del medidor, evitando que la suciedad o el empañamiento (clásico de los medidores secos) dificulten la lectura del contador.

Hasta los años 70 los medidores de cuadrante seco presentaban un acoplamiento entre la parte húmeda (inferior) y la seca (superior) de tipo mecánico directo. Una empaquetadura de cuero, grasa o goma impedía el pasaje del agua al contador. Sin embargo los resultados prácticos dejaban mucho que desear y el empañamiento de la cara interna del visor era una constante en todos los servicios de agua. Esto se traducía en la dificultad o imposibilidad de tomar la lectura del medidor.

La aparición del acoplamiento magnético, que permite que un imán ubicado en contacto con el agua, solidario a un eje del tren de transmisión, arrastre a un segundo imán (o pieza ferromagnética) ubicada en la parte seca, logró resolver el problema del pasaje del agua a la parte superior del contador.

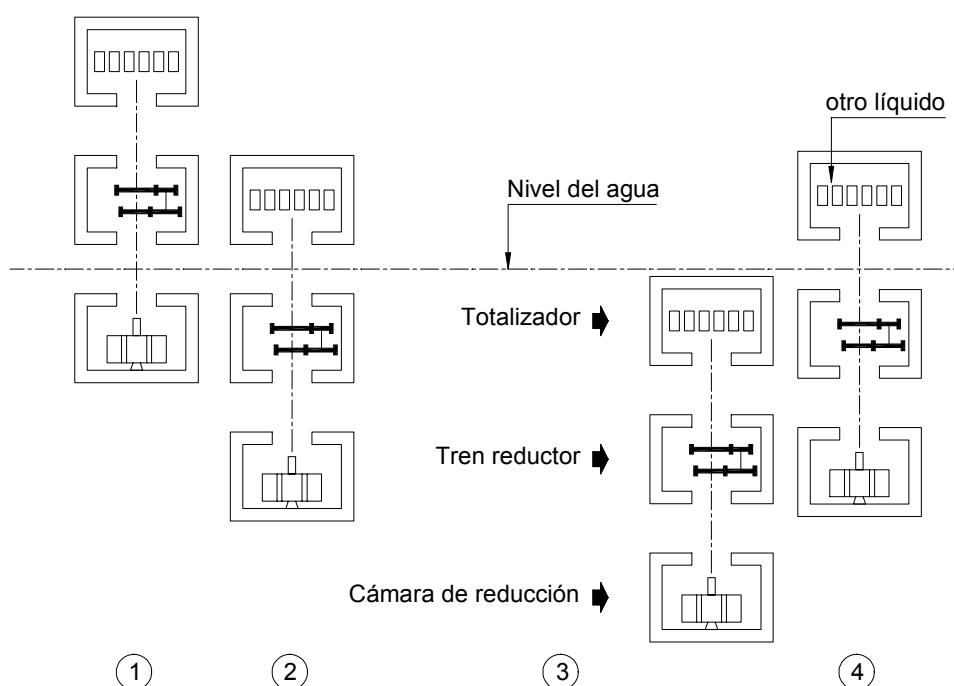
Sin embargo las condiciones de instalación de los medidores en nuestro país (bajo la acera), en cajas que permanecían inundadas o por lo menos con un alto grado de humedad, la permeabilidad de los plásticos para las moléculas de agua y las variaciones de temperatura, conspiraron contra el resultado de este tipo de solución.

Hoy día está admitido que para evitar el empañamiento de un contador seco, este debe ser construido externamente de metal y vidrio, o de plástico de última generación, revestido de un film transparente que impida el pasaje de las moléculas de agua.

En resumen:

- Con aguas perfectamente limpias, sin partículas sólidas ni en suspensión: *Cuadrante húmedo*.
- Con aguas sin partículas sólidas (arena, cáscaras de óxido de las cañerías): *Cuadrante húmedo en líquido especial (semi-seco)* (admite partículas en suspensión).
- Con aguas con algunas partículas sólidas (arenas, óxidos, depósitos, etc.): *Cuadrante seco, con cápsula hermética garantizada contra empañamiento, y acoplamiento magnético directo sobre la turbina*.

La **Figura 7** muestra la construcción genérica de los medidores mencionados:



- 1) Totalmente seco: solo la turbina está en contacto con el agua.
- 2) Parcialmente seco: el tren reductor está en contacto con el agua.
- 3) Húmedo: todas las piezas están en contacto con el agua.
- 4) Semi-seco: parte en contacto con el agua y el contador en otro líquido

Figura 7. Designación de los micromedidores según su totalizador

Una característica constructiva interesante de los medidores semi-secos, lo constituye una pieza elástica de goma que compensa las presiones entre los dos líquidos, para evitar que estas diferencias actúen sobre el sello que los separa, frenando al medidor.

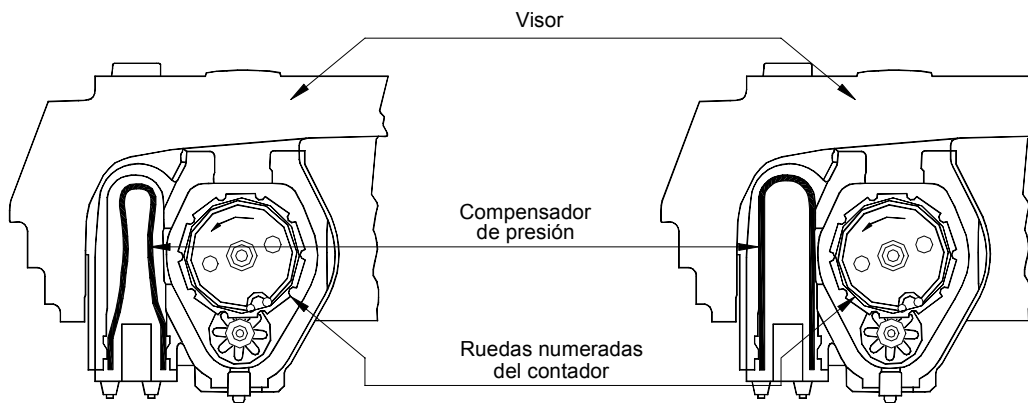


Figura 8. Detalle del compensador de presión

3.4. MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS VERSUS VOLUMÉTRICOS

Los medidores volumétricos pueden medir con más precisión los consumos hasta caudales más bajos que los que se obtienen con medidores velocimétricos. Disponen de una mayor fuerza (o energía) que puede utilizarse para accionar mecanismos de lectura automática, pero también son de mayor tamaño y precio. Sin embargo su principal inconveniente lo constituye la facilidad con que se traban y desgastan con la presencia en el agua de pequeñas partículas sólidas (arena, óxido de cañerías, etc.).

Al trabarse, además, impiden la circulación del agua, lo que obliga a la inmediata reparación de esta avería.

Por estas razones la tendencia generalizada, es usar medidores de tipo velocimétrico y así se han adoptado y normalizado en nuestro país. El texto que sigue se referirá en particular y con mayor énfasis a los medidores velocimétricos, analizando sus distintas variantes constructivas.

4. CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LOS MICROMEDIDORES

4.1. DEFINICIONES

A continuación se transcribe la terminología adoptada en nuestro país, buscando conciliar la tradición impuesta por el uso, con las recomendaciones de las normas internacionales.

4.1.1. Caudal (q)

Cociente entre el volumen de agua que atraviesa el medidor y el tiempo empleado en pasar por él, expresado en metros cúbicos por hora.

4.1.2. Caudal Permanente (q_p)

Caudal hasta el cual el medidor puede funcionar de forma satisfactoria, bajo condiciones normales de uso y que determina el valor numérico de la designación del medidor, por ejemplo: en condiciones de flujo estacionario o intermitente.

Nota: en algunos países, este caudal se denomina “caudal nominal” y se simboliza como: q_n o Q_n

4.1.3. Caudal de Sobrecarga (q_s)

Caudal hasta el cual el medidor puede funcionar de forma satisfactoria por un corto período sin deteriorarse y cuyo valor es el doble del valor de q_p .

4.1.4. Caudal Mínimo (q_{\min})

El menor caudal que el medidor puede registrar sin que los errores sean mayores que el máximo permisible.

4.1.5. Rango de Caudal

Rango limitado por el caudal de sobrecarga, q_s , y el caudal mínimo, q_{\min} , dentro del cual, las indicaciones del medidor no deben ser afectadas por un error mayor que los máximos permisibles. Este rango está dividido en dos zonas denominadas “superior” e “inferior”, separadas por el caudal de transición q_t que tienen rango de errores diferente (ver **Figura 9**).

4.1.6. Caudal de Transición (q_t)

Valor del caudal situado entre los caudales de sobrecarga y el mínimo en el cual el rango de caudal se divide en dos zonas, la superior e inferior, cada una caracterizada por el valor del error máximo permisible en esa zona.

4.1.7. Dispositivo Totalizador

Dispositivo que recibe la transmisión de los movimientos, indicando y totalizando el volumen circulado.

4.1.8. Presión de Trabajo

Presión del fluido inmediatamente aguas arriba del medidor.

4.1.9. Presión Nominal (PN)

Presión que designa al medidor, correspondiente a la presión máxima de trabajo, utilizada para dimensionamiento y ensayo.

4.1.10. Pérdida de Presión (ΔP)

Diferencia entre la presión de entrada y la de salida del medidor, provocada por la presencia de éste en la cañería para un caudal dado.

4.1.11. Diámetro Nominal (DN)

Designación numérica común a todos los componentes de un sistema de cañería. Es un número entero, utilizado para referencia solamente, de aproximadamente las medidas constructivas.

4.1.12. Designación del Medidor (N)

Valor numérico, precedido por la letra N, que designa al medidor con relación al caudal permanente q_p .

Debe destacarse para evitar confusiones entre quienes utilizaban en nuestro país las clásicas normas de O.S.N (Obras Sanitarias de la Nación) o las versiones anteriores de la Norma IRAM 2718 y que todavía subsisten en pliegos provinciales y de Cooperativas que:

Antes	Ahora
Q_n (caudal nominal o máximo)	q_s (caudal de sobrecarga)

El caudal nominal o máximo Q_n era el que identificaba la “capacidad” del medidor. Ahora clasifica a los medidores por su caudal permanente q_p (que es igual a $\frac{q_s}{2}$).

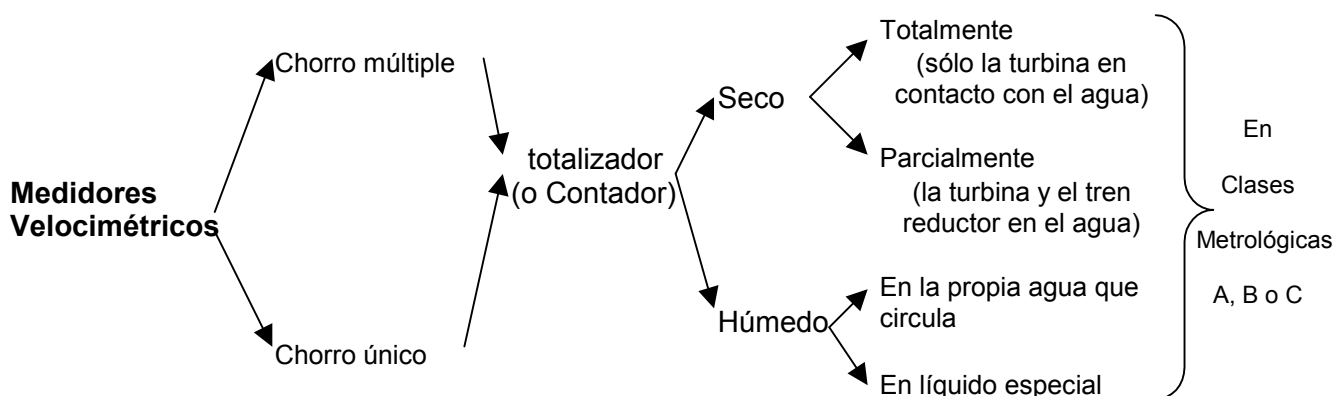
O sea que cuando hablamos de un medidor antiguo de $Q_n = 3 \text{ m}^3/\text{h}$, su equivalente hoy sería uno de $q_p = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, y su designación de acuerdo a las normas es:

N 1,5

4.2. CLASES METROLÓGICAS

Se han indicado las distintas características constructivas en que se ofrecen los medidores velocimétricos (micro-medidores). A continuación se indica para cada modelo, las distintas clases metrológicas disponibles A, B o C que se diferencian por los errores admitidos en función del caudal.

El cuadro visto en el punto 3.3.1, se completaría así:



4.2.1. Curva de Error

Es la representación gráfica de los errores porcentuales (E) con que un medidor mide un volumen determinado, en función del caudal.

$$E \% = \frac{V_i - V_c}{V_c} \cdot 100$$

Donde:

V_c = es el volumen de referencia

V_i = es el volumen indicado por el medidor

La **Figura 9** corresponde a ejemplos de las curvas de error de dos medidores de distinto q_p (caudal permanente), uno de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y otro de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, del tipo chorro múltiple, totalizador seco.

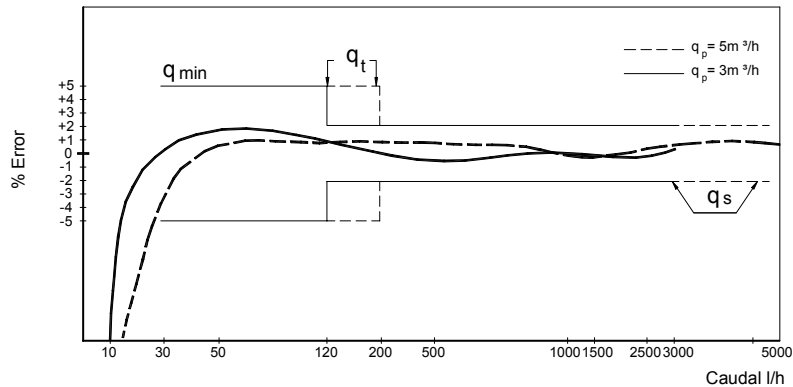


Figura 9. Curva de error

Como se observa, estas curvas de error (o de precisión) están contenidas dentro de dos límites distintos (uno de $\pm 5\%$, otro de $\pm 2\%$) que definen lo que habitualmente se llama: “el túnel de error”.

4.2.2. Comportamiento a Bajo Caudal

Las diferentes clases metrológicas (A, B ó C) se refieren exclusivamente al funcionamiento de los medidores a bajo caudal. Puede expresarse en forma conceptual que: un medidor clase C, mide “mejor” a bajos caudales que uno B y este último lo hace “mejor” que uno A.

La **Figura 10** muestra los distintos límites a las curvas de error del medidor, según las clases metrológicas. Se observa el desplazamiento hacia la izquierda (bajos caudales) de los puntos determinados por q_{\min} y q_t .

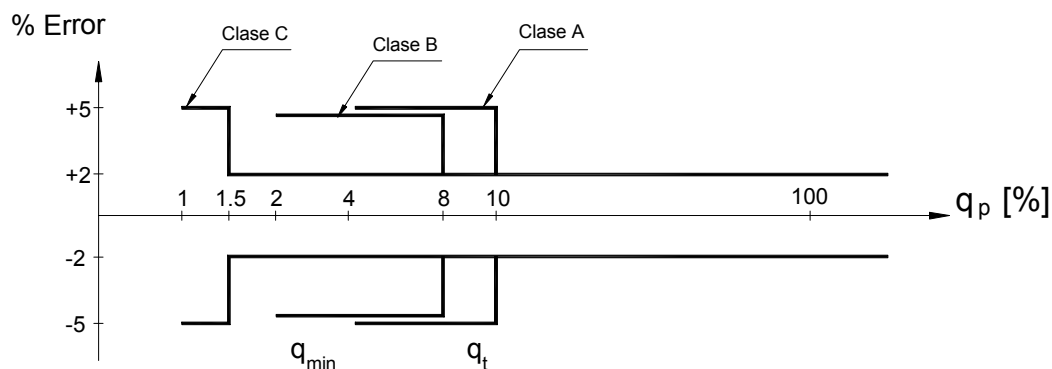


Figura 10. Límites de los errores según las clases metrológicas

La **Tabla 1**, extraída de la Norma Mercosur NM 06:02-001, resume lo expresado anteriormente.

Clase	N: Valor Numérico de la Designación del Medidor en m ³ /h (válido para N ≤ 15 m ³ /h)
Clase A*	
q _{min}	0,04 N
q _t	0,10 N
Clase B	
q _{min}	0,02 N
q _t	0,08 N
Clase C	
q _{min}	0,01 N
q _t	0,015 N

Tabla 1. Clasificación de los medidores de agua en clases metrológicas

Actualmente se dispone de medidores velocimétricos en las tres clases indicadas. Las normas internacionales ISO 4064 para los medidores de tipo volumétrico consideran las clases B y C y han agregado las D y E (sólo disponibles para este tipo de medidores).

4.2.3. Significado Práctico de las Clases Metrológicas

Debido a que el precio de los medidores aumenta a medida que mejoran sus características de medición, la elección debe basarse en los resultados esperados con respecto al agua no contabilizada, al usar una u otra clase. Actualmente la discusión está entre los de clase B ó C ya que los de clase A han dejado de ser fabricados en la mayor parte del mundo.

Para resolver este tema deben hacerse cuidadosos estudios que por lo general obligan a analizar:

- El perfil medio de consumo de los usuarios.*
- El régimen tarifario.*
- La calidad del agua.*

a) Perfil de Consumo

Consiste en relevar de una muestra representativa de los usuarios, el hábito de sus consumos de agua, durante un período de por lo menos un año. Esto se hace instalando medidores muy precisos, generalmente de tipo volumétrico, con salida de pulsos conectados a una unidad colectora de la información (data-logger). Esta información procesada con programas adecuados permite obtener una visión de los hábitos de consumo y, si se instalan en todo un sector de la red, anticipar las cantidades del agua no contabilizada según la clase metrológica, que se prevea instalar.

En la **Figura 11** se muestra un Data-Logger, con cuatro entradas disponibles para señales digitales (los pulsos del medidor) o analógicas (4-20 mA) provenientes de sensores de presión o de temperatura.

