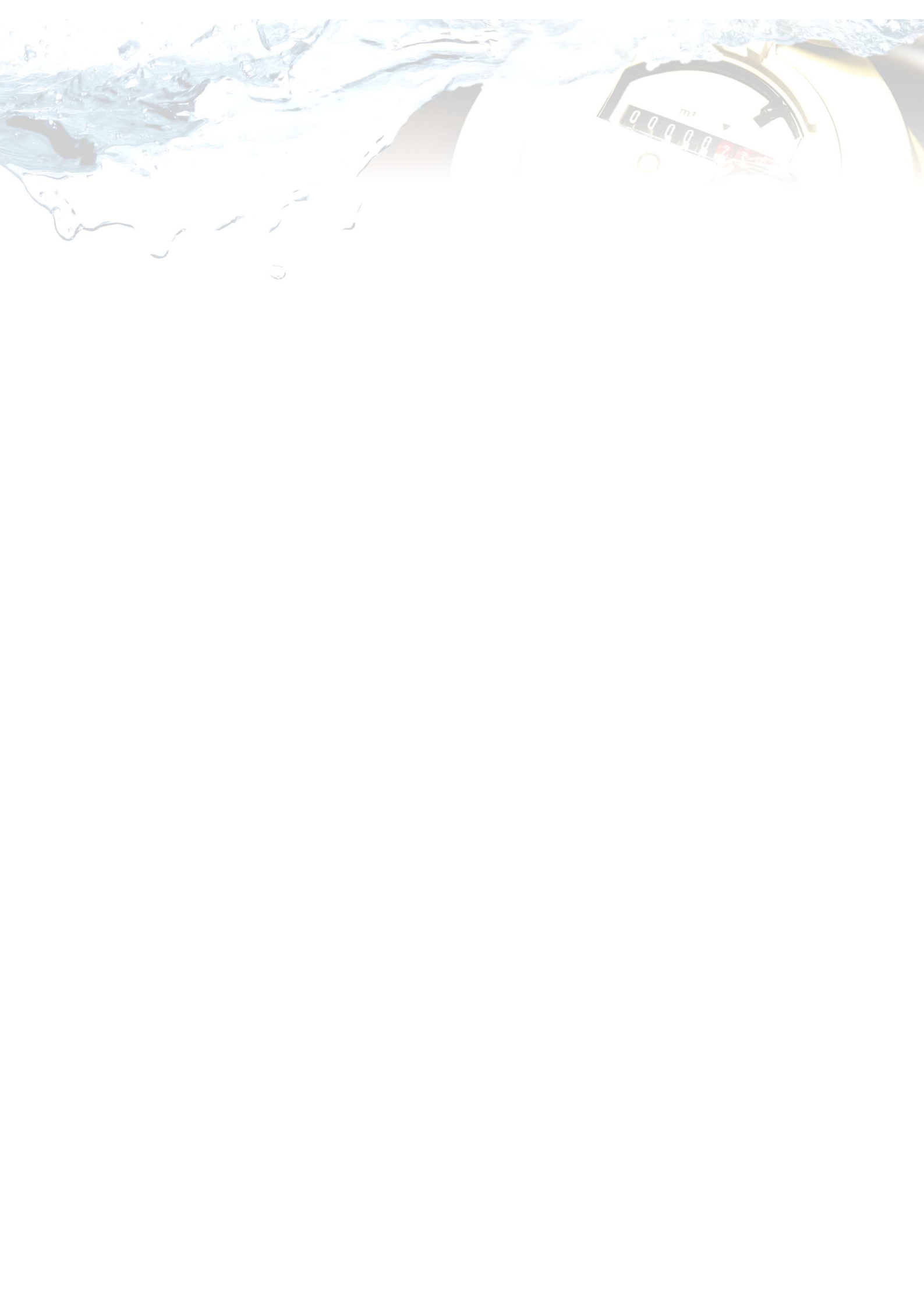




4. LA GESTIÓN AVANZADA DEL PARQUE DE CONTADORES





4 La gestión avanzada del parque de contadores

En los capítulos anteriores se han establecido criterios relativos a la gestión del parque de contadores basados en conceptos generales: hay que renovar el parque de contadores, si hay consumos a caudales bajos conviene instalar contadores de mayor precisión, etc. Sin embargo, existen preguntas que se plantea el gestor de un abastecimiento y que son difíciles de contestar:

- ¿A qué caudales consumen el agua los usuarios?
- ¿Cuánta agua estamos dejando de registrar por el error de los contadores instalados?
- ¿Cuánto aumentará el volumen registrado con cada modelo de contador?
- ¿Cada cuanto tiempo debo cambiar los contadores para obtener la máxima rentabilidad económica?

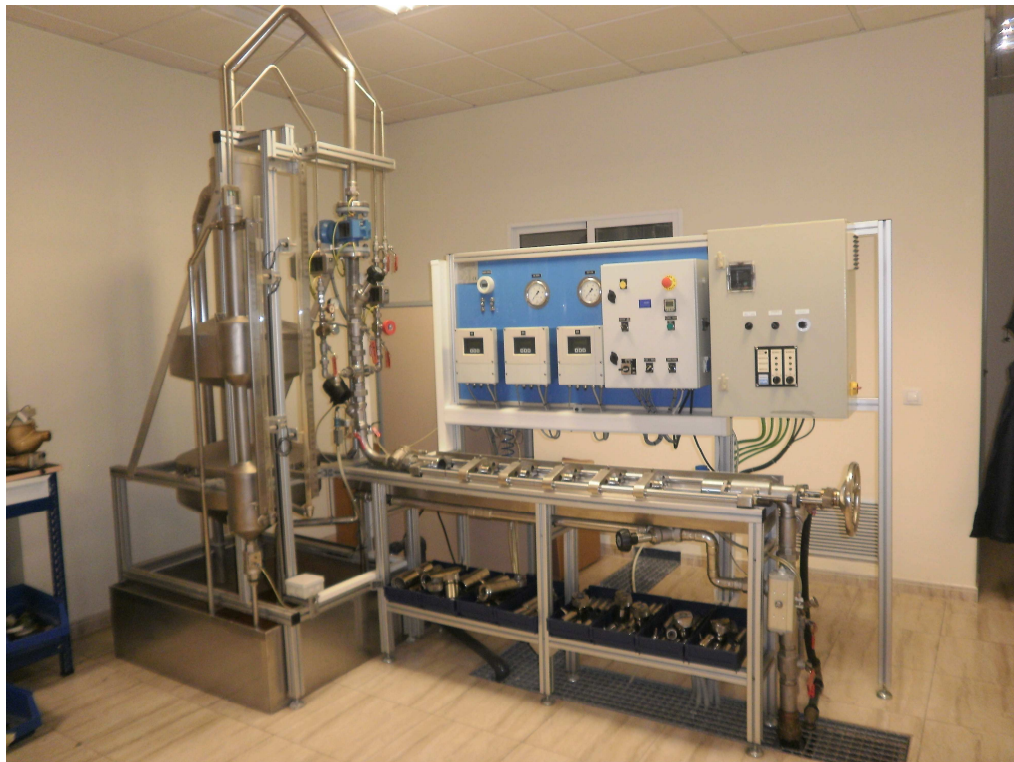
Las respuestas a estas preguntas y otras muchas no son fáciles de obtener y si queremos que tengan una base requieren de la realización de numerosos ensayos, muestreos y registro de datos en campo. Es un proceso muy laborioso pero que una vez realizado proporciona al gestor las herramientas con las que actuar con un criterio basado en datos y no en conceptos generalistas.

La gestión que hemos llamado “avanzada” no suele estar al alcance de los pequeños abastecimientos pero sí de las compañías de agua y de los gestores de grandes ciudades.

No es objeto de este documento describir al detalle las técnicas mencionadas, sino dar una explicación somera de las mismas. Para un mayor desarrollo remitimos a la excelente publicación *GESTIÓN INTEGRAL DE CONTADORES DE AGUA* (F.Arregui, E. Cabrera Rochera y Ricardo Corbacho) publicado en 2007 por el Instituto Tecnológico del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia.

4.1 Laboratorio de ensayo de contadores.

Para la realización de los estudios necesarios sobre los contadores nuevos y usados deberemos tener acceso a un equipo de ensayo de contadores. Estos equipos consisten en una bancada en la que se ubican los contadores a ensayar. Se fuerza el paso de agua a través de ellos a diversos caudales. Para cada uno de los caudales ensayados se compara el registro del contador con el volumen de agua que realmente ha circulado a través de los equipos. Este se conoce bien por existir un recipiente aforado o bien por pesaje del agua acumulada, según el tipo de laboratorio.



Naturalmente estos ensayos deben realizarse en condiciones ambientales controladas, con metodologías estandarizadas que permitan asegurar la repetibilidad de los resultados y realizando calibraciones e intercomparaciones periódicas.

Es conveniente que el banco sea manejado por personal especializado y que se guarde registro de los ensayos mediante sistemas informáticos que permitan almacenar, indexar y homogeneizar los resultados de los ensayos.

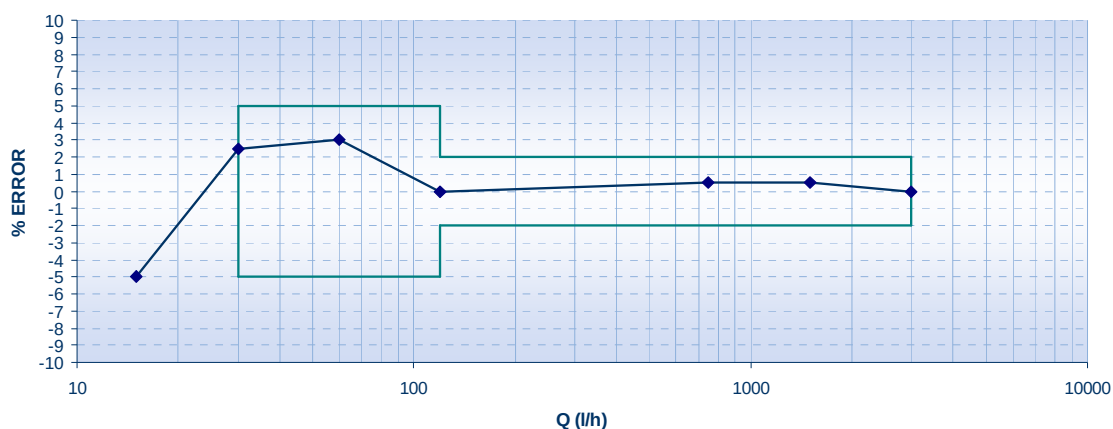
La adquisición de un laboratorio de este tipo y los costes del personal a su cargo suponen una inversión considerable.

Existen métodos alternativos para el ensayo de contadores como puede ser el uso de un pistón patrón calibrado o de contadores patrón instalados en serie y calibrados periódicamente, si bien no proporcionan la misma seguridad que el banco de ensayos arriba descrito.

4.2 Error de medición de los contadores

En el banco de contadores para cada uno de los contadores ensayados se realiza la medición de error a diferentes caudales. El error entre los caudales ensayados se interpola, obteniéndose una curva que nos permite caracterizar el error de medición global del contador:

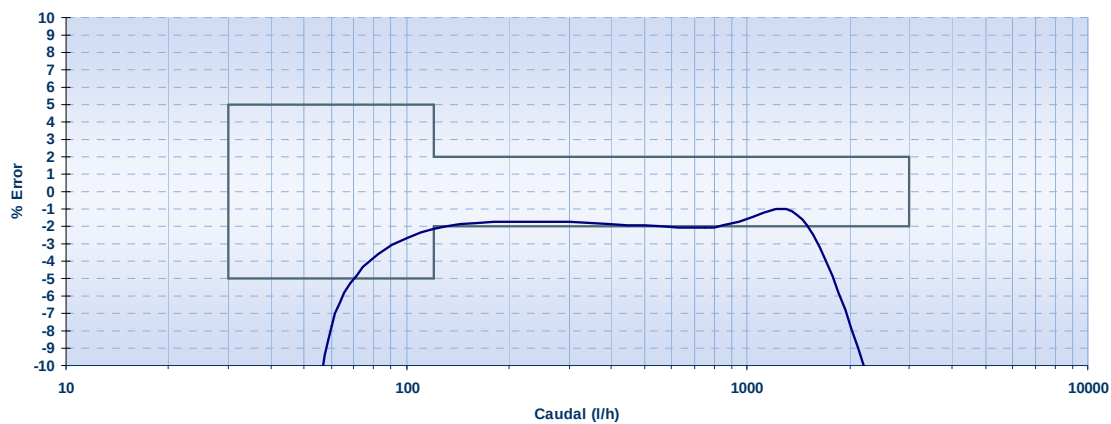
Curva de error de contador a partir de puntos de ensayo



La curva de un único contador no sirve más que para informarnos sobre ese contador concreto. Sin embargo, si realizamos una segmentación de nuestro parque de contadores, extraemos una muestra de esos contadores estadísticamente significativa y los ensayamos en el banco obtendremos la curva media de cada uno de los grupos segmentados. Así de esa forma podremos afirmar, por ejemplo, que el modelo X de calibre 15 mm de edad 8 años tiene la curva media de error siguiente:



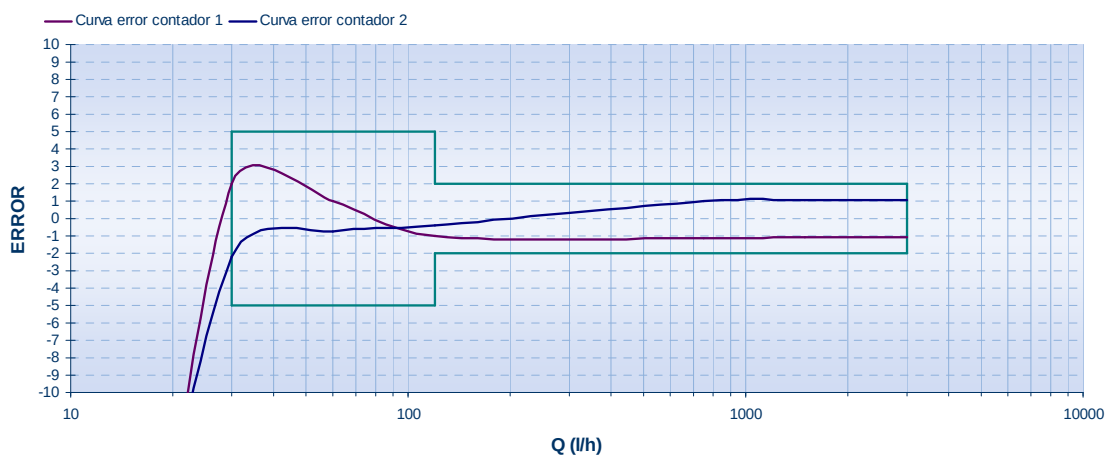
Curva media error



Cuanto más detallada sea la segmentación realizada mayor será la información que tengamos sobre nuestros contadores, pero también aumentará el número de ensayos necesarios.

