



Universidad Nacional Autónoma  
de México

54  
2 EJ

FACULTAD DE INGENIERIA

**"CONTROL HIDRAULICO DE SISTEMAS DE  
MEDICION EN TOMAS DOMICILIARIAS"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A N :  
OSCAR JOAQUIN ESTRADA LOPEZ  
MARIO OROZCO TRUJILLO



MEXICO, D.F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-166/94

Señores  
**OSCAR JOAQUIN ESTRADA LOPEZ**  
**MARIO OROZCO TRUJILLO**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. ARTURO NAVA MASTACHE**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.


**"CONTROL HIDRAULICO DE SISTEMAS DE MEDICION EN TOMAS DOMICILIARIAS"**

- I. INTRODUCCION**
- II. SUMINISTRO DE AGUA A LA CIUDAD DE MEXICO**
- III. INSTRUMENTOS DE MEDICION**
- IV. MEDIDORES CONVENCIONALES**
- V. CARACTERISTICAS DE LOS MEDIDORES CONVENCIONALES**
- VI. ADMINISTRACION DEL SISTEMA DE MEDIDORES**
- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 28 de febrero de 1995.  
**EL DIRECTOR**

  
**ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS**

16. JMCS/RCR\*nlj

## DEDICATORIAS

A mis queridos padres Eliseo Estrada Lozano y Evella López de Estrada, por su gran esfuerzo y confianza en la formación de mis estudios. ¡¡Gracias por el apoyo otorgado!!

A mis hermanos Héctor, Yolanda, Norma, Susana, Verónica y Hugo por la ayuda recibida a largo de mi vida.

A mi cuñado Mario César por su desinteresado apoyo en el desarrollo de mis actividades profesionales.

A mi amigo y compañero de tesis, Mario, que con gran paciencia supo responder a los problemas presentados en la elaboración del documento.

A mis amigos de la escuela Gerardo, José Juan, José Luis y Valente, por los grandiosos momentos que vivimos en la Facultad.

Oscar.

## DEDICATORIAS

A mi mamá Mine por su fortaleza mostrada para salir adelante.

A mi tío Joaquín y mis hermanos Tito, Quina, Rica y Paty por lo que representa en mí el apoyo recibido.

A Pili por el verdadero apoyo, cariño y los gratos momentos que me brindaste durante mis estudios en la Facultad.

A mi sobrino Toño por enseñarme a comprender el valor de la lucha por la vida.

A mi compañero de tesis por su calidad de trabajar y la confianza tenida para la realización de esta tesis.

A ti hija Gaby, te dedico este trabajo.

Mario.

## DEDICATORIAS

A nuestro director de tesis M. en Ing.  
Arturo Nava Mastache por la ayuda  
recibida durante la realización del  
presente documento.

A Luis López Villanueva por su entera  
confianza y apoyo otorgado en la  
documentación y orientación del  
trabajo.

A las siguientes personas: Ana Lilia,  
Claudia, Juan, Victor Manuel y a todas  
aquellas que contribuyeron en la  
realización del presente trabajo.  
¡Gracias!

A la Facultad de Ingeniería que con  
gran dedicación y empeño realiza la  
difícil tarea de formar profesionistas de  
gran calidad.

Mario y Oscar.

# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.</b>	
1.1. Generalidades.	1
1.2. Desarrollo.	2
1.3. Objetivo general.	4
<b>CAPÍTULO 2. SUMINISTRO DE AGUA A LA CIUDAD DE MÉXICO.</b>	
2.1. Problemática.	5
2.2. Suministro de agua.	10
2.2.1. Departamento del Distrito Federal.	14
2.2.1.1. Agua en bloque.	14
2.2.1.2. Pozos aislados.	16
2.2.1.3. Manantiales.	17
2.2.1.4. Ríos.	17
2.2.2. Gerencia de Aguas del Valle de México.	18
2.2.2.1. Agua en bloque.	18
2.2.2.2. Pozos aislados.	20
2.3. Sistema Cutzamala.	21
2.4. Alternativas.	37
<b>CAPÍTULO 3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.</b>	
3.1. Importancia de la medición.	40
3.2. Medidores de inserción.	41
3.2.1. Tubo de Prandtl.	45
3.2.2. Tubo de Pitot-Cole.	47
3.2.3. Tubo de Pitot Simplex.	48
3.2.4. Tubo de Pitot Annubar.	48
3.3. Instrumentos de capacidad.	49
3.3.1. Tanques volumétricos.	50
3.3.2. Tanques gravimétricos.	50
3.4. Medidores de áreas diferenciales.	50
3.4.1. Medidores deprimógenos.	51
3.4.1.1. Tubo Venturi.	52

3.4.1.2. Toberas o boquillas.	57
3.4.1.3. Placa de orificio o diafragma.	58
3.4.1.4. Medidor de codo.	63
3.4.1.5. Medidor de válvula.	64
3.4.2. Medidores de área de paso variable o rotámetros.	65
<b>3.5. Medidores electrónicos.</b>	<b>66</b>
3.5.1. Medidores electromagnéticos.	67
3.5.2. Medidores ultrasónicos.	68
<b>3.6. Medidores mecánicos.</b>	<b>70</b>

#### **CAPÍTULO 4. MEDIDORES CONVENCIONALES.**

<b>4.1. Fundamentos.</b>	<b>71</b>
<b>4.2. Definición.</b>	<b>72</b>
<b>4.3. Objetivo.</b>	<b>72</b>
<b>4.4. Información técnica.</b>	<b>74</b>
<b>4.5. Tipos de medidores.</b>	<b>77</b>
4.5.1. Medidores de velocidad.	78
4.5.1.1. Medidores de paletas.	78
4.5.1.2. Medidores de propela.	89
4.5.1.3. Medidores de turbina.	90
4.5.2. Medidores volumétricos.	94
4.5.2.1. Medidores de disco nutante.	97
4.5.2.2. Medidores de émbolo oscitante.	103
4.5.2.3. Medidores de pistón alternativo.	106
4.5.2.4. Medidores de émbolo rotativo.	106
4.5.3. Medidores compuestos y proporcionales.	109
4.5.3.1. Medidores compuestos.	109
4.5.3.2. Medidores proporcionales.	110
<b>4.6. Comparación general.</b>	<b>110</b>
4.6.1. Comparación de los sistemas.	111
4.6.2. Comparación individual.	111
<b>4.7. Transmisión.</b>	<b>112</b>
4.7.1. Esfera húmeda.	113
4.7.2. Esfera seca.	114
4.7.3. Esfera hermética.	114
4.7.4. Acople con el dispositivo de medida.	116



3.4.1.2. Toberas o boquillas.	57
3.4.1.3. Placa de orificio o diafragma.	58
3.4.1.4. Medidor de codo.	63
3.4.1.5. Medidor de válvula.	64
3.4.2. Medidores de área de paso variable o rotámetros.	65
<b>3.5. Medidores electrónicos.</b>	<b>66</b>
3.5.1. Medidores electromagnéticos.	67
3.5.2. Medidores ultrasónicos.	68
<b>3.6. Medidores mecánicos.</b>	<b>70</b>

#### **CAPÍTULO 4. MEDIDORES CONVENCIONALES.**

<b>4.1. Fundamentos.</b>	<b>71</b>
<b>4.2. Definición.</b>	<b>72</b>
<b>4.3. Objetivo.</b>	<b>72</b>
<b>4.4. Información técnica.</b>	<b>74</b>
<b>4.5. Tipos de medidores.</b>	<b>77</b>
4.5.1. Medidores de velocidad.	78
4.5.1.1. Medidores de paletas.	78
4.5.1.2. Medidores de propela.	89
4.5.1.3. Medidores de turbina.	90
4.5.2. Medidores volumétricos.	94
4.5.2.1. Medidores de disco nutante.	97
4.5.2.2. Medidores de émbolo oscilante.	103
4.5.2.3. Medidores de pistón alternativo.	106
4.5.2.4. Medidores de émbolo rotativo.	106
4.5.3. Medidores compuestos y proporcionales.	109
4.5.3.1. Medidores compuestos.	109
4.5.3.2. Medidores proporcionales.	110
<b>4.6. Comparación general.</b>	<b>110</b>
4.6.1. Comparación de los sistemas.	111
4.6.2. Comparación individual.	111
<b>4.7. Transmisión.</b>	<b>112</b>
4.7.1. Esfera húmeda.	113
4.7.2. Esfera seca.	114
4.7.3. Esfera hermética.	114
4.7.4. Acople con el dispositivo de medida.	116

4.7.5. Acoplamientos entre las zona húmeda y seca.	117
4.7.5.1. Transmisión mecánica.	118
4.7.5.2. Transmisión magnética.	120
4.7.6. Tren de engranajes.	125
<b>4.8. Registradores.</b>	<b>127</b>
4.8.1. Lectura circular.	128
4.8.2. Lectura recta.	129
<b>4.9. Sistemas de transferencia de registros.</b>	<b>134</b>
4.9.1. Sistema de transferencia visual.	135
4.9.1.1. Transferencia visual convencional.	136
4.9.1.2. Transferencia visual por pulsos eléctricos.	136
4.9.2. Sistemas de transferencia directa.	139
4.9.2.1. Transferencia directa manual.	139
4.9.2.2. Transferencia directa computarizada.	141
4.9.3. Sistema de transferencia remota.	141
4.9.3.1. Lector remoto portátil.	143
4.9.3.2. Lector remoto móvil.	145

## **CAPÍTULO 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES.**

<b>5.1. Introducción.</b>	<b>147</b>
<b>5.2. Características dimensionales y de capacidad.</b>	<b>148</b>
5.2.1. Capacidad.	148
5.2.1.1. Capacidad nominal.	149
5.2.1.2. Capacidad real.	150
5.2.1.3. Gastos admisibles.	151
5.2.2. Diámetro.	155
5.2.3. Designación.	158
5.2.4. Dimensiones.	161
5.2.5. Presión del agua.	163
5.2.5.1. Presión de trabajo.	163
5.2.5.2. Presión de prueba.	163
<b>5.3. Características hidráulicas.</b>	<b>164</b>
<b>5.4. Características de medición.</b>	<b>167</b>
5.4.1. Sensibilidad.	167
5.4.2. Precisión.	168
<b>5.5. Curvas características.</b>	<b>169</b>

5.5.1. Curva de errores.	170
5.5.1.1. Elementos de la curva.	171
5.5.1.2. Campos de precisión o de medida.	173
5.5.1.3. Campos de servicio.	173
5.5.2. Curva de pérdida de carga.	175
<b>5.6. Toma domiciliaria.</b>	<b>176</b>
5.6.1. Ramal.	176
5.6.2. Cuadro.	177
<b>5.7. Análisis hidráulico de la toma domiciliaria.</b>	<b>178</b>
5.7.1. Análisis con un gasto de 0.2 l/s.	181
5.7.2. Análisis con un gasto de 0.1 l/s.	184
5.7.3. Análisis con un gasto de 0.05 l/s.	186
<b>5.8. Resultados y comparaciones.</b>	<b>188</b>

## **CAPÍTULO 6. ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDORES.**

<b>6.1. Generalidades.</b>	<b>190</b>
<b>6.2. Plan de implantación de medidores.</b>	<b>192</b>
6.2.1. Beneficios de la medición domiciliaria.	192
6.2.1.1. Beneficios técnicos.	193
6.2.1.2. Beneficios económicos.	194
6.2.1.3. Beneficios financieros.	195
6.2.1.4. Beneficios sociales.	196
6.2.2. Costos de la medición.	197
6.2.2.1. Costos de adquisición.	198
6.2.2.2. Costos de almacenamiento.	198
6.2.2.3. Costos de instalación.	198
6.2.2.4. Costos de mantenimiento.	199
6.2.2.5. Costos de depreciación.	200
6.2.2.6. Costos de lectura y facturación.	200
<b>6.3. Elementos Informativos.</b>	<b>201</b>
6.3.1. Información básica.	202
6.3.2. Índices de gestión o indicadores.	208
6.3.3. Proyección de tomas domiciliarias y consumos.	211
<b>6.4. Alternativas de medición.</b>	<b>212</b>
6.4.1. Selección de localidades para planes de micromedición.	213

6.4.1.1. Método de comparación.	213
6.4.1.2. Método de indicadores ponderados.	214
6.4.2. Determinación de los índices de medición.	217
6.4.3. Tipos de medición.	218
6.4.3.1. Medición selectiva.	218
6.4.3.2. Medición sectorial.	220
6.4.3.3. Medición combinada.	221
6.4.4. Estimación de consumos.	222
6.4.5. Limitadores de consumo.	223
<b>6.5. Programas de instalación de medidores.</b>	<b>224</b>
6.5.1. Programa de actualización.	225
6.5.2. Programa permanente.	227
6.5.3. Normas y requisitos.	228
<b>6.6. Selección y adquisición de medidores.</b>	<b>229</b>
6.6.1. Selección.	230
6.6.2. Adquisición de medidores.	233
6.6.2.1. Adquisición.	233
6.6.2.2. Almacenamiento.	235
<b>6.7. Actualización del sistema en la Ciudad de México.</b>	<b>236</b>
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	
7.1. Conclusiones.	239
7.2. Recomendaciones.	242
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>244</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Generalidades.

La consecuente demanda del servicio de agua debida al incremento de la población en una ciudad, aunado a la sobreexplotación por la intensa extracción y escasa recarga, ha generado la realización de estudios diversos que especifican la gravedad del problema suscitado, de tal manera que hacen un análisis general de los problemas y sus posibles soluciones para mejorar el servicio con que cuentan los usuarios. Sin embargo, sólo alguno de esos estudios detallan el aparato que hace posible la medición real de los consumos producidos por el usuario, el cual significa una alternativa más para el control, mantenimiento y expansión del sistema.

Por consiguiente, es indispensable tener presente que un aparato o un conjunto de ellos no conforman en un 100% al sistema de medidores, sino que además está implícita una administración que coordina la instalación y mantenimiento físico de los aparatos, la emisión de boletas y su correspondiente cobro, además de la rehabilitación de la infraestructura de las redes de distribución, etc.; que conlleve a mejorar los servicios prestados a la ciudadanía.

Este trabajo se realizó con la finalidad de que se integren los conocimientos necesarios para una adecuada decisión en un plan de implantación de medidores, o bien, para la evaluación y la ejecución de acciones preventivas y correctivas que coadyuven a una mayor eficiencia en la prestación del servicio.

No obstante, hay que tener conocimiento de la problemática actual que presentan las diversas poblaciones de todo el país, para tomar conciencia de la importancia que tiene el agua, para conservar las reservas en condiciones favorables de extracción y recarga.

## **1.2. Desarrollo.**

Debido a la demanda exigida por los usuarios de agua, se realiza en primera instancia un bosquejo general del problema particular del suministro de agua en la Ciudad de México, donde se plantean las fuentes abastecedoras existentes y las que están en proceso de construcción. Este análisis hace referencia a las características que identifican a la Ciudad, tal es el caso de la población, ya que gran parte de la misma desperdicia el agua sin conocer el problema que esto acarrea. El uso irracional del agua conduce al deterioro del sistema y por consiguiente a la escasez del vital líquido. Aunado a esto, la conducción desde lugares lejanos en donde se localiza la fuente de abastecimiento, lo hace un sistema más complejo y de altos costos.

Por lo anterior, se vio la necesidad de incluir los instrumentos de medida comúnmente usados para conductos cerrados (tuberías), a fin de tener presente que las alternativas para la medición de caudales son variadas y tan sofisticadas según se requiera. La consideración para la selección del instrumento adecuado estará en función del propósito de la misma, es decir, si se requiere sólo un aforo, una medición muy precisa, mediciones de agua residual, etc., incluyendo además los factores económicos.

El sistema de control de la medición está definido por la macro y la micromedición. La diferencia fundamental entre ambas es que la micromedición abarca todo lo concerniente al sistema de medidores domiciliarios.

Debido a los problemas que presenta un sistema de suministro de agua a una población, y a la necesidad de conocer las causas del deterioro del mismo, el presente documento enfoca el estudio en el funcionamiento de los medidores convencionales para viviendas en donde se darán los tipos, características, ventajas, desventajas, etc., que prevalecen en este tipo de aparatos.

Todos los medidores convencionales cuentan con un principio básico de funcionamiento, formado por el mecanismo o cámara de medición, el mecanismo de transmisión y el registrador. Distinguiéndose en los medidores domiciliarios dos tipos fundamentales de acuerdo al mecanismo de medición: el medidor inferencial o de velocidad y el medidor de desplazamiento positivo o volumétrico.

Estos aparatos presentan además una subclasificación de acuerdo al elemento medidor, los cuales son analizados detalladamente en los puntos correspondientes.

El mecanismo de transmisión también forma parte en la clasificación de los medidores, es decir, la unidad de transmisión magnética se identifica por la esfera húmeda, esfera seca y esfera hermética. Aunado a esto, los acoplamientos son de gran importancia en el estudio de los aparatos para identificar la transmisión mecánica o magnética utilizadas en las esferas seca y hermética respectivamente.

El último componente del medidor hace referencia al registrador y a los tipos de lectura correspondientes, de tal forma que se puedan obtener los elementos necesarios para poder hacer la correcta medición de los aparatos instalados.

Para finalizar el capítulo correspondiente al funcionamiento de los medidores domiciliarios, se presenta la documentación acerca de los sistemas de transferencia de registros, con el cual se da una idea clara de las características propias de cada uno de ellos. El documento presenta novedosa información acerca de los dispositivos de lectura remota, sus aplicaciones y sus alcances.

Una vez obtenido los conocimientos básicos de la composición y operación de los medidores domésticos, será necesario adquirir los elementos que caracterizan al medidor de acuerdo a las propiedades de dimensión y capacidad, hidráulicas y de medición (precisión y sensibilidad); las cuales serán determinantes, junto con las anteriores, para la selección óptima del medidor.

Posteriormente, teniendo en cuenta todas las características que identifican a los aparatos de medición domiciliaria, se toma en cuenta la administración del sistema, la cual implica un factor importante en la decisión de realizar un plan de implantación de medidores.

Se da a conocer la información básica, junto con los índices de gestión que representarán la situación de los servicios de agua proporcionados. Esta información e índices son enunciativos y no limitativos, pudiéndose extender o reducir la cantidad de ellos, de acuerdo a las necesidades primarias de la empresa a cargo del estudio.

Se analizan también los criterios de medición, los programas, la selección y adquisición de los medidores, etc.

Por último, se da a conocer los programas de actualización que se están llevando acabo actualmente en la Ciudad de México, dando un contexto general y conciso de los objetivos a alcanzar.

### **1.3. Objetivo general.**

Proporcionar los elementos necesarios para el conocimiento básico y funcional de un sistema de medidores, así como la posible administración y control de los servicios de agua en el país.



## CAPÍTULO 2

# SUMINISTRO DE AGUA A LA CIUDAD DE MÉXICO

### 2.1. Problemática.

El reciente desarrollo del Valle de México pone de manifiesto la fragilidad del medio físico. La preferencia por la Ciudad de México ha desembocado en la centralización y la sobrepoblación. En cierto sentido, la capital del país ha pagado un alto precio por su posición privilegiada, que se manifiesta en la degradación de su ambiente, en el peso de la concentración demográfica y en la dificultad y costo para satisfacer sus demandas de bienes y servicios, siendo una de las más importantes el abastecimiento del agua.

La Ciudad de México enfrenta serios obstáculos para satisfacer sus necesidades en relación con el agua, al igual que todas las grandes concentraciones urbanas. Sin embargo, a los problemas propios del tamaño que han adquirido los sistemas hidráulicos de otras ciudades, al de la capital se añaden diversas circunstancias que lo hacen uno de los más complejos por su dificultad técnica para ser abastecida.

Parte de esta complejidad resulta de la ubicación geográfica de la capital, en un valle cerrado a 2240 m sobre el nivel del mar, así como un medio ambiente físico por demás adverso. Dado que las lluvias se concentran temporalmente, la mayor parte de los escurrimientos superficiales no pueden ser aprovechados y es necesario desalojarlos para evitar inundaciones, ya que se tiene población en la parte más baja. Como consecuencia, desde principio de siglo se comenzó a extraer agua del subsuelo para satisfacer la demanda de la ciudad. La cuenca del Valle de México ocupa un área de 9600 Km<sup>2</sup>, donde las precipitaciones medias son de 700 mm anuales en promedio, la mayor parte de éstas se concentran de junio a septiembre, dando una recarga al acuífero del orden de 725 millones de m<sup>3</sup>

anuales, equivalente a un gasto de 23 m<sup>3</sup>/s, existiendo una sobreexplotación del más del 100% de la recarga que combinada con las características del suelo sobre el cual se asienta y expande la ciudad han ocasionado hundimientos que dañan todo tipo de infraestructura, incluyendo la del sistema hidráulico, lo que hace necesario ejecutar proyectos que permitan la importación de agua de cuencas cada vez más lejanas que coadyuven a disminuir la extracción mediante la cancelación de pozos.

Concepto	Gasto equivalente (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (m <sup>3</sup> /año)
Evapotranspiración	171	5,392'656,000
Recarga del acuífero	23	725'328,000
Escumamiento superficial*	19	599'184,000
Volumen total por lluvia	213	6,717'168,000

\* 1 m<sup>3</sup>/s se regula para su aprovechamiento y el resto se desaloja a través de los drenes para evitar inundaciones.

Figura 2.1. Marco hidrológico del Valle de México.

La historia de la Ciudad de México ha sido la lucha por el agua y contra el agua, caracterizada por obras de ingeniería a un costo cada vez más elevado que se expanden en una porción del territorio nacional y que, en ocasiones, han requerido de innovaciones tecnológicas.

Por otro lado, el crecimiento de la ciudad se ha extendido al Estado de México, anexándose más municipios a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México lo que afecta aún más el funcionamiento del sistema hidráulico del Distrito Federal, al hacer uso incontrolado de sus instalaciones. En el Área Metropolitana se albergan aproximadamente a 16 millones de habitantes, de los cuales 8.5 millones viven en el Distrito Federal y 7.5 millones en el Estado de México.

Una buena parte de la población se ubica en zonas donde no existen los servicios, ni existe la posibilidad técnica o económica de proporcionarlos en corto plazo. La expansión de la mancha urbana ha reducido paulatinamente la capacidad de infiltración de los suelos que aunado con la extracción del agua del

valle ocasiona severos hundimientos en distintas zonas de la ciudad. Este fenómeno se acentúa más en la zona centro debido al tipo de cimentación superficial que presentan las construcciones que datan de la época de la colonia y de principios de este siglo, esta parte del Centro Histórico se hunde 5 cm al año, aunque en la zona perimetral de los lagos de Xochimilco es tres veces mayor (20 cm en promedio anual), por el tipo del terreno que ahí se tiene.

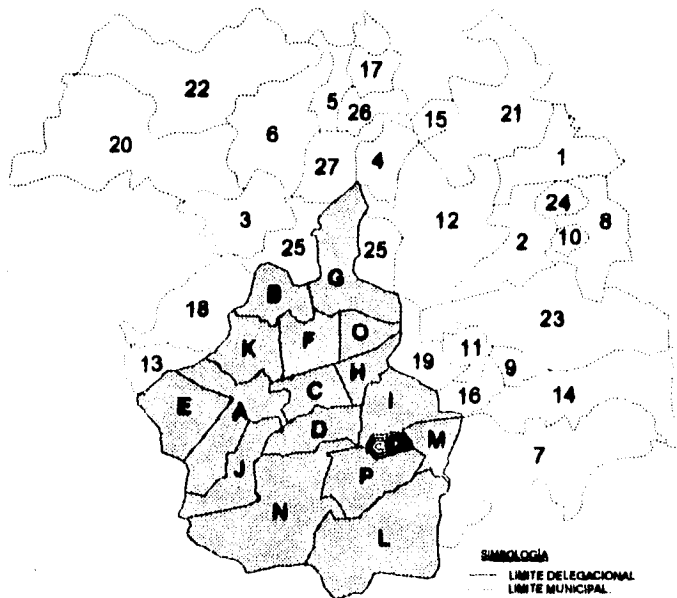
El proceso de urbanización ha alterado el medio físico, degradando las cuencas alimentadoras de las corrientes superficiales, en cuyos cauces se desalojan toda clase de desechos, líquidos y sólidos, con lo cual se reduce la eficiencia de las obras para el control de las avenidas y se anula la posibilidad de aprovechar las aguas superficiales. También se ha afectado la zona de recarga del acuífero, algunas veces con el riesgo de contaminarlo por la combinación de falta de redes de alcantarillado y el manejo inadecuado de las aguas residuales.

El desarrollo de infraestructura para otros servicios urbanos, principalmente el Sistema de Transporte Colectivo Metro, interfiere con las instalaciones del sistema hidráulico y encarece o invalida muchos de los proyectos para la ampliación y mejora de los servicios de agua.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) había sido la dependencia encargada de abastecer de agua en bloque a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de manejar el sistema hidrológico del Valle de México. La Comisión Nacional del Agua (CNA), un órgano administrativo desconcentrado de la SARH, es la que actualmente se encarga a través de la Gerencia de Aguas del Valle de México del suministro de agua.

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Departamento del Distrito Federal ha sido la dependencia encargada de los servicios de agua potable, drenaje y tratamiento y reúso en la capital del país. En 1992 se creó la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF), la que a partir de entonces ha empezado a encargarse de todo lo relacionado con el abasto de agua a la capital. A parte de los pozos que la DGCOH tiene a su cargo, opera dos sistemas de pozos fuera de su territorio, en el valle de Lerma y en Chiconautla, para lo cual fue necesario suscribir convenios con el Estado de México. Como resultado de estos convenios, el Departamento del Distrito Federal debe

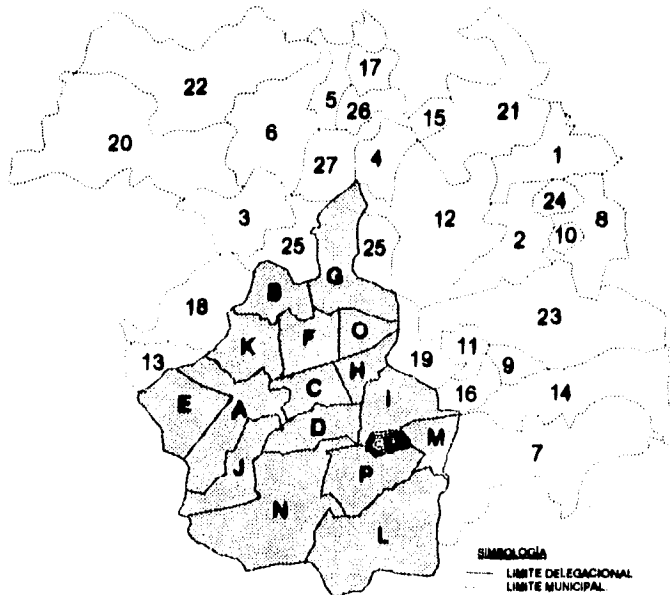
proporcionar agua para riego, construir y operar sistemas hidráulicos en numerosos poblados del estado y construir obras de beneficio social. Todo esto para disminuir fricciones que crecen cada día.



<b>DISTRITO FEDERAL</b>	L) MILPA ALTA	6) CUAUTITLÁN IZCALLI	18) NAUCALPAN
A) ÁLVARO OBREGÓN	M) TLÁHUAC	7) CHALCO	19) NETZAHUALCOYOTL
B) AZCAPOTZALCO	N) TLALPAN	8) CHIAUTLA	20) NICOLÁS ROMERO
C) BENITO JUÁREZ	O) VENUSTIANO CARRANZA	9) CHICULOAPAN	21) TECAMAC
D) COYOACÁN	P) XOCHIMILCO	10) CHICONGUAC	22) TEPOTZTLÁN
E) CUAJIMALPA DE MORELOS		11) CHIMALHUACAN	23) TEXCOCO
F) CUAUHTÉMOC	<b>ESTADO DE MÉXICO</b>	12) ECATEPEC	24) TEZDYUCA
G) GUSTAVO A. MADERO	1) ACOLMAN	13) HUIXQUILUCAN	25) TLALNEPANTLA DE BAZ
H) IZTACALCO	2) ATENCO	14) IXTAPALUCA	26) TULTEPEC
I) IZTAPALAPA	3) ATIZAPÁN DE ZARAGOZA	15) JALTENCO	27) TULTITLÁN
J) LA MAGDALENA CONTRERAS	4) COACALCO	16) LA PAZ	
K) MIGUEL HIDALGO	5) CUAUTITLÁN	17) MELCHOR OCAMPO	

**Figura 2.2. Delegaciones Políticas del Distrito Federal y municipios conurbados del Estado de México que conforman la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

proporcionar agua para riego, construir y operar sistemas hidráulicos en numerosos poblados del estado y construir obras de beneficio social. Todo esto para disminuir fricciones que crecen cada día.



<b>DISTRITO FEDERAL</b>	L) MILPA ALTA	6) CUAUTITLÁN IZCALLI	18) NAUCALPAN
A) ÁLVARO OBREGÓN	M) TLÁHUAC	7) CHALCO	19) NETZAHUALCOYOTL
B) AZCAPOTZALCO	N) TLALPAN	8) CHIAUTLA	20) NICOLÁS ROMERO
C) BENITO JUÁREZ	O) VENUSTIANO CARRANZA	9) CHICULOAPAN	21) TECAMAC
D) COYOACÁN	P) XOCHIMILCO	10) CHICONCUAC	22) TEPOTZOTLÁN
E) CUAJIMALPA DE MORELOS	<b>ESTADO DE MÉXICO</b>	11) CHIMALHUACAN	23) TEXCOCO
F) CUAUHTÉMOC	1) ACOLMAN	12) ECATEPEC	24) TEZOYUCA
G) GUSTAVO A. MADERO	2) ATENCO	13) HUIXQUILUCAN	25) TLALNEPANTLA DE BAZ
H) IZTACALCO	3) ATIZAPÁN DE ZARAGOZA	14) IXTAPALUCA	26) TULTEPEC
I) IZTAPALAPA	4) COACALCO	15) JALTENCO	27) TULTITLÁN
J) LA MAGDALENA CONTRERAS	5) CUAJITLÁN	16) LA PAZ	
K) MIGUEL HIDALGO		17) MELCHOR OCAMPO	

**Figura 2.2. Delegaciones Políticas del Distrito Federal y municipios conurbados del Estado de México que conforman la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

La falta de reglamentación adecuada para hacer efectiva la veda que existe sobre el acuífero del Valle de México, ha impedido la acción coordinada de la Comisión Nacional del Agua y los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, para reducir los niveles de sobreexplotación. Por otro lado, dentro del Distrito Federal, tanto la CNA como el Departamento tienen atribuciones para controlar los pozos operados por los particulares. La primera con base en la Ley de Aguas Nacionales y el Departamento con base en disposiciones vigentes de su Ley de Hacienda y de la Ley Federal de Derechos. Esta situación ha sido fuente de conflictos que afectan innecesariamente a los propios particulares.

La mayor parte de las soluciones a los problemas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se plantean por separado para el Distrito Federal y para el Estado de México. Esto incluye la aplicación de políticas tarifarias o de medidas tendientes a racionalizar el uso del agua, con criterios frecuentemente opuestos. Los mecanismos de coordinación entre estas dos entidades, o entre ambas y la CNA, no han sido efectivos para implantar soluciones integrales, más eficientes y baratas.

El suministro de agua también se ha visto afectado por las fugas en los sistemas de distribución, la mayor parte de las tuberías son de asbesto-cemento, material que es vulnerable a los movimientos de suelos, por lo que se estima que más de 30% del agua de la red se pierde por fugas antes de llegar a los domicilios. También se tienen tuberías con más de 100 años de antigüedad como en el caso del Centro Histórico. Se ha preferido invertir en nuevos proyectos más que mantener y rehabilitar la infraestructura hidráulica existente; además el suministro de agua a la zona se ha caracterizado por un uso prácticamente nulo de aguas residuales tratadas.

Otro de los grandes problemas es el derroche irracional del líquido por parte del usuario. En el Distrito Federal más del 40% del agua potable que se consume se suministra casi de manera gratuita debido a los problemas que se tienen con los medidores, ya que a pesar de que gran parte de la población cuenta con ellos, muchos tienen fallas con respecto a la medición, otros se encuentran dañados u obstruidos, además que no se toman lecturas de una manera adecuada y el cobro del agua permanece subsidiado. Todo esto ha provocado que los habitantes de la ciudad no desarrollen una cultura de conservación, ahorro y consumo moderado

del agua. Los estratos de mayores ingresos consumen aproximadamente 40 veces más que el volumen que utilizan los estratos de menores ingresos. Del caudal que se recibía antes de la tercera etapa del Cutzamala por lo menos el 30% se desperdicia, y se estima que el consumo diario por cada habitante es de 250 a 300 litros de agua aproximadamente. Solamente en el Distrito Federal del líquido que llega, el 58% se destina a uso doméstico y el resto al uso comercial o industrial. Con respecto a los usuarios del Estado de México el problema es mayor, ya que no se tiene un verdadero control, la mayoría de los municipios no cuentan con medidores, ni padrón de usuarios.

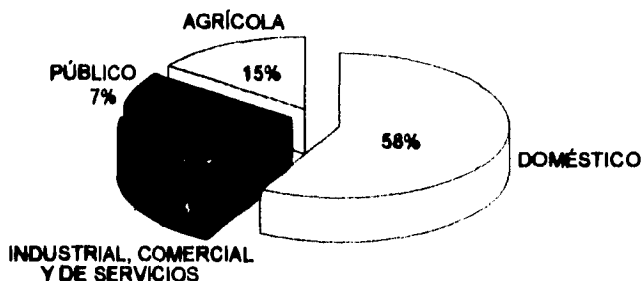


Figura 2.3. Porcentajes del uso del agua en el Distrito Federal.

## 2.2. Suministro de agua.

El Sistema Lerma se inició con 4 m<sup>3</sup>/s en 1940 y para 1974 llegó a aportar 14 m<sup>3</sup>/s, explotación que con el transcurso del tiempo ocasionó un severo abatimiento de los valles de Toluca e Ixtlahuaca, por lo que fue necesario reducir la explotación.

A principios de la década de los setentas, en el Valle de México se incrementó la extracción de aguas subterráneas por medio de pozos, motivada por la creación de gran cantidad de industrias y fraccionamientos que rápidamente se desarrollaron, originando nuevas necesidades de agua potable, tanto en el Distrito Federal, como en los 11 municipios del Estado de México que para ese entonces ya se encontraban conurbados a la capital mexicana. Esto hizo necesario el

planteamiento de abastecer de agua potable mediante cuencas externas diferentes a la del Lerma que para entonces ya presentaba signos de sobreexplotación.

Ante esta situación, en 1972 se constituyó la Comisión de Aguas del Valle de México, con el objeto de programar, proyectar, construir, operar y conservar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos del Valle de México, así como aquellas que fueran necesarias para traer el líquido de otras cuencas.

A partir de entonces, se continuaron los estudios de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, iniciados por la extinta Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, que incluían diversas alternativas, desde captaciones cercanas al Valle de México, hasta cuencas hidrológicas tan lejanas como la del Río Papaloapan, prevaleciendo en estos análisis, el dejar reservas para los usos locales presentes y futuros, analizándose su factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera. Se analizaron caudales disponibles, longitud de recorrido, desniveles respecto a los puntos de captación y entrega, energía para su operación, topografía, calidad del agua, tenencia de la tierra, aspectos tecnológicos, cambio del uso del agua y sus consecuencias.

Las regiones más viables para el abastecimiento con fuentes externas, correspondieron a las cuencas de: Cutzamala y Temascaltepec al poniente, Tecolutla y Oriental Libres al oriente, Amacuzac al sur y Tula (Taxhimay) al norte, con caudales de 19, 5, 14.7, 7, 14.2 y 2.8 m<sup>3</sup>/s respectivamente, con lo que se estimó podrán cubrirse las demandas del vital líquido hasta el año 2010, combinándose con las acciones contenidas en el programa de control de pérdidas y uso eficiente del agua. Por el momento con el Sistema Cutzamala en su tercera etapa se tiene garantizado el abasto de agua hasta el año 2000.

La utilización del agua de estas cuencas no debe verse desde un punto de vista exclusivo de abastecimiento de agua al Valle de México, ya que desde su origen y a lo largo de la conducción, debieron satisfacer en primer lugar las necesidades actuales y futuras de la región.

Se requiere desde luego, el cuidado de las zonas de captación y la preservación de la calidad del agua, efectuando obras que no solo eviten dañar el sistema ecológico, sino que tiendan a mejorarlo, pero fundamentalmente habrán



de tomarse en cuenta los problemas socio-políticos que surjan, entre habitantes de una misma entidad, o entre diversas entidades federativas y aún entre dependencias que manejan distintos usos del agua, para su adecuada y oportuna solución.

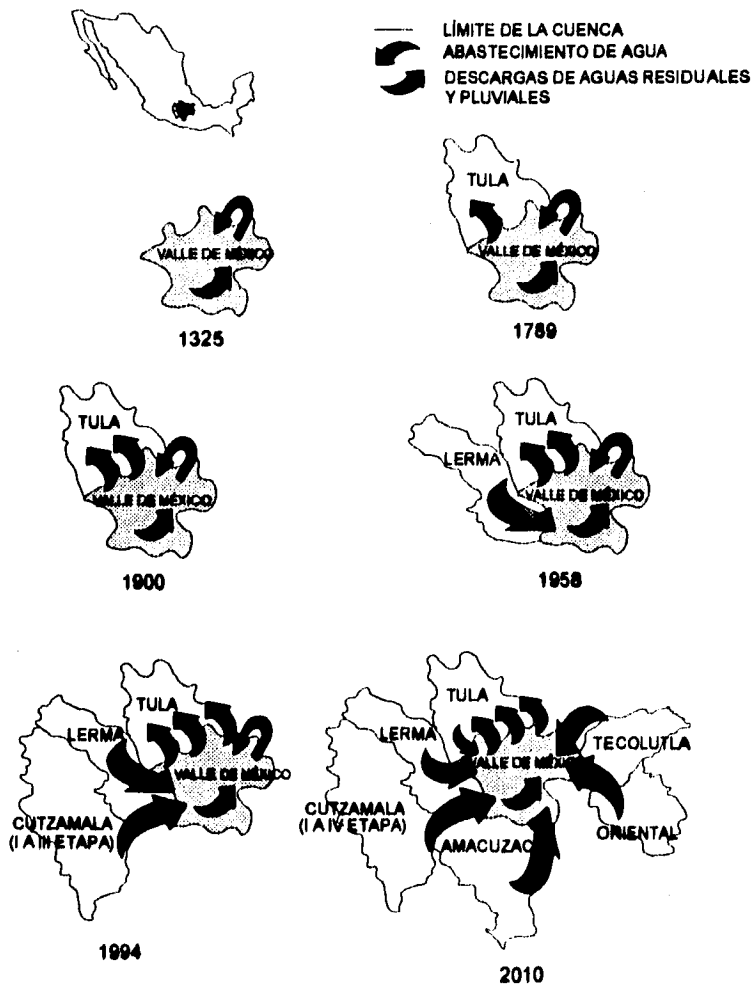


Figura 2.4. Evolución del sistema hidrológico asociado al sistema hidráulico de la Ciudad de México.

Existe siempre un gran problema a resolver en este sentido: el habitante de la ciudad en su gran mayoría, ve al suministro de agua potable como un derecho, como parte de su hábitat; por otra parte, el habitante de las zonas de captación, considera la explotación y transporte del recurso, como un despojo. Conciliar es el reto y la responsabilidad, hacer conciencia entre los habitantes de la ciudad del gran esfuerzo que conlleva al suministro de agua potable, que reclama correspondencia por parte del usuario, en cuanto a su cuidado, buen uso y pago de servicio.

Actualmente el suministro de agua a la Ciudad de México es de  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ , de los cuales  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  se distribuyen en el Distrito Federal y  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Estado de México, de los cuales  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  provienen del subsuelo del Valle de México,  $19 \text{ m}^3/\text{s}$  del sistema Cutzamala,  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  del sistema Lerma y  $1.5$  de aprovechamientos superficiales.

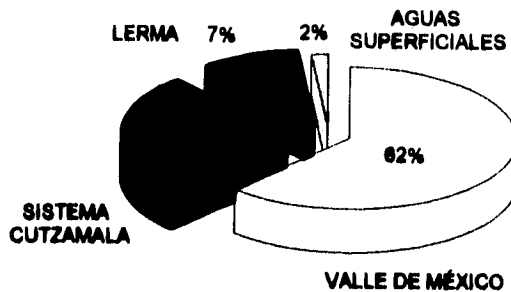


Figura 2.5. Fuentes de abastecimiento de la Ciudad de México.

El suministro de agua en la Ciudad de México está a cargo de las siguientes dependencias de gobierno:

- a) Departamento del Distrito Federal.
- b) Gerencia de Aguas del Valle de México.

### **2.2.1. Departamento del Distrito Federal.**

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) es la dependencia del gobierno encargada en extraer, recibir y distribuir el agua a los usuarios del Distrito Federal y parte del Estado de México. La captación y distribución del agua se realiza de la siguiente manera:

- a) Agua en bloque.
- b) Pozos aislados.
- c) Manantiales.
- d) Ríos.

#### **2.2.1.1. Agua en bloque.**

El agua en bloque es la que se recibe y almacena para su posterior distribución. Se conforma de uno o varios grupos de pozos tipo profundo localizados en el Distrito Federal y en el Estado de México que alimentan un acueducto, conduciendo el agua hasta una planta de bombeo o tanque de almacenamiento para su distribución. Los sistemas que lo componen son los siguientes:

- i) Sistema Lerma.
- ii) Sistema Chiconautla.
- iii) Pozos auxiliares de Xotepingo.
- iv) Sistema Xochimilco.

El Sistema Lerma es una importante fuente de abastecimiento que se encuentra localizada en la cuenca del Alto Lerma, al poniente de la Ciudad de México. Está formado por 271 pozos y se divide en dos ramales:

El ramal norte está constituido por 130 pozos que alimentan a dos acueductos de 1.22 m de diámetro cada uno, abastecidos por cuatro grupos de pozos. Las aguas llegan por gravedad a la planta de bombeo Alzate y son bombeadas hasta su convergencia con el ramal sur del sistema, incorporándose durante este trayecto las aguas provenientes de otro grupo de pozos (Tláloc II). Este ramal se entronca con el acueducto del Sistema Cutzamala de la primera etapa en el lugar conocido como Cruz de la Misión, antes de la unión con el ramal sur del sistema.

El ramal sur está constituido por 141 pozos que abastecen a dos acueductos de 1.22 m y 0.91 m de diámetro, trabajando por gravedad y por presión respectivamente. Por el efecto de la planta de bombeo Almoloye, éstos son abastecidos por siete grupos de pozos que son: Tláloc I, Ameyalco, Viveros, Santiago Tianguistenco, Tlazala, Almoloya I y II.

Los dos ramales se unen finalmente en el poblado de San Mateo Atarascuillo y forman un sólo acueducto de 1.22 m de diámetro que conduce las aguas a la Ciudad de México, atravesando la Sierra de las Cruces por el túnel Analco-San José.

El **Sistema Chiconautla** está formado por 39 pozos que constituyen ocho grupos, los cuales son: Charco, Ojo de Agua, Venta de Charco, Tepexpan norte y sur, San Cristóbal, Gran Canal y Venta de Carpio que alimentan un acueducto de 1.22 m de diámetro. Las aguas se conducen por gravedad a la planta de bombeo Chiconautla I, y de ahí son bombeadas a la planta de bombeo Chiconautla II para llegar finalmente al tanque de distribución Santa Isabel Tola.

Los **pozos auxiliares de Xotepingo** están formados por una serie de 30 pozos localizados en la delegación política de Coyoacán, abasteciendo a un acueducto de 1.22 m de diámetro y conduciendo el agua a la planta de bombeo Xotepingo.

El **Sistema Xochimilco** está constituido por 115 pozos que forman los ramales Tulyehualco, Periférico, La Noria, San Luis, Tepepan y Tecomill, localizados en las delegaciones de Xochimilco y Milpa Alta, abasteciendo a un

acueducto de 1.83 m de diámetro que conduce el agua a la planta de bombeo Xotepingo para su distribución.

#### **2.2.1.2. Pozos aislados.**

Los pozos aislados son aquellos que se conectan directamente a la red de distribución de agua potable. En el caso particular del Distrito Federal se han agrupado en cinco sistemas:

- i) Sistema Norte.
- ii) Sistema Oriente.
- iii) Sistema Centro.
- iv) Sistema Poniente.
- v) Sistema Sur.

El Sistema Norte comprende de 35 pozos localizados en las delegaciones de Azcapotzalco y Gustavo A. Madero.

El Sistema Oriente cuenta con 38 pozos localizados en las delegaciones de Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza de los cuales 6 pozos no cumplen con los requisitos de calidad de agua potable, por lo que se traslada a la planta potabilizadora Agrícola Oriental en Iztacalco encargada de cinco pozos, y a la planta de Santa Cruz Meyehualco en Iztapalapa, que potabiliza el agua del pozo de dicho lugar. Destacan del sistema, las plantas de bombeo del Cerro del Peñón en Venustiano Carranza y del Cerro de la Estrella en Iztapalapa.

El Sistema Centro está conformado por 100 pozos localizados en la parte del Centro Histórico de la Ciudad de México.

El **Sistema Poniente** cuenta con 20 pozos localizados en las delegaciones de Cuajimalpa, La Magdalena Contreras y parte de Miguel Hidalgo y Álvaro Obregón.

Por último, el **Sistema Sur** comprende de 40 pozos ubicados en las delegaciones de Milpa Alta, Tiáhuac, Xochimilco, Tlalpan y parte de Coyoacán, en donde se localizan dos pozos con mala calidad de agua, potabilizándola en la planta de Santa Catarina ubicada en el pueblo de Zapotitlán, Tiáhuac.

### **2.2.1.3. Manantiales.**

Los manantiales se encuentran localizados en la partes altas del suroeste del Distrito Federal, siendo las fuentes de abastecimiento de agua potable para los poblados cercanos a sus afloramientos.

La aportación de los gastos de los manantiales es pequeña con respecto a las demás fuentes de captación, además, presentan variaciones muy considerables en los períodos de lluvia y estiaje; lo que ocasiona que algunas zonas carezcan de agua.

Los manantiales aprovechados son: Tulmiac, Monte Alegre, Fuentes Brotantes, Potrero Chico y La Sauceda en Tlalpan; Apaxtla y Las Ventanas en La Magdalena Contreras; Santa Fé, San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac en Álvaro Obregón; Cuajimalpa, Chimalpa y El Ranchito en Cuajimalpa entre otros.

### **2.2.1.4. Ríos.**

En el Distrito Federal se utiliza como fuente superficial el Río Magdalena, sin embargo, debido a sus características de alta turbiedad y materia orgánica, se traslada directamente a la planta potabilizadora Río Magdalena, ubicada sobre la carretera La Magdalena Contreras-Los Dinamos.

Sistema	No de pozos	Gasto promedio (m <sup>3</sup> /s)
<b>a) Agua en bloque.</b>		
1. Lerma.	271	4.495
2. Chiconautla.	39	1.228
3. Pozos auxiliares Xotepingo.	30	0.419
4. Xochimilco.	115	4.534
<b>B) Pozos aislados.</b>		
1. Norte.	35	0.934
2. Oriente.	38	1.127
3. Centro.	100	2.858
4. Poniente.	20	0.393
5. Sur.	40	1.634
<b>C) Manantiales.</b>	---	0.648
<b>D) Río Magdalena.</b>	---	0.184

Figura 2.6. Sistemas de abastecimiento de agua potable a cargo de la DGCOH.

### 2.2.2. Gerencia de Aguas del Valle de México.

La Gerencia de Aguas del Valle de México realiza la extracción, captación y distribución del agua a partir de las siguientes formas:

- a) Agua en bloque.
- b) Pozos aislados.

#### 2.2.2.1. Agua en bloque.

Es el agua que entrega la federación por medio de la Gerencia de Aguas del Valle de México al Departamento del Distrito Federal y al gobierno del Estado de México. Esta entrega se realiza a través de los siguientes subsistemas:

- i) Chalmita.
- ii) El Risco.
- iii) Tulyehualco.
- iv) Tláhuac.
- v) Ampliación Tláhuac.
- vi) Mixquic-La Caldera.
- vii) Texcoco.

**El subsistema Chalmita** está formado por 67 pozos que constituyen los grupos de pozos Teoloyucan, Los Reyes , Los Reyes Ecatepec y Tizayuca, localizados en los estados de México e Hidalgo, cuyas aguas son conducidas a través de dos líneas de conducción de 1.83m de diámetro de la planta de bombeo Barrientos a los tanques de almacenamiento de Chalmita para su distribución.

**El subelstema El Risco** está formado por una serie de 25 pozos localizados en el municipio de Ecatepec que conduce sus aguas a través de un acueducto de 1.22 m de diámetro a la planta de bombeo El Risco, donde se eleva el agua al tanque de distribución Santa Isabel Tola.

**El subsistema Tulyehualco** está formado por una serie de 33 pozos localizados en la delegación Xochimilco conduciendo sus aguas a través de un acueducto de 1.22 m de diámetro a la estación de medición Canal Nacional ubicada en Lomas Estrella, Iztapalapa.

**El subsistema Tláhuac** está formado por una serie de 8 pozos, que conducen sus aguas a través de un acueducto de 0.61 m de diámetro, a la estación de medición Zapotitlán.



La **Ampliación Tláhuac** está formada por una serie de 9 pozos, conduciendo sus aguas a través de un acueducto de 0.76 m de diámetro, a la estación de medición Ampliación Tláhuac, ubicada en Lomas Estrella, Iztapalapa.

El **subsistema Mixquic-La Caldera** está formado por 15 pozos que constituyen el grupo de pozos Santa Catarina Mixquic, localizados en Tláhuac, cuyas aguas son conducidas a través de una línea de conducción de 0.61 m de diámetro, al tanque de almacenamiento La Caldera en Iztapalapa para su distribución.

El **subsistema Texcoco** cuenta con una serie de 7 pozos localizados en Texcoco, que conduce sus aguas a través de un acueducto de 0.91 m, a la estación de medición Texcoco ubicada en la Cuchilla del Tesoro, Gustavo A. Madero.

#### 2.2.2.2. Pozos aislados.

Son 48 pozos aislados tipo profundo y que se conectan directamente a la red de distribución de agua potable del Distrito Federal y Estado de México, estando localizados en la parte sur de la Ciudad de México.

Sistema	Nº de pozos	Gasto promedio (m <sup>3</sup> /s)
<b>a) Agua en bloque.</b>		
1. Chalmita.	67	3.391
2. El Risco.	25	0.365
3. Tulyehualco.	33	2.412
4. Tláhuac.	8	0.524
5. Ampliación Tláhuac.	9	0.598
6. Mixquic-La Caldera.	15	0.444
7. Texcoco.	7	0.070
<b>b) Pozos aislados.</b>	<b>48</b>	<b>1.342</b>

Figura 2.7. Sistemas de abastecimiento de agua a cargo de la Gerencia de Aguas del Valle de México.

### 2.3. Sistema Cutzamala.

El sistema consiste en el aprovechamiento de siete presas correspondientes a la cuenca alta del río Cutzamala; un vaso de regulación horaria; dos acueductos de 127 Km de distancia hasta la entrega a los ramales norte y sur, 19 Km de túneles, 7.5 Km de canal; una planta potabilizadora con capacidad de 24 m<sup>3</sup>/s; seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de hasta 1100 m, cuya operación requerirá de una energía total de 1650 millones de KWh/año y 113.5 Km de túneles dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden al Acueducto Periférico, con el ramal norte de 71.5 Km y 42 Km del ramal sur para la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y Distrito Federal.

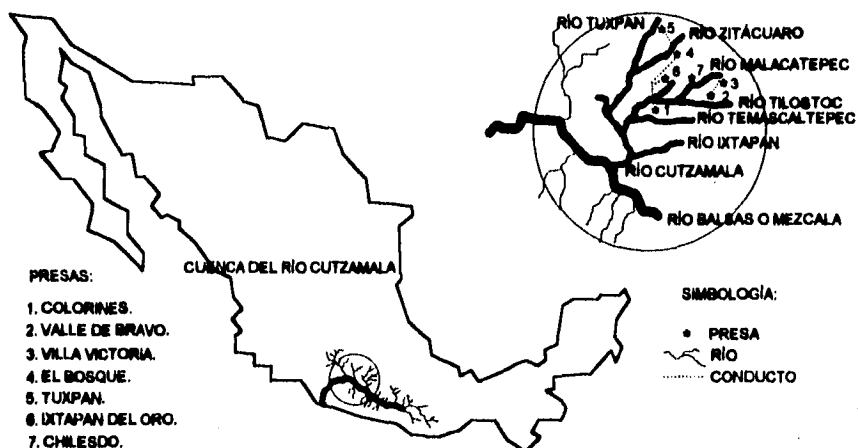


Figura 2.8. El Río Cutzamala es un afluente del Río Balsas. Esta fuente abastece de agua potable en un 20% a la población de la Ciudad de México.

Su ejecución inició en 1976 programándose tres etapas constructivas de 4, 6 y 9 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Las aguas de este sistema son las mismas que anteriormente se utilizaron para generación de energía eléctrica; únicamente se

realizó un cambio en su uso, dejando reservas de 3 m<sup>3</sup>/s para generación de energía en las horas de mayor demanda y otro tanto para atender las demandas locales, tanto actuales como futuras que requiere el desarrollo agrícola e industrial de la región.