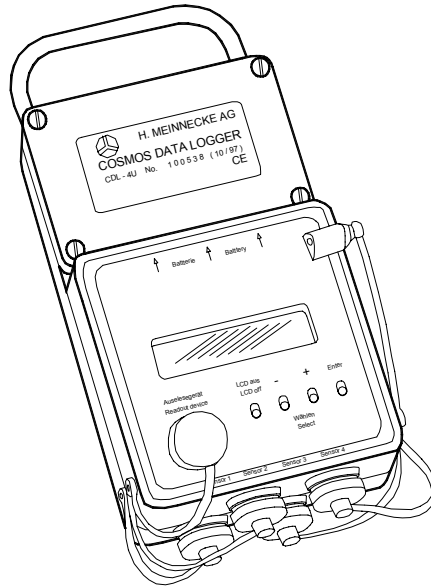


Figura 11. Unidad colectora de información (Data – Logger)

El perfil de consumo está determinado por una serie de factores, climáticos, culturales, económicos y por las características de la disposición interna del sistema de agua domiciliaria. El uso del tanque elevado o la cisterna para la acumulación del agua, combinado con las bajas presiones de alimentación, crean un efecto de “amortiguación” al consumo real interno de la vivienda. Además, tanto el tanque elevado como la cisterna, regulan el ingreso de agua a través de una válvula, accionada por un flotante, que lleva con frecuencia a trabajar al micromedidor a caudales tan bajos que no son registrados por éste.

b) El Régimen Tarifario

La combinación de los perfiles de consumo, con un programa que analice distintos regímenes tarifarios, puede indicar el resultado económico de optar entre las distintas clases metrológicas

El régimen tarifario influye fuertemente en los consumos. Por ejemplo existen esquemas de tarifas que poseen un umbral elevado con un cargo fijo, por lo que el pago del servicio de agua se transforma en una tasa casi independiente del nivel de consumo. En estos casos la discusión de la clase del medidor pasa a ser de importancia secundaria.

c) La Calidad del Agua

La presencia de partículas sólidas en el agua que logran por su tamaño atravesar el reticulado del filtro de entrada al medidor, constituyen un serio problema para los medidores de tipo húmedo (incluido el semi-seco) que se traduce en el rápido deterioro

de las características de medición a bajo caudal. Esto significa en la práctica que un excelente medidor clase C, resulta midiendo peor que un medidor clase A, después de un período breve en estas condiciones adversas.

Los medidores completamente secos son por su forma constructiva mucho menos sensibles a las condiciones de aguas con partículas sólidas y logran mantener sus características metrológicas por períodos de tiempo más prolongados.

5. SELECCION DEL MEDIDOR

La selección del medidor debe realizarse considerando:

- 1). Tipo de Medidor: De acuerdo al tipo de agua: húmedo, seco, semi-seco.
- 2). Clase Metrológica: Según el perfil de consumo, el Régimen Tarifario y el Tipo de Agua.
- 3). Marca o Modelo: Con aprobación de tipo (incluida pruebas de vida)
Precio y garantías.

En la situación actual, la elección del medidor más adecuado no depende ya sólo del diámetro de la conexión, como se hacía habitualmente, sino de consideraciones técnico-financieras que deben ser cuidadosamente evaluadas.

A manera de guía podemos proponer la siguiente metodología:

Relevar la curva de consumo media de una muestra representativa de los usuarios utilizando para ello una unidad colectora de información (equipo Data Logger) que registra, en forma digital, los consumos para su posterior análisis con el soporte computacional adecuado.

Digitalizar esta información y analizar con un programa sencillo, los volúmenes de agua que se facturarían en caso de instalar medidores de clase B ó C.

Transformar estos volúmenes en valores monetarios, aplicando la tarifa vigente.

Obtener el monto de la inversión para cada clase de medidor.

Verificar que el mayor monto de inversión (para los de clase C) sea amortizado en un tiempo razonable (no más de 2 años).

De existir la posibilidad de variar el esquema de tarifas, analizar otras situaciones factibles.

Para perfeccionar todo lo anterior, sería conveniente analizar el comportamiento de distintos modelos, marcas y clases de medidores durante un período de un año, para confirmar la permanencia de la clase metrológica a través del tiempo.

6. ANALISIS DE LAS NORMAS SOBRE MICROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS

Las primeras Normas sobre medidores velocimétricos deben su origen a los países europeos. Las Normas DIN alemanas, las UNI, italianas fueron la base de las posteriores recomendaciones de la OIML y finalmente de la Norma ISO 4064.

Esta Norma en sus tres partes cubre:

- 1). Especificaciones.
- 2). Requisitos de Instalación.
- 3). Métodos de prueba y Equipamiento.

Localmente el mayor esfuerzo normalizador lo hizo O.S.N. (Obras Sanitarias de la Nación) y ya en el año 1976 aparece la Norma IRAM 2718, que compatibiliza los intereses del sector comprador, los fabricantes locales, y los usuarios de los servicios. Paralelamente en Brasil las Normas de la ABNT, NBR 8193/4/5 cubren la fuerte expansión del mercado de micro-medidores en ese país.

La creación del Mercosur impulsó la necesidad de contar con normas comunes que complementaran el libre intercambio de productos. Por esta razón, se vienen realizando desde 1993, reuniones entre sus miembros para promulgar una única norma sectorial que suplante a cada una de las de uso nacional actual.

A la fecha (Abril de 1999) se ha elaborado una Norma Mercosur que se encuentra en su etapa final, la votación del proyecto por parte de cada país integrante, representado por sus organismos de normalización. De resultar aprobada, como realmente se espera, el paso siguiente sería que cada país acepte reemplazar su norma local por la nueva reglamentación.

6.1. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE LAS NORMAS PROPUESTAS POR MERCOSUR 06:02-001 Y LAS ISO 4064 PARTE 1

El criterio imperante en las comisiones de elaboración de las Normas Mercosur, fue la de seguir los lineamientos de la Norma ISO, aprovechando su experiencia y en miras a una globalización de los requisitos. Fue necesario sin embargo, incursionar con más detalle en algunos puntos, que ya habían sido temas de conflicto en las Normas Nacionales anteriores y que se analizan a continuación.

6.2. MATERIALES CONSTITUTIVOS DE LOS MEDIDORES

6.2.1. Cuerpo

Este fue el punto que llevó a más extensas discusiones y análisis, ya que la Norma ISO expresa en forma genérica “que deben ser adecuados al uso al que están destinados”. La Norma Mercosur resulta más explícita en cuanto al material del cuerpo, el que debe ser de “una aleación de base cobre, con un contenido mínimo de cobre del 60%, excepto para medidores con $q_p = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ en los que debe ser de fundición de hierro”.

Esta aclaración, trata de impedir el uso de cuerpos plásticos, cuyo uso hasta la fecha no fue satisfactorio, pero en función de no restringir los avances tecnológicos que a diario aparecen, se adicionó una segunda cláusula que dice: “otros materiales metálicos podrán ser utilizados siempre que las propiedades físico químicas, verificables mediante los ensayos correspondientes cumplan con lo indicado”.

6.2.2. Contador

Por la forma de instalación de los medidores en esta parte del continente, que los expone con frecuencia a las radiaciones solares, se consideró oportuno establecer un ensayo de resistencia a la radiación ultravioleta, que asegure que las partes del contador (visor, rodillos numerados, etc.) no alteren sus condiciones ópticas y mecánicas por la acción de los rayos solares.

6.2.3. Blindaje Magnético

La posibilidad de alterar el funcionamiento de los medidores de acoplamiento magnético por medio de imanes ubicados en su exterior, no estaba contemplada en las Normas ISO y tampoco era frecuente que los fabricantes europeos produjeran medidores de estas características. Las experiencias locales recomendaron incluir una serie de ensayos, que garanticen el funcionamiento correcto de los medidores, aún ante la presencia de campos magnéticos externos importantes.

6.2.4. Dimensiones

Si bien se respetaron en su gran mayoría las dimensiones contenidas en la Norma ISO, se agregaron algunas variantes dimensionales que el uso y la práctica habían generalizado, particularmente en el mercado brasileño.

7. PRUEBA Y CONTROL DE LOS MICROMEDIDORES

Existen dos niveles de pruebas sobre los micro medidores:

7.1. APROBACIÓN DE TIPO

Es el primer paso para obtener la “homologación del modelo” o tipo de medidor y se efectúa sobre tres micromedidores presentados por el fabricante, a los que se verifica el cumplimiento de lo establecido en los Capítulos 4 a 7, de acuerdo con lo indicado en la **Tabla 2** (Norma propuesta Mercosur NM 06: 02-001) para los ensayos de tipo, los cuales deben satisfacer todos los ensayos.

7.2. APROBACIÓN DE LOTES (O REMESAS)

Se aplica sobre la producción o entrega en grandes partidas.

7.2.1. *Indicación General*

Aprobado el tipo, para la recepción de las remesas posteriores, se procede como se indica a continuación:

7.2.2. *Muestra*

De cada lote se extrae al azar, según muestreo por etapas, una muestra en la forma establecida en la Norma COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas) 327, para el nivel de inspección especial S4, plan de muestreo doble, comenzando con inspección normal, la que se somete, como mínimo, a los ensayos indicados en la **Tabla 2**, para ensayos de lote.

Características	Ensayo de tipo	Ensayo de lote	Método de ensayo*
Dispositivo indicador	X	-	Inspección visual
Dispositivo de verificación	X	-	Inspección visual
Dispositivo de regulación	X	-	4.3
Sistema de salida remota	X	-	Según norma IEC 529
Precintado	X	X	Inspección visual
Construcción	X	-	Inspección visual
Corrosión	X	-	Inspección visual
Medidas máximas	X	X	8.4.1
Roscas	X	X	8.4.2
Caudal máximo y pérdida de presión	X	-	8.3.2.1
Error máximo en la zona inferior	X	X	8.3.2.2
Error máximo en la zona superior	X	X	8.3.2.2
Prueba hidrostática	X	X	8.3.2.3
Filtro	X	-	Inspección visual
Funcionamiento prolongado	X	-	8.3.2.4
Blindaje magnético	X	-	8.3.2.5
Marcado	X	X	Inspección visual
Acoplamiento magnético	X	-	8.3.2.6
Radiación ultravioleta	X	-	8.5.2
Funcionamiento inverso	X	-	8.3.2.9
Resistencia del visor	X	-	8.5.1

* Se refiere a los métodos de ensayo para determinar las características de los medidores y a los artículos de la norma que los describen.

Tabla 2. Programa de ensayos según Normas Mercosur 06: 02-001

7.2.3. Aceptación o Rechazo

La aceptación o rechazo de los medidores se efectúa sobre la base del número total de unidades defectuosas en la forma establecida en la Norma COPANT 327 con un AQL (Nivel Aceptable de Calidad) del 4% para cada característica.

Cuando los últimos 10 lotes presentados a inspección hayan sido aceptados, estando vigente la inspección normal, queda a criterio del inspector la posibilidad de pasar a inspección simplificada. Cuando se rechace un lote o la producción sea irregular o sufre interrupciones serias, estando vigente la inspección simplificada, se debe reimplantar la inspección normal.

7.2.4. Aceptación Individual

La aceptación de los lotes no implica la de los medidores que no cumplan con esta norma, rechazándose individualmente todo medidor en el que se compruebe posteriormente que no satisface las exigencias establecidas en los capítulos 4 y 5 de la NM 06:02-001.

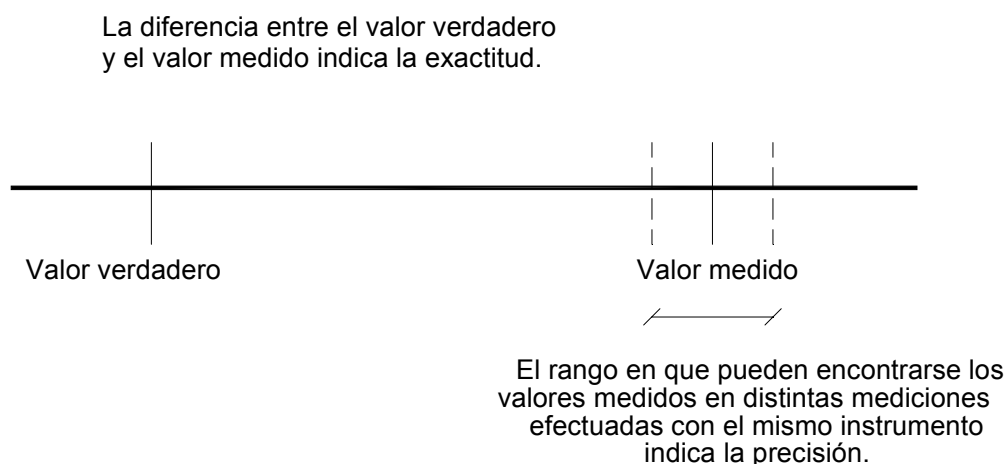
7.3. EQUIPAMIENTO PARA LAS PRUEBAS DE LOS MICROMEDIDORES

7.3.1. Bancos de Prueba de la Exactitud

Es importante que todo instrumento de medición tenga determinada precisión. Esta dependerá en gran parte del destino que se le dará al instrumento y de las condiciones de uso del mismo.

Se entiende por “exactitud” de una medición a la proximidad (grado de acercamiento) del valor medido con el valor verdadero de lo que se está midiendo.

“Precisión” es el grado de repetibilidad de una medida cuando se la vuelve a realizar con el mismo instrumento y en las mismas condiciones.



La exactitud es un concepto cualitativo ya que normalmente se desconoce el valor verdadero. La falta de exactitud produce un error sistemático que puede ser corregido si se conociera el valor verdadero (por ejemplo con un aparato patrón confiable).

La precisión es una propiedad inherente a cada equipo y corresponde a la confianza que puede dar cada medición respecto a otras realizadas en las mismas circunstancias. Su valor tiene relación con la clase metrológica.

El concepto de exactitud también es válido para los medidores de la empresa de abastecimiento de agua que deben poseer bancos de prueba que la garanticen tanto para los medidores nuevos como para los reparados.

Los bancos de prueba son instrumentos de mucha importancia ya que permiten la verificación del comportamiento de medidores en uso con miras a su remoción y la prueba de medidores nuevos, garantizando de esta manera que se adquieran solamente aparatos que cuenten con la exactitud adecuada.

Los bancos de prueba más usuales en el mercado actual son de tres tipos:

- 1). Volumétricos.
- 2). Gravimétricos.
- 3). Optico/electrónicos.

7.3.1.1. Bancos de Prueba de Principio Volumétrico

Los bancos de prueba de principio volumétrico, usan tanques con escalas graduadas que permiten saber la cantidad de agua que pasa por los medidores que se prueban. Estos bancos disponen de aparatos sencillos y fáciles de manejar. Su exactitud y precisión está garantizada siempre y cuando se utilicen tanques con dimensiones y formas exactas. Es necesario tener cuidado de que las dimensiones de los tanques no se alteren por la corrosión o los golpes. Por estas razones se fabrican en acero al carbono sometido a un tratamiento especial o en acero inoxidable.

En la **Figura 12** se presenta de forma esquemática un banco de prueba de principio volumétrico.

El objeto del indicador de caudales es permitir aproximar, con la válvula de control, el caudal al cual se va a realizar el ensayo.

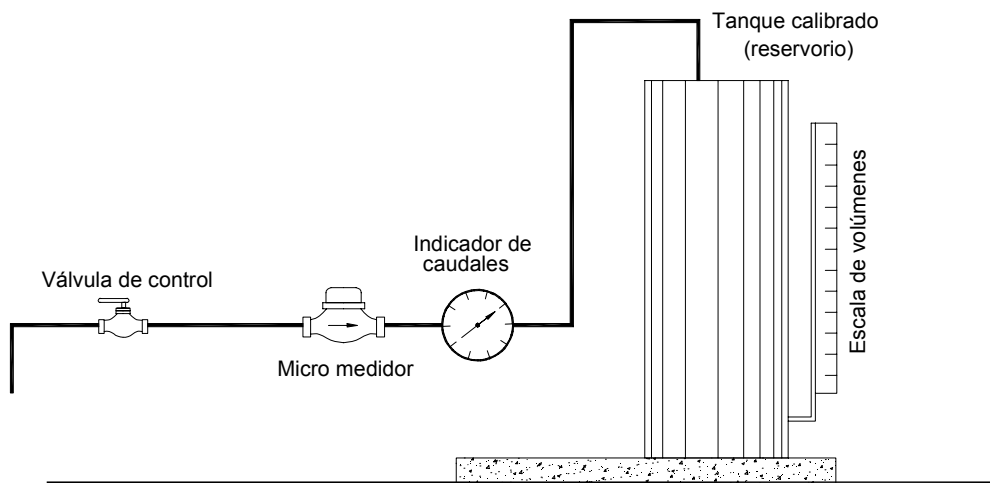
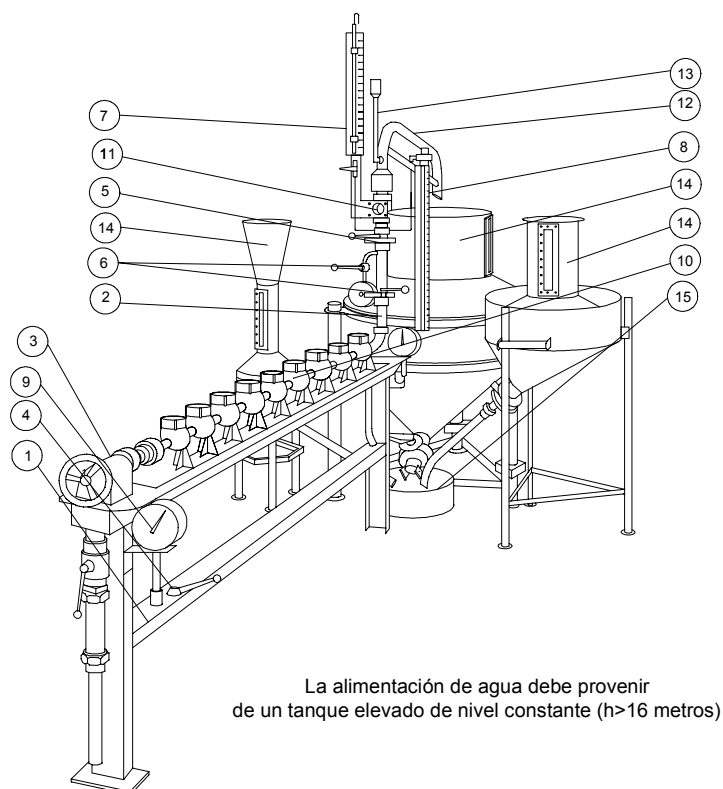


Figura 12. Esquema de banco de prueba de principio volumétrico

La **Figura 13** ilustra la disposición de un banco de prueba, con sus partes constitutivas.



7.3.1.2. Banco de Prueba de Principio Gravimétrico

Los bancos de prueba de principio gravimétrico usan una balanza cuya escala se gradúa en unidades de volumen. Emplean reservorios de dimensiones libres y son más precisos que sus similares volumétricos, pero no ofrecen la misma facilidad de manejo. Sin embargo, este tipo de banco de prueba se usa mucho en laboratorios donde se exige mayor precisión, como el caso de la calibración de medidores de procesos industriales.