Así pues, llegados a este punto somos capaces de conocer cómo se comportan nuestros contadores, pero ¿qué contador nos conviene instalar? No es evidente. Veamos la curva real de ensayo de dos contadores:

Comparativa entre curvas de error

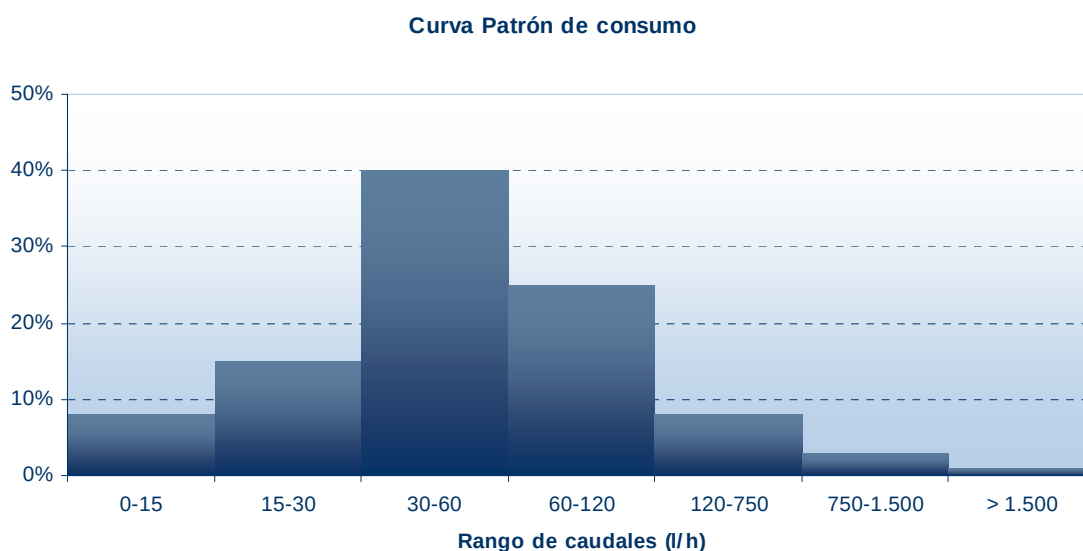


Sólo observando estas curvas no somos capaces de determinar el contador que minimizará el error de medición.

4.3 Patrón de consumo.

Para completar la información necesaria se precisa conocer cómo consumen agua los usuarios. Así, si consumieran una parte significativa del volumen a bajos caudales, sería necesario instalar contadores que tuvieran poco error en la zona de caudales bajos. En cambio, si los usuarios consumen fundamentalmente a caudales muy altos no es necesaria esta precisión, pero sí contadores robustos y que no sufran problemas de desacople entre la turbina y el totalizador.

La distribución de consumos a diferentes caudales se denomina patrón de consumo y suele expresarse como el porcentaje del volumen total consumido para cada una de las franjas de caudal establecidas:

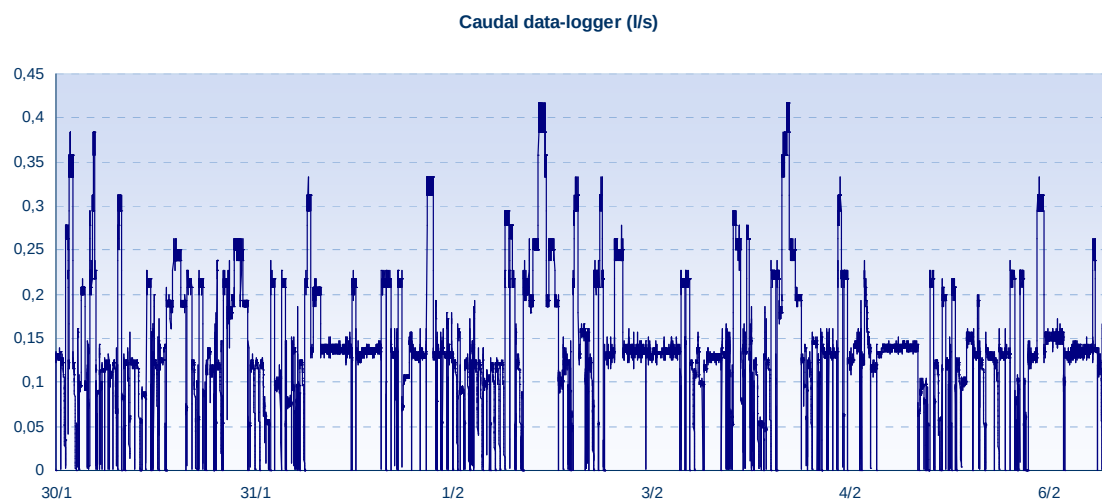


La obtención del patrón de consumo es un proceso laborioso que se desarrolla en campo. En primer lugar se debe realizar una segmentación de los usuarios en función de las características que se decidan: tipo de inmueble, existencia de depósito de acumulación, zona geográfica, etc. De cada uno de los segmentos se selecciona una muestra estadísticamente significativa y a estos usuarios se les instala un contador de alta precisión (habitualmente de tipo volumétrico) y se registra su consumo mediante un equipo registrador (data-logger) durante un tiempo, habitualmente de una a dos semanas, aunque en caso de existir estacionalidad, este plazo debería ampliarse.



Contador con data-logger

Una vez obtenidos los registros de muchos usuarios de un mismo tipo se descartan aquellos usuarios que pueden alterar indebidamente los resultados, como por ejemplo aquellos que tienen fugas en su instalación o cuyo contador ha sufrido alguna avería mientras se realizaba la medición.



Gráfica de caudal obtenida con data-logger.

Los datos validados se promedian obteniendo de esta forma el patrón de consumo del grupo estudiado.

4.4 La toma de decisiones. El error medio ponderado.

Conociendo la curva de error de los contadores y el patrón de consumo de los usuarios ya estamos en condiciones de obtener el error de medición. Así, para cada uno de los bloques de consumo del patrón, podemos conocer el error que ese tipo de contador nos va a proporcionar. Puesto que el patrón asigna un peso a cada rango de consumos podemos ponderar estos errores y obtener el error de medición total. Veamos un ejemplo:

Rango de caudales (l/h)	Patrón de consumo. Tipo de consumidor	Error de medición del contador	Volumen registrado
0 -15	8%	-30%	5,60%
15 - 30	15%	-10%	13,50%
30 – 60	40%	2%	40,80%
60 - 120	25%	0,10%	25,03%
120 - 750	8%	0,01%	8,00%
750 – 1.500	3%	-0,13%	3,00%
>1.500	1%	-0,49%	1,00%
TOTAL			96,92%
ERROR			-3,08%

Para cada rango de caudales se detrae al porcentaje que indica el patrón el error de medición correspondiente. Por ejemplo para el rango de 0-15 l/h el peso que indica el patrón es del 8%. Dado que el error es del -30% eso indica que sólo vamos a registrar el 70% del consumo real. Por lo tanto registraremos $8\% \cdot 0,70 = 5,60\%$

Procediendo de esta forma para cada rango de caudales obtenemos, en este caso hipotético, que vamos a registrar el 96,92% del consumo, o lo que es lo mismo, que el error de medición es del -3,08%.

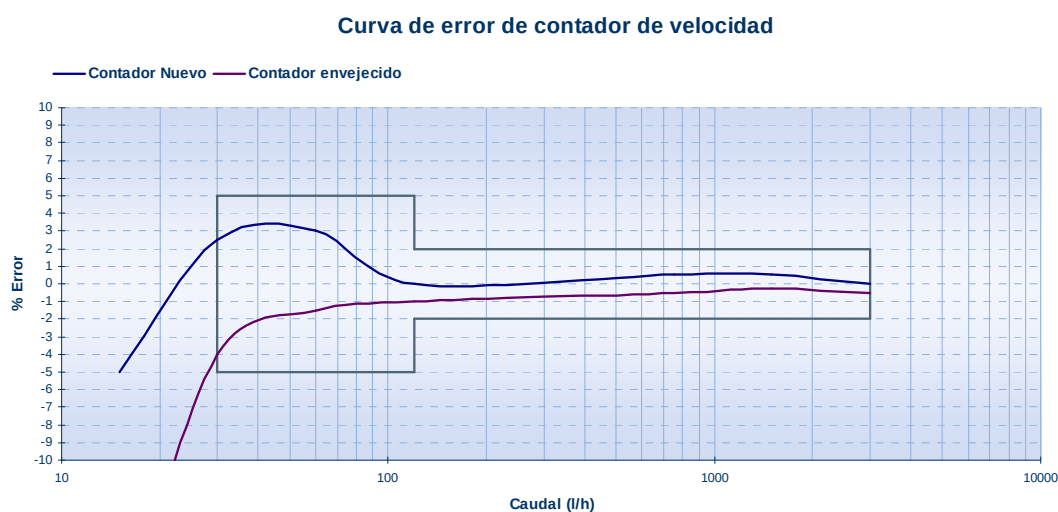
Hay que destacar la importancia que supone este punto ya que hemos obtenido un valor de un parámetro que nos proporciona información sobre la mayor o menor bondad de cada una de las tecnologías por las que podemos optar, es decir, que **a partir de este momento podemos comparar diversas soluciones entre sí desde el punto de vista técnico.**

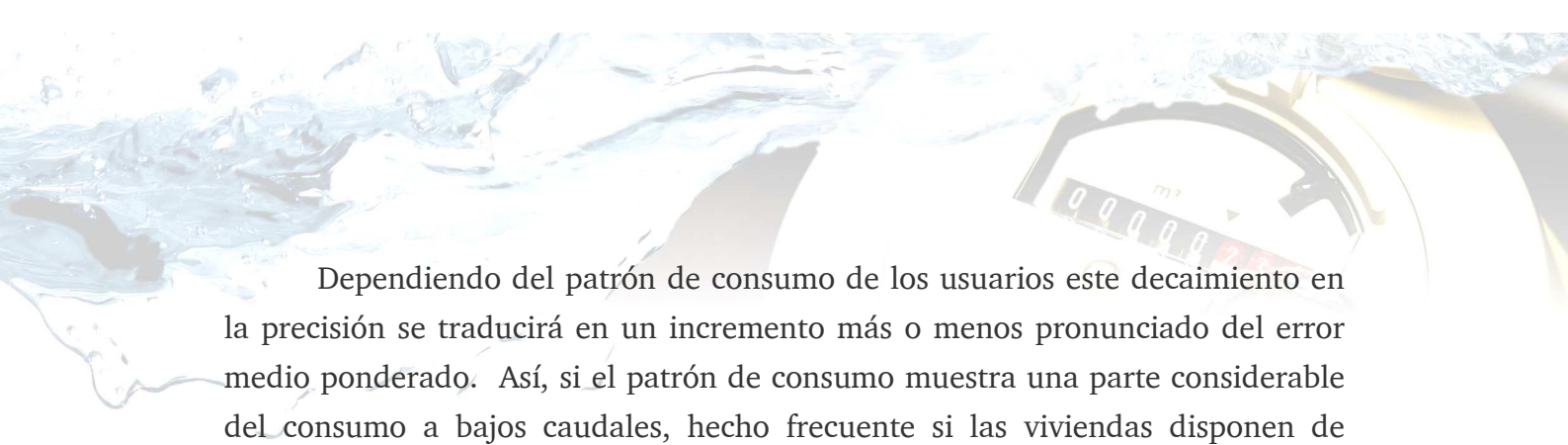
Si un contador X estimamos que nos proporciona un error medio ponderado del -4% y el contador Y nos proporciona un error medio ponderado del -8%, evidentemente el contador X es mejor que el Y, al menos desde un punto de vista puramente técnico.

También podemos estimar mediante esta metodología el volumen de agua que se pierde por la submedición de los contadores. Para ello obtenemos la curva media de error de los contadores instalados, mediante muestreo de los mismos, y la cruzamos con el patrón de consumo de los abonados. El resultado nos dará un porcentaje de error que podemos convertir en volumen relacionándolo con el volumen de agua registrado.