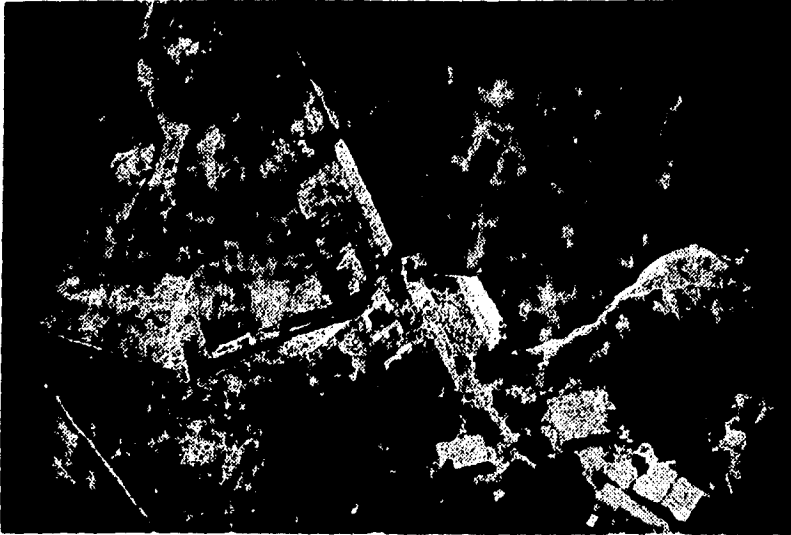


Figura 2.9. Presa Villa Victoria.

La primera etapa en operación desde mayo de 1982, aporta 4 m<sup>3</sup>/s procedentes de la **presa Villa Victoria**, que se conducen a través de un canal de 12 Km a la planta potabilizadora de Los Berros y posteriormente se realiza un bombeo en la planta número 5, venciendo una carga total de 174 m para conducir el agua a través de una tubería de concreto preesforzado de 2.5 m de diámetro y 12 m<sup>3</sup>/s de capacidad, en una longitud de 76 Km, atravesando la Sierra de las Cruces en la parte noroeste del Valle de México mediante el túnel Analco-San José conocido también como Atarasquillo-Dos Ríos, que conduce también las aguas del Alto Lerma, iniciándose en Dos Ríos la distribución del agua.

La segunda etapa en operación desde julio de 1985, consiste en la captación y conducción de 6 m<sup>3</sup>/s de la **presa Valle de Bravo**. Incluye la

conducción desde la presa hasta la planta potabilizadora, con tuberías de acero de alta y baja presión, cuyos diámetros fluctúan entre 1.83 y 3.27 m, en una longitud total de 3.7 Km y una tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro con capacidad de 12.5 m<sup>3</sup>/s, en una longitud de 14.5 Km, así como las plantas de bombeo 2, 3 y 4 para vencer las cargas de 122, 350 y 350 m respectivamente.



Figura 2.10. Presa Valle de Bravo.

En las plantas de bombeo 2, 3 y 4 se instalaron seis equipos de bombeo de 4 m<sup>3</sup>/s. En estas plantas, las magnitudes de los motores alcanzan niveles extraordinarios, ya que para vencer cargas superiores de 350 m se ha requerido de una potencia de 22000 HP para cada uno de ellos.

Las plantas de bombeo de este sistema, para decirlo en una analogía, permiten elevar el contenido de 19 tinacos de 1000 litros cada uno, a una altura de 1100 m equivalentes a siete y media veces la altura de la Torre Latinoamericana de la capital, y recorrer 127 Km, distancia equivalente al trayecto de ida y vuelta de la carretera de México-Cuernavaca; todo ello, para poder suministrar 19 m<sup>3</sup>/s, como se muestra en la figura 2.11.

Cada planta de bombeo de todo el sistema cuenta con una torre de sumergencia y una de oscilación, la primera tiene como función proporcionar la carga y volumen que requieren los equipos de bombeo para su arranque y la segunda, evitar el golpe de ariete en la tubería de presión de acero que va de la planta de bombeo a la torre de oscilación, eliminándolo del resto de la conducción.

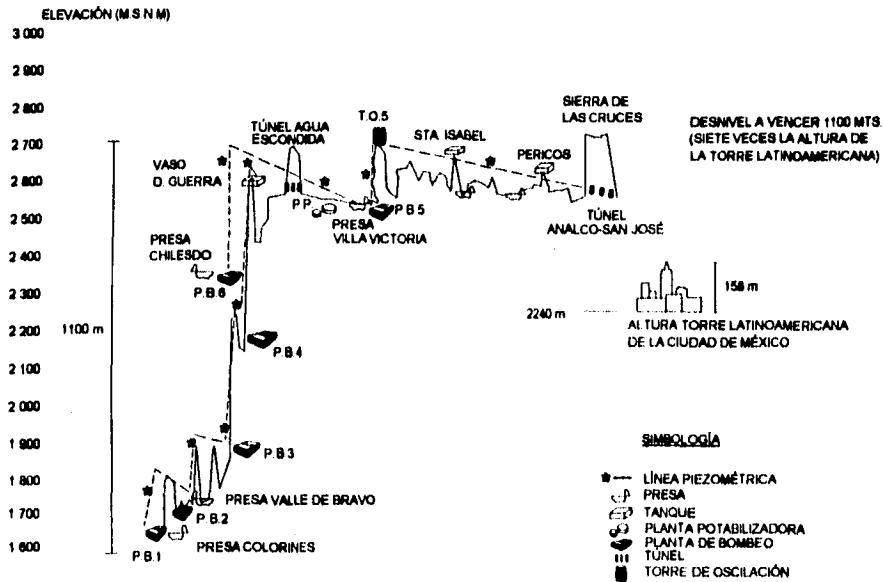


Figura 2.11. Perfil del Sistema Cutzamala.

Estas torres de sumergencia (figura 2.12) y oscilación, son estructuras cilíndricas de concreto reforzado, de colado continuo, con alturas variables que fluctúan entre 37 y 58 m, equivalentes en promedio a un edificio de 20 pisos, teniendo diámetros interiores de 10 m y espesores en sus paredes hasta 1.60 m, que fueron construidos en un tiempo de 20 días continuos.

La operación de las plantas de bombeo números 1, 2, 3 y 4 dada la configuración del sistema forman un subsistema que opera en cascada (esto es

que al operar una de ellas las demás deberán operar en las mismas condiciones), aún cuando la planta de bombeo N° 1 no siempre forma parte de dicha cascada.



Figura 2.12. Torre de sumergencia y subestación eléctrica.

En el trayecto de bombeo entre la presa Valle de Bravo y la planta potabilizadora (plantas de bombeo 2, 3 y 4) se ha construido el vaso regulador y la estructura distribuidora Donato Guerra, con el fin de almacenar en el primero una cantidad del gasto bombeado para alimentar a la planta potabilizadora durante las cuatro horas pico de demanda eléctrica, ya que el proyecto contempla el uso combinado de las presas Valle de Bravo y Colorines para permitir la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda, por lo que las plantas de bombeo 2, 3 y 4 quedan fuera de servicio. Su capacidad aproximada es de 300000 m<sup>3</sup> y envía el agua por gravedad hasta de 19 m<sup>3</sup>/s a la planta potabilizadora. La forma óptima de operar las plantas de bombeo 2, 3 y 4 es la de satisfacer la demanda de gasto y de ahí también llenar el vaso Donato Guerra a su capacidad de operación con el excedente para después de terminada, alimentar la planta potabilizadora con el gasto procedente del vaso.

La estructura derivadora se divide en dos partes: la cámara alta que es el gasto procedente de las plantas de bombeo mencionadas, y la cámara baja que es

por donde se extrae el gasto durante las cuatro horas de paro. Cada una de las cámaras estén provistas de tres compuertas donde se regula el gasto para la planta potabilizadora; las compuertas de la cámara alta, como trabajan para un gasto determinado y para una cota de nivel de llegada constante, siempre se abren a una altura fija dependiendo del gasto enviado a la potabilizadora, lo que no sucede con las compuertas de la cámara baja, las cuales deben ser ajustadas constantemente en su altura dependiendo del nivel en el vaso y del gasto que se esté manejando a la planta.

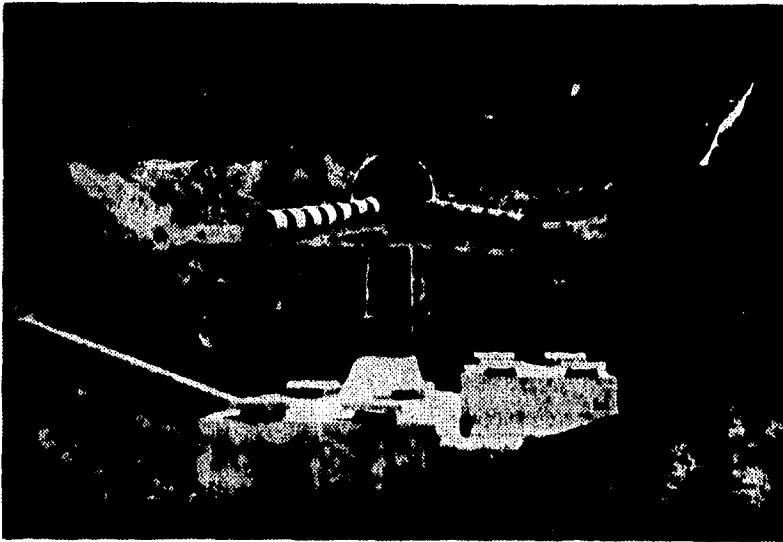
A partir de esta obra se conducen los caudales mediante un canal abierto de sección trapezoidal con longitud de 7.5 Km y capacidad de 24 m<sup>3</sup>/s, hasta el portal de entrada del túnel Agua Escondida, de sección de herradura de 4.2 m y longitud de 3.1 Km. Del portal de salida de este túnel se conduce el agua mediante una tubería de concreto hasta el tanque receptor de aguas crudas de la planta potabilizadora.

La planta potabilizadora Los Berros recibe los caudales captados y permite que el agua suministrada a la Ciudad de México sea de buena calidad, encontrándose los parámetros dentro de las normas nacionales e internacionales de potabilización.

El proyecto integral de esta planta potabilizadora, cuenta con un tanque de recepción de aguas crudas, seis canales Parshall, seis módulos de potabilización, un tanque de recepción de aguas claras, un edificio de dosificación de sulfato de aluminio, una planta de cloración, un sistema de neutralización, un sistema de tratamiento de lodos y un laboratorio para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, logrando con esto una capacidad para procesar hasta 24 m<sup>3</sup>/s.

En la planta de bombeo N° 5 además de los equipos que operan en la primera etapa, se contó con tres bombas más con capacidad de 4 m<sup>3</sup>/s para la segunda etapa, que elevan el agua 174 m hasta la torre de oscilación N° 5 y a partir de este punto se inicia la conducción por gravedad a través de dos acueductos (construidos en la primera y tercera etapa) de 76 Km hasta el portal de entrada del túnel Analco-San José de 16 Km de longitud y con sección portal de 4.6 m de diámetro y capacidad de 34 m<sup>3</sup>/s, que atraviesa la Sierra de las Cruces por donde se conduce el total de los caudales del sistema.

Esta planta de bombeo se controla independientemente del resto del sistema de bombeo excepto de la planta potabilizadora, ya que la planta recibe el agua proveniente de su tanque de sumergencia, que es a la vez el tanque de aguas filtradas de la planta potabilizadora, además es la de mayor importancia en la operación del Sistema Cutzamala, ya que por medio de ésta se efectúa el último paso para el bombeo del agua ya potabilizada. Por esta razón, la planta se maneja independientemente del resto del sistema, por lo que para su operación se diseñó un sistema a base de controladores programables (computadoras de operación) para llevar a cabo el monitoreo de señales a un tablero central para el control estadístico de la planta.



**Figura 2.13. Entrada de la segunda línea de conducción al Túnel Analco-San José.**

A la salida del túnel Analco-San José se encuentra la estación de aforos El Venado, en Dos Ríos, municipio de Huixquilucan, donde se tiene la estructura repartidora de gastos hacia el Distrito Federal y el Estado de México, de ahí parten los ramales norte y sur que forman parte del Acueducto Periférico de la Ciudad de México.



Por el momento, el ramal norte tiene una longitud de 71.5 Km y consta de tres etapas de realización. La primera etapa de 31 Km de longitud, tiene 12.5 Km de túnel que parte de Dos Ríos al sitio denominado toma N° 4 en Naucalpan, es de sección herradura y diámetro de 3.5 m, que conduce un gasto de 11 m<sup>3</sup>/s aproximadamente, continuando después con una línea de 18.5 Km de tuberías de concreto presforzado y acero, el tramo de salida de la toma es de 2.5 m de diámetro y de 7 Km de longitud hasta el tanque de distribución Bellavista, también en Naucalpan, de ahí el acueducto continúa de 1.2 m de diámetro y 11.5 Km de longitud hasta el tanque E. Zapata en Atizapán con una capacidad de 3 m<sup>3</sup>/s. La segunda etapa está en construcción y va del tanque Emiliano Zapata a la planta Barrientos en Tlalnepantla de 11 Km de longitud de concreto presforzado con diámetro de 1.2 m; y 14 Km de longitud de esta planta a la de Coacalco teniendo un total de 25 Km. La tercera etapa será de 15.5 Km de longitud y va de Coacalco a Cerro Gordo, en Ecatepec.

El ramal sur con una longitud de 42 Km por el momento, consta de cuatro etapas para su elaboración. La primera, parte de Dos Ríos atravesando las delegaciones de Cuajimalpa y Álvaro Obregón hasta el Cerro de Judío en La Magdalena Contreras con una longitud aproximada de 11 Km y 4 m de diámetro. La segunda etapa, parte del Cerro del Judío hasta la zona del Ajusco en Tlalpan manteniendo el mismo diámetro y una longitud de 11 Km. La tercera está en construcción y va del Ajusco al poblado de San Francisco Tlalnepantla, en Xochimilco, con un tramo de 10 Km de longitud quedando pendiente la cuarta etapa que está en proyecto con un tramo de 10 Km hasta el Cerro de Teuhtli en Xochimilco, limitando con Tláhuac y Milpa Alta. La profundidad promedio de este ramal sur es de 25 m y distribuye los caudales provenientes del Cutzamala y del Lerma, al sur y suroriente del Distrito Federal.

Los dos ramales del Acueducto Periférico cuentan con sus obras complementarias formadas por sus tanques de distribución, sifones y líneas de derivación. Cabe mencionar que se tiene proyectado rodear el Distrito Federal en su periferia para una mejor distribución a toda la ciudad.

La tercera etapa del sistema está integrada por los subsistemas Chilesdo y Colorines para un aprovechamiento promedio de 9 m<sup>3</sup>/s. El primero de ellos inaugurado en 1993, cuenta con una capacidad instalada de 5 m<sup>3</sup>/s para un

suministro promedio de 1 m<sup>3</sup>/s mediante la captación de las aguas del Río Malacatepec en la presa Chilesdo.

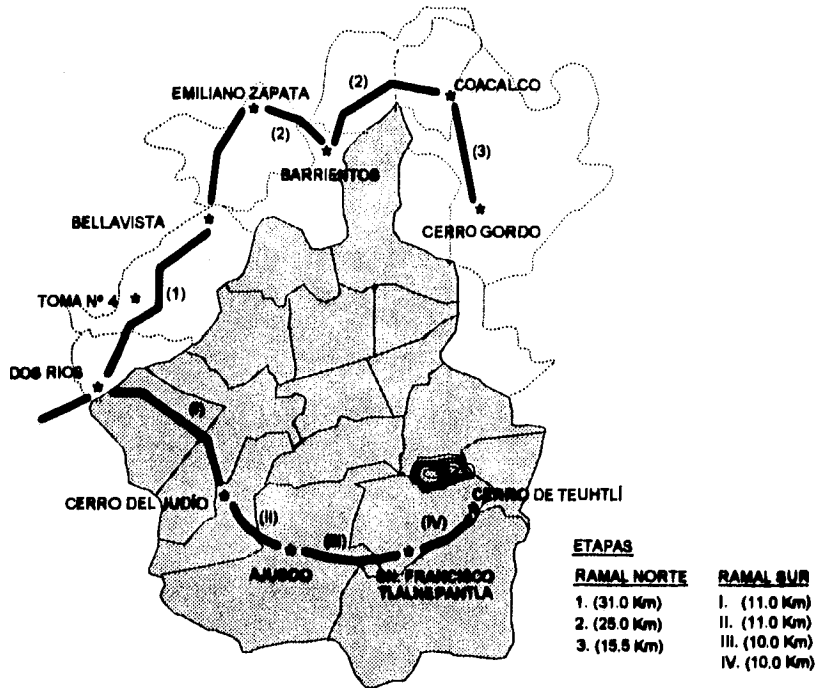


Figura 2.14. Acueducto periférico de la Ciudad de México.

Por su parte, el subsistema Colorines utiliza las aguas de la presa Tuxpan y El Bosque en el Estado de Michoacán e Ixtapan del Oro en el Estado de México, que convergen en la presa almacenadora Colorines; su planta de bombeo tiene una capacidad instalada de 20 m<sup>3</sup>/s, para un aprovechamiento de 8 m<sup>3</sup>/s.

En la presa Colorines se construyó en la obra de toma un canal revestido de concreto y una estructura para alojar ocho compuertas deslizantes, cuatro para servicio y cuatro de emergencia, para regular las extracciones.

De la obra de toma a la torre de sumergencia se conduce el agua mediante dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2.5 m de diámetro y 270 m de longitud cada una.

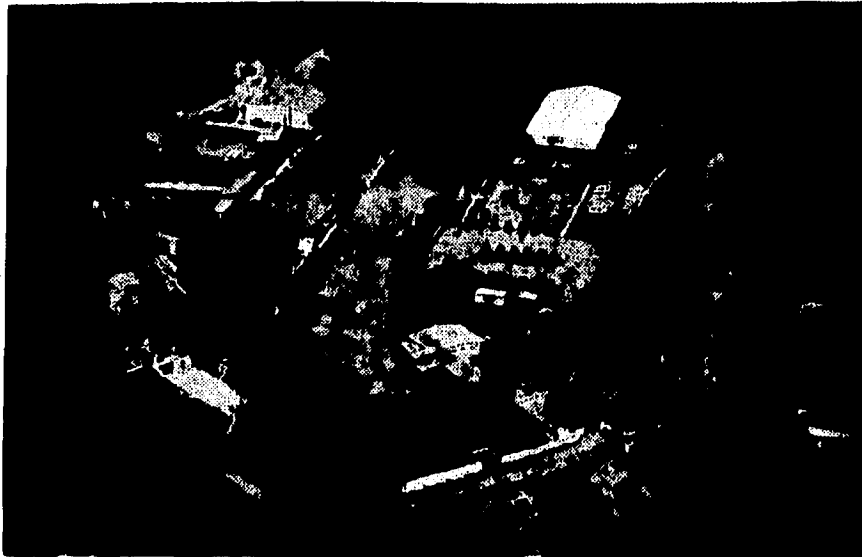


Figura 2.15. Presa Colorines.

La torre de sumergencia es una estructura cilíndrica de concreto reforzado de 10 m de diámetro interior, con una altura de 20 m, a partir de la cual mediante una tubería de acero de 2.9 m de diámetro y 100 m de longitud se hace llegar el agua a la planta de bombeo.

La planta de bombeo N° 1 está constituida por una casa de máquinas con estructura metálica de 80 m de longitud por 16 m de ancho y altura de 18 m. Se encuentran instalados cinco conjuntos motor-bomba con potencia de 10700 HP y gasto de 4 m<sup>3</sup>/s, para vencer una carga de 157 m.

Esta planta toma el gasto a manejar de la presa Colorines y dependiendo de las condiciones imperantes se bombean hacia la presa Valle de Bravo o directamente al tanque de sumergencia de la planta de bombeo N° 2.



Figura 2.16. Planta de bombeo N° 1.

Para reducir la tensión eléctrica (voltaje) de 115 a 13.8 KV, con la que operan los motores, se construyó una subestación constituida por dos transformadores con sus correspondientes sistemas de seguridad.

De la planta de bombeo N° 1 se conduce el agua a una torre de oscilación por medio de una tubería de acero de 2.9 m de diámetro y 1428 m de longitud que constituye la rampa de presión más larga del sistema Cutzamala en cuyo recorrido atraviesa dos barrancas por medio de tubos puente.

La torre de oscilación que reduce el golpe de ariete en la tubería de acero y lo minimiza en el resto de la conducción, es una estructura cilíndrica construida bajo un innovador proceso de cimbra deslizante con sistema hidráulico autonivelable para un colado continuo desde su inicio hasta su terminación, tiene

un diámetro de 10 m, espesor en sus paredes de 2.25 m y una altura de 62 m, que la distingue como la más grande y alta del sistema, realizada en tan sólo 42 días.

A partir de esta torre se construyeron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2.5 m de diámetro hasta la planta de bombeo N° 2 aprovechando el túnel El Durazno con una longitud de 2 Km realizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para generación de energía eléctrica y de dicha planta a la segunda línea de conducción hasta el túnel Analco-San José que corre de manera paralela a la primera línea y con las mismas dimensiones, aprovechando el canal Donato Guerra de 7.5 Km, así como los túneles de Agua Escondida y Analco-San José de 3.1 y 16 Km de longitud respectivamente, conducción que tiene dos cruces importantes, en la barranca de Los Berros y en el Río Lerma. Destacan también la segunda rampa de presión de acero de las plantas de bombeo 2, 3 y 4, así como la construcción del módulo 4, 5 y 6 de potabilización de 4 m<sup>3</sup>/s para tener una capacidad instalada de 24 m<sup>3</sup>/s.

En el subsistema Chilesdo se aprovechan las aguas del Río San José Malacatepec con 1 m<sup>3</sup>/s en promedio y hasta 5 m<sup>3</sup>/s en época de avenidas, reduciéndose con ello los costos de operación del sistema, al evitar que la presa Colorines cuya carga a la planta potabilizadora es de 980 m aproximadamente, y de la presa Chilesdo a la misma planta es de solamente 275 m.

La presa Chilesdo tiene una cortina de concreto de sección tipo gravedad, corona de 2.5 m de ancho, altura máxima de 14 m y 65 m de longitud total (18 m con sección vertedora de cresta libre), cuenta con un desarenador con compuerta radial de 3.5 m por 6 m que sirve además de obra de excedencias y obra de toma controlada con compuertas deslizantes, diseñada para 5.10 m<sup>3</sup>/s de gasto máximo. De la obra de toma a la torre de sumergencia se instaló tubería de acero de 1.52 m de diámetro y 700 m de longitud total, incluyendo tubo puente sobre el Río San José Malacatepec. La conducción que llega hasta su incorporación del acueducto Cutzamala en la planta potabilizadora consta de dos tuberías de concreto preesforzado con un tramo inicial de 1.37 m de diámetro y el resto de 1.07 m de diámetro cubriendo una longitud de 8.5 Km cada una.

La planta de bombeo N° 6 es un edificio con estructura metálica de 14 m de ancho, 43 m de largo y altura de 17 m, está constituida por tres equipos para un

un diámetro de 10 m, espesor en sus paredes de 2.25 m y una altura de 62 m, que la distingue como la más grande y alta del sistema, realizada en tan sólo 42 días.

A partir de esta torre se construyeron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2.5 m de diámetro hasta la planta de bombeo N° 2 aprovechando el túnel El Durazno con una longitud de 2 Km realizado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para generación de energía eléctrica y de dicha planta a la segunda línea de conducción hasta el túnel Analco-San José que corre de manera paralela a la primera línea y con las mismas dimensiones, aprovechando el canal Donato Guerra de 7.5 Km, así como los túneles de Agua Escondida y Analco-San José de 3.1 y 16 Km de longitud respectivamente, conducción que tiene dos cruces importantes, en la barranca de Los Berros y en el Río Lerma. Destacan también la segunda rampa de presión de acero de las plantas de bombeo 2, 3 y 4, así como la construcción del módulo 4, 5 y 6 de potabilización de 4 m<sup>3</sup>/s para tener una capacidad instalada de 24 m<sup>3</sup>/s.

En el subsistema Chilesdo se aprovechan las aguas del Río San José Malacatepec con 1 m<sup>3</sup>/s en promedio y hasta 5 m<sup>3</sup>/s en época de avenidas, reduciéndose con ello los costos de operación del sistema, al evitar que la presa Colorines cuya carga a la planta potabilizadora es de 980 m aproximadamente, y de la presa Chilesdo a la misma planta es de solamente 275 m.

La presa Chilesdo tiene una cortina de concreto de sección tipo gravedad, corona de 2.5 m de ancho, altura máxima de 14 m y 65 m de longitud total (18 m con sección vertedora de cresta libre), cuenta con un desarenador con compuerta radial de 3.5 m por 6 m que sirve además de obra de excedencias y obra de toma controlada con compuertas deslizantes, diseñada para 5.10 m<sup>3</sup>/s de gasto máximo. De la obra de toma a la torre de sumergencia se instaló tubería de acero de 1.52 m de diámetro y 700 m de longitud total, incluyendo tubo puente sobre el Río San José Malacatepec. La conducción que llega hasta su incorporación del acueducto Cutzamala en la planta potabilizadora consta de dos tuberías de concreto preesforzado con un tramo inicial de 1.37 m de diámetro y el resto de 1.07 m de diámetro cubriendo una longitud de 8.5 Km cada una.

La planta de bombeo N° 6 es un edificio con estructura metálica de 14 m de ancho, 43 m de largo y altura de 17 m, está constituida por tres equipos para un

gasto de  $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$  cada uno, contra una carga de 213 m, con capacidad total instalada de 17100 HP, disponiendo de sus respectivas torres de oscilación y sumergencia y tubería hasta la planta potabilizadora. La torre de sumergencia es una estructura cilíndrica de 6 m de diámetro interior y paredes de 0.45 m de espesor, de concreto reforzado, colado continuo, con una altura de 19 m.



Figura 2.17. Cruce Río Lerma. Dos líneas de conducción.

Esta planta de bombeo permitirá la regulación del gasto a manejar por la planta potabilizadora captando las aguas del Río San José Malacatepec, lo que significa un ahorro en los costos de operación al evitar que las aguas del río bajen hasta la presa Colorines. Como se indica, esta planta regula el gasto a la planta potabilizadora en caso de contingencia en alguna de las plantas correspondientes a la cascada formada por las plantas de bombeo 1, 2, 3 y 4.

Con objeto de asegurar el suministro durante interrupciones horarias, se construyó el tanque Pericos y Santa Isabel, con capacidad total de  $200000 \text{ m}^3$  y se tienen en proyecto otros tanques en las proximidades de la Ciudad de México.

El sistema Cutzamala cuenta con 35 bombas, teniendo 29 de ellas una capacidad unitaria de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  y el resto de  $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , accionadas con motores

eléctricos con potencia hasta de 22000 HP, siendo la potencia total instalada superior de 500000 HP.

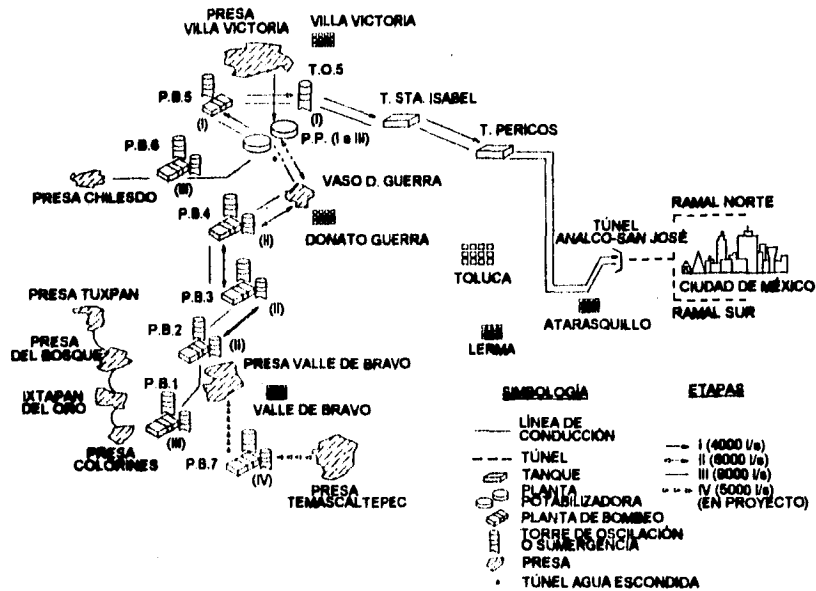


Figura 2.18. Esquema del Sistema Cutzamala.

En la figura 2.19 se muestran algunas características del equipo de bombeo, los motores para la operación de las bombas de cada planta son de gran capacidad, esto es, no son equipos comúnmente utilizados en plantas de bombeo y pozos, y dada su capacidad, el operario da como resultado la utilización de equipo computarizado adicional para efectuar la vigilancia de todas las variables que se tengan. Además de la vigilancia que se realiza a los grupos motor-bomba se efectúa la de los equipos complementarios como son la válvula esférica y arrancadores. Por lo anterior, la operación del sistema Cutzamala está basado principalmente en equipo electrónico ya que su capacidad de respuesta a disturbios es inmediata, y a su versatilidad para llevar a cabo los arranques y paro de los grupos motor-bomba.



La operación de las presas depende de la política de explotación, cada una aportará una cantidad de gasto determinado, y en ningún caso deberá ser mayor ni menor, ya que si se presenta el primer caso la torre de sumergencia podría llegar a derramar y en el segundo caso el nivel en la torre podría llegar a bajar al punto de poner en peligro la sumergencia de las bombas. Para evitar que llegue a suceder alguno de los dos casos, las compuertas de cada presa cuentan con actuadores eléctricos que pueden comandarse a control remoto, de tal forma que pueden abrirse y cerrarse a voluntad hasta que el gasto enviado a la planta de bombeo sea el correcto, debido a que el operador cuenta con un indicador del gasto a la salida de la presa.

	P.B. 1	P.B. 2	P.B. 3	P.B. 4	P.B. 5A	P.B. 5	P.B. 6
Gasto (m <sup>3</sup> /s)	4	4	4	4	1.7	4	1.7
Carga (m)	157	122	350	350	174	174	213
Nº de vueltas (rpm)	1200	1200	1200	1200	1800	1200	1800
Potencia (HP)	10700	10700	22000	22000	10700	17100	17100
Nº de bombas	5	6	6	6	3	6	3

Figura 2.19. Características del equipo de bombeo.

El control para la operación del sistema no se puede llevar a cabo en forma individual, es decir, cada planta de bombeo no puede controlarse en forma autónoma ya que si este fuera el caso, cada una debería de contar con información actualizada de las otras estructuras de control y de la misma, lo que redundaría en la duplicidad de mucho equipo y económicamente no sería atractivo, además de que la coordinación entre éstas no sería fácil. Por lo tanto, para el control del acueducto se ha implementado un sistema de control de supervisión con operación centralizada. Esto es, la operación se efectuará desde un centro de control en el cual se concentra toda la información necesaria, de tal forma que se puedan tomar decisiones desde el mismo, por lo tanto, el operador general del sistema podrá efectuar arranques y paros de equipos en cualquier planta de bombeo, tomar acciones en caso de alguna contingencia ocurrida, conocer con precisión todas las variables hidráulicas y eléctricas que conlleven a la toma de decisiones ya sea para variar la política del gasto a operar o para conocer el

estado real que guarda cada equipo o elemento primario de las instalaciones del sistema Cutzamala. El centro de control esta localizado en la planta potabilizadora y se tienen once estaciones periféricas localizadas en las plantas de bombeo, vaso Donato Guerra, planta potabilizadora, presa Villa Victoria, tanques Santa Isabel y Pericos. Las estaciones periféricas serán las encargadas de transmitir los datos del sistema Cutzamala hacia el centro de control, así como de ejecutar los mandos que se envíen desde dicho centro.

La energía para accionar estos motores y en general todas las instalaciones eléctricas, es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad, de sus sistemas de Infiernillo-Nopala, existiendo una subestación principal denominada Donato Guerra, que reduce la tensión de 400 KV a 115 KV, con dos bancos de transformación de donde se distribuye la energía a las plantas de bombeo, utilizando 80 Km de líneas de transmisión de 115 KV. Para alimentar los motores se requirió de equipo eléctrico especial, consistente en tableros con tensión de 13.8 KV, tableros para servicios auxiliares en baja tensión, controladores programables electrónicos y subestaciones eléctricas para la reducción de la tensión de transmisión de 115 KV a 13.8 KV.

En virtud de que la capacidad de los motores es muy grande y a fin de no provocar disturbios de importancia en los sistemas eléctricos al arranque de los mismos, se hizo necesaria la instalación de compensadores de potencia reactiva en las subestaciones de las Plantas de Bombeo 3, 4 y 5.

A mediano plazo el suministro de agua potable al Valle de México prevé la realización del proyecto de Tamascaltepec para aprovechar 5 m<sup>3</sup>/s, que funcionará como una cuarta etapa del Sistema Cutzamala.

El Sistema Cutzamala constituye sin duda alguna el más ambicioso en su tipo que se ha llevado a cabo en el país y es también de los de mayor magnitud en el mundo al conjugar el desnivel a vencer, el volumen y la distancia de recorrido.

## **2.4. Alternativas**

Las inversiones para abastecer a la población de la Ciudad de México han sido cuantiosas, pero sería más costoso para el país dejar de extinguir, por la carencia del vital líquido, la ciudad que ha sido esencia de la cultura nacional y el centro motor del país.

Por ello se formuló el Programa de Desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la Región del Centro, que tiene un carácter regional por la participación coordinada de los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México como responsables directos del desarrollo de la zona, y de los gobiernos de los estados de Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, a los cuales, por su estrecha relación con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, les corresponde tomar una serie de medidas que aseguren la consecución de los objetivos que en él se plantean, entre ellas las del abastecimiento de agua. Las acciones del gobierno federal para el abasto son las siguientes:

- a) Realizar los trabajos correspondientes a la cuarta etapa del Sistema Cutzamala, lo cual permitirá obtener un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s más.
- b) Efectuar el saneamiento y tratamiento de las aguas residuales para usos industriales y agrícolas.
- c) Disminuir las extracciones en los acuíferos del Valle de México.
- d) Reducir la sobreexplotación en los acuíferos del Alto Lerma.
- e) Asegurar que en Xochimilco, Milpa Alta, Tiáhuac, Tlalpan y Cuajimalpa, se controle el crecimiento urbano, ya que estos lugares son los principales sitios de recarga de los acuíferos del Valle de México.
- f) Efectuar, en corto plazo, una regularización y actualización del padrón de usos y usuarios del agua, a efecto de precisar los volúmenes que realmente se utilizan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México así como sus usos respectivos.

- g) Realizar un censo de los usos del agua para estimar con precisión los volúmenes que se abastecen a la zona y lo que realmente se cobra.**
- h) Mejorar la administración del servicio de agua potable, asignando una cuota fija mínima a los pequeños consumidores y estableciendo un estricto control de la medición, facturación y cobro para los usuarios que más consuman, tales como la industria papelera, química, de refinación y bebidas, hoteles, lavanderías y restaurantes, y a los consumidores domésticos de zonas residenciales.**
- i) Controlar la expansión urbana en lugares de difícil acceso, para evitar la costosa prestación de los servicios de agua.**
- j) Modificar los reglamentos de construcción del Distrito Federal y del Estado de México para obligar a la utilización de dispositivos y accesorios que consuman menos agua, concretamente en las instalaciones sanitarias.**
- k) Promover las formas de tratamiento y reutilización del agua, así como su captación de fuentes locales menores mediante la introducción de innovación a los sistemas existentes.**
- l) Reforzar e incrementar las campañas de concientización en el uso del agua, para disminuir el derroche que se hace del recurso. Estas campañas deben sustentarse en una información realista y precisa de la problemática de el abastecimiento de agua en esta zona.**
- m) Instalar en toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, medidores de agua para un control adecuado con respecto al consumo del usuario, y obtener ingresos para el mantenimiento de estos y de la infraestructura hidráulica. Por ello es importante conocer las funciones básicas de los medidores, sus formas diversas y las ventajas y desventajas que pueden proporcionar, ya que la carencia de información aunado a la negligencia del personal a cargo de la instalación, ha propiciado una mala colocación provocando una recabación de lecturas erróneas.**

**Se considera que las acciones anteriores permitirán lograr la supervivencia de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y recuperar el equilibrio ecológico oportunamente tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México. Cabe señalar que la capacidad de suministro del servicio de agua potable se encuentra al límite, y no es aventurado decir que de no tomarse las medidas señaladas la necesidad de agua no sólo sería un problema para el desarrollo de la ciudad, sino incluso una limitante para su supervivencia.**

## CAPÍTULO 3

# INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

### 3.1. Importancia de la medición.

El control hidráulico es la base esencial para el suministro integral de las fuentes acuíferas para el consumo humano. Es por ello que el aforo de caudales ha sido y será un factor determinante para el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la obtención de instrumentos de medición más completos y capaces de medir el total del flujo que pasa a través de ellos.

El aforo de un caudal se define como la obtención del gasto a través de mediciones en una sección transversal dada. Esta sección, para fines particulares será circular, que representa en forma general a las tuberías.

El aforo de los caudales en tuberías representa una alternativa para que los científicos desarrollen diversas formas de medición. Las mediciones pueden darse de manera directa (medición del registro instantáneo) o bien, de manera indirecta (obtención del registro aplicando las fórmulas de los principios fundamentales de la hidráulica) dependiendo del instrumento que se desee utilizar.

El instrumento para la medición de un caudal determina la cantidad en peso o volumen que por unidad de tiempo pasa a través de una sección dada. La medición de los caudales es junto con la medición de la presión y de nivel, uno de los sistemas de obtención de datos más importantes para el control hidráulico.

Es importante señalar que ciertos tipos de instrumentos de medición, a pesar de ser muy precisos, sólo son utilizados como parámetros de comparación o calibración de los medidores convencionales frecuentemente usados en predios domésticos, comerciales e industriales, debido a su instalación y obtención del volumen registrado.

Por la importancia que representan los medidores comunes domésticos con respecto a los otros instrumentos de medición se hará posteriormente, un análisis independiente y más extenso de los que se mencionan en el presente capítulo.

Los instrumentos de medición son muy variados y por lo mismo existen diferentes clasificaciones acorde a la obtención de resultados (indicados por su medida, presión o diferencias de nivel). Dicha obtención de resultados se basan directamente en el principio del funcionamiento de cada instrumento, por lo que la clasificación es la siguiente:

- A) Medidores de tubo de inserción.
- B) Instrumentos de capacidad.
- C) Medidores de áreas diferenciales.
- D) Medidores electrónicos.
- E) Medidores mecánicos o convencionales.

### **3.2. Medidores de inserción.**

Los medidores de inserción o "pitométricos" son aquellos instrumentos destinados a determinar por medio de las cargas de presión y velocidad, la velocidad puntual del caudal que circula a través de la tubería en el lugar de la colocación del aparato medidor. La obtención de velocidades puntuales a diferentes distancias del área transversal de la tubería, permite determinar la distribución de velocidades de dicho caudal. Así mismo, se puede conocer la velocidad media y obtener, multiplicando por el área de la sección transversal el caudal medio que presenta dicha tubería.

Estos medidores son mejor conocidos como **tubos de Pitot** o bien, pueden denominarse también como medidores diferenciales de carga. Este tubo mide la carga o presión total conocida como la presión de estancamiento que es la suma

de la carga de presión y la carga de velocidad ( $\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ ) en un punto de la sección transversal de la tubería, por lo que no se puede obtener la velocidad en ese punto, pero se puede conocer la carga de presión si la velocidad de la corriente es cero, como en el caso de las **sondas de presión**.

El tubo de Pitot es un tubo doblado a 90°, en forma de escuadra o "L", que se coloca dentro del flujo paralelo a las líneas de corriente con la boquilla en dirección contraria al sentido del flujo (vector velocidad) provocando un punto de estancamiento a la entrada de la boquilla para que el agua ascienda dentro del tubo; por lo tanto, la velocidad de la corriente se reduce a cero y por consiguiente la energía de presión aumenta a costa de la disminución de la energía cinética. El tubo consta por lo regular cuando se trabaja para tuberías a presión de un manómetro, ya sea diferencial, mecánico o electrónico, o bien, de un tubo de Pitot para medir la carga total.

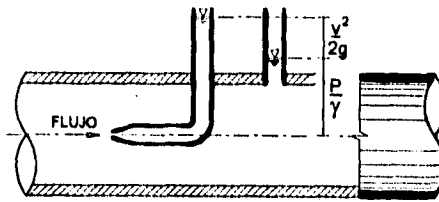


Figura 3.1. Esquema seccional del tubo de Pitot.

Según lo anterior, por medio del tubo de Pitot se obtiene la altura o diferencia de alturas cuando se usa el manómetro, pero la carga total o sea la suma de la carga de velocidad y de la carga de presión se obtiene aplicando uno de los teoremas fundamentales de la hidráulica que es el teorema de Bernoulli.

Aplicando la ecuación de Bernoulli a la figura 3.2, despreciando las pérdidas de carga por ser muy pequeñas, y considerando el punto (0) y (1) en el mismo plano de referencia, se tiene lo siguiente:



$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \sum h$$

donde:

$z$  : carga de posición.

$\frac{p}{\gamma}$  : carga de presión.

$\frac{v^2}{2g}$  : carga de velocidad.

$\sum h$  : pérdidas de carga

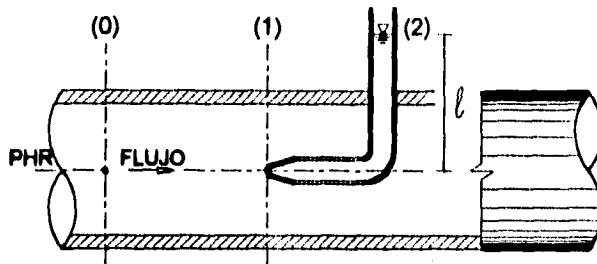


Figura 3.2. Sección longitudinal del tubo de Pitot.

debido a que en el punto (1) hay estancamiento, es decir,  $\frac{v_1^2}{2g} = 0$ ,  $z_0 = z_1$  y  $\sum h \approx 0$ ,

entonces se tiene:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} \dots\dots(a)$$

que es la presión de estancamiento. Haciendo ecuación de la energía de (1) a (2) tenemos que:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

de la anterior ecuación deducimos que en el punto (1) la carga de posición vale cero ( $z_1 = 0$ ) debido al plano de referencia, y la carga de velocidad es cero ( $\frac{v_1^2}{2g} = 0$ ) por el estancamiento, mientras que en el punto (2) la carga de presión es cero ( $\frac{p_2}{\gamma} = 0$ ) y por consiguiente la carga de velocidad también vale cero ( $\frac{v_2^2}{2g} = 0$ ). Eliminando las características anteriores, tenemos:

$$\frac{p_1}{\gamma} = z_2 \dots\dots(b)$$

sustituyendo (b) en (a) se tiene:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_2$$

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = l$$

del cual despejamos la velocidad:

$$v_0 = \sqrt{(l - \frac{p_0}{\gamma})2g}$$

se observa que el tubo de Pitot mide la presión de estancamiento, es decir, la suma de la presión estática más la presión dinámica.

Los medidores o tubos de Pitot se clasifican de acuerdo a su importancia de utilización como:

- a) Tubo de Prandtl.
- b) Tubo de Pitot-Cole.
- c) Tubo de Pitot Simplex.
- d) Tubo de Pitot Annubar.

### 3.2.1. Tubo de Prandtl.

El tubo de Prandtl es una modificación del tubo de Pitot que nos permite obtener de una manera directa la velocidad puntual, teniendo esa ventaja sobre los demás. Este aparato consiste en una combinación del tubo de Pitot y de la sonda de presión, es decir, del tubo de Pitot se obtiene la carga total, por la sonda de presión se obtiene la carga de presión y con la diferencia de medidas de estos dos aparatos se puede obtener la carga de velocidad.

De los dos tubos concéntricos que conforman el tubo de Prandtl, uno que es el exterior, tiene una serie de agujeros taladrados que forman un ángulo recto con respecto a la dirección del flujo. Se conectan las dos presiones a un manómetro, que nos da la diferencia ya mencionada, que es igual a la columna de velocidad o de presión producida por la pérdida de energía cinética.

La velocidad del fluido se obtiene aplicando el teorema de Bernoulli y la diferencia de presiones dadas en el manómetro tipo "U". Utilizando la figura 3.3 y aplicando la ecuación de la energía de (0) a (1), se tiene lo siguiente:

$$z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

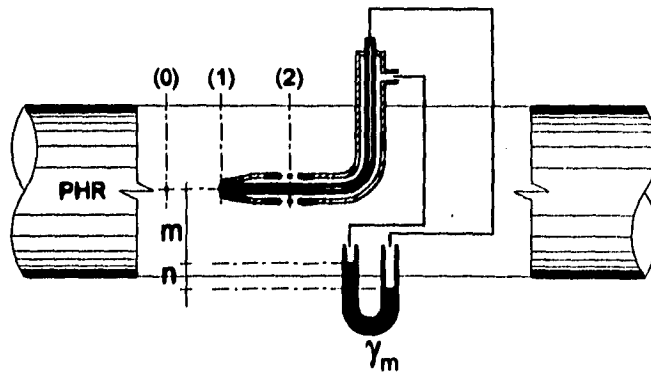


Figura 3.3. Sección longitudinal del tubo de Pitot Prandtl.

donde sabemos que las cargas de posición valen cero y la carga de velocidad en el punto (1) es también cero debido al estancamiento provocado, tenemos:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma}$$

despejando la velocidad:

$$v_0 = \sqrt{2g\left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_0}{\gamma}\right)} \dots\dots(a)$$

analizando de (1) a (2) las diferencias de presiones tenemos:

$$p_1 + \gamma(m) + \gamma(n) = p_2 + \gamma_m(n) + \gamma(m)$$

$$p_1 + \gamma(n) = p_2 + \gamma_m(n)$$

$$p_1 = p_2 + n\left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}\right)$$

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \dots(b)$$

dado que los puntos (0) y (2) se consideran que están sobre la misma línea de corriente se tiene:

$$p_0 = p_2 \dots\dots(c)$$

sustituyendo (c) en (b) tenemos:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_0}{\gamma} = \left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right) \dots\dots(d)$$

por lo que sustituyendo la ecuación (d) en la ecuación (a) obtenemos lo siguiente:

$$v_0 = \sqrt{2gn\left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right)}$$

Debido a su sencillez de operación, los tubos Prandtl pueden ser diseñados, sin embargo, el problema es la calibración que requiere hacerse en laboratorio.

En el campo de trabajo, los tubos Prandtl son los instrumentos más utilizados y debido a su exactitud, sirven para calibrar otros tipos de medidores.

### 3.2.2. Tubo de Pitot-Cole.

El tubo de Pitot-Cole tiene un tipo especial de orificios para captar las presiones. El tubo Pitot-Cole está formado por dos pequeños tubos que salen en la parte baja del mismo, operando uno contra el flujo y el otro a favor de él. Las tomas de presión que contienen los orificios son roscadas o soldadas en los tubos de transmisión (paredes del tubo). En la parte superior de los tubos de transmisión existe un mecanismo libre que permite girar los tubos pequeños en posición de abierto o cerrado, fijando esas posiciones por medio de otro tubo.

Además, existe una varilla que puede deslizarse a través de una fuerza de acople del Pitot y de la válvula de incorporación permitiendo que los pequeños tubos pitométricos se muevan a lo largo del área transversal de la tubería.

El orificio que esta en posición de frente al flujo es el que capta la presión dinámica de estancamiento, mientras que el otro orificio capta la presión estática. Este tubo puede ser girado 180° y seguir conservando las mismas diferencias de presiones.

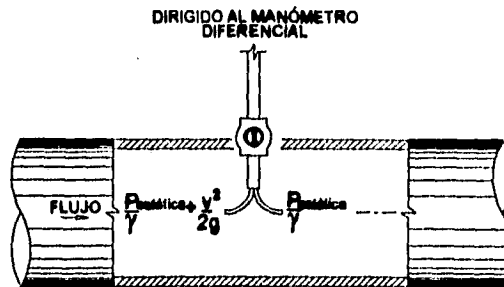


Figura 3.4. Esquema general de un tubo de Pitot-Cole.

### 3.2.3. Tubo de Pitot Simplex.

El tubo de Pitot Simplex es similar al tubo de Pitot-Cole, sólo que este cuenta con tres orificios; un orificio de impacto (colocado de frente al flujo) y en lugar de uno, dos orificios de referencia ubicados en lados opuestos en el eje vertical. Los orificios de presión son fijos y forman parte de la varilla; si se coloca en posición invertida al indicado (girando 180°), la deflexión en el manómetro se anula porque no existe presión diferencial entre los orificios de referencia e impacto.

### 3.2.4. Tubo de Pitot Annubar.

El tubo de Pitot Annubar es el más comercial y aceptado por su excelente precisión, debido a su fácil instalación, operación y mantenimiento. La energía cinética que mide, es un compuesto de las velocidades de varios y pequeños anillos de la sección transversal de la tubería. Estos dispositivos se calibran directamente en el flujo con el uso de una curva de calibración. Este tipo de Pitot consta de cuatro partes básicas:

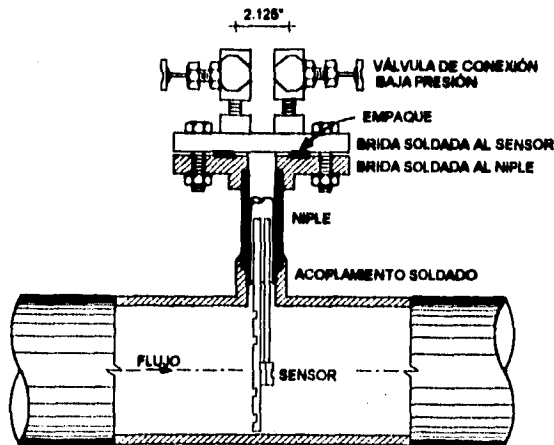


Figura 3.5. Detalle seccional del tubo de Pitot Annubar.

- **Sensores de alta presión:** son cuatro orificios que van en contra del flujo, los cuales promedian las cargas por estancamiento de la sección transversal.
- **Tubo interpolador:** insertado dentro del sensor de alta presión. Transmite continuamente el promedio de las presiones dinámicas detectada por los cuatro orificios sensores.
- **Sensor de baja presión:** capta la presión estática.
- **La parte superior del instrumento:** transmite la diferencia de presiones registradas a un indicador o manómetro.

Para mejor precisión se recomienda colocar de 5 a 10 diámetros antes y después del tubo. Su precisión es de  $\pm 1\%$  y su pérdida de carga es baja.

Todas las variedades de tubos que se indicaron tienen pérdidas de cargas mínimas con respecto a otros medidores debido a que no estrangulan ni obstruyen el área de la tubería. Todos los tubos son calibrados en laboratorios, pero resultaría conveniente que dicha calibración se realizara a las condiciones de trabajo o en su caso, en el lugar de su instalación.

### **3.3. Instrumentos de capacidad.**

Los instrumentos de capacidad son aquellos aparatos que miden exclusivamente volúmenes contra tiempo o bien, contra peso. Ambos se caracterizan por la medición de pequeños flujos en tanques regularmente cilíndricos. Aunque no son muy conocidos, se clasifican de la siguiente manera:

- i) **Tanques volumétricos.**
- ii) **Tanques gravimétricos.**

### **3.3.1. Tanques volumétricos.**

Los tanques volumétricos son aparatos que miden el caudal a partir de un tanque que obtiene el volumen y de un cronómetro que registra el tiempo. A partir de los dos parámetros anteriores, se calcula el gasto del conducto.

Debido a la inexactitud de estos tipos de medidores (si no tiene una graduación de nivel), los tanques gravimétricos tienen cierta ventaja.

### **3.3.2. Tanques gravimétricos.**

Los tanques gravimétricos son aparatos que miden de igual manera el volumen pero con relación al peso del agua. Consta de un tanque y una báscula en la parte inferior (base) del mismo, además de un cronómetro para determinar el tiempo.

El principio de obtención del caudal es muy semejante al de los tanques volumétricos, sin embargo, la medición por "pesada" alcanza una exactitud del 0.05% de la lectura máxima.

El caudal se calcula determinando el peso del agua, y con el valor del peso específico del agua se obtiene el volumen. Por medio de un cronómetro se toma el tiempo necesario, y aunado con el volumen se obtendrá directamente el caudal.

Los tanques volumétricos y los tanques gravimétricos se utilizan generalmente como una alternativa más de medio de comparación con los medidores estacionarios existentes.

### **3.4. Medidores de áreas diferenciales.**

Los medidores de áreas diferenciales son aquellos aparatos que presentan una reducción de área seccional de su funcionamiento como parte de la tubería, es decir, forman parte de la instalación del sistema; a diferencia de los medidores de inserción los cuales son ajenos a la instalación en los conductos.



Los medidores de áreas diferenciales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Medidor de área de paso constante, deprimógenos o de obstrucción.
- b) Medidor de área de paso variable o rotámetros.

### 3.4.1. Medidores deprimógenos.

Los medidores deprimógenos son aquellos instrumentos que consideran básicamente una reducción gradual o brusca de la sección del flujo en movimiento, ocasionando con esto un aumento de velocidad y una disminución de la presión en el fluido. De la correlación de la variación de presión con la velocidad, es posible cuantificar el caudal del conducto.

Una característica de estos medidores es que el gasto es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presión provocada por el elemento deprimógeno:

$$Q = C_d A \sqrt{2gl}$$

donde:

- $Q$  : es el gasto o caudal
- $A$  : área de la sección
- $C_d$  : coeficiente de corrección del gasto (depende del tipo de aparato)
- $l$  : deflexión en el manómetro.

Estos medidores se clasifican de acuerdo a su geometría constructiva, de la siguiente manera:

- i) Tubo Venturi.
- ii) Toberas o boquillas.
- iii) Diafragmas o placas de orificios.
- iv) Medidor de codo.

v) Medidor de válvula.

Aunque el principio de funcionamiento de estos medidores es el mismo, la geometría constructiva de cada uno impone diferencias básicas en el comportamiento hidráulico del fluido al atravesar el medidor, como lo es la pérdida de carga.