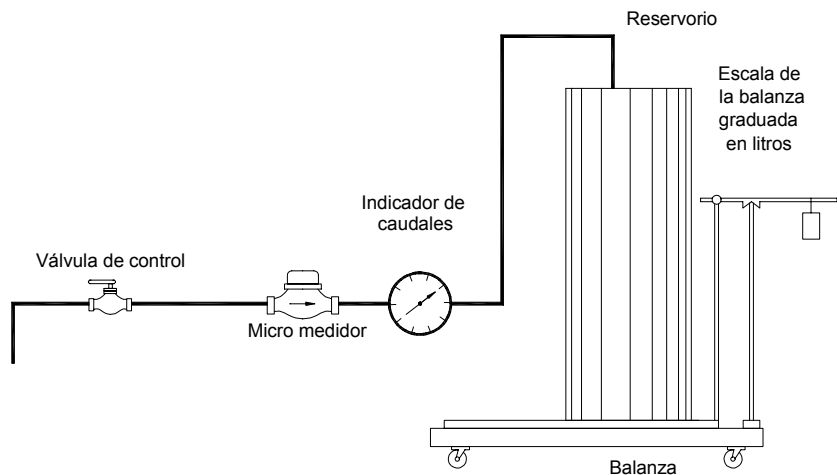


Figura 14. Banco de prueba de principio gravimétrico

7.3.1.3. Bancos de Prueba de Principio Óptico/Electrónico

Los bancos de principio óptico usan el principio estroboscópico con un sensor fijo en el medidor patrón y otro sensor colocado en el medidor a calibrar; la precisión se deduce de la comparación de las revoluciones realizada por una microcomputadora que comanda el sistema. Este sistema es muy efectivo porque permite la calibración en un tiempo sustancialmente menor que los obtenidos en los bancos de principio volumétrico y gravimétrico.

7.3.1.4. Bancos de Prueba con Medidor Patrón

Los medidores Patrón son adecuados para bancos de prueba fijos o en bancos de prueba portátiles para probar medidores “in situ”. Es importante destacar que en el terreno las condiciones de presión varían durante la prueba, motivo por el cual éstos últimos tienen una precisión inferior a las obtenidas en un banco fijo. Las pruebas en el terreno se recomiendan para la calibración de medidores industriales y para la atención de reclamos de consumo.

Distintos Modelos de bancos de prueba con Medidor Patrón

a) Bancos mecánicos para contraste de medidores domiciliarios

Los medidores patrón para este tipo de bancos han sido desarrollados para controlar, en pocos minutos, la precisión y exactitud de los medidores de agua conectados en serie.

El órgano de medición es un medidor patrón (que se considera por definición exacto) de mayor precisión que el de los medidores domiciliarios y posee indicación digital hasta el litro inclusive, evitando así la indefinición que presenta la lectura por agujas.

Una llave de cierre rápido permite interrumpir la circulación del agua, una vez alcanzado el volumen deseado.

Estos medidores se usan en bancos portátiles por las empresas de saneamiento para atender reclamos de consumo de parte de los usuarios sin retirar el medidor de la conexión (ver **Figura 15**). Tienen la ventaja de que el usuario puede ver la calibración y esto le proporciona más confiabilidad en la empresa.

También son usados en bancos fijos en talleres para el control de medidores y para verificar los medidores reparados (ver **Figura 15**).

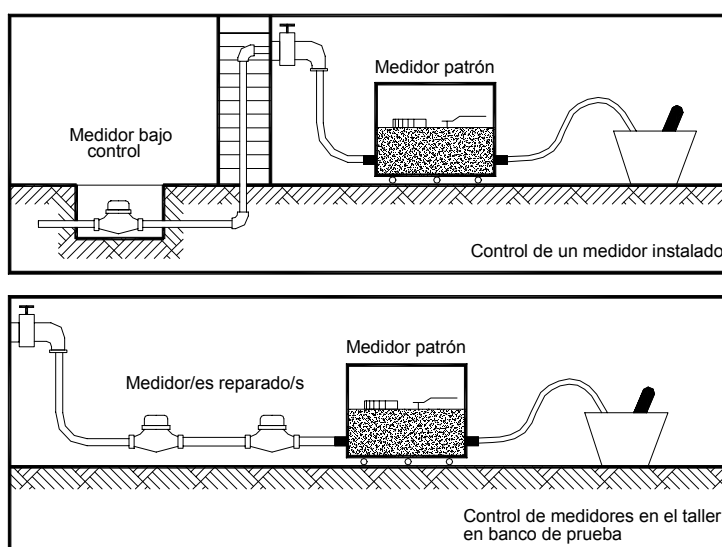


Figura 15. Medidor patrón portátil

b) Banco electrónico portátil destinado a medidores domiciliarios

Estos bancos de calibración permiten obtener el caudal instantáneo y los volúmenes acumulados; son muy prácticos para pruebas en el terreno. Se manejan fácilmente y son más precisos que sus similares mecánicos. La **Figura 16** representa uno de estos tipos de banco, constituido por un medidor de alta precisión asociado al dispositivo de lectura óptica electrónica.

Se indican a continuación las especificaciones técnicas para el medidor patrón:

- Medidor patrón volumétrico Clase “D” y registro electrónico digital.
- Debe indicar simultáneamente el caudal instantáneo en litros por segundo y el volumen en litros con resolución de 0,1 litro.
- Registro retornable a cero.
- Batería para 5 años.
- Debe mantener la precisión de Clase “D” durante 5 años ó 1800 m³, plazo en el que requerirá cambio de batería en fábrica y posiblemente recalibración.
- Suministrado con curva de precisión desde fábrica indicando sus valores para 10 caudales hasta 5 m³/h.
- Provisto de filtro y conexiones.
- Fácil de transportar (aprox. 25 kg).

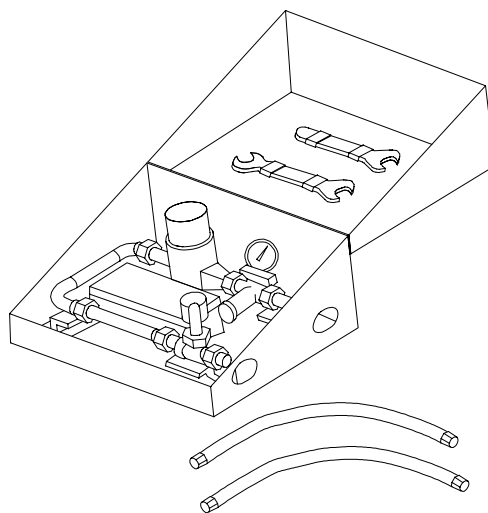


Figura 16. Banco electrónico portátil

7.3.2. Prueba de Vida

Las Normas Internacionales al abrir las posibilidades de usar distintos materiales en la construcción del medidor, buscan transferir al fabricante esta decisión, así como las características de los diseños, pero acotan el resultado de lo anterior a una rigurosa prueba de funcionamiento prolongado.

Las Normas IRAM, ISO y Mercosur establecen así una prueba de vida que constituye un elemento clave para determinar la bondad del medidor a largo plazo. Sin embargo, su

aparente complejidad hace que ésta se omita, con grandes riesgos económicos para el futuro.

Las dos pruebas normalizadas se indican a continuación:

a) Discontinua

Consiste en hacer circular por el medidor a ensayar, un caudal igual al caudal permanente (q_p) que le corresponde, produciendo por el accionar de válvulas (cierre y apertura) interrupciones en el flujo. Estos “arranques” y “paradas” del medidor reproducen a los que se verá sometido en su uso normal de varios años.

b) Continua

Este ensayo se realiza a caudal doble que el permanente ($2q_p$) y consiste en hacer funcionar al medidor en estas condiciones durante 100 horas.

Los detalles sobre la ejecución práctica de estas pruebas y la posterior evaluación de los resultados se indican en los siguientes puntos:

Tipo de Ensayo	Caudal de Ensayo	Número de Interrupciones	Duración de las Pausas (s)	Período de Operación al Caudal de Ensayo	Duración del Arranque y la Desaceleración (s)
Discontinuo	q_p	100.000	15	15 s	Mínimo de 1 s
Continuo	$2 q_p$	---	---	100 h	

Nota: La variación relativa en los caudales de ensayo es de -10%
s = segundos h = horas

Tabla 4. Características del ensayo de funcionamiento prolongado

Desvíos de los Errores Máximos Permisibles

Luego del ensayo de funcionamiento prolongado, los desvíos de los errores máximos permisibles en cada zona, no deben ser mayores que los indicados en la **Tabla 5**.

Caudal	q_p	q_t	q_{\min}
Desvío	$\leq 2,0\%$	$\leq 3,0\%$	$\leq 4,0\%$

Nota: Los desvíos son el resultado de la diferencia entre los errores observados en el contraste antes y después del ensayo de funcionamiento prolongado.

Tabla 5. Desvíos de los Errores Permisibles

Corrosión

Luego del ensayo de funcionamiento prolongado, los medidores no deben presentar signos visibles de corrosión interna o externa.

7.3.3. Bancos para la Prueba de Vida

Los bancos para estos ensayos deben cumplir:

7.3.3.1. Banco de Ensayo de Caudal Discontinuo

Debe poseer un dispositivo automático para interrupciones del caudal, control de duración y contador de ciclos. La salida debe estar ubicada en un nivel más alto que la parte más alta de los medidores.

7.3.3.2. Banco de Ensayo de Caudal Continuo

Deben tener estructura mecánica, registros, manómetros y bombas hidráulicas suficientes para el caudal de sobrecarga y la salida del fluido debe estar ubicada en un nivel más alto que la parte más alta de los medidores.

7.3.4. Ensayo de Pérdidas de Presión

Como los valores de la pérdida de presión caen con el cuadrado del valor del caudal, y como en la mayoría de las instalaciones domiciliarias están en juego bajos caudales, el efecto práctico de este parámetro es de poca importancia en el uso de los medidores.

7.3.4.1. Características

Los extremos del banco de ensayo para la determinación de la pérdida de presión, deben construirse con tubos rectos según la relación $L \geq 15 D$ y $L_1 \geq 10 D$ y $L_2 \geq 5D$, donde L_1 y L_2 son las distancias de los caños aguas arriba y aguas abajo respectivamente, de los extremos de la toma de presión en la sección de medición y D el diámetro de la cañería (ver **Figura 17**).

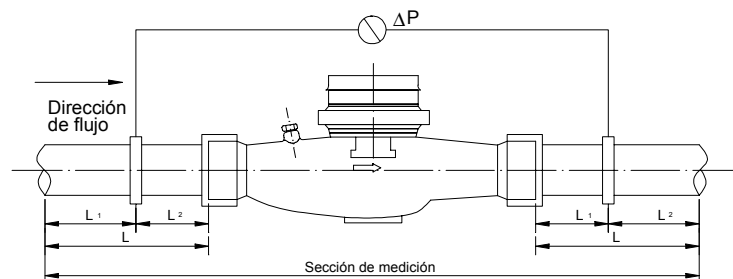


Figura 17. Esquema para la medición de la pérdida de presión

Las cañerías aguas arriba y aguas abajo del medidor deben tener el mismo diámetro interno que sus conexiones y deben cumplir con lo establecido en las normas.

En la determinación de la pérdida de presión del medidor deben descontarse las pérdidas de presión de los tramos rectos entre la toma de presión aguas arriba del medidor y la entrada del medidor y entre la salida del medidor y la toma de presión aguas abajo del medidor.

7.3.4.2. Dispositivos de Medición de Presión

El error máximo admisible para manómetros de presión estática y diferencial debe ser del 2% de la presión indicada.

7.3.4.3. Medición del Caudal

El error máximo admisible para la medición del caudal debe ser del 2% del caudal de ensayo.

7.3.5. Ensayos de Blindaje Magnético

El ensayo consiste en someter a un medidor de transmisión magnética, a un campo magnético generado por dos imanes de características definidas y verificar la variación del error relativo porcentual en el caudal mínimo (q_{\min}). Los imanes deben tener imantación axial y la intensidad del campo magnético generada se considera satisfactoria cuando cumple con las siguientes condiciones:

- Con una fuerza $F = 21,6 \text{ N}$ (2,2 kgf) aplicada lentamente, los imanes deben mantenerse acoplados por un período no menor de 30 segundos.
- Con una fuerza $F = 27,5 \text{ N}$ (2,8 kgf) aplicada lentamente, debe haber un desacoplamiento de las piezas móviles.

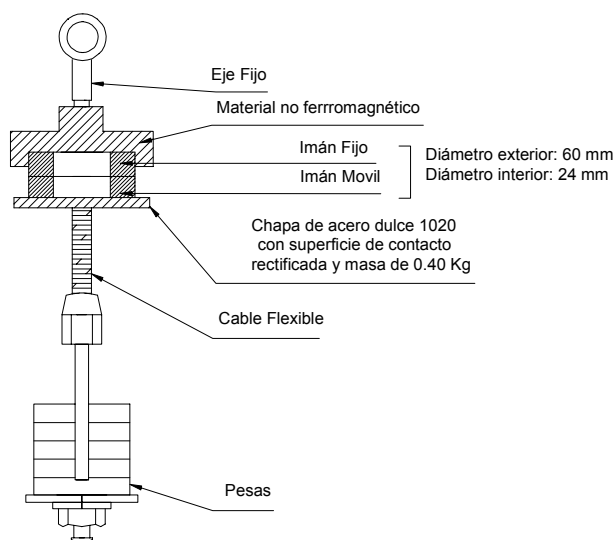


Figura 18. Dispositivo para verificar las características de los imanes

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

7.3.5.1. Ubicación de los Imanes

La ubicación de los imanes exteriores durante el ensayo del medidor debe ser la siguiente:

- a) dos imanes superpuestos,
- b) dos imanes colocados uno opuesto al otro paralelamente.

En ambos casos los imanes deben colocarse en la posición más perjudicial para el funcionamiento del medidor.

7.3.5.2. Procedimiento

Se instalan los medidores en un banco de ensayo sin la acción del campo magnético de los imanes exteriores, se efectúan tres ensayos con el caudal mínimo (q_{\min}) para obtener los errores relativos porcentuales y se calcula la media aritmética para cada medidor.

Se somete a los medidores a la acción del campo magnético y se repite el procedimiento anterior.

El desvío de los errores relativos obtenidos en las condiciones precedentes se calcula mediante la expresión siguiente:

Desvío de cada medidor = Error obtenido sin campo magnético – Error obtenido con campo magnético.

Nota: Los desvíos negativos deben excluirse. Para considerar el ensayo como satisfactorio los resultados deben presentar un desvío del error relativo porcentual a q_{\min} , menor o igual que el 5 %.

7.3.6. Acoplamiento Magnético. Resbalamiento

Los ensayos enunciados anteriormente aseguran que las indicaciones de un medidor con acoplamiento magnético, no serán afectadas por la influencia de imanes que se coloquen exteriormente.

Sin embargo puede existir otro problema del acoplamiento, durante los arranques o paradas bruscas, debido al hecho de abrir o cerrar una válvula (un grifo). En estas condiciones el imán superior (el seguidor) puede demorar en alcanzar la velocidad del inferior, por un efecto llamado “resbalamiento”. Algo similar, pero a la inversa, puede ocurrir cuando el inferior se detenga abruptamente, y el superior continúe girando. En ambos casos, la pérdida de vueltas o el exceso de éstas se traducen en errores en la indicación. Para asegurarse de que los medidores no presenten este problema, se realiza un ensayo, colocándolos en un banco de prueba, regulando un caudal determinado ($1,4 q_p$) y produciendo cierres y aperturas rápidas de la llave reguladora del caudal (menores de 1 segundo). En estas condiciones, el error de indicación deberá ser menor que el 10%.

8. INSTALACIÓN DE MICROMEDIDORES

En nuestro país existe acuerdo en que los micromedidores deben ser instalados fuera de los límites de la propiedad. Sin embargo, subsisten distintos criterios sobre si esta ubicación debe ser debajo del nivel de la acera o en un gabinete en la pared. Se analizan a continuación las ventajas y desventajas de cada una.

8.1. EN LA PARED (O EN UN CABALLETE)

Existe un fácil acceso para la instalación, lectura, mantenimiento y eventual corte. Hay mejor conservación del medidor, no se corroe su cuerpo, no se ensucia ni se empaña fácilmente su contador. Dificulta los ilícitos. No debe soportar esfuerzos. Es, sin embargo, más cara.

8.2. BAJO NIVEL DE VEREDA

Es más económica su instalación y al tener menos curvas y menores recorridos, hay una menor pérdida de presión del agua. Como desventajas puede indicarse que puede llenarse de agua, polvo y suciedad, es de difícil acceso en especial para la lectura y debe soportar esfuerzos mecánicos de tránsito peatonal y vehicular.

8.3. CONDICIONES GENERALES PARA LA INSTALACIÓN

Actualmente se prefiere preparar un kit con el medidor, llave maestra, válvula anti-retorno y accesorios de conexión. Se deben observar las siguientes recomendaciones:

- El medidor debe instalarse en lugar fácilmente accesible para permitir las operaciones de lectura, mantenimiento (desarmado), cambio o remoción en forma directa, sin necesidad de utilizar accesorios o provocar roturas de la cámara de alojamiento.
- Para lograr el mejor aprovechamiento de las cualidades que brindan los aparatos, la instalación debe respetar las condiciones establecidas en cada norma, en especial lo referente a su horizontalidad, que debe encontrarse dentro de los $\pm 5^\circ$.
- Para proteger al medidor de condiciones externas severas y facilitar su lectura, visual o automática, se recomienda instalarlo en un nicho en la pared o en un caballete, por sobre el nivel del piso.
- Al menos una de las piezas de conexión del medidor, preferentemente la de entrada debe tener un precinto para limitar las posibilidades de fraude por inversión del aparato.
- En el caso de instalaciones en el piso, la caja o cámara de alojamiento, su marco y tapa, deben brindar seguridad física acorde con el tránsito previsto para el solado.

- La caja o cámara de alojamiento debe permitir el drenaje del agua que, proveniente de su entorno, pudiera ingresar a ella, con el fin de evitar tanto su anegamiento como la acumulación de agua contaminada.
- La alineación de los acoples respecto del medidor debe hacerse con esmero para evitar esfuerzos no uniformes que afecten los elementos de sellado, ocasionando pérdidas prematuras.
- La cañería de entrada al medidor debe purgarse previamente a su conexión, para eliminar las partículas sólidas que pudieran disminuir el rendimiento inicial del filtro.
- En el caso que el medidor forme parte de una instalación de puesta a tierra, debe conectarse un conductor eléctrico en derivación, en forma permanente al medidor y sus accesorios, para reducir los riesgos al personal que deba operar en contacto con el aparato.
- En el caso de medidores con turbinas ubicadas en la sección transversal del flujo de la cañería, debe evitarse su instalación en lugares donde fueran previsibles variaciones bruscas en las condiciones hidráulicas, tales como cavitación, sobrepresiones por golpe de ariete, turbulencias, u otras.

9. LECTURA DE MICROMEDIDORES

Se entiende por “lectura”, al hecho de relevar la indicación del contador del medidor y por diferencia con una anterior, determinar los metros cúbicos de agua, o sea el volumen, que ha circulado por él.

9.1. DISTINTOS SISTEMAS

- a) Manual sobre planilla.
- b) Manual sobre colectora de datos.
- c) Manual por contacto.
- d) Vía radio.
- e) Vía telefónica.

Los sistemas indicados en c), d) y e) constituyen sistemas de lectura automática y reciben en inglés el nombre genérico de AMR (Automatic Meter Reading).

9.1.1. Forma Manual Sobre Planilla

Emitidos los listados de los usuarios ordenados por rutas lógicas, generalmente de menor recorrido, son asignados a los “lecturistas”. Estos realizan el recorrido provistos además de la planilla, de las herramientas necesarias para abrir el alojamiento del medidor, de un paño para limpiar el visor en caso necesario y eventualmente de una palita o elemento similar para retirar tierra, barro, hormigueros, etc.