4.5 Envejecimiento de los contadores. Criterios económicos en la renovación del parque.

Con el paso del tiempo y el desgaste producido por el uso, los contadores envejecen, perdiendo precisión en la medida, razón por la cual es necesaria su renovación periódica. Habitualmente el envejecimiento se traduce en una caída de la precisión a caudales bajos. Esto es razonable dado que a pequeños caudales el empuje que el agua ejerce sobre las piezas móviles del contador es mucho menor y éste sólo es capaz de reaccionar a estas débiles fuerzas, si todas las partes de su mecanismo se encuentran en perfecto estado. En la siguiente gráfica se aprecia la evolución de la curva de error de un contador de velocidad:

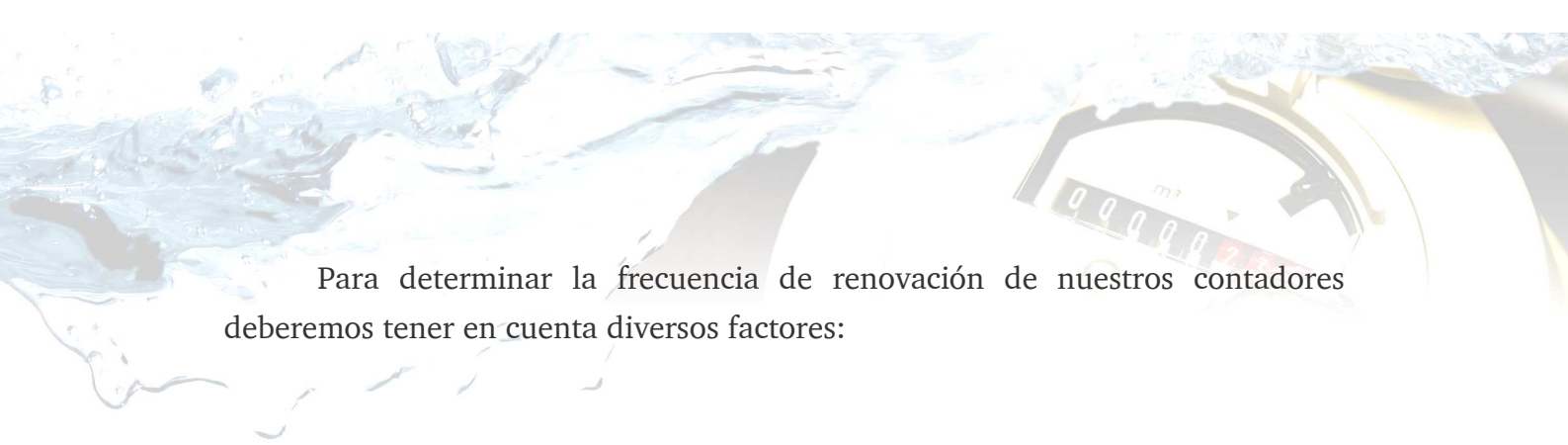




Dependiendo del patrón de consumo de los usuarios este decaimiento en la precisión se traducirá en un incremento más o menos pronunciado del error medio ponderado. Así, si el patrón de consumo muestra una parte considerable del consumo a bajos caudales, hecho frecuente si las viviendas disponen de depósitos de acumulación, el error aumentará rápidamente. En cambio si los consumos se producen a caudales altos la pérdida de precisión del contador no nos afectará en gran medida.

A la hora de establecer la frecuencia con que vamos a renovar el parque de contadores desde el punto de vista de la rentabilidad debemos tener en cuenta que cada sustitución de un contador va a suponer un coste (contador, mano de obra, piezas accesorias) y por otro lado va a suponer un incremento de los ingresos puesto que el nuevo contador es de esperar que sea capaz de medir volúmenes que el contador viejo ya no detectaba. En este cálculo será clave el precio de venta del agua. Con precios bajos, aunque midamos unos metros cúbicos más que antes, el ingreso adicional será bajo y no justificará la inversión en un nuevo contador. En cambio, con precios de venta del agua altos, el periodo de retorno de la inversión será inferior a la vida útil del aparato.

Este cálculo de la rentabilidad se complica desde el momento en que la precisión del nuevo contador también va decayendo con el tiempo y el uso, por lo que el volumen adicional que supone su instalación no es constante sino que va cambiando con el paso de los años.



Para determinar la frecuencia de renovación de nuestros contadores deberemos tener en cuenta diversos factores:

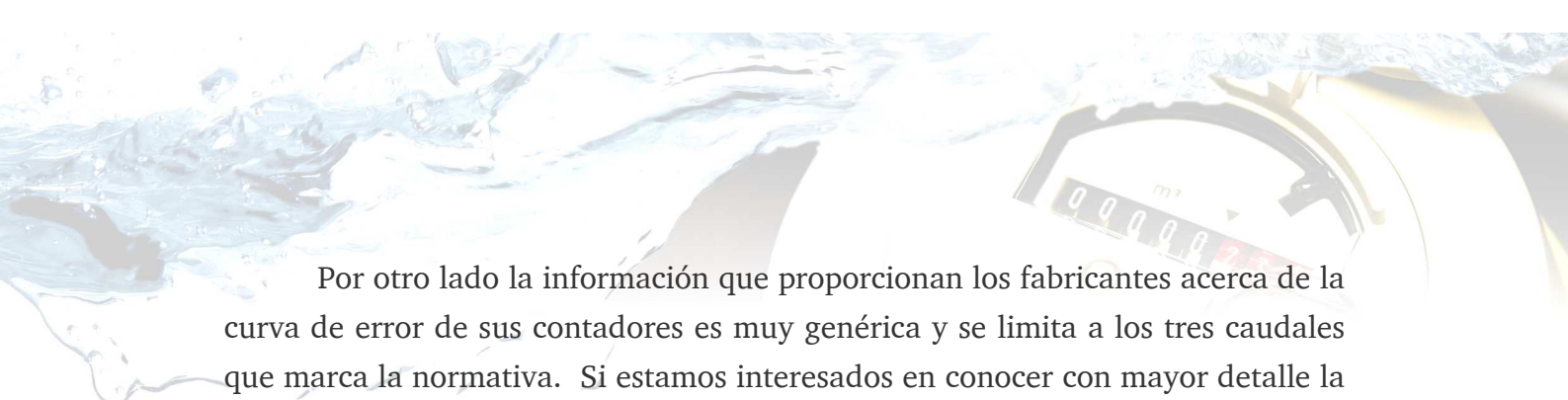
- El error medio ponderado a origen.
- La pérdida de precisión de los contadores.
- El precio del agua.
- El consumo medio de nuestros usuarios.

Con estos datos, algunos de los cuales es muy difícil conocer con precisión, se puede calcular el denominado VANC (Valor Actual Neto de la Cadena de renovaciones), el cuál nos indicará la rentabilidad de la renovación de contadores. Para el detalle de su cálculo nos remitimos al libro GESTIÓN INTEGRAL DE CONTADORES DE AGUA (F.Arregui, E. Cabrera Rochera y Ricardo Corbacho) publicado en 2007 por el Instituto Tecnológico del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia.

En cualquier caso, y al margen de las premisas puramente económicas, existe la necesidad de limitar la edad del parque de contadores ya que de otra forma se perderá la fiabilidad de los equipos, obteniendo datos de consumo que van a ser engañosos y pueden provocar que se tomen decisiones equivocadas.

4.6 Control de calidad a recepción.

Como parte de la gestión avanzada del parque de contadores se ha incluido la realización de controles sobre los contadores enviados por los fabricantes. Aunque el fabricante, en su línea de producción, verifica el contador, hay una posterior fase de manipulado del mismo, empaquetado, almacenamiento y transporte que, si se realiza inadecuadamente puede alterar el estado del contador. Es conveniente proceder a comprobar el estado de los mismos al recepcionarlos. Esto sirve también para verificar que los controles de calidad realizados por el fabricante son adecuados y rigurosos.



Por otro lado la información que proporcionan los fabricantes acerca de la curva de error de sus contadores es muy genérica y se limita a los tres caudales que marca la normativa. Si estamos interesados en conocer con mayor detalle la curva de error de los contadores se hace necesario realizar ensayos a la recepción de los pedidos.

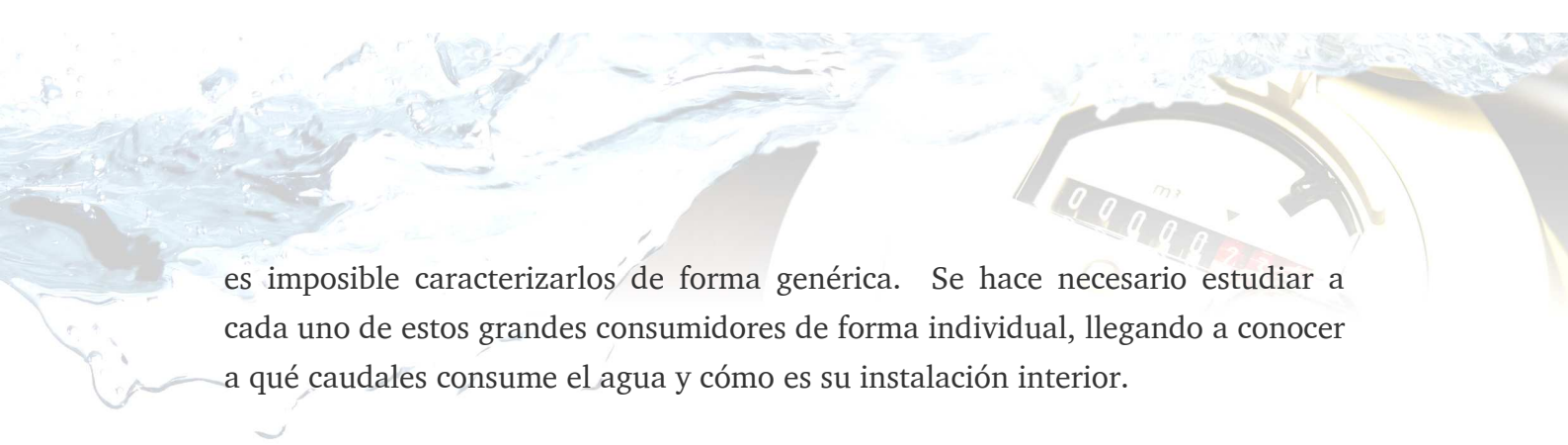
En el caso de que se hayan fijado al fabricante requerimientos en las características de los contadores más restrictivos que el mero cumplimiento de la legislación, es imprescindible realizar un control del cumplimiento de estos requisitos.

Para evaluar si un lote debe ser admitido o rechazado debe seguirse un método estandarizado y es aconsejable firmar acuerdos previos con los suministradores de contadores para que éstos sean conscientes de que sus envíos pueden no ser aceptados. Los controles se realizan siguiendo métodos normalizados (ISO 3951), mediante muestreo de los lotes de contadores recibidos y ensayo de las muestras en el laboratorio de contadores. En función del tamaño del lote y del nivel de inspección elegido (reducido, normal o riguroso), se elige un tamaño de muestra. Se deben fijar los criterios de aceptación, es decir, los rangos dentro de los cuales consideramos aceptables los errores. Con todo ello se calculan los parámetros estadísticos de calidad y se comparan con los valores límite de aceptabilidad según la metodología establecida por la ISO 3951. En caso de que los parámetros de calidad estén dentro de los rangos se acepta el lote. En caso contrario se rechaza.

4.7 Los grandes consumidores

Los usuarios de tipo doméstico son muy numerosos y presentan un comportamiento bastante homogéneo, lo que permite estudiarlos mediante la realización de muestreos y la extrapolación de los datos elaborados al global de la población.

En el caso de grandes consumidores este sistema no es válido. Nos referimos aquí a industrias con gran consumo de agua, hospitales, centros comerciales y en general a cualquier usuario con un consumo de agua muy elevado. Este tipo de usuarios presentan comportamientos muy heterogéneos y