**3.4.1.1. Tubo Venturi.**

El tubo Venturi es un medidor deprimógeno debido a que presenta las características típicas de estrangulamiento del área transversal a través de un conducto. Su función básica es provocar una diferencia de presiones de la cual se obtiene el caudal que circula por la sección.

Este medidor consta de tres partes: una convergente que es la parte de entrada, otra de sección mínima o garganta, y finalmente una divergente que es la parte de salida de la garganta; el estrangulamiento del flujo es muy brusco, pero la ampliación hasta la sección original es por el contrario, gradual. La sección transversal del Venturi es por lo común circular, pero puede tener cualquier otra forma. El agujero de toma de presión aguas arriba se halla a una distancia de la entrada convergente, mientras que el agujero de toma de presión aguas abajo está situado en el estrechamiento.

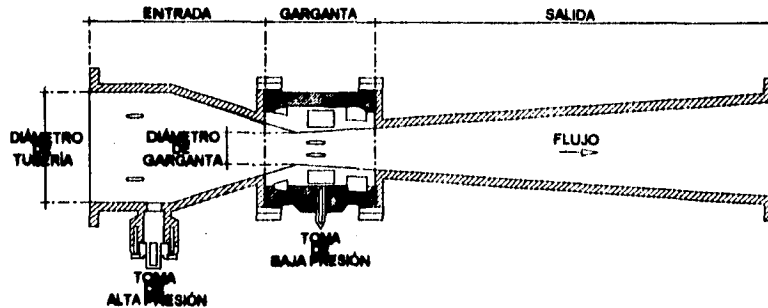


Figura 3.6. Partes que conforman el medidor tipo Venturi.

Se requiere que el flujo sea de turbulencia uniforme para no tener áreas de alta y baja presión. Para evitar esto, se deja un espacio en la tubería de 5 a 20 diámetros aguas arriba y de 10 diámetros aguas abajo libres de alguna pieza especial. Bajo condiciones ideales se tiene una precisión de  $\pm 0.5\%$  de la lectura, pero por lo regular alcanza  $\pm 1$  ó  $2\%$ .

Las ventajas técnicas del medidor Venturi son:

- Precisión.
- No hay gran obstrucción del flujo.
- Pérdida de carga mínima.
- Poca efecto si se tienen sólidos en movimiento.
- Resistente, confiable y simplicidad de diseño.
- Operación estable.
- Calibración sencilla.
- No tiene partes móviles.
- Su mantenimiento no requiere de interrupción de flujo.

Las desventajas del medidor son las siguientes:

- Rango de operación limitado.
- No es tan confiable en su precisión cuando no se cumplen con sus especificaciones.
- Requiere de gran longitud en su instalación con respecto a otros medidores, a pesar de estar bridado para su fácil colocación.
- Alto costo.

En la figura 3.7 se mide la diferencia de presiones entre la sección (1), aguas arriba de la parte convergente y de la sección (2), que se encuentra en la garganta, por medio de un manómetro diferencial o de cualquier otro tipo. Aplicando el teorema de Bernoulli, obtenemos lo siguiente:

$$z_1 + \frac{P_1}{g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{g} + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots (a)$$

con la ecuación de la continuidad tenemos:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

despejando:  $v_1 = \frac{A_2 v_2}{A_1}$  ;  $m = \frac{A_2}{A_1}$  .....(b)

sustituyendo (b) en (a) se tiene:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + m^2 \frac{v_2^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

ordenando términos:  $z_1 + \frac{P_1}{\gamma} - (z_2 + \frac{P_2}{\gamma}) = \frac{v_2^2}{2g} - m^2 \frac{v_2^2}{2g}$

por lo que se tiene:

$$H_1 - H_2 = \frac{v_2^2}{2g} (1 - m^2)$$

despejando la velocidad:

$$v_2 = \frac{\sqrt{2g(H_1 - H_2)}}{\sqrt{(1 - m^2)}}$$

para la obtención del gasto teórico se multiplica por el área transversal contraída:

$$Q = A_2 v_2 = \frac{A_2}{\sqrt{(1 - m^2)}} \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

multiplicando el gasto teórico por un factor de corrección se tiene:

$$Q = C_v \frac{A_2}{\sqrt{1 - m^2}} \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

donde:

$C_v$  : es un coeficiente experimental de corrección.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

donde:

$$C_d = \frac{C_v}{\sqrt{1 - m^2}}$$

$C_d$  : depende de la viscosidad, la rugosidad de la tubería, contenido en los términos de pérdida de energía y del tipo de tubo Venturi.

por medio de la diferencia de presiones se tiene:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2gl \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right)}$$

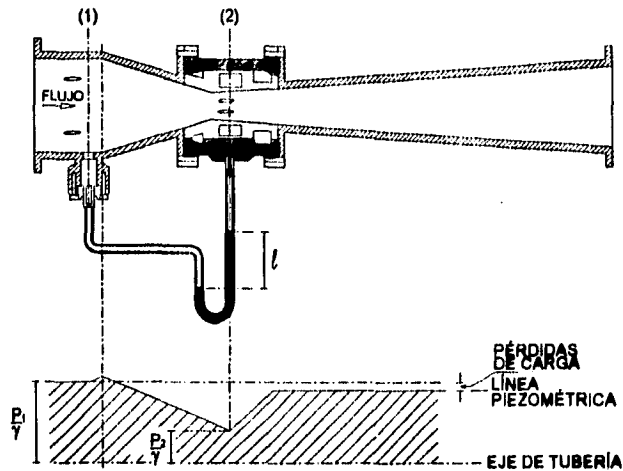


Figure 3.7. Sección del tubo Venturi y del manómetro diferencial.

Un tipo de Venturi es el tubo Dall, el cual difiere del anterior por tener su parte divergente corta. El tubo Dall se usa cuando no se tiene largos tramos de tuberías y para líneas de corriente con velocidad alta, obteniéndose un rango diferencial de presión mayor que el Venturi normal.

Este tubo es casi tan preciso como el convencional, tiene una alta recuperación de presión y es más sensible a las turbulencias, por lo que se requiere 40 diámetros de tubería aguas arriba libres de alguna pieza especial.

Sus ventajas son similares al medidor Venturi convencional, y sus desventajas presentan sólo como diferencia, algunos requerimientos técnicos en su instalación para obtener una buena precisión.

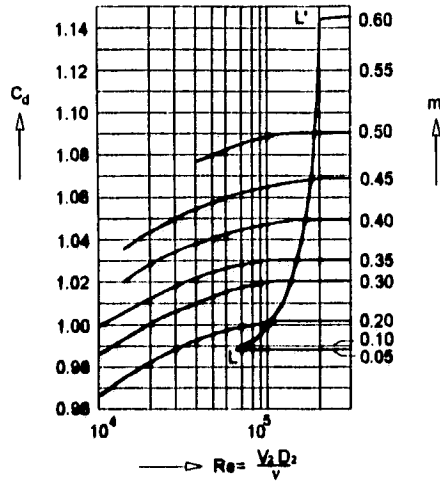


Figura 3.8. Coeficiente de gasto ( $C_d$ ) para tubo Venturi. El coeficiente de gasto  $C_d$  depende de  $m$  y del número de Reynolds, hasta la frontera  $LL'$ .

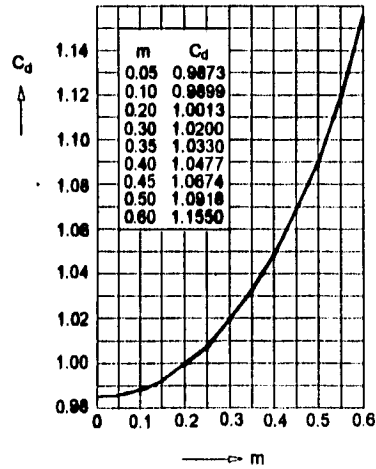


Figura 3.9. Coeficiente de gasto ( $C_d$ ) para tubo Venturi. Es independiente del número de Reynolds y depende sólo de  $m$ , como se muestra en la gráfica.

### 3.4.1.2. Toberas o boquillas.

Las toberas o boquillas de medida son similares al tubo Venturi, sin embargo, no cuenta en la salida con la parte de estrangulamiento del tubo divergente, por lo que sólo consta de una parte convergente. Tiende a ser más económica que el Venturi, no obstante se tienen mayores pérdidas de carga debido a la salida brusca del flujo en la garganta.

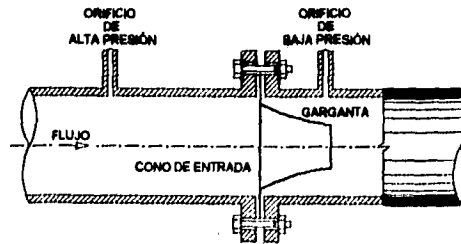


Figura 3.10. Sección longitudinal de la tobera (boquilla).

En laboratorios se ha comprobado experimentalmente que la presión en la parte de la boquilla es muy próxima a la toma de baja presión, es decir, en la pared de la tubería y no en la boquilla donde es más difícil de construir. El error que surge por esta cuestión es absorbido por el coeficiente del caudal ( $C_d$ ) que dan los fabricantes.

Las toberas son también usadas cuando la tubería descarga libremente a la atmósfera funcionando como chiflón. En este caso no requieren de toma de baja presión.

Sus ventajas técnicas son:

- Precisión.
- No hay gran obstrucción del flujo.
- Poco efecto si se tienen sólidos en movimiento.
- Resistente, confiable y simple en su diseño.

- No tiene partes móviles en contacto con el flujo.
- Su mantenimiento no exige interrupción del flujo.
- Operación estable.
- Calibración sencilla.

Sus desventajas son las siguientes:

- Rango de operación limitado.
- Requerimientos de longitud en su instalación.
- Baja recuperación de carga.

Aplicando la ecuación de Bernoulli a la figura 3.11, y de manera similar al tubo Venturi se llega a lo siguiente:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2gl\left(\frac{\gamma_m}{\gamma} - 1\right)}$$

Las toberas pueden considerarse como medidores intermedios entre las placas de orificio (diafragmas) y los medidores Venturi, tanto en costo como en facilidad de instalación. Las pérdidas de carga son menores en comparación con los diafragmas debido a la presencia de una boquilla un poco después del estrangulamiento. El empleo de estos instrumentos es para tuberías de grandes diámetros, mayores o iguales a 12 pulgadas (300 mm).

#### 3.4.1.3. Placa de orificio o diafragma.

La placa de orificio o diafragma consiste en una placa delgada que se puede colocar entre bridas. Por lo simple de su geometría y bajo costo es instalado o reemplazado fácilmente. Este aparato tiene una perforación circular en la placa, la arista que forma el orificio es generalmente muy afilada.

Cuando se coloca en tuberías horizontales suele acumularse sedimentos aguas arriba del orificio, es por ello que se instala cerca de la parte inferior del



conducto para evitar la reducción de la sección transversal. Debido esto, se tienen dos diseños característicos:

La placa de orificio excéntrico que se caracteriza por tener la perforación fuera del centro, normalmente tangente al fondo de la línea del flujo; y la placa de orificio segmentada la cual es la mitad del círculo.

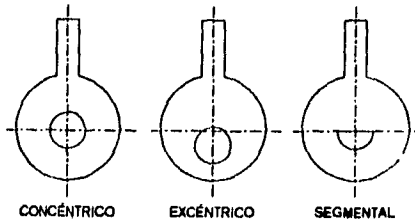


Figura 3.11. Posición de los orificios del medidor.

Las placas de orificio son los más sensibles de todos los dispositivos de presión diferencial debido a los efectos de turbulencia aguas arriba, por lo cual requieren de un tramo recto de 40 a 60 diámetros en dirección contraria al flujo.

Las placas de orificio producen gran pérdida de carga debido a la expansión no controlada que se presenta aguas abajo del elemento medidor. Su precisión es de  $\pm 0.5\%$  cuando son calibrados en el sitio y en condiciones adecuadas.

Sus ventajas técnicas del medidor tipo orificio son:

- Pocas restricciones en su instalación.
- Confiable y simplicidad de diseño.
- Operación estable.
- Calibración sencilla.
- Bajo costo.
- De fácil traslado.
- Posibilidad de mantenimiento sin interrupción del flujo.

- Carece de piezas móviles en contacto con el agua.

Las desventajas son las siguientes:

- Rango de operación limitado.
- Alto efecto si el agua lleva sólidos en movimiento.
- Obstrucción del flujo.
- Pérdida de carga alta.
- Requerimientos de longitud para su instalación.

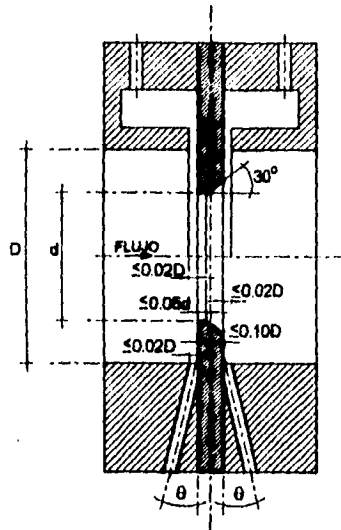


Figura 3.12. Detalle geométrico de las placas de orificio.

La manera de obtener la ecuación para determinar el gasto es la misma que en el caso del Venturi. Se tomará en cuenta las pérdidas de energía, por lo que aplicando la ecuación de Bernoulli del punto (0) al (2) de la figura 3.13 tenemos:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h$$

considerando las pérdidas en función de la velocidad y simplificando:

$$\left(z_0 + \frac{p_0}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{2g}\right) = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + k \frac{v_1^2}{2g}$$

$$H_0 - H_2 = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} + k \frac{v_1^2}{2g}$$

donde  $k$  es el coeficiente de pérdidas de energía.

Las pérdidas de carga se tienen en el punto (1) debido a la contracción.

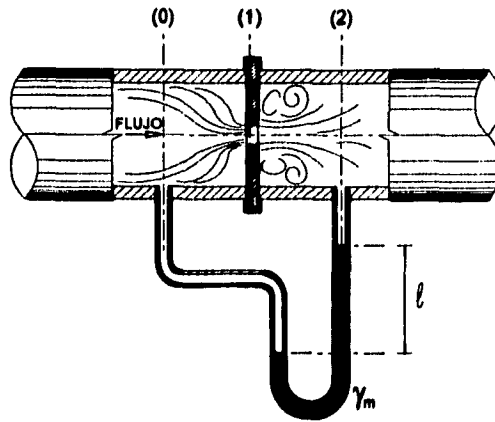


Figura 3.13. Sección longitudinal de la placa de orificio.

De la ecuación de la continuidad:

$$Q = A_0 v_0 = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \alpha v_1$$

$$C_d = \frac{C_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

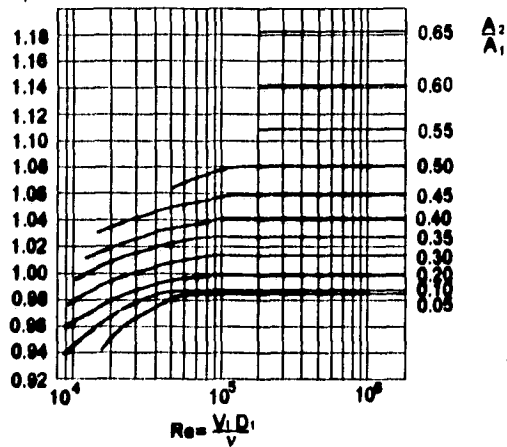


Figura 3.14. Coeficiente de gasto ( $C_d$ ) para la tobera o boquilla.

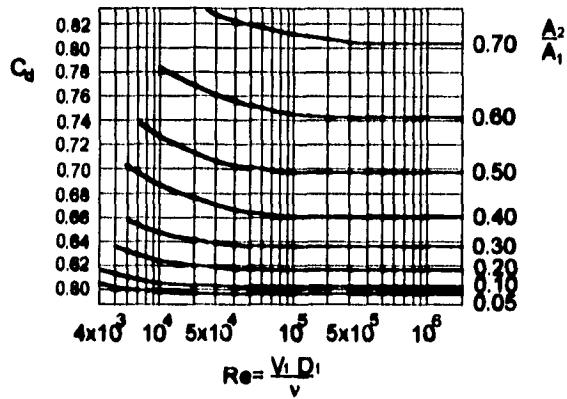


Figura 3.15. Coeficiente de gasto ( $C_d$ ) para el diafragma u orificio.

$$v_0 = \frac{A_1}{A_0} v_1 = \omega v_1$$

$$H_0 - H_2 = r^2 \frac{v_1^2}{2g} - \omega^2 \frac{v_1^2}{2g} + k \frac{v_1^2}{2g}$$

$$H_0 - H_2 = \frac{v_1^2}{2g} (r^2 - \omega^2 + k)$$

$$v_1 = \frac{\sqrt{2g(H_0 - H_2)}}{\sqrt{r^2 - \omega^2 + k}}$$

$$v_1 = \frac{\sqrt{2gl(\gamma_0 - 1)}}{\sqrt{r^2 - \omega^2 + k}}$$

multiplicando por el área contraída se obtiene el gasto teórico:

$$Q_t = \frac{A_1}{\sqrt{r^2 - \omega^2 + k}} \sqrt{2gl(\gamma_0 - 1)}$$

del cual:

$$Q = \frac{C_v}{\sqrt{r^2 - \omega^2 + k}} A_1 \sqrt{2gl(\gamma_0 - 1)}$$

$$Q = C_d A_1 \sqrt{2gl(\gamma_0 - 1)}$$

donde  $C_d$  es el coeficiente de correlación por las pérdidas de carga que ocasiona la contracción.

#### 3.4.1.4. Medidor de codo.

El medidor de codo es simplemente la instalación de un codo en el conducto. El codo cambia la dirección del vector velocidad y aplicando el teorema del impulso y cantidad de movimiento, se genera una fuerza de impulso a lo largo de la curvatura externa del codo debido a la fuerza centrífuga existente. El agua tiende a fluir sobre la pared interior del codo con respecto a la curvatura, dejando vacía la parte exterior.

Midiendo la diferencia de presiones entre la curvatura exterior e interior del codo de la tubería, se registra el efecto de la cantidad de movimiento.

La ecuación del codo es similar a los demás medidores deprimógenos, por lo que se puede definir como:

$$Q = C_d A \sqrt{2gl}$$

en donde "l" es la diferencia en carga piezométrica entre el exterior e interior del codo en la sección media, y "A" el área de la sección transversal.

Algunos Organismos sugieren que para un codo estándar con caja de 90°, el coeficiente  $C_d$  está dado dentro del 10% por  $\sqrt{r/2D}$ , donde "D" es el diámetro de la tubería y "r", el radio de la línea de centro del codo menor que 1.5D.

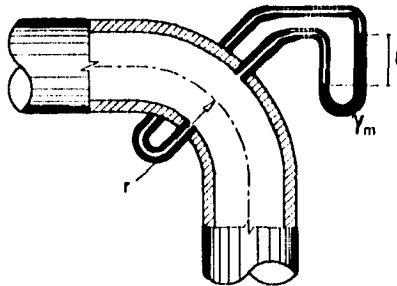


Figura 3.16. Sección del medidor tipo codo.

#### 3.4.1.5. Medidor de válvula.

Los medidores de válvula tienen como característica la diferencia de presiones que se tienen antes y después de la válvula debido a la pérdida de carga.

La presión es mayor cuando el cierre de la válvula disminuya el área de la sección. Se aprovecha esta situación de las características de las válvulas para conectar una toma de alta y baja presión y obtener el caudal por medio de la ecuación característica de los medidores deprimógenos. El coeficiente  $C_d$  se obtiene de gráficas.

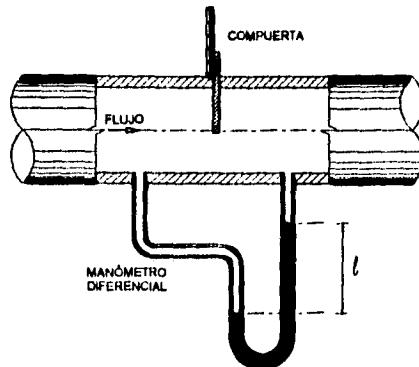


Figura 3.17. Sección longitudinal del medidor de válvula (tipo compuerta).

#### 3.4.2. Medidores de área de paso variable o rotámetros.

Los medidores de área de paso variable o rotámetros son un tipo de medidores que por lo regular se utilizan en laboratorios. Consta de un tubo largo vertical graduado, de forma cónica, dispuesto de modo que la sección de menor diámetro este en la parte inferior. En el interior de este tubo existe un flotador que se mueve libremente impidiendo el choque con las paredes del tubo por medio de una serie de ranuras angulares talladas en dicho flotador, para evitar que cuando pase el fluido a través del rotámetro gire de tal forma que no permita la adherencia del mismo obstruyendo el paso.

Al incrementarse el caudal a través del rotámetro, aumenta la elevación del flotador en el tubo y el área del paso anular que hay entre las paredes del mismo,

manteniéndose una presión diferencial constante a través del flotador. El flotador sube a un punto tal, que las fuerzas de arrastre quedan balanceadas con las del peso y flotación.

El desplazamiento del flotador en el tubo es una medida del caudal, por lo que se ajusta de acuerdo a los requerimientos necesarios para la obtención del gasto o la velocidad.

Los rotámetros para caudales pequeños por lo regular son de tubo de vidrio, donde se dan una gama de valores bajos que varían de 30 a 300 ml/s hasta valores de 5 l/s. La presión de trabajo del vidrio es usada para valores pequeños de aproximadamente 0.035 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los tubos mayores solamente pueden usarse aproximadamente hasta 0.008 Kg/cm<sup>2</sup>.

Existen los rotámetros de tubo metálico y de plástico para la medición de caudales más elevados a los mencionados. También existe el rotámetro dotado del convertidor magnético. Este aparato convierte el movimiento lineal del flotador del rotámetro convencional en un movimiento giratorio que permite realizar funciones de indicación, transmisión o de señalización de alarma.

El convertidor consta de una lámina de hierro magnético en forma de hélice y protegida en una varilla no magnética de aluminio apoyada en un pivote que a su vez se apoya en un cojinete. El conjunto en que se integra la hélice se sitúa paralelo al rotámetro. El vástago del flotador tiene un imán móvil por lo que el borde de la hélice es atraído por el mismo, convirtiéndose así el movimiento lineal en rotación.

### **3.5. Medidores electrónicos.**

Los medidores electrónicos son aparatos más sofisticados, contienen partes delicadas (circuitos) que permiten la medición del caudal con mayor precisión. Sin embargo, algunos de ellos no están elaborados para trabajar en condiciones duras de trabajo. Entre los medidores más conocidos destacan:

#### **a) Medidores electromagnéticos.**



b) Medidores ultrasónicos.

### 3.5.1. Medidores electromagnéticos.

Los medidores electromagnéticos son aquellos equipos que trabajan bajo el principio fundamental de la ley de Faraday que dice: el voltaje inducido en un conductor que se desplaza a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese conductor.

Dos bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del medidor, son excitadas por una corriente alterna u otra fuente intermitente, produciendo así un campo magnético uniforme, a través de la parte interna del tubo. Conforme pasa el agua a través del cuerpo del medidor, corta el campo magnético, sufriendo una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametralmente opuestos y perpendiculares al campo magnético. Este voltaje inducido y captado por los dos electrodos es medido, haciendo posible la obtención de la velocidad del agua a través de la relación:

$$E \approx B \times v$$

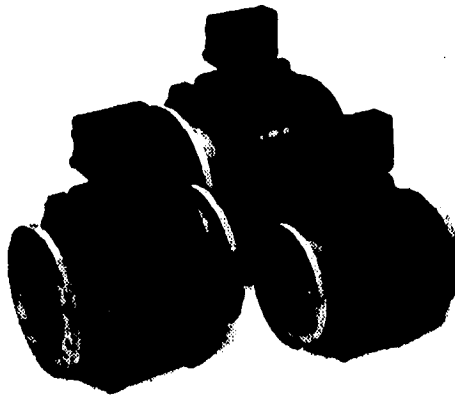


Figura 3.18. Medidores electromagnéticos marca Schlumberger.

La magnitud de la fuerza electromotriz inducida ( $E$ ), es proporcional a la densidad de flujo ( $B$ ) del campo magnético, multiplicado por la velocidad del agua ( $v$ ).

Las ventajas que posee este medidor son las siguientes:

- No posee partes móviles en contacto con el agua.
- Una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba; normalmente un mínimo de 5 diámetros es solicitado por el fabricante.
- Pérdida de carga mínima.
- La señal de la salida de un medidor electromagnético es lineal con el caudal, lo que simplifica los circuitos de generación de señales, en comparación a los medidores que provocan presión diferencial.
- Rango bastante amplio y variable.

Las principales desventajas son:

- Alto costo.
- Necesidad de mano de obra especializada para su instalación, calibración y mantenimiento.

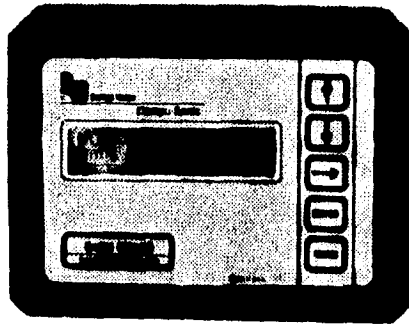
### **3.5.2. Medidores ultrasónicos.**

Los medidores ultrasónicos son aquellos aparatos que utilizan los principios de la acústica, teniendo su origen en el sonar. El principio básico de su funcionamiento es el siguiente: una señal sónica es transmitida diagonalmente a través del tubo por donde pasa el agua, la velocidad del líquido afecta el tiempo que esta señal emplea para ir de un transmisor hasta un receptor, disminuyendo este tiempo cuando la señal y el flujo van del mismo sentido, y aumentando cuando esto no ocurre. En realidad, el medidor ultrasónico mide la velocidad sónica del agua a través de un par de transductores, por lo que la minimización del error en la medición del tiempo es fundamental.

Los medidores ultrasónicos más utilizados son de dos tipos: el "transit time" y "doppler". La diferencia entre los dos radica en que el primero trabaja mandando

una señal sonora de una pared a otra de la tubería, mientras que la señal sonora del doppler es reflejada por algún material en suspensión que se está moviendo junto con el agua (velocidad de la partícula).

El medidor "transit time" o tiempo de tránsito es utilizado en aguas que no contengan material en suspensión (agua residual), mientras que el medidor doppler se utiliza en aguas residuales o bien, con aire disuelto.



**Figura 3.19. Medidor ultrasónico marca Badger Meter Compu-Sonic 4500-12.**

**Las ventajas que ofrece este medidor son:**

- **Facilidad de instalación.**
- **Alta precisión (en unidades calibradas se considera el error de  $\pm 1\%$  sobre el rango de flujo).**
- **Monto de la electrónica.**
- **No posee partes móviles en contacto con el agua.**
- **Dependiendo del tipo de medidor las pérdidas de carga son mínimas o nulas.**

**Las desventajas que lo caracterizan son:**

- **Alto costo de adquisición.**

- Personal especializado para su instalación, calibración y mantenimiento.

### **3.6. Medidores mecánicos.**

Los **medidores mecánicos o convencionales** son aquellos que utilizan **partes móviles** para la medición del caudal. Son los más utilizados de toda la **variedad de tipos de medidores**, incluyendo desde el tubo de Pitot hasta los **medidores ultrasónicos**. Debido a su importancia, se hará un análisis más detallado en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO 4

# MEDIDORES CONVENCIONALES

### 4.1. Fundamentos.

El medidor de agua actual es aceptado por los Organismos encargados de la operación de los sistemas de suministro de agua potable, y por el público en general, como un instrumento técnico adecuado para medir con precisión los millones de litros de agua distribuidos diariamente a los consumidores.

Es sorprendente descubrir que en muchos lugares se presta muy poca importancia a los medidores de agua, una vez que han sido instalados. Actualmente en algunas localidades, los medidores permanecen en servicio hasta que dejan de funcionar. Esto ocasiona un problema que repercute en la utilización racional del agua. Se genera un derroche y por tanto, se reduce el período de alcance del diseño de las obras, con el consiguiente aumento de las necesidades de suministro.

La importancia de conocer con más detalle la estructura de los medidores, radica esencialmente en el proceso de planear la implantación de los mismos en lugares estratégicos, de acuerdo a las condiciones funcionales que ellos propician.

En muchos casos, un programa bien planeado de medición aplaza la ejecución de nuevas y costosas obras. Lo anterior significa, que un sistema de suministro deficiente, provoca que gran parte de los habitantes queden completamente sin agua o bien, en cantidades insuficientes, mientras que otros la desperdician inmoderadamente, sin que el abuso pueda ser impedido. Por lo que la única solución que conduzca a una distribución justa y equitativa del servicio, es la instalación de medidores que funcionen con precisión, es decir, que registren con seguridad los volúmenes de agua que por ellos circulan.

#### **4.2. Definición.**

A todos los aparatos destinados a medir e indicar el volumen de agua que fluye a través de un conducto, se le conoce con el nombre de **MEDIDOR DE AGUA**.

#### **4.3. Objetivos.**

Los medidores de agua constituyen un sistema complejo y vital del servicio de suministro, que deben cumplir con las siguientes funciones:

- a) Trabajar sometidos al régimen de presiones estáticas y dinámicas, existentes en cualquier punto del sistema de distribución donde se encuentren.
- b) Permitir el paso del agua con todos los gastos que se sucedan en la respectiva conexión predial, sin originar pérdidas de carga que puedan ocasionar notorias restricciones en el suministro.
- c) Resistir el paso del agua en el rango de gastos designado para cada medidor, sin que afecte sus propiedades mecánicas y de medición.

Si se analiza el objetivo que marca la instalación de medidores en conexiones prediales, es fácil distinguir la finalidad de los mismos, de acuerdo a los siguientes principios:

- a) Que el agua sea usada por los consumidores para satisfacer exclusivamente sus necesidades, sin desperdiciarla.
- b) Que los usuarios paguen el servicio proporcionado por la cantidad de agua consumida, contribuyendo con esto a gastos de exploración y ampliación del sistema para que sea de forma justa y equitativa.

- c) Que la empresa o dependencia aumente de manera proporcional, de acuerdo a las necesidades primarias de la población, la distribución de agua.

Es indispensable que la dependencia (pública o privada) a cargo de los servicios del agua, coadyuve a mejorar el sistema hidráulico y administrativo para cumplir con las finalidades que a continuación se señalan:

- a) Un aparato adecuado de medición debidamente instalado en el predio, sujeto a las funciones citadas en los puntos anteriores, destinado a medir consumos que se generan en un período definido (mes, bimestre, etc.), sin importar los gastos puntuales indicados en un instante determinado, por lo que debe aforar o medir el volumen de agua que pase en cualquier momento, llevando un registro en unidades previamente seleccionadas.
- b) Un equipo de personas para recabar periódicamente las lecturas registradas por los medidores. Este personal deberá estar suficientemente capacitado para realizar la captura de datos, de acuerdo al método (sistemas de transferencia visual, directa o remota), debidamente establecido y controlado.
- c) Personal de mantenimiento para reparar y mantener en buena forma los aparatos de medición y sus accesorios correspondientes.
- d) Un servicio de facturación que permita, partiendo de lecturas periódicas, cobrar oportunamente por el servicio de suministro de agua.
- e) Un sistema de tarifas adecuadas que, debidamente aplicadas a las lecturas de consumo, permitan obtener los beneficios que coadyuvan a mejorar el sistema de suministro.

Debido a lo anterior, se puede deducir que, dentro de un aparato de medición, existen actividades que están implícitas para obtener el funcionamiento eficaz del mecanismo, que debe ser en teoría la solución con la que se puede controlar el consumo del agua, sin derroches, disminuyendo en base a cobros justificados, el uso de la misma.

Para ello, también se debe conocer la composición, operación y evaluación de los medidores de agua, con la finalidad de tener los elementos básicos, que conlleven a un mejor cuidado y mantenimiento en el transcurso de su vida útil.

#### 4.4. Información técnica.

Los aparatos destinados a medir un consumo domiciliario tienen como base tres partes fundamentales:

- a) Un dispositivo de medida **M** (mecanismo de medición) que, partiendo de un principio determinado, produce en movimiento un función de la cantidad de agua que fluye.
- b) Un dispositivo de reducción **P** o mecanismo de transmisión (tren de engranajes) que transmite el movimiento del dispositivo de medición al registrador.
- c) Un registrador **R** que va indicando acumulativamente los consumos medidos por el dispositivo de medida **M**.

En la figura 4.1, se puede observar que el principio del funcionamiento está basado en la captación del movimiento del mecanismo de medición hacia el registrador, por medio de un tren de engranajes.

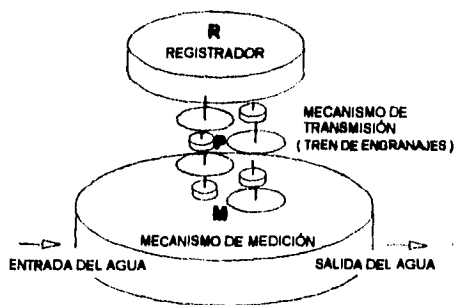


Figura 4.1. Principio del funcionamiento del medidor convencional de agua.



Cabe mencionar que existen otros tipos de medidores que no funcionan por medio de principios mecánicos como el medidor ultrasónico, que utiliza un sistema de recepción de señales que permiten la medición del caudal.

El medidor de agua convencional doméstico, es aquel que utiliza el principio de funcionamiento mecánico como el que se muestra en la figura 4.1, y del cual se hablará en forma más extensa en el apartado 4.5.

Para obtener un sentido más claro de lo que representa un medidor o contador de agua, se describen a continuación algunas de las piezas específicas que lo conforman:

**Carcasa.** Pieza hueca, concebida como soporte de los componentes del medidor y que además cumple la misión de confinar el fluido.

**Cabeza.** Es la parte del medidor compuesta por el registrador y los mecanismos de relojería, protegidos por la cúpula transparente o placa de vidrio, puede o no poseer tapa.

**Tapa.** Pieza que tiene por finalidad la protección del registrador contra el medio externo.

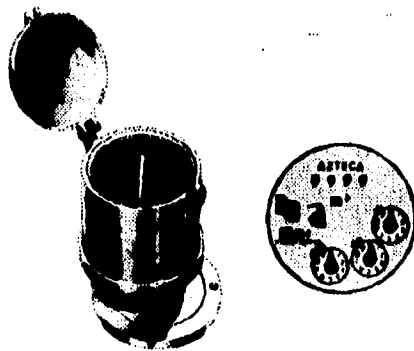


Figura 4.2. A la izquierda, se observa la parte superior del medidor, formada por la cabeza, la tapa y el mecanismo de registro (registrador). A la derecha, se ilustra el elemento denominado esfera.

**Mecanismo de Medición.** Dispositivo que produce un movimiento en función de la cantidad de agua que circula, de acuerdo a un principio determinado.

**Mecanismo de Transmisión.** Conjunto de componentes que permiten la transmisión del movimiento producido por la velocidad o empuje del agua al registrador.

**Registrador.** Componente que recibe el movimiento de la transmisión y que a su vez indica el volumen que ha circulado.

**Esfera.** Parte del registrador, generalmente en forma de placa, que sirve para indicar o señalar los consumos registrados.

**Regulador (Calibrador).** Componente del medidor que permite modificar la relación entre el volumen indicado y el volumen pasado.

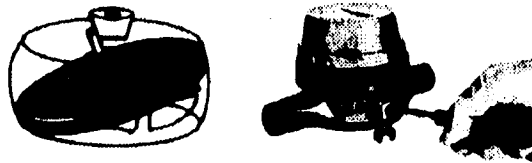


Figura 4.3. Componentes de un medidor. A la izquierda, mecanismo medidor volumétrico (cámara de medición), de disco nutante. A la derecha, ajuste o calibración de un medidor convencional.

**Sello.** Dispositivo que asegura la inviolabilidad del medidor.

**Filtro.** Componente que tiene por finalidad impedir el paso hacia la cámara de medición de partículas sólidas.

Los componentes de los medidores varían de acuerdo a la marca, al gasto que circula por la tubería y a otros factores internos del propio medidor.

Estos componentes forman la base fundamental para el funcionamiento adecuado de los aparatos. La mayoría de los medidores presentan variantes en su comportamiento mecánico, ya que existen diferentes fábricas que trabajan en su construcción y mantenimiento, y por lo tanto, mejoran los componentes para reunir los requerimientos de funcionalidad y precisión conjuntas.

Es un hecho que para presentar las características anteriormente mencionadas, no sólo es necesario un medidor en excelentes condiciones, sino que además de los parámetros de instalación requeridos, es necesaria la colaboración de los usuarios para tener los aparatos en condiciones ideales.

Es por lo anterior, que los Organismos encargados de llevar un control del uso consuntivo del agua, están tratando de mejorar en base a la calidad de los medidores, un suministro equitativo del agua.

Como referencia, se citan algunos nombres de los medidores de reconocidas marcas a nivel nacional como lo son: Azteca, Badger, Cicasa (Delaunet), Bopp & Reuther, Yuantei, Neptune (Schlumberger), Metrón, Kent, IUSA, Arad, Delaunet, Hersey, entre otros.

#### **4.5. Tipos de medidores.**

Los medidores comunes, como antes se mencionó, presentan variantes en el funcionamiento mecánico. Los componentes que presentan una variante de estos aspectos son principalmente: los mecanismos de medición y transmisión.

Debido a eso, se define como principal característica para clasificar un medidor, el tipo de mecanismo de medición que presenta, omitiendo de manera parcial, algunas otras características que se mencionarán más adelante. Considerando esto, existen dos tipos de medidores comunes que cuentan con características diferentes de funcionamiento:

- A) Medidores de corriente, inferenciales o de velocidad.
- B) Medidores de volumen. desplazamiento positivo o volumétricos.

#### **4.5.1. Medidores de velocidad.**

Los medidores de velocidad son aquellos aparatos destinados a medir el consumo de agua utilizando el principio inferencial, que consiste en deducir o inferir el volumen de agua tomando como referencia el número de revoluciones que adquiere un rotor accionado por el flujo del agua.

Estos dispositivos se llaman de velocidad, porque la velocidad de la rueda es proporcionada por la velocidad del agua. El volumen de agua indicado por el registrador del medidor, es directamente proporcional al número de revoluciones dadas por las aspas.

Debido a que trabajan accionadas por el agua que van a aforar y cuya única carga la constituyen las mínimas resistencias por fricción que presentan los mecanismos de relojería y las empaquetaduras constitutivos del transmisor y receptor del aparato, a estos medidores se les ha llegado a catalogar y designar también, como "medidores de agua roto-dinámicos".

Los medidores de velocidad están constituidos fundamentalmente, por un rotor y un orificio, simple o compuesto, que admite el agua. De acuerdo a las características del rotor, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Medidor de paletas.
- b) Medidor de propela o hélice.
- c) Medidor de turbina.

##### **4.5.1.1. Medidores de paletas.**

Los medidores de paletas son aquellos que utilizan como mecanismo medidor un molinete (rueda con paletas) de material plástico. Su elaboración no es muy compleja y por lo mismo, presentan frecuentemente errores de precisión. Comúnmente son utilizados para casas o bien, para industrias que tengan un diámetro interno de tubería en el cuadro menor o igual a 1.5 pulgadas (39 mm),

esto no quiere decir que no existan o no sean empleados en diámetros mayores a los mencionados.

Son también conocidos como **medidores tangenciales o de chorro**, caracterizándose porque el agua fluye en el interior del respectivo mecanismo, perpendicular al eje del rotor.

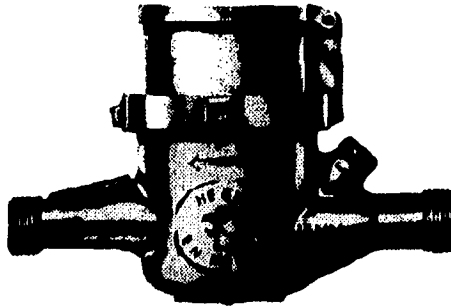


Figura 4.4. Ilustración de un medidor de velocidad, también conocidos con el nombre de medidores tangenciales o de chorro.

Con base en la distribución del agua en la entrada de los medidores, se tienen dos clasificaciones particulares:

- i) Medidores de chorro único.
- ii) Medidores de chorro múltiple.

Los medidores de chorro único tienen la característica de que el agua entra de manera directa a la paleta sin tener ningún direccionador, con excepción de un filtro en la entrada del medidor para retener objetos que puedan afectar de manera significativa al mecanismo medidor. Son usados de preferencia en los lugares en que el agua arrastra consigo sustancias fuertemente decantadas o bien, con aguas calcáreas.

El mecanismo medidor correspondiente está constituido fundamentalmente por los siguientes elementos, como se muestra en la figura 4.6:

- 1) Un rotor que es accionado por el agua.
- 2) Un pivote sobre el cual gira el rotor.
- 3) Una cámara dentro de la cual se aloja el rotor y se apoya el pivote.
- 4) Dos crucetas para regulación.

El rotor es una rueda formada por varias paletas, espaciadas simétricamente alrededor de su eje, siempre vertical, para poder pivotear sobre el eje y reducir así a un mínimo, los rozamientos, de tal manera que no se afecte la sensibilidad del mecanismo en los flujos bajos.

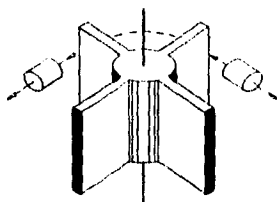


Figura 4.5. Mecanismo inferencial del medidor de chorro único.

El pivote normalmente tiene cuatro partes. La primera ( $P_1$ ), que es el extremo superior donde pivotea el rotor; debe tener un perfil adecuado y según el material que se emplee, puede o no estar engastada (incrustada en su base) para evitar que el movimiento continuo la afecte. La segunda de ellas ( $P_2$ ), trabaja como cuerpo del eje y debe de ser anticorrosivo. La tercera parte ( $P_3$ ), la constituye un tornillo que se enrosca para su soporte, en el orificio de la base. Generalmente lleva una tuerca ( $P_4$ ), que caracteriza la última parte del pivote, asegurándola y permitiendo la graduación de la altura del rotor, la cual es muy

importante para la precisión del aparato. En algunos modelos se ha suprimido el tornillo y la tuerca, por lo que el medidor trae así, un ajuste definitivo.

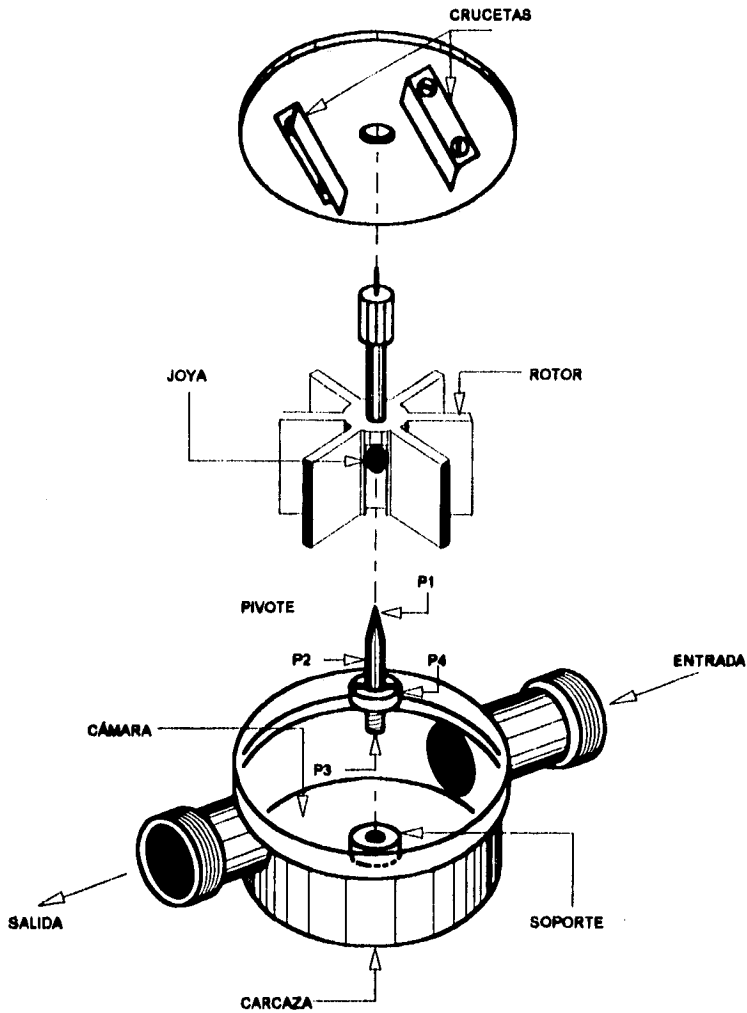


Figura 4.6. Elementos que conforman el mecanismo medidor de chorro único.

El conjunto de rotor y pivote va alojado dentro de una cámara que se dispone en la parte inferior de la carcaza. La cámara debe llevar el orificio de entrada y de salida, además del soporte donde se atornilla el pivote. Su maquinado tiene que ser cuidadosamente elaborado de tal manera, que deje la holgura suficiente para que el rotor gire convenientemente.

En la parte superior de la cámara sobre la superficie plana que le sirve de tapa, normalmente se sitúan dos aspas o crucetas cuyo ángulo es ajustable y que están destinadas a variar la resistencia de las paredes de la cámara al paso del agua, a fin de regular la precisión de los registros, que es esencial en estos mecanismos.

Este sistema de regulación es incómodo, porque no permite controlarse desde afuera. Algunos modelos han adoptado un "By Pass" entre la entrada y la salida, cuyo paso se gradúa con un tornillo exterior como se muestra en la figura 4.7; otros emplean una pieza plana a manera de paleta, situada cerca del orificio de entrada, que trabaja como un desviador de chorro y es ajustable también, con un tornillo exterior.

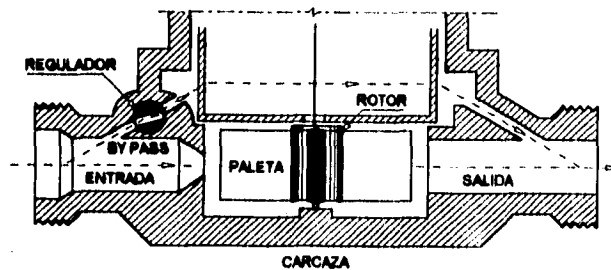
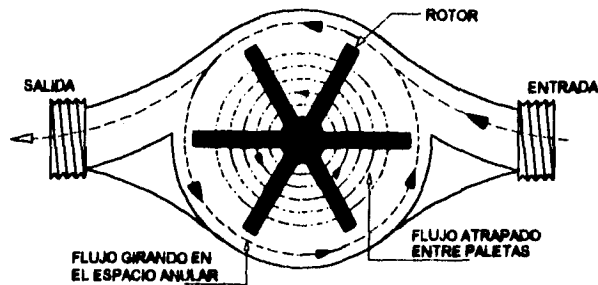


Figura 4.7. Corte longitudinal de un medidor de chorro único. Sistema de regulación "By Pass" graduado con un tornillo externo.

Una parte del flujo del agua es atrapada entre las paletas del rotor girando con él a la misma velocidad. Otra parte que va llegando después por el orificio de



entrada, fluye a través del espacio anular existente entre el perímetro de aquel y el contorno de la pared interior de la cámara; en esta forma arrastra al elemento móvil y produce su rotación.



**Figura 4.8.** Movimiento del agua en los mecanismos medidores de chorro único.

Esta manera de ver el movimiento del agua en los mecanismos de chorro único, da idea de la importancia que tiene para su funcionamiento la adecuada magnitud de espacios libres entre el rotor y la cámara; además, es la base para explicar algunos aspectos relativos a la precisión de sus registros.



**Figura 4.9.** Medidor de chorro único de diámetro pequeño (15mm). Este tipo de es el más sencillo de todos los medidores existentes. Posee la característica de no sufrir gran alteración con aguas de baja calidad.

De esta manera, el medidor de chorro único se identifica físicamente como se ilustra en la figura 4.9.

Estos medidores son de construcción simple, tienen menores dimensiones y por consiguiente son de precios más bajos. Es por ello que presentan algunas deficiencias en su funcionamiento cuando ocurren sedimentaciones tanto en el orificio de entrada como en el rotor, provocando un incremento en la velocidad del agua y por consiguiente, alteraciones en las lecturas.

Los medidores de chorro múltiple accionan las paletas de la rueda en forma más regular y equilibrada que los de chorro único, logrando con esto un equilibrio de fuerzas que evitan el desgaste y la caída de los índices de precisión, con la consiguiente disminución de los volúmenes de agua no registrados, dificultando con ello, la evasión de los pagos por derecho del servicio hacia la empresa encargada de proporcionarlos.

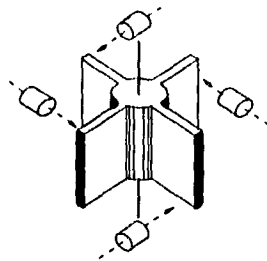


Figura 4.10. Mecanismo inferencial del medidor de chorro múltiple.

Los elementos que integran al medidor de chorro múltiple tienen el mismo principio que los de chorro único, es decir, el rotor, el pivote, la regulación y la cámara; sin embargo, la diferencia principal entre ambos radica en que este último tiene una serie de orificios o ranuras que permiten la distribución equilibrada de las fuerzas producidas por el agua. Este cilindro posee la capacidad de girar sobre su propio eje, de tal manera que puede controlarse la rotación para calibrar la medición del caudal.

Dentro de la cámara de orificios se encuentra el molinete que habrá de transmitir el movimiento por medio de un pivote hacia el mecanismo de transmisión. El pivote presenta diferencias solamente cuando se deja la posibilidad de ajustar su altura. En este caso, lleva la tuerca por debajo de la cámara.

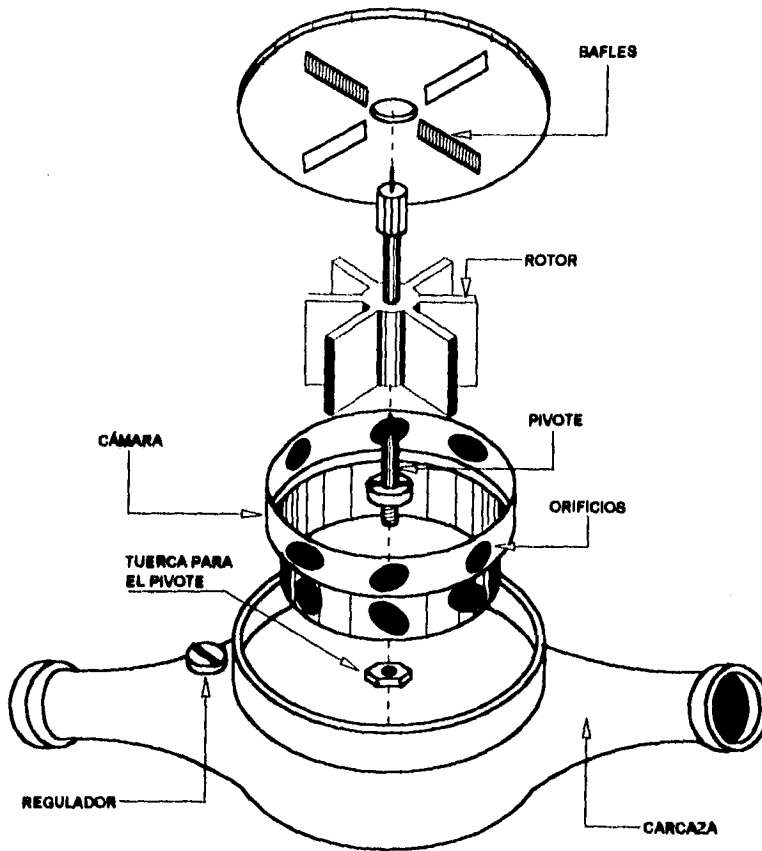


Figura 4.11. Elementos que componen el mecanismo medidor de chorro múltiple.

El flujo del agua constituye el aspecto fundamental de estos mecanismos. El agua que llega a la carcaza se distribuye de manera uniforme a los distintos orificios inferiores de la cámara del rotor, penetrando en forma de múltiples chorros simultáneos que son característicos del modelo.

La trayectoria de las líneas de corriente penetran por los orificios inferiores, describiendo una hélice alrededor del perímetro del rotor, ubicándose en el espacio libre que hay entre éste y la pared del recinto, pasando por los orificios superiores a buscar la salida. Una parte del agua, lo mismo que en los de chorro único, queda atrapada entre las álabes del rotor girando continuamente con él. Debido al movimiento helicoidal de las líneas de corriente, el rotor tiende a levantarse y flotar en el agua, anulando prácticamente su peso y reduciendo así, la acción de éste sobre la punta del pivote. Para facilitar el ascenso del conjunto móvil, el extremo superior de su eje necesita disponer de una holgura suficiente en el respectivo elemento de apoyo. El perfil se indica en la figura 4.12.

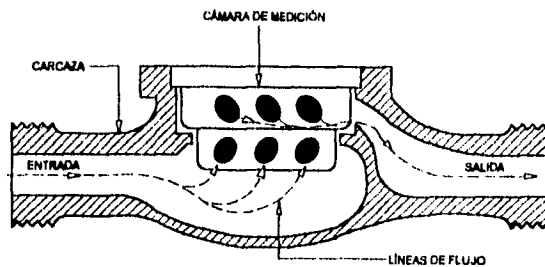


Figura 4.12. Perfil general de la carcaza de los mecanismos de chorro múltiple.

La carcaza no requiere un maquinado como en la de chorro único, pero sí una configuración especial que le permita, no solamente, alojar la cámara del rotor, sino también conducir adecuadamente el agua que entra y sale del medidor.

La división de la carcaza en dos compartimientos independientes, de entrada y de salida, facilita la regulación desde el exterior, desviando o no, una

parte del agua directamente del uno al otro, por medio de un orificio, cuya apertura se gradúa por medio de un tornillo regulador.