Es preferible que las planillas no lleven la anotación del último estado, ya que podrían facilitar fraguar lecturas a lecturistas no responsables.

La dirección del domicilio constituye el elemento básico de la identificación del usuario y el número del medidor su confirmación. Otros datos como nombres, ubicación, etc., pueden existir en la planilla, pero sólo como información complementaria.

El lectorista debe anotar además, las novedades que encuentre: pérdidas, domicilio incorrecto, medidor empañado, etc.

9.1.2. Forma Manual Sobre Colectora

Una colectora es equivalente a una PC portátil, destinada a automatizar las tareas de consulta, registro y transferencia de datos, que con programas adecuados puede utilizarse para realizar la lectura de medidores.

Las ventajas fundamentales del uso de colectora con respecto al sistema manual son:

- Más práctica de llevar, sin hojas que se ensucian, se mojan, números poco legibles, etc.
- Permite verificar al momento de tomar la lectura, si se encuentra dentro de los promedios históricos para ese cliente, sin que estos valores sean conocidos por el lectorista, pero sí advirtiéndolo esta situación. Esto permite hacer una primera consistencia de los valores relevados y eliminar errores de lectura grandes.
- Permite relevar en forma codificada, las novedades encontradas.
- Descarga automática de la información, en poco tiempo y sin errores de transcripción.
- Deja un registro del horario de cada toma estado. Esto posibilita hacer estudios sobre el rendimiento y un control sobre la tarea del lectorista.

Las características técnicas de cada modelo de colectoras, la metodología de lectura y la cantidad de información que se incorpore, determinan el comportamiento de ésta.

Generalmente, pueden cargarse hasta 1.000 lecturas a realizar. El rendimiento de un lectorista depende de la densidad de medidores instalados, del lugar y condiciones de instalación. Puede considerarse como una cifra promedio: 250 a 400 lecturas diarias en una jornada de 8 horas.

Se debe tener presente que la ventaja de este sistema, con respecto al de planillas, no reside en el tiempo de tomar la lectura, sino en todas las tareas posteriores, que evitan transcripciones manuales y sin errores y en los registros adicionales disponibles.

9.1.3. Forma Manual por Contacto (Touchread)

El contador del medidor contiene a un decodificador, controlado por un microprocesador que permiten “leer” desde el exterior y a través de un acoplamiento inductivo, la posición de los rodillos numerados, o sea hacer su lectura. Esta se realiza con una pistola electrónica, que lee la medición e incorpora la información, en menos de 2 segundos, a una colectoras portátil, similar a la usada para el toma estado manual. Además de reducir el tiempo de trabajo y eliminar todo error de lectura, es posible leer medidores internos o de difícil acceso, ya que se puede separar físicamente el medidor del cabezal de interrogación.

9.1.4. Lectura Vía Radio

En este caso los medidores con su contador-decodificador electrónico, van conectados a un equipo transmisor de radio, que se activa al recibir una señal codificada proveniente de la unidad interrogadora, a la cual le transmite la “lectura”. La unidad interrogadora portátil puede ser llevada a pie por un lectorista, o en un vehículo que puede desplazarse a velocidades de hasta 40 Km./hora.

Generalmente pueden conectarse varios medidores internos o externos al mismo equipo transmisor de radio. Además de todas las ventajas de los equipos automáticos (reducido tiempo, sin errores), debe agregarse a éste, la libertad del recorrido de las rutas, ya que

los medidores son activados al pasar cerca de ellos sin necesidad de tener que ubicarlos físicamente.

9.1.5. Lectura Vía Cable Telefónico

En este caso los medidores están conectados por una interfase a la línea telefónica. Son programados internamente para que a períodos determinados de tiempo llamen y transmitan su lectura a la empresa.

También pueden ser consultados, llamándolos con una clave, para resolver cuestiones con los clientes o hacer estudios de consumo, etc.

9.2. CAMPO DE APLICACIÓN DE CADA SISTEMA

La forma manual sobre planilla, ha sido la habitual desde la aparición de esta actividad hasta la última década, donde con la aparición de las colectoras portátiles (hand held), éstas están ya reemplazando al sistema de planillas, eliminando errores de lectura, transcripción y aumentando la velocidad de todos los procesos previos a la facturación.

Los restantes sistemas indicados en c), d) y e) se encuentran ya bien desarrollados en algunos países especialmente en EE.UU. Algunas limitaciones técnicas que presentan los medidores velocimétricos, el lugar de instalación bajo la vereda y el costo de estos equipos, hacen pensar que su introducción en forma generalizada en nuestro país demorará varios años.

En la Argentina la lectura manual sobre planilla resulta efectiva y económica en pequeños servicios con no más de 1000 a 2000 medidores. Con cifras superiores y en el estado actual de la técnica se hace recomendable la lectura manual con colectoras.

Los sistemas automáticos, a pesar de sus ventajas, requieren del uso de medidores especiales, de una infraestructura de apoyo y mantenimiento de todo el sistema de mayor costo. Estando por ahora limitada su aplicación, a la lectura de macromedidores, que por su ubicación, o por el monto a facturar, o por las características del consumo, justifiquen las inversiones necesarias.

10. MACROMEDIDORES

10.1. DEFINICIÓN

Si bien no existe un límite preciso entre los micromedidores y los macromedidores, es práctica habitual como ya se ha mencionado, considerar que los elementos de medición utilizados en conductos cerrados de diámetro mayor a 40 mm, sean llamados “macromedidores”. Esta diferenciación técnica se basa fundamentalmente en que a partir de este diámetro, las formas constructivas comienzan a diferenciarse claramente, dando lugar a diferentes alternativas, según los distintos principios físicos de la medición.

10.2. ALCANCE

En los acápites 10 a 17 sólo se hará referencia a macromedidores fijos instalados en cañerías a presión.

Los mismos están normatizados en la Norma ISO 4064/1/2/3. Las Normas Iram y Mercosur no los incluyen.

10.3. CLASES DE MACROMEDIDORES

- Velocimétricos:
 - A turbina.
 - A hélice.
 - A paletas de inserción (molinetes).
- Acústicos:
 - Por efecto Doppler.
 - Por tiempo de tránsito.
- Diferenciales:
 - De placa orificio.
 - Tubo Venturi (corto o largo).
 - De tobera.
 - Proporcionales.
 - Tubo de pitot.
- Electro-magnéticos.

- A Vórtice.

Existen además una serie de medidores que han sido desarrollados para aplicaciones específicas, como los medidores másicos por efecto “Coriolis” y que pueden ser utilizados para medir agua, si bien su costo, o condiciones de instalación no los hacen razonables para este uso.

En estos equipos el líquido circula por un tubo plegado (con la forma de la letra griega omega (Ω)). Las deformaciones que le producen los distintos caudales cambian la frecuencia de la resonancia del mismo. De esta forma la frecuencia es función de la masa. Midiendo esta frecuencia e integrándola se puede determinar el volumen circulado.

11. MACROMEDIDORES A TURBINA (TIPO WOLTMANN)

Los medidores a turbina, tienen como elemento básico a un molinete (o turbina) con varios alabes, instalado dentro de un conducto cerrado, de tal forma que el flujo que circula en forma axial, le imprime un movimiento rotativo. Este movimiento, proporcional al caudal que circula, es integrado mecánicamente por un mecanismo reductor a engranajes y acumulado como volumen en un contador mecánico o electrónico (en los modelos más recientes).

Estos aparatos se denominaron Woltmann en homenaje al ingeniero alemán Reinhard Woltmann que en 1790 introdujo el uso de molinetes de su invención en la medición de caudales en conductos abiertos.

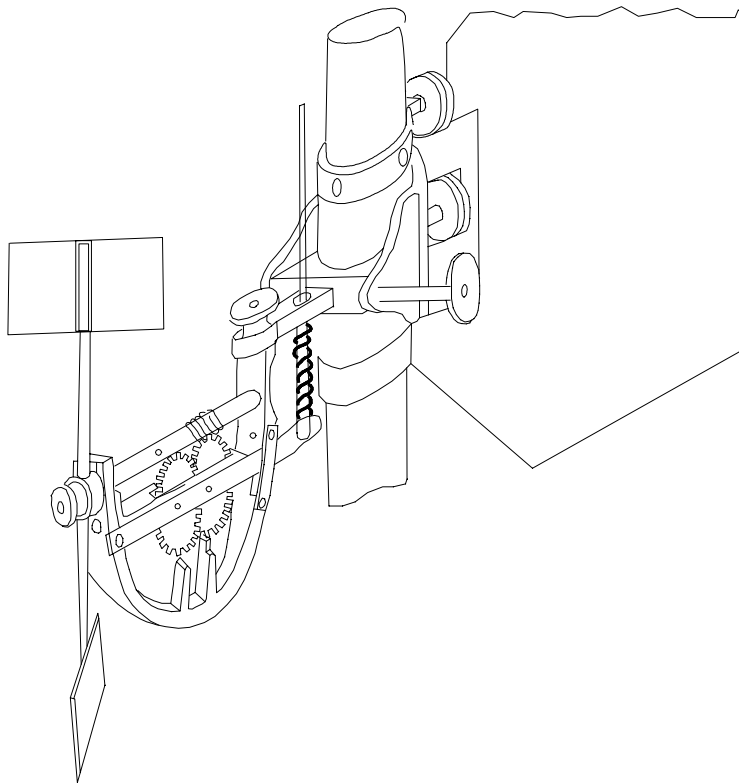


Figura 19. Medidor de caudal desarrollado por Woltmann

Perfeccionado en 1820 por Treviranus, quién le colocó palas helicoidales, sólo a fines del siglo 19 comenzó a utilizarse en la ciudad de Leipzig, para la medición de agua en conductos cerrados bajo presión. A partir de ese entonces y hasta la fecha, el medidor Woltmann en sus distintas formas, constituye el medio más efectivo, seguro y económico de medir el agua en los servicios públicos.

La **Figura 20** ilustra las partes componentes más importantes de un medidor de eje horizontal.

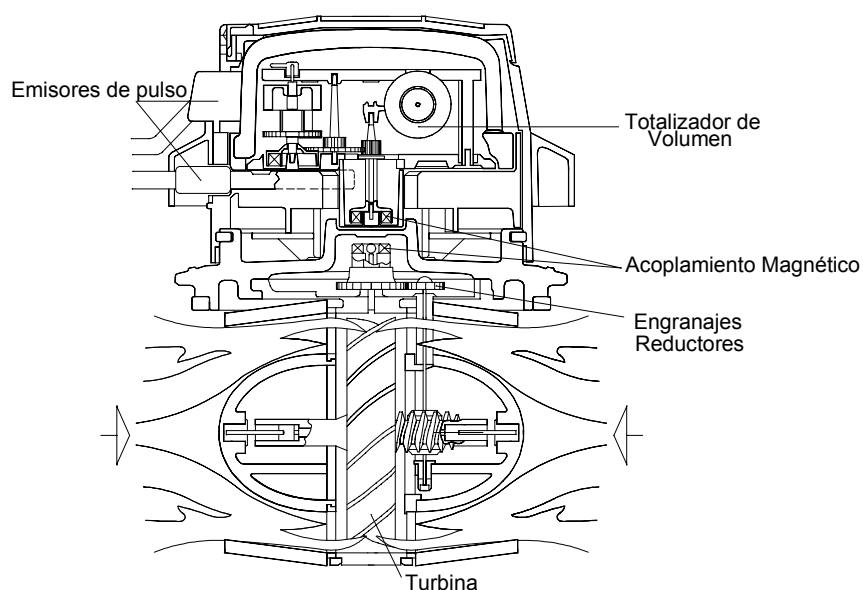


Figura 20. Corte de un medidor Woltmann de eje horizontal

11.1. DISTINTOS MODELOS DE MEDIDORES WOLTMANN

Según la posición del eje de la turbina se dividen en medidores de:

- Eje horizontal.
- Eje vertical.

Y según la dirección de entrada y salida del flujo de agua:

- Normales (la entrada y salida conservan el mismo eje).
- Para salida de pozo ó de ángulo recto (la entrada y salida están a 90°).

11.1.1. Medidor Woltmann de Eje Horizontal

Sus características internas se observan en la **Figura 20**.

Pueden instalarse en cualquier posición y su principal característica es poseer una pérdida de carga inferior a los similares de eje vertical.

La **Tabla 6** se indican las características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje horizontal, fabricados por una de las firmas comerciales citadas en la Bibliografía.



Tipo			WPD										WP	
Diámetro nominal	DN	mm	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500
Presión Nominal	PN	bar	16	16/40	16	16/40		16	16/40	16/40	16/25		16	
Longitud total	L	mm	220	200	200	225(200)	250	250	300	350	450	500	500 (800)	500 (900)
Instalación	Tubería		Horizontal – inclinada / vertical										Horizontal – vertical	
	Cabezal del medidor		Hacia arriba o a los lados 										Hacia arriba o a los lados 	
Caudal en m ³ /h Hasta 50 °C	Q _{max}	Caudal máximo	60	90	120	200	300	350	600	1200	1600	2000	3000	4500
	Q _n	Caudal continuo permisible	40	50	70	120	230	250	450	800	1250	1400	2000	3000
	Q _t	Caudal de transición ± 2%	0,8	0,7	0,8	0,8	1,8	2,0	4,0	6,0	11,0	15,0	50	60
	Q _{min}	Caudal mín. límite inf. del campo de medida ± 5%	0,30	0,30	0,40	0,50	0,80	1,00	1,80	4,0	6,0	12,0	25	45
		Caudal de arranque	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,50	1,00	1,5	3,0	8,0	15	20
		Pérdida de carga a caudal continuo permisible (Q _n) bar.	0,15	0,21	0,40	0,13	0,3	0,25	0,25	0,18	0,09	0,05	0,04	0,02

Tabla 6. Características típicas de funcionamiento y dimensiones de medidores tipo Woltmann (fabricados por una firma comercial)

11.1.2. Medidor Woltmann de Eje Vertical

En la **Figura 21** se puede observar el corte de un medidor Woltmann de eje vertical.

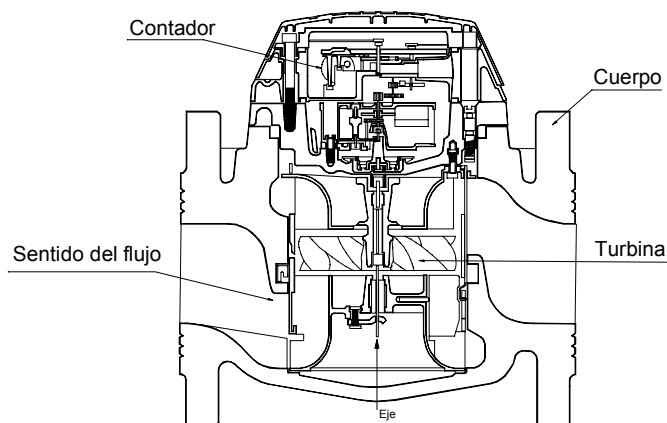


Figura 21. Medidor Woltmann de eje vertical

El flujo de agua describe una “S” entre la entrada y la salida. La corriente ascendente que incide sobre la turbina compensa el peso de ésta, reduciendo el roce de sus ejes sobre los bujes de los extremos. Como resultado práctico de lo anterior, resultan menores caudales de arranque, pero también hoy se considera que la circulación en “S” reduce el rango de medición en altos caudales. Estos medidores sólo pueden instalarse en cañerías horizontales.

En la **Tabla 7** se indican las características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical fabricados por una de las firmas comerciales citadas en la Bibliografía.

Tipo	WSD					
Diámetro nominal	mm	50	65	80	100	150
Presión Nominal	bar	16/40	16	16/40		
Longitud Total	mm	270 (300)	300	300 (350)	360 (350)	500
Para Tubería	Horizontal —					
Contador	Hacia arriba ↑					
Caudal Máx – $Q_{m\acute{a}x}$	m^3/h	35	70	110	180	350
Caudal Continuo – Q_n	m^3/h	20	40	55	90	250
Caudal de Transición $\pm 2\%$	m^3/h	1,0	2,5	2,5	3,0	5,0
Caudal Mínimo $\pm 5\%$	m^3/h	0,15	0,2	0,2	0,3	0,8
Caudal de Arranque	m^3/h	0,05	0,07	0,1	0,11	0,5
Pérdida de Carga a Q_n	bar	0,10	0,17	0,18	0,16	0,40

Tabla 7. Características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical, (fabricados por una firma comercial)

11.1.3. Medidores Woltmann con Salida a 90°

Estos medidores son básicamente similares a los del tipo a eje vertical pero su cuerpo ha sido diseñado para que el flujo de salida, se encuentre 90° desplazado con respecto al de entrada. Esta característica lo hace especialmente utilizable a la salida de pozos de bombeo, ya que simplifica mucho la instalación, reemplazando directamente a un codo de 90°. Sus limitaciones se encuentran en los altos caudales, si bien estos valores cubren aceptablemente los que normalmente suministran los pozos de bombeo. (Ver **Figura 21**).

En la **Tabla 6** se indican las características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical con salida a 90° fabricados por una firma comercial citada en la Bibliografía.

Tipo	WB				
Diámetro nominal	DN	mm	80	100	150
Presión Nominal	PN	bar	16		
Longitud Total	L	mm	180 (165)	200 (180)	250 (220)
Instalación	Tubería En lugar de un codo de 90°				
	Cabezal del medidor Hacia arriba ↑				
Caudal en m ³ /h hasta 50°C	Q _{máx}	Caudal máximo	110	180	350
	Q _n	Caudal continuo permisible	55	90	250
	Q _t	Caudal de transición ± 2%	3	6	15
	Q _{mín}	Caudal mín. límite inf. del campo de medida ±5%	0,55	0,65	0,80
		Caudal de arranque	0,2	0,30	0,50
	Pérdida de carga a caudal continuo permisible (Q _n) bar		0,20	0,25	0,40

Tabla 8. características de funcionamiento y dimensiones de medidores Woltmann de eje vertical con salida a 90° (fabricados por una firma comercial)

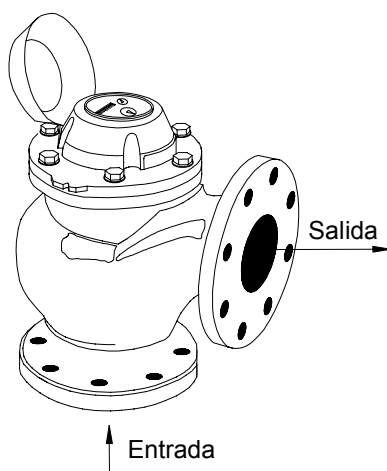


Figura 22. Aspecto externo de un medidor con salida a 90°

11.2. CONSTRUCCIONES ESPECIALES

La mayoría de los medidores Woltmann de construcción actual, poseen salidas de pulsos de baja y alta frecuencia para ser utilizados en distintos procesos de control, tales como: registro de caudales y volumen, transmisión a distancia, etc.