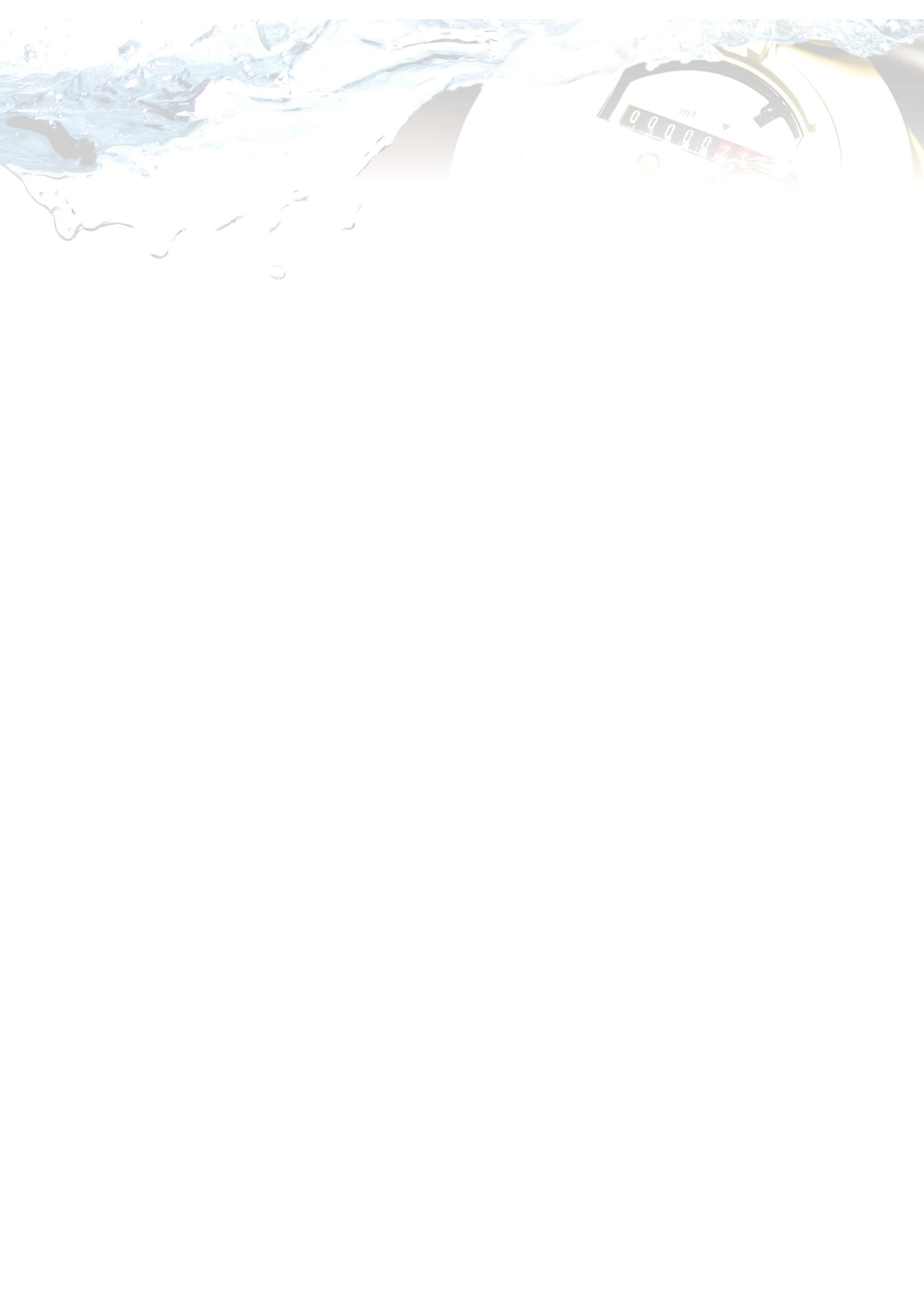


es imposible caracterizarlos de forma genérica. Se hace necesario estudiar a cada uno de estos grandes consumidores de forma individual, llegando a conocer a qué caudales consume el agua y cómo es su instalación interior.

La sistemática propuesta es la siguiente:

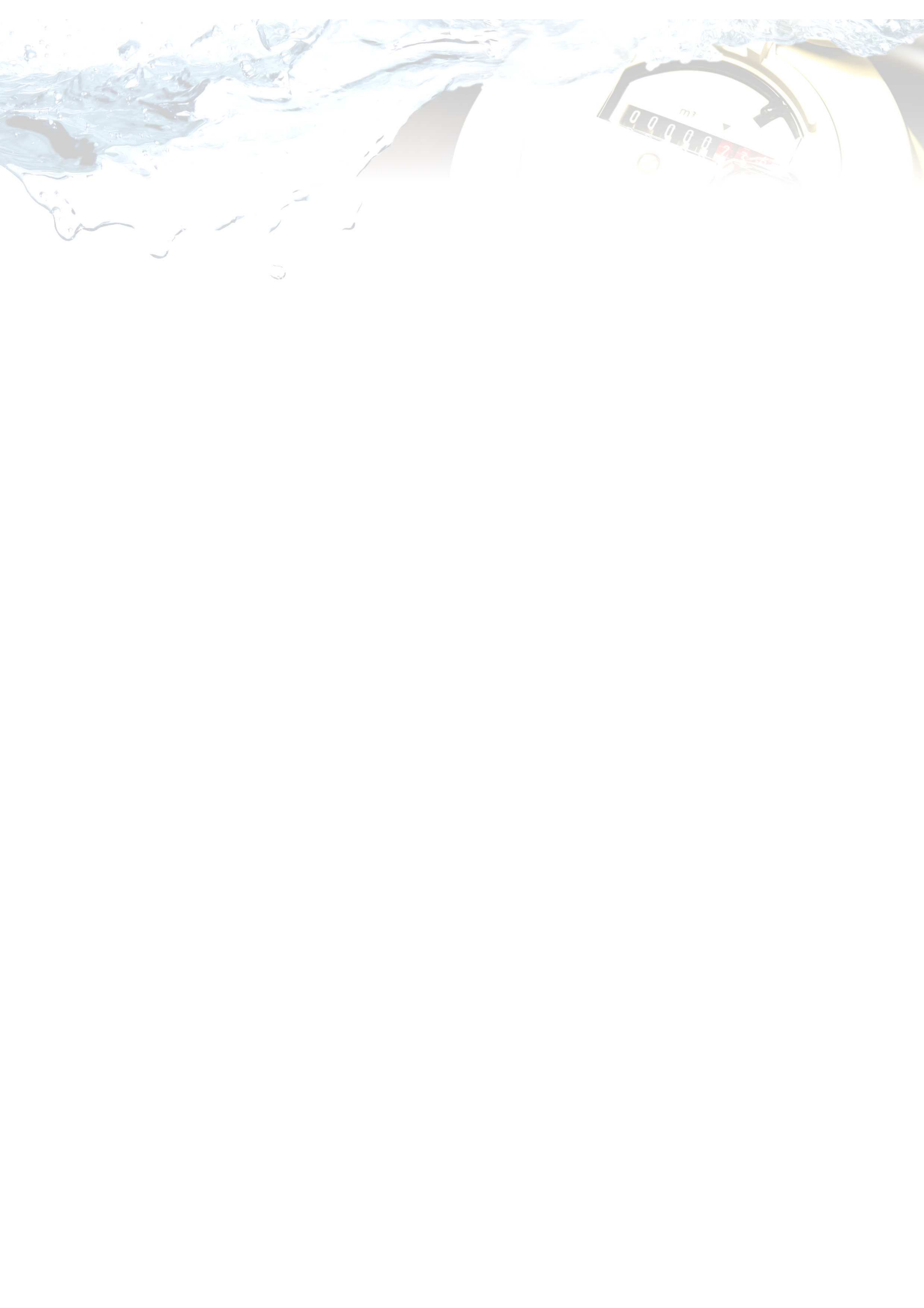
- 1 Selección de los grandes consumidores. Es un criterio subjetivo, pero se aconseja empezar por los mayores consumidores y continuar progresivamente.
- 2 Visita a la instalación, si es posible tanto la del contador como la interior del usuario. Es interesante conocer si tiene depósito de acumulación, si lo llena con boya todo nada o progresiva, etc.
- 3 Instalación de un contador de la mayor precisión posible equipado con un registrador de datos (data-logger).
- 4 Registro de datos durante una o dos semanas, en periodo normal (evitar periodos como vacaciones, puentes, etc.).
- 5 Descarga de los datos y elaboración del patrón de consumo.
- 6 Selección del contador más adecuado para el patrón de consumo obtenido e instalación del mismo.

Habitualmente los contadores para este tipo de consumidores son de precio elevado, pero si su uso es intensivo su amortización suele conseguirse de forma relativamente rápida.





5. LECTURA REMOTA DE CONTADORES





5 Lectura remota de contadores

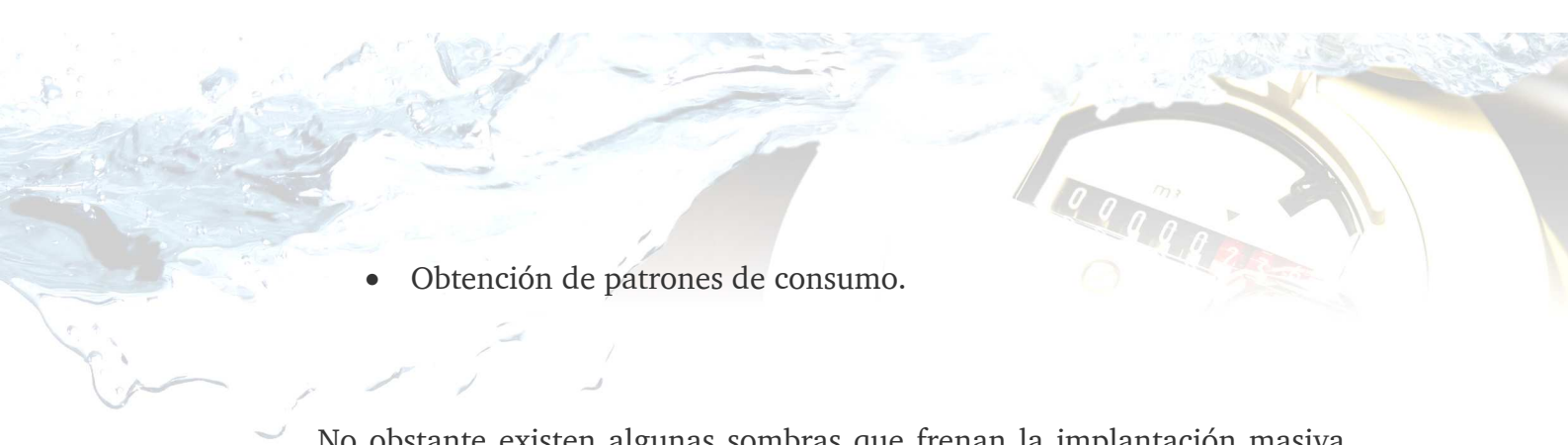
5.1 Introducción

En los últimos años ha habido un gran incremento en la oferta de sistemas de lectura remota de contadores de agua, también denominada telelectura. Esto ha despertado el interés de los distintos gestores por llevar a cabo proyectos de implantación de estos sistemas. En algunas ocasiones se ha tratado de experiencias piloto, de mayor o menor envergadura, mientras que en otros casos los gestores se han lanzado a su implantación masiva, especialmente por parte de empresas abastecedoras de grandes ciudades.

No cabe duda de que esta tecnología ha madurado enormemente en los últimos años, siendo en la actualidad plenamente operativa. Es decir, **a día de hoy no hay inconveniente técnico para realizar la lectura de prácticamente el 100% de los clientes de forma automática.**

A grandes rasgos, las ventajas que aportan los sistemas de telelectura son los siguientes:

- Mejora la gestión puesto que además de la lectura nos aporta más información sobre el consumo como: fecha y hora exacta de la lectura, alarma por consumo elevado, inversión de flujo, etc.
- Permite conocer con mayor frecuencia los consumos, lo que facilita la obtención de indicadores sobre el estado de la red de distribución y con ello detección precoz de fugas.
- Se minimiza la presencia de personal para la toma de lecturas.
- Mayor eficacia en la gestión y mantenimiento del parque de contadores.
- Optimización del ciclo de facturación.
- Mayor fiabilidad de los datos de facturación.
- Mayor transparencia y mejor atención al cliente.

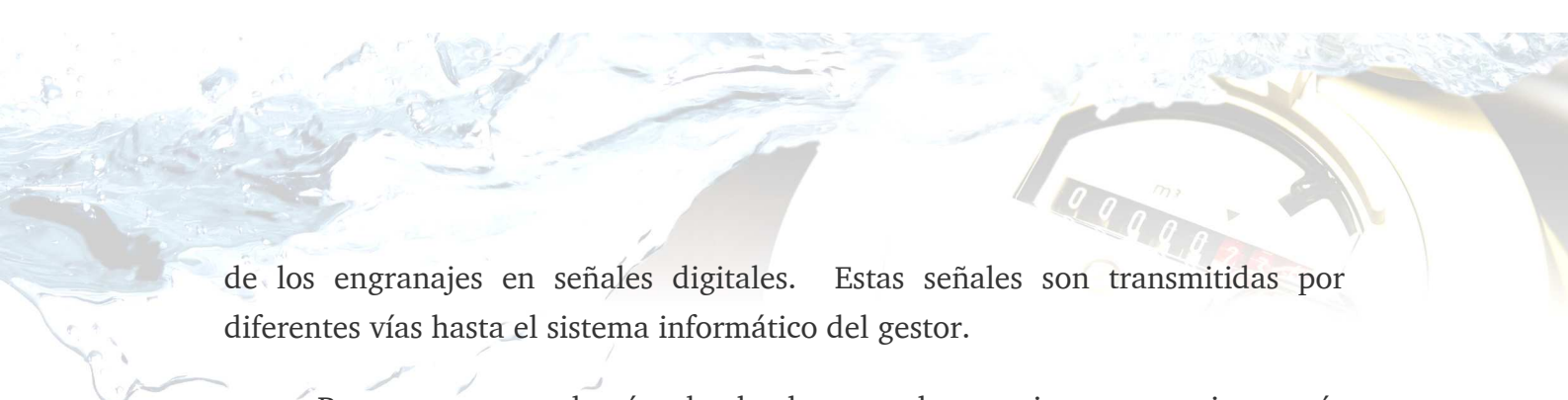
- 
- Obtención de patrones de consumo.

No obstante existen algunas sombras que frenan la implantación masiva de estos sistemas:

- Disparidad en los protocolos de comunicación, frecuencias e información transmitida por los equipos que existe entre los diferentes fabricantes de contadores. Esto obliga al gestor a utilizar únicamente equipos de un fabricante, con lo que se convierte en cliente cautivo de ese proveedor, o bien a tener varios sistemas paralelos de recogida y tratamiento de los datos, lo que encarece y complica el mantenimiento. La falta de un estándar industrial es sin duda uno de los grandes frenos existentes para la implantación masiva de estos sistemas.
- Inversión elevada. Todavía es más caro pagar la amortización de los equipos que el coste equivalente de la lectura manual. Es de suponer que en el futuro el coste del personal se encarecerá mientras que los equipos se abaratarán. No obstante de momento no existe rentabilidad económica directa.
- Para que la implantación de estos sistemas sea exitosa, es fundamental que el personal que lo gestione tenga una especialización adecuada.
- Con este sistema se elimina la inspección visual de las instalaciones de contadores, lo que puede dar lugar a fraudes, instalaciones inadecuadas, u otras situaciones imposibles de detectar a través de la telelectura.