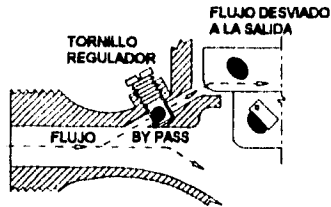


Figura 4.13. Esquema del sistema de regulación "By Pass" del medidor de chorro múltiple.

Existe otro tipo de regulación consistente en una especie de compuerta que obtura en más o en menos, uno de los orificios de la cámara del rotor, aumentando o disminuyendo así la velocidad de los chorros, con lo cual se establece un ajuste en su precisión. Con el primer sistema es posible operar exteriormente la graduación. Con el segundo, necesariamente hay que desarmar el aparato.

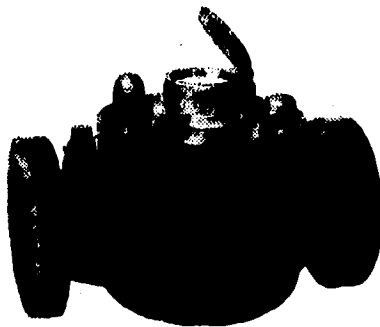


Figura 4.14. Medidor de chorro múltiple de calibre apropiado (2" ó 50 mm), para redes de abastecimiento de pequeño y mediano consumo e instalaciones en industrias.

Un problema particular que pueda presentarse en este tipo de medidor, es la posible obstrucción parcial o total de los orificios o ranuras debido a partículas extrañas en el líquido, provocando en el primer caso un aumento en la velocidad del agua y por consiguiente una alteración en el registro del caudal (sobreregistración); y en el segundo, un desequilibrio en la distribución del agua en las paletas lo que afectaría la precisión.

Las conclusiones más importantes que pueden obtenerse comparando entre sí los dos tipos de mecanismos de chorro son los siguientes:

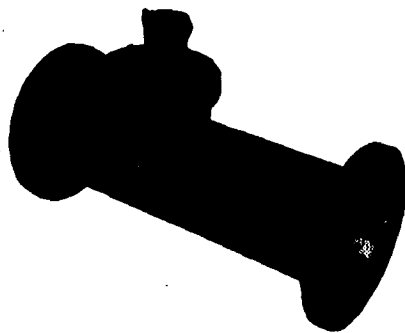
- a) El conjunto de chorro único es más simple que el del múltiple, debido a la forma de la carcaza y al diseño de la cámara, por lo que presenta menos pérdida de carga. Por consiguiente, para la misma capacidad, resulta más pequeño y más barato.
- b) Casi toda la economía del medidor de chorro único, está en la cantidad de bronce utilizada en la carcaza. Pero la diferencia es menor de lo que normalmente se imagina, porque ésta tiene un maquinado interior de la misma. En cambio, el de chorro múltiple no lo necesita, por lo que su cámara se obtiene a muy bajo costo, con plástico, por el procedimiento de inyección.
- c) El de chorro múltiple debido a la forma equilibrada de la acción del agua sobre el rotor, garantiza una mayor duración y precisión, y al parecer, puede conservar durante un período más largo, sus características originales de medida. Esto significa que el agua, al seguir una trayectoria helicoidal, evita el contacto directo a la entrada del medidor, lo que provoca mayor sensibilidad en el rotor, pero con mayor pérdida de carga.
- d) La cámara de medición del medidor de chorro múltiple, da acceso al agua por varios orificios pequeños, en lugar de hacerlo por uno mayor, siendo más susceptible de obstruirse. Además, existe la posibilidad de tener una sedimentación en el rotor que reduce el área seccional, aumentando la velocidad del mismo. Esta reducción se presenta tanto en el medidor de chorro múltiple como el de chorro único.

- e) Por la misma razón, citada en el inciso anterior, en caso de incrustarse partículas al contorno de los orificios de entrada, la precisión en los de chorro múltiple deben sufrir un efecto mayor que en los de chorro único, porque en éstos, el orificio de entrada, para una misma superficie de su sección tiene un perímetro total menor.

Con base en lo anterior, se puede concluir que el medidor de chorro único ofrece la alternativa de ser utilizado en lugares donde la calidad de agua no es muy buena; sin embargo, esta alternativa puede provocar el deterioro acelerado del mecanismo medidor, provocando la alteración de las mediciones. Por lo que, el medidor de chorro múltiple, a pesar de tener inconvenientes con la calidad del agua, ofrece mayor sensibilidad en la precisión de los registros acumulados, aunado al menor desgaste de sus elementos que lo conforman.

#### **4.5.1.2. Medidores de propela.**

Los medidores de propela o de hélice son aquellos aparatos que cuentan como mecanismo medidor a un conjunto de paletas helicoidales montadas para que giren libremente sobre una línea o eje axial (paralelo) al flujo de agua. La forma helicoidal de la paleta permite que las pérdidas de presión sean muy pequeñas, lo que no ocurre en las aberturas de los medidores antes mencionados.



**Figura 4.15.** Los medidores tipo propela son utilizados para la medición de grandes caudales de agua en tuberías de diámetro mayor o igual a 50 mm (2 pulg.).

- e) Por la misma razón, citada en el inciso anterior, en caso de incrustarse partículas al contorno de los orificios de entrada, la precisión en los de chorro múltiple deben sufrir un efecto mayor que en los de chorro único, porque en éstos, el orificio de entrada, para una misma superficie de su sección tiene un perímetro total menor.

Con base en lo anterior, se puede concluir que el medidor de chorro único ofrece la alternativa de ser utilizado en lugares donde la calidad de agua no es muy buena; sin embargo, esta alternativa puede provocar el deterioro acelerado del mecanismo medidor, provocando la alteración de las mediciones. Por lo que, el medidor de chorro múltiple, a pesar de tener inconvenientes con la calidad del agua, ofrece mayor sensibilidad en la precisión de los registros acumulados, aunado al menor desgaste de sus elementos que lo conforman.

#### 4.5.1.2. Medidores de propela.

Los medidores de propela o de hélice son aquellos aparatos que cuentan como mecanismo medidor a un conjunto de paletas helicoidales montadas para que giren libremente sobre una línea o eje axial (paralelo) al flujo de agua. La forma helicoidal de la paleta permite que las pérdidas de presión sean muy pequeñas, lo que no ocurre en las aberturas de los medidores antes mencionados.

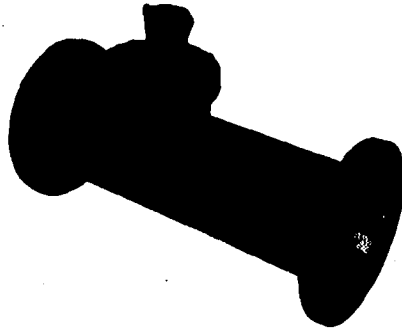


Figura 4.15. Los medidores tipo propela son utilizados para la medición de grandes caudales de agua en tuberías de diámetro mayor o igual a 50 mm (2 pulg.).



Los medidores de propela son considerados casos particulares de los medidores de chorro único, debido a que tienen de igual manera la entrada libre del agua.

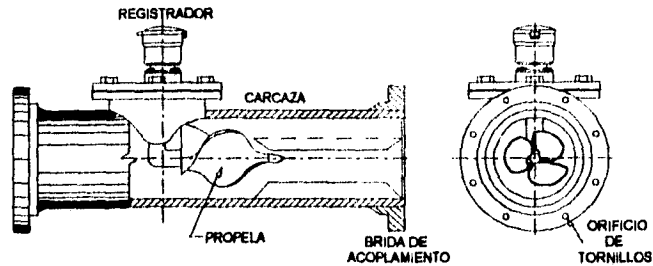


Figura 4.16. Corte longitudinal y vista lateral del medidor de propela (hélice).

Estos medidores son utilizados para la medición de grandes consumos, en establecimientos industriales, edificios públicos y de apartamentos con elevada demanda de agua debido a su precisión para este tipo de gastos.

#### 4.5.1.3. Medidores de turbina.

Los medidores de turbina son aquellos aparatos que cuentan con una rueda de turbina montada entre dos soportes asociados o unidos por una flecha central en la pared de la tubería. De igual manera, estas aletas están montadas sobre un eje paralelo a la dirección del flujo, sin embargo, el medidor cuenta con un direccionador de flujo, que permite la distribución equilibrada de la fuerza del agua con el choque de las paletas del rotor.

Para estos medidores, es necesario la instalación de un dispositivo llamado Strainer (Filtro) que permite la obstrucción de la materia extraña que pueda afectar de manera significativa a la turbina del medidor. Como es un elemento que no se encuentra dentro del medidor, es posible abrirlo periódicamente para limpiarlo y tenerlo libre de impurezas. Además, este dispositivo mejora las condiciones de

flujo a la entrada del medidor, permitiendo una distribución de fuerzas más equilibrada.

Con regularidad, estos mecanismos de medición son utilizados para grandes consumos de agua debido a que posee, al igual que los medidores de propela, una variedad de tamaños según el diámetro de la tubería en el cual son instalados. Además, según las especificaciones de los fabricantes, pueden ser extremadamente exactos cuando se calibran periódicamente, con una pérdida de carga moderada, decreciendo cuando se tienen medidores de mayores dimensiones.

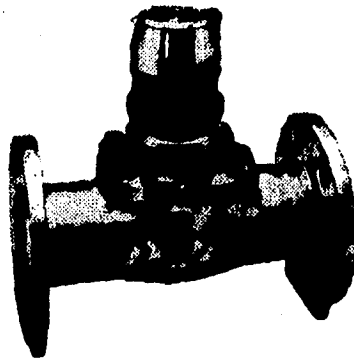


Figura 4.17. Medidor de tipo turbina, utilizado para grandes consumos de agua.

Estos medidores son mejor conocidos con el nombre de **medidores tipo Woltmann**. Derivan su nombre debido al empleo de la rueda de aletas Woltmann utilizadas desde 1817 para el aforo de ríos y canales y aplicadas al aforo de tuberías, por Thiem, a principios del siglo XIX. Para los comerciantes, es común hablar de medidores tipo Woltmann con determinadas características, de acuerdo al sistema de distribución para el predio, ya sea por la red municipal o bien, por uno o más pozos.

Debido a lo anterior, el medidor Woltmann suelen clasificarlo como:

- i) Medidor Woltmann horizontal.
- ii) Medidor Woltmann vertical común.
- iii) Medidor Woltmann vertical especial.

Los medidores **Woltmann horizontales** son medidores axiales cuyo eje de las aletas trabaja paralelamente al eje de la tubería en la cual se encuentran instalados.



Figura 4.18. Medidor tipo Woltmann, indicado para registrar grandes caudales de agua en industrias o comercios que tengan diámetros mayores o iguales a 50 mm (2 pulg.).

Los medidores **Woltmann verticales comunes** son medidores axiales cuyo eje de las aletas trabaja perpendicularmente al eje de la tubería en la cual se encuentran instalados.

Los medidores **Woltmann verticales especiales** son medidores axiales verticales, cuya forma de la carcasa difiere de lo común, ya que la entrada y salida del agua forman entre sí un ángulo de 90°. Estos medidores se utilizan casi exclusivamente en la salida de los pozos.

Debido a lo anterior, se estima que la posición vertical es la más favorable, por lo que se recomienda utilizar el medidor Woltmann vertical especial, para pozos tubulares. Como el tema no es la documentación de medición en los pozos sino la de tomas de pequeños diámetros, sólo se darán someras explicaciones acerca de esta información.

Los medidores tipo Woltmann se suministran para tuberías de 2 a 30 pulgadas de diámetro interno (50 a 750 mm respectivamente). No obstante, se recomienda que el medidor Woltmann se debe colocar después de diez diámetros de distancia aguas abajo de alguna pieza especial, debido a las variaciones de flujo que presenta el agua al atravesarlas. Si esta condición no pudiera satisfacerse, se deben de colocar unos dispositivos de regulación del chorro para evitar las variaciones que modifican el comportamiento del mecanismo medidor.

A los medidores de propela y turbina se les conoce también como medidores axiales, esto debido a que el funcionamiento del mecanismo de medición tiene como característica principal, que la dirección de la vena líquida coincide con la del eje de las aspas del medidor por lo que, la fuerza del flujo del agua es transmitido en dirección del eje de las aspas y no tangencialmente a estas como en el caso del medidor de paletas.

Algo que caracteriza y además es una falta intrínseca de los medidores de corriente es que no son sensibles a pequeños flujos de agua, lo cual significa que para aquellos gastos donde el agua no pueda circular a una presión mínima de diseño, el medidor podrá sufrir alteraciones de medición, debido a que el agua tiene que obtener suficiente velocidad para vencer las resistencias por fricción presentadas por los elementos constitutivos del mecanismo (rotor, engranajes, etc.). Estas alteraciones se reflejan en la submedición del caudal, permitiendo al usuario disminuir el tirante del flujo con una válvula, y dejar llenar una cisterna a base de un pequeño chorro de agua para evitar los pagos correspondientes.

Para corregir la falta de detección de flujos bajos existen los medidores compuestos que se detallan en el apartado 4.5.3.

Es por ello, que los medidores de velocidad deben usarse cuando se presentan grandes caudales y por tanto, si se desea medir todo el consumo no

deben ser colocados en servicios donde exista la posibilidad de pequeños gastos a través del medidor.

Por el contrario, una de las grandes objeciones presentadas en contra del medidor de velocidad es su tendencia a la sobrerregistro. Cuando se adhiere sedimento de materia extraña en las paletas de la rueda del medidor, decrece el área seccional entre las paletas y por consiguiente, aumenta la velocidad del agua en comparación con las aberturas originales. Esta velocidad anormal se refleja en una sobrerregistro, y como ésta es una función de la velocidad de la rueda, cada vuelta depende de la velocidad del agua que pasa a través de las aberturas de las paletas. Estas anomalías pueden ser controladas y fácilmente eliminadas con inspecciones y pruebas anuales, como mínimo, de todos los medidores de corriente, o de aquellos los cuales estén compuestos en parte por éstos.

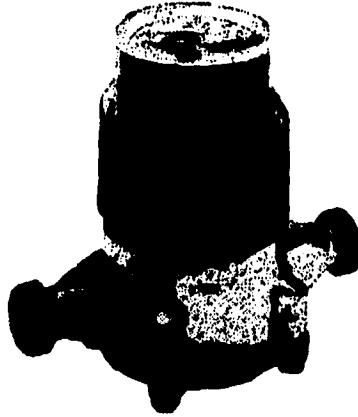
#### **4.5.2. Medidores volumétricos.**

Los medidores de desplazamiento positivo o volumétricos son aparatos que difieren de los medidores inferenciales, en el funcionar del mecanismo medidor empleado. Este mecanismo basa su medición en el número de veces en que es llenada una cámara de volumen determinado. Un mecanismo apropiado permite transmitir continuamente el movimiento de la pieza móvil (disco o pistón) de la cámara, a un sistema de transmisión.

Los medidores de desplazamiento positivo están particularmente bien adaptados para aplicaciones que requieren alta precisión sobre velocidades de flujo ampliamente divergentes con relativamente poca pérdida de carga por el medidor.

El nombre de medidores de desplazamiento positivo se debe a que se hace referencia al movimiento del elemento medidor (disco rotante o pistón oscilatorio) del flujo, el cual desplaza o "impulsa" un volumen específico por cada ciclo. Este desplazamiento del elemento móvil divide permanentemente la cámara por lo menos en dos compartimientos, uno de llenado y otro de vaciado, verificándose el flujo del agua en el mismo sentido en que sucede el movimiento del elemento. El

ciclo correspondiente será referenciado como una nutación, una oscilación, una revolución o una carrera.



**Figura 4.19. Medidor de desplazamiento positivo o volumétrico. Este tipo de aparato es más preciso que el medidor de velocidad, debido a que cualquier cantidad de flujo que pase por él, debe ser medido.**

Los movimientos del pistón en varios diseños, ha causado la subdivisión de los medidores de desplazamiento positivo en diferentes clasificaciones, por lo que estos medidores se clasifican de acuerdo al movimiento del elemento móvil de medición de la siguiente manera:

- a) Medidores de disco nutante o nutativo.
- b) Medidores de émbolo o pistón oscilante.
- c) Medidores de pistón alternativo.
- d) Medidores de émbolo rotativo.

En cada tipo de medidor, el volumen desplazado por el elemento móvil en el recorrido de un ciclo de funcionamiento será constante, y cada volumen subsecuente desplazado será igual a los ciclos anteriores, siempre y cuando este ciclo sea completado. Al contar los ciclos de funcionamiento y multiplicar el total del volumen constante establecido por ciclo, es posible determinar la cantidad de líquido que ha pasado por el medidor.

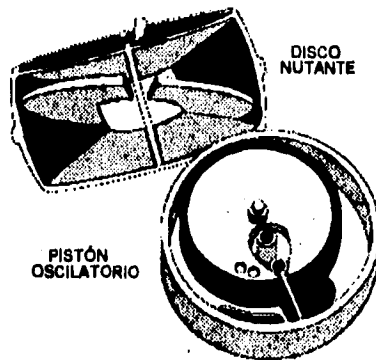
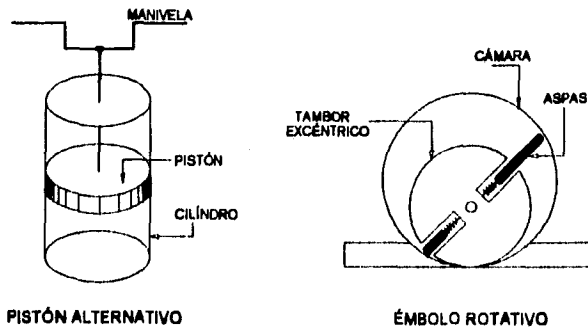


Figura 4.20. Los mecanismos de medida volumétrica: pistón alternativo y émbolo rotativo, mostrados en la parte superior del dibujo, son diseños que han sido discontinuados por distintas razones, por lo que sólo tienen interés histórico. Las cámaras de medición de disco nutante y pistón oscilatorio son las más utilizadas en los medidores de desplazamiento positivo. Poseen una sensibilidad mayor que los medidores inferenciales.

Los ciclos son convertidos a movimiento rotativo por el eje del elemento de medición, de esta forma, el conteo consiste en sumar esos ciclos. El medidor y el mecanismo de transmisión ejecutan la multiplicación necesaria, siendo el resultado una lectura de registración total, directamente en las unidades de medición deseadas: metros cúbicos, galones, pies cúbicos, etc.

Los elementos de medición de los medidores de desplazamiento positivo encierran o envuelven completamente un volumen fijo y conocido de flujo sobre el recorrido de cada ciclo. Para mediciones de flujo volumétrico, la detección de volúmenes discretos (discontinuos) es el método más directo. Por cada ciclo, este volumen discreto es trasladado (o desplazado) por el envolvente del elemento de medición.

#### **4.5.2.1. Medidores de disco nutante.**

Los medidores de disco nutante son los más usados universalmente de todos los medidores de desplazamiento positivo. Estos medidores constan de una cámara con secciones de forma esférica, con dos aberturas laterales separadas por una pared. En su interior hay un disco circular que se mueve con el paso del agua. La extremidad del punto más alto colocado en el centro del disco en una fase superior describe un movimiento circular que es transmitido por los mecanismos de transformación y marcación del aparato.

El principio del movimiento de nutación que adquiere un disco circular, es cuando el eje perpendicular a su plano, en el centro y unido a él, se mueve de tal forma que el punto correspondiente a este centro permanece fijo, mientras que el otro extremo gira describiendo un círculo.

Para formarse una idea clara de este movimiento, se introduce la punta de un lápiz en el centro de un disco de cartón. Si la punta del lápiz se sostiene con el índice de la mano izquierda y si además, simultáneamente el borrador del mismo lápiz, accionado por el dedo índice de la derecha describe un círculo, el disco adquirirá un movimiento de nutación.



Los ciclos son convertidos a movimiento rotativo por el eje del elemento de medición, de esta forma, el conteo consiste en sumar esos ciclos. El medidor y el mecanismo de transmisión ejecutan la multiplicación necesaria, siendo el resultado una lectura de registración total, directamente en las unidades de medición deseadas: metros cúbicos, galones, pies cúbicos, etc.

Los elementos de medición de los medidores de desplazamiento positivo encierran o envuelven completamente un volumen fijo y conocido de flujo sobre el recorrido de cada ciclo. Para mediciones de flujo volumétrico, la detección de volúmenes discretos (discontinuos) es el método más directo. Por cada ciclo, este volumen discreto es trasladado (o desplazado) por el envolvente del elemento de medición.

#### **4.5.2.1. Medidores de disco nutante.**

Los medidores de disco nutante son los más usados universalmente de todos los medidores de desplazamiento positivo. Estos medidores constan de una cámara con secciones de forma esférica, con dos aberturas laterales separadas por una pared. En su interior hay un disco circular que se mueve con el paso del agua. La extremidad del punto más alto colocado en el centro del disco en una fase superior describe un movimiento circular que es transmitido por los mecanismos de transformación y marcación del aparato.

El principio del movimiento de nutación que adquiere un disco circular, es cuando el eje perpendicular a su plano, en el centro y unido a él, se mueve de tal forma que el punto correspondiente a este centro permanece fijo, mientras que el otro extremo gira describiendo un círculo.

Para formarse una idea clara de este movimiento, se introduce la punta de un lápiz en el centro de un disco de cartón. Si la punta del lápiz se sostiene con el índice de la mano izquierda y si además, simultáneamente el borrador del mismo lápiz, accionado por el dedo índice de la derecha describe un círculo, el disco adquirirá un movimiento de nutación.

Trazando sobre el plano del cartón un diámetro cualquiera, podrá observarse que sus extremos describirán trayectorias circulares. El conjunto de los diámetros, o sea el plano del círculo, engendrará una figura formada por un sector esférico y dos conos opuestos por el vértice.

El desplazamiento del disco se sucederá, en estas condiciones, como si estuviera encerrado dentro de una cámara limitada por los conos y el sector esférico, apoyando siempre y sucesivamente, cada uno de sus diámetros en las generatrices del cono.

Si se construye una cámara formada por dos conos invertidos y un sector esférico, y dentro de ella se sitúa un disco cuyo centro está provisto de una esfera que se apoye en dos casquetes situados en los vértices de los conos, en forma que garanticen la inmovilidad del centro de él, será posible:

- i) Colocar un tabique o pared divisorio radialmente.
- ii) Perforar dos orificios a uno y otro lado del tabique.
- iii) Mantener apoyado el eje normal al disco sobre un tronco de cono, cuyo ángulo sea igual al que forman dos posiciones opuestas del disco.

El funcionamiento del disco nutante y la cámara de medición se detallan a continuación:

El agua potable que entra en la cámara, figura 4.21.1, es forzada por el disco. El disco es sostenido por una rótula esférica que le permite colocarse libremente en cualquier posición dentro de los límites de la cámara, a un ángulo de inclinación fijo. Debido al desequilibrio hidráulico entre los orificios de entrada y salida de la cámara, la superficie del disco experimentará un "empuje" de presión hidráulica hacia el orificio de salida.

A causa de la fuerza resultante de este empuje, el disco se moverá de la posición inicial, mostrada en la figura 4.21.1, donde solamente la superficie superior del disco está expuesta a la presión hidráulica, a una posición intermedia,

mostrada en la figura 4.21.2, donde la superficie inferior es también expuesta al agua entrante.

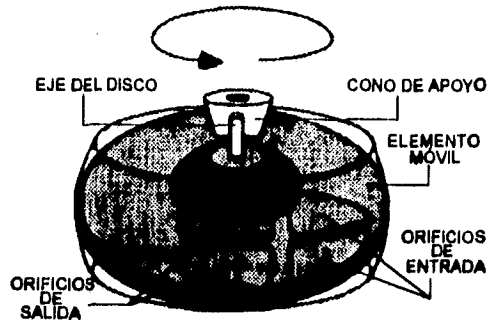


Figura 4.21.1. La rótula esférica del disco nutante le permite colocarse libremente en cualquier posición dentro de los límites de la cámara, a un ángulo de inclinación fijo.

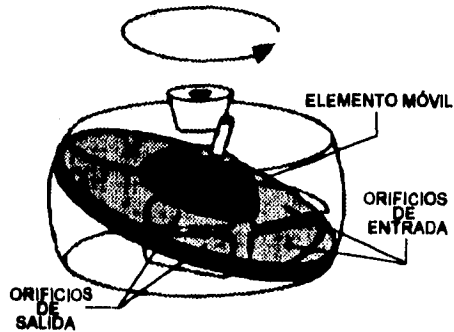


Figura 4.21.2. Debido al desequilibrio hidráulico entre los orificios de entrada y salida de la cámara, la superficie del disco experimentará un "empuje" de presión hidráulica hacia el orificio de salida.

En una tercera posición, figura 4.21.3, la orilla del disco bloquea la superficie del orificio de entrada y todo el flujo al interior ocurre contra la superficie inferior. Instantáneamente el agua trasladada por la superficie superior comienza a desalojarse por el orificio de salida.

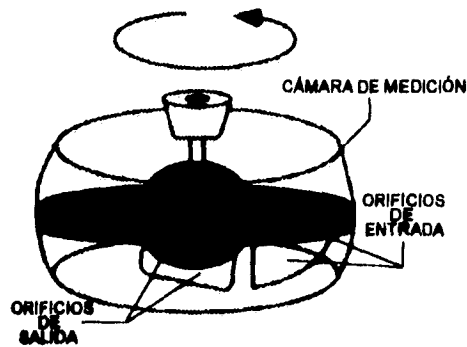


Figura 4.21.3. El cambio de posiciones del disco debido al desequilibrio hidráulico, propicia instantáneamente, que el agua trasladada por la superficie superior comienza a desalojarse por el orificio de salida.

El disco es trasladado por el empuje hidráulico en la superficie inferior hasta que la orilla se baja y permite la entrada de agua de nuevo en la superficie superior, como se observa en la figura 4.21.4.

El movimiento subsecuente del disco causa que éste se coloque en la posición mostrada en la figura 4.21.5, en el momento que la orilla del disco bloquea la superficie inferior de la entrada del agua. Toda la acción en esta posición resulta en un empuje en la superficie superior.

Si observamos cuidadosamente, la figura 4.21.5 y la figura 4.21.1 son iguales, por lo que ahora el disco se encuentra en posición para comenzar otro ciclo.

La acción del agua en el disco es la misma, ya sea que ocurra en la superficie superior o inferior del disco. El ciclo de movimiento desde la posición de la figura 4.21.1 a través de todas las posiciones hasta la figura 4.21.5 se llama nutación.

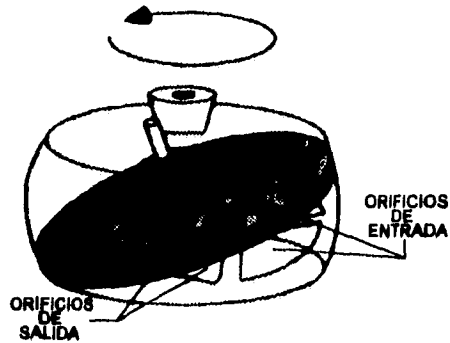


Figura 4.21.4. El disco es trasladado hasta que la orilla de la superficie inferior se baja y permita la entrada de nuevo de agua en la superficie superior.

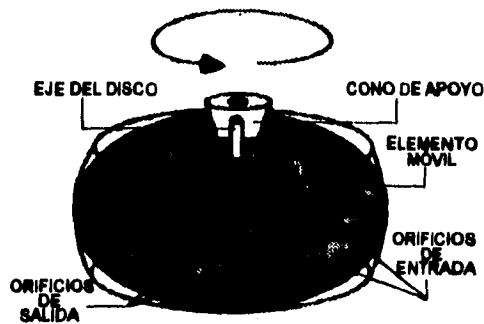


Figura 4.21.5. El disco ha realizado una nutación, es decir, el desplazamiento inicial ocurrido en la figura 4.21.1 hasta la posición mostrada, indica el fin del ciclo y el comienzo de otro.

Se hace notar que la nutación del disco no involucra rotación. El disco es impedido de rotarse por el tope guiador ubicado en la periferia externa. El eje del disco de acero inoxidable viaja en un curso circular el cual es trasladado a una barra transversal (no mostrada) que está también conectada a un eje de acero inoxidable. Este eje está conectado a un imán de salida el cual magnéticamente acciona el imán en el eje de entrada del tren de engranajes en el dispositivo registrador. La totalización en el dispositivo registrador completa el proceso de medición.

Los elementos móviles para los dispositivos de medida nutativa pueden construirse planos o cónicos. Cuando son planos la cámara estará cerrada, arriba y abajo por un cono. Pero cuando son cónicos, su tapa superior será un cono y la inferior, para determinado ángulo del elemento móvil, es un plano.

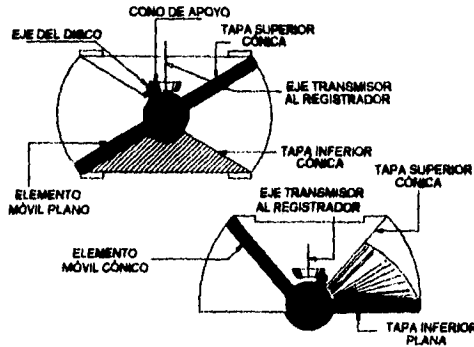


Figura 4.22. Comparación de las cámaras de medición del disco nutante. A la izquierda, se ilustra el elemento móvil plano; a la derecha, el elemento móvil cónico. Nótese que el cono de apoyo obliga al eje del disco a mantener su ángulo, por lo que este último transforma las nutaciones en rotaciones.

El principio de estos medidores combina excelente precisión a largo plazo con integridad en diseño y fabricación, sin embargo, su funcionalidad depende fuertemente, de la calidad de agua suministrada por el conducto. Esto quiere decir, que si el agua presenta partículas extrañas podría ocasionar una obstrucción total del medidor, provocando la inmediata reparación del aparato.

#### 4.5.2.2. Medidores de émbolo oscilante.

Los medidores de émbolo o pistón oscilante poseen una cámara cilíndrica con dos aberturas, una en el fondo para la entrada del agua y otra en la parte superior o tapa para la salida, separadas en proyección vertical por una pared. Una pieza menor también de forma cilíndrica con un lámina lateral que se encaja en la pared, se mueve con el paso del agua, proporcionando llenados y vaciados de espacios relativos que se forman en el interior de la cámara, como se muestra en la figura 4.23.

El principio de movimiento del pistón oscilante está constituido esencialmente por dos cilindros, el menor de los cuales se mueve dentro del otro, en tal forma que, uno de sus radios, oscila de la misma manera que lo hace la biela en un sistema de biela y manivela.

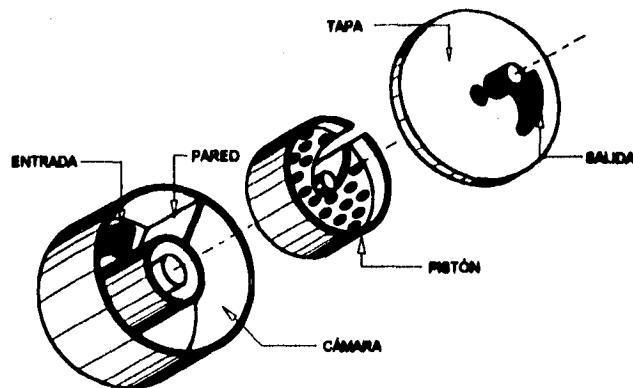


Figura 4.23. Elementos que conforman el mecanismo del pistón oscilatorio.

En la figura 4.24 se explica el principio del pistón oscilante, partiendo de un sistema ABO, de biela AB y manivela BO, cuyas longitudes respectivas son  $b$  y  $m$ . Al girar ésta, el punto B describirá un círculo de radio  $m$  y el punto A de la biela

recorrerá un espacio  $AA'$  (carrera de la biela) con longitud  $2m$ , en un sentido y luego en otro, por cada rotación de la manivela.

En estas condiciones, si se fija la biela  $AB$ , en un disco de radio  $b$ , haciendo que su centro coincida con el punto  $B$ , podrá observarse que:

- El punto  $A$  quedará situado sobre la circunferencia que limita al disco.
- Al girar la manivela, el centro  $B$  del disco seguirá una trayectoria circular, de radio  $m$  y centro  $O$ .
- La circunferencia que limita al disco permanecerá tangente, interiormente a un círculo de radio  $b + m$ , con centro en  $O$ . Los puntos de tangencia  $T_1$  y  $T_2$  se encontrarán ubicados sobre los extremos opuestos del diámetro que coincide con la manivela  $OB$ , es decir, con el que une en cada momento los centros del círculo grande con el disco de radio  $b$ . En esta forma, rueda sobre aquel y no desliza.

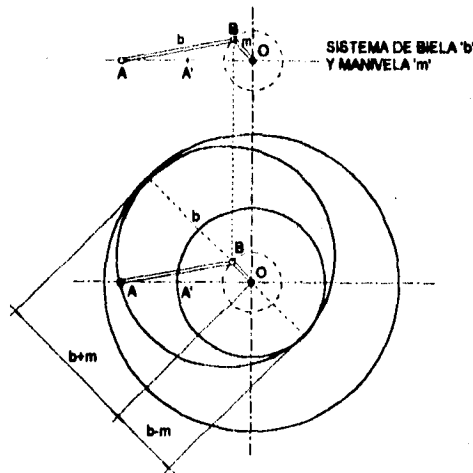


Figura 4.24. Principio del funcionamiento del pistón oscilante. Construyendo con centro en 'B' un círculo de radio 'b' quedará siempre tangente a otros dos de radio  $(b+m)$  y  $(b-m)$ .



Si sobre cada uno de los círculos así obtenidos, se construye un cilindro de altura limitada, se obtiene un mecanismo como el indicado en la figura 4.24, en la cual un pistón de radio  $B$ , oscilará manteniéndose tangente interiormente a un cilindro de radio  $b + m$  y exteriormente a otro de radio  $b - m$ . El centro  $B$  del pistón describirá un círculo de radio  $m$ .

Inversamente, se logra la misma oscilación si el centro del pistón se hace girar alrededor del punto  $O$ , manteniendo siempre el punto  $A$  sobre el diámetro  $AO$ .

El movimiento obtenido con este mecanismo presenta tres características fundamentales:

- a) Tiene un movimiento periódico.
- b) En cada período se barre el volumen del cilindro grande.
- c) El centro del pistón da una revolución completa por cada oscilación.

Es decir, reúne las condiciones esenciales que requieren los mecanismos de medida.

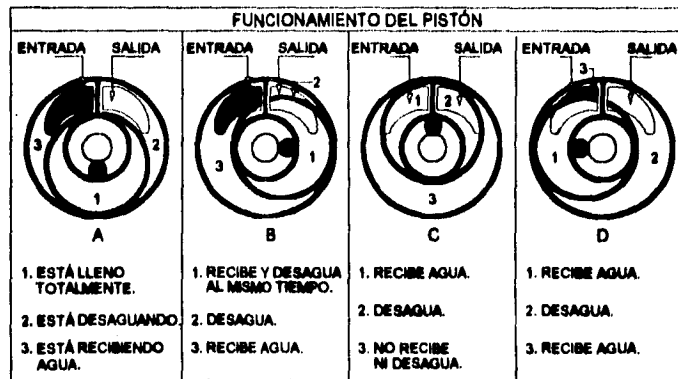


Figura 4.25. Corte en planta del funcionamiento del émbolo o pistón oscilatorio en cuatro fases diferentes.

Para adaptar el sistema a la medida volumétrica del agua, el mecanismo se modifica construyéndolo como se muestra en la figura 4.23, de la siguiente manera:

- a) El cilindro mayor de radio  $b + m$  se utiliza como cámara.
- b) Dentro de él y en el centro, se dispone el otro cilindro con el radio exterior  $b - m$ , en cuyo interior, gira a manera de manivela la barra que sirva de eje al pistón. El centro de este eje describe un círculo de radio  $m$ .
- c) El pistón tiene un radio exterior  $b$  y lleva en el centro una membrana perforada que soporta al eje. Una ranura lateral permite que se mueva como si fuera una biela, pero deslizándose a lo largo de un tabique, dispuesto radialmente, que le sirve de guía para su carrera.
- d) La entrada y salida del agua se disponen a uno y otro lado del tabique, perforando la primera en el fondo y la segunda en la tapa.

#### **4.5.2.3. Medidores de pistón alternativo.**

Los medidores de pistón alternativo son aparatos que llenan y vacían un cilindro y transforman el movimiento de vaivén en una rotación por medio de un sistema de biela y manivela (ver figura 4.20). Este mecanismo de medida fue utilizado en los primeros medidores producidos en Norteamérica, a mediados del siglo pasado.

#### **4.5.2.4. Medidores de émbolo rotativo.**

Los medidores de émbolo rotativo poseen como elemento móvil, una rueda en forma de tambor cilíndrico provista de aspas que se desalojan radialmente, colocado excéntricamente en una cámara cilíndrica (ver figura 4.20). El movimiento de rotación que le imprime la diferencia de presiones entre la entrada y salida agranda el espacio de aquella y reduce el de esta y viceversa, originándose así un desplazamiento continuo del agua.

De los cuatro mecanismos mostrados, solamente los de disco nutante y de pistón oscilante se emplean actualmente en el diseño de medidores; los otros dos han sido discontinuados por distintas razones y tienen únicamente un interés histórico.

De los medidores volumétricos que se utilizan en la actualidad, se puede afirmar que el disco nutante es el que representa mayores ventajas tales como: simplicidad de construcción, sensibilidad continua, baja pérdida de carga, facilidad de mantenimiento y bajo costo.



**Figura 4.26.** El medidor volumétrico de disco nutante es el más utilizado debido a su simplicidad de construcción, baja pérdida de carga, sensibilidad continua, etc.

De manera general, los medidores volumétricos operan a base de un desplazamiento positivo del agua; por lo tanto, teóricamente, con cualquier flujo debe entrar en funcionamiento su elemento móvil, lo cual da origen a la sensibilidad y precisión que los distingue. En la práctica esta ventaja se encuentra limitada, primero por las tolerancias en los espacios de separación y segundo, por el desgaste que sufren las piezas al trabajar. Pero en todo caso, la sensibilidad a flujos bajos y la precisión, son característicos de ellos.

En estos dispositivos es esencial, por lo tanto, que la separación entre sus elementos móviles y fijos garanticen la holgura de sus movimientos al mismo tiempo que selle suficientemente el paso directo entre los compartimientos de entrada y de salida o entre cualquiera de los sectores y el exterior. Esto obliga a ajustes de gran precisión y es además la causa por la cual, cuando las aguas llevan partículas en suspensión y éstos se depositan en los espacios libres, el mecanismo se paraliza fácilmente. De lo anterior, se concluye que la desventaja principal del medidor de volumen es la exigencia de una excelente calidad de agua, sin ningún material en suspensión.

Como en cada nutación del disco o en cada oscilación del pistón se ha barrido un volumen igual al de la cámara, cuando el volumen de ésta haya variado por cualquier razón, se habrá afectado en más o en menos la precisión del registro. Entre las diversas causas para que tales variaciones se presenten, existe el desgaste de la cámara, permitiendo el aumento del volumen y en consecuencia, el subregistro del agua. Otras veces, se producen depósitos en los elementos del dispositivo, lo que provoca la disminución de la capacidad de la cámara y por consiguiente, el aumento en el registro del consumo.

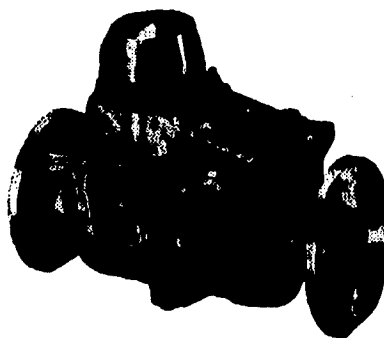
Por lo tanto, todos los medidores de volumen son sensibles a bajos gastos y presentan por lo mismo, errores mínimos con el mismo escurrimiento reducido. Así mismo, los medidores volumétricos son indicados cuando se pretende efectuar composturas rigurosas en fugas y detectar desperdicios en una instalación domiciliar.

Si se realiza una comparación de los dos mecanismos (disco nutante y pistón oscilante), en cuanto a precisión y sensibilidad de medida, son muy similares. La diferencia fundamental entre ellos radica en la conformación de las piezas que los integran. La cámara de medida en los de nutación, está hecha a base de superficies esféricas y cónicas y su elemento móvil lleva una esfera en el centro. Los de pistón están contruidos, como se indicó, con partes planas y cilíndricas solamente. Esto hace que el proceso de maquinado al fabricarlos sea distinto. Por otra parte, es lógico que con cámaras del mismo volumen y con gastos iguales se obtengan pérdidas de cargas diferentes en cada tipo.

#### **4.5.3. Medidores compuestos y proporcionales.**

Existen medidores que utilizan ambos principios de medida, el inferencial y el volumétrico. El principio básico muestra que para grandes gastos, el medidor de velocidad se activa de tal forma que de paso a la gran cantidad de agua que fluya; mientras que para flujos reducidos, el medidor volumétrico se activa de tal manera que capta hasta el valor mínimo del caudal. Según lo anterior, se identifican dos tipos de medidores:

- a) Medidores compuestos.
- b) Medidores proporcionales.



**Figura 4.27. Medidor compuesto marca "Badger", utilizado principalmente para aquellos lugares donde haya variaciones significativas de flujo.**

#### **4.4.3.1. Medidores compuestos.**

Los medidores compuestos son aquellos que tienen una combinación de los medidores volumétricos y los de velocidad, dentro de un mismo mecanismo. Sirven para medir los gastos que frecuentemente ocurren en líneas de incendio.

Cuando el gasto aumenta, se abre automáticamente una válvula permitiendo de esta manera, una baja pérdida de carga. Este tipo de medidor combina los méritos y características de ambos medidores de los cuales está compuesto y su operación no ofrecerá ninguna dificultad en particular a aquellos que estén familiarizados con las características de cada uno.

#### **4.4.3.2. Medidores proporcionales.**

Los medidores proporcionales derivan su nombre del hecho de que una parte proporcional del flujo a través del medidor, pasa por un medidor en derivación, el cual es prácticamente el instrumento de medición. En otras palabras, consiste en derivar parte del agua por un "by pass" provisto de un medidor pequeño. Este medidor pequeño o en derivación es generalmente un medidor de desplazamiento positivo. Es frecuentemente empleado en el abastecimiento de agua de naves Industriales, irrigación y líneas de incendio.

#### **4.6. Comparación general.**

A continuación se hará un análisis comparativo de los medidores considerando diferentes factores. Cabe recalcar que sólo se consideran los medidores convencionales domésticos debido al énfasis que se les está otorgando en el presente documento.

Los medidores domésticos referidos son cuatro; dos volumétricos y dos de velocidad. Los volumétricos son el de disco rotante y el de pistón oscilante; los inferenciales son el de chorro único y el de chorro múltiple. De esta manera, se pueden dar a conocer dos comparaciones esenciales:

- a) Comparación de los sistemas volumétrico e inferencial.
- b) Comparación individual de los cuatro mecanismos.

#### **4.6.1. Comparación de los sistemas.**

Teóricamente, en los medidores de desplazamiento positivo el agua fluye únicamente si se desaloja el elemento móvil; en los de velocidad puede hacerlo sin que se desplace esta pieza. Esto indica que una cantidad de agua, por pequeña que sea, si logra pasar por un medidor volumétrico, tiene que haberse registrado. En cambio, en los inferenciales, solamente darán indicación aquellas cantidades que logren vencer la resistencia del rotor.

En la práctica, el juego que existe entre el elemento móvil y la cámara, en los de tipo volumétrico, hace que determinadas cantidades de agua pasen por esos espacios sin que el medidor las registre. Estas pueden ser mayores que las originales de fabricación, de acuerdo con los desgastes que hayan sufrido las superficies en contacto de los dos elementos.

En los medidores de velocidad, en principio, los sedimentos que pasan por su filtro no paralizan el elemento móvil, en cambio, en los volumétricos algunas partículas pueden detener su mecanismo.

Existen diversos aspectos que son comparables entre los dos sistemas. Algunos como los que se han citado, se deducen de los principios mismos que son la base de sus diseños. Otros en cambio, provienen de observaciones hechas en la práctica, pero cuyas conclusiones no están confirmadas debidamente y por lo tanto, no tienen base suficiente para tomarse como criterio de comparación.

#### **4.6.2. Comparación individual.**

Además de las consideraciones dadas, es posible hacer otras referentes a cada uno de los tipos en particular. Algunas de ellas se señalan a continuación.

El número de elementos que integran los mecanismos es mayor en los volumétricos que en los de velocidad. El de menor número es el de chorro único, que prácticamente no necesita sino el rotor y la carcaza.

La construcción más sencilla es el de chorro múltiple porque su cámara de plástico no necesita maquinarse como la del chorro único. La fabricación más compleja parece ser la del disco nutante, porque su cámara está conformada con superficies esféricas y cónicas, en cambio los del pistón oscilante se elaboran con cilindros y planos.

Los volumétricos en general, garantizan un grado mayor de precisión que los de velocidad y entre estos los de chorro múltiple. En materia de precisión, uno de los aspectos más importantes es el tiempo durante el cual ésta permanece prácticamente constante.

En las comparaciones sobre precisión, la parálisis de los elementos móviles puede hacerse intervenir también como criterio. El error promedio de los aparatos de un sistema puede ser muy grande si un alto porcentaje de estos mecanismos está paralizado, es decir, se tiene un error del 100%.

En cuanto a los costos, el menor corresponde al de chorro único, luego sigue el de chorro múltiple y finalmente los dos tipos volumétricos. Con algunos modelos se ha llegado a hacer competir al de pistón oscilante con los de chorro múltiple.

Estas consideraciones se refieren a los costos iniciales, pero en general el estudio más importante es el de costos anuales, que incluye la depreciación y el mantenimiento, es decir, hace intervenir los factores que representan la calidad y precisión del aparato.

#### **4.7. Transmisión.**

La clasificación de los medidores proporcionada, está dada de acuerdo a la cámara o mecanismo de medición, sin embargo, éste es sólo el elemento que recibe la fuerza provocada por la velocidad del agua. El mecanismo de medición inducirá posteriormente el movimiento a través de un mecanismo de transmisión al registrador.



El objeto de este mecanismo consiste en transmitir en forma adecuada el movimiento producido por el paso del agua en el elemento móvil al registrador, de tal manera que este último acumule los datos presentados. Se considera que el mecanismo de transmisión empieza en el punto donde se enlaza con el dispositivo de medida y termina en el engranaje que indica directamente el registro, por medio de una aguja y un cuadrante o de una rueda numerada.

Una de las funciones más importantes de la transmisión, consiste en transformar el número de revoluciones del eje del elemento móvil en otro que represente debidamente las unidades de medición, por ejemplo, si pasan 10 litros por el aparato y el elemento medidor da 300 revoluciones, como consecuencia el mecanismo de transmisión deberá reducirla a una sola, para que la primera aguja indicadora marque los 10 litros. La relación que existe entre el mecanismo medidor y la transmisión, es la base fundamental de las empresas fabricantes de medidores.

Las transmisiones realizan su trabajo mediante un tren de engranajes cuya disposición relativa dentro del aparato, así como el tipo de elementos que la constituyen y caracterizan, es una de las bases para definir y designar el tipo de medidor con dicho sistema de transmisión.

La transmisión puede integrarse con las demás partes del medidor, de acuerdo con la forma como se establezca la unidad general, de tres maneras diferentes:

- a) Esfera húmeda.
- b) Esfera seca.
- c) Esfera hermética.

#### **4.7.1. Esfera húmeda.**

Situando el mecanismo de transmisión dentro del agua junto con el dispositivo de medida y el registrador se da origen a los tipos de medidores

conocidos con el nombre de esfera húmeda. La ventaja es que no hay separación entre las cámaras, por lo que la transmisión del elemento medidor se hace directamente. El vidrio del mostrador es bastante espeso (un centímetro aproximadamente) para poder resistir la presión de agua existente en el interior del medidor. Este tipo de mecanismo es ideal para ser instalado en lugares sujetos a frecuentes inundaciones.

La tendencia a ensuciar la relojería al depositarse en ésta las materias arrastradas por el flujo de agua, imposibilita la lectura registrada. Además, debido a la alta turbiedad, pierden su sensibilidad más rápidamente que los otros medidores.

#### **4.7.2. Esfera seca.**

La esfera seca deja el mecanismo de transmisión con el dispositivo de medida dentro del agua y el registrador fuera de ella. La parte mojada está separada de la seca por una placa de cierre; el eje, en su paso por la placa, está debidamente protegido por un empaquetadura y un prensa-empaque que impiden el paso del agua. La fricción que el prensa-empaque ejerce sobre el eje, puede dar origen a errores mayores de medición. Este sistema es solamente utilizado con el mecanismo de transmisión mecánica o también llamado elemento de enlace mecánico.

La desventaja producida debido al desgaste natural en el servicio, permite la propensión a que se produzcan fugas de la parte mojada hacia la seca causando con esto el empañamiento de la placa de vidrio, lo cual impide la lectura del medidor.

#### **4.7.3. Esfera hermética.**

La esfera hermética involucra al registrador y al mecanismo de transmisión ubicados fuera del agua, de tal manera que en ella quede únicamente el dispositivo de medida. Para lograr esta modalidad, se emplearon imanes permanentes como elementos de enlace entre la zona seca y la húmeda, se

denominan de transmisión magnética, y en forma cierta no presentan ningún inconveniente como las anteriores esferas, sin embargo, la desmantelación debida al paso del tiempo provoca la intransferencia del dispositivo medidor al registrador.

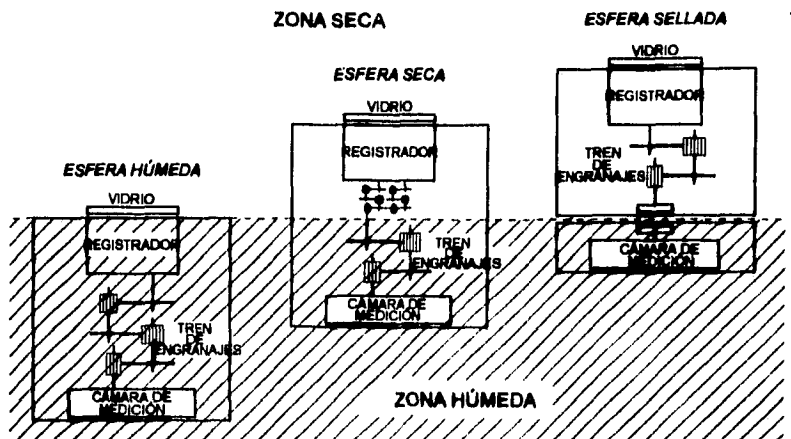


Figura 4.28. Disposición de la unidad general de los medidores

La esfera húmeda posee la totalidad de las partes dentro del agua, de tal manera que la transmisión consiste solamente en un tren de ruedas dentadas y piñones. Para las esferas seca y sellada se requiere que cada una de ellas disponga además, de un elemento de enlace entre la zona seca y la zona húmeda, de esta forma se hace necesario el empleo de los mecanismos de transmisión mecánica y magnética.

Tanto en los modelos de esfera húmeda como en la hermética, el registrador y la transmisión se integran en una sola unidad. En cambio, en la esfera seca las partes del medidor van separadas.

El mecanismo de transmisión esta integrado por los siguientes elementos primarios:

- a) Sistema de acople entre el tren de engranajes y el dispositivo de medida.

- b) Sistema de acople entre las zonas húmeda y seca del aparato.
- c) Ruedas dentadas y piñones que transmitan las revoluciones y las ajusten al número conveniente.
- d) Otros elementos complementarios.

Los tipos de esfera húmeda requieren únicamente los incisos (a) y el (c). Los de esfera seca necesitan los incisos (a), (b) y el (c). Los elementos complementarios, se adicionan de acuerdo con ciertos criterios de diseño. Por ejemplo, el intercalar dos ruedas dentadas que se denominan "piñones de cambio" destinadas a ajustar la precisión de los registros, variando la relación del número de dientes entre ellas.

Las modalidades que comúnmente adopta cada uno de estos elementos, son principalmente las ya enunciadas.

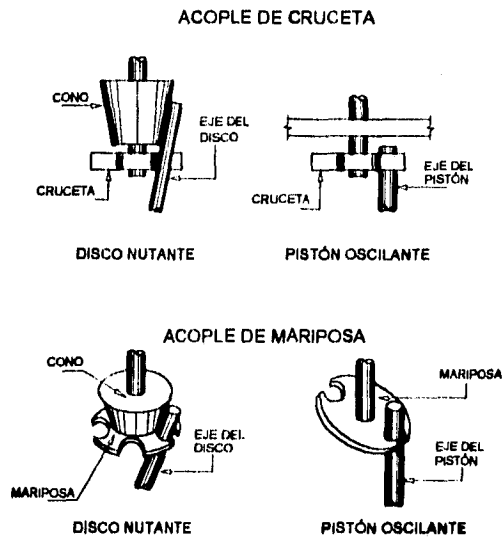
#### **4.7.4. Acople con el dispositivo de medida.**

El acople con el dispositivo de medida puede indicarse por medio de tres tipos característicos:

- i) Acople de cruceta.
- ii) Acople de mariposa.
- iii) Acople de piñón.

Los dos primeros se emplean con los medidores volumétricos y por lo tanto tienen formas combinadas con un cono o con un cilindro, según se trate del disco nutante o del pistón oscilante. Los de piñón se utilizan en los de velocidad y pueden ser plásticos o metálicos, fresados directamente en el eje del rotor o atornillados a él.

Los acoplamientos van normalmente ubicados dentro de la cámara, en los medidores de pistón oscilante. En los demás, se sitúan siempre fuera de ella. Algunos modelos volumétricos los tienen protegidos en una caja diseñada para el efecto sobre la cámara.