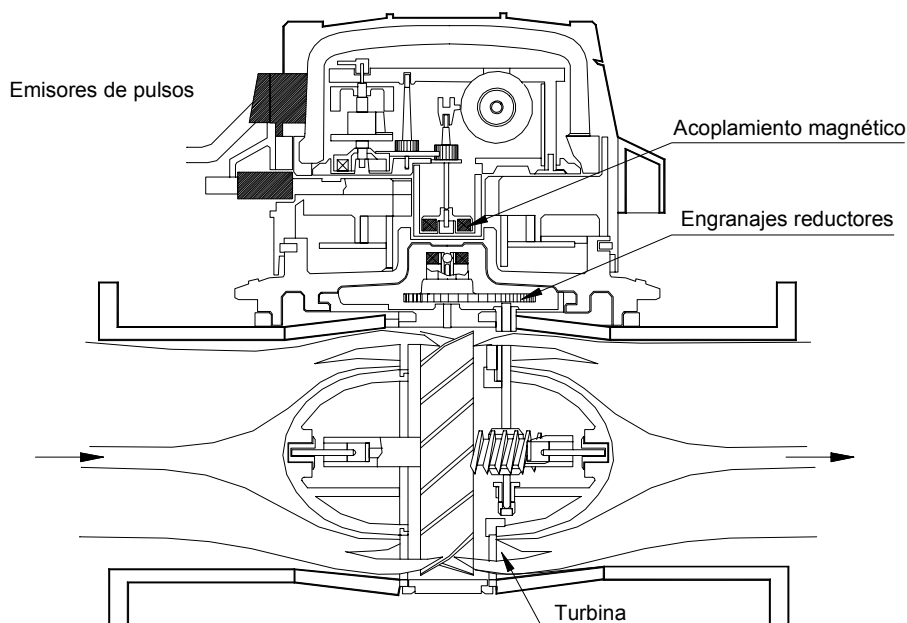


Figura 23. Medidor Woltmann con emisores de pulsos

Existen modelos para presiones muy elevadas, para temperaturas de hasta 130 °C y para medir aguas de irrigación que puedan contener arena o pequeñas piedras. Estos últimos, además de su aplicación específica, pueden utilizarse para la medición a la salida de pozos que puedan arrastrar sólidos durante su funcionamiento.

11.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS

La curva de error y la de pérdida de carga resumen el comportamiento de estos medidores (ver **Figura 24** y **Figura 25**).

Junto con el caudal, la temperatura máxima del agua a medir y la presión, constituyen los parámetros físicos necesarios para la elección del medidor.

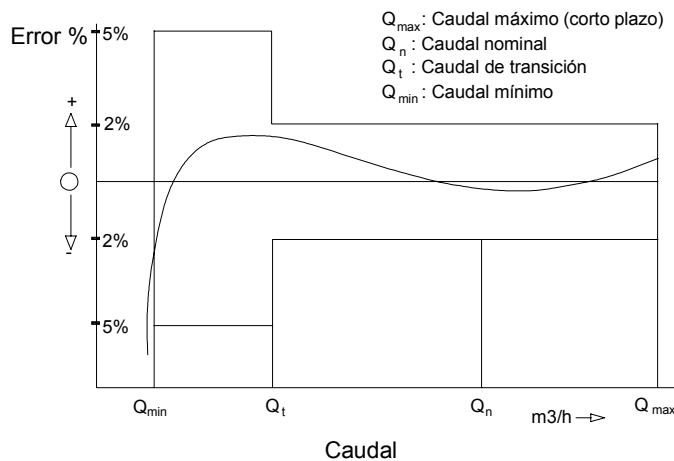


Figura 24. Curva de error característica de un medidor Woltmann

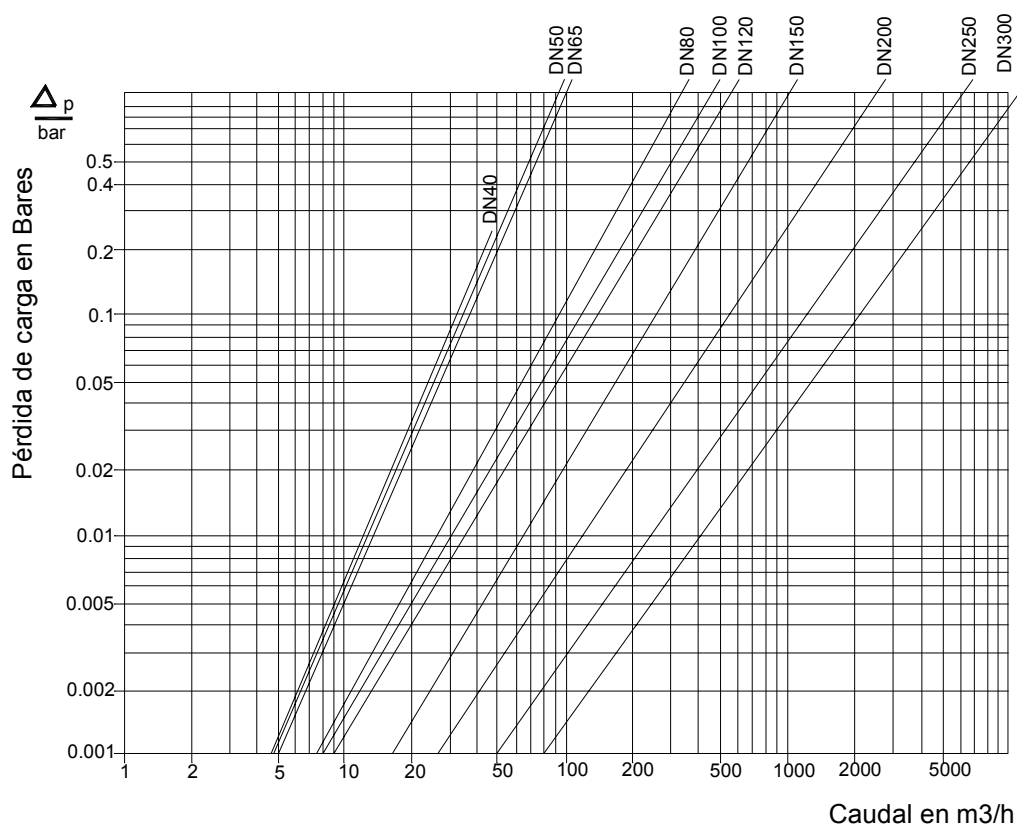


Figura 25. Curva de pérdida de carga (presión)

11.4. MEDIDORES WOLTMANN COMPUESTOS (COMPOUND)

Se trata en realidad de la combinación de un medidor Woltmann de eje horizontal, otro micromedidor de chorro múltiple y de una válvula colocada aguas arriba, que hace circular el flujo de bajo caudal por el medidor más pequeño y por el más grande (Woltmann) cuando alcanza un valor suficiente para ser correctamente medido por éste.

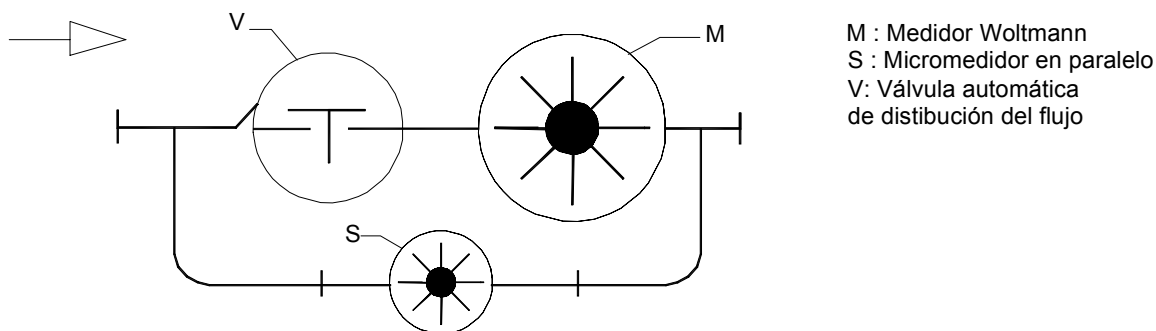


Figura 26. Esquema de medidor compuesto con medidores principales y secundarios conectados en paralelo

De esta forma es posible medir un rango muy amplio de caudales. Esto es particularmente útil, cuando se totaliza el consumo de industrias donde los procesos varían, originando diferencias muy grandes de caudal. En las redes de agua que se encuentran dimensionadas para los picos de consumo del verano, puede ocurrir que los consumos nocturnos de invierno no sean registrados por un medidor Woltmann convencional y la información de éstos puede ser importante en la evaluación, por ejemplo, del agua no contabilizada.

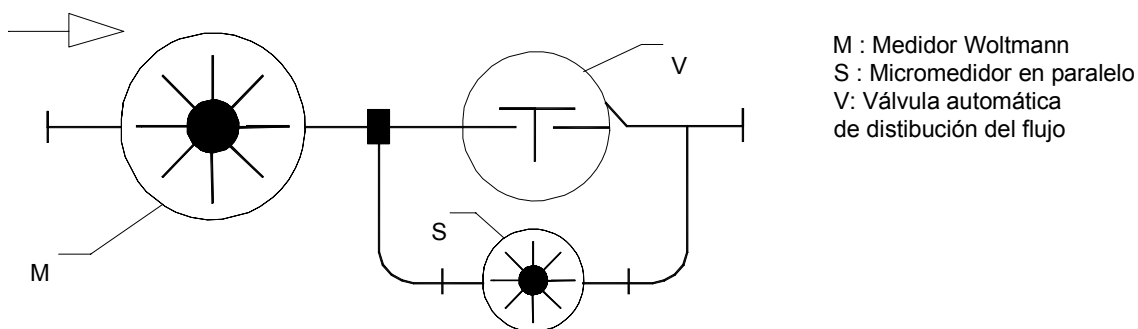


Figura 27. Medidor compuesto en serie con medidor secundario posterior al medidor principal

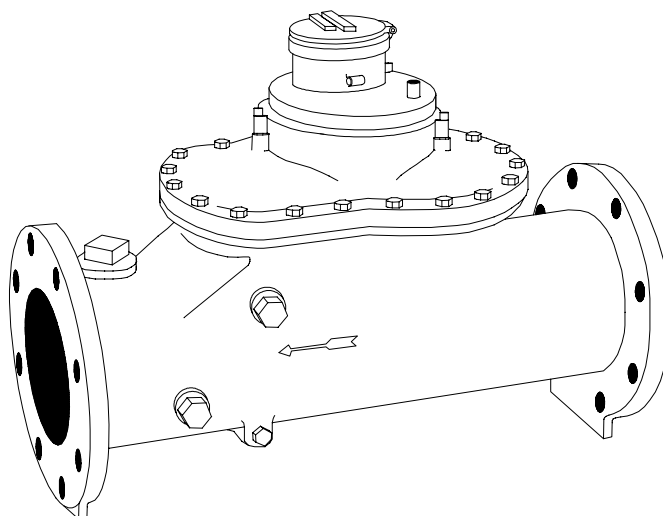


Figura 28. Medidor Compound fabricado en E.E.U.U.

En los medidores compuestos de origen europeo se observan externamente a los dos medidores (velocimétricos) y a la válvula de distribución. El volumen circulado se obtiene como suma de lo indicado por los dos contadores. En los medidores de origen americano (volumétricos), todos los mecanismos se encuentran generalmente dentro de una misma carcasa y el volumen total se lee directamente en un único contador.

La **Tabla 9** ilustra sobre las características dimensionales y metrológicas de un medidor “compound” de una firma comercial indicada en la bibliografía, donde se observa que la relación entre $Q_{\text{máx}}$ y $Q_{\text{mín}}$ es próxima a 10.000 veces (en un medidor convencional este valor es aproximadamente 400 veces).

Tipo	WPV					
Diámetro nominal	DN	mm	50	80	100	150
Presión Nominal	PN	Bar	16			
Longitud Total	L	mm	270 (600)	300 (700)	360 (800)	500 (1000)
Instalación	Tubería		Horizontal —————			
	Cabezal del medidor		Hacia arriba ↑			
Caudal en m ³ /h hasta 50°C	$Q_{\text{máx}}$	Caudal máximo	80	200	250	600
	Q_n	Caudal continuo permisible	40	120	180	400
	Q_t	Caudal de transición $\pm 2\%$	0,0375	0,0375	0,090	0,150
	$Q_{\text{mín}}$	Caudal mín. límite inf. del campo de medida $\pm 5\%$	0,02	0,02	0,025	0,03

Tabla 9. Características dimensionales y metrológicas de medidores velocimétricos “compound” (fabricados por una fibra comercial)

11.5. INSTALACIÓN DE LOS MEDIDORES WOLTMANN

Si bien cada fabricante aconseja las condiciones de instalación de acuerdo con las características de cada modelo, las siguientes recomendaciones pueden tomarse como generales para la mayoría de los medidores disponibles hoy en el mercado.

11.5.1. Influencia de la Temperatura

Tratándose de agua potable de hasta 50°C, la dilatación volumétrica de ésta puede despreciarse. Los medidores son calibrados habitualmente con agua a temperaturas comprendidas entre los 15 y 20 °C.

11.5.2. Influencia de la Presión

Por tratarse de un líquido prácticamente incompresible, no se producen variaciones de volumen al variar la presión. El efecto de esta última, sí, era importante, en los modelos antiguos, con acoplamiento mecánico, ya que al aumentar la presión, también se incrementaba la fricción en el sello mecánico, que transmitía el movimiento de la parte húmeda a la seca. El efecto resultante, eran errores crecientes (de signo negativo) con el aumento de la presión. Con la aparición de los acoplamientos magnéticos se ha conseguido independizar el efecto de la presión sobre las características metrológicas del medidor.

11.5.3. Influencia de los Golpes de Ariete (golpes de presión)

Los medidores Woltmann son adecuados para usar en conductos donde el caudal no varía muy rápidamente. Los golpes de presión producidos por el cierre de válvulas selenoides o por el arranque de bombas, pueden dañar mecánicamente a las partes del medidor. Las bombas a pistón, producen un flujo pulsante con el consecuente cambio de velocidad, que tienden a acelerar al medidor haciéndolo sobrerregistrar.

El uso de válvulas de cierre lento, o elementos amortiguadores en la red, resuelven habitualmente los problemas mencionados.

11.5.4. Influencia de la Turbulencia

La forma de escurrimiento de un líquido en un conducto cerrado es fuertemente influenciado por la geometría de éste, resultando en las condiciones de flujo laminar o turbulento que se ilustran en las **Figura 29** y **Figura 30**.

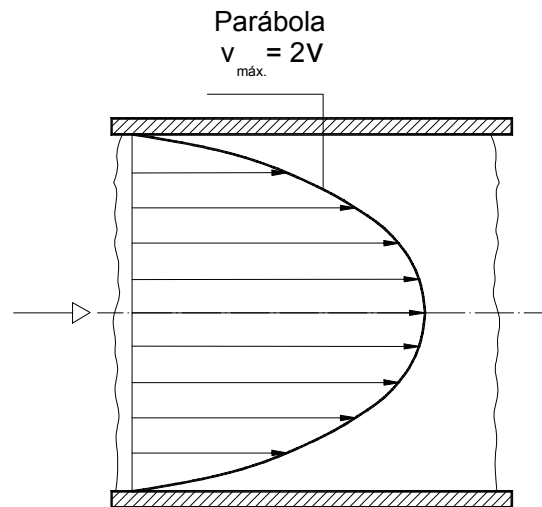


Figura 29. Perfil de velocidades en un flujo laminar

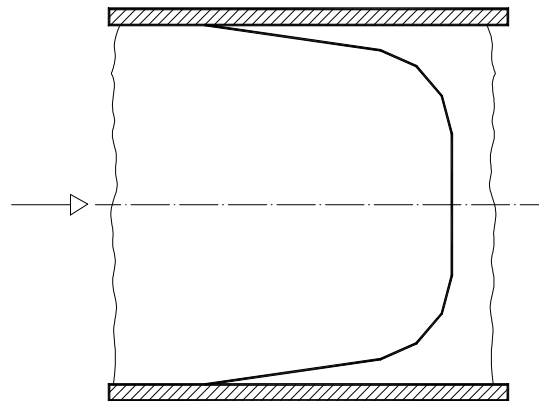


Figura 30. Perfil de velocidades en un flujo turbulento

Es importante notar que el flujo laminar se da sólo para velocidades muy bajas y prácticamente todos los escurrimientos prácticos y su medición, se dan en las condiciones de régimen “turbulento”. Este último a su vez es fuertemente dependiente de los elementos que la conducción tenga aguas arriba.

La **Figura 31** muestra las alteraciones en el perfil de velocidad que produce un codo, ubicado a 5 diámetros y a 20 diámetros, aguas arriba.

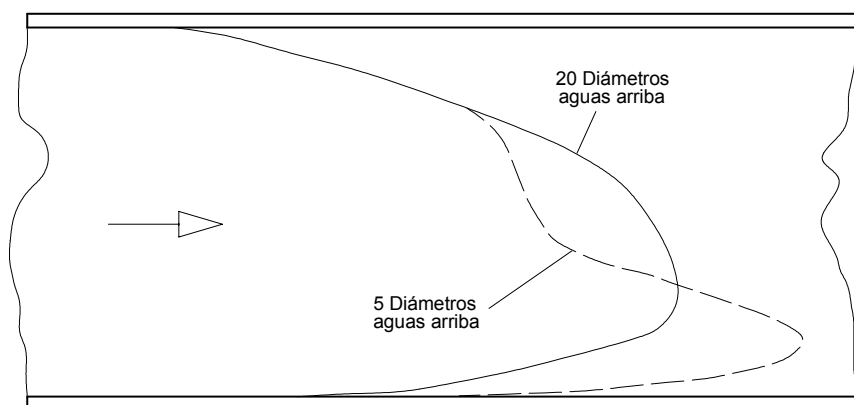


Figura 31. Alteraciones en el perfil de velocidad debidas a un codo ubicado aguas arriba

Otras alteraciones que producen perfiles asimétricos de velocidades se muestran a continuación:

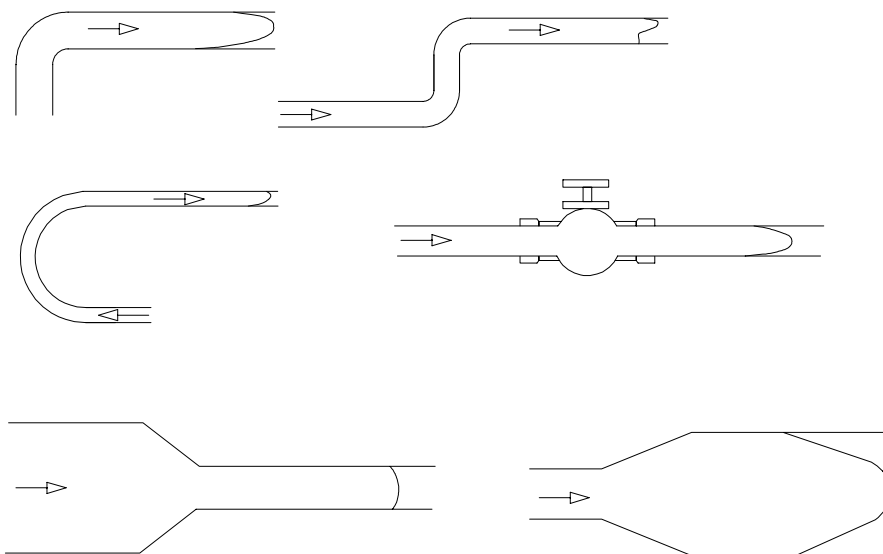


Figura 32. Perfiles asimétricos

Los diagramas vistos representan en realidad un corte longitudinal del conducto. Pero los codos, curvas, derivaciones en "T", etc., crean además un flujo que va rotando sobre su eje a medida que avanza, alejando aún más al medidor de las condiciones en que fue calibrado.