5.2 Visión general de la telelectura de contadores de agua

La telelectura de contadores consiste en la recogida de la lectura de los contadores de agua de forma remota. Naturalmente para ello es necesario que los contadores tengan totalizador electrónico o bien que a los equipos tradicionales mecánicos se les acople un pequeño equipo que transforme el giro



de los engranajes en señales digitales. Estas señales son transmitidas por diferentes vías hasta el sistema informático del gestor.

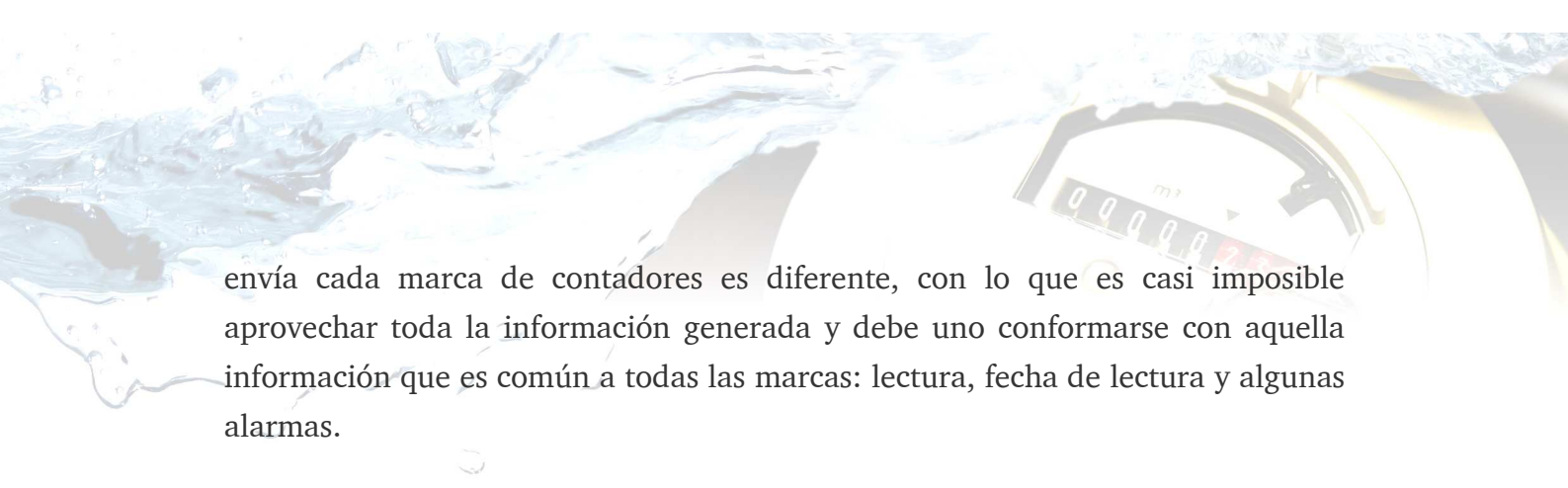
Por supuesto, además de la lectura, los equipos transmiten más información, y es aquí donde radica la potencia de estos sistemas. Aunque no exista un estándar en la industria, es habitual que se transmitan informaciones tales como:

- Alarma de fuga.
- Alarma de manipulación (desmontaje del equipo electrónico).
- Caudales máximos y mínimos.
- Detección de flujo inverso.
- Consumo a diferentes caudales.
- Consumo a diferentes horas.
- Estado de la batería.
- Lectura en fechas predeterminadas.

A esta información se une la capacidad para tomar las lecturas en un plazo muy breve de tiempo, lo que posibilita la realización de balances hídricos en el sistema con mayor frecuencia y fiabilidad que con los sistemas de lectura manual, donde la recolección de todas las lecturas lleva semanas.

Los contadores, para ser capaces de realizar el registro y posterior transmisión de los datos, requieren estar dotados de baterías, cuya duración suele ser superior a los 10 años, según datos de los fabricantes.

En el caso de que un determinado gestor elija un único proveedor de sistemas de telelectura se optimiza la utilización de toda esta información, dado que es posible comprar su programa de recolección de datos o bien desarrollar la aplicación sobre los programas de facturación propios. En cambio, si se tienen varios proveedores, esto se complica enormemente ya que la información que



envía cada marca de contadores es diferente, con lo que es casi imposible aprovechar toda la información generada y debe uno conformarse con aquella información que es común a todas las marcas: lectura, fecha de lectura y algunas alarmas.

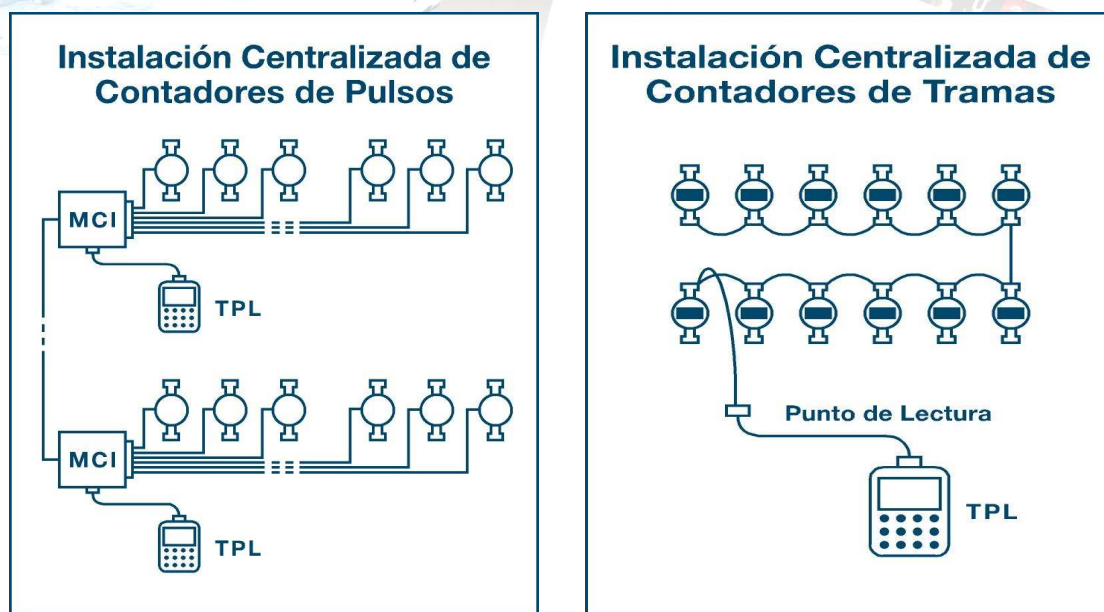
5.3 Tecnologías existentes

Podemos distinguir varios sistemas de telelectura, cada uno de ellos con sus ventajas e inconvenientes, así como con aplicaciones diferentes. Inicialmente nos centraremos en los sistemas para contadores domiciliarios.

5.3.1 Sistemas cableados

La lectura remota masiva se inició mediante este sistema. Consiste básicamente en unir los diferentes contadores (contadores electrónicos o contadores mecánicos equipados con pulsolector) mediante cables de señal (mbus u otros) a un punto final donde se conecta un terminal portátil de lectura (TPL). El TPL interroga a los contadores y recoge los datos que estos le envían.





La evolución de estos sistemas consiste en sustituir la conexión del TPL por un equipo concentrador que automáticamente recoge las lecturas y las transmite al sistema informático mediante conexión telefónica o GPRS.

Esta tecnología, si se realiza utilizando concentradores, permite la interrogación rápida de un elevado número de contadores y tiene una alta fiabilidad en la transmisión de datos. Sin embargo presenta el problema de que es costoso realizar el cableado y sólo podría llegar a ser rentable en las concentraciones de contadores.

Este tipo de contadores han sido masivamente instalados en Sevilla, Málaga, Gandia y en algunos lugares de Barcelona y Madrid.

Este sistema es competitivo para centralizaciones de contadores, pero no tanto en caso de que existan contadores dispersos (viviendas unifamiliares).

5.3.2 Sistemas radio walk-by

En los sistemas basados en la transmisión de señal por radio cada uno de los contadores tiene un pequeño equipo que capta el giro de las agujas del totalizador, almacena esta información, la analiza en un grado básico y envía esa información por medio de una señal de radio. Los equipos que se adicionan al

contador mecánico van equipados con baterías cuya duración, según fabricantes y según el régimen de lecturas oscila entre 10 y 15 años



La información de los contadores es recogida por un lector equipado con un terminal TPL adaptado para comunicarse por radio con los contadores. El lector debe acercarse a una determinada distancia del contador para poder captar la señal de radio que éste emite. Dependiendo de la ubicación del contador y de las características del edificio la señal puede sufrir diferentes grados de atenuación. Así, en ocasiones es posible realizar todas las lecturas de un edificio desde la calle, mientras que en otros casos hay que situarse a unos metros del contador, entrando en el inmueble.



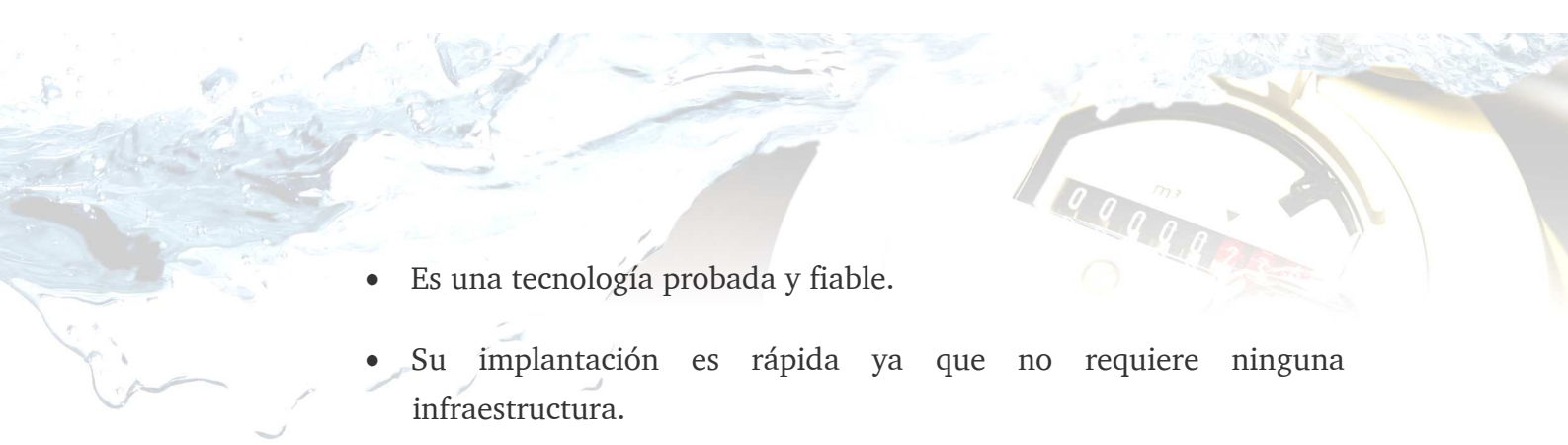
En condiciones muy favorables la toma de lectura puede ser realizada desde un vehículo, en lugar de realizarse mediante un lector que se desplaza caminando. Esta posibilidad depende principalmente de la calidad de la señal, la cual viene determinada tanto por los equipos como por las construcciones que pueden atenuar la misma. Es ese caso, en lugar de walk-by se suele hablar de drive-by.

En la mayoría de las marcas el lector, por medio del TPL, lanza una interrogación a los contadores. Los contadores interrogados responden con sus datos, los cuales son recogidos y almacenados por el TPL. En otros fabricantes el sistema funciona mediante la emisión continua de los datos por parte de los contadores, limitándose el TPL a recoger estos datos cuando capta la señal emitida, es decir, no existe interrogación sino únicamente una comunicación unidireccional.

Podríamos resumir las ventajas e inconvenientes de esta tecnología:

Ventajas:

- Es la forma más barata de implantar la telelectura ya que sólo se necesitan los módulos emisores sobre los contadores.

- 
- Es una tecnología probada y fiable.
 - Su implantación es rápida ya que no requiere ninguna infraestructura.
 - No requiere de personal con alta especialización.
 - Es escalable. Es decir puede convertirse posteriormente en una red fija simplemente añadiendo los concentradores de lecturas necesarios.