**Figura 4.29. Tipos de acople utilizados en los mecanismos de medida volumétrica.**

En los medidores de velocidad que llevan el piñón atornillado en el eje, el tornillo respectivo tiene que ajustar cuando el rotor gire en el sentido que corresponda a la entrada de agua a la casa y evitar se desenrosque al invertirse el flujo.

#### **4.7.5. Acoplamientos entre las zonas húmeda y seca.**

Los acoplamientos entre las zonas húmeda y seca, pueden hacerse de dos maneras, una de las cuales está integrada por un eje y sus empaquetaduras respectivas, y la otra por un par de elementos magnéticos.

De acuerdo a lo anterior, se definen dos tipos esenciales conocidos como:

- a) Transmisión mecánica.
- b) Transmisión magnética.

#### **4.7.5.1. Transmisión mecánica.**

Está constituida por un conjunto de dos piñones situados, uno dentro del agua y el otro fuera de ella; ligados por un eje que atraviesa la placa separadora de las dos zonas. La perforación correspondiente, va sellada por una empaquetadura.

La característica más importante del acoplamiento consiste en que esta empaquetadura debe sellar el paso del agua en el contorno de un eje en rotación en donde es indispensable eliminar, hasta donde sea posible, cualquier fricción que pueda reducir la sensibilidad del aparato. La magnitud de estos esfuerzos, depende principalmente de la velocidad de rotación del eje y de la presión del prensa-empaque. Por lo tanto, el acoplamiento debe localizarse y diseñarse en tal forma que produzca los menores efectos.

El punto de máxima velocidad a lo largo de la transmisión, está situado en el enlace con el elemento móvil del dispositivo de medida. En los de tipo volumétrico, el número de revoluciones correspondiente a ese sitio es por regla general de 10 a 15 por litro, y en los de velocidad de 30 a 40 revoluciones por litro. En el empalme de la transmisión con el registrador, esas cifras se reducen al mínimo valor. Normalmente para los modelos que vienen en unidades métricas, el valor correspondiente es de un décimo de revolución por litro en ambos casos. Por esta razón, se ha llegado a seleccionar el sector respectivo para la ubicación del acoplamiento dejando prácticamente, toda la transmisión dentro del agua.

En la figura 4.30 se muestra un primer conjunto comúnmente usado en estos aparatos. Tiene una serie de empaques anulares que se ajustan por medio de el prensa-empaque. Se emplean con regularidad en los medidores volumétricos, los cuales por ser de desplazamiento positivo, permiten esfuerzos de

torsión relativamente elevados, no afectando su sensibilidad. Sin embargo, es necesario que la tuerca mostrada se ajuste apenas lo indispensable.

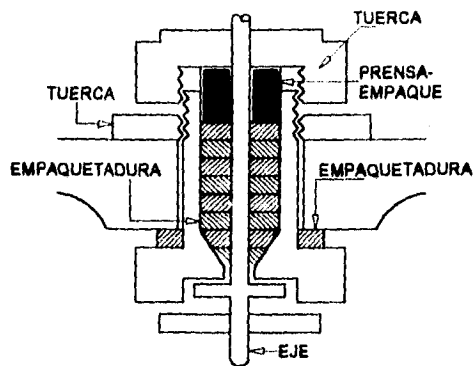


Figura 4.30. Empaquetaduras empleadas normalmente en los medidores volumétricos.

Un segundo conjunto se muestra en la figura 4.31. Está hecho a base de una empaquetadura que en algunos modelos es plana y en otros un anillo. Trabaja sumergida en una cápsula de grasa que lubrica y además repele el agua. Requiere un muelle o resorte que evite el deslizamiento vertical del eje. Se emplea fundamentalmente con medidores de velocidad porque ellos, como motores roto-dinámicos que son, trabajan a base de una variación en la energía cinética y no en las presiones, por tanto los esfuerzos de torsión disponibles resultan muy inferiores a los de la medición volumétrica.

De acuerdo con estas consideraciones, puede decirse que los medidores de transmisión mecánica se caracterizan, en general, por tener el tren de engranajes correspondiente dentro del agua. La introducción de las empaquetaduras surgió como consecuencia de una tendencia a la eliminación de los problemas que la esfera húmeda presentaba, sacando la mayor parte de piezas posibles hacia un sector seco, que evitará los problemas resultantes de la acción del agua. Esta solución a su vez, creó otro problema, constituido como antes se mencionó, en la

pérdida de sensibilidad y en las fugas del agua del sector húmedo al seco, lo que constituye la falla de mayor ocurrencia en estos modelos.

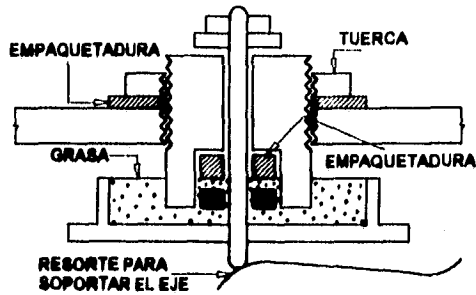


Figura 4.31. Empaquetaduras empleadas fundamentalmente con los medidores de velocidad.

#### 4.7.5.2. Transmisión magnética.

Los problemas que se plantearon con el empleo de las empaquetaduras en los acoplamientos de la transmisión y la necesidad de tener los trenes de engranajes dentro del agua, quedaron en principio resueltos cuando a mediados de la década del 50 al 60, se logró utilizar comercialmente en los medidores un sistema de transmisión magnética, aprovechando los tipos de imanes permanentes que desde el año de 1931 se venían produciendo.

La transmisión magnética en los medidores consiste fundamentalmente en un acople entre dos ejes, hecho a base de un conjunto simple o complejo de imanes permanentes, que permite pasar el movimiento de los elementos situados dentro del agua a los que están fuera de ella a través de una lámina no magnética, sin necesidad de que exista ninguna perforación que las comunique. Es por ello que a este conjunto se le conoce como esfera hermética o sellada.

Con esta transmisión magnética se consiguen las siguientes ventajas:



- 1) No se requiere ninguna empaquetadura en las piezas móviles.
- 2) Es posible mantener la totalidad de los engranajes fuera del agua.
- 3) Es posible además introducir el tren de engranajes y el registrador dentro de una cámara hermética que conserve permanentemente una atmósfera seca y adecuada para su funcionamiento.

La adopción de los imanes en el mecanismo de los medidores constituye una verdadera revolución en su diseño, que inició con una serie de reformas fundamentales.

La transmisión magnética está constituida en principio, por dos elementos, uno de los cuales, situado en el agua, es siempre un imán permanente que se llama *impulsor*. El otro elemento, localizado en la parte seca, es el *seguidor* y está hecho con un material magnético que puede o no, ser un imán permanente.

Para que estos mecanismos funcionen adecuadamente, es necesario que cumplan tres condiciones:

- i) Que el elemento impulsor no patine con ningún número de revoluciones, dentro de las condiciones de trabajo establecidas para el tipo y tamaño del medidor.
- ii) Que el imán mantenga su grado de magnetismo por un período de tiempo prácticamente indefinido.
- iii) Que su operación no se afecte o perturbe por la acción de campos magnéticos externos que normalmente puedan actuar en los alrededores del medidor.

Los esfuerzos que se pueden considerar en un medidor provisto con transmisión magnética son en general tres: Un par motor M producido por la acción del agua sobre el elemento móvil del dispositivo de medida y que debe ser capaz de vencer las resistencias del mecanismo. Otro par R, el resistente, producido por los esfuerzos de inercia, la fricción de las piezas, etc. el cual, para

que el aparato registre, necesita ser de magnitud inferior al de motor M. Por último el I, originado en la atracción del circuito magnético formado por los elementos P y S, el cual tiene que ser superior a R y/o M con el fin de que aquellas dos piezas no patinen, como se ilustra en la figura 4.32.

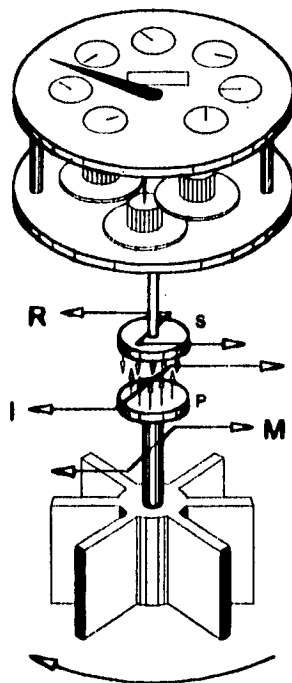


Figura 4.32. Esfuerzos en un medidor. El par de esfuerzos resistentes producidos por la fricción y por la inercia son denominados por M. El par de esfuerzos producidos por la atracción magnética entre las piezas P y S, debe ser superior a R y a M para que no se patinen.

Las condiciones en que se presentan estos esfuerzos son diferentes para los tipos volumétricos y de velocidad. En aquellos, por ser máquinas de desplazamiento positivo y trabajar con un número bajo de revoluciones por litro, se

dispone de un par motor relativamente grande, empleándose imanes no sólo para el elemento impulsor, sino también para el seguidor.

En cambio en los de velocidad, el número alto de revoluciones obliga al uso de imanes de pequeño volumen en la impulsión y a introducir como seguidor una pieza muy liviana, no imanada y que se apoya en cojinetes hechos con joyas industriales destinadas a suavizar los movimientos de rotación.

Los modelos de velocidad que se diseñan con dos imanes, impulsor y seguidor, pueden presentar fallas en su funcionamiento producidas por los esfuerzos resistentes que resultan como consecuencia de la inercia ocasionada por el tamaño de sus masas. Cuando en un momento dado son mayores a los que se desarrolla el dispositivo de medida, el seguidor se detiene y la transmisión patina, hasta que el elemento móvil suspende su movimiento y vuelve luego a iniciarlo, pero con baja velocidad.

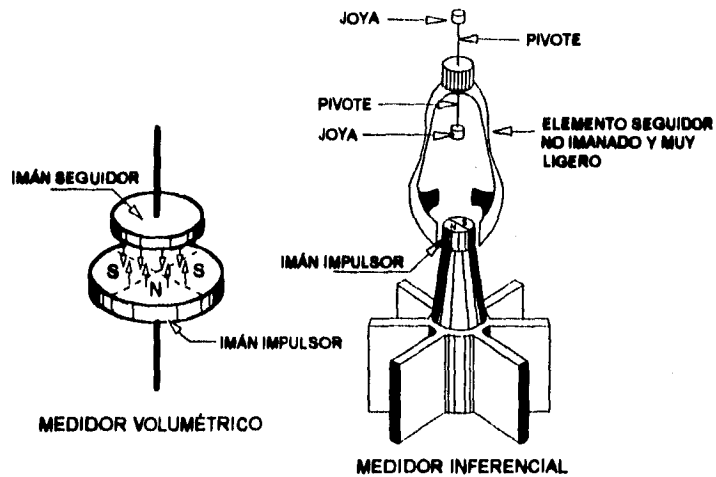


Figura 4.33. En los medidores volumétricos el acoplamiento magnético puede estar formado por piezas relativamente grandes, mientras que los medidores de velocidad al dar un número grande de revoluciones, requieren de piezas livianas en el acoplamiento.

A fin de utilizar la transmisión magnética en los medidores de velocidad empleando imanes tanto en el impulsor como en el seguidor, algunos fabricantes han producido aparatos dejando el tren de engranajes dentro del agua y reemplazando, prácticamente el acople mecánico por el circuito magnético. En estas condiciones se eliminan las empaquetaduras con todas sus dificultades; como este punto es el de más baja velocidad, en el conjunto de la transmisión se garantiza que el par de imanes no patina y se aprovechan las ventajas de un doble imán, quedando únicamente sin resolver adecuadamente, el problema de los engranajes en el agua.

En todos los tipos de medidores existe un valor de los esfuerzos resistente que puede hacer patinar la transmisión magnética; sin embargo, esto no constituye un problema mientras no se presente con flujos comprendidos dentro del campo normal de trabajo, porque en los demás casos debe considerarse como un dispositivo de seguridad que defiende al aparato contra los impactos ocasionados por chorros bruscos y de gran magnitud.

Los materiales empleados en los imanes permanentes de la transmisión, son en general de dos tipos: uno que corresponde a las aleaciones de hierro con aluminio, níquel, cobalto, titanio, niobio, etc. conocidas con nombres tales como *alnico*, *ticonal*, *alcomax*, etc.; y otro por las llamadas *ferritas* u *óxidos magnéticos*, compuestas fundamentalmente de óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ) asociado un metal divalente. La producción de las aleaciones de hierro se inició en el año de 1931 cuando el Profesor Japonés Mishima descubrió las extraordinarias propiedades magnéticas de la aleación de hierro, níquel y aluminio (ALNI), libre de carbono. En cambio la piedra imán o ferrita ferrosa es una ferrita natural conocida desde la antigüedad.

La estabilidad de un imán permanente puede afectarse principalmente por cambios en la estructura de su material, acción del tiempo y efecto de los campos magnéticos externos. La no alteración en la composición de él, se considera fundamental y es una parte de las especificaciones que deben cumplir las piezas magnéticas empleadas sobre todo en lo referente a oxidación. La imanación con el transcurso de los años va disminuyendo. Sin embargo, las medidas de tipo experimental que en este sentido se han hecho, muestran que dentro de otras condiciones normales de estabilidad, la variación en las propiedades magnéticas

de los materiales, tales como los álnicos y las ferritas puedan no pasar del 1% en el lapso de unos 100 años.

La acción de los campos magnéticos externos puede afectar a un medidor, reduciendo la imanación de las piezas magnéticas que lo integran o frenando el movimiento de una de ellas. El empleo de materiales de alta fuerza coercitiva hace que la pérdida del magnetismo sólo pueda producirse con campos de gran intensidad cuya presencia es muy remoto que suceda. La acción de freno, en cambio, puede llegar a percibirse en algunos aparatos cuya protección no esté debidamente establecida, especialmente cuando el seguidor no sea un imán.

Para evitar estos efectos se emplean blindajes alrededor de la transmisión, constituidos por materiales de gran permeabilidad magnética que impiden la acción externa. Algunas experiencias hechas al respecto indican que, en medidores del tipo de velocidad con seguidores a base de piezas no imanadas, los magnetos de herradura que el público puede adquirir normalmente, no producen problemas cuando existe un blindaje; pero si el aparato no dispone de él, los registros podrán afectarse al colocar la herradura en determinadas posiciones.

#### **4.7.6. Tren de engranajes.**

El tren de engranajes (ruedas dentadas y piñones), tiene como función específica reducir el número de revoluciones que da el elemento móvil del dispositivo de medida al necesario para la correcta indicación en el registrador. Está constituido por un conjunto de engranes en los cuales los impulsores son de menor número de dientes que los impulsados, iniciándose en un piñón y terminando en un engrane.

En su diseño, se emplean parejas de engranajes cuya relación es de uno a cuatro, con lo cual para los volumétricos se requieren de tres a cinco engranes y para los de velocidad de cinco a siete. El último par tiene una proporción diferente que se establece generalmente de acuerdo con el tipo de unidades que se hayan seleccionado para el registrador.

Este último par de engranes, se aprovecha además para establecer correcciones en el registro del medidor, constituyendo así los llamados "piñones de cambio". Variando la proporción entre ellos, es posible ajustar la precisión de un aparato cuyo elemento móvil da un número de revoluciones por litro, superior o inferior al original.

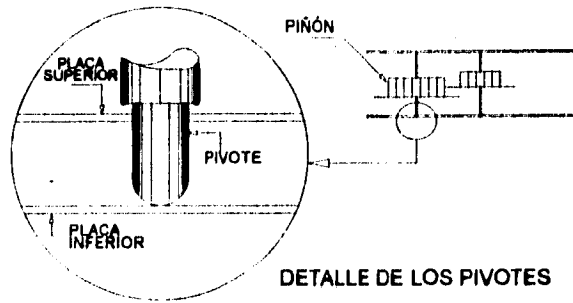


Figura 4.34. Detalle de los pivotes en los trenes de engranaje.

El tren reductor en los medidores de esfera húmeda y en los de esfera seca con transmisión mecánica, queda situado dentro del agua, por tanto, queda sometido a sus efectos. En los de esfera seca se han tomado precauciones para aislarlos, una de ellas consiste en encerrarlos dentro de una caja llena de grasa, con lo cual no solamente se lubrican sino que por ser repelente al agua, preserva a los engranajes contra sus efectos. Esta práctica se ha empleado normalmente en los aparatos volumétricos.

En los de velocidad se suele establecer el tren dentro de una cámara plástica que los separa parcialmente del compartimento donde se encuentra el rotor, comunicándose con él solamente a través del orificio central que da paso el eje del mismo. En esta forma el agua permanece más quieta y con ello se evita el paso de sedimentos que afecten a los engranajes, especialmente si el orificio central es pequeño.

Los piñones y engranes van apoyados sobre dos placas, una superior y otra inferior, que es generalmente doble, lo cual permite que los ejes tengan un perfil como el indicado en la figura 4.34, para facilitar su rotación y reducir los rozamientos.

Las ruedas dentadas se fabrican de níquel, acero inoxidable, bronce y de plástico. En los medidores volumétricos de esfera seca y transmisión mecánica con caja de grasa, se han empleado normalmente los piñones de bronce. En los de velocidad, el níquel o una aleación del mismo, acero inoxidable y los plásticos. Una forma muy usada actualmente consiste en fabricar el engranaje con eje de acero inoxidable y el piñón y rueda dentada de plástico o bien, el eje y el piñón en acero inoxidable y la rueda dentada en plástico, de un modo similar al indicado en la figura 4.35. También se han empleado engranajes totalmente en plástico incluyendo el eje.

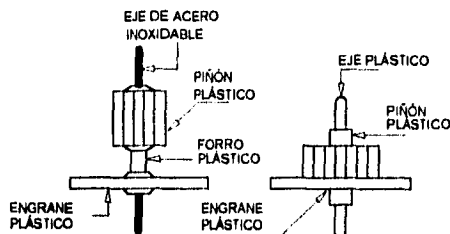


Figura 4.35. Materiales de construcción para los piñones y los engranes.

#### 4.6. Registradores.

El registrador de un medidor es la parte que tiene por objeto, registrar y acumular el consumo aforado por el dispositivo de medida. Esta función la realiza a base de un juego de engranajes cuyo diseño puede hacerse, partiendo de dos principios diferentes:

- a) Lectura Circular.
- b) Lectura Recta.

#### 4.8.1. Lectura circular.

El principio de la lectura circular consiste en dar los registros acumulados del consumo, por medio de agujas que indiquen en sus respectivos cuadrantes cada una de las cifras del número que los expresa.

El mecanismo correspondiente está constituido por un tren de piñones con relación uno a diez; es decir, por cada diez vueltas del impulsor, da una el que corresponde a la cifra siguiente. El número de ruedas dentadas que se emplee por cada cifra da lugar a dos tipos de lectura:

- i) Lectura inversa.
- ii) Lectura directa.

La esfera de un registrador es de lectura inversa, cuando sus cuadrantes van numerados alternativamente en el sentido del reloj y en forma contraria. En este caso se coloca un engranaje por cada cifra.

En cambio, la lectura directa es cuando todos los cuadrantes se leen en el mismo sentido porque llevan las cifras dispuestas en el orden que se muestra en la figura 4.36, para lo cual es indispensable emplear tres piñones por cada dos cifras, de los cuales, el segundo sirve para evitar que se invierta el sentido de rotación en el tercero.

Para tomar el registro de una esfera con lectura circular, debe procederse de derecha a izquierda y cuando una aguja esté próxima a una de las cifras o coincida con ella, se determinará el valor correcto de acuerdo con la posición que tenga la del cuadrante anterior. Junto a cada cuadrante se coloca un número que indica el factor por el cual debe multiplicarse el dato que señala la aguja, a fin de obtener la clase de unidades que la misma representa.

Si se observan los tres cuadrantes de la lectura inversa de la figura 4.36, se tiene que el registro es  $2 \times 100$  (leído en el sentido de las manecillas del reloj), más  $8 \times 10$  (leído en contrasentido a las manecillas del reloj), más  $0 \times 1$  (leído de igual manera que el primero); por lo que la lectura final es de 280 unidades de volumen.



Para los cuadrantes de la lectura directa de la misma figura, la lectura es  $(2 \times 100) + (1 \times 10) + (0 \times 1) = 210$  unidades de volumen, las cuales son leídas en el sentido de las manecillas del reloj.

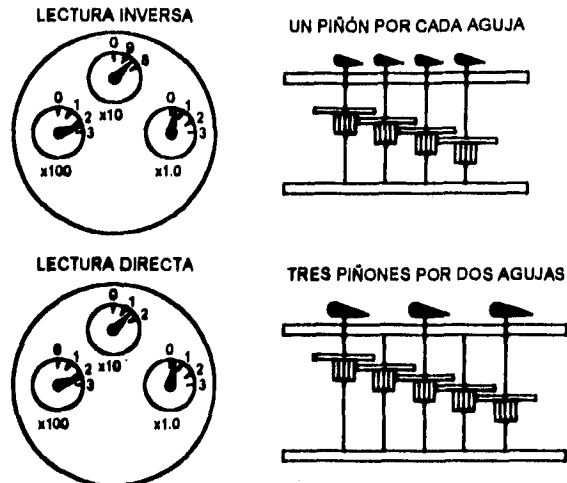


Figura 4.36. Mecanismos utilizados para el registro circular.

#### 4.8.2. Lectura recta.

La lectura recta consiste en registrar continuamente el estado de un medidor por medio de los dígitos que integran el número que lo expresa, colocados en línea recta y en el orden correspondiente. Su mecanismo está constituido por varias ruedas numeradas.

Las ruedas numeradas tienen dientes de engranaje a lo largo de su perímetro en un costado y en el otro llevan solamente un diente. Entre dos ruedas consecutivas va un piñón pequeño que tiene alternativamente un diente largo y uno corto. El conjunto trabaja en tal forma que cualquiera de las ruedas da una vuelta por cada diez de la anterior derecha, pero moviéndose únicamente cuando está pasa de diez a cero en avances parciales de un décimo de revolución.

El eje de las ruedas numeradas queda en un plano horizontal, en cambio los correspondientes al tren de la transmisión son verticales, por tanto el movimiento de esta se comunica por medio de dos piñones cónicos o uno helicoidal.

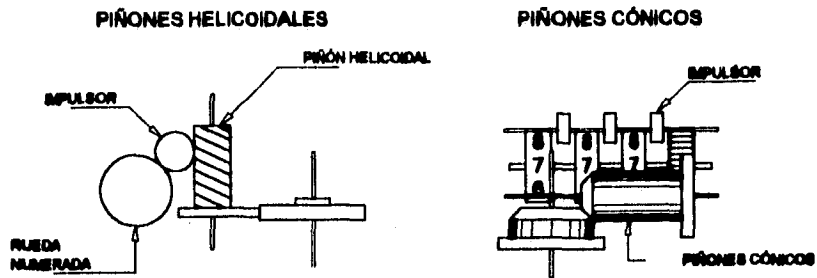


Figura 4.37. Mecanismos de la lectura recta. Transmisión con piñón helicoidal o con piñones cónicos.

Si se realiza una comparación de la lectura recta y circular, se tienen ventajas e inconvenientes. El sistema de las agujas y cuadrantes que caracteriza a la lectura circular es muy simple, de bajo costo y con menos fricciones y rozamientos, es decir, da una mayor sensibilidad. El principal inconveniente lo presenta la lectura de sus cifras que requiere entrenamiento, sobre todo si es del tipo inverso. Sin embargo, hay quienes encuentran en la de tipo circular ventajas tales, como poderse leer a pesar de estar empañado el vidrio o luna, en la misma forma que se puede conocer la hora en un reloj, sin necesidad de números, únicamente observando la posición de sus punteros.

La lectura recta, no cabe duda que es más fácil de leer normalmente. Sus inconvenientes mayores están en las resistencias que oponen al movimiento especialmente las ruedas que indican las cifras de mayor magnitud que giran una vez cuando las de menor magnitud lo han hecho ya cien o mil veces.

La capacidad de un registrador está dada por el mayor número de unidades que puede registrar sin volver a cero, y por la mínima cantidad que permite apreciar. El máximo registro se conoce, en los de lectura recta, por el

número de ruedas que tiene para indicar las unidades enteras. Por ejemplo, en un registrador para metros cúbicos con cuatro ruedas, el mayor volumen que es posible leer en él es de 9999 m<sup>3</sup>. En los de lectura circular, se determina lo mismo, pero con el número de cuadrantes.

Tanto en la lectura recta como en la circular el mínimo registro se puede apreciar en un cuadrante que se ha colocado para este fin en la carátula. Este puede ser pequeño o grande si se aprovecha el primero del muestrario para tal fin. El interés mayor que tiene la apreciación de las mínimas graduaciones está en las pruebas de precisión que se hagan al aparato.

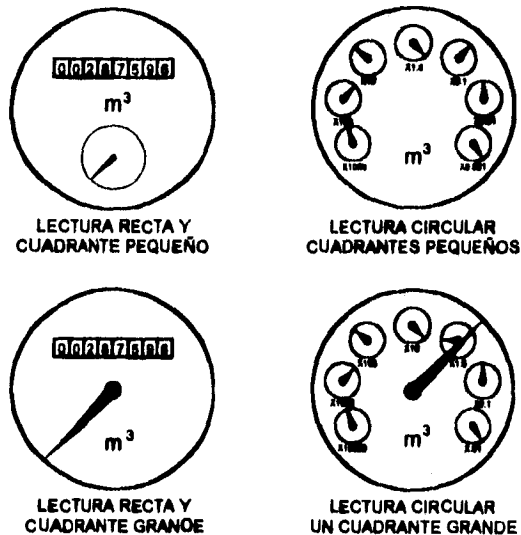


Figura 4.38. Carátulas comerciales de los registradores.

En algunos modelos de lectura recta se ha sustituido el cuadrante por una escala complementaria en la primera rueda de la derecha.

Por otra parte, el conjunto de piezas que constituyen al registrador se aloja dentro de una cápsula que puede dejarlas en contacto con la atmósfera, dentro del

agua, dentro de otro líquido, encerradas herméticamente o bien, encerradas herméticamente y además selladas.

Los principios de lectura circular y recta, combinados con estas cinco formas de alojar las piezas, dan origen a unas ocho variedades del registrador, que es posible encontrar en los modelos existentes.

La adopción de la transmisión magnética permitió no solamente reunir en una sola unidad fuera del agua el tren reductor de la transmisión con las diferentes piezas del registrador, sino además encerrar el conjunto dentro de una cápsula hermética. Esto dio origen a dos tipos de registradores:

a) Esfera hermética.

b) Esfera sellada.

La esfera hermética está constituida por una cápsula partida cuyas piezas se unen entre sí con tornillos, y llevan en sus bordes una empaquetadura que ellos presionan. La luna o vidrio que protege la carátula va provista de otra empaquetadura pegada a la cápsula. En estas condiciones su interior será un recinto hermético, donde una vez apretados debidamente los tornillos, no podrá entrar ni salir el aire, ni tampoco penetrar el polvo u otros elementos inconvenientes.

Dentro de la cámara así formada, se coloca una cápsula porosa que contiene una sustancia deshumidificante, la cual se mantiene activa durante un período largo de años. Ella impide que se presente la condensación del vapor de agua y por tanto, que se empañe la luna. Además, protege a las piezas que allí se alojan contra los efectos de la humedad.

La esfera hermética permite localizar en ella los piñones de cambio y hacer los ajustes cuando sea necesario, lo mismo que reparar los mecanismos de la transmisión y del registrador.

Las esferas selladas son también cápsulas herméticas, pero a diferencia de las anteriores, no llevan tornillos que permitan abrirlas fácilmente. Ellas vienen

cerradas directamente desde la fábrica y por consiguiente, no pueden destaparse sin destruir, por lo menos, una de sus partes. En estas condiciones, es natural que los proveedores den una garantía de buen funcionamiento que cubra un período largo de años, ya que no es posible hacer una inspección previa a sus elementos.

Las esferas selladas vienen cerradas en su espacio interior de dos maneras diferentes, teniendo cada uno de estos sistemas sus propias modalidades, entre las que destacan:

- i) Cierre al vacío.
- ii) Cierre con atmósfera acondicionada.

El cierre al vacío puede hacerse de dos maneras, una empleando empaquetadura y pegante, y otra simplemente cerrándola con un empaque al vacío. Se puede observar que en el segundo caso la esfera es hermética pero no está sellada, puesto que para abrirla es suficiente colocarla en determinada posición y extraer el aire alrededor, sin necesidad de romper ninguna de sus partes. Es decir que el cierre al vacío, para que sea sellado, requiere una empaquetadura y un pegante. Es posible obtener el mismo resultado, a base de una lámina doblada en lugar del pegante.

El grado de vacío debe ser tal que garantice que no se va a presentar en su interior, ningún fenómeno de condensación capaz de empañar la luna. Para esto puede pensarse en un grado inferior a la tensión máxima del vapor de agua a la temperatura del lugar.

Las empaquetaduras y los métodos de pegar y sellar son de gran importancia en estas cápsulas. Cualquier falla puede dar origen a un empañamiento de la luna o a una rápida destrucción de sus piezas interiores, que están diseñadas para trabajar sin aire. El material que se utilice para construirla debe tener condiciones de permeabilidad adecuadas al grado de vacío.

En el modelo de cierre con atmósfera acondicionada es de gran interés el tipo de empaquetadura y el pegante o cierre sellado. La diferencia de presiones entre el exterior y el interior de la cápsula puede dar origen, si falla el sello o la

empaquetadura, a un intercambio del aire entre esas dos partes y por consiguiente a problemas de corrosión, empañamiento, parálisis del mecanismo, etc.

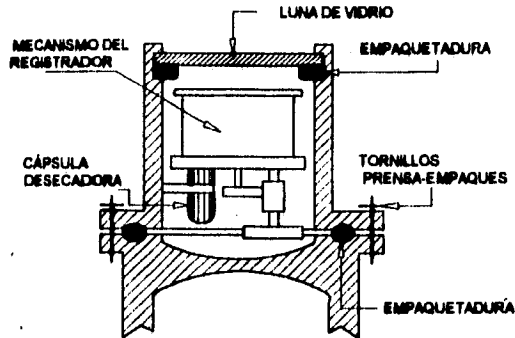


Figura 4.39. Detalle de la esfera hermética de los medidores con transmisión magnética.

#### 4.9. Sistemas de transferencia de registros.

El objetivo principal de un sistema de implantación de medidores, es obtener beneficios que conlleven al mejoramiento de las redes de suministro, de tal manera que haya una distribución justa y equitativa del agua, que junto con el pago de derechos por el uso del servicio, coadyuve al racionamiento de la misma. Para que esto sea posible, es necesario contar con métodos o sistemas que permitan recabar los consumos medidos, a fin de procesar la información en forma más eficiente.

En algunos países como Estados Unidos y Alemania, se diseñaron diversos tipos de transmisores de registros que permitían tomar la lectura o registro del medidor a distancia, sin necesidad de entrar al domicilio. Posteriormente, con el empleo de las computadoras para los procesos de facturación, se diseñaron dispositivos adicionales que facilitan notablemente la entrada de datos. Inclusive, se han desarrollado sistemas que permiten pasar directamente los consumos registrados, aprovechando las redes y equipos telefónicos existentes en las

empaquetadura, a un intercambio del aire entre esas dos partes y por consiguiente a problemas de corrosión, empañamiento, parálisis del mecanismo, etc.

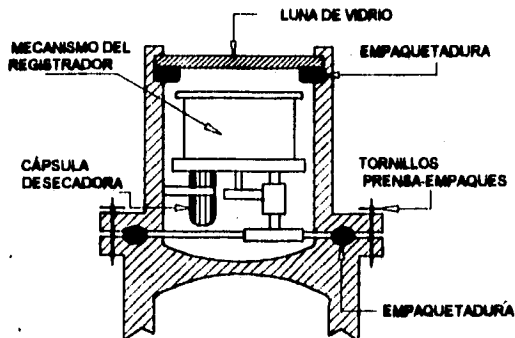


Figura 4.39. Detalle de la esfera hermética de los medidores con transmisión magnética.

#### 4.9. Sistemas de transferencia de registros.

El objetivo principal de un sistema de implantación de medidores, es obtener beneficios que conlleven al mejoramiento de las redes de suministro, de tal manera que haya una distribución justa y equitativa del agua, que junto con el pago de derechos por el uso del servicio, coadyuve al racionamiento de la misma. Para que esto sea posible, es necesario contar con métodos o sistemas que permitan recabar los consumos medidos, a fin de procesar la información en forma más eficiente.

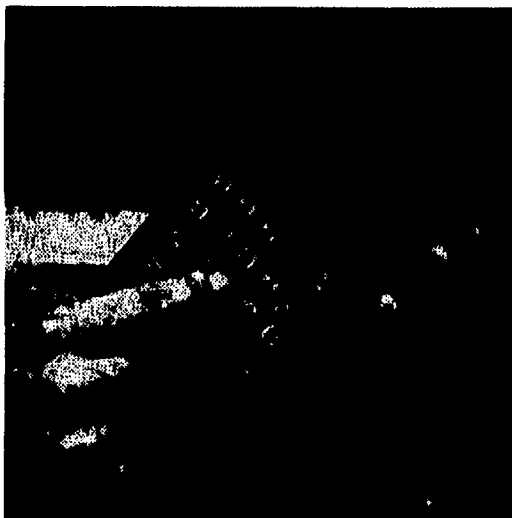
En algunos países como Estados Unidos y Alemania, se diseñaron diversos tipos de transmisores de registros que permitían tomar la lectura o registro del medidor a distancia, sin necesidad de entrar al domicilio. Posteriormente, con el empleo de las computadoras para los procesos de facturación, se diseñaron dispositivos adicionales que facilitan notablemente la entrada de datos. Incluso, se han desarrollado sistemas que permiten pasar directamente los consumos registrados, aprovechando las redes y equipos telefónicos existentes en las

ciudades. En la actualidad, la transferencia de datos por radiofrecuencia (lectura remota) es lo más novedoso y tiende a sustituir los sistemas utilizados con anterioridad. De acuerdo a esto, se conocen tres tipos fundamentales:

- A) Sistema de transferencia visual.
- B) Sistema de transferencia directa.
- C) Sistema de transferencia remota o lectura remota.

#### **4.9.1. Sistema de transferencia visual.**

El sistema de transferencia visual permite recabar la información de la lectura del medidor de manera indirecta, es decir, con la colaboración de un lectorista, el cual tiene la función de anotar en una libreta o en una terminal portátil (figura 4.40), el registro correspondiente.



**Figura 4.40. Terminal portátil utilizada por el lectorista para almacenar los datos registrados por el medidor.**



El personal que labore como lectorista deberá estar bien capacitado para obtener cualquier tipo de lectura.

De acuerdo al lugar donde se toma la lectura se identifican dos tipos de sistemas:

- a) Transferencia visual convencional.
- b) Transferencia visual por pulsos eléctricos.

#### **4.9.1.1. Transferencia visual convencional.**

La transferencia visual convencional, la realiza el lectorista en el lugar donde se ubica la toma predial, es decir, obtiene el registro del medidor en el interior del domicilio, por lo que el proceso de captura es simple y por lo mismo, rentable. Sin embargo, a pesar de ser muy utilizado en el país, presenta diversos problemas, como lo son:

- La imposibilidad de entrar al domicilio a capturar los consumos medidos, debido a diferentes factores inherentes al usuario.
- Posibles errores en la captura de las lecturas debidas al personal, o bien, a las condiciones funcionales del aparato.
- Convenios ilegales entre el usuario y el lectorista para reducir los consumos indicados por el medidor, de tal manera que propicia el deterioro del sistema de suministro y facturación, provocando la ineficiencia del mismo.

#### **4.9.1.2. Transferencia visual por pulsos eléctricos.**

La transferencia visual por pulsos eléctricos emplea elementos adicionales para la recabación del consumo del usuario. Es decir, se instalan en el registrador del medidor, dispositivos adicionales que tienen por objeto hacer que los datos

contenidos en él, se registren fuera del predio, en el muro exterior o en un cuarto especial si se trata de bloques multifamiliares.

Constan de tres partes esenciales: una encargada de tomar el dato en el registrador, otra que lo transmite del medidor al dispositivo exterior, y la última situada en el exterior donde se registra la lectura.

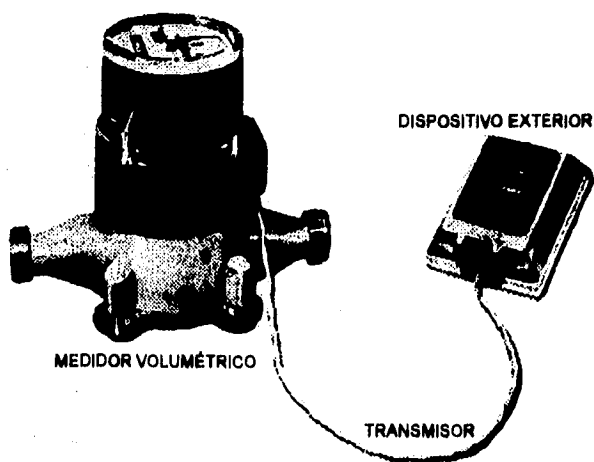
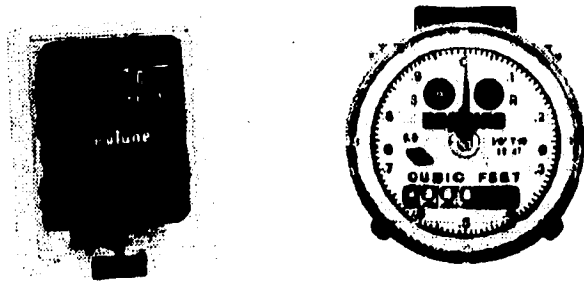


Figura 4.41. El dispositivo adicional instalado en el medidor convencional, es colocado en el muro exterior del domicilio.

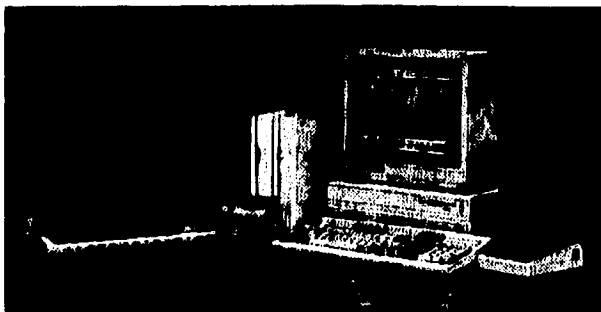
El paso del agua a través del medidor se conduce al registrador, generando un pulso eléctrico para un volumen de agua dado, que reproduce continuamente el registro del medidor al dispositivo exterior. El lectorista lee el aparato exterior y lo anota en una libreta o terminal portátil.

Los problemas ocasionados por la lectura de los medidores instalados en el interior de los domicilios, se reducen con la incorporación de estos tipos de sistemas. Además, ofrece otras aplicaciones, como por ejemplo, en los edificios multifamiliares se puede dotar a cada departamento de un medidor cuyo registro aparezca en un tablero común.



**Figura 4.42.** Los pulsos eléctricos y mecánicos del aparato adicional son reproducidos en el dispositivo exterior, este último mostrado a la izquierda del dibujo. A la derecha, un registrador de lectura recta y cuadrante grande.

La captura de datos se hace en una libreta o en una terminal portátil, y de igual manera que en el sistema convencional, la transferencia de datos se hace a una computadora. Para el caso de la terminal portátil, la transferencia se realiza como lo indica la figura 4.43.



**Figura 4.43.** Transferencia de datos por medio de la terminal portátil hacia la computadora.

Aunque parece que el sistema es novedoso, para algunos países es ya obsoleto, debido al gran avance tecnológico con que cuentan, ya que han desarrollado nuevas alternativas para la transferencia de datos.

#### **4.9.2. Sistema de transferencia directa.**

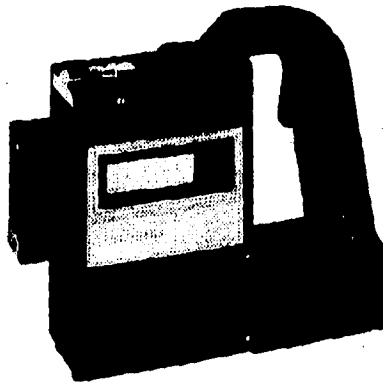
El sistema de transferencia directa elimina la colaboración visual del lectorista, haciendo más eficiente la recabación de los consumos medidos.

El empleo de equipo electrónico para obtener el registro del medidor de manera directa, significa confiabilidad en la información. De esta manera, se identifican dos tipos de sistemas:

- a) Transferencia directa manual.
- b) Transferencia directa computarizada.

##### **4.9.2.1. Transferencia directa manual.**

La transferencia directa manual se realiza de manera similar a la transferencia de pulsos eléctricos, con la diferencia de que la captura del consumo se realiza en forma directa, con un lector electrónico manual como el mostrado en la figura 4.44.



**Figura 4.44.** El lector electrónico de transferencia directa manual, obtiene el consumo medido sin tener que observar los registros el lectorista. La patente del diseño mostrado corresponde a la marca Schlumberger.

Las partes que lo conforman permiten tomar el dato en el registrador, transmitir del medidor al dispositivo situado en el exterior del domicilio, donde el lectorista coloca el lector electrónico manual para almacenar la información. Por lo tanto, el dispositivo exterior se reduce en este caso a un toma corriente, del cual podrá recuperarse la información, en forma similar a la terminal portátil.

Este lector electrónico es, en cierta manera, una terminal portátil, con la característica particular de grabar los datos directamente del dispositivo exterior a la memoria del mismo. De igual manera, con este sistema se evitan los problemas ocasionados por la lectura en el interior del domicilio.



Figura 4.45. El equipo de lectura interroga la memoria del dispositivo exterior e instantáneamente captura la información, para después ser recuperado por un transmisor electrónico hacia una computadora.

El medidor cuenta con un número de identificación, el cual lo clasifica de acuerdo a su ubicación. El dispositivo exterior codifica digitalmente la lectura, para ser leída directamente por el lector electrónico. Una vez que el equipo de lectura interroga a la memoria del sistema, captura el dato instantáneamente para ser recuperado en una computadora por medio de un transmisor electrónico.

#### 4.9.2.2. Transferencia directa computarizada.

La transferencia directa computarizada consiste en conectar el registrador del medidor a la línea telefónica de la casa, de tal manera que la computadora, a las horas de mínima demanda, "llama telefónicamente" a cada medidor. El registrador dispone de un codificador y transmite el dato a razón de 10000 llamadas por hora. El sistema es totalmente automático y elimina al lectorista.

En estas condiciones, el sistema que parte de una modificación del registrador de los medidores, integra en una sola operación automática el proceso de facturación.

#### 4.9.3. Sistema de transferencia remota.

El sistema de transferencia remota o lectura remota utiliza radioseñales de corto alcance transmitidas y recibidas a través de un transmisor/receptor de radiofrecuencia (transpondedor), que unido con un transmisor de alta resolución, pueden ser instalados junto con los medidores.

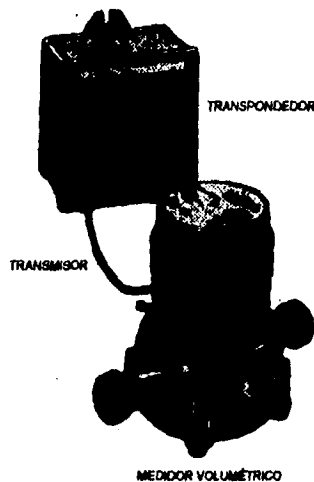


Figura 4.46. Transpondedor remoto conectado al medidor de tipo volumétrico por medio del transmisor de alta resolución.

El transpondedor comunicado al transmisor de alta resolución, forma un sistema automatizado y codificado electrónicamente para la lectura de medidores por radiofrecuencia.

El transpondedor, patentado por Badger Meter, consta de tres secciones. La primera es un transmisor piezoeléctrico de alta resolución, que convierte la entrada de datos del medidor en una señal digital que es compatible con el circuito electrónico del codificador. La segunda es un programa específico almacenado en un circuito integrado, el cual almacena la información de la lectura del medidor y controla el procesamiento para su transmisión. La tercera consiste en un sistema de radiofrecuencia de receptor, transmisor y antena.



Figura 4.47. El transpondedor consta de tres partes: un transmisor piezoeléctrico de alta resolución, un programa específico almacenado en un circuito integrado y un sistema de radiofrecuencia de receptor, transmisor y antena.

El circuito integrado controla todas las funciones del transpondedor remoto. El circuito está normalmente en la modalidad de inactivo para conservar la vida útil de la batería, pero se autoactiva por 15 milisegundos por cada segundo para actualizar la lectura del medidor, revisar el indicador de violación, calcular el código detector de errores y capacitar al receptor para escuchar la señal del lector electrónico. Si no existe una señal, el circuito regresa a su modalidad inactiva para conservar su energía.

Al momento de recibir una señal desde el lector que contenga la señal de sincronía, transfiere su propio número de serie de identificación, incluyendo su

lectura actual, al lector electrónico. La unidad de interrogación o lector recibe y comprueba los datos, y los almacena para ser transferidos a una computadora.

Para asegurar lecturas exactas de medidores, se hacen dos comparaciones durante la interrogación y el almacenamiento de datos. Primero, el transpondedor del medidor responde solamente a una señal específica, que contenga su propio número de serie. Segundo, un código detector de errores está programado y adicionado a los datos del transpondedor, a fin de que los datos del código transmitidos sean comprobados antes de su almacenamiento en el lector electrónico.

Durante el proceso de interrogación es posible que algunas condiciones, como la violación del medidor, sean transmitidas con la lectura del medidor. Estas condiciones de error estarán acumuladas en la memoria de acceso arbitrario (RAM), con la lectura y transferidas con los datos característicos de los medidores.

Se distinguen dos tipos de lectores que interrogan al transpondedor para recibir los datos correspondientes:

- a) Lector remoto portátil.
- b) Lector remoto móvil.

#### **4.9.3.1. Lector remoto portátil.**

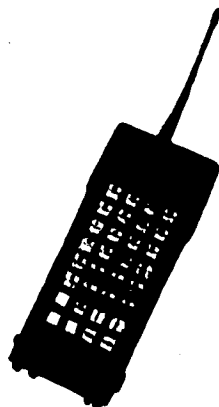
El lector remoto portátil está basado en una microcomputadora, alimentado por baterías y diseñado para la colección automática de datos por señales de radiofrecuencia, registro manual y la programación de los transpondedores durante su instalación.

Se puede transferir los registros de los usuarios entre el lector portátil y una IBM PC, XT, AT, PS/2 ó una computadora 100% compatible, usando el programa autoportado de datos de comunicación. Puede ser utilizado en la recolección automatizada de datos, según la ruta de medidores. También se pueden escribir manualmente lecturas en cualquier momento.



Esta unidad manual funciona también, como programador de las lecturas iniciales de transpondedores en las instalaciones que se modifican, o de reemplazo actualizador, donde se requiere compaginar las lecturas existentes con los números de serie correspondientes.

El lector cuenta con un puerto de acceso con la información de la ruta, incluyendo la dirección, número de serie, nueva lectura y lectura anterior. La salida de datos los almacena en formato ASCII estándar.



**Figura 4.48.** Elemento lector portátil, constituido por un transmisor y receptor de radiofrecuencia, pantalla visual, teclado, fuente de energía recargable y con un almacenamiento de datos hasta de 1000 registros.

El rango de operación de la unidad es de acuerdo a las condiciones en las que se presente, por ejemplo:

Instalación exterior	hasta 45 m
Instalación interior en sótano	hasta 30 m
Instalación en fosas o bóvedas	hasta 15 m

Para asegurar lecturas exactas de medidores, se hacen tres comparaciones durante la interrogación y el almacenamiento de datos. Primero, el transpondedor

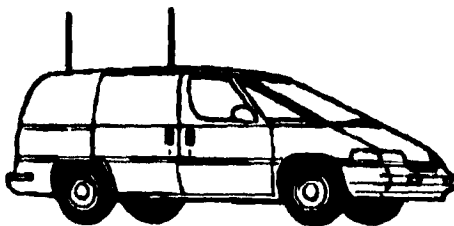
del medidor responde solamente a una señal específica que contenga su propio número de serie. Segundo, un código detector de errores es calculado e incluido en los datos transmitidos por el transpondedor a fin de que sean verificados antes de su almacenamiento en la RAM por el lector portátil. Finalmente se hace una auditoría de rango alto-bajo en el registro. Si la lectura no está entre el rango determinado, aparecerá una señal de advertencia en la pantalla del lector remoto.

Utilizando el lector portátil, el lectorista puede registrar y almacenar información de hasta 1000 medidores al caminar antes de transferirla a una computadora central.

#### **4.9.3.2. Lector remoto móvil.**

El lector remoto móvil permite a los organismos públicos prestadores de servicios de agua, un sistema de lectura precisa y confiable, de recolección de datos de todos los medidores equipados con transpondedores, con el simple hecho de manejar un vehículo con el equipo apropiado a través de una ruta establecida.

Este sistema cuenta con una computadora portátil con pantalla de cristal líquido, teclado, impresora y unidad de disco flexible. La computadora está conectada para controlar el equipo de comunicación que consta de transmisor de interrogación, receptor de interrogación de 20 canales y sistema de navegación.



**Figura 4.49.** El lector móvil cuenta con una microcomputadora con fuente de energía, teclado, transmisor y receptor de radiofrecuencia, antena y con almacenamiento de datos en disco duro de 1.5 MB y disco flexible de 3.5".

Opera de la siguiente manera: basado en la ubicación geográfica dada a la computadora por el sistema de navegación, se manda una señal que contiene una clave de sincronismo y el número de serie propio de los medidores al alcance del lector móvil. Cuando reconoce su número de serie el transpondedor del medidor, transmite datos al lector móvil, incluyendo lectura del medidor, condición de violación y totalización acumulativa.

Los datos en tres canales deben coincidir antes de permitir su procesamiento, que adicionalmente es analizado por el código detector de errores. En este momento se almacenan las lecturas validadas. La velocidad de interrogación y captura de los datos es de 30 medidores por segundo limitado sólo por las condiciones de tráfico y la densidad de instalación de los medidores.

De igual manera que el portátil, el lector móvil provee una salida de datos almacenándolos en formato ASCII estándar, a un disco flexible de 3.5".

El rango de operación depende de la ubicación del medidor y las condiciones ambientales. El alcance de tipo normal es:

Instalación exterior	hasta 450 m
Instalación interior en sótano	hasta 300 m
Instalación en fosa o bóveda	hasta 150 m

En general, con el sistema codificado y electrónicamente automatizado para leer medidores, hasta aquellos ubicados en zonas densamente pobladas pueden ser leídos rápidamente.

Como parte del sistema de modernización de los procesos de lectura y facturación, actualmente en la Ciudad de México se han instalado medidores con diferentes sistemas de transferencia de registros. En los medidores de las marcas Kent y Schlumberger se han instalado los mecanismos de transferencia directa manual, y para los medidores Badger se tienen los mecanismos de lectura remota.

## CAPÍTULO 5

# CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES CONVENCIONALES

### 5.1. Introducción.

Se ha mencionado a lo largo del presente documento la importancia que tienen los medidores para la utilización racional del agua en el sistema de suministro a la población. Debido a la gran demanda de aforo permanente "*in situ*", se han diseñado varios modelos de medidores de acuerdo al principio de funcionamiento explicado en el capítulo anterior.

Las características de los medidores son un conjunto de cualidades específicas que distinguen entre sí a los diferentes tipos y tamaños que se producen. Ellas abarcan varias magnitudes que determinan elementos tales como el tamaño, la capacidad, precisión, etc. y que son fundamentales para el diseño, la fabricación, selección y control de aparatos.

Las características normalizadas de acuerdo con las especificaciones adoptadas, pueden ordenarse en tres grandes grupos:

- A) Características dimensionales y de capacidad.
- B) Características hidráulicas.
- C) Características de medición.

Las dimensionales y de capacidad se refieren a la cantidad de agua que pueden pasar por ellos y a las dimensiones de sus diferentes partes, es decir, establecen el tamaño de los aparatos.

Las hidráulicas indican la relación entre las pérdidas de carga y los flujos que los atraviesan.

Las de medición dan el grado de aproximación con que ellos aforan los diversos consumos.

## **5.2. Características dimensionales y de capacidad.**

Tanto las dimensiones como la capacidad de un medidor se determinan y establecen a base de magnitudes llamadas nominales, que son fijadas por las especificaciones adoptadas para su fabricación.

La práctica seguida en los diferentes países productores, se han establecido alrededor de varios conceptos comunes, entre los que destacan los siguientes:

- a) Capacidad.
- b) Diámetro.
- c) Designación.
- d) Dimensiones.
- e) Presiones del agua.

### **5.2.1. Capacidad.**

La capacidad indica la magnitud de los gastos que puede aforar un tipo de medidor, en determinadas condiciones de acuerdo con las cuales se puede llamar de dos maneras:

- i) Capacidad nominal o gasto característico.

ii) Capacidad real.

**5.2.1.1. Capacidad nominal.**

La capacidad nominal es el volumen de agua que debe pasar por un medidor en la unidad de tiempo determinado, con una pérdida de carga entre sus orificios de entrada y salida igual a un valor convencional fijado por las especificaciones adoptadas para su fabricación.

De manera general, el valor de la pérdida de carga es de 10 m (33 pies) o de 15 libras por pulgada cuadrada, para los medidores empleados en las conexiones de consumo doméstico. Sin embargo, se deben tener en cuenta algunas modalidades de las diferentes especificaciones, tales como las que se muestran en el cuadro de la figura 5.1.