La **Figura 33** muestra algunas configuraciones que provocan un avance rotativo del flujo.

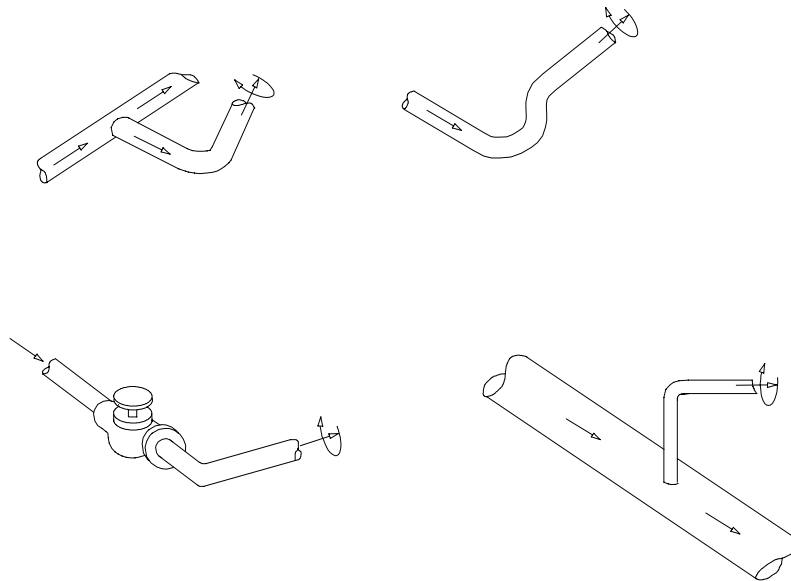


Figura 33. Configuraciones que provocan un avance rotativo del flujo

Este movimiento de rotación del fluido puede sumarse o restarse (según el sentido) a la velocidad de la turbina del medidor Woltmann, produciendo errores positivos o negativos según el caso.

Los perfiles de velocidad que se apartan del correspondiente al régimen turbulento, además de provocar errores en la medición, someten a la turbina, a esfuerzos desequilibrados, que provocan desgastes acelerados de sus puntos de pivotaje.

Para neutralizar los efectos perturbadores analizados, los medidores Woltmann deben ser instalados con un tramo recto antes y después. La longitud de este tramo depende del grado de alteración del flujo y de las condiciones del medidor y generalmente oscila entre 3 y 10 veces el diámetro, aguas arriba y unas 3 veces el diámetro aguas abajo.

Cuando el flujo posea una componente rotativa importante provocada por ejemplo: a la salida de bombas, curvas y contra curvas, válvulas parcialmente abiertas, etc., es conveniente agregar un “enderezador” de la corriente. Algunos modelos de medidores llevan incluido en su entrada este elemento.

A continuación se ilustran formas de instalación para casos de perfiles asimétricos y para flujos que presentan además una componente rotativa (**Figura 34**).

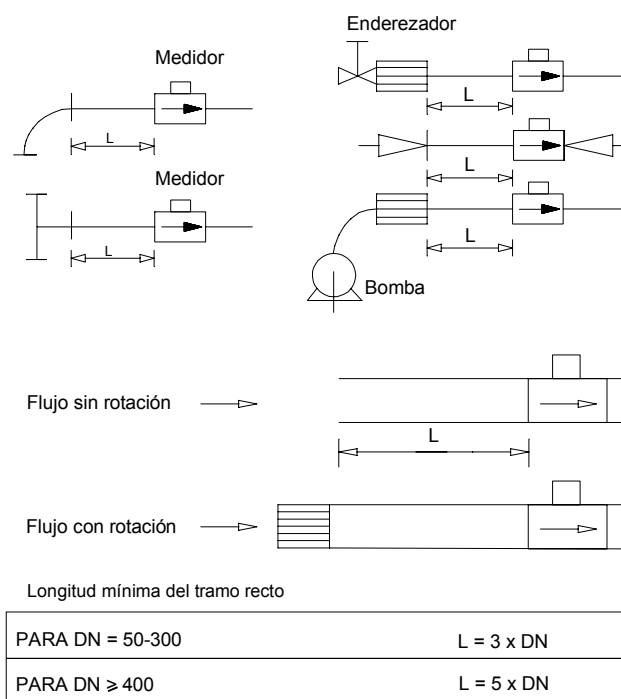


Figura 34. Ejemplos de instalación

Deben evitarse variaciones bruscas del diámetro de la conducción antes y después del medidor.

Las contrabridas para la instalación del medidor deben tener sus caras paralelas y concéntricas para evitar esfuerzos al momento de ajustarlas contra la brida del medidor.

En muchos medidores se rompen las bridas al momento de instalarlos por defectos de alineación o por el ajuste desparejo de sus bulones.

11.5.5. Efecto del Aire

El aire contenido por el agua en forma de burbujas es medido como si se tratara del propio líquido, resultando entonces un error positivo (el medidor marca de más).

Si el aire ocupara una parte de la cañería, es decir, que el medidor no se encuentre totalmente inundado, los errores de medición se incrementan mucho. Por ejemplo, si la cañería (y el medidor) tuvieran agua sólo hasta la mitad el error llegaría al 100%.

Para evitar lo anterior se recomienda instalar los medidores en zonas bajas de la conducción donde siempre se encuentren inundados y colocar válvulas de aire para eliminar el aire que pudiera haber ingresado.

11.5.6. Influencia de la Suciedad

Los medidores Woltmann tienen una buena tolerancia a la suciedad presente en el agua y generalmente un filtro puede colocarse para protegerlos de partículas grandes que pudieran dañar a la turbina.

Sin embargo, la presencia de partículas abrasivas en forma sostenida, y que no puedan ser eliminadas por el filtro, provocará un desgaste más acelerado de las piezas que se mueven a mayor velocidad.

En general, los medidores de acoplamiento magnético que no poseen engranajes en contacto con el agua, son menos sensibles a la presencia de suciedad en el agua.

12. MACROMEDIDORES A HÉLICE

Su elemento primario es una hélice, parecida a las de los motores “fuera de borda”, que es impulsada por el líquido que circula. Este movimiento rotativo es reducido en velocidad y la cantidad de vueltas, proporcional al volumen, es acumulada en un contador. (Ver **Figura 35**).

Estos medidores son menos precisos a bajos caudales que los de tipo Woltmann y se usan en irrigación o para aplicaciones que no requieren gran precisión sobre un amplio rango. Algunos modelos llevan un indicador de caudal instantáneo a aguja (parecido al velocímetro de un auto).

Son poco afectados por las aguas sucias y se fabrican en modelos de “inserción” que pueden ser instalados a través de un orificio realizado en la parte superior de la conducción.

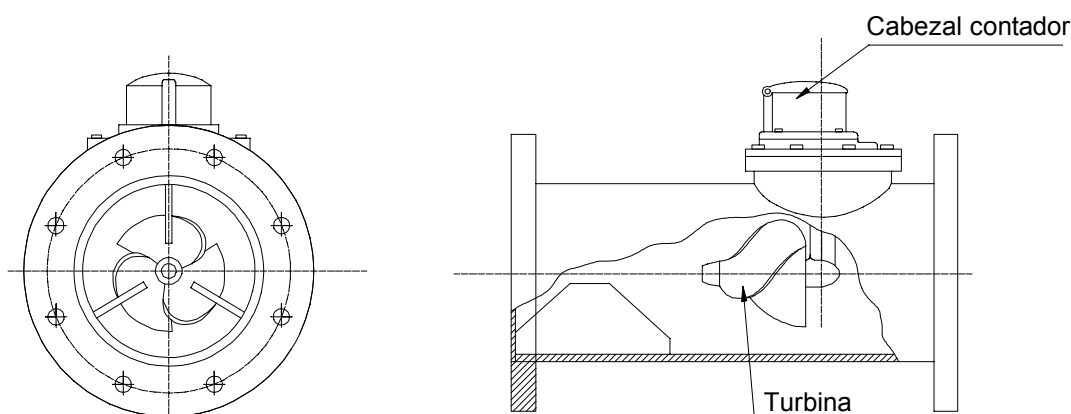


Figura 35. Macromedidor a hélice

Con velocidades del flujo de medias a altas y poco variables en el tiempo, es posible realizar mediciones comprendidas en el $\pm 2\%$ de error, si se respetan cuidadosamente las condiciones de instalación recomendadas por cada fabricante, siempre más rigurosas que para los medidores Woltmann.

13. MACROMEDIDORES VELOCIMÉTRICOS A PALETAS DE INSERCIÓN

Estos sistemas, también llamados turbinas de inserción, son utilizados cuando la exactitud de la medición no es muy importante o existen limitaciones en los gastos a realizar.

13.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Una turbina que lleva incorporado un imán en cada una de sus paletas, gira por acción de la corriente, frente una bobina encapsulada en el cuerpo del medidor. Esto genera una señal eléctrica, directamente proporcional a la velocidad en ese punto.

Como la sección transversal de la conducción es fija y conocida, puede determinarse el caudal que circula y su integración en el tiempo indica el volumen que circula.

13.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

13.2.1. Ventajas

Se encuentran entre éstas: la facilidad de su instalación, la posibilidad de contar con la indicación del caudal instantáneo, el mantenimiento sencillo, su costo intermedio casi independiente del tamaño de la conducción y la baja pérdida de carga.

13.2.2. Limitaciones

Necesitan caudales importantes para ponerse en funcionamiento. La velocidad mínima necesaria del líquido debe ser de 0,4 m/s, siendo ésta para un medidor de tipo Woltmann de tan solo 0,04 m/s (diez veces menor).

Al medir la velocidad en un solo punto y de ahí extrapolar el valor del caudal, resultan muy afectados por las perturbaciones en las condiciones de escurrimiento, provocadas por las características geométricas e hidráulicas, anteriores y posteriores al lugar de instalación. Generalmente es conveniente disponer de tramos rectos de 10 a 15 veces el diámetro aguas arriba y de 5 a 10 veces el diámetro aguas abajo. Es muy importante la correcta posición de la instalación y la determinación del área interna de la cañería en este punto. Al ser afectadas las velocidades por la rugosidad interna de la cañería, debe considerarse su reemplazo, en el lugar de instalación del medidor, por un tramo nuevo preferentemente de acero inoxidable.

La vinculación entre el molinete transmisor y el indicador electrónico, se realiza vía cable. Esto presenta la ventaja de poder visualizar la información en un lugar fácilmente accesible, pero debe preverse que en los casos de agua a facturar, la desconexión de los cables, interrumpe el registro del volumen.

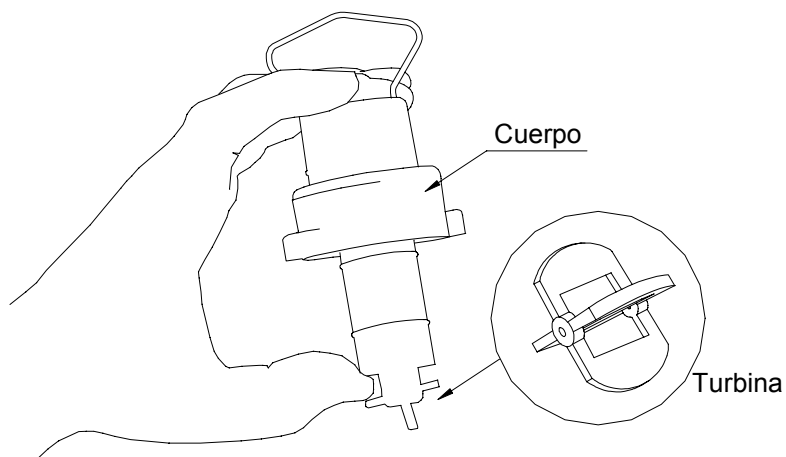


Figura 36. Vista del conjunto cuerpo y turbina

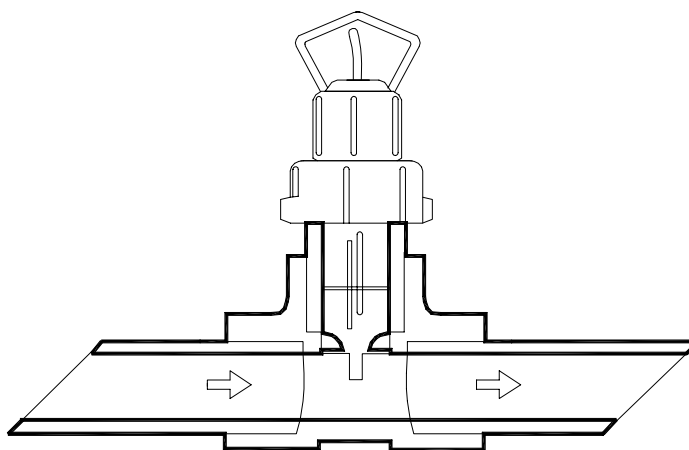


Figura 37. Forma de instalación en una cañería de diámetro pequeño

Sólo en condiciones ideales de instalación, que reproduzcan las condiciones de prueba en el laboratorio de calibración, pueden esperarse mediciones comprendidas en el $\pm 2\%$ de error. En situaciones prácticas reales, los errores pueden alcanzar y superar el 10 %.

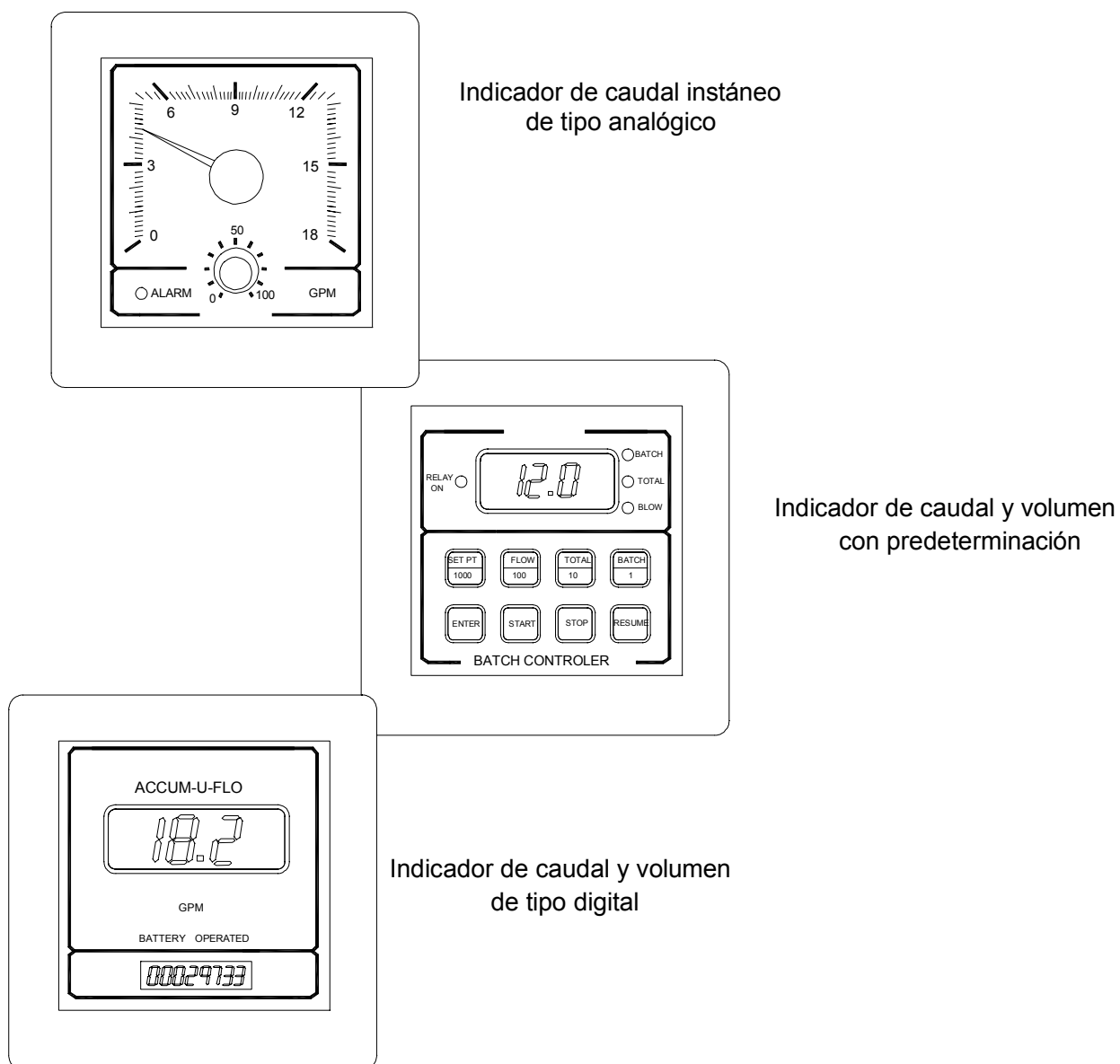


Figura 38. Distintos tipos de indicadores para conectar vía cable a la salida de las turbinas

14. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS

La posibilidad de medir un caudal desde el exterior de una conducción, sin necesidad siquiera de realizar orificios de inserción, ha concitado un gran interés por este tipo de medición. Existen dos formas constructivas que aprovechan el principio físico de que, la velocidad de propagación de una onda, se suma (o resta) a la velocidad del medio en el cual ésta se desplaza.

- Macromedidores por efecto Doppler.
- Macromedidores por tiempo de tránsito.

14.1. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS POR EFECTO DOPPLER

En estos medidores un emisor de ultra sonido envía, a través de la pared de la tubería, una señal que se propaga en el líquido, hasta encontrar partículas en suspensión, o burbujas de aire, o discontinuidades, o disturbios en la distribución del flujo. (Ver **Figura 39**)

Cuando la señal transmitida es reflejada al receptor, su frecuencia resultante es proporcional a la velocidad del líquido. Un receptor de estado sólido mide la diferencia entre la frecuencia emitida y la reflejada y expresa esa diferencia en unidades de velocidad.