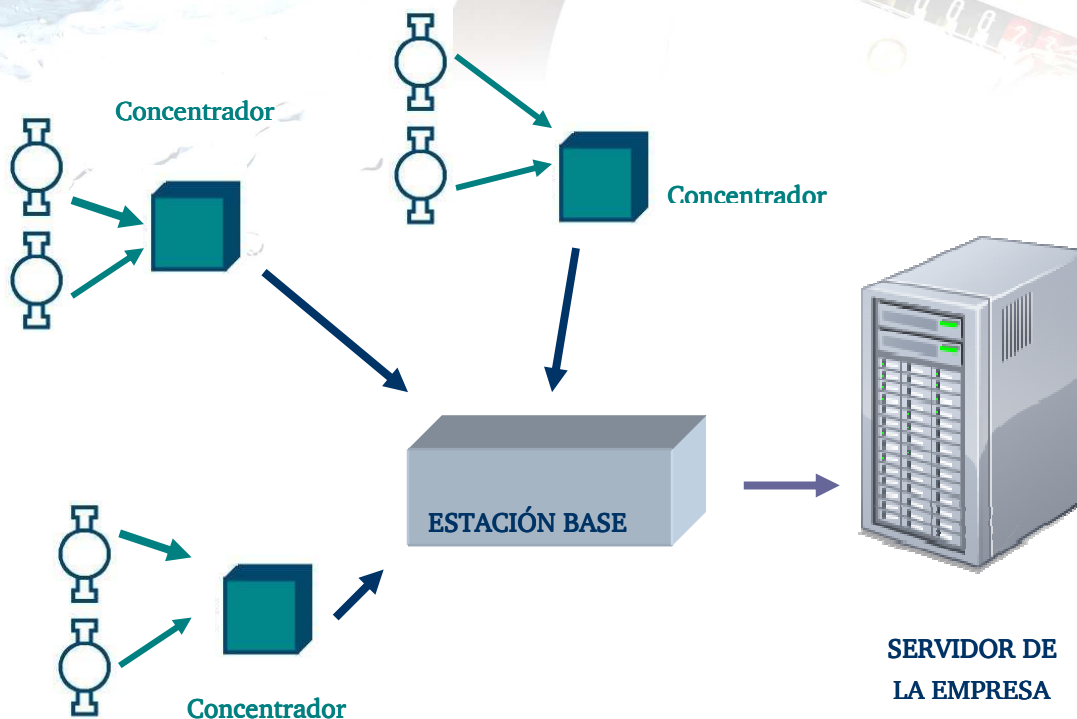
Inconvenientes:

- No permite toma de lecturas tan frecuente como la red fija (ver punto siguiente), ya que el lector debe realizar una ruta de lecturas.
- La limitación en la frecuencia de lecturas no permite la realización de un control “en continuo” de la eficiencia de la red de distribución.

5.3.3 Sistema radio con red fija

Podemos considerar estos sistemas como una evolución del sistema walk-by, en el que el lector ha sido sustituido por un equipo fijo en el edificio (o en la zona) que recoge las lecturas y las transmite mediante tecnología GPRS o por la red telefónica al servidor informático del gestor.

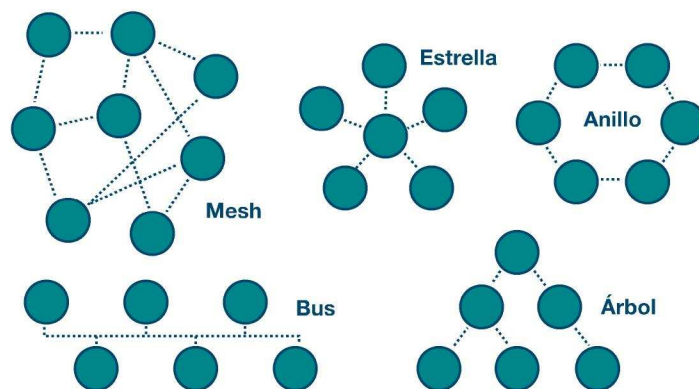
Realmente casi todos los fabricantes establecen un paso intermedio entre los contadores y el equipo que se comunica con el servidor. Estos equipos intermedios reciben diferentes nombres (concentradores, repetidores, colectores,...) y suelen ser equipos de coste relativamente bajo encargados de recopilar los datos de unos cuantos contadores y transmitir por radio frecuencia esa información a la estación base que se comunica con el servidor de la empresa por GPRS u otra vía de transmisión de datos.



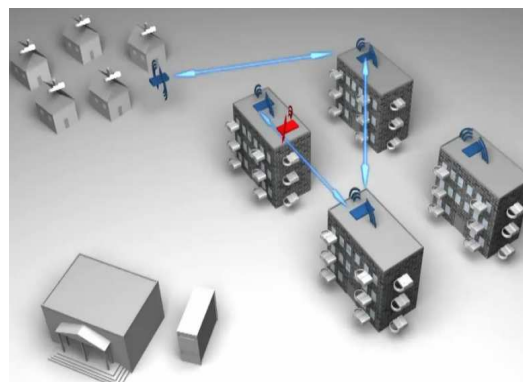
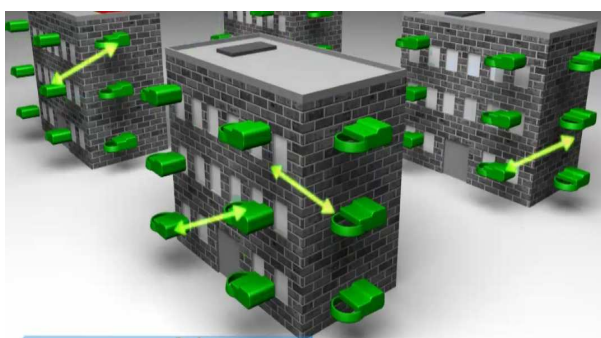
Red de telelectura fija

Este es el esquema más habitual en el que se configura una red de telelectura fija, con una topología en estrella entre los contadores y los concentradores.

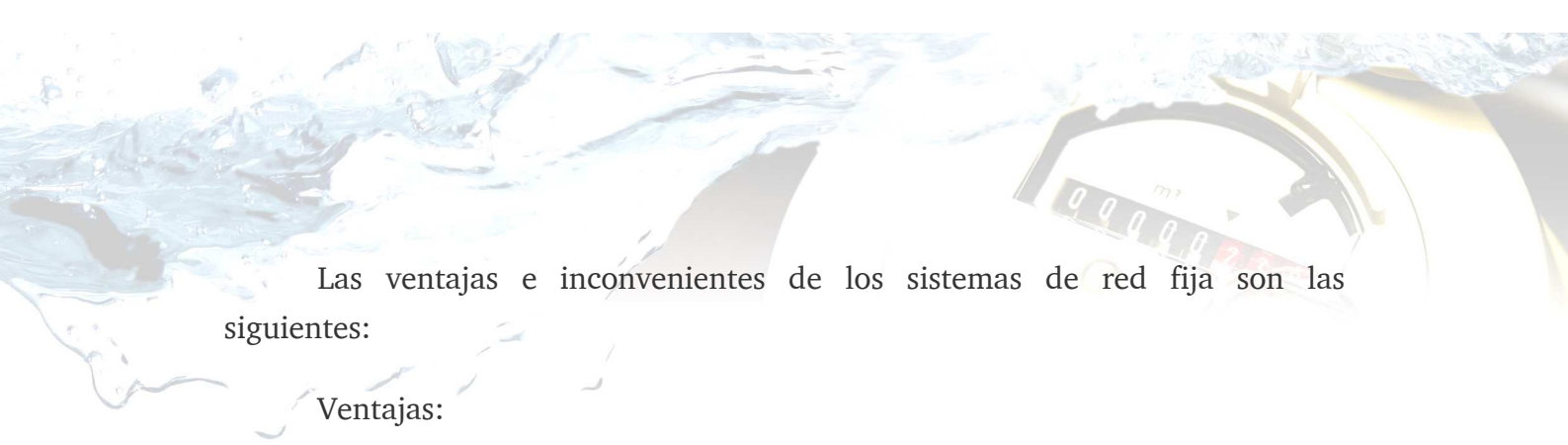
Una alternativa a esta configuración es la de implementar una red de tipo mesh mediante el protocolo Zigbee en la que los contadores pueden realizar la función de repetidores. Esta red se auto-organiza, de forma que si un contador no puede hacer llegar los datos hasta el concentrador los otros contadores intermedios hacen de puente. Este sistema facilita la transmisión de lecturas hasta el concentrador pero a costa de penalizar las baterías de los equipos que actúan como repetidores, si bien, según los fabricantes, el tiempo de transmisión es tan breve que este gasto apenas tiene efecto sobre la vida de la batería.



La red mesh tipo Zigbee no sólo se establece entre los contadores sino también entre los concentradores.



Un aspecto que los gestores deben evaluar a la hora de decidirse por un fabricante u otro es la información que proporciona cada uno de ellos. Así, hay algunos que optan por recoger la información básica de la lectura y algunas alarmas adicionales mientras que otros fabricantes dotan de mayor potencia a la electrónica de los contadores y se suministra información ya semi-analizada. Por ejemplo, algunos modelos tienen ciertas funciones muy básicas de data-logger lo que permite conocer consumos a ciertas franjas horarias (consumos nocturnos, tarificación horaria, conocimiento del comportamiento del consumidor, etc).



Las ventajas e inconvenientes de los sistemas de red fija son las siguientes:

Ventajas:

- No es necesaria la presencia de personal para la toma de lecturas.
- Pueden realizarse interrogaciones frecuentes, con lo que podemos calcular el rendimiento de la red con la frecuencia que deseemos.
- Tenemos información continua de lo que está ocurriendo en las instalaciones de los clientes (fugas, inversión del flujo, etc).

Inconvenientes:

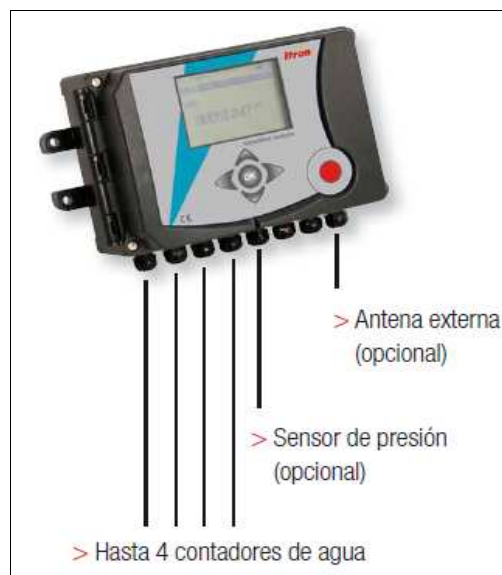
- La inversión requerida es mucho mayor que con el sistema walk-by debido a la necesidad de instalar concentradores y estaciones base.
- Para su instalación y mantenimiento se requiere personal especializado.

5.3.4 Sistemas GSM/GPRS para contadores aislados

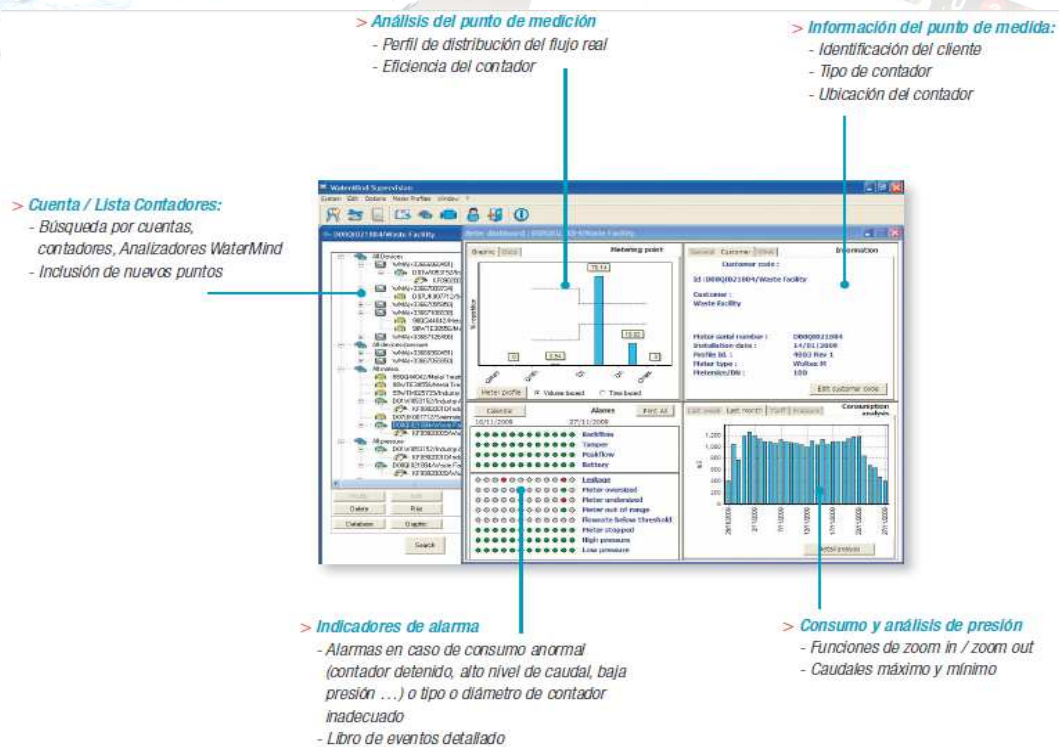
Estos son sistemas en los que para un solo contador existe un equipo que recoge los datos, los almacena, los elabora y los transmite a un servidor. Se orientan a la gestión y supervisión de grandes consumidores.

Consisten en un equipo alimentado a baterías que se conecta a la salida de pulsos del contador. El equipo registra, almacena los pulsos y elabora la información, de forma que no sea necesario transmitir todos los datos en bruto. La mayor parte del tiempo el equipo permanece aislado limitándose a la recogida de pulsos. Cada cierto tiempo (normalmente una vez al día) se abre una ventana de comunicación y el equipo transmite mediante GSM o GPRS los datos al servidor del gestor. Allí existe un software que permite la consulta de los datos, los elabora gráficamente y calcula ciertos indicadores útiles relativos al sobre o infradimensionamiento, existencia de fugas, etc.

En caso de que se active alguna de las alarmas que puede configurar el usuario el equipo envía una alarma tanto al software como al teléfono móvil que se le indique.