Tipo de medidor	Norma	Capacidad Nominal	Diámetro Nominal	Pérdida de carga
Velocidad	DIN 3260	2 a 30 m <sup>3</sup> /h		10 m
Velocidad	México DGNB 114-1964	2 a 20 m <sup>3</sup> /h	-	10 m
Velocidad	Brasil PEB 147	2 a 30 m <sup>3</sup> /h	-	10 m
Woltmann	DIN 19625	50 a 150 m <sup>3</sup> /h	-	1 m
Volumétrico	AWWA C-700	-	5/8, 3/4 y 1	10.5 m
Volumétrico	AWWA C-700	-	1, 1-1/4, 2, 3, 4 y 6	14 m
Current Meter	AWWA C-701	-	-	14 m
Compound	AWWA C-702	-	-	14 m
Fire Service	AWWA C-703	-	-	2.8 m

Figura 5.1. Especificaciones de los valores de la pérdida de carga para la capacidad nominal.

Para expresar la capacidad nominal se emplean como unidades la de metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) en el sistema métrico decimal, y la de galones por minuto (GPM) en el sistema inglés. En el sistema métrico decimal son muy usadas

series como 2, 3, 5, 7, 10, 20, etc. metros cúbicos por hora; con el sistema inglés se utilizan de 20, 30, 50, 100, 160, 300, etc. galones por minuto. La equivalencia entre un valor y otro es: 1 l/s es igual a 15.85 GPM.

#### **5.2.1.2. Capacidad real.**

La capacidad real es el gasto que pasa por un medidor determinado cuando la pérdida de carga entre sus orificios de entrada y de salida es igual al valor convencional fijado en las especificaciones para establecer la capacidad nominal. Es decir que, si un medidor con capacidad nominal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  se sometiera a una ensayo del cual se obtuviera como resultado una pérdida de 10 m con un gasto de  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , entonces la capacidad real es de  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , sin embargo, la capacidad nominal seguirá siendo de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ . O bien, si por ejemplo decimos que la capacidad nominal de un medidor es de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  tomándose en cuenta las normas mexicanas, y al realizar una prueba se determina que para alcanzar una pérdida de 10 m fue necesario que pasara un gasto de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , entonces la capacidad real estará definida por ésta última, y la capacidad nominal seguirá siendo de  $6 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Puede considerarse por tanto, que la capacidad nominal se refiere al tipo de medidor y la capacidad real a un aparato determinado. Por este motivo es adecuado decir que 10 m es el mayor valor al que puede llegar la pérdida de carga de un medidor, cuando se le hace pasar un gasto igual al de su capacidad nominal. Esto significa que el gasto definido en la capacidad nominal nunca provocará pérdidas mayores a la indicada por los valores de las especificaciones.

En otras palabras, la diferencia entre la nominal y la real consiste en que la capacidad nominal es el gasto que debe pasar mientras que la capacidad real es el gasto que pasa efectivamente.

La capacidad nominal de los medidores, tal como se acaba de detallar, determina el tamaño de los aparatos a base de establecer una pérdida de carga convencional. Sin embargo, en la práctica, ella no da directamente las cantidades de agua que pueden pasar por el medidor sin afectar sus propiedades mecánicas y de medida, por lo cual ha sido necesario establecer algunas limitaciones que constituyen los llamados gastos admisibles.

### 5.2.1.3. Gastos admisibles.

Los gastos admisibles son los volúmenes de agua que pueden pasar por el medidor en un tiempo determinado sin afectar sus propiedades mecánicas y de medición. Esos límites de gastos suelen ser expresados en función de la capacidad nominal de acuerdo con la duración de los flujos y que además pueden llegar a considerarse en último término, como valores que definen la verdadera capacidad de los medidores.

Las recomendaciones que en este sentido han acordado los fabricantes y estipulado incluso en algunas especificaciones, consideran principalmente los siguientes tipos de limitaciones:

1. **Gasto instantáneo máximo.** Es el gasto máximo que puede pasar por un medidor, muy pocas veces por día y por períodos de sólo algunos minutos de duración, **sin detrimento de sus propiedades mecánicas y de medida.**
2. **Volumen de agua admisible por mes.** Es la cantidad de agua que puede pasar durante un mes por el medidor sin detrimento de sus propiedades mecánicas y de medida. Es el más factible de conocer y de controlar, por eso se le toma como base para la selección del tamaño de medidor adecuado al consumo de una instalación domiciliaria. Lo recomendado es 30 veces la capacidad nominal o gasto característico.
3. **Volumen admisible por día.** Es el volumen de agua que se permite pasar continuamente por el medidor durante un día. El número de días que pueden presentar este volumen debe ser tal que no llegue a excederse del total en el mes del volumen máximo mensual. Se recomienda el doble de la capacidad nominal.
4. **Volumen admisible por 10 horas continuas.** Se aplica principalmente en conexiones de tipo industrial y otras de consumo similar como el volumen máximo diario.



**5. Volumen admisible por hora.** Es la cantidad de agua que se permite pasar por el medidor durante períodos de una hora de duración. El número de estos períodos por día debe ser tal que no llegue a exceder en total del volumen máximo admisible para el día.

Las magnitudes correspondientes a cada una de las limitaciones, pueden o no encontrarse incluidas en las especificaciones vigentes adoptadas por cada país. Una revisión de las publicaciones disponibles sobre la materia, conduce a considerar la situación existente de la siguiente manera:

Las normas de la American Water Works Association (AWWA), no estipulan limitación al respecto. Únicamente al final de ellas, entre las varias notas incluidas, como la información referente a la prueba y cuidado de los medidores y no como una parte de las especificaciones, hacen observaciones y recomendaciones tales como:

- a) En la norma C-700 para medidores de desplazamiento positivo, en el estándar adoptado en el año 1946, consideran que para evitar el excesivo desgaste de los medidores, estos deben colocarse en posición horizontal y no trabajarse a velocidades destructivas. Lo anterior significa que para la capacidad dada en las especificaciones represente al valor máximo del flujo que puede pasarse por el aparato en períodos muy cortos o como el volumen pico que se presente solamente a largos intervalos, ya que en forma continua puede ser destructiva y aconsejan para flujos continuos de 24 horas, no operar el medidor a más de un quinto (20%) de su capacidad. Por ejemplo, si se considera un medidor con capacidad nominal de 40 m<sup>3</sup>/h, éste deberá estar trabajando ininterrumpidamente en todo el día con un flujo de 8 m<sup>3</sup>/h para que no se dañen sus mecanismos de medición.

En el estándar que la sustituyó, adoptado en el año 1964 (C-700-64), se encuentra al final la misma observación, pero modificada en el sentido de aceptar para el trabajo continuo de 24 horas, flujos no mayores de un tercio (33.3%) de su capacidad.

- b) En las normas C-701 y C-702 correspondientes a los medidores de velocidad (current type) y compuestos (compound type), se incluye la misma observación limitando los flujos continuos a no más de un tercio de su capacidad.
- c) El "Meter Manual" (AWWA-MG) publicado por primera vez en el Journal de la AWWA en 1959, en su edición del año 1962 en inglés, y en la traducción española del mismo año considera en el Capítulo 4, que los medidores de disco no deben trabajarse en forma continua a más de un 20% de su capacidad, y a más de un 33<sup>1</sup>/<sub>3</sub>% los de velocidad y compuestos, insertando además la tabla denominada 4.1 destinada a mostrar la magnitud que los flujos pueden alcanzar dentro de estas limitaciones. El porcentaje para los de disco, corresponde a la observación que acompaña a la norma C-700-46 que estuvo vigente hasta el año 1964.
- d) Las normas Deutsche International Normen (DIN), no incluyen ninguna estipulación en relación con la limitación de los flujos. Sin embargo, en los antecedentes que acompañan a la publicación de ellas y que contienen una apreciación de las conclusiones a que se llegó durante las reuniones previas verificadas en Freiburg y en Mannheim, entre los meses de septiembre y octubre de 1952, se hace notar que para fijar flujos que se refieran al desgaste de los aparatos se requiere estudiar una serie diversa de factores a base de investigaciones que permitan obtener valores de aplicación general.
- e) Las normas brasileñas para hidrómetros de agua fría, ABNT P-EB-147-1969, establecen en una tabla (Tabla 6-ART. 4.3) los máximos valores para el gasto instantáneo, volumen diario y volumen mensual, cuyas cifras se obtienen de la siguiente manera:
- Gasto instantáneo equivale a la capacidad nominal.
  - Volumen máximo diario equivale al doble de la cifra que indica la capacidad nominal.
  - Volumen máximo mensual igual a la cifra que indica la capacidad nominal multiplicada por 30.

- f) Las normas mexicanas para medidores de agua fría tipo turbina, DGNB-114-1964, en el artículo 1.1.1 establecen el "Gasto Nominal" como la máxima cantidad de agua que es capaz de registrar momentáneamente un medidor y en el Art. 2.2.1.4, se estipula que el rendimiento admisible por día equivaldrá, en todos los casos, a dos veces el gasto nominal y el mensual a 30 veces.
- g) Los catálogos y folletos suministrados por los fabricantes contienen generalmente recomendaciones en relación con las limitaciones de flujo, sobre todo en los cuadros que dan las características de los distintos modelos y tamaños. Como ejemplo puede consultarse el cuadro de la figura 5.2 que es una copia semejante de la que se encuentra en la pág. 20 de la publicación hecha por Medidores Azteca S.A. en 1963, y denominada "Medidores para agua de uso doméstico".

		TIPO DE MEDIDOR	
		Chorro Múltiple	Disco rotante
Gasto Máximo	1 hora al día	0.50 Q	0.60 Q
	10 horas al día	0.20 Q	0.24 Q
	24 horas al día	0.08 Q	0.10 Q
Volumen Máximo	Por día	2.0 Q	2.4 Q
	Por mes	30 Q	36 Q

Q = CAPACIDAD NOMINAL

Figura 5.2. Caudales y volúmenes máximos permisibles en m<sup>3</sup>.

Por ejemplo, para un medidor de chorro múltiple con capacidad nominal de 40 m<sup>3</sup>/h se recomienda que el flujo máximo continuo para una hora al día sea de 20 m<sup>3</sup>/h; para 10 horas de trabajo continuo se tiene como limitante un flujo máximo de 8 m<sup>3</sup>/h; y un flujo máximo continuo de 3.20 m<sup>3</sup>/h para 24 horas. El flujo continuo se refiere al trabajo o funcionamiento ininterrumpido del medidor durante el intervalo especificado.

El volumen máximo que debe registrar ese mismo medidor para un día es de 80 m<sup>3</sup>, y para un mes se tiene un volumen de 1200 m<sup>3</sup>.

h) En resumen, puede decirse que la información contenida en las diferentes publicaciones y especificaciones relativas a los medidores de tipo doméstico que se producen en América, permite llegar a las siguientes conclusiones:

i) La capacidad nominal de un medidor debe considerarse como el valor correspondiente al gasto instantáneo máximo.

ii) En la práctica norteamericana, se recomienda que los medidores volumétricos fabricados de acuerdo con las normas AWWA, no se trabajen en forma continua a flujos superiores de un tercio de su capacidad nominal.

iii) Para los medidores de velocidad, el volumen máximo mensual en metros cúbicos, debe ser la que resulte de multiplicar por 30 la cifra que expresa su capacidad nominal. El volumen máximo diario se obtendrá multiplicando la nominal por dos.

Estas limitaciones son recomendadas para la selección del tamaño del medidor, dependiendo de las condiciones de continuidad del flujo.

### **5.2.2. Diámetro.**

Debido a que el flujo del agua en el interior de los medidores se sucede a través de una serie de secciones diferentes en forma y en tamaño, se hace difícil establecer una dimensión concreta para expresar el diámetro del aparato, y ha sido necesario por esto adoptar una magnitud convencional llamada "Diámetro Nominal".

En principio el diámetro nominal de un medidor es el diámetro del conducto para la cual se diseñó. En la práctica generalmente este valor concuerda con el del interior de los orificios de entrada y salida del aparato. Para

los modelos destinados a conexiones de tipo doméstico, se suele expresar en pulgadas o en milímetros. Las series adoptadas por cada una de las especificaciones se incluyen en el cuadro de la figura 5.3.

AWWA C-700-84	BRASIL P-EB-147-1000		MÉXICO DGNB-114-1064	DIN 3268-1064
( pulg )	( mm )	( pulg )	( mm )	( pulg )
5/8	13	1/2	12	3/4
5/8 x 3/4	18	3/4	15	1
3/4	25	1	20	1-1/2
1	38	1-1/2	25	2
1-1/2	50	2	30	
2			40	
3				
4				
6				

Figura 5.3. Series estándar empleadas por cada especificación para los diámetros nominales.

Diámetro Nominal ( pulg )	AWWA		BRASIL		DIN	
	Diámetro de conexión ( pulg )	Diámetro roscas del acople ( pulg )	Diámetro de conexión ( pulg )	Diámetro roscas del acople ( pulg )	Diámetro de conexión ( pulg )	Diámetro roscas del acople ( pulg )
1/2	-	-	3/4	1/2	-	-
5/8	3/4	1/2	-	-	-	-
5/8 x 3/4	1	3/4	-	-	-	-
3/4	1	3/4	1	3/4	1	3/4
1	1-1/4	1	1-1/4	1	1-1/4	1
1-1/2	2	1-1/2		1-1/2	2	1-1/2

Figura 5.4. Diámetros de la conexión y del acoplamiento que corresponden al diámetro nominal del medidor.

El diámetro nominal, además de servir para designar el tamaño de los medidores, establece las distintas dimensiones de sus conexiones y de las piezas de acople. Las conexiones que se emplean son de dos clases, de rosca y de brida, estas últimas se utilizan solamente con diámetros nominales de 1-1/2 pulgadas y mayores.

Las conexiones roscadas se fabrican empleando rosca recta externa para tubo y su diámetro, que en principio tiene el tamaño siguiente al del diámetro nominal del medidor, está normalizado en las especificaciones de la AWWA, DIN y P-EB-147 del Brasil, como se indica en el cuadro de la figura 5.4.

Además, las conexiones roscadas se diseñan siguiendo dos tipos, uno con el acople plano y otro provisto de un espigo. Las normas AWWA establecen que el diámetro interior del tubo del acople debe ser igual al de los orificios de conexión del medidor; las brasileñas mencionan que el acople debe ser igual al diámetro nominal del medidor, mientras que para las DIN existe una norma complementaria, la DIN-3261-U, que da los valores correspondientes.

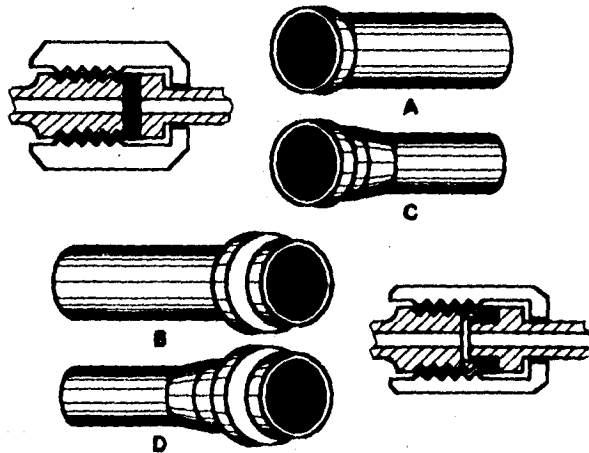


Figura 5.5. Conectores de rosca para medidores domésticos.

La rosca del extremo del acople destinada a conectarse con la tubería domiciliar es cónica y su diámetro corresponde con el diámetro nominal del medidor, excepto para los de 5/8, que es de 1/2 pulgada. La figura 5.4 da los datos correspondientes.

Cuando los medidores se fabrican siguiendo la norma DIN, la conexión a 1/2 pulgada se hace empleando un acople tipo B de la figura 5.5. Existen además algunos medidores que se producen con acople plano y su extremo roscado tiene diámetro de 1 pulgada, en este caso, para conectar a 1/2, se utilizan racores (piezas que conectan al medidor con la tubería de la instalación predial) como los del tipo C, de la misma figura.

### 5.2.3. Designación.

Para la designación del tamaño de los medidores se siguen en general dos prácticas diferentes; una que adopta el diámetro nominal como base, asignándole una capacidad a cada valor de su serie; y la otra que emplea la capacidad nominal como base para la designación, pudiendo utilizar varios diámetros para cada una de ellas o uno mismo para varias.

Cuando se toma como base la capacidad nominal, la designación se hace con el número que expresa la cantidad de agua que pasa por el medidor durante una hora, con un gasto constante e igual a su capacidad nominal. Por ejemplo, en un medidor de 3 m<sup>3</sup> es aquel cuya capacidad nominal es de 3 m<sup>3</sup> por cada hora, llevando grabada en la carcasa y en alto relieve la inscripción 3 m<sup>3</sup> o simplemente el número 3. Puede tener también en el costado opuesto otra inscripción que indique el diámetro nominal.

Las diferentes normas establecen designaciones distintas. El cuadro de la figura 5.6 indica el tipo de designación que emplea cada una y la correspondencia existente entre diámetros y capacidades que, como puede apreciarse, es distinta.

Los que designan por el diámetro llevan grabado en el cuerpo únicamente la cifra que expresa esta magnitud. La figura 5.7 da una idea de los varios métodos empleados en la práctica para indicar la designación.

1. Norma AWWA - Designación por diámetro		
Diámetro ( pulg )	Capacidad nominal	
	( L/h )	( L/s )
5/8	4 536	1.26
5/8 x 3/4	4 536	1.26
3/4	6 804	1.89
1	11 736	3.26
1-1/2	19 785	5.49
2. Norma DIN - Designación por capacidad		
Diámetro ( pulg )	Capacidad nominal	
	( m <sup>3</sup> /h )	( L/s )
3/4	3	0.83
3/4	5	1.39
1	7	1.94
1	10	2.78
1-1/2	20	5.56
3. Normas BRASIL - Designación por capacidad		
Diámetro ( pulg )	Capacidad nominal	
	( m <sup>3</sup> /h )	( L/s )
1/2	2	0.56
3/4	2	0.56
1/2	3	0.83
3/4	3	0.83
3/4	5	1.39
1	7	1.94
1	10	2.78
1-1/2	20	5.56
4. Normas MEXICO - Designación por capacidad		
Diámetro ( mm )	Capacidad nominal	
	( m <sup>3</sup> /h )	( L/s )
12	2	0.56
15	3	0.83
20	5	1.39
25	7	1.94
30	10	2.78
40	20	5.56

Figura 5.6. Tabla que contiene la designación, capacidades y diámetros de los medidores.

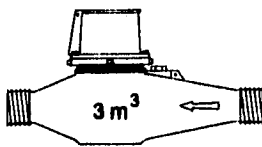


## DESIGNACION DE LOS MEDIDORES

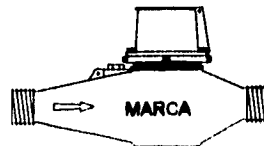
LADO A

LADO B

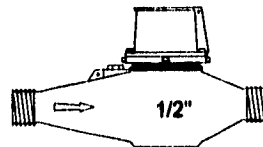
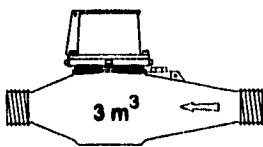
EJEMPLO DE DESIGNACIÓN POR CAPACIDAD (1ª FORMA)



EJEMPLO DE DESIGNACIÓN POR CAPACIDAD (2ª FORMA)



EJEMPLO DE DESIGNACIÓN POR CAPACIDAD Y DIÁMETRO



EJEMPLO DE DESIGNACIÓN POR DIÁMETRO

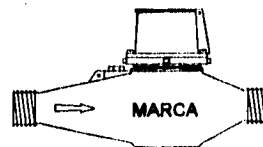
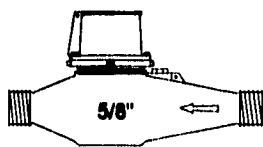


Figura 5.7. Métodos empleados en la práctica para indicar la designación.

En la práctica latinoamericana se emplean varias especificaciones, por esta razón, conviene tener muy en cuenta el aspecto de la designación a fin de evitar confusiones. Por ejemplo, al referirse a un aparato señalándolo solamente como de 3/4, podrá tratarse de un medidor cuya capacidad nominal sea de 2000, 3000, 5000 ó 6804 litros por hora, de acuerdo con la norma que se haya empleado para su fabricación. Es pues aconsejable utilizar siempre el diámetro y la capacidad teniendo en cuenta que, en materia de medidores, a pesar de la designación, es más importante la capacidad que el diámetro.

#### 5.2.4. Dimensiones.

Además de la capacidad nominal y del diámetro, el tamaño del medidor lo establecen también sus dimensiones y de éstas, la más interesante es la longitud que da la distancia entre los extremos roscados.

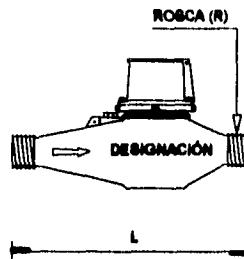


Figura 5.8. Acotaciones utilizadas para el cuadro de la figura 5.8.

Las diferentes especificaciones tienen normalizada esta dimensión para cada tamaño. El cuadro de la figura 5.9 ha sido confeccionado con los datos extractados de ellas, relaciona la longitud con los otros factores y puede considerarse como un resumen de las características de capacidad y tamaño. Permite también concluir que, desde el punto de vista de las conexiones y de la longitud, los medidores de 5/8 x 3/4 fabricados de acuerdo con las normas AWWA C-700, pueden intercambiarse con aparatos de diámetro nominal de 3/4 pulgadas, manufacturados siguiendo otras especificaciones.

COMPARACIÓN DE TIRADAS PARA SUPERFICIAS SUPERFICIONES EMPLEADAS EN CÁMERA LATINA													
Diámetro nominal (pulg)	ANITA C - 700			SM - 200			BRADL - 700 - 147			SÉRIAS SM - 0 114 - 104			
	R (pulg)	Capacidad nominal (milts)	L (mm)	R (pulg)	Capacidad nominal (milts)	L (mm)	R (pulg)	Capacidad nominal (milts)	L (mm)	Diámetro nominal (mm)	R (pulg)	Capacidad nominal (milts)	L (mm)
1/2	-	-	-	-	-	-	R 3/4	2	105	-	-	-	-
5/8	R 3/4	4,5	180	-	-	-	R 3/4	3	105	-	-	-	-
5/8 x 3/4	R 1	4,5	180	-	-	-	-	-	-	15	-	5	180
3/4	R 1	6,8	230	R 1	3	180	R 1	2	180	20	-	5	180
	-	-	-	R 1	5	180	R 1	3	180	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	R 1	5	180	-	-	-	-
1	R 1-1/4	11,7	27,5	R 1-1/4	7	280	R 1-1/4	7	280	25	-	7	280
	-	-	-	R 1-1/4	10	280	R 1-1/4	10	280	-	-	-	-
1-1/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-
1-1/2	-	19,7	323	R 2	20	380	R 2	20	380	40	-	20	380

Figura 5.9. Valores de la designación, capacidad y diámetros de los medidores.

### **5.2.5. Presión del agua.**

Como un complemento a las características de capacidad y tamaño, pueden incluirse las consideraciones referentes a la presión del agua que se tienen en cuenta para el diseño y fabricación de los medidores y que en general se dividen en dos:

- i) Presión de trabajo.
- ii) Presión de prueba.

#### **5.2.5.1. Presión de trabajo.**

La presión de trabajo es la suma de las presiones estática y de sobrepresión que puede ocurrir en el sitio donde vayan a emplearse los medidores. Estas corresponden normalmente a la máxima diferencia de niveles existentes entre las tuberías de distribución en la ciudad y el respectivo plano de carga aumentada de un porcentaje como margen para cubrir las sobrepresiones que se presenten. Generalmente, la máxima carga estática admitida en los diseños de los sistemas de distribución es de 60 a 70 m de columna de agua, y la sobrepresión que se considera de un 50%, es decir que las presiones de trabajo pueden estimarse en unos 105 m de columna de agua, que equivalen a una carga de 150 lb/pulg<sup>2</sup>, valor muy común en los diseños de tuberías, accesorios, etc.

#### **5.2.5.2. Presión de prueba.**

La presión de prueba es la presión a la cual se deben someter los medidores antes de salir de la fábrica y durante un período de tiempo suficiente para determinar que no presentan ninguna clase de fugas, alteraciones ni otra clase de daños. En la práctica la presión de prueba se hace igual a la de trabajo, multiplicada por un factor llamado "coeficiente de seguridad", con lo cual se garantiza que los aparatos pueden operarse a la presión de trabajo especificada. Generalmente, el coeficiente de seguridad se toma igual a un valor entre 1.5 y 2.0.

Por lo que las presiones de prueba correspondientes a una presión de trabajo de 150 lb/pulg<sup>2</sup> son del orden de 225 a 300 lb/pulg<sup>2</sup>.

Es interesante hacer notar que la presión de prueba debe ser siempre mayor que la de trabajo, es decir que el medidor debe ensayarse en la fábrica a una presión superior suficientemente a la que se ha establecido como carga de trabajo, o presión nominal como se suele llamar también.

Las normas empleadas para la fabricación de medidores en América fijan cada una, los correspondientes valores para las presiones a continuación señaladas:

- I) La AWWA C-700, establece como presión de trabajo para los medidores (working pressure), 150 psi.
- II) Las normas DIN-3260, fijan una presión de trabajo (presión nominal) de 10 Kg/cm<sup>2</sup> (142 psi) y una presión de prueba de 16 Kg/cm<sup>2</sup> (227 psi), es decir, emplean un coeficiente de seguridad de 1.6
- III) En México, las normas DGNB-114-1964, estipulan como presión de trabajo 12 Kg/cm<sup>2</sup>.
- IV) En Brasil, las normas P-EB-147-1969 establecen 10 Kg/cm<sup>2</sup> como presión de trabajo (pressão de serviço) y 20 Kg/cm<sup>2</sup> para la prueba de ensayo (ensaio). El coeficiente de seguridad es por tanto de 2.0.

### **5.3. Características hidráulicas.**

Las características hidráulicas se establecen con la relación entre el gasto y la pérdida de carga; entendiéndose por gasto el flujo que pasa a través del medidor en la unidad de tiempo y por pérdida de carga la diferencia de presiones entre los orificios de entrada y salida del aparato cuando fluye el agua, es decir, es la pérdida de energía por unidad de peso.

De modo general puede decirse que la relación entre la pérdida de carga y el gasto en un medidor se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$h_m = kQ^2 \dots\dots (1)$$

en el cual,  $h_m$  representa la pérdida de carga en m de un medidor,  $Q$  el gasto expresado en  $m^3/h$  y  $k$  un coeficiente expresado en  $h^2/m^5$ .

En la práctica, es conveniente considerar dos clases de pérdida de carga. Una que puede denominarse *real*, se obtiene midiendo directamente la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del medidor. La segunda, que puede llamarse *nominal*, se calcula aplicando la ecuación (1) con un coeficiente  $k$  igual a 10 entre la capacidad nominal del medidor. Por ejemplo, para un medidor con capacidad nominal de  $40 m^3/h$  se tendrá un coeficiente  $k$  igual a:

$$k = \frac{10}{Q_n} = \frac{10}{40} = 0.25$$

por lo que la ecuación (1) quedará expresada de la siguiente manera:

$$h_m = 0.25Q^2$$

La pérdida de carga real, representa la que se sucede en un medidor al pasar el agua. En cambio la pérdida de carga nominal indica la que se debería tener para ese mismo flujo de acuerdo a las especificaciones del medidor. En otros términos, puede decirse que la real mide el comportamiento hidráulico de un aparato determinado y la nominal la de un tipo específico.

La pérdida de carga nominal se aplica para la selección del tipo más conveniente de aparatos y en general para diseños. En cambio la real sirve para verificar el estado de un aparato siendo de gran importancia para el control de calidad.

Partiendo de la ecuación (1), es posible calcular la pérdida de carga de un segundo medidor,  $h_{m2}$ , para un flujo  $Q$  cualquiera, si se conoce la pérdida de carga del primer medidor,  $h_{m1}$ , correspondiente a un  $Q_1$  determinado. Con base en una

interpolación lineal y tomando en cuenta a medidores del mismo tipo y con la misma capacidad nominal, se tiene:

$$h_{m1} = kQ_1^2 \quad \text{y} \quad h_{m2} = kQ_2^2$$

$$\frac{h_{m2}}{h_{m1}} = \frac{kQ_2^2}{kQ_1^2} = \frac{Q_2^2}{Q_1^2}$$

$$h_{m2} = \left[ \frac{Q_2^2}{Q_1^2} \right] h_{m1} \dots\dots (2)$$

Tomando las condiciones nominales para el primer medidor, la ecuación (2) se transforma en:

$$h_{m2} = \left[ \frac{Q_2}{Q_n} \right]^2 \times 10 \dots\dots (3)$$

Si el  $Q_2$  se expresa en tanto por ciento de la capacidad nominal, la pérdida de carga resulta:

$$h_{m2} = \left[ \frac{\left( \frac{Q_2}{Q_n} \times 100 \right)}{\left( \frac{Q_n}{Q_n} \times 100 \right)} \right]^2 \times 10$$

$$h_{m2} = \left[ \frac{\%}{100} \right]^2 \times 10$$

$$h_{m2} = \frac{(\%)^2}{1000} \dots\dots (4)$$

Considerando que el segundo medidor trabaja a la mitad de su capacidad nominal, se tiene lo siguiente:

$$h_{m2} = \frac{(50)^2}{1000} = \frac{2500}{1000} = 2.5\text{mca}$$

por lo que la pérdida de carga para un medidor cualquiera que trabaja a la mitad de su capacidad nominal, tendrá una pérdida de carga de la cuarta parte de la correspondiente a la nominal, es decir, 2.5 m.

La ecuación (4), es de gran utilidad para la selección de medidores y permite resolver rápidamente problemas tales como, saber cuál puede ser la pérdida de carga de un medidor de 3 m<sup>3</sup> de capacidad cuando se abre una ducha que arroja 0.5 l/s:

$$Q_2 = 0.50 \text{ l/s}$$

$$Q_n = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 0.83 \text{ l/s}$$

$$\% = \frac{0.50}{0.83} \times 100 = 60\%$$

$$h_{m2} = \frac{(60)^2}{1000} = \frac{3600}{1000} = 3.6 \text{ mca}$$

#### **5.4. Características de medición.**

La calidad de las mediciones que un aparato puede hacer se determina a partir de dos magnitudes denominadas:

- a) Sensibilidad.
- b) Precisión.

##### **5.4.1. Sensibilidad.**

La sensibilidad es el gasto mínimo que registra un medidor e indica el momento en que comienza a efectuarse el registro del flujo de agua.

El valor de la sensibilidad puede expresarse en unidades absolutas o en porcentaje de la capacidad nominal. Por ejemplo, se dice que la sensibilidad de un



medidor de 3 m<sup>3</sup>/h de capacidad nominal es de 15 lph, o también del 0.5% de la capacidad nominal.

La sensibilidad varía con el tipo de aparato. Se considera que es mejor en los medidores volumétricos que en los de velocidad, es decir que estos últimos empiezan a registrar con flujos mayores que los correspondientes a aquellos.

También se tienen como más sensibles a los medidores que no poseen empaquetaduras. La sensibilidad varía además con el uso que ocasiona desgastes, aumento de las resistencias, etc.

Como índice se emplea el "Límite de Sensibilidad", que es el gasto horario prefijado sobre el cual el medidor debe estar registrando.

#### 5.4.2. Precisión.

La precisión es la relación porcentual entre el volumen de agua registrado y el volumen de agua que pasa a través del medidor. Por ejemplo, si el volumen que "pasó" a través de un medidor fue de 80 m<sup>3</sup>, y el medidor registró 40 m<sup>3</sup>, su precisión será del 50%. Pero si hubiera registrado 90 m<sup>3</sup>, tendría una precisión del 112.5%.

En la práctica se emplea más en el concepto de error que el de precisión. Se llama error de un medidor a la diferencia expresada en porcentaje, entre el agua pasada y el agua registrada por el medidor. La resta se hace tomando a la primera como sustraendo, por lo que si el error es negativo, el aparato registra menos que lo pasado (submide o subregistra); y es positivo cuando registra más de lo que pasa (sobremide o sobregistra).

$$\text{Error en } \% (\pm) = \frac{\text{Volumen registrado} - \text{Volumen pasado}}{\text{Volumen pasado}} \times 100$$

Para los ejemplos anteriores, se tendría lo siguiente:

$$\text{Error}_{(1)} = \frac{40 - 80}{80} \times 100 = -50\%$$

Es decir, se tiene un error negativo del 50%, lo que significa que el aparato mide menos de lo que realmente está pasando, por lo que se dice que el medidor submide.

$$\text{Error}_{(2)} = \frac{90 - 80}{80} \times 100 = 12.5\%$$

Sin embargo, para el error positivo de 12.5%, el aparato está midiendo más de lo debido, lo que indica que el medidor sobremide.

Los medidores son fabricados para funcionar dentro de ciertos límites de error, previamente fijados por las normas.

### **5.5. Curvas características.**

El error de registro de un medidor no es una cantidad constante, sino que varía de acuerdo con cada intensidad de flujo. De la misma manera al pasar el agua por el medidor sufre una pérdida de carga, que es característica de cada tipo de aparato. Los fabricantes presentan las curvas características de sus medidores, las cuales sirven para comprobar por medio de pruebas en el taller si los aparatos están trabajando dentro de los límites de error establecidos.

La representación gráfica de esos fenómenos da forma a las "curvas características", denominadas de la siguiente manera:

- a) Curva de errores.
- b) Curva de pérdida de carga.

Se acostumbra presentar la curva de pérdida de carga y la curva de errores en un sólo gráfico para cada tipo y tamaño del medidor, constituyendo así, la curva característica.

### 5.5.1. Curva de errores.

La curva de errores se determina experimentalmente en los bancos de prueba, haciendo pasar por un medidor un flujo de agua inicialmente muy pequeño y luego aumentándolo hasta alcanzar su capacidad nominal. En un sistema de ejes coordenados se representan en el eje de las abscisas los gastos  $Q$  y en las ordenadas los errores  $E$  de registro que corresponden a cada uno de ellos, de los cuales resultará una curva similar a la mostrada en la figura 5.10, cuya tendencia presenta las siguientes modalidades:

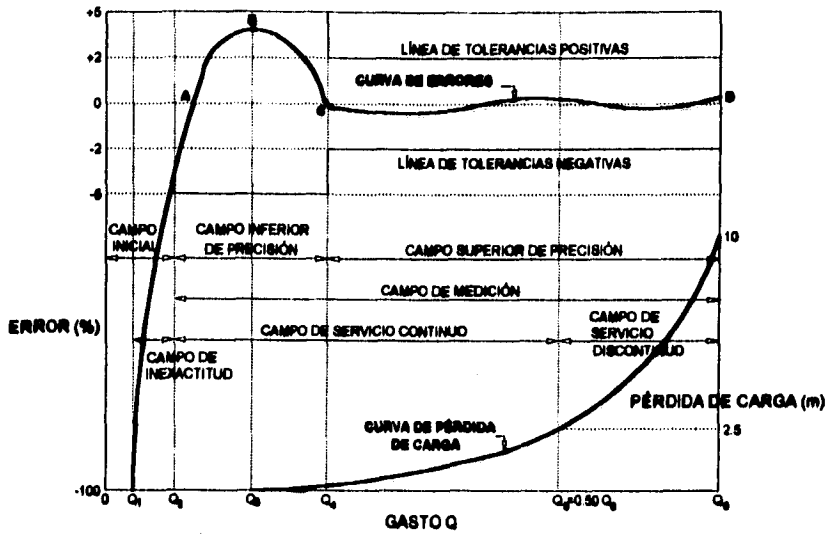
- i) La curva no empieza con flujo cero; existe un valor del gasto menor a  $Q_1$  donde al agua al fluir no puede vencer la resistencia del mecanismo. En estas condiciones, el mecanismo no registra el paso del agua y en consecuencia el error es del 100%.
- ii) A partir del gasto  $Q_1$ , son vencidas las resistencias y la inercia, por lo que se inicia el movimiento del mecanismo, pero sin suministrar indicaciones continuas de consumos. A medida que el gasto aumenta, el error (negativo) disminuye rápidamente, hasta volverse cero en el punto A.
- iii) Al continuar el aumento del gasto, el error pasa a ser positivo y crece hasta alcanzar un máximo B con un gasto  $Q_3$ ; luego, tiende a disminuir y llega nuevamente a cero en C, cuando el gasto es  $Q_4$ .
- iv) Después del punto C, con el aumento del gasto la curva se mantiene horizontalmente oscilando ligeramente alrededor del cero, hasta el gasto máximo  $Q_6$ .

En la gráfica se pueden distinguir tres aspectos importantes:

- a) Elementos de la curva.
- b) Campos de precisión o de medida.
- c) Campo de servicio.

### 5.5.1.1. Elementos de la curva.

Los elementos de la curva están dados de acuerdo a diferentes índices como se señala a continuación:



- Q<sub>1</sub>- INICIO DEL MOVIMIENTO-PUNTO DE ARRANQUE
- Q<sub>2</sub>- LÍMITE INFERIOR DE EXACTITUD
- Q<sub>3</sub>- ERROR MÁXIMO POSITIVO
- Q<sub>4</sub>- GASTO SEPARADOR-LÍMITE DE SEPARACIÓN
- Q<sub>5</sub>- GASTO NORMAL
- Q<sub>6</sub>- GASTO CARACTERÍSTICO-GASTO MÁXIMO

Figura 5.10. Curvas características de los medidores mecánicos. En la parte superior se observa la curva de errores, mientras que en la parte inferior derecha se tiene la de pérdidas de carga.

Las desviaciones positivas y negativas con relación a cero, dentro de las cuales puede variar la magnitud de los errores, son las "líneas de tolerancia", positiva y negativa, es decir, dan a conocer el rango o intervalo de exactitud del medidor.

Los gastos en los cuales cambian los valores de las tolerancias se llaman "puntos singulares" y son los siguientes:

i) Punto donde inicia el movimiento ( $Q_1$ ), se le llama:

- Punto de arranque o de sensibilidad (Colombia).
- Inicio de movimiento (Brasil).
- Límite de sensibilidad (México).

ii) Punto donde empieza el registro dentro de las tolerancias establecidas ( $Q_2$ ), se le llama:

- Límite inferior de exactitud (Colombia, Brasil, México).
- Flujo límite mínimo de prueba (AWWA).
- Límite inferior del campo de medición (DIN).

iii) Punto donde cambian los valores de las tolerancias ( $Q_4$ ), se le llama:

- Límite de separación (Colombia).
- Gasto separador o de transición (Brasil).
- Límite superior de exactitud (México).
- Límite inferior del flujo normal de prueba (AWWA).
- Línea divisoria (DIN).

iv) Punto que corresponde al gasto máximo aceptado ( $Q_6$ ), se le llama:

- Límite superior del campo de medición (Colombia, DIN).
- Gasto característico o nominal (Brasil, México).
- Límite superior del flujo normal de prueba (AWWA).

### **5.5.1.2. Campos de precisión o de medida.**

La forma de la curva y las tolerancias definen tres campos de precisión o de medida:

- i) Campo inicial.
- ii) Campo inferior de precisión.
- iii) Campo superior de precisión.

El *campo inicial* está comprendido entre los gastos  $Q_0$  y  $Q_2$ , donde el medidor no registra o lo hace con errores muy grandes.

El *campo inferior* de precisión está comprendido entre el gasto  $Q_2$  y el gasto  $Q_4$  donde cambia el valor de las tolerancias. En este campo los errores son mayores y el medidor tiende a sobregistrar.

El *campo superior* de precisión que corresponde al sector de la curva comprendido entre el gasto  $Q_4$  y el gasto máximo  $Q_6$  admisible. Es la zona de los menores errores.

### **5.5.1.3. Campos de servicio.**

En la práctica, dentro de la curva de errores, debe considerarse tres campos de servicio:

- i) Inexactitud.
- ii) Servicio continuo.
- iii) Servicio discontinuo.

La *inexactitud* se aplica para flujos comprendidos entre el punto de sensibilidad ( $Q_1$ ) y el límite inferior de exactitud ( $Q_2$ ).

El **servicio continuo** o campo práctico de medición se aplica para los flujos comprendidos entre el límite  $Q_2$  y el 50% del gasto máximo admisible (gasto  $Q_5$ ) o *gasto normal*.

El **servicio discontinuo** está comprendido entre el gasto normal  $Q_5$  y el gasto máximo  $Q_6$ .

La precisión de los registros en los medidores volumétricos, depende principalmente de la separación o juego que exista entre las paredes del elemento móvil de medición y las de la cámara de medida correspondiente. Por consiguiente, la curva de errores variará de acuerdo con el grado de ajuste que tengan entre sí las piezas del elemento móvil de medición.

En los medidores de velocidad, la precisión depende del efecto resultante de los esfuerzos producidos por el flujo de agua sobre el rotor y las correspondientes secciones.

La tendencia que muestran en su forma general las curvas de errores, es diferente según se trate de medidores volumétricos o de velocidad.

Los medidores de velocidad están provistos de un dispositivo de regulación que permite ajustar los valores de la curva de errores, dentro de ciertos márgenes. También, algunos fabricantes dan la posibilidad de regular los aparatos, permitiendo la variación de posición de los nervios radiales (bafles, crucetas o aspas) colocados en el fondo y en la tapa de la cámara de medida que definen la forma de curva de errores.

La diferencia entre los errores presentados con un flujo determinado, correspondientes a las posiciones extremas del regulador, constituyen el "campo de regulación" del medidor.

Para cada flujo y cada medidor pueden obtenerse experimentalmente curvas de regulación, determinando el error del aparato correspondiente a las posiciones del dispositivo regulador. La forma de las curvas varía de acuerdo con el gasto presentado. Esas curvas facilitan el trabajo de regulación, reparación y ajuste por los operarios del taller.

### **5.5.2. Curva de pérdida de carga.**

En la curva de pérdida de carga se muestra un aspecto muy importante de la hidráulica del aparato. El agua, al atravesar el medidor, pierde parte de su energía por causa del accionamiento de sus elementos móviles y de las resistencias ofrecidas a su paso por los diversos conductos.

La pérdida de carga en un medidor es función del tipo de aparato, de su tamaño y de los flujos que lo atraviesan. Siendo función del gasto, la pérdida de carga puede representarse con la ecuación (1) dada anteriormente.

La curva es aproximadamente igual a una parábola que pasa por el origen del sistema de coordenadas. Se obtiene midiendo puntos determinados por la pérdida de carga (diferencia entre las presiones marcadas por manómetros colocados uno a la entrada y otro a la salida del medidor) para cada gasto que se haga pasar.

Para resaltar las modalidades interesantes de las curvas de errores y de pérdida de carga, convencionalmente se emplean diferentes escalas en los ejes coordenados, en vez de utilizar únicamente escalas aritméticas tanto para las ordenadas como para las abscisas.

Una forma usual de rayado puede hacerse usando para las abscisas tres módulos logarítmicos: uno que abarca los gastos menores del 1% de la capacidad nominal o gasto característico; un segundo, del 1% al 10% de la capacidad; y un tercero, del 10% al 100%. En la parte inferior se indican los porcentajes y en la superior los gastos correspondientes.

Para las ordenadas se usan dos escalas: una aritmética, dividida de 1 en 1, que representa los errores comprendidos entre +10% y -10%, y va en la parte superior de la cuadrícula; otra, de escala logarítmica, para los errores comprendidos entre -10% y -100%, que va en la parte inferior.



### **5.5.2. Curva de pérdida de carga.**

En la curva de pérdida de carga se muestra un aspecto muy importante de la hidráulica del aparato. El agua, al atravesar el medidor, pierde parte de su energía por causa del accionamiento de sus elementos móviles y de las resistencias ofrecidas a su paso por los diversos conductos.

La pérdida de carga en un medidor es función del tipo de aparato, de su tamaño y de los flujos que lo atraviesan. Siendo función del gasto, la pérdida de carga puede representarse con la ecuación (1) dada anteriormente.

La curva es aproximadamente igual a una parábola que pasa por el origen del sistema de coordenadas. Se obtiene midiendo puntos determinados por la pérdida de carga (diferencia entre las presiones marcadas por manómetros colocados uno a la entrada y otro a la salida del medidor) para cada gasto que se haga pasar.

Para resaltar las modalidades interesantes de las curvas de errores y de pérdida de carga, convencionalmente se emplean diferentes escalas en los ejes coordenados, en vez de utilizar únicamente escalas aritméticas tanto para las ordenadas como para las abscisas.

Una forma usual de rayado puede hacerse usando para las abscisas tres módulos logarítmicos: uno que abarca los gastos menores del 1% de la capacidad nominal o gasto característico; un segundo, del 1% al 10% de la capacidad; y un tercero, del 10% al 100%. En la parte inferior se indican los porcentajes y en la superior los gastos correspondientes.

Para las ordenadas se usan dos escalas: una aritmética, dividida de 1 en 1, que representa los errores comprendidos entre +10% y -10%, y va en la parte superior de la cuadrícula; otra, de escala logarítmica, para los errores comprendidos entre -10% y -100%, que va en la parte inferior.

## **5.6. Toma domiciliaria.**

La toma domiciliaria es la parte del sistema de abastecimiento que provee de agua a un predio como se muestra en la figura 5.11. Su función principal es la derivación del agua de la red de distribución hacia la instalación hidráulica intradomiciliaria. Se compone de dos conjuntos principales:

- a) Ramal.
- b) Cuadro.

### **5.6.1. Ramal.**

El ramal es la parte de la toma que inicia en el acoplamiento con la red de distribución y concluye en el codo inferior del tubo vertical del cuadro.

Para la instalación, conexión y operación es necesario que el ramal esté conformado por las siguientes piezas:

- **Acoplamiento.** Es la pieza que se coloca en la tubería de distribución para proporcionar el medio de sujeción adecuado para recibir al insertor (válvula de inserción o adaptador).

**Insertor.** Permite unir el acoplamiento con el tubo del ramal, roscándose en la abrazadera. Existen modelos adaptables a los diferentes tipos de tubería.

Los insertores también reciben el nombre de válvulas de inserción cuando cuentan con un dispositivo de cierre de 1/4 de vuelta. Su función es controlar la salida del líquido y permitir tanto la instalación del ramal como cualquier maniobra de reparación. Las piezas que no disponen de este mecanismo se conocen como conectores o adaptadores.

- **Tubo flexible.** Es la parte del ramal que permite desplazamientos diferenciales entre la red de distribución y la toma domiciliaria, por esta

razón debe formarse un "cuello de ganso" en su instalación. Las tuberías de plomo son las más usadas en la parte del ramal, situación que se pretende modificar atendiendo a las recomendaciones internacionales relacionadas con el uso de ese material en los sistemas de abastecimiento de agua, para preservar su calidad.

- **Llave de banqueta.** Permite el corte del flujo a la toma, tanto para realizar reparaciones como para limitar el servicio sin necesidad de volver a excavar, ya que tiene acceso desde el exterior a través de la caja de banqueta.
- Tradicionalmente se ha utilizado la llave de banqueta, sin embargo, debido a los problemas de mantenimiento se ha considerado sustituirla por una válvula en el primer tramo vertical del cuadro.
- **Tubo rígido.** Es el elemento localizado entre la llave de banqueta y el codo inferior del tubo vertical, el material de su composición es de cobre rígido o fierro galvanizado. Su instalación es opcional ya que se puede continuar con el tubo flexible.
- **Codo inferior.** Su función es unir el tubo del ramal con el cuadro de la toma domiciliaria.
- **Conectores y coples.** Son elementos que permiten la unión entre las piezas que integran el ramal; básicamente se usan tanto en la unión de la tubería al insertor, como a la llave de banqueta y al codo que une el ramal con el cuadro.

### **5.6.2. Cuadro.**

El cuadro es la parte visible de la toma domiciliaria que por regla general se localiza dentro del predio del usuario.

En promedio las dimensiones del cuadro son: 0.60 m de altura a partir del nivel de piso, lo que permite tomar lecturas del medidor en una posición aceptable;

y 0.50 m de largo aproximadamente, con objeto de tener espacio suficiente para colocar el medidor y los accesorios que se requieren.

El cuadro está formado por las siguientes partes:

- **Tubos rígidos.** Son colocados en posición horizontal y vertical.
- **Codos.** Sirven para dar cambio de dirección al flujo de agua.
- **Medidor.** Es el aparato que cuantifica el volumen de agua que ingresa a la instalación intradomiciliaria del usuario, y su elección depende de la calidad del agua y los consumos por registrar.
- **Adaptadores.** Se utilizan para ajustar, cuando se requiera, las dimensiones del cuadro o dejar una preparación cuando la instalación del medidor se posponga.
- **Válvula de compuerta.** Es usada para cortar el flujo de agua hacia el predio cuando se realicen acciones de mantenimiento en la red.
- **Válvula macho o de esfera.** Específicamente se utiliza para limitar o cortar el flujo de agua al predio.
- **Tee.** Es el elemento que deriva el agua hacia la llave de manguera.
- **Llave de manguera.** Es la primera llave de uso para el propietario del inmueble y es el elemento que se emplea para: tomar muestras de agua y verificar su calidad, probar el funcionamiento del medidor y medir la presión disponible a nivel de tomas.

#### **8.7. Análisis hidráulico de la toma domiciliaria.**

Dadas las características de una toma domiciliaria, es necesario conocer las pérdidas de carga por fricción y accesorios para tomar en cuenta la carga total requerida para abastecer al predio y compararla contra la carga total de diseño.

Las consideraciones realizadas para el cálculo de la carga total requerida en la toma domiciliaria, son las siguientes:

- La toma domiciliaria regularmente está constituida por el ramal y el cuadro, sin embargo, la red del usuario es muy variable por lo que se considera la sección estándar mostrada en la figura 5.11.
- La carga de velocidad es despreciable en comparación al valor de la carga de presión en el eje de la red de distribución (punto A). Por lo tanto, la carga de diseño es de 15 m, valor que representa la carga de presión mínima recomendada por las normas (10 m) más el 50% del valor de la misma como factor de seguridad.
- El análisis de pérdidas se realizará con tres gastos diferentes: un gasto ideal de 0.20 l/s, un gasto de 0.07 l/s y un gasto aproximado de 0.05 l/s que suele presentarse en tomas domiciliarias de viviendas.
- Para el insertor, la válvula de flotador y la llave de banqueteta, los valores de "K" se supusieron a partir de otros elementos que caracterizan su funcionamiento.
- El diámetro interior considerado es de 13 mm para toda la tubería, a partir del acoplamiento hasta la descarga al tinaco de la vivienda.
- Se tomará en cuenta un medidor con capacidad nominal de 3 m<sup>3</sup>/h de acuerdo a las características señaladas con anterioridad.
- La longitud de la tubería de plomo flexible del ramal está definida desde el acoplamiento hasta la unión con la llave de banqueteta con un valor aproximado de 5 m.
- La longitud de la tubería de fierro galvanizado del ramal está definida a partir de la llave de banqueteta hasta el codo inferior con un valor aproximado de 3 m.

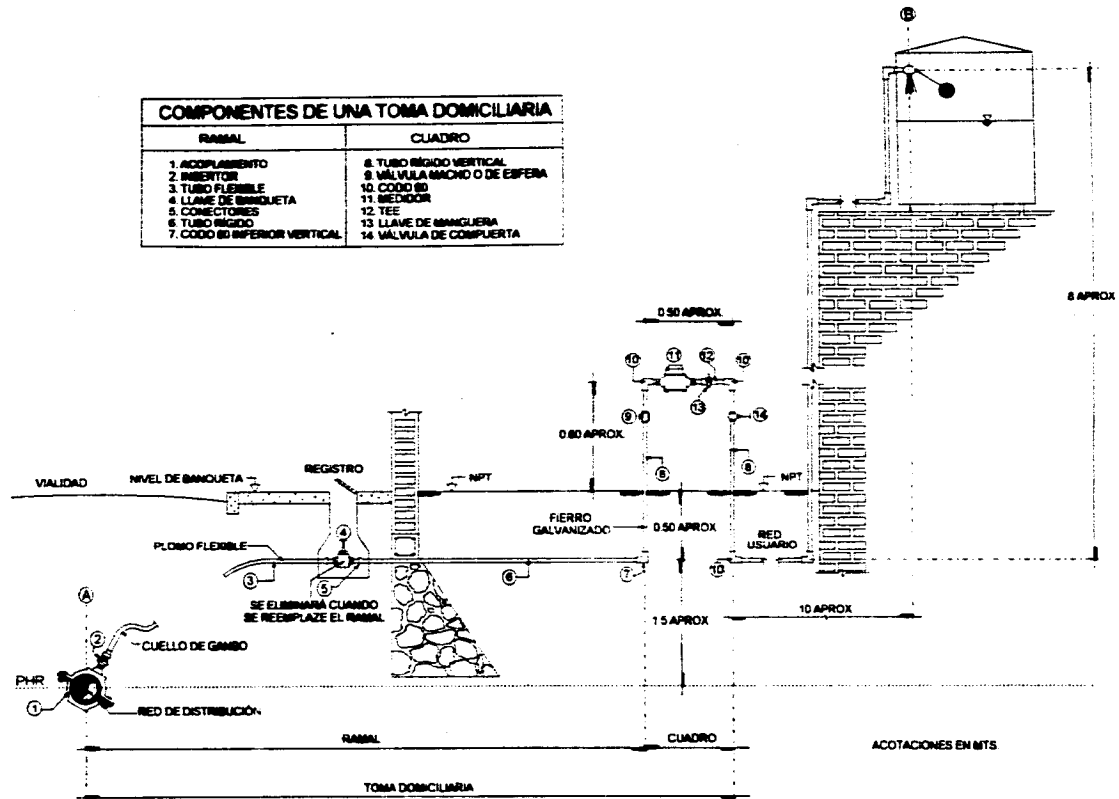


Figura 5.11. Detalle general de la toma domiciliar de agua potable.