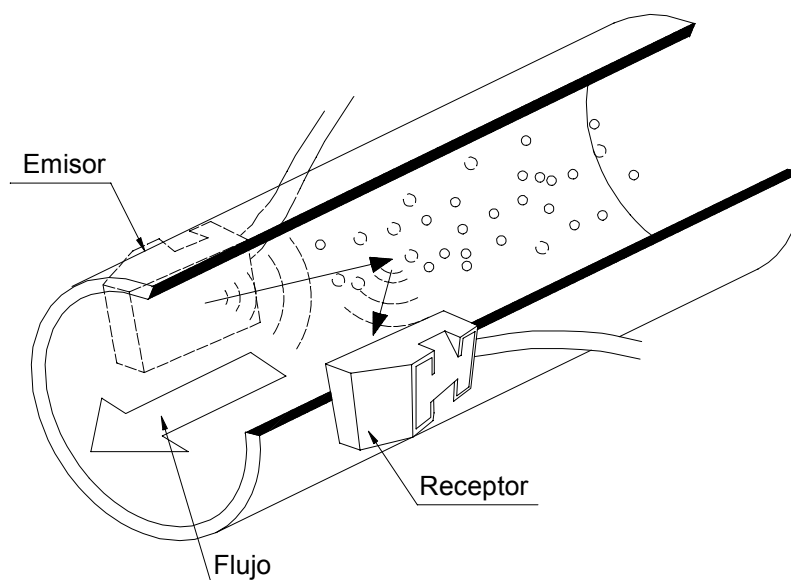


Figura 39. Principio de Medición por Efecto Doppler

14.2. MACROMEDIDORES ACÚSTICOS POR “TIEMPO DE TRÁNSITO”

En este caso se colocan dos transductores sobre la parte externa de la conducción. Cada uno emite señales y recibe señales del otro. Durante un cierto tiempo cada transductor emite una cantidad de pulsos, actuando como transmisor y luego pasa a la función de receptor. De esta forma el tiempo de propagación de la señal ultrasónica, es medida en ambas direcciones. Si el líquido estuviera en reposo, los tiempos de tránsito hacia un lado u otro serían iguales. Si el líquido está en movimiento, el tiempo de propagación en la dirección del fluido sería menor que en el sentido contrario, y su diferencia será proporcional a la velocidad del líquido.

El montaje de los transductores puede hacerse de dos formas como ilustra la **Figura 40** y la **Figura 41**.

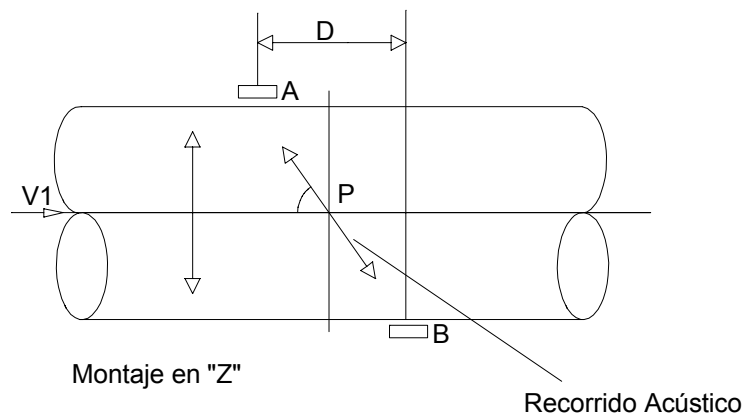


Figura 40. Montaje en “Z” - A y B: transductores

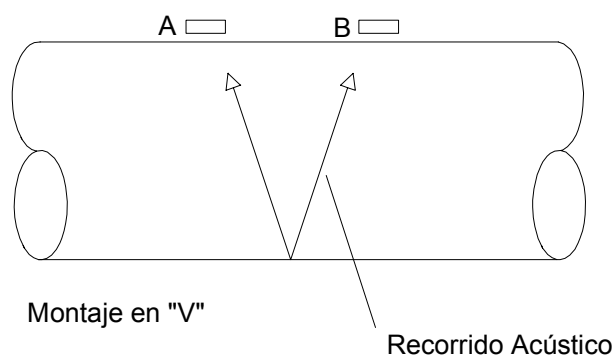


Figura 41. Montaje en “V”

14.2.1. Comparación entre los Dos Métodos (Doppler y Tiempo de Tránsito)

La necesaria presencia de partículas donde reflejar las ondas, constituye una seria limitación para los medidores de efecto Doppler en las aplicaciones de medición de agua potable. Esta razón hace recomendable el uso de los medidores por tiempo de tránsito, con las ventajas y restricciones que se analizan a continuación en 14.2.2. y 14.2.3.

14.2.2. Ventajas y Restricciones de los Medidores Ultrasónicos de Tiempo de Tránsito

Poder medir el caudal desde el exterior de la conducción y el no introducir ninguna pérdida de carga constituyen dos características muy tentadoras para su uso.

Al ser afectados fuertemente por las características de escurrimiento, provocadas por codos, curvas, válvulas, obliga a disponer de tramos rectos de por lo menos 10 a 15 veces el diámetro, aguas arriba y 10 diámetros aguas abajo.

No deben instalarse sobre cañerías que vibren y su uso se dificulta en cañerías de plásticos y asbesto cemento por ser materiales que atenúan la señal acústica.

Como en realidad determinan una velocidad, es importante conocer la sección transversal en el punto de medición para calcular el caudal y a su vez cómo esta área depende del cuadrado del radio ($s = \pi r^2$) este último debe ser determinado con exactitud para evitar la propagación de los errores.

Su costo supera al de los medidores Woltmann aún más grandes.

14.2.3. Campo de Aplicación de los Macromedidores por Tiempo de Tránsito

Los medidores acústicos por tiempo de tránsito son ideales para realizar estudios previos en instalaciones complejas, ya que es posible colocarlos por períodos determinados en distintos lugares. Sus limitaciones de exactitud no los hacen recomendables para transacciones comerciales, o donde se necesiten mediciones comprendidas en $\pm 2\%$ de exactitud.

15. MACROMEDIDORES DIFERENCIALES

Son también llamados “deprimogenos” por su principio de funcionamiento. Básicamente consisten en una restricción colocada a la circulación del flujo, que provoca una diferencia de presión entre dos puntos.

En un flujo permanente de un líquido (agua), en un conducto circular dispuesto horizontalmente y cuya sección transversal varía como se indica en la **Figura 42**, la ecuación de continuidad tiene por expresión:

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = \text{constante} \quad (1)$$

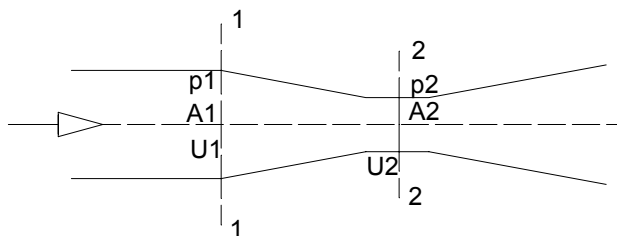


Figura 42. Conducto circular, horizontal

Donde U_1 y A_1 , U_2 y A_2 son las velocidades medias y las áreas transversales en las secciones 1 y 2 respectivamente.

La ecuación de continuidad, que es la expresión del principio de la conservación de masa, pone de manifiesto que a una variación del área del flujo, corresponde una variación inversa de la velocidad media.

Aplicando el teorema de Bernoulli entre las secciones 1 y 2, para un fluido ideal se tiene que:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} = \text{constante} \quad (2)$$

Donde: p_1 y p_2 son presiones en 1-1 y 2-2

γ = peso específico del líquido

La ecuación (2), que es el principio de la conservación de la energía, expresa que: en cada sección que se considere a todo aumento de velocidad corresponde una disminución de la presión, e inversamente. Con la variación de la sección del conducto se obtiene una diferencia de presión entre 1-1 y 2-2 dada por la ecuación (3).

Despejando:

$$p_1 - p_2 = \gamma \left(\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \right) \quad (3)$$

lo que implica que cuando hay una restricción intercalada en la circulación de fluido, se produce una diferencia de velocidades que se traduce en una diferencia de presiones.

Teniendo en cuenta las expresiones (1) y (3) puede deducirse que la diferencia de presiones mantiene una relación con el caudal que circula expresada por:

$$Q = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

o sea

$$Q = K \sqrt{\Delta p}$$

donde:

Q: es el caudal.

K : es una constante.

Δp : es la diferencia de presión.

Midiendo electrónicamente la diferencia de presión “ Δp ” se obtiene con solo extraerle la raíz cuadrada y multiplicarla por la constante, el valor del caudal instantáneo e integrando esta señal en función del tiempo se llega al volumen total que ha circulado.

Las configuraciones más usadas para producir una diferencia de presión son:

- Placa orificio.
- Tubo Venturi.
- Toberas.
- Medidores proporcionales.
- Medidor Pitot modificado.

15.1. PLACA ORIFICIO

Como su nombre lo indica se trata de una placa con una perforación, generalmente circular y concéntrica que provoca en el fluido diferencias de velocidades, que se traducen en diferencias de presiones. Son muy sencillas de construir, económicas, pero introducen pérdidas de energía importantes. Su rango de medición es limitado y su aplicación real, tiende a desaparecer hoy día.

En condiciones de uso de acuerdo a normas pueden hacerse mediciones con una precisión de $\pm 1\%$.

15.2. TUBO VENTURI (CORTO O LARGO)

Su forma cónica reduce las pérdidas de carga, especialmente en el tubo largo y su aplicación estuvo muy generalizada desde el siglo pasado. (Ver **Figura 43**). Normalmente estos medidores disponían de un manómetro diferencial para la determinación de la diferencia de presiones. Hoy día con la existencia de transductores de presión diferencial y computadores electrónicos de caudal resulta posible recuperar tubos Venturi que se encuentran instalados en la mayoría de las plantas de provisión de agua.

Introducen menos pérdidas de energía que las “placas orificio” y al no tener partes móviles, como todos los elementos “deprimógenos” son adecuados para la medición de agua tratada o “cruda” que no presenten una variación grande en su caudal. Su precisión está comprendida entre el $\pm 1 \%$.

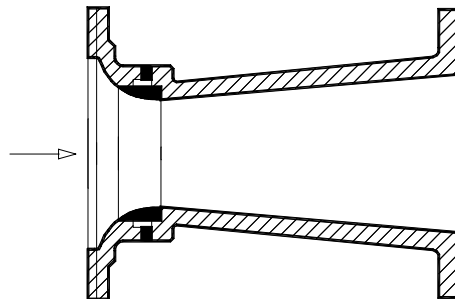


Figura 43. Corte esquemático de un Tubo Venturi corto

15.3. TOBERAS

Si se elimina del tubo Venturi su tramo cónico, queda la pieza que reduce el área, a la que se llama “Tobera”.

Su comportamiento, precio y características se encuentran comprendidas entre los de la placa orificio y el tubo Venturi corto.

15.4. MEDIDORES PROPORCIONALES

15.4.1. Descripción General

Como se ha indicado, todos los medidores de tipo “deprimógeno” producen una diferencia de presión entre dos puntos (tomas de presión).

Si entre estas dos tomas, se conecta un micromedidor velocimétrico, esta diferencia de presión hará circular por él, un caudal que será una parte del total (o principal). Esta proporcionalidad se mantiene en un rango, dentro del cual es válido este concepto de medición. Si bien es posible construir medidores proporcionales, usando placas orificios, toberas, cuñas y tubos Venturi, estos últimos son los más generalizados comercialmente y por esta razón las explicaciones y ejemplos que siguen harán referencia a esta particularidad constructiva.

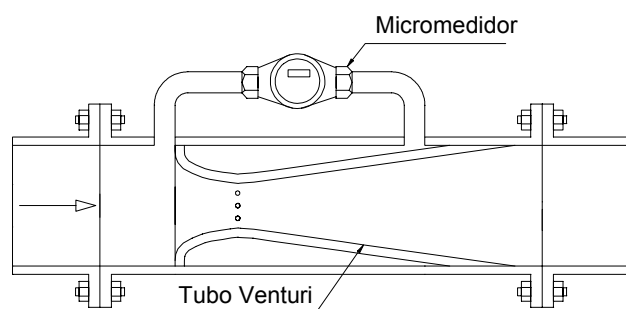


Figura 44. Corte de un medidor proporcional construido sobre un tubo Venturi

Volviendo al esquema de la **Figura 42**, si se coloca entre los puntos 1-1 y 2-2 una derivación como la indicada en la **Figura 45** que incluya un medidor de agua del tipo velocimétrico, pasará por él como consecuencia de la diferencia de presión $p_1 - p_2$, un cierto caudal que será registrado por el aparato. El caudal derivado es una “parte proporcional” del que fluye por el conducto principal.

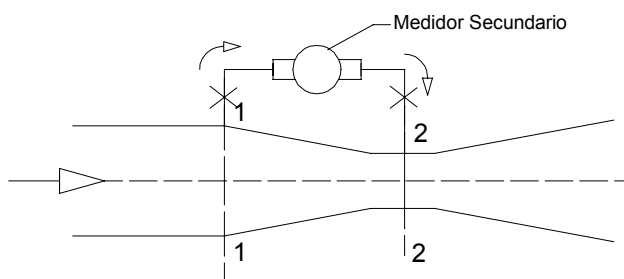


Figura 45. Medidor secundario conectado sobre dos puntos de distinta presión

Esta proporcionalidad permite que dimensionando el dispositivo “primario” (tubo Venturi, tobera, placa orificio, etc.), colocado en el conducto cuyo caudal se desea medir, de tal manera que se conozca la relación de caudales que pasarán por cada conducto, se pueda leer directamente en el medidor (puede ser un micromedidor), ubicado en la derivación, el caudal total que circula.

15.4.2. Forma Constructiva del Sistema de Medición

Para el “primario”, por razones de longitud y baja pérdida de carga, se utiliza en este diseño, un tubo Venturi corto.

El “secundario” es un medidor a turbina, cuya característica fundamental de funcionamiento sea que el número de vueltas de ésta sea directamente proporcional al caudal que pasa. Estas vueltas deben ser contadas e integradas por un dispositivo mecánico digital o electrónico.

Desconectando la derivación, puede obtenerse del tubo Venturi, por la medición de su presión diferencial, el caudal instantáneo que pasa por el conducto principal, utilizando para ello, como se ha indicado, un manómetro diferencial (**Figura 46**) y la relación:

$$Q = k \sqrt{\Delta p}$$

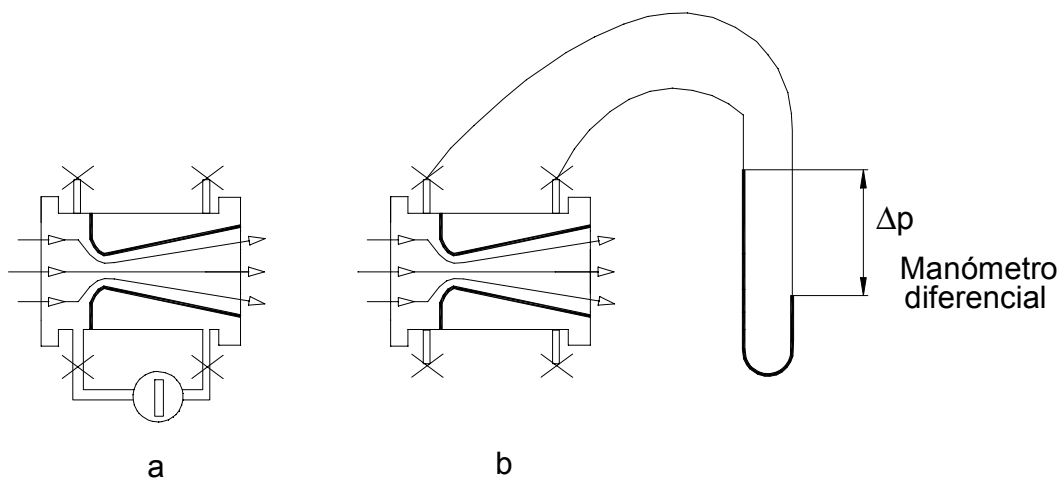


Figura 46. Tubo Venturi utilizado para totalizar volumen (a) y para indicar el caudal instantáneo (b)

15.4.3. Principio de Funcionamiento

Tanto el tubo Venturi, como el micromedidor a turbina tienen como curva característica de la función caudal o velocidad – pérdida de carga una parábola.

Si se representa esta función en un gráfico donde en ordenadas se indique la presión diferencial entre los planos 1-1 y 2-2 de la **Figura 45** y en abscisas los caudales que circularán por el Venturi y el micromedidor se obtiene la **Figura 47** donde $Q_t = Q_d + Q_p$ es decir el caudal total es la suma del caudal derivado más el caudal principal. Manteniéndose la proporción entre ambos para diferentes valores de la pérdida de carga.

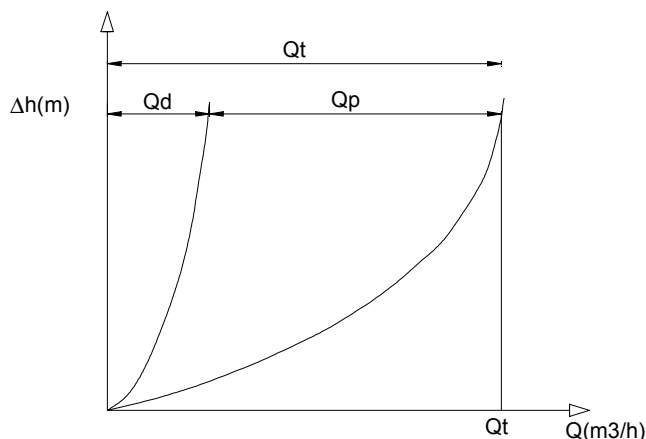


Figura 47. Curvas características del tubo Venturi (1) y del medidor secundario (2)

Si se eligen las dimensiones de ambos aparatos del sistema de manera que la indicación del medidor secundario sea un múltiplo entero del volumen total, por ejemplo: $Q_t = 10 Q_d$ y de esta forma el cuadrante expresa directamente la lectura total (ya afectada por el múltiplo).

El sistema de medición proporcional es contrastado en condiciones de servicio y su error está dentro del $\pm 2\%$, para caudales comprendidos en su rango de utilización recomendado.

15.4.4. Ventajas sobre Otros Sistemas de Medición

En este tipo de medidor el agua circula libremente por el tubo Venturi, donde no hay piezas móviles que puedan trabarse o mecanismos que sufran desgastes. Esto además origina una menor pérdida de carga (caída de presión), ya que nada se interpone a la circulación del agua tal como ocurre en los medidores a hélice tipo Woltmann.

En los Medidores Proporcionales, sólo una pequeña cantidad de agua circula por el mecanismo de medición propiamente dicho, este a su vez está protegido por un filtro, lo que permite medir aún aguas que arrastren partículas sólidas.

La posibilidad de montar al tubo Venturi en cualquier posición constituye una ventaja adicional sobre los sistemas convencionales de medición. Sus errores de medición superan a los de los medidores Woltmann, especialmente a bajos caudales, donde pueden llegar a valores de hasta $\pm 7\%$. Su aplicación es recomendada en aplicaciones tales como irrigación o su colocación a la salida de pozos de bombeo donde no es de esperar grandes variaciones de caudal.

15.4.5. Rango de Medición

La **Figura 48**, tomada de un catálogo de un fabricante indicado en la Bibliografía ilustra los caudales mínimos normales y máximos de uso de cada medidor.