Los datos son recogidos y tratados mediante un software orientado a la supervisión del correcto funcionamiento y dimensionamiento del contador del cliente:



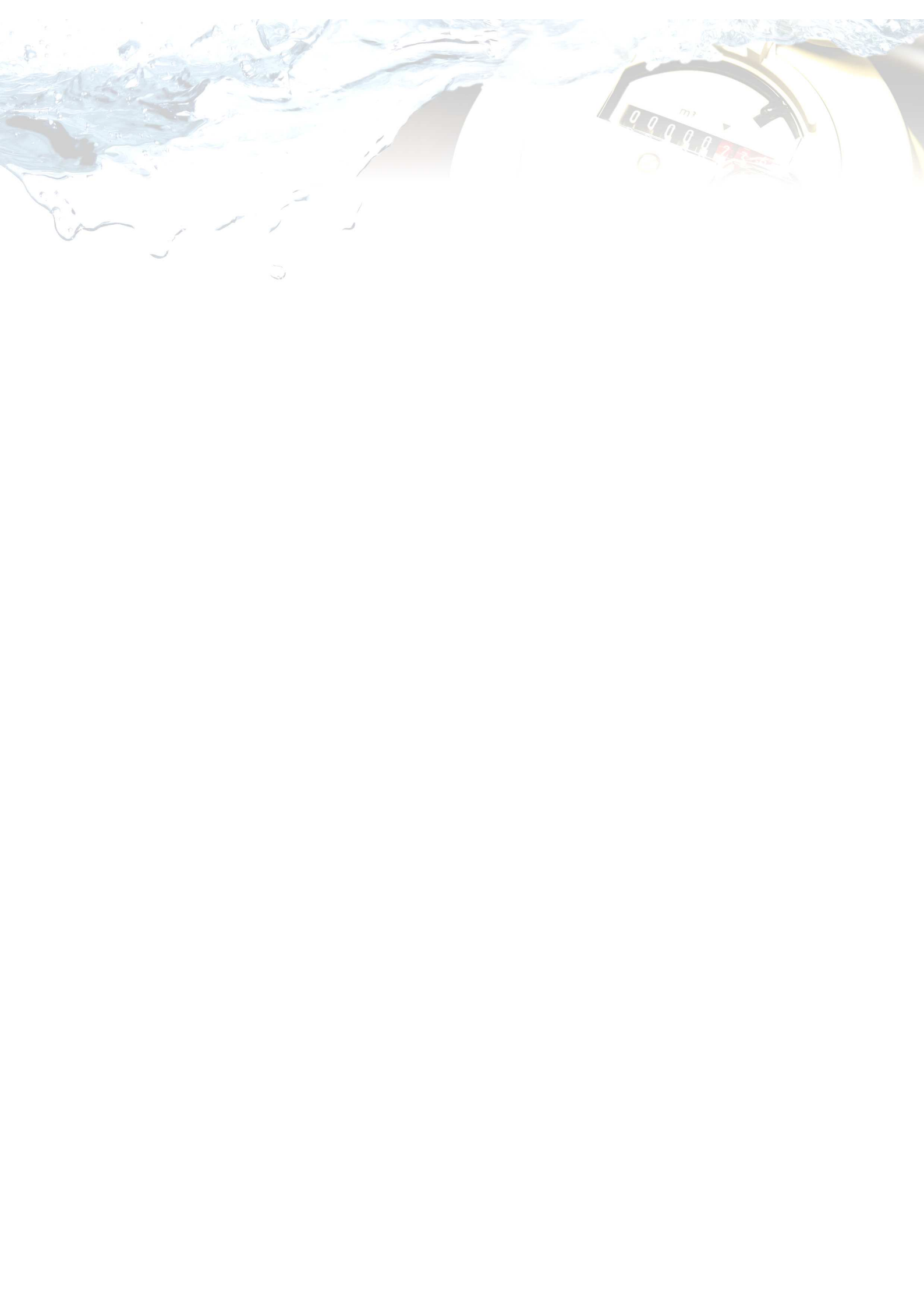
En general, para este tipo de sistema existen una serie de ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

- Permite una supervisión diaria de los grandes consumidores.
- Es un sistema fiable.
- Se pueden realizar informes que se ponen a disposición del cliente.

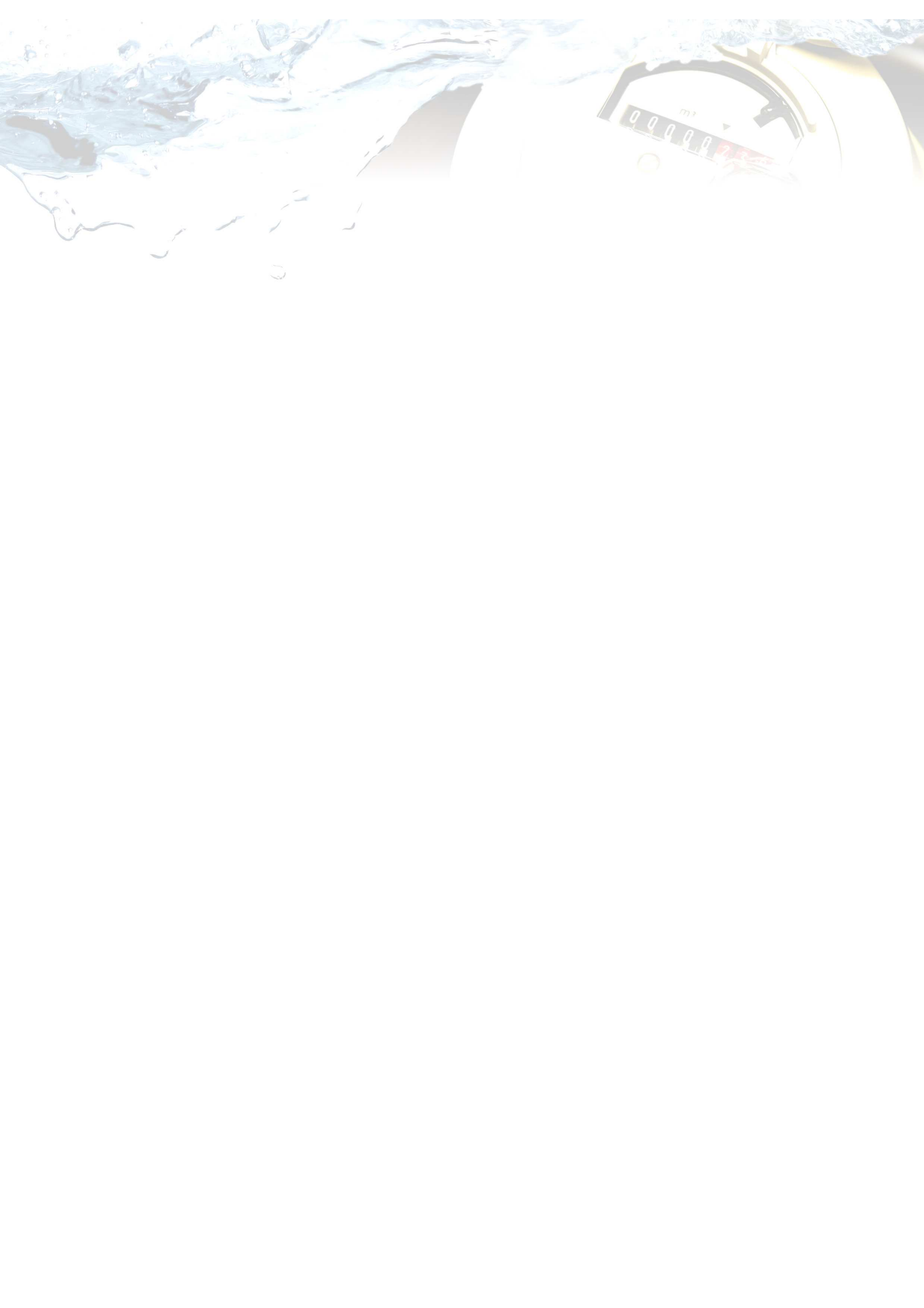
Inconvenientes:

- La inversión por contador es elevada.
- En ocasiones puede haber problemas de cobertura móvil.





6. LOS CONTADORES DE AGUA





6 Los contadores de agua

6.1 Características que definen a un contador

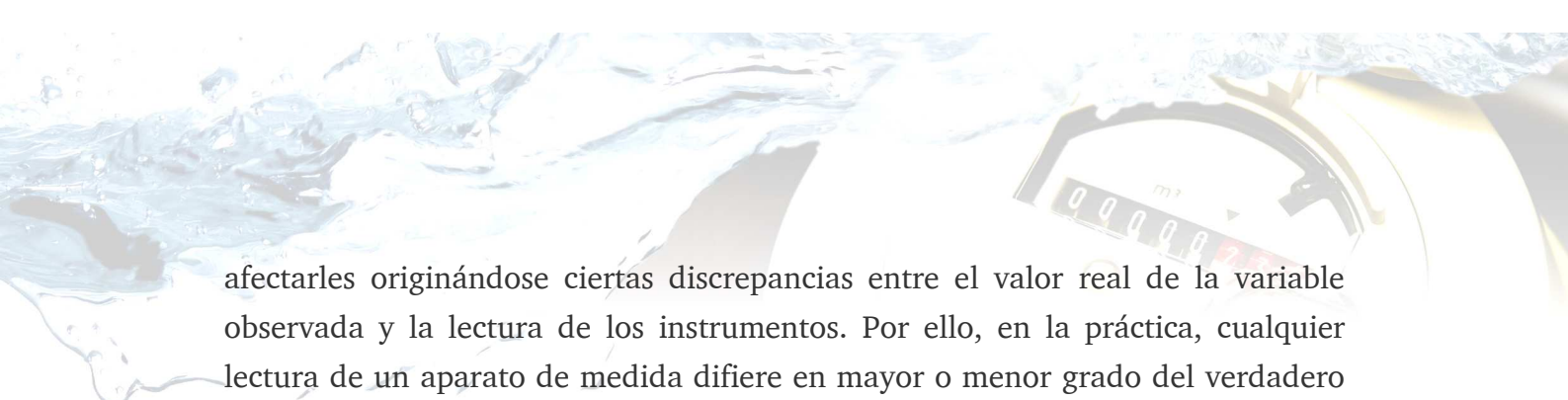
Existe gran cantidad de instrumentos para la medida de caudal, pero la dificultad estriba en encontrar un aparato que combine una buena precisión en un amplio rango de medida con un coste adecuado, y que además, sea fácilmente instalable, no requiera mantenimiento y sufra el menor desgaste posible. Se podría afirmar que encontrar el instrumento de medida ideal que sirva en cualquier circunstancia es pura ficción. Es crucial adaptar la selección de la tecnología a emplear con el entorno donde se ubicará el aparato y las condiciones de funcionamiento específicas de la instalación.

La precisión no sólo depende de la calidad del instrumento, sino también de su adecuado dimensionamiento e instalación. Para ello, se deben tener en cuenta aquellos parámetros que puedan afectar de alguna forma a la calidad de la medida. Por ejemplo, si se trata de medir el caudal, una adecuada selección del rango de funcionamiento es un parámetro fundamental. Elegir un contador o caudalímetro cuyo rango de medida efectivo se ajuste al máximo a los caudales que circularán por la conducción mejorará su precisión y limitará el deterioro que pueda sufrir a largo plazo. Otros parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir un aparato de medida de caudal son la sensibilidad a los posibles elementos perturbadores o la influencia que la calidad del agua pueda ejercer en el comportamiento del instrumento. En ocasiones la disponibilidad física de espacio en el lugar donde se pretende instalar el instrumento o el tipo de agua restringe la elección del tipo de tecnología.

Este capítulo pretende describir los parámetros técnicos que definen a un contador y que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionarlo para una instalación determinada.

6.1.1 Tipos de error

En condiciones reales de funcionamiento los sistemas de medición no se comportan como idealmente se espera. Existen multitud de factores que pueden

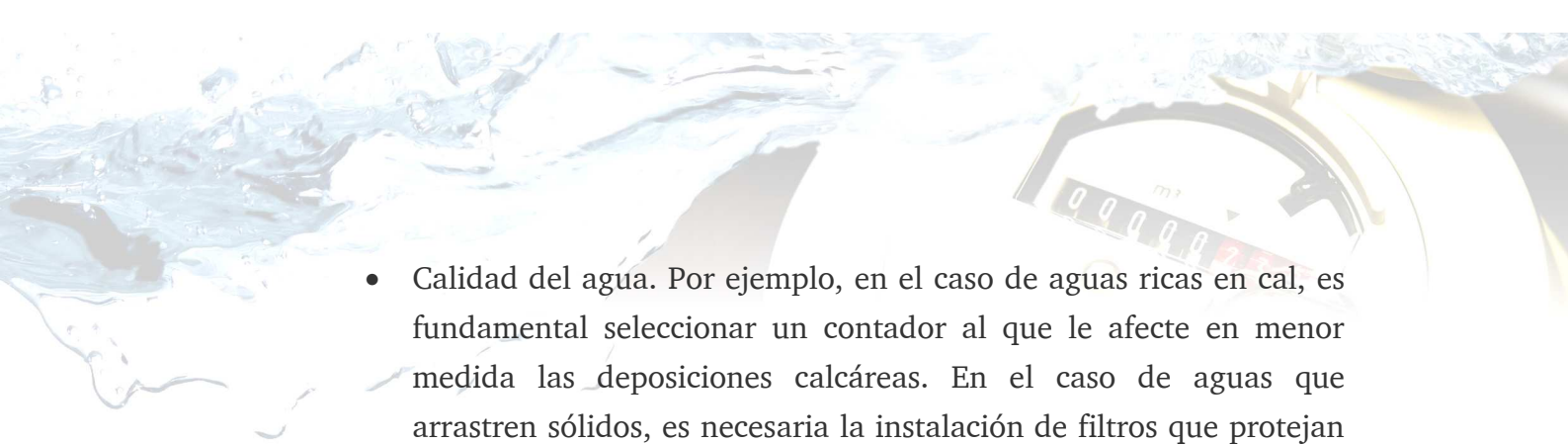


afectarles originándose ciertas discrepancias entre el valor real de la variable observada y la lectura de los instrumentos. Por ello, en la práctica, cualquier lectura de un aparato de medida difiere en mayor o menor grado del verdadero valor de la variable monitorizada. En consecuencia, siempre se debe hablar de un intervalo de confianza, donde se espera, con una determinada probabilidad, se encuentre dicho valor verdadero. Precisamente la Real Academia de la Lengua define error como la “diferencia entre el valor medido o calculado y el real”.