Dadas las consideraciones anteriores y de acuerdo a la figura 5.11, se tienen los siguientes datos constantes para los tres casos en común:

Carga total de diseño:  $H_A=15$  m

Carga total requerida:  $H_B=H_E+H_D$

Carga estática:  $H_E=9.5$  m

Carga dinámica:  $H_D=h_f+h_L+h_{Medidor}$

Diámetro interno de la tubería:  $D=13$  mm

Longitud total de la tubería de plomo:  $L_1=5$  m

Rugosidad del plomo:  $\epsilon_1=0.10$  mm

Rugosidad relativa del plomo:  $\frac{\epsilon_1}{D} = 0.00769$

Longitud total de la tubería de fierro galvanizado:  $L_2=20.7$  m

Rugosidad del fierro galvanizado:  $\epsilon_2=0.15$  mm

Rugosidad relativa del fierro galvanizado:  $\frac{\epsilon_2}{D} = 0.01154$ ,

Viscosidad cinemática:  $\nu=1.1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

Coefficientes "K" de fricción para los accesorios:

- Pérdida por entrada:  $k_e=0.5$
- Insertor:  $k_i=6$
- Llave de banqueta:  $k_b=6$
- Codo:  $k_c=2$
- Válvula de esfera:  $k_{ve}=0.25$
- Tee:  $k_t=2.3$
- Válvula de compuerta:  $k_{vc}=0.3$
- Válvula de flotador:  $k_{vf}=2$

### 5.7.1. Análisis con un gasto de 0.2 l/s.

Con el gasto considerado se obtiene la velocidad correspondiente al diámetro establecido:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4(0.00020)}{\pi(0.013)^2} = 1.51 \text{ m/s}$$

El primer paso es calcular la pérdidas de carga por fricción de la tuberías que se tienen. Para ello, es necesario conocer el coeficiente de fricción "f" de cada material utilizado, el cual se obtendrá del "Diagrama de Moody que aparece en la referencia 24 de la bibliografía, en la página 232".

Para conocer el coeficiente  $k$  es necesario calcular el número de Reynolds y, junto con la rugosidad relativa de cada material, obtener el valor deseado en la gráfica correspondiente:

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{1.51(0.013)}{1.1 \times 10^{-6}} = 17846 \text{ ó } 1.7846 \times 10^4$$

El plomo tiene una rugosidad relativa de  $\frac{\epsilon_1}{D} = 0.00769$ , por lo que el valor del coeficiente de fricción está definido por:

$$f_1 = 0.038$$

El fierro galvanizado tiene una rugosidad relativa de  $\frac{\epsilon_2}{D} = 0.01154$ , por lo que el valor del coeficiente es el siguiente:

$$f_2 = 0.0428$$

Los factores obtenidos son utilizados para el cálculo de las pérdidas por fricción de la siguiente manera:

$$h_f = \left( \frac{f_1 L_1}{D} + \frac{f_2 L_2}{D} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \left( \frac{0.038 \times 5}{0.013} + \frac{0.0428 \times 20.7}{0.013} \right) \frac{(1.51)^2}{19.62} = 9.62 \text{ m}$$

El siguiente paso es el cálculo de las pérdidas locales, es decir, las pérdidas de carga provocadas por los accesorios:



$$h_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (k_e + k_i + k_b + k_c + k_{vw} + k_f + k_{vc} + k_{vf}) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 19.35 \times \frac{(1.51)^2}{19.62} = 2.25 \text{ m}$$

Por último, se consideran las pérdidas provocadas por el medidor y su cálculo se realiza a partir de la ecuación (4) señalada en el punto 5.3., por lo que se tiene lo siguiente:

$$Q_2 = 0.20 \text{ l/s}$$

$$Q_n = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 0.83 \text{ l/s}$$

$$\% = \frac{0.2}{0.83} \times 100 = 24$$

$$h_{\text{Medidor}} = \frac{(24)^2}{1000} = 0.58 \text{ m}$$

Entonces, la pérdida total que se genera en una toma domiciliaria con un gasto de 0.2 l/s es la siguiente:

$$H_D = h_f + h_L + h_{\text{Medidor}}$$

$$H_D = 9.62 + 2.25 + 0.58 = 12.45 \text{ m}$$

Obteniendo la carga total requerida y comparando con la carga total de diseño se tiene lo siguiente:

$$H_B = H_E + H_D = 9.5 + 12.45 = 21.95 \text{ m}$$

$$H_A = 15 \text{ m}$$

$$H_A < H_B$$

lo que significa que la carga total de diseño no tiene la suficiente energía para subir el agua al tinaco de 8 m de altura, por lo que es necesario la construcción de una cisterna que permita almacenarla y después bombearla al tinaco.

### 6.7.2. Análisis con un gasto de 0.1 l/s.

De igual manera se obtiene la velocidad correspondiente al gasto y área establecidos:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(0.00010)}{\pi(0.013)^2} = 0.75 \text{ m/s}$$

Posteriormente, con el cálculo del número de Reynolds y la rugosidad relativa del plomo y fierro galvanizado, se obtendrá los coeficientes de fricción respectivos para la obtención de las pérdidas por fricción.

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{0.75(0.013)}{1.1 \times 10^{-6}} = 8864 \text{ ó } 8.864 \times 10^3$$

La rugosidad relativa del plomo es de  $\frac{\epsilon_1}{D} = 0.00769$ , por lo que el valor del coeficiente de fricción está definido por:

$$f_1 = 0.041$$

La rugosidad del fierro galvanizado es de  $\frac{\epsilon_2}{D} = 0.01154$ , por lo que el valor del coeficiente es el siguiente:

$$f_2 = 0.045$$

$$h_f = \left( \frac{f_1 l_1}{D} + \frac{f_2 l_2}{D} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \left( \frac{0.041 \times 5}{0.013} + \frac{0.045 \times 20.7}{0.013} \right) \frac{(0.75)^2}{19.62} = 2.51 \text{ m}$$

Obtenidas las pérdidas por fricción, se realiza el cálculo de las pérdidas locales como se indica a continuación:

$$h_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (k_e + k_1 + k_b + k_c + k_{ve} + k_t + k_{vc} + k_{vf}) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 19.35 \times \frac{(0.75)^2}{19.62} = 0.56 \text{ m}$$

Por último, se consideran las pérdidas provocadas por el medidor como en el caso anterior utilizando la ecuación (4):

$$Q_2 = 0.10 \text{ l/s}$$

$$Q_n = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 0.83 \text{ l/s}$$

$$\% = \frac{0.1}{0.83} \times 100 = 12$$

$$h_{\text{Medidor}} = \frac{(12)^2}{1000} = 0.144 \text{ m}$$

Entonces, la pérdida total que se genera en una toma domiciliaria con un gasto de 0.1 l/s es la siguiente:

$$H_D = h_f + h_L + h_{\text{Medidor}}$$

$$H_D = 2.51 + 0.56 + 0.144 = 3.214 \text{ m}$$

Obteniendo la carga total requerida y comparando con la carga total de diseño se tiene lo siguiente:

$$H_B = H_E + H_D = 9.5 + 3.214 = 12.714 \text{ m}$$

$$H_A = 15 \text{ m}$$

$$H_A > H_H$$

lo que significa que la carga total de diseño si tiene suficiente energía para subir el agua al tinaco de 8 m de altura.

### 5.7.3. Análisis con un gasto de 0.05 l/s.

El cálculo de la velocidad para el gasto considerado es el siguiente:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(0.000050)}{\pi(0.013)^2} = 0.38 \text{ m/s}$$

por lo que el número de Reynolds es:

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{0.38(0.013)}{1.1 \times 10^{-6}} = 4491 \text{ ó } 4.4 \times 10^3$$

La rugosidad relativa del plomo es de  $\frac{\epsilon_1}{D} = 0.00769$ , por lo que el valor del coeficiente de fricción está definido por:

$$f_1 = 0.0455$$

La rugosidad del hierro galvanizado es de  $\frac{\epsilon_2}{D} = 0.01154$ , por lo que el valor del coeficiente es el siguiente:

$$f_2 = 0.0487$$

Aplicando la fórmula para la obtención de las pérdidas de carga, se tiene lo siguiente:

$$h_f = \left( \frac{f_1 L_1}{D} + \frac{f_2 L_2}{D} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \left( \frac{0.0455 \times 5}{0.013} + \frac{0.0487 \times 20.7}{0.013} \right) \cdot \frac{(0.38)^2}{19.62} = 0.70 \text{ m}$$

Obtenidas las pérdidas por fricción, se realiza el cálculo de las pérdidas locales como se indica a continuación:

$$h_L = k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (k_e + k_i + k_b + k_c + k_{ve} + k_t + k_{vc} + k_{vf}) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 19.35 \times \frac{(0.38)^2}{19.62} = 0.14 \text{ m}$$

Por último, se consideran las pérdidas provocadas por el medidor como en el caso anterior utilizando la ecuación (4):

$$Q_2 = 0.05 \text{ l/s}$$

$$Q_n = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 0.83 \text{ l/s}$$

$$\% = \frac{0.05}{0.83} \times 100 = 6$$

$$h_{\text{Medidor}} = \frac{(6)^2}{1000} = 0.036 \text{ m}$$

Entonces, la pérdida total que se genera en una toma domiciliaria con un gasto de 0.05 l/s es la siguiente:

$$H_D = h_f + h_L + h_{\text{Medidor}}$$

$$H_D = 0.70 + 0.14 + 0.036 = 0.876 \text{ m}$$

Obteniendo la carga total requerida y comparando con la carga total de diseño se tiene lo siguiente:

$$H_B = H_E + H_D = 9.5 + 0.876 = 10.376 \text{ m}$$

$$H_A = 15 \text{ m}$$

$$H_A > H_B$$

De igual manera que en el caso anterior, la carga total de diseño es suficiente para que el agua llegara al destino deseado.

### 5.8. Resultados y comparaciones.

Para una mejor visualización de los resultados se presenta la tabla de la figura 5.12:

GASTO (l/s)	PÉRDIDAS			CARGAS		
	Fricción (m)	Locales (m)	Medidor (m)	Dinámica (m)	Estática (m)	Total (m)
0.20	9.62	2.25	0.58	12.45	9.5	21.95
0.10	2.51	0.56	0.144	3.214	9.5	12.714
0.05	0.70	0.14	0.036	0.876	9.5	10.376

Figura 5.12. Valores de las pérdidas ocasionadas por los gastos considerados y de las cargas requeridas en la instalación domiciliaria.

Si se observan los valores totales de la carga requerida para los diferentes gastos, se deduce que las curvas de pérdidas contra tiempo resultan ser una parábola, por lo que un pequeño aumento del gasto implica un aumento considerable en las pérdidas.

Estos valores de la carga total requerida están referidos con la carga total de diseño, sin embargo, la presión mínima por normas es de 10 m, de tal manera que los valores requeridos deben ser superiores a la mínima recomendada.

Además, la carga de diseño mínima no se cumple en la mayoría de las redes de distribución, lo que implica limitaciones de abasto y por consiguiente, la construcción de las cisternas que almacenan apropiadamente el flujo que abastece a la vivienda.

Para este tipo de usuarios el abastecimiento sucede a lo largo de toda la noche, en donde los gastos son muy bajos o insignificantes, por lo que cuentan con presiones regulares sólo en esos lapsos de tiempo.

Posteriormente, la recién creada Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF) establecerá, mediante empresas privadas, el mejoramiento del servicio de abastecimiento de agua potable a la ciudad (ver capítulo 6, punto 6.7) en donde establece que la carga de presión mínima en las redes de distribución será de 8 m, lo que implica pensar en la disminución de la calidad del servicio. Sin embargo, las empresas privadas tendrán que cumplir con esta especificación sin deteriorar las condiciones actuales del suministro.

Como se puede ver, el análisis hidráulico en las tomas domiciliarias influye de manera significativa en el desarrollo de un programa de mejoramiento de la calidad de la prestación de los servicios, lo cual indica que las pérdidas de energía representan el mayor problema en la ejecución del diseño de esos proyectos.

## CAPÍTULO 6

# ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDORES

### 6.1. Generalidades.

El objetivo de una medición de consumos es establecer y mantener un sistema de medidores domiciliarios que permita registrar continuamente, con la mayor exactitud, los consumos de agua de los usuarios.

El cumplimiento de este objetivo exige, no únicamente la instalación de aparatos medidores en las tomas domiciliarias de agua, sino también la concurrencia organizada de una serie de elementos que determinen lo más conveniente, desde los puntos de vista técnico, económico y social, para lograr el máximo beneficio de la medición y que hagan posible conocer periódica y oportunamente, sin interrupción, los consumos efectuados por los usuarios para su facturación y cobro.

El empleo de medidores en las instalaciones domiciliarias está considerado como el medio más efectivo para controlar el consumo y es absolutamente necesario cuando las tarifas para cobro de los servicios se estructuran con base en el consumo de agua, es decir, sin considerar aquellos que están sujetos a cuotas fijas.

Con la instalación de medidores se pretende maximizar el racionamiento del agua y el beneficio económico (ver punto 6.2.1.1) de la distribución de la misma. Este propósito envuelve un problema de orden básicamente económico de la empresa y del usuario, que debe resolverse buscando la cobertura óptima de la medición domiciliaria, el empleo de aparatos adecuados a las necesidades y condiciones de los usuarios y los mínimos costos de adquisición, instalación y mantenimiento de los medidores. La solución ha de basarse en políticas idóneas,



definidas de acuerdo a estudios adecuados a las normas establecidas y a las necesidades y conveniencias de la empresa y de los usuarios.

Para que los beneficios de la micromedición o medición domiciliaria puedan alcanzarse, es necesario que los medidores se encuentren permanentemente en condiciones de registrar en forma correcta los consumos y poder ser capturados de igual manera en forma adecuada, lo que exige vigilancia y conservación de su buen estado de instalación y funcionamiento.

Las políticas y los modos de acción, así como el comportamiento de los medidores y de sus consumos correspondientes, deben ser evaluados a fin de determinar la pertinencia y eficiencia en el cumplimiento de los propósitos de la medición.

Las consideraciones anteriores muestran que para lograr los fines de la instalación de medidores domiciliarios, es necesario que intervengan, además de los propios aparatos, un conjunto de elementos interrelacionados con las políticas, normas, acciones de operación y mantenimiento, análisis de comportamientos, etc., que interactuen para registrar de manera precisa y continua, los consumos domiciliarios. Este grupo de elementos coordinados entre sí constituye el sistema de medidores.

Básicamente, la administración del sistema de medidores requiere la integración de todos los aspectos y funciones necesarios para lograr el cumplimiento de los fines de la micromedición, empezando por la percepción de la necesidad de instalar medidores, a través de planear la implantación, la selección, adquisición, instalación y mantenimiento de medidores domiciliarios, y el control del funcionamiento del sistema.

El mantenimiento de las condiciones de precisión y de operación continua, eficiente y segura de los medidores, es una de las funciones de mayor importancia en la administración del sistema; incluye acciones de tipo interrogativo, correctivo y preventivo, requiere además de la existencia de un taller debidamente acondicionado para probar, revisar y reparar los medidores.

## **6.2. Plan de implantación de medidores.**

Establece que la medición de los consumos domiciliarios es el medio más racional y justo de cobrar los servicios de agua y alcantarillado, y que la instalación de medidores en las tomas domiciliarias contribuya de manera eficaz a la economía del agua.

La aplicación de esos principios únicamente atendiendo el aspecto técnico, implicaría la obligación de tener el 100% de tomas con medidor. En la práctica esto no siempre es posible o conveniente, porque en la prestación de los servicios y particularmente en el cobro de los mismos, son partes importantes de las políticas y de las decisiones los aspectos social, económico y financiero.

Un estudio de necesidades y de beneficios de instalar medidores considerando todos los aspectos implicados en la definición de alternativas, podría concluir en la decisión de no instalarlos, de obtener los beneficios deseados con un índice de medición inferior al 100%, o de imponer el sistema de medidores para la totalidad de las tomas domiciliarias.

La definición de las políticas, prioridades, líneas de acción y de recursos para la implantación del sistema de medidores, obedeciendo las exigencias impuestas por todos los factores incidentes, constituirá el plan de implantación según el cual será factible lograr los beneficios de medición de consumos.

### **6.2.1. Beneficios de la medición domiciliaria.**

Los beneficios de la medición domiciliaria se relaciona con el crecimiento de las poblaciones y el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de las ciudades que van causando aumento de la demanda global de agua y de la demanda per cápita. Al mismo tiempo, la escasez de fuentes cercanas y la impureza de las aguas elevan considerablemente los costos de producción y, consecuentemente, los requerimientos de ingresos financieros para cubrirlos.

Para hacer frente al problema suscitado por tales fenómenos, es necesario hacer el uso más provechoso del agua disponible, controlando los consumos,

minimizando los desperdicios y pérdidas, y distribuyendo los costos entre los usuarios de manera equitativa en proporción a los consumos efectuados. El medio más eficaz para conseguirlo es la micromedición o medición domiciliaria, cuyas ventajas y efectividad han sido ampliamente estudiadas y comprobadas manifestándose en beneficios tanto para la empresa, que así puede cumplir su misión con amplitud de cobertura y economía de costos, como para los usuarios, que podrán recibir los servicios con la suficiencia y oportunidad necesarias. Estos beneficios son los siguientes:

- a) Beneficios técnicos.
- b) Beneficios económicos.
- c) Beneficios financieros.
- d) Beneficios sociales.

#### **6.2.1.1. Beneficios técnicos.**

Los beneficios técnicos de la medición se obtendrán con la reducción de los consumos superfluos y de los desperdicios de agua, incitada por el control de los consumos por medidor y el cobro del servicio por tarifas adecuadas, pudiéndose obtener lo siguiente:

- i) Racionalización de la utilización de los recursos hidráulicos disponibles, principalmente en aquellos sistemas en donde las fuentes aprovechables para atender las nuevas demandas se encuentran lejanas y demandan la construcción de costosas obras para su utilización.
- ii) Optimización de la utilización y el aprovechamiento de los caudales de agua disponibles y de las instalaciones existentes, permitiendo con ello diferir la construcción de ampliaciones de los sistemas y proporcionar los servicios a un número mayor de usuarios, tanto en lo concerniente a agua potable como a alcantarillado.

- iii) Posibilidad de mejorar el suministro de agua en sectores con restricciones en la cantidad o en la continuidad del servicio, ya sea por insuficiente producción en relación con la demanda o por consumos excesivos en los sectores aledaños.
- iv) Reducción de los parámetros de diseño de los componentes de los sistemas de agua y de alcantarillado y la consecuente reducción de costos de inversión, contando con la racionalización del consumo y la disminución de la demanda per cápita.
- v) Mayor eficiencia en el control de fugas de agua en las instalaciones domiciliarias, advirtiendo los altos consumos anormales, así como en el de los consumos de agua no contabilizada.
- vi) Suministro de información sobre el comportamiento de la demanda de los diferentes tipos de usuarios (domésticos, comerciales, industriales, públicos, especiales, etc.), de gran utilidad para la evaluación de los resultados de la medición, para los estudios de tarifas y para los planeamientos comercial, físico y global de la institución.

Como factores negativos o desventajas de la medición domiciliaria, pueden considerarse los inherentes al obstáculo que presenta el medidor al paso del agua (pérdida de presión), que en muchos casos restringe inconvenientemente el suministro, así como las interrupciones del servicio por causa de las fallas (bloques) del medidor, aunado a la sensibilidad y precisión del mismo.

#### **6.2.1.2. Beneficios económicos.**

En los beneficios económicos es lógico pensar que la reducción del consumo superfluo y del desperdicio de agua inducidos por la medición, asociados a la disminución de los parámetros de diseño y a la postergación de inversiones en obras, lleva a una reducción de los costos de capital y de los de operación.

El valor de diferir la inversión será la diferencia entre el valor actual de la inversión que se requeriría en ausencia de los medidores y el valor actual de

inversión definida por la introducción de los mismos. El valor de los costos de operación reducidos, incluirá los costos no incurridos correspondientes al aumento no hecho del sistema, más los costos de operación del sistema existente economizados por el menor suministro de agua.

También, la medición domiciliaria permitirá un mayor control de las pérdidas de agua en el sistema de distribución, consiguiendo con ello disminuir los costos de producción.

Por otro lado, para obtener los ahorros mencionados, se incurrirá en los costos de adquisición, instalación y mantenimiento de los medidores, y en los gastos de lectura y facturación de los consumos, los cuales habrá que restar del valor del ahorro para obtener el beneficio económico neto de la medición domiciliaria que lo justifique o la haga inconveniente desde el punto de vista económico.

#### **6.2.1.3. Beneficios financieros.**

Los beneficios financieros de la medición están íntimamente asociados a la política tarifaria de cobro en función del consumo de agua, pues la tarifa puede favorecer o no la situación financiera de la empresa encargada del servicio con la introducción de los medidores o el incremento del índice de medición, según como la misma sea estructurada. Estos beneficios pueden darse con las siguientes características:

- i) La implantación del sistema de medidores conjuntamente con una tarifa adecuada, permitirá vender un porcentaje predeterminado del volumen de agua producida, pudiendo así determinarse el ingreso obtenible con el volumen disponible y un índice de medición propuesto. En este cálculo es necesario tomar en cuenta la probable disminución del consumo estimado actual sin medición, por la introducción de la medición.
- ii) Mediante la instalación de medidores se conseguirá cobrar el agua que el usuario no medido suministra a otros usuarios sin toma registrada, así

como obligar a éstos a solicitar formalmente la instalación pagando los derechos y tarifas correspondientes.

- iii) Las reducciones de consumos superfluos, de desperdicios de agua y de consumos fraudulentos permitirán dar servicio a un número mayor de usuarios, lo que se reflejará en el estado financiero, por los ingresos procedentes de los derechos de instalación y del pago de tarifas de las nuevas tomas.
- iv) Igualmente, la reducción de los consumos no contabilizados se reflejará en disminución, en la misma proporción, de los gastos de energía eléctrica, productos químicos, etc.
- v) Es posible que un estudio a mediano plazo demuestre una disminución de los costos financieros en virtud de la postergación de inversiones en el sistema de suministro de agua.

Del lado negativo se tendrán los costos financieros originados por la adquisición e instalación de los medidores, la depreciación de los aparatos, el mantenimiento, la lectura, la facturación de los consumos y en general, por todos aquellos costos causados por la introducción de la medición.

#### **6.2.1.4. Beneficios sociales.**

Los beneficios sociales son otra forma de visualizar las características de la medición de acuerdo a los siguientes puntos:

- i) Cobro justo del servicio a cada usuario en proporción al consumo efectuado. Si la política social de la empresa lo establece, la medición domiciliaria permitirá favorecer a los pequeños consumidores o de escasos recursos con el pago de menores valores relativos del consumo que los cobrados a los grandes consumidores o de gran poder económico.

- ii) Fomento del consumo mínimo necesario para satisfacer las necesidades y por consecuencia el pago del servicio de acuerdo con la capacidad de pago de los usuarios.
- iii) Prestación de los servicios con mayor equidad en cuanto a calidad a todos los usuarios, evitando las restricciones de orden técnico que perjudican a unos usuarios por causa del consumo desordenado y descontrolado de otros.

### **6.2.2. Costos de la medición.**

Se ha mencionado continuamente la palabra de costos para cada beneficio en cuestión. Los costos de la medición comprenden todos aquellos derivados de la implantación del sistema de medidores y del cobro adecuado de los servicios por consumo.

Para el análisis, es conveniente separar los costos de la medición como se muestra a continuación:

- a) Costos de adquisición.
- b) Costos de almacenamiento.
- c) Costos de instalación.
- d) Costos de mantenimiento.
- e) Costos de depreciación.
- f) Costos de lectura y facturación.

### **6.2.2.1. Costos de adquisición.**

Los costos de adquisición corresponden al precio de fábrica, más seguros, más transportes en el lugar de utilización, y en el momento del estudio. Dentro de éstos deberán también ser incluidos los costos originados por el proceso de adquisición (licitaciones, publicaciones, gastos de personal, etc.), las pruebas de recepción y las pérdidas físicas de los aparatos en la transportación.

De todo el conjunto de medidores de las diversas características en estudio, se saca el valor medio ponderado, considerando las cantidades definidas de cada característica o la distribución porcentual propuesta.

### **6.2.2.2. Costos de almacenamiento.**

En los costos de mantenimiento, los medidores adquiridos estarán en almacenamiento durante un tiempo, a fin de mantener regularidad y continuidad en el suministro para atender las nuevas tomas, la sustitución de medidores inservibles y los planes de implantación. Una buena práctica de adquisición programada de acuerdo con los cronogramas de instalación, así como de almacenamiento adecuado, reducirá notablemente los costos. Para cada característica de medidores serán determinados los costos medios.

### **6.2.2.3. Costos de instalación.**

Para la determinación de los costos de instalación es conveniente definir tipos de instalación de los medidores (en la acera o vereda, en el antejardín, en edificios multifamiliares con medidor individual, etc.; con caja de protección metálica o de concreto, con tapa metálica o de concreto, etc.). Para cada diámetro y tipo de instalación se determinará el costo de materiales, mano de obra, transporte, gastos de administración, así como su porcentaje de participación en el total de medidores a instalar. El valor medio ponderado del costo de instalación será la suma de los valores ponderados (producto del costo de su porcentaje) de los diversos tipos.



#### **6.2.2.4. Costos de mantenimiento.**

Los costos de mantenimiento comprenden todos los costos debidos al mantenimiento correctivo y al preventivo de los medidores y de su caja de protección, específicamente los repuestos, mano de obra, gastos generales y depreciación del taller y de los equipos. Para cada característica de medidor se determinan los costos medios basándose en la estimación del número de medidores que pasará por el taller en un período de tiempo (un mes, un año), por mantenimiento correctivo, por investigaciones especiales, y por programas de mantenimiento preventivo, y en los costos y rendimientos obtenidos de las estadísticas de períodos anteriores. Se identifican los siguientes:

- i) Costos de repuestos.
- ii) Costos de manos de obra.
- iii) Gastos generales.
- iv) Costo medio de mantenimiento.

En los costos de repuestos se toma la lista de todos los repuestos que pueden usarse, para cada característica de medidores (marca, tipo, diámetro, capacidad), con sus precios unitarios y coeficientes de sustitución (relación entre el número de piezas utilizadas y el número de medidores mantenidos, datos tomados de las estadísticas).

El costo medio por repuesto y por medidor será el producto del precio medio por el coeficiente de sustitución; el costo medio total por repuesto por cada medidor mantenido, será la suma de los costos medios por repuesto.

El costo de mano de obra considera la suma de los costos unitarios de las operaciones de diagnóstico, prueba, reparación y acabado. Los datos se obtienen de las estadísticas elaboradas en períodos anteriores, sobre cantidad de horas trabajadas en cada operación y el índice de producción (tiempo que se gasta para cada operación por medidor de determinada capacidad, tomando como referencia un medidor de 3 m<sup>3</sup>/h ó 0.83 l/s).

En los **gastos generales** son tomados en cuenta aquellos que no dependen de la característica del medidor (materiales, pintura, herramientas, mano de obra indirecta, administración, etc.). El costo unitario se obtiene dividiendo el total de gastos previstos durante el período de tiempo considerado (un mes, un año), por el número de medidores tratados durante el mismo período.

El **costo medio de mantenimiento** es la consolidación de los costos medios por características de medidor mantenido. El costo unitario es la suma del costo unitario por característica del medidor, de los repuestos, mano de obra y gastos generales. El costo total de mantenimiento por característica de medidor será igual al producto de la cantidad de medidores considerados por el costo unitario.

#### **6.2.2.5. Costo de depreciación.**

El costo de la depreciación comúnmente se calcula por el método lineal para un período medio de vida determinado por la experiencia o simplemente por estimación (para medidores de tipo velocidad, con 3 m<sup>3</sup>/h de capacidad, podrán tomarse entre 8 y 10 años). Para cada característica de medición se determina un valor medio anual ponderado.

#### **6.2.2.6. Costos de lectura y facturación.**

Los costos de lectura y facturación serán obtenidos por medidor, por mes y por año, y están definidos como se indica en los siguientes puntos:

- A los causados por la lectura de los medidores (lecturistas, supervisores, revisiones de lecturas, etc.), la crítica de los consumos, la atención de reclamaciones por consumos, el trámite de órdenes de servicio para revisión o sustitución de medidores, los gastos generales y de administración imputables al trabajo de lectura;
- los causados por el procesamiento de las lecturas y la determinación de los consumos; y

En los **gastos generales** son tomados en cuenta aquellos que no dependen de la característica del medidor (materiales, pintura, herramientas, mano de obra indirecta, administración, etc.). El costo unitario se obtiene dividiendo el total de gastos previstos durante el período de tiempo considerado (un mes, un año), por el número de medidores tratados durante el mismo período.

El **costo medio de mantenimiento** es la consolidación de los costos medios por características de medidor mantenido. El costo unitario es la suma del costo unitario por característica del medidor, de los repuestos, mano de obra y gastos generales. El costo total de mantenimiento por característica de medidor será igual al producto de la cantidad de medidores considerados por el costo unitario.

#### **6.2.2.5. Costo de depreciación.**

El costo de la depreciación comúnmente se calcula por el método lineal para un período medio de vida determinado por la experiencia o simplemente por estimación (para medidores de tipo velocidad, con 3 m<sup>3</sup>/h de capacidad, podrán tomarse entre 8 y 10 años). Para cada característica de medición se determina un valor medio anual ponderado.

#### **6.2.2.6. Costos de lectura y facturación.**

Los costos de lectura y facturación serán obtenidos por medidor, por mes y por año, y están definidos como se indica en los siguientes puntos:

- A los causados por la lectura de los medidores (lecturistas, supervisores, revisiones de lecturas, etc.), la crítica de los consumos, la atención de reclamaciones por consumos, el trámite de órdenes de servicio para revisión o sustitución de medidores, los gastos generales y de administración imputables al trabajo de lectura;
- los causados por el procesamiento de las lecturas y la determinación de los consumos; y

- la diferencia entre los costos de facturación y entrega de cuentas correspondientes al sistema con medición y aquellos correspondientes al sistema sin medición.

### **6.3. Elementos informativos.**

Para la formulación de cualquier plan de implantación de medidores como para la planeación y gestión del subsistema de medición de consumos, es necesario contar con información sobre la comunidad que recibe los servicios de agua y alcantarillado, sobre el sistema de abastecimiento de agua, sobre los usuarios, los consumos y la facturación, y en general, sobre lo que pueda ser necesario o influir para la determinación de la alternativa de medición y la toma de decisiones.

Por lo tanto, el control de gestión significa tener elementos en que apoyar la misión de dirigir y coordinar los servicios de suministro de agua y saneamiento de una ciudad. Es decir, que las acciones tengan propósitos claros y estén bajo control, y no que eventos fortuitos sean los que controlen estos servicios.

La planeación establece las metas, políticas y procedimientos para cumplir con la responsabilidad de dar los servicios públicos de agua potable y drenaje, por lo que se requiere conocer la situación real y los retos que se avecinan, y preestablecer claros programas de trabajo y procedimientos para superar los problemas alcanzando así, las metas fijadas.

Son muchos los elementos y herramientas necesarios para planear bien y controlar que los resultados sigan lo establecido y, paralelamente, retroalimentar y en caso necesario afinar los planes. Los más indispensables están en la motivación, interés, conocimiento y capacitación de directivos y demás personal. También es fundamental contar con adecuados procedimientos y equipos para la evaluación y comparación sistemática de los resultados.

En relación con el establecimiento de la medición, pueden considerarse tres casos:

- Implantar el sistema de medidores en una población que tiene la totalidad de los servicios de agua sin medidor.
- Ampliar la cobertura existente hasta un porcentaje determinado de tomas con medidor.
- Mantener permanentemente el índice de medición adoptado.

Los estudios necesarios para llegar a una decisión sobre la implantación o desarrollo de la medición domiciliaria pueden basarse en: informaciones obtenidas de los consumos efectuados y del comportamiento de los consumidores frente a la medición durante un tiempo suficientemente amplio, en los servicios con medidor existentes; en la información obtenida mediante una investigación efectuada en un grupo seleccionado de usuarios sin medición, a los cuales se les instale un medidor y se les somete a un tratamiento de medición, facturación y cobranza normal durante un tiempo; en los resultados de la medición implantada en sectores o localidades de características semejantes en cuanto a usuarios y al sistema de suministro.

En la práctica, para los estudios será necesario contar con los siguientes elementos informativos:

- a) Información básica.
- b) Indicadores.
- c) Proyección de tomas de agua y consumos.

### **6.3.1. Información básica.**

Los datos básicos deben proporcionar la información necesaria para conocer las características del servicio de agua y/o drenaje de una ciudad o población en estudio, a fin de determinar por medio de los indicadores, la necesidad de implantar nuevos medidores o bien, conocer la eficiencia de la empresa prestadora del servicio.

La periodicidad de producción de la información estará relacionada con la estructura de tarifas y con las necesidades de la planificación, la gestión y el control de la medición.

Debido a la importancia que representa la información básica para la obtención de los indicadores, a continuación se darán algunos de los datos que comúnmente son utilizados para tal fin:

- **Población total.** Es el total estimado de personas que habitan la ciudad. Abarca todos los comprendidos en el área urbana que está en la zona legal de trabajo de la empresa a cargo del servicio.
- **Población servida con agua potable.** Es el número de habitantes que en su casa tienen toma de agua potable proporcionada por la empresa encargada del servicio. Suelen incluirse instalaciones legales y las estimadas como clandestinas, excluyendo a la población servida por pipas o hidrantes públicos. Son excluidos también los sistemas de abastecimiento que se operan de manera privada (pozos particulares).
- **Volumen de agua producido.** Es el volumen total que se extrajo en el tiempo en consideración, de las fuentes de abastecimiento.
- **Volumen de consumos medidos.** Es el total de agua que se midió realmente a los consumidores en un período de tiempo determinado.

Por ejemplo, si comparamos el volumen de consumos medidos contra el volumen facturado, se observa lo siguiente:

- i) Si se tienen medidores en un porcentaje importante de las tomas, o bien, los medidores están ubicados estratégicamente con los grandes usuarios (tomas con consumos mayores a 200 m<sup>3</sup> mensuales), el volumen facturado será parecido al volumen de consumos medidos.
- ii) Cuando el nivel de medición es bajo, este volumen diferirá bastante del que se reporte como volumen facturado. Para algunos fines, este dato es más importante que el número de medidores existentes, esto implica que

puede ser que no estén ubicados adecuadamente, o bien, no sean leídos.

- **Volumen facturado.** Es el total de agua que se facturó a los consumidores en el período de tiempo definido. Si se tiene un porcentaje considerable de medidores para cada toma, la suma de todos los consumos medidos, adicionada de una estimación para aquellas que carecen de medidor, puede ser una aproximación adecuada.
- **Volumen de agua desinfectada.** Es el volumen de agua potable que recibe algún tipo de tratamiento antes de su distribución (cloro, por ejemplo), en cantidad suficiente para cumplir las normas establecidas. No se incluyen los volúmenes tratados con dosis por debajo de las normas, ni volúmenes de agua en días en que no operó el equipo.
- **Habitantes por vivienda.** Es el número de habitantes que en promedio (de todos los estratos socioeconómicos de la ciudad) habitan cada unidad habitacional. No necesariamente es lo mismo que el "número de habitantes por toma", especialmente cuando hay unidades habitacionales (edificios) con menos tomas contratadas que el número de personas en cada vivienda.
- **Promedio de horas de servicio.** Es el promedio de todas las colonias de la ciudad que cuentan con servicio regular, a una presión adecuada durante el tiempo de estudio.

Este dato, en la mayoría de las ciudades mexicanas, es relativamente difícil de conocer, especialmente al involucrar el aspecto de carga de presión. Con regularidad los servicios se dan por tandees, es decir, el servicio se interrumpe por horas o hasta por días, y cuando se reanuda, puede demorar mucho el restablecerse una presión adecuada.

El reporte elaborado con esta información, debe calcularse con el promedio pesado incluyendo los días de la semana en que no se trabaja o no se atiende alguna colonia. El promedio de horas debe hacerse

considerando la densidad poblacional de cada colonia o zona de la ciudad, y las horas en que tiene servicio adecuado en el año.

- **Promedio de presiones en la red.** Es el promedio de la presión en todas las colonias de la ciudad durante las horas de servicio regular. De igual manera que el de las horas de servicio, es relativamente difícil de determinar debido a los tandeos.

El dato de presión media debe ser congruente con el que se anote como dato de horas de servicio a la red. Por lo mismo, ambos datos, promedio de horas y presiones en la ciudad, deben calcularse en forma simultánea.

- **Consumo medio por vivienda.** Indica el promedio de los volúmenes medidos para los consumidores domésticos, dividido entre el número total de los que tienen medidor. Esto en el caso de que haya muestras representativas para todos los diferentes estratos socioeconómicos de los consumidores.
- **Ingresos por agua potable.** Equivale al monto total cobrado en el tiempo establecido, atribuible a servicios regulares (operación) prestados por agua potable. Es decir, se considera la venta del agua, conexiones, reconexiones de agua, instalación de medidores (que sea cargo al usuario), multas por desperdicios o mal uso del agua, servicios o asesorías para proyectos privados de redes o pozos, ventas de acarreos con pipas de agua, etc.
- **Tomas con medidor instalado.** Es el total de medidores de consumo instalados en la ciudad o zona de competencia del organismo. Deben corresponder a tomas registradas, es decir, incluidas en el Padrón de tomas de agua potable. Se anotan los medidores existentes, sin importar su estado de operación, precisión o bien, si son o no legibles.
- **Tomas con medidor funcionando.** Es el número de medidores instalados que se leen sistemáticamente y que se considera operan confiablemente, en cuyas lecturas se basan cobros volumétricos, descartando así, la cuota fija.



- **Tomas de agua potable.** Se considera sólo las que físicamente existen, incluyéndose sólo las conexiones operadas por la empresa a cargo del servicio.

Este dato no es lo mismo que población servida entre habitantes por vivienda. Aquí se consideran también conexiones a industrias, comercios, etc., teniendo en cuenta que una industria puede tener registrada más de una toma. Además las unidades multifamiliares que teniendo varias viviendas, administrativamente sólo tienen una sola conexión.

- **Días de respuestas promedio.** Son los días de respuesta promedio para atender aclaraciones de boletas u otro tipo de petición del público. Es decir, interviene la aclaración de quejas transmitidas en forma personal o bien, por vía telefónica u otro medio de comunicación en donde se especifica el motivo del mismo, ya sea por pago del agua, fugas en la instalación hidráulica, calidad del agua suministrada, etc.

En algunos casos, la empresa encargada del servicio establece el número de días en el que serán atendidas las quejas de los usuarios, contando a partir del día en que se registró la llamada. Así mismo, la respuesta a las llamadas telefónicas en un período de tiempo que involucra sólo unos cuantos segundos.

- **Lecturas totales.** Se refiere a las lecturas de los medidores domiciliarios que realmente se hacen en campo (personal lectorista que registra el consumo del usuario "in situ").
- **Aclaraciones en lecturas.** Se refiere a lecturas que se hacen realmente en campo para revisar una lectura tomada previamente. Esta acción puede deberse a la queja de un usuario o a que algún sistema detecta alguna inconsistencia fuerte entre lo que reportó el lectorista y lo que sería lógico que fuese el consumo (según estadísticas u otros procedimientos).

- **Boletas para cobro emitidas.** Son el número de facturas impresas y entregadas para el cobro del servicio público.
- **Fugas reparadas.** Son aquellas que resolvieron de forma satisfactoria el problema (que no resurgieron en un período razonable, es decir, aproximadamente 3 meses como mínimo). Además se debe considerar como "fuga reparada" a la que deja el pavimento, banquetas o zona de trabajo libre de escombros, y pavimentadas en las condiciones originales.
- **Longitud de la red de distribución.** Es la longitud de conductos de agua potable conformada por la red primaria y secundaria. No se suman los tramos o longitudes que corresponden a tomas domiciliarias.

Estos son sólo algunos datos de muchos tantos como se requieran para un análisis exhaustivo de las condiciones de servicio que imperan en una cierta ciudad o zona del país. Esta información es muy importante para la elaboración del estudio que conlleve a la mejor administración y solución de los problemas que se presentan con regularidad en un sistema de medición hidráulica.

Si se observan bien, los datos mínimos que son mostrados no intervienen factores propios de la empresa, sino del servicio, por lo que sería necesario incrementar esta lista para conocer la eficiencia del personal laborable que en su caso ayudaría de manera significativa, a la resolución del problema planteado. Este incremento de información proporcionará aspectos de tipo general o institucional, como lo pueden ser: año, nombre de la ciudad, nombre de la empresa, antigüedad media de jefes, número de mandos gerenciales, personal administrativo y técnico, profesionistas, salario mínimo en la zona, etc.

Esta información básica será utilizada para realizar una serie de expresiones asociadas (indicadores) que permitan el manejo de una cantidad adimensional o en porcentaje o bien, en unidades específicas y claras, para poder evaluar la decisión de instalar medidores que permitan la equidad del suministro en el país.

Sin embargo, la utilización de la información básica no sólo sirve para verificar si es o no necesario la implantación de medidores, también se maneja

como un "sistema maestro" para conocer los trabajos que presta la empresa a cargo del servicio de agua, a base de calificaciones otorgadas por el organismo encargado de dicha empresa.

### **6.3.2. Índices de gestión o indicadores.**

Los índices de gestión o indicadores son una abstracción para representar en forma sintética la situación, problemática, evolución y metas de una empresa. Facilitan el intercambio de las ideas y la percepción de aspectos que demandan mayor control. Se determinan en un período de tiempo definido, regularmente de un año. Los índices de gestión planteados y evaluados adecuadamente, son un procedimiento apropiado y sencillo para tener una visión de la eficiencia operativa, calidad de servicio y necesidades de la institución a cargo del servicio público.

Los índices que una empresa pudiera considerar para evaluar su desempeño y servicio (gestión), pueden ser muchos y muy variados. Sin embargo, es conveniente buscar dar un panorama completo mediante el menor número posible de ellos. A continuación se señalan algunos de ellos:

- **Cobertura de agua potable.** Representa el porcentaje de habitantes que cuentan con el servicio de agua. Su complemento a 1.0 ó 100% representa el grado de deficiencia para que toda la población del lugar cuente con el servicio de agua a nivel domiciliario. Se identifica con mayor facilidad en la siguiente relación:

$$\text{Cobertura de agua} = \frac{\text{Población con servicios de agua}}{\text{Población total}} \times 100$$

- **Dotación.** Es la cantidad de agua que, según el volumen de agua producido y la población servida estimada, le corresponde en promedio a cada habitante. Se representa con la siguiente fórmula:

$$\text{Dotación} = \frac{\text{Volumen de agua producido}}{\text{Población con servicios de agua}}$$

Se debe considerar que su unidad está dada por litros por cada habitante por día (l/hab/día).

Para conocer el volumen que realmente recibe cada habitante, se tendría que descontar las fugas (pérdidas físicas en la red) y los consumos comerciales, industriales y municipales.

- **Capacidad de suministro actual.** Sirve para dar idea de la posibilidad de abastecer a toda la población (incluyendo la aún no servida), con la misma capacidad instalada en fuentes. El nivel de fugas en la red se considera que hipotéticamente fuese del 40%, esta consideración posiblemente implica que existan dotaciones mayores a las que en la actualidad entrega la empresa. Su relación se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad de suministro actual} = \frac{\text{Volumen de agua producido}}{[\text{Población total} \times \text{Dotación} / 0.6]} \times 100$$

Las unidades son adimensionales, de tal manera que se deben hacer las conversiones necesarias para obtener el valor porcentual, considerando también, el período de tiempo del estudio ejecutado.

- **Continuidad del servicio.** Mide el porcentaje de tiempo que en promedio cada casa de la ciudad recibe agua en condiciones de presión y flujo aceptables. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Continuidad del servicio} = \frac{\text{Promedio de horas del servicio}}{24} \times 100$$

El número 24 es el total de horas en el día, por lo que, si el índice resultara con un valor del 100%, se deduce que el servicio es continuo en todas las colonias, todos los días del período de estudio.

- **Presión de servicio.** Indica el grado de cumplimiento de la norma mínima de 10 m de columna de agua (Ciudad de México) como presión a la entrada de cada casa. Su relación se define como:

$$\text{Presión de servicio} = \frac{\text{Promedio de presiones en la red}}{10} \times 100$$

La norma de presión mínima puede ser diferente según el reglamento local de alguna otra región; si es necesario, el nuevo valor será sustituido por el 10 del denominador.

Un índice muy bajo indica una deficiente calidad en la entrega y que posiblemente se está forzando a los habitantes a fuertes erogaciones en bombas y cisternas para resolver la falta de presión.

- **Eficiencia de la medición de consumos.** En este caso se consideran todos los medidores sin diferenciar el tipo de usuario. El índice evalúa cuantos de los medidores de consumo existentes en la ciudad, realmente funcionan y se leen regularmente. Se expresa por la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia de la medición de consumos} = \frac{\text{Tomas con medidor funcionando}}{\text{Tomas con medidor instalado}} \times 100$$

- **Nivel de medición de consumos.** Este indicador compara los volúmenes medidos contra el total que se factura (ver el dato "volumen de consumos medidos" en el apartado 6.3.1). Su relación está dada por:

$$\text{Nivel de medición de consumos} = \frac{\text{Volumen de consumos medidos}}{\text{Volumen facturado}} \times 100$$

Es un índice, que junto con el de Eficiencia de la medición de consumos da una idea clara de lo preciso que pueden ser las estimaciones de consumos al fijar tarifas, especialmente para las de cuota fija.

- **Normas de calidad del agua.** Es el promedio pesado por fuente de suministro y por volumen extraído en el período en estudio (u horas de servicio) de las calidades del agua respecto a los parámetros más importantes del mismo, como lo son: calidad bacteriológica, cloro residual, sólidos totales, color, olor y otros.

Todos los parámetros se comparan con sus normas para llegar a un sólo parámetro de calificación por fuente, para luego hacer el promedio general de la ciudad en el período en consideración.

Por lo tanto, un índice o indicador es una función aritmética que relaciona dos o más variables o datos característicos del servicio de agua o alcantarillado en una ciudad. Su valor, al expresarse adimensionalmente o en unidades estándar, puede caracterizarse y compararse con facilidad contra rangos conocidos o aceptables.

### **6.3.3. Proyección de tomas domiciliarias y consumos.**

En la formulación y el desarrollo de un plan de medición deben ser tomados en cuenta los usuarios actuales (usuarios reales) y los futuros (usuarios factibles, usuarios potenciales, actuales y futuros), las correspondientes demandas de agua, per cápita y globales, y la potencialidad de los recursos hidráulicos y de las instalaciones de producción y de distribución necesarias, las cuales, conjuntamente con la política de cobro de los servicios según el consumo, determinarán las necesidades de medición domiciliaria.

Los estudios del mercado consumidor, realizando como actividad del subsistema de comercialización de los servicios, tienen entre sus objetivos obtener los elementos informativos necesarios y suficientes sobre las comunidades, los servicios existentes en cada localidad, las unidades de servicio de consumo actuales y potenciales, las tomas domiciliarias y la relación empresa/usuario, así como la disponibilidad de servicios y las posibilidades futuras de suministrarlos. Las informaciones adquiridas a través de esos estudios son de gran utilidad para determinar las necesidades de micromedición para las condiciones actuales y también servirán de base para la previsión de las necesidades generadas por el crecimiento de la población, el desarrollo urbanístico y el consecuente incremento de los servicios de agua.

La información básica, que muestra el desarrollo histórico, los resultados alcanzados y la situación en el presente, pueden tomarse como complemento de la información sobre el mercado para establecer parámetros que sirvan de guía a las

proyecciones de las tomas y de los consumos en el futuro. En esa proyección habrá que considerar, además del crecimiento vegetativo deducido del desarrollo histórico y de las posibilidades de desarrollo, todos los factores que puedan influir sobre las demandas futuras para modificarla, tales como el programa de expansión física del sistema de agua, los de promoción y venta de tomas, los de desarrollo intensivo de nuevos asentamientos urbanos, etc.

Los estudios de previsión de ventas de servicios, realizados dentro de la planificación comercial de la empresa principalmente con miras a determinar el precio a cobrar por los servicios, toman como base para las proyecciones, tanto la demanda actual más la que generan los crecimientos demográficos y urbanísticos, como las posibilidades de oferta de servicios resultantes de la capacidad existente más la obtenible de los proyectos de expansión y mejoramiento de los servicios. Como resultados de tales estudios, se obtienen datos sobre las variables de población, tomas, consumos y producción de agua en los períodos subsiguientes, que son determinantes de la necesidad de implantar un sistema de medidores.

De las informaciones y los estudios de mercado y de previsión de ventas, podrán sacarse en resumen los índices de crecimiento anual de tomas y de demanda media y máxima diarias con los cuales podrán hacerse las proyecciones.

#### **6.4. Alternativas de medición.**

El análisis de las necesidades, beneficios y costos de la micromedición conducirá a definir la política de la empresa en relación con el establecimiento y desarrollo del sistema de medidores y su participación en el cobro de los servicios.

Cuando la política y las circunstancias lo exigen, la empresa debe optar por una alternativa mediante la cual se alcancen los objetivos y metas propuestos y se satisfagan las conveniencias técnicas, económicas, financieras y sociales, tanto con los usuarios actuales como con los que vayan surgiendo por el crecimiento de la ciudad y el incremento de los servicios.

Las empresas de ámbito regional deben decidir sobre el establecimiento o el incremento de la medición en las localidades con servicios de abastecimiento de

agua a su cargo y fijar el orden de las prioridades en que se deba actuar. A continuación tendrán que determinar el grado de medición para cada una y el tipo de medición o modo de implantarla para alcanzarlo y obtener la máxima eficiencia.

Las empresas locales deben de tomar el mismo tipo de decisiones sobre la implantación del sistema de medidores, el grado de medición y la manera de lograr pronta y económicamente la cobertura propuesta, en toda la ciudad o en determinados sitios.

#### **6.4.1. Selección de localidades para planes de micromedición.**

La selección de localidades y áreas prioritarias para el desarrollo de planes de instalación de medidores debe basarse en aspectos técnicos y comerciales, según los cuales pueda lograrse una clasificación de acuerdo con grados de necesidad de medición significativamente señalados por factores de población, condiciones del sistema de abastecimiento, características del consumo y los consumidores, medición existente, costos, etc.; y deberá realizarse empleando para el efecto indicadores simples y ponderados, según la complejidad de los factores y el grado de similitud de las localidades. De acuerdo a esto, existen dos métodos de selección:

- a) Método de comparación.
- b) Método de indicadores ponderados.

##### **6.4.1.1. Método de comparación.**

Cuando entre las diversas localidades existen diferencias fácilmente identificables, la escala de prioridad puede ser determinada mediante comparación de algunas localidades con otras, empleando indicadores (ver apartado 6.3.2) que reflejen la situación y características de cada una en relación con los elementos determinantes de la necesidad de medición.



La información básica, los indicadores de resultados de la medición, los resúmenes e histogramas de consumo, serán de gran ayuda para formar el cuadro de factores e indicadores de comparación de la serie de localidades en estudio. Este cuadro debidamente ordenado y dispuesto, podrá constituirse en una matriz de decisión para definir las prioridades de acción en la implantación del sistema de medición en las localidades consideradas en el plan.

#### **6.4.1.2. Método de indicadores ponderados.**

En el caso de localidades bastante semejantes por sus características, condiciones del servicio y comportamiento de los consumidores, la decisión es más difícil de tomar empleando sólo indicadores simples; es necesaria la intervención de otros elementos y la debida ponderación de todos los factores en función del significado que tengan para la micromedición, con el objeto de calificarlas debidamente y establecer un orden de prioridades de acción para ellas.

Además de los indicadores señalados en el apartado 6.3.2, también son necesarios algunos como lo son:

- **Tamaño de la población.** Sin otras consideraciones, la instalación de medidores es más necesaria en las grandes ciudades que en las pequeñas poblaciones. Entre los más pequeños y los más grandes poblados puede establecerse una escala de calificación haciendo relación con rangos de número de tomas de agua.
- **Costos de medición.** Esta relación indica la posibilidad o no de financiar la instalación de una determinada cantidad de medidores en cada uno de los poblados, de tal forma que se genere un orden de prioridades. Estos costos pueden ser de instalación, mantenimiento, lectura y facturación en relación con el valor de facturación correspondiente.
- **Medios de comunicación.** La distancia y los medios de comunicación entre un poblado y el taller de mantenimiento pueden ser una limitación para el establecimiento de un sistema de medidores. La calificación

puede ser expresada en función inversa del tiempo que se gaste para trasladar un medidor de la población al taller, considerando tanto el transporte en sí como la frecuencia con que pueda efectuarse, es decir, a menor tiempo corresponderá más puntuación que a uno de mayor tiempo (por ejemplo medio día en comparación con cinco días).

- **Características del agua.** Las aguas turbulentas o fuera de la calidad de las especificaciones de los medidores, influyen negativamente su instalación. La calificación de la calidad del agua que deba pasar por los medidores, con la puntuación más baja para agua cruda y normas fisicoquímicas tolerables, y la más alta para agua pura, completamente tratada o de fuente subterránea.
- **Escasez de agua.** Es lógico que la instalación de medidores se imponga cuando el agua sea escasa y más aún cuando el sistema de abastecimiento tenga déficit de capacidad. La calificación será inversa al porcentaje de población con servicios de agua y a la ociosidad del sistema, siendo mínima para un alto porcentaje atendido con el servicio y capacidad sobrante, y máxima para un bajo porcentaje atendida y deficiencia en la capacidad.
- **Consumos elevados.** Este factor puede calificarse empleando como indicador la demanda por día por habitante. La calificación se hará por rangos de demanda per cápita, en función directa del número de litros consumidos por día por habitante.

Este indicador permite establecer dos posibilidades de la alta demanda per cápita:

- a) La que se genera debida a los consumos excedentes de industrias, poderes públicos, etc., que favorecerán la decisión de medir prioritariamente aquellos poblados con mayor desarrollo económico y urbanístico.
- b) La que es generada probablemente por un gran número de usuarios clandestinos, que inducirán a una clasificación prioritaria para medición.

puede ser expresada en función inversa del tiempo que se gaste para trasladar un medidor de la población al taller, considerando tanto el transporte en sí como la frecuencia con que pueda efectuarse, es decir, a menor tiempo corresponderá más puntuación que a uno de mayor tiempo (por ejemplo medio día en comparación con cinco días).