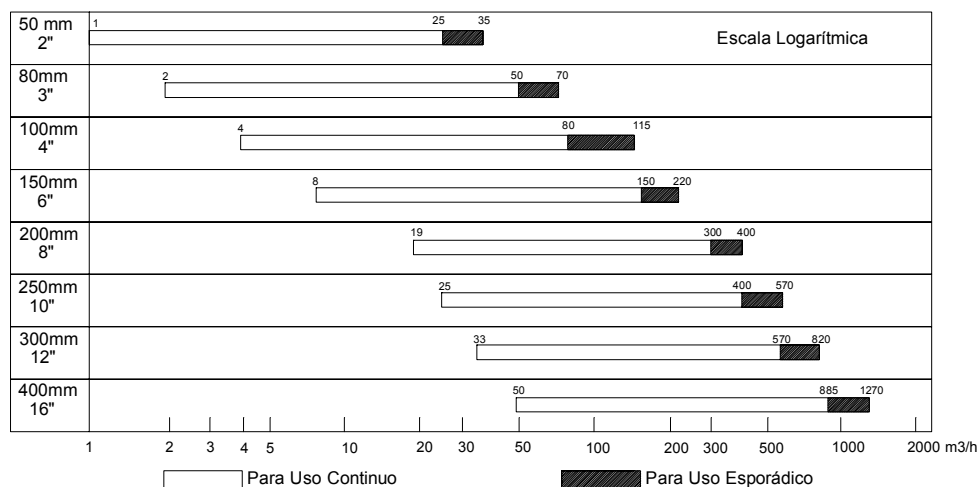


Figura 48. Rangos de medición de medidores proporcionales

15.4.6. Normas de Instalación

A los efectos de normalizar las condiciones de escurrimiento del líquido, y obtener así la máxima precisión en la medida, deben colocarse antes y después del medidor, tramos rectos, cuya longitud dependerá de las perturbaciones que se produzcan en cada caso. Se ilustran algunos casos frecuentes. (Ver **Figura 49**).

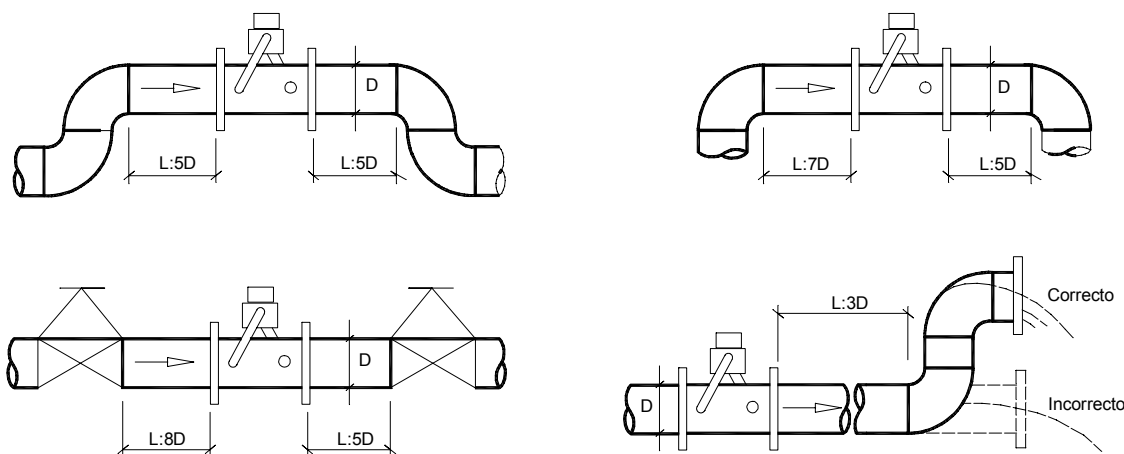


Figura 49. Recomendaciones de instalación para medidores proporcionales

15.5. TUBO PITOT MODIFICADO

El clásico tubo de Pitot permite medir la presión dinámica (la producida por la velocidad) en distintos puntos interiores de un conducto cerrado que transporta un fluido (por

ejemplo: agua). De esta forma se releva el perfil de velocidad para una determinada condición de escurrimiento y conociendo el área transversal, se calcula el caudal instantáneo. Estas mediciones son lentas y engorrosas y sólo pueden realizarse en condiciones muy especiales.

Aprovechando este principio y buscando más practicidad, se desarrolló un “Pitot modificado” que consiste en un tubo que se inserta en la cañería y que presenta cuatro orificios enfrentados con la corriente, que miden la presión dinámica y uno que mira aguas abajo y mide la presión estática. Son aptos para aguas limpias a partir de caudales no muy bajos.

Son de fácil instalación y económicos con respecto a otros sistemas de medición para tamaños de tuberías mayores de 400 mm de diámetro. Su indicación está muy condicionada a la forma de escurrimiento del líquido, ya que sólo toma la presión en 4 puntos, y a la rugosidad interior de la cañería, por lo que es de esperar menor precisión con respecto a los medidores Venturi o tipo Woltmann.

Algunos modelos pueden retirarse de la cañería en servicio.

Su uso es recomendable para la medición de agua potable en conductos de más de 400 mm de diámetro con caudales medios importantes, donde se puedan respetar las condiciones de instalación recomendadas por el fabricante.

En las condiciones prácticas habituales su precisión está próxima al $\pm 10 \%$.

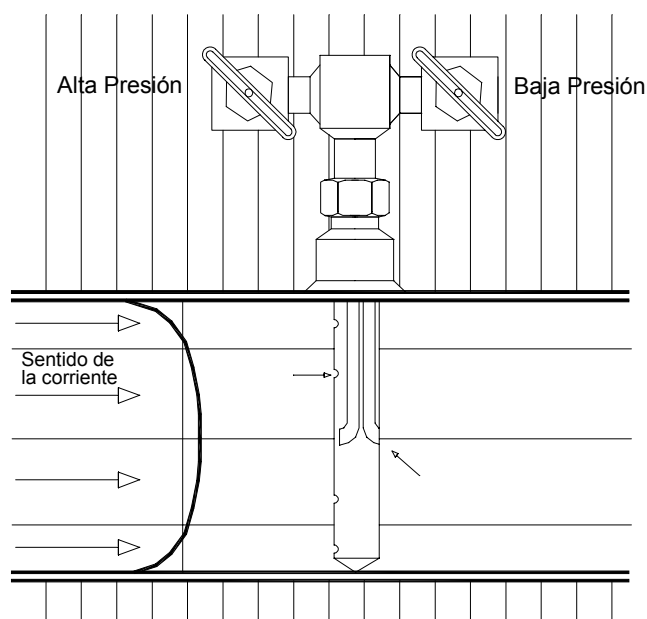


Figura 50. Vista en corte de un tubo de Pitot modificado

Al igual que los tubos Venturi, la diferencia de presión debe ser medida por elementos electrónicos que calculen el caudal e integren el volumen.

16. MACROMEDIDORES ELECTROMAGNÉTICOS

Su funcionamiento se explica por la ley de Faraday: cuando un conductor (en este caso el líquido) se mueve dentro de un campo magnético, una tensión proporcional a la velocidad se genera en dos electrodos colocados en forma transversal.

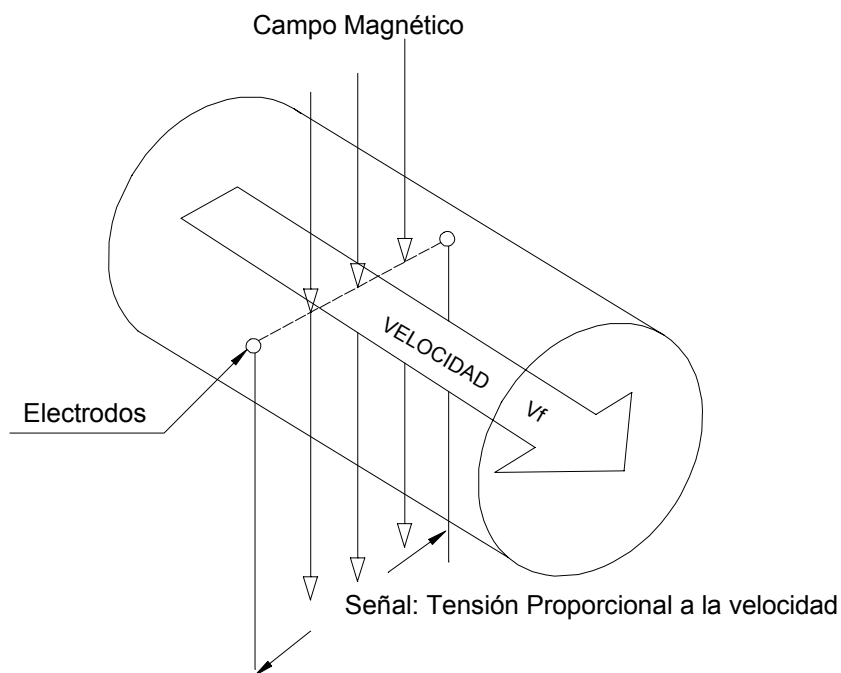


Figura 51. Principio físico de funcionamiento de un macromedidor electromagnético

Requieren que el líquido tenga una conductividad mínima. No producen pérdidas de carga. Son de un costo muy elevado y su aplicación en general sólo se justifica en la medición de líquidos cloacales, ya que pueden ser construidos en materiales resistentes a la corrosión y no tienen partes móviles que se desgasten o se obstruyan con sólidos.

En condiciones óptimas de instalación y funcionamiento se consigue una precisión en la medición de $\pm 0,5 \%$.

17. MACROMEDIDORES DE VÓRTICE

El efecto de vórtice puede comprenderse escuchando el silbido que produce el viento sobre los conductores eléctricos. En un conducto cerrado en el que circula agua, si se intercala un cuerpo que no tenga forma aerodinámica, se produce aguas abajo una serie de turbulencias que vibran a una frecuencia propia para cada caudal. Esta variación es lineal con el caudal y con el uso de sensores adecuados, es posible determinar el caudal instantáneo y el volumen acumulado. Este medidor no presenta piezas móviles y tienen muy baja pérdida de carga.

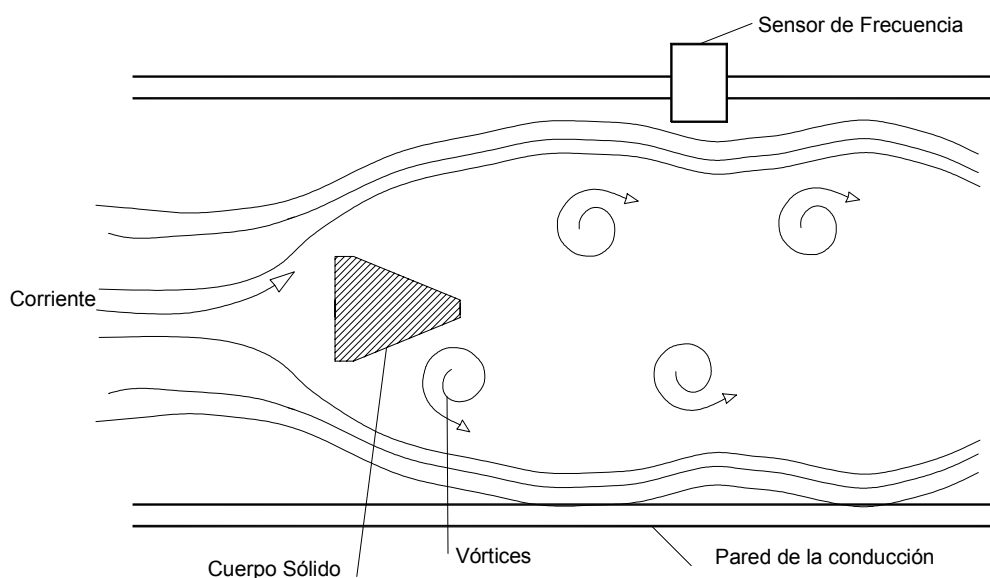


Figura 52. Vista en corte de un medidor de vórtice

Su aplicación a la medición de agua potable es por ahora limitada, debido a su alto costo. Puede esperarse una precisión en la medición mejor que $\pm 1,5 \%$.

18. SISTEMA DE MEDICIÓN PROPORCIONAL APROXIMADA

Mediante la instalación de un micromedidor colocado en paralelo sobre un conducto a presión, como se muestra en la **Figura 53**, se puede tener una medida aproximada del caudal que circula en el conducto.

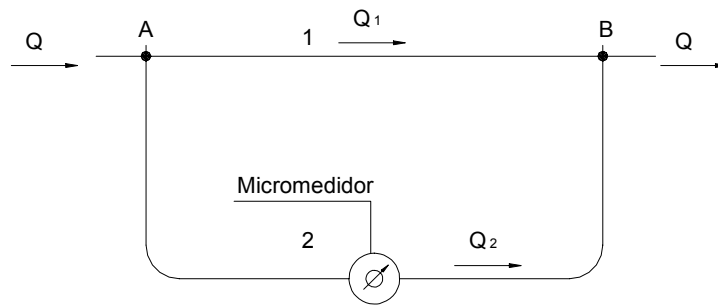


Figura 53. Esquema de instalación

Para la ecuación de continuidad:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4)$$

$$J_{AB1} = J_{AB2} \quad (5)$$

Mediante la aplicación de la expresión de Williams-Hazen:

$$J_{AB1} = \frac{C \cdot Q_1^{1,852} \cdot L_{AB1}}{C_{WH1}^{1,852} \cdot D_1^{4,87}} \quad (6)$$

$$J_{AB2} = \frac{C \cdot Q_2^{1,852} \cdot L_{AB2}}{C_{WH2}^{1,852} \cdot D_2^{4,87}} \quad (7)$$

Donde:

Q: caudal en m³/s

J_{AB}: pérdida de energía de A a B en m

C: constante de la expresión de William – Hazen

L_{AB}: longitud equivalente de cálculo AB en m

C_{WH}: coeficiente de rugosidad de William – Hazen

D: diámetro en m

De acuerdo a la expresión (5)

$$\frac{C \cdot Q_1^{1,852} \cdot L_{AB1}}{C_{WH1}^{1,852} \cdot D_1^{4,87}} = \frac{C \cdot Q_2^{1,852} \cdot L_{AB2}}{C_{WH2}^{1,852} \cdot D_2^{4,87}}$$

$$Q_1 = \left[Q_2^{1,852} \cdot \frac{L_{AB2}}{L_{AB1}} \cdot \left(\frac{C_{WH1}}{C_{WH2}} \right)^{1,852} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{4,87} \right]^{\frac{1}{1,852}}$$

$$Q_1 = \frac{C_{WH1}}{C_{WH2}} \left(\frac{L_{AB2}}{L_{AB1}} \right)^{\frac{1}{1,852}} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{\frac{4,87}{1,852}} Q_2 \quad (8)$$

Aplicando la ecuación (1):

$$Q = \left[\frac{C_{WH1}}{C_{WH2}} \left(\frac{L_{AB2}}{L_{AB1}} \right)^{0,54} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{2,63} + 1 \right] Q_2 \quad (9)$$

Si:

$$CTE = \left[\frac{C_{WH1}}{C_{WH2}} \left(\frac{L_{AB2}}{L_{AB1}} \right)^{0,54} \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{2,63} + 1 \right]$$

$$Q = CTE \cdot Q_2$$

Ejemplo

$$C_{WH1} = C_{WH2} = 130$$

$$L_1 = 1,00 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,50 \text{ m}$$

$L_{equivalente}$:

T_e salida lateral	50 D
T_e paso recto	20 D
Curva	30 D

Medidor

800 D

$$D_1 = 0,100 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,025 \text{ m}$$

$$L_{AB1} = 1,00 + 2 \cdot 20 \cdot 0,100 = 5,00 \text{ m}$$

$$L_{AB2} = 1,50 + (2 \cdot 50 + 2 \cdot 30 + 800) 0,025 = 25,5 \text{ m}$$

$$Q = \left[\frac{130}{130} \left(\frac{25,50}{5,00} \right)^{0,54} \left(\frac{0,100}{0,025} \right)^{2,63} + 1 \right] Q_2$$

$$Q = (1,00 \cdot 2,41 \cdot 38,319 + 1) Q_2$$

$$Q = 93,36 Q_2$$

Se observa que, como constructivamente los valores de las relaciones de los coeficientes de William – Hazen, para longitudes similares a las adoptadas en el ejemplo (con un valor muy próximo a 5,20), el multiplicador de las lecturas del caudal Q_2 es prácticamente una función de la relación de diámetros.

En la **Tabla 10** y en base a estos supuestos se observan sus relaciones.

D_1/D_2	CTE
1,5	8,26
2	16,48
3	45,95
4	96,80
5	173,28
6	279,28

Tabla 10. Caudal total en función del caudal aforado

Se hace notar que de acuerdo a la expresión (9), al eliminarse la constante C propia para cada sistema de unidades y trabajarse con relaciones adimensionales para las longitudes y diámetros, dicha expresión es homogénea, es decir la unidad que expresa el caudal total Q será la correspondiente a la adoptada para Q_2 :

$$Q = \text{CTE} \cdot Q_2$$

19. BIBLIOGRAFÍA

- Coelho A.C. Medición de agua: política y práctica. Comunigraf Editora. Brasil.
- Purley W.C. The basic principles of flow measurement. National Engineering Laboratory, Escocia.
- Rouse H., Ince S. History of Hidraulics. E.E.U.U.
- Sears F. W. Mechanics, Heat and Sound. M.I.T., E.E.U.U.
- Venturini E.P. Sociedad Industrial de Aparatos de Precisión. Argentina.
- Normas consultadas:
 - ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
 - ❖ NBR 8009/94 – Hidrometros taquimétricos para água fria até 15 m³/h de vazão nominal. Terminología.
 - ❖ NBR 8193/93 – Hidrometros taquimétricos para água fria até 15,0 m³/h de vazão nominal – Especificação.
 - ❖ NBR 8194/94 – Hidrometros taquimétricos para água fria até 15 m³/h de vazão nominal – Padronização.
 - ❖ NBR 8195/94 – Hidrometro taquimétrico para água fria até 15,0 m³/h de vazão nominal – Método de ensaio.
 - AWWA: American Water Works Association, Standart for Cold Meters C 708-91.
 - IRAM – Instituto Argentino de Racionalización de Material.
 - ❖ IRAM 2718: 1993 – Medidores velocimétricos de agua potable fría.
 - ISO (International Organization for Standarization).
 - ❖ ISO 4064: 1993 – Measurement for water flow in closed conduits – Meters for cold potable water; Part I: specifications; Part II: 1978 – Installation requirements; Part III: 1983 – Test methods and equipment.
- Folletos y manuales comerciales
 - Badger meters. E.E.U.U.
 - ELIN – Water Works technology. Austria
 - Medidores de Agua Meinecke. Alemania.
 - Medidores de agua SOCAM. Francia.
 - Medidores proporcionales Tover. Argentina.
 - Neptune – Flow meters. E.E.U.U.
 - PSION: colectoras de datos: workabout. Inglaterra.

- Water measurement, equipment and systems – Sensus. E.E.U.U.
- PSIAR: Sistemas para lectura de medidores. Argentina.