- **Características del agua.** Las aguas turbulentas o fuera de la calidad de las especificaciones de los medidores, influyen negativamente su instalación. La calificación de la calidad del agua que deba pasar por los medidores, con la puntuación más baja para agua cruda y normas fisicoquímicas tolerables, y la más alta para agua pura, completamente tratada o de fuente subterránea.
- **Escasez de agua.** Es lógico que la instalación de medidores se imponga cuando el agua sea escasa y más aún cuando el sistema de abastecimiento tenga déficit de capacidad. La calificación será inversa al porcentaje de población con servicios de agua y a la ociosidad del sistema, siendo mínima para un alto porcentaje atendido con el servicio y capacidad sobrante, y máxima para un bajo porcentaje atendida y deficiencia en la capacidad.
- **Consumos elevados.** Este factor puede calificarse empleando como indicador la demanda por día por habitante. La calificación se hará por rangos de demanda per cápita, en función directa del número de litros consumidos por día por habitante.

Este indicador permite establecer dos posibilidades de la alta demanda per cápita:

- a) La que se genera debida a los consumos excedentes de industrias, poderes públicos, etc., que favorecerán la decisión de medir prioritariamente aquellos poblados con mayor desarrollo económico y urbanístico.
- b) La que es generada probablemente por un gran número de usuarios clandestinos, que inducirán a una clasificación prioritaria para medición.

- **Costos de operación.** Los costos de operación son los debidos fundamentalmente a la complejidad del sistema de abastecimiento y al tipo de sistema de alcantarillado (si está dentro del estudio). Por lo tanto, la calificación se dará según el tipo de sistemas, partiendo del más simple por gravedad y sin tratamiento, hasta el más complejo con varios bombeos, tratamiento completo, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas. La más alta calificación corresponderá al sistema más complejo y por lo tanto al de mayor costo por metro cúbico de agua.
- **Grado de medición actual.** Si se tiene un alto grado de medición, es probable que no sea necesario o conveniente incrementarlo; y por el contrario, a medida que el grado sea menor, se dará mayor prioridad a la instalación de medidores. Así, la calificación de este factor será una función inversa del grado de medición efectiva (con medidores instalados funcionando). De esta manera la relación será la representada por las tomas con medidor funcionando contra el total de tomas de agua potable.

Para dar un valor ponderado a cada uno de los indicadores que refleje su influencia en el valor total atribuible a una población para establecer su orden de prioridad en el desarrollo del plan de micromedición, se apela al análisis de un caso típico, considerando los resultados operacionales de la empresa y también de otras similares.

En función de ese análisis, se establece para los indicadores un número igual de rangos de clasificación y se les corrige por un coeficiente que refleje la influencia real de cada uno de los indicadores en el total.

Los coeficientes dan un peso a cada indicador según su importancia, según la influencia que cada uno ejerza en la producción de los costos y también, según las características de las poblaciones estudiadas. La suma de los coeficientes "C" que afectan a los indicadores propuestos, expresados cada uno en fracción decimal, es igual a la unidad (1.0).

$$C_1 + C_2 + \dots + C_n = 1.0$$

La calificación total para cada población será la suma de las clasificaciones parciales dadas por cada indicador (K'), multiplicadas por su respectivo coeficiente de corrección.

$$X = C_1 \cdot K'a + C_2 \cdot K'b + \dots + C_n \cdot K'n$$

Como resultado, a cada población se le atribuirá el orden de prioridad que le corresponda según la puntuación obtenida, a partir de un primer orden dado por la mayor calificación.

#### **6.4.2. Determinación de los índices de medición.**

Después de establecer la conveniencia de implantar o de aplicar la medición en una población, se tendrá un segundo problema por resolver, el cual es el definir el grado de medición más eficiente para obtener los beneficios propuestos, compatible con los recursos financieros disponibles.

Para llegar a una solución, podrá adoptarse una de dos líneas de acción; una primera, basada en un análisis de consumos para evaluar la situación actual y deducir hasta donde se deba llegar con el índice de medición; una segunda, para complementar la primera con estudios financieros y económicos que permitan cuantificar los beneficios y costos ocasionados por la acción para alcanzar ese índice.

En general, cuando se trata de poblaciones de pequeño o de mediano tamaño, el índice de medición más conveniente podrá determinarse con bastante aproximación empleando solamente la línea del análisis de consumos. Pero siempre es recomendable la segunda acción en los casos de grandes inversiones en los cuales la importancia de la decisión lo justifique.

Si lo que se pretende es ampliar en un pequeño porcentaje la eficiencia de la medición en una población cuyo índice permitió alcanzar ya los objetivos previstos con la medición implantada, simplemente se establecerá la mejor utilización de los nuevos medidores mediante la selección de la alternativa más favorable para obtener la optimización de la relación volumen medido entre

volumen producido y también, por la consecuente reducción de las pérdidas, la de volumen facturado entre volumen producido.

La situación de la medición puede analizarse en un gráfico de frecuencias relativas acumuladas del grado de medición contra el volumen de consumos medidos. De este gráfico, con curvas de frecuencias relativas acumuladas correspondientes a las categorías residencial, comercial, industrial, oficial y total consolidado, se podrá deducir la categoría en la cual se esperan encontrar los mayores volúmenes medidos con un número relativamente bajo de medidores instalados, es decir, la mayor eficiencia por medidor.

#### **6.4.3. Tipos de medición.**

Cuando se toma la decisión de instalar medidores en una población para alcanzar un grado de medición, queda por resolver el problema del modo como se va a conseguir dicha lectura, ya sea midiendo individualmente las tomas domiciliarias, o por sectores, o siguiendo un esquema especial.

Dependiendo de los objetivos que se pretenda obtener y de las condiciones particulares de la población, podrá emplearse uno de los tipos o modos siguientes de medición:

- a) **Medición selectiva.**
- b) **Medición sectorial.**
- c) **Medición combinada.**

##### **6.4.3.1. Medición selectiva.**

La medición selectiva consiste básicamente en establecer la medición a partir de los mayores consumidores y luego hacer la cobertura de los demás en orden descendente de sus consumos probables, hasta alcanzar el grado de

medición propuesto. La medición selectiva tiene el propósito principal de alcanzar con rapidez y menor costo el objetivo de la medición.

El consumo mensual probable, según el cual se seleccionarán las tomas con mayores consumos, será deducido de las características del usuario y del sector donde está ubicado el predio respectivo, empleando criterios obtenidos de análisis de tomas con medidor existentes en la población o, en su defecto, de informaciones de otros poblados. También podrá ser deducido mediante la instalación de "medidores testigo" en tomas típicas ubicadas en diferentes sectores de la ciudad, con los cuales sea posible determinar las características del consumo.

El sector donde está ubicado el predio se analiza por la condición de calidad de agua del servicio (presión, continuidad del suministro, etc.), y por las condiciones socioeconómicas (densidad de población, tipo de usuarios, hábitos de consumo, capacidad de pago, etc.). Las características del usuario se definen o hacen relación con el número de tomas con que cuenta, el número de unidades sanitarias, piscinas, salidas especiales de agua, y en general, con todos los elementos que permitan apreciar el consumo en la toma domiciliaria.

La selección o identificación en el terreno de las tomas de mayores consumos según los criterios definidos, podrá basarse en el estudio de los ciclos de facturación, con los datos del catastro de usuarios y el conocimiento del sistema de distribución y las zonas de la población, así como con la ayuda de una investigación en el terreno semejante al empleado para la actualización del catastro.

Los resultados logrados con la medición selectiva deberán utilizarse para evaluar la pertinencia y eficacia de los criterios adoptados y para mejorarlos, teniendo así la posibilidad de optimizar el proceso de medición con definición más clara de los sectores más viables de medición y de los usuarios de mayor consumo. La evaluación podrá llevar a lo siguiente:

- Ampliar la medición en zonas apropiadas y para las categorías y tipos de usuarios encontrados como mayores consumidores.

- Optar por el retiro de medidores de zonas o de tomas cuyas condiciones no den lugar a grandes consumos, siempre y cuando la empresa pueda hacerlo (por ser medidores de su propiedad), o no haya posibilidad a corto plazo de modificar las características del servicio.

El proceso de medición selectiva, con su constante evaluación, continuará cubriendo gradualmente las zonas de la ciudad y las tomas con grandes consumos, hasta el punto en que el incremento de tomas medidas represente un aumento de volumen medido y facturado que, comparativamente a su costo, no justifique la inversión.

#### **6.4.3.2. Medición sectorial.**

La medición sectorial consiste en controlar el consumo de un determinado número de usuarios con un sólo medidor. La condición esencial para hacerlo es que las unidades del grupo sean de características semejantes en cuanto al consumo y formen un conjunto bastante homogéneo.

La aplicación más común de este tipo de medición es en edificios multifamiliares o conjuntos habitacionales compuestos de varias unidades de vivienda, en donde un sólo medidor registra el consumo de todas y el de cada una es calculado por prorratio del volumen total.

Otra aplicación es en urbanizaciones y sectores compuestos por pequeños consumidores, en donde exista una única entrada de agua al sistema de distribución, en la cual pueda instalarse un medidor del consumo total. En la medición sectorial, el volumen de agua registrado por el medidor general, disminuido con las posibles pérdidas en la red (por ejemplo 20%) y descartándole los consumos públicos (pilas públicas, fuentes ornamentales, riego de parques, etc.), es distribuido a prorratio entre las tomas domiciliarias del conjunto.

Cuando no existe un buen grado de uniformidad en las unidades de consumo, como viviendas de diferentes características, locales comerciales, oficinas, etc., puede emplearse la medición sectorial, pero la medición de los consumos entre los diferentes usuarios se hará en función de coeficientes de



diferenciación que reflejen las diferencias en los consumos y en las categorías de tarifas.

El sistema de medición sectorial, aunque permite cobrar todo el volumen de agua contabilizada que ingresa al conjunto (edificio multifamiliar, conjunto habitacional, etc.), como no hace un control individual, no estimula a la reducción de consumos superfluos y de desperdicios de agua. Su aplicación debe ser bien justificada, limitada a conjuntos de pequeños consumidores y mantenida solamente mientras esa condición subsista y no se imponga la instalación de medidores individuales. Además es imprescindible hacer una investigación programada de los servicios, a fin de controlar los desperdicios de agua, las derivaciones fraudulentas y los excesivos consumos de unos usuarios, que perjudican a los demás.

Como en la medición sectorial las tomas no tienen cada una un medidor que justifique el cobro de un consumo propio diferente cada mes, es conveniente cobrar el mismo consumo todos los meses del año. Para ello, se toma el promedio de consumos registrados por el medidor sectorial durante los doce meses del año y ese se distribuye entre todas las unidades en la forma ya indicada, para servir de base para el cobro en los meses del siguiente año. Así sucesivamente, cada año se cobrarán los consumos con base en el promedio del año anterior y de acuerdo con las tarifas establecidas.

#### **6.4.3.3. Medición combinada.**

La medición combinada es una mezcla de las mediciones selectiva y sectorial, empleada en sectores no completamente uniformes.

Cuando en un sector controlado por un único medidor existen usuarios industriales y grandes consumidores, identificados según los criterios indicados para la selección selectiva, se les instalará su propio medidor. El consumo registrado por estos medidores, así como las pérdidas y los consumos públicos, se descontará del volumen total registrado por el medidor sectorial, para efectos de la distribución del consumo entre los demás usuarios.

En este sistema, a los usuarios con medidor individual se les cobrará el consumo registrado por el mismo; a los demás, se les cobrará un consumo fijo durante todos los meses del año.

#### **6.4.4. Estimación de consumos.**

Cuando no se instalan medidores, es posible determinar los consumos por estimación o de tasas, según las características de las unidades de consumo, y cobrar el servicio de acuerdo con sus consumos.

El consumo puede estimarse con base en las características del usuario, en el consumo efectuado en viviendas de condiciones similares, en consumos per cápita y número de habitantes en el predio, o instalando un medidor testigo por algún tiempo para conocer el rango de consumo.

Los principales elementos considerados en relación con el usuario son los siguientes:

- Diámetro de la toma.
- Tipo de usuario por uso del servicio.
- Área construida del inmueble y área de jardines.
- Tipo de vivienda y ubicación del inmueble (para deducir los hábitos de consumo).
- Número y tipos de salidas de agua (grifos, inodoros, duchas, piscinas, etc.).
- Número de unidades de vivienda.
- Número de habitantes en el inmueble.
- Servicio de alcantarillado.

En la propia localidad o en otras semejantes existen usuarios con medición que pueden considerarse como típicos para tomar de ellos sus consumos y asignar los mismos a los otros usuarios no medidos, de características similares. Esos consumos, divididos por el número de personas que regularmente habitan el inmueble, dan consumos per cápita que también pueden ser tomados de base para la estimación del consumo en los predios sin medidor.

Los medidores testigo se instalan en "tomas muestra" durante un tiempo suficiente para reflejar las variaciones de consumo por cambios estacionales o climáticos, o por otras causas; se toman las lecturas en forma regular y al cabo del término fijado se les retira de las tomas. Las tomas muestra serán escogidas de manera que representen adecuadamente los predios de los usuarios a los cuales se les va a fijar un consumo.

Los consumos así determinados permanecerán invariables mientras las bases tomadas para su estimación no sufran modificación; pero deberán ser sometidos a revisión periódica para evitar su falta de actualización o que lleguen a ser inadecuados, principalmente en localidades con gran desarrollo urbanístico. En consecuencia, el cobro del servicio se hará mensual o bimestralmente por un valor fijo y sólo se cambiará cuando se modifiquen las condiciones iniciales.

El sistema de cobro del servicio según consumos estimados no presenta las ventajas de equidad y de racionamiento del consumo que da la micromedición. Su empleo debe limitarse a servicios de pequeños consumidores o a casos especiales, cuando la instalación de medidores sea antieconómica o haya algún impedimento importante para instalarlos (prohibición gubernamental, incapacidad de pago de los usuarios, etc.).

Debe tenerse cuidado con la tendencia a sobrestimar los consumos muy por encima de los probablemente reales, porque eso puede ser un obstáculo para la posterior instalación, en razón a la disminución de ingresos de los medidores en las tomas.

#### **6.4.5. Limitadores de consumo.**

Los limitadores de consumo son dispositivos que restringen el flujo cuando sea necesario y que se instalan en las tomas domiciliarias con la finalidad de evitar los consumos excesivos por desperdicio de agua.

El sistema de limitadores de flujo parte de considerar que a los usuarios se les puede asignar una cuota racional de agua por día suficiente para satisfacer sus

necesidades sin desperdicio, controlada por medio de un limitador insertado en la toma.

Este dispositivo de control limita el gasto instantáneo que pasa por la toma, de tal manera que con el flujo continuo pasado en las 24 horas no resulte un volumen de agua superior al asignado. De acuerdo a estudios realizados, con muchos consumidores se ha deducido que la cantidad de agua por día que podría asignarse a cada usuario sería del orden de 0.7 a 1.5 m<sup>3</sup>.

Como el flujo continuo para dar ese valor es inferior a 0.5 a 1.0 l/min (no adecuado para operaciones de lavado de manos o baños de ducha, que requieren 5 y 15 l/min respectivamente), es indispensable que las instalaciones domiciliarias dispongan de un tanque elevado de almacenamiento y/o una cisterna, cuya capacidad de una o ambas permitan atender las demandas instantáneas, alimentado por el flujo continuo pasado a través del limitador.

Los limitadores más empleados son válvulas de diversos modelos, entre los cuales destacan, las válvulas macho o de cuadro, esfera, globo, mariposa, etc., que se intercalan antes del medidor en la tubería del cuadro, o bien, las llaves de banqueta que en la actualidad pretenden que sean eliminadas.

Los limitadores de consumo pueden ser instalados sobre la base de cobro a tarifa fija, en todo el sistema de distribución, en forma selectiva u ocasionalmente, como componente provisional de un sistema de medición.

#### **6.5. Programas de instalación de medidores.**

La preocupación de las empresas prestadoras de servicios de agua potable y alcantarillado por percibir los ingresos necesarios para prestar los servicios adecuados a las comunidades, mediante el cobro equitativo de los volúmenes de agua suministrados a los usuarios, les determina la necesidad de establecer la medición domiciliaria en las localidades a su cargo.

Con los elementos informativos reunidos sobre los sistemas de abastecimiento, las comunidades, los usuarios y los consumos, se realizan los

estudios de planificación necesarios para establecer las necesidades de medición y determinar las localidades o sectores de una ciudad grande en donde se debe actuar, el grado de medición que deba alcanzarse en cada una y el tipo de medición que deba aplicarse, a fin de lograr los objetivos comerciales de la medición en concordancia con las políticas fijadas. Todo eso estará contenido en el correspondiente plan de implantación de medidores, cuya realización dará a la empresa el medio eficaz para controlar los consumos y vender con equidad el agua que entrega a sus usuarios.

Las acciones necesarias para llevar a cabo el plan de medición se formulan considerando tanto los usuarios actuales como los futuros, esto es, las tomas existentes sin medidor y las nuevas tomas. De esto resultan dos programas esenciales:

- a) Programa de actualización.
- b) Programa permanente.

El de actualización tiene como objetivo dotar de medidores a las tomas actuales hasta alcanzar la cobertura propuesta; y el de instalación permanente mantendrá el índice de medición, instalando medidores a los nuevos usuarios. El programa de actualización tiene una duración definida, desde su inicio hasta cuando se logre la meta; el de instalación permanente empieza y sigue indefinidamente hacia el futuro.

#### **6.5.1. Programa de actualización.**

El programa de actualización se refiere a las tomas sin medidor las cuales el plan de instalación determinó implantarles la medición. Para el desarrollo, es condición básica que se establezcan el orden y la prelación que deban ser instalados los medidores, la forma de instalarlos y la manera de ejecutar el trabajo.

La determinación del orden que debe seguirse en la instalación es muy importante para no correr el riesgo de dejar incompleta la realización del programa y de elevar los costos del plan. El orden puede establecerse de varias maneras:

- Cubriendo la ciudad en forma continua, de extremo a extremo, iniciando de norte a sur o de oriente o occidente.
- Cubriendo la ciudad también en forma continua, pero iniciando simultáneamente en los dos extremos.
- Instalando medidores por sectores definidos en un orden fijado por determinadas condiciones (por ejemplo, primero el sector comercial, después el industrial, etc.)
- Instalando primero los medidores correspondientes a los usuarios de mayores consumos (medición selectiva).
- Siguiendo el orden indicado en los tres primeros puntos, simultáneamente con la instalación a los grandes consumidores (por ejemplo, cubriendo la ciudad de norte a sur e iniciando al mismo tiempo la instalación en fábricas, hoteles, etc.).

Algunas de las maneras indicadas están basadas en la necesidad de dar prelación a los mayores consumidores; otras, como la indicada en el tercer punto, son de gran efecto para resolver deficiencias de abastecimiento, reduciendo al mínimo los desperdicios. Los dos aspectos, orden y población, reunidos con un buen criterio, no solamente conseguirán que el programa de actualización se realice con buena rapidez y con el mínimo de errores y omisiones, sino que sus efectos en poco tiempo serán sorprendentes.

Para desarrollar un programa de actualización es indispensable un estudio previo y la adopción y organización de un plan de trabajo completo que garantice la instalación adecuada de los medidores dentro de un plazo determinado, con los costos mínimos y con la seguridad de que se han evitado todas las omisiones y, por tanto, se han colocado todos los aparatos que debían instalarse y en las tomas indicadas.

La orientación que se ha de dar al plan de trabajo dependerá principalmente del programa adoptado y de las características de la ciudad. Para llegar a establecer un plan de trabajo adecuado y a tener ideas concretas sobre costos y

duración, es conveniente hacer algunas instalaciones de prueba en varios lugares de la ciudad, antes de elaborar el plan definitivo. Los resultados de la prueba, que deberá tener características de muestreo, interpretados con buen criterio, darán una buena pauta para el detalle del plan de trabajo.

En términos generales puede decirse que para instalar el medidor es necesario localizar primero la toma respectiva. Cuando no se encuentra fácilmente a todas, una buena táctica para la ejecución del trabajo sin demoras es instalar los medidores en las tomas que son fáciles de localizar y al mismo tiempo, investigar con una brigada las tomas más escondidas, para después colocarles el medidor.

#### **6.5.2. Programa permanente.**

El programa permanente de instalación de medidores comprende a los usuarios que van surgiendo a medida que los servicios se desarrollan de acuerdo con el crecimiento de la ciudad.

Este programa deberá iniciarse inmediatamente después de que se haya tomado la decisión de medir el agua y se tengan disponibles los medidores y demás elementos necesarios. Deberá adelantarse sin demora, porque cada nuevo usuario al que no se le instale medidor en el momento de la conexión del servicio, vendrá a aumentar el número de servicios pendientes de actualización, y así el programa de actualización se prolongaría indefinidamente.

El plan de ejecución se reduce a fijar una fecha a partir de la cual todo nuevo usuario deberá tener instalado un medidor en su toma domiciliaria; y desde entonces colocarlo simultáneamente con la ejecución de ésta.

Con el cumplimiento del programa permanente se logrará que, a pesar de las demoras que el programa de actualización pueda tener, cada día se tengan más medidores instalados.

Una forma alternativa de instalar medidores a las nuevas tomas es a base de programas periódicos, por ejemplo anuales, sin preocuparse de que a cada una

se le coloque en el momento de iniciar el servicio. Cuando corresponda según el programa, se hará la instalación de medidores a todas las tomas nuevas del año anterior, masivamente. Esta forma de instalación equivale a transformar el programa permanente en una serie escalonada de programas de actualización, trayendo consigo los problemas propios de una actualización y el riesgo de no desarrollarse con la oportunidad requerida para surtir los beneficios de la medición.

El programa permanente puede aplicarse no sólo para el 100% de las nuevas tomas, sino también para un porcentaje menor o para determinados usuarios. En el primer caso se instala el medidor tan sólo al número de nuevos usuarios que corresponda al porcentaje que se quiera tener, es decir, si se trata de mantener un grado de medición del 80% y un día se presentan diez nuevas tomas, el programa permanente se cumplirá instalando medidores en ocho de ellas, escogidas con un criterio predefinido. En el segundo caso, se les instalará medidor únicamente a aquellos usuarios que reúnan las condiciones establecidas, por ejemplo, se está establecido que solamente tendrán medidor los usuarios industriales y los comerciales, el programa permanente se cumplirá colocando medidor sólo a las tomas de fábricas, lavanderías, hoteles, etc.

### **6.5.3. Normas y requisitos.**

Para que los programas de instalación no sufran tropiezos y tengan éxito en su realización, deben tener previamente definidas de una manera precisa, las normas y especificaciones referentes a la colocación de los medidores en las tomas, así como las de cobro del valor del aparato y de su instalación.

Las normas deben referirse a la localización de los medidores en las tomas domiciliarias y a los registros o cajas de protección. Las especificaciones establecerán la manera de instalación del medidor, con los accesorios y válvulas que permitan retirarlo fácilmente o probarlo en sitio.

El modo de cobrar el medidor y su instalación, cuando el reglamento de la empresa estipula que serán a cargo del usuario, es un asunto que reviste mucha importancia y merece cuidadoso tratamiento para evitar la oposición de los



usuarios a la instalación del medidor por causa de su alto costo, particularmente cuando se trata de programas de actualización. El plan de medición debe establecer la forma de cobro, dando al usuario las mayores facilidades de pago que sean posibles, especialmente a los de bajos recursos económicos.

Cuando se va a desarrollar un programa de actualización es indispensable informar a los usuarios a quienes se les va a instalar el medidor, sobre las ventajas que ofrece la medición para la buena prestación del servicio de agua, para el cobro justo del mismo y para la economía del agua que es cada día más escasa y costosa, así como sobre la fecha de colocación del medidor y la forma de pagar su valor. Sin cumplir este requisito de comunicación de un hecho que interesa al usuario y a la empresa, es muy probable que se presenten conflictos entre las dos partes y hasta la oposición hostil de los usuarios a la instalación de los medidores.

### **6.6. Selección y adquisición de medidores.**

En la administración del sistema de medidores, la fase de selección y la adquisición de los medidores adecuados a las necesidades del desarrollo de los programas de instalación tiene una gran importancia, por el significado que los aciertos o equivocaciones en las decisiones tienen para el buen desempeño de la medición y para la economía de la empresa.

Las dos acciones, la selección y la adquisición, están estrechamente ligadas una a la otra y por tanto, no deben considerarse por separado. Los medidores se adquieren para cumplir en forma adecuada su función en la toma domiciliar; la selección de un medidor apropiado para medir un determinado consumo debe hacerse de entre los medidores que pueden adquirirse. La selección y la adquisición están asociadas a las características del consumo, de los usuarios y del mercado de medidores, tanto como a las posibilidades financieras y técnicas de la empresa para la compra, la operación y el mantenimiento de los aparatos.

### **6.6.1. Selección.**

La selección de un medidor apropiado para ser instalado en la toma domiciliaria del usuario, envuelve el tipo y la capacidad adecuados al consumo y a las condiciones del sistema de distribución.

En el capítulo 4 fue presentada una descripción de los tipos de medidores domiciliarios y de sus características básicas, que puede ser tomada como elemento referencial para los estudios dirigidos a la selección y a la adquisición de medidores. La información detallada y específica sobre los medidores actualmente disponibles en el mercado, deberá ser obtenida de los fabricantes y utilizada en los estudios para hacer posible la selección más conveniente.

La selección adecuada se obtiene a partir del estudio de consumo del predio y de la pérdida de carga permisible en donde va a ser instalado el medidor. Debe recordarse que la capacidad nominal o gasto característico es el volumen de agua que pasa por un medidor en una hora, produciendo una pérdida de carga entre la entrada y la salida del aparato de 10 m.

Se deben determinar los consumos o volúmenes máximos por día y por mes, para compararlos con los respectivos volúmenes admisibles recomendados por los fabricantes y así determinar el tipo y capacidad del medidor. Por ejemplo, si el consumo en una casa se estima en 1200 l/día ( $1.2 \text{ m}^3$ ), el consumo mensual será de  $36 \text{ m}^3$ , que están adecuadamente medidos con un medidor de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  de capacidad, que admite hasta un volumen de  $4 \text{ m}^3$  por día y  $60 \text{ m}^3$  por mes (ver capítulo 5 "Características del medidor").

Muy a menudo el tamaño del medidor es escogido solamente por el diámetro de la tubería de la toma, pero con frecuencia la tubería se instala con diámetro mayor al necesario para prevenir aumentos futuros de consumo, o para reducir la pérdida de presión, resultando así una selección errónea. También existe la tendencia a sobredimensionar el tamaño del aparato, con el propósito de evitar un costo adicional cuando un posible aumento haga inadecuado el medidor pequeño instalado inicialmente. Esta es una práctica también inadecuada, que debe evitarse haciendo un cuidadoso estudio de la demanda esperada.

La utilización de un medidor de capacidad superior a la necesaria significará mayor costo de inversión, y restará precisión a la medición de flujos bajos comprendidos en el campo inferior de precisión. Un medidor subdimensionado producirá una restricción del consumo debido a la excesiva pérdida de carga producida por el paso de un volumen de agua superior al de la capacidad del medidor, así como reducirá considerablemente su período de vida por el desgaste acelerado.

Los parámetros de capacidad, límites máximo y mínimo de consumo dentro del campo de servicio continuo, exactitud y pérdidas de carga, los cuales tienen relación con la adecuada selección de un medidor y con su normal funcionamiento, deberán ser periódicamente controlados a través de análisis de estadísticas producidas rutinariamente dentro del proceso de determinación de consumos y facturación (generalmente de los últimos seis meses), a fin de detectar los medidores que se desvíen de tales parámetros y evaluar los motivos de las desviaciones.

Los informes estadísticos deben diseñarse para dar cuenta de los efectos producidos en el medidor como resultado de la continua ocurrencia de consumos superiores a su capacidad, así como de las pérdidas en la facturación debidas al subregistro de flujos por debajo del límite inferior de exactitud.

Por otra parte, en la selección del tipo de medidor (volumétrico o inferencial) debe tenerse en cuenta que, en general, un medidor con dispositivo de medida volumétrica tiene gran sensibilidad y precisión en los registros aún con flujos pequeños y baja presión hidráulica, cuando mide aguas claras y libres de sedimentos; un medidor con dispositivo de velocidad, es menos sensible a los flujos bajos pero funciona bien con aguas de mediana turbiedad; además, un medidor volumétrico cuesta más que el inferencial, con la misma capacidad.

Normalmente las tarifas establecen una cuota básica de consumo, como derecho correspondiente a un cargo fijo que el usuario debe pagar. Si con frecuencia el consumo no excede esta cuota, no se necesita una gran precisión para medir el agua. En una misma localidad es posible establecer grados diferentes de precisión para los medidores de acuerdo con el tipo de consumo de los usuarios.

La exactitud de la medida puede aumentar los ingresos de la empresa y en ese sentido es necesaria la máxima precisión posible, pero si para lograr los máximos ingresos se requieren gastos superiores al aumento en los recaudos, la precisión hasta esos límites no será lógica ni tendrá objeto.

Las tarifas y los costos de inversión y de mantenimiento se conjugan, desde un punto de vista económico, en la decisión del tipo adecuado de medidor. Si las tarifas establecen un valor elevado para el metro cúbico, no hay duda de que el medidor debe ser muy preciso y sensible; pero si ese valor es bajo, no será necesario un medidor de especificaciones muy exigentes.

De las consideraciones anteriores puede decirse que:

- No es conveniente definir un único tipo de medidor para todas las localidades, para todos los sectores o para todos los usuarios, sino de acuerdo con las características específicas del agua, de los consumos y de las tarifas.
- En los abastecimientos que tienen agua tratada o de manantiales y pozos previstos de filtros para arena, o en general donde las aguas estén libres de sedimentos, es posible utilizar medidores con cualquier tipo de dispositivo de medida, volumétrico o de velocidad. Para otros casos, se debe utilizar solamente el dispositivo de velocidad.
- Al cabo de un tiempo en que se considere que el servicio ha alcanzado su estabilidad de funcionamiento, debe hacerse una revisión para verificar si las condiciones de trabajo corresponden con las propuestas inicialmente. La verificación se hará determinando las demandas instantánea, horaria, diaria y mensual, para comprobar si el medidor es apropiado o es necesario cambiarlo por otros que se acomode a las circunstancias.

## **6.6.2. Adquisición de medidores.**

Para que los programas de instalación puedan desarrollarse satisfactoriamente, se requiere que los medidores, en la cantidad y calidad deseadas, estén disponibles en los lugares apropiados en el momento oportuno. Esto implica la realización de dos operaciones:

- a) Adquisición.
- b) Almacenamiento.

### **6.6.2.1. Adquisición.**

En la decisión de adquisición debe ser considerados no solamente el análisis de precios, sino también los aspectos técnicos y las alternativas frente a diversas características de los medidores ofrecidos. Esas alternativas serán analizadas siempre que, para un mismo valor total de compra, se obtengan variaciones considerables en número de medidores en razón a diferencias significativas de costo unitario.

Los aspectos técnicos se evalúan en función de las características de los medidores (marca, tipo, diámetro y capacidad), con base en análisis de informaciones estadísticas disponibles que permitan cuantificar y calificar la eficacia y comportamiento de cada característica.

De un taller de medidores pueden obtenerse informaciones referentes a los tipos, frecuencia y causas de daños, así como a la calidad, durabilidad, eficiencia, costos de reparación, problemas en la reparación, etc., las cuales en conjunto con el valor de compra, permitirán establecer un costo anual equivalente que servirá de base de comparación de las diferentes características y tipos de medidores de posible adquisición.

De la unidad encargada de la instalación, se obtienen conceptos en relación con las facilidades o dificultades presentadas con cada una de las características de los medidores. Del proceso de lectura, se observan las dificultades

encontradas con los diversos tipos de registro (lectura circular y lectura recta). Del proceso de administración y mantenimiento de los medidores son deducidas las condiciones necesarias para una buena operación y para el mantenimiento, así como obtenidos criterios técnico-económicos de evaluación útiles para orientar el proceso de compra.

En general, desde el punto de vista técnico pueden tenerse en cuenta los siguientes criterios de selección:

- El registrador de lectura recta es más fácil de leer que el de lectura circular; sin embargo, el circular tiene un mantenimiento más fácil y presenta menos posibilidades de daño.
- El registrador sellado puede utilizarse en todos los casos y presenta las ventajas de reducir considerablemente los problemas de mantenimiento y no tener fallas por acción del medio sobre la parte del registrador.
- Cuando se tengan aguas que puedan incrustar los piñones o producir corrosión en ellos, es aconsejable utilizar medidores de transmisión magnética. Si el fenómeno es simplemente de corrosión, los piñones de plástico son una solución.

En la preparación de las condiciones de compra deberán ser tomados en cuenta los aspectos de minimización de marcas para facilitar el mantenimiento y uniformización de las dimensiones de los aparatos para que se ajusten a las de las tomas (longitud, diámetro, etc.) y no hagan necesarias inversiones adicionales para adaptaciones. También serán consideradas las necesidades de repuestos, la calidad de servicio del proveedor, los aspectos legales del concurso o licitación para la compra, las condiciones del mercado (interno y externo), y en todo lo que sea necesario para guiar la decisión de una adquisición favorable para la medición en particular, y para la empresa en general.

Una vez seleccionados los medidores, de entre los existentes en el mercado que satisfacen las condiciones técnicas mínimas, y a fin de efectuar una comparación cuantitativa de costos de las diversas alternativas que permita tomar

la decisión definitiva más conveniente sobre la adquisición, se estudiarán los siguientes aspectos:

- La duración media de cada medidor en estudio y por consiguiente el valor equivalente anual de cada característica correspondiente al costo de adquisición y al de mantenimiento.
- Los beneficios que podrían ser obtenidos como resultado de un probable mayor grado de medición conseguido con la adquisición de un número mayor de medidores de menor valor con la misma suma de inversión. Cuando el costo inicial presenta una gran diferencia, aunque desde el punto de vista del costo anual equivalente existan pequeñas diferencias entre dos o más alternativas, es conveniente estudiar las alternativas sobre la base de tales beneficios.

La unidad responsable de la adquisición, debe preparar un programa de compras que cubra los mismos periodos considerados en el plan general formulado para establecer o actualizar el sistema de medición, en el cual se indicará la cantidad de medidores que, de acuerdo con la política óptima establecida, deban comprarse en cada etapa y los saldos mínimos que deben mantenerse en reserva para no paralizar el proceso. Generalmente se establece el número de aparatos requeridos, año por año, considerando horizontes programado a corto, mediano y largo plazos. El programa considerará además, una metodología para su actualización, modificación y evaluación continua.

#### **6.6.2.2. Almacenamiento.**

El almacenamiento de los medidores tiene como objetivo fundamental buscar una sincronización económica entre el proceso de adquisición y el plan de instalación, a fin de garantizar su regularidad y continuidad a costos adecuados. Este almacenamiento se hace en almacenes generales debidamente acondicionados.

También se requiere el establecimiento de un subalmacén o depósito, que funciona como anexo al taller de medidores y tiene por objetivo sincronizar los

aparatos. Este depósito tendrá sólo el número de medidores necesarios para los programas operativos, ya que el volumen mayor, por su alto valor, debe permanecer en el almacén general.

No obstante la comprobación de la calidad de los aparatos recibidos, puede producirse su deterioro físico por condiciones inadecuadas de calor, frío, humedad u otros factores. Ese deterioro podrá evitarse en gran parte si se almacenan de manera que estén protegidos contra los factores adversos.

El costo verdadero de los medidores es su precio de adquisición aumentando con los cargos por su manejo después de recibidos. Una buena práctica de almacenamiento, reducirá el costo del manejo en forma sustancial; y un almacén ordenado evita errores en la identificación de los aparatos ahorrando tiempo a los empleados del mismo.

#### **6.7. Actualización del sistema en la Ciudad de México.**

La Ciudad de México y su zona conurbada, se caracteriza por ser uno de los núcleos poblacionales más grandes del mundo. Debido a que se ubica en una cuenca cerrada a 2240 metros sobre el nivel medio del mar, sin salidas naturales de agua; ninguna fuente superficial relevante de suministro, y dependiente para ello de fuentes externas y de su propio acuífero, sobreexplotado por la intensa extracción y la escasa recarga.

Por años, el dotar de estos servicios se ha transformado en una carga económica muy importante para el gobierno de la Ciudad, provocando por los altos subsidios que han repercutido adversamente en la calidad de su prestación.

Para contribuir a revertir este proceso de ineficiencia ligada a un subsidio desigual entre la población, el 14 de julio de 1992, por decreto presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación, fue creada la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF), con el fin de desarrollar las actividades necesarias para incrementar la eficiencia y la calidad en el suministro de los servicios hidráulicos en la Ciudad.



Para enfrentar el problema antes descrito, el Departamento del Distrito Federal ha adoptado una nueva estrategia tendiente a garantizar el abasto ecológicamente sostenible de agua potable en los próximos 15 años.

La parte medular de esta estrategia, en el corto plazo, consiste en la toma por parte del gobierno de la Ciudad, de dos medidas fundamentales:

1. **Implantar un sistema de cobro basado en consumos medidos, iniciando con la instalación de medidores a los grandes usuarios (consumidores) de agua.**
2. **Mejorar en forma importante la infraestructura de las redes de distribución, para disminuir el agua que se pierde en fugas.**

Para llevar a cabo estas actividades se estimó conveniente promover la participación de la iniciativa privada, lo que permitirá adoptar las mejores tecnologías y prácticas disponibles en distribución y comercialización de agua y rehabilitación de redes; implantar incentivos económicos conducentes a un mayor ahorro del recurso en la distribución del mismo y encontrar fórmulas de financiamiento para las inversiones y gastos necesarios que no impacten en las finanzas públicas de la Ciudad.

Para afrontar la condición de mantener el servicio bajo la responsabilidad del gobierno de la Ciudad, no se consideró apropiado utilizar esquemas tradicionales de participación privada, tales como la venta de la infraestructura o su concesionamiento. En su lugar, la participación privada se estructuró como contratos de prestación de servicios, en los que la propiedad de la infraestructura y el control sobre la implantación del nuevo sistema de cobro permanecen en manos del gobierno.

Las etapas consideradas fueron las siguientes:

- 1ª. **El desarrollo de la infraestructura de medición a través del padrón de usuarios y la instalación de medidores.**

2ª. La operación del sistema de medición, emisión de recibos y el cobro del servicio.

3ª. La operación, mantenimiento y la rehabilitación de la infraestructura hidráulica de distribución y drenaje.

Actualmente, la primera etapa está desarrollándose conforme a lo previsto, terminando la instalación de los aparatos a los grandes usuarios y continuando la colocación hacia los pequeños usuarios, así como también la implantación de los sistemas de transferencia de registros (ver capítulo 4, apartado 4.7) para aumentar la eficiencia en la recabación de datos.

A su vez, la CADF desarrolla un sistema de información que permitirá evaluar el desempeño en la prestación de los servicios de las zonas que les fueron designadas de cada una de las empresas, a través de la generación de indicadores obtenidos a partir de la información proporcionada por la propia empresa.

Este trabajo se está apoyando sustancialmente en un sistema ya desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), denominado "Sistema de Evaluación de Eficiencia de Empresas de Agua", a fin de consolidar la calidad de la prestación del servicio de agua a la Ciudad.

## CAPÍTULO 7

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones.

Es innegable que en ciudades como la nuestra existen factores que perjudican la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable. Tales factores pueden ser el consumo extraordinario y el desperdicio inmoderado, lo que provoca la falta de suministro hacia otras localidades, o bien, el abastecimiento pero en cantidades insuficientes.

Los instrumentos de medición adecuados a las características propias de la instalación domiciliaria, son la alternativa para el mejoramiento del sistema de abastecimiento, por lo que se puede concluir de los mismos lo siguiente:

- Los medidores convencionales son los aparatos que comúnmente se utilizan para la obtención de los consumos en una instalación predial. Además, debido a sus características técnicas, económicas y funcionales permiten la rentabilidad del sistema.
- Existen dos tipos esenciales de medidores con diferentes principios de funcionamiento: el medidor inferencial o de velocidad y el medidor de desplazamiento positivo o volumétrico.
- En los medidores de velocidad los sedimentos que pasan por su filtro no paralizan el elemento móvil, en cambio, en los medidores volumétricos algunas partículas pueden detener su mecanismo, impidiendo el paso total del agua.
- En los medidores de desplazamiento positivo el agua fluye únicamente si se desaloja el agua del elemento móvil de la cámara, sin embargo, la

inconveniencia de este aparato es que el aire puede hacer que el elemento móvil también sea desplazado y obligue a un sobregistro; en los de velocidad pueden hacerlo sin que se desplace esa pieza por lo que generaría un subregistro. Esto indica que una cantidad de agua o aire, por pequeña que sea, si logra pasar por un medidor volumétrico, tiene que haberse registrado. Sin embargo, en los de velocidad, solamente darán el registro aquellas cantidades que venzan las resistencias del rotor.

- En la práctica, la diferencia de distancias que existe entre el elemento móvil y la cámara de medición, en los medidores volumétricos, hace que determinadas cantidades de agua pasen por esos espacios sin que el medidor las registre. Ellas pueden ser mayores que las originales de fabricación, de acuerdo a los desgastes que hayan sufrido las superficies en contacto de los dos elementos.
- La instalación de uno u otro tipo de medidor, dependerá de las condiciones actuales que prevalezcan en el sistema de abastecimiento, incluyendo la calidad de agua proporcionada. Esto significa, que para aquellos lugares donde el agua proporcionada contenga sedimentos, será innegable la utilización de los medidores de velocidad; sin embargo, si se tienen aguas limpias será conveniente la instalación de los medidores volumétricos. Aunado a esto, cuando se presentan flujos pequeños se requiere de precisión para medir hasta el flujo mínimo, lo cual hace indispensable al medidor volumétrico; por el contrario, si se tienen grandes flujos será necesario la instalación de los aparatos de velocidad.

Por lo tanto, si se analizan los requerimientos de los aparatos, pueden surgir las siguientes preguntas: ¿Si se tiene un flujo mínimo y además con sedimentos, que tipo de medidor debo utilizar?, o bien, ¿Si se tiene grandes flujos con aguas limpias es posible utilizar el medidor volumétrico?.

Para su respuesta sólo hay que observar las características operativas de cada medidor; por ejemplo, en la primera pregunta se tiene que

considerar que el flujo viaja con sedimentos, lo cual afectaría la funcionalidad del medidor volumétrico, y a pesar de tener un flujo pequeño se tendrá que instalar uno de velocidad, que si bien es cierto no tiene la suficiente sensibilidad a bajos flujos, también es cierto que no impedirá el paso del agua al domicilio. En la segunda pregunta es claro definir que donde se presente esa situación será posible instalar medidores volumétricos de acuerdo a la capacidad nominal que se designe a cada uno de ellos.

Esto significa que los medidores volumétricos únicamente serán utilizados cuando exista la certeza de suministrar el agua con buena calidad, sin excesivo contenido de sedimentos que puedan bloquear al aparato.

- Los medidores poseen varios tipos de mecanismos de transmisión, sin embargo, la que reúne las mejores características funcionales, se encuentra en aquellos de transmisión magnética, debido a que evita el acoplamiento entre una zona húmeda y una seca, lo que permite individualidad de los sectores de los mecanismos de medición y de registro, y por tanto, de la filtración del agua que deteriora la operación y visibilidad del registrador.
- Los medidores de lectura recta son más fáciles y rápidos de leer, teniendo menor porcentaje de error al realizar la obtención de los consumos.
- El nuevo sistema de transferencia de registros disminuirá de manera considerable los sobornos ofrecidos a los lecturistas en el lugar del predio.
- La lectura remota ofrece las condiciones más favorables de obtención de consumos, considerando al tiempo y a la precisión como los factores más importantes en su desempeño. Elimina de igual manera, la entrada del lecturista al domicilio y permite recabar la información desde distancias lejanas para después ser procesadas en una microcomputadora.

- Los medidores cuentan con una designación que identifica la capacidad nominal de cada uno de ellos y/o en algunos casos el diámetro nominal al que pertenecen.
- La administración constituye un factor muy importante para la recabación y procesamiento de los datos obtenidos, es decir, sin la administración correspondiente la instalación de medidores no tendría significado puesto que la obtención del consumo no podría ser recabado ni canalizado para cobrar los derechos del servicio. De esta forma, la administración de los medidores sirve no sólo para obtener los registros efectuados, sino que también juega un papel muy importante en la planeación y estrategias de instalación y actualización de los aparatos, así como para conocer la situación actual de suministro prevalecientes en la localidad.

Por lo tanto, el sistema de medidores incluye además de los aparatos, el control técnico-administrativo de las características específicas de una zona, región o poblado, que permita establecer la cobertura del servicio otorgado.

- Finalmente, se concluye que el sistema de medidores es un **alternativo de solución** al problema de los desperdicios y consumos inmoderados, sin embargo, la verdadera solución está en la conciencia de cada habitante del país en conocer el gran esfuerzo que significa abastecer a una ciudad o poblado, de tal manera que lo encamine a razonar en la situación y posteriormente a efectuar el debido racionamiento.

## **7.2. Recomendaciones.**

Para llevar un estricto control del sistema de medidores es necesario conocer algunas recomendaciones básicas que permitan el mejor desempeño de los aparatos y la mejor obtención de los alcances fijados por la dependencia o empresa a cargo del servicio. Entre las recomendaciones destacan:

- En la planeación para la implantación de medidores se recomienda tomar en cuenta toda la gama de aparatos existentes para verificar de acuerdo

a las características prevalecientes del servicio, el tipo de medidor más adecuado que ofrezca los mejores rendimientos ante tal situación. Es decir, no es recomendable instalar un sólo tipo de medidor, sino que es necesario hacer un conjunto mixto de ellos que permitan el mejor desempeño en la obtención de los registros.

- Es recomendable realizar la selección del medidor tomando en cuenta la capacidad nominal del mismo y no por el diámetro de la tubería existente en el cuadro predial, esto con el fin de evitar las pérdidas de carga excesivas que pudieran afectar la presión de diseño.
- Realizar en periodos razonables las acciones de mantenimiento correspondientes a cada medidor instalado, ya que es común encontrar medidores que han sido abandonados por la falta del mismo, y que por tal motivo se recurra a las cuotas fijas señaladas.
- Llevar un estricto control administrativo de las condiciones operantes del sistema para verificar la situación y tomar de acuerdo a las condiciones prevalecientes las acciones correctivas y preventivas del sistema, así como la ampliación del mismo.
- Por último, se recomienda racionalizar el agua, no desperdiciarla ni hacer consumos inmoderados, utilizarla sólo para las necesidades primarias de tal manera que se evite su extracción inmoderada y por lo mismo sus inevitables consecuencias.

# BIBLIOGRAFÍA

## **Textos:**

1. **AWWA, American Water Works Association.**  
"Flowmeters and Water Supply".  
(Manual M33).  
First edition.  
USA, s.f.  
Capítulo 3.
  
2. **AWWA.**  
"Water Meters: Selection, Installation, Testing and Maintenance".  
(Manual M6).  
Third edition.  
USA, s.f.  
Capítulos 3 y 4.
  
3. **BUENFIL, Mario.**  
"Sistema de Evaluación de Eficiencia de Empresas de Agua".  
(Manual del Usuario).  
IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.  
México, 1994.  
Capítulo 6.
  
4. **CADF, Comisión de Aguas del Distrito Federal.**  
"Ingeniería para Determinar los Consumos de los Usuarios Domésticos  
(Primera y Segunda Etapa)".  
Tomo I.  
México, D.F., 1994.  
Capítulo 6.



**5. CADF.**

**"Sistema de Información y Vigilancia de la Calidad de la Prestación de los Servicios Hidráulicos en el Distrito Federal".**

**(Términos de referencia, CADF).**

**DDF, Departamento del Distrito Federal.**

**México, D.F., 1994.**

**Capítulo 6.**

**6. Comisión de Aguas del Valle de México.**

**"Sistema Cutzamala. Abastecimiento de Agua Potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México".**

**SARH, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.**

**México, D.F., 1987.**

**Capítulo 2.**

**7. CICM, Colegio de Ingenieros Civiles de México.**

**"Agua Potable y Alcantarillado".**

**(Conferencia).**

**México, D.F., 1983.**

**Capítulo 2.**

**8. DDF, Departamento del Distrito Federal.**

**"Programa de Desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y de la Región Centro".**

**Gobierno de los Estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Morelos y Querétaro".**

**Primera Edición.**

**México, D.F., 1983.**

**Capítulo 2.**

**9. DDF.**

**"Programa Hidráulico del Distrito Federal"**

**(Resumen).**

**Secretaría General de Obras y Servicios.**

**México, D.F., s.f.**

**Capítulo 2.**

10. DGCOH, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.  
"Agua 2000. Estrategia para la Ciudad de México".  
Secretaría General de Obras.  
Primera edición.  
México, D.F., 1994.  
Capítulo 2.
  
11. DGCOH.  
"El Sistema Hidráulico del Distrito Federal. Un Servicio Público en Transición".  
Secretaría General de Obras.  
Primera edición.  
México, D.F., 1982.  
Capítulo 2.
  
12. DGCOH.  
"Programa de Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de México".  
México, D.F., 1988.  
Capítulos 2 y 4.
  
13. Diario Oficial de la Federación.  
"Ley de Aguas Nacionales".  
CADF.  
SARH.  
México, D.F., 1992.  
Capítulos 2 y 6.
  
14. FÉLIX, Agustín.  
"Planeación del Proyecto Temascaltepec, Futura Fuente de Abastecimiento de Agua Potable de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México".  
9º Congreso Nacional de Hidráulica.  
Querétaro, Qro., 1986.  
Capítulo 2.

15. GILES, Ronald.  
"Mecánica de los Fluidos e Hidráulica".  
Editorial McGraw-Hill / Serie Schaum.  
México, D.F., 1988.  
Capítulo 3.
16. HERNÁNDEZ, Carlos.  
"Control para la Operación del Sistema Cutzamala".  
9º Congreso Nacional de Hidráulica.  
Querétaro, Qro., 1986.  
Capítulo 2.
17. HORANDT, Henry.  
"Estudio sobre Experiencia con Medidores de Agua".  
Neptune Meter Company.  
New York, USA, s.f.  
Capítulo 4.
18. MATAIX, Claudio.  
"Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas".  
Editorial Harla.  
México, D.F., 1982.  
Capítulo 3.
19. OPS, Organización Panamericana de la Salud.  
"Macromedición: Medidores de Caudal".  
DTIAPA.  
CEPIS.  
Lima, Perú, s.f.  
Capítulo 3.
20. OPS.  
"Medidores de Agua Domiciliarios".  
Banco Interamericano de Desarrollo.  
Lima, Perú, s.f.  
Capítulos 4, 5 y 6.

**21. OPS**

"Selección, Evaluación y Dimensionamiento de Medidores Domiciliarios de Agua".

(Documentos Técnicos DTIAPA 2).

DTIAPA.

CEPIS.

División de Protección de la Salud Ambiental.

Lima, Perú, 1982.

Capítulo 4.

**22. OPS.**

"Subsistemas de Medición, Catastro, Facturación y Cobranza".

(Manual DTIAPA N° C-12).

CEPIS: Programa de Protección de la Salud Ambiental.

Lima, Perú, 1985.

Capítulos 4,5 y 6.

**23. PANO, Ildelfonso.**

"Medición de Gastos en los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable en el Distrito Federal".

IPN: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

México, D.F., 1987.

Capítulo 3.

**24. PURSCHELL, Wolfgang.**

"La Técnica de Aforo del Consumo de Aguas de Poblaciones"

(Primera Parte).

Editorial URMO, S.A.

Bilbao, España, 1976.

Capítulo 3.

**25. ROLIM, Sergio.**

"Medidores de Água".

(Manual do Reparador de Medidores de Água).

Sao Paulo, Brasil, s.f.

Capítulo 4.

26. SÁNCHEZ, Adriana.

"Las Cuencas Hidrológicas y sus Perspectivas".

10º Congreso Nacional de Hidráulica.

Morelia, Michoacán., 1988.

Asociación Mexicana de Hidráulica.

Capítulo 2.

27. SARH, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

"Agua y Sociedad".

(Una Historia de las Obras Hidráulicas en México).

Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica.

México, D.F., 1988.

Capítulo 2.

28. SOTELO, Gilberto.

"Hidráulica General".

(Fundamentos).

Volumen I.

Editorial Limusa.

México D.F., 1994.

Capítulo 3.

### **Catálogos y folletos:**

1. BADGER METER.

"Compu-Sonic Flowmeter (Closed Pipe)".

(Badger Meter Instruction Manual).

Tulsa, USA, 1994.

Capítulo 3.

2. BADGER METER.

"Meter Water Equipment and Systems".

(Manual Badger).

Tulsa, USA, s.f.

Capítulo 4.

**3. CADF.**

"Agua: Una Nueva Estrategia para el Distrito Federal".  
Fundación para la Conservación del Agua en México.  
México, D.F., 1994.  
Capítulo 2.

**4. DELAUNET.**

"Catálogo de Medidores".  
CICASA.  
Capítulo 4.

**5. Gerencia de Aguas del Valle de México.**

"Subsistema Colorines, Tercera Etapa Cutzamala".  
SARH.  
CNA.  
México, D.F., s.f.  
Capítulo 2.

**6. HERSEY.**

"Backflow Prevention Assemblies".  
(Hersey Parts Catalog).  
Capítulo 4.

**7. SCHLUMBERGER.**

"Flow Measurement Instrumentation".  
Measurement Division.  
Capítulo 4.