Entre los factores que afectan al error de medida cabe distinguir dos tipos, los que causan errores sistemáticos y los que originan errores aleatorios. Los errores son sistemáticos, para unas determinadas condiciones del sistema, cuando ocurren siempre en el mismo sentido y son de una magnitud más o menos constante. Por ejemplo, el desplazamiento de la curva de error en un contador debido a la sedimentación de cal en el interior del cuerpo del instrumento siempre provoca que el registro del consumo a un determinado caudal se produzca, aproximadamente, con el mismo error. Es decir, cada vez que se repitiese la medida del consumo a un determinado caudal, éste se registraría con errores similares. Otro ejemplo de error sistemático en la medida es el causado por la mala calibración de un instrumento o por un sensor en mal estado.

Variables que pueden afectar a la medición del caudal de agua:

- Perfil de velocidades distorsionado. Los flujos con remolinos y asimetrías pueden reducir la fiabilidad de la medida. Estas distorsiones pueden ser provocadas por elementos de la instalación como codos, válvulas parcialmente cerradas, bombas, ...
- Mal funcionamiento del sensor.
- Rango de funcionamiento inadecuado. Es fundamental conocer el rango de caudales al que se va a someter al aparato de medida a fin de seleccionar el equipo que mejor se adapte, para evitar subcontajes o el desgaste acelerado del mismo.
- Mala instalación, posición del instrumento

- 
- Calidad del agua. Por ejemplo, en el caso de aguas ricas en cal, es fundamental seleccionar un contador al que le afecte en menor medida las deposiciones calcáreas. En el caso de aguas que arrastren sólidos, es necesaria la instalación de filtros que protejan al contador.
 - Ruido eléctrico. Estas perturbaciones electromagnéticas afectan a los circuitos digitales de los aparatos de medida de este tipo, por lo que resulta necesario conocer de antemano si la instalación se puede ver afectada en este sentido.

6.1.2 Caudal y clases metrológicas.

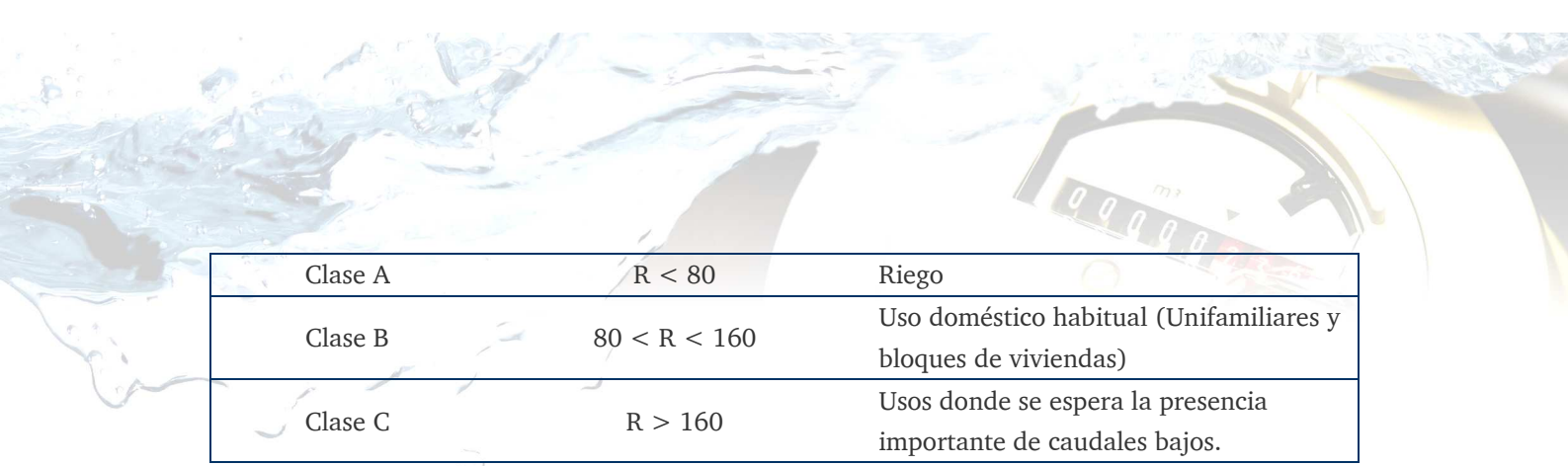
Para hablar de clases metrológicas es necesario mencionar dos normas:

- La Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1988 por la que se regulan los contadores de agua fría y aplica la Directiva 75/33/CEE, junto con la norma internacional ISO 4064 que establece las características metrológicas y modo de empleo de este tipo de instrumentos.
- Y el Real Decreto 889/2006, de 21 de julio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida.

A pesar de que la segunda deroga a la primera, los contadores homologados con fecha anterior a la normativa vigente, y que actualmente se encuentran instalados en la mayoría de los sistemas de abastecimiento, atienden a la clasificación metrológica que define esta norma. Por este motivo, resulta conveniente explicar por separado, la caracterización de cada una de las clases metrológicas en función de la norma adoptada.

En los siguientes subapartados, se explican las clases metrológicas existentes en función de las normativas mencionadas. No obstante, a modo de aclaración, se muestra a continuación la equivalencia entre ambas acepciones:

Equivalencia de clases metrológicas		
Normativa Antigua	Normativa Nueva (para $Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$)	Uso habitual



Clase A	$R < 80$	Riego
Clase B	$80 < R < 160$	Uso doméstico habitual (Unifamiliares y bloques de viviendas)
Clase C	$R > 160$	Usos donde se espera la presencia importante de caudales bajos.

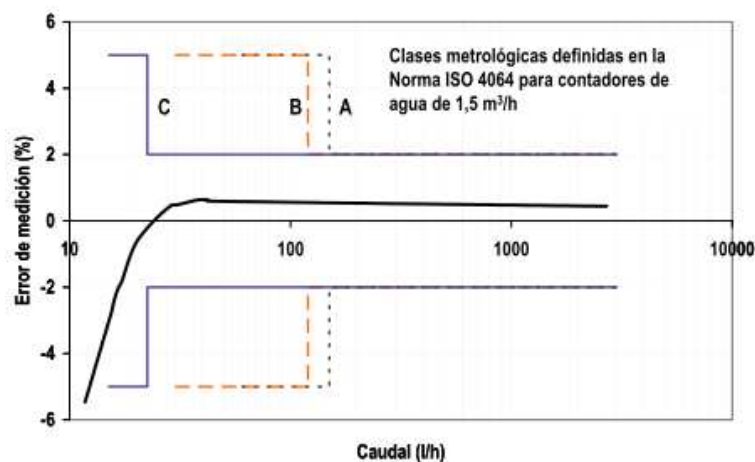
6.1.2.1 Normativa antigua: Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1988 por la que se regulan los contadores de agua fría

En esta norma, los caudales que definen las características metrológicas de los contadores de agua y que establecen los márgenes de precisión del instrumento y las clases metrológicas que los agrupan son los siguientes:

- Caudal mínimo ($Q_{\min}$): Por encima de este caudal, el error de medida no puede ser superior al $\pm 5\%$ del caudal realmente trasegado.
- Caudal de transición (Q_t): Por encima de este caudal el error de medida no puede ser superior al $\pm 2\%$ del caudal realmente trasegado.
- El caudal máximo ($Q_{\max}$) es el caudal más elevado al que el contador debe funcionar sin deterioro, durante períodos de tiempo limitados, respetando los errores máximos tolerados y sin sobrepasar el valor máximo de pérdida de presión.
- Caudal nominal (Q_n): Es la mitad del caudal máximo y es el que se emplea para designar al contador. Al caudal nominal el contador debe poder funcionar en régimen normal de uso, es decir, de forma continua e intermitente, sin sobrepasar los errores máximos tolerados ($\pm 2\%$).

Con esta norma, los contadores se clasifican en cuatro clases (A, B, C y D), siendo la clase A la de rango de medida más estrecho y la D la de mayor amplitud de rango según la norma internacional ISO 4064. Sin embargo, la directiva 75/33/CEE solo establece las clases A, B y C que son las más

comercializadas dentro del sector del agua. Los límites de precisión de todas las clases son los mismos, variando solo el rango de caudales en los que se exige al contador mantener una determinada precisión.



Ejemplo de la curva de error de un contador de agua ($q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$) y clases metrológicas según ISO 4064.

Cuando se ensaya el comportamiento de un contador es posible obtener la curva de error que facilita información sobre el error de medición del contador a cada caudal. Como se observa en este gráfico, los errores a caudales bajos son mayores debido a que las fuerzas motrices del agua en este rango son inferiores y deben vencer la resistencia ofrecida por el rozamiento de los elementos móviles del contador.

En la norma internacional ISO 4064 se recogen los valores del caudal mínimo y de transición para las diferentes clases metroológicas, expresados en función del caudal nominal:

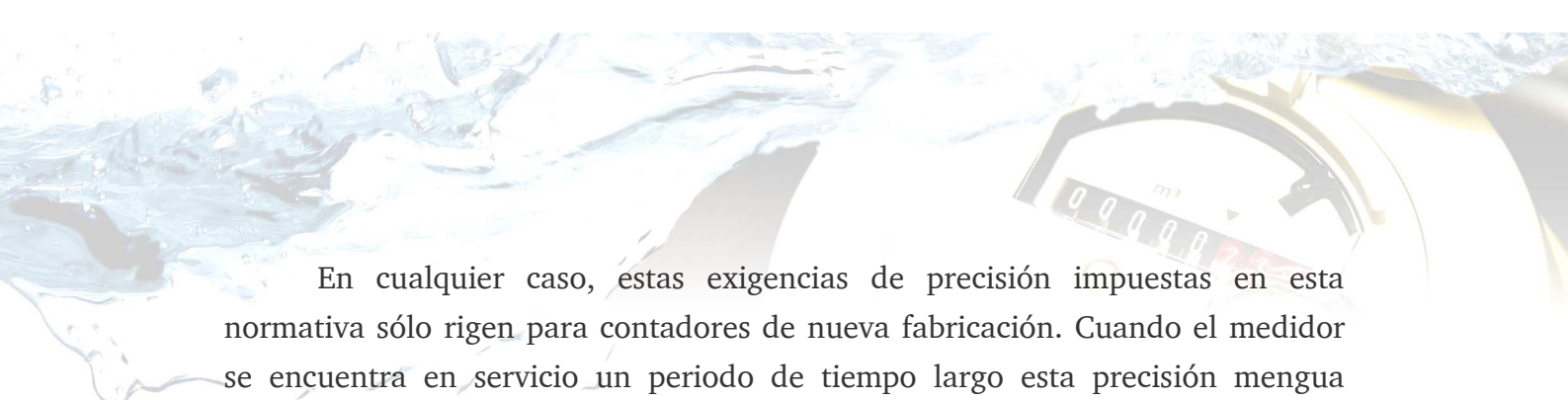
Caudal Nominal			
Clase metroológica	Caudal	< 15 m ³ /h	≥ 15 m ³ /h
A (CEE/ISO)	Mínimo	0,04 Q _n	0,08 Q _n
	Transición	0,10 Q _n	0,30 Q _n
B (CEE/ISO)	Mínimo	0,02 Q _n	0,03 Q _n
	Transición	0,08 Q _n	0,20 Q _n
C (CEE/ISO)	Mínimo	0,01 Q _n	0,006 Q _n
	Transición	0,015 Q _n	0,015 Q _n

Tabla. Características metroológicas establecidas en la normativa.

La clase metroológica A se encuentra prácticamente en desuso en los abastecimientos urbanos. No obstante, todavía es posible encontrarla en redes de riego por su bajo coste de inversión. Esta clase es la que posee menor amplitud en el rango de caudales de trabajo lo que la hace menos precisa a caudales bajos, y poco atractiva para cierto tipo de usos.

La clase B, puede decirse que es la más extendida en la actualidad. La curva de error de estos instrumentos se encuentra desplazada hacia la derecha en comparación con los contadores de clase C, ya que su diseño y fabricación no están sometidos a controles tan estrictos, lo que le resta precisión a caudales bajos.

Los contadores de agua más precisos son de la clase metroológica C, que por su diseño tienen una resistencia mínima a las fuerzas de rozamiento introducidas por las partes móviles del contador, lo cual permite obtener una alta sensibilidad a caudales bajos. Esta baja resistencia se consigue mediante un diseño adecuado de los puntos de apoyo de los elementos móviles del contador y un bajo rozamiento de los engranajes de totalizador.



En cualquier caso, estas exigencias de precisión impuestas en esta normativa sólo rigen para contadores de nueva fabricación. Cuando el medidor se encuentra en servicio un periodo de tiempo largo esta precisión mengua provocando errores importantes en el registro de agua. Actualmente, no existe ninguna legislación clara sobre cuál es el error máximo admisible de los contadores en uso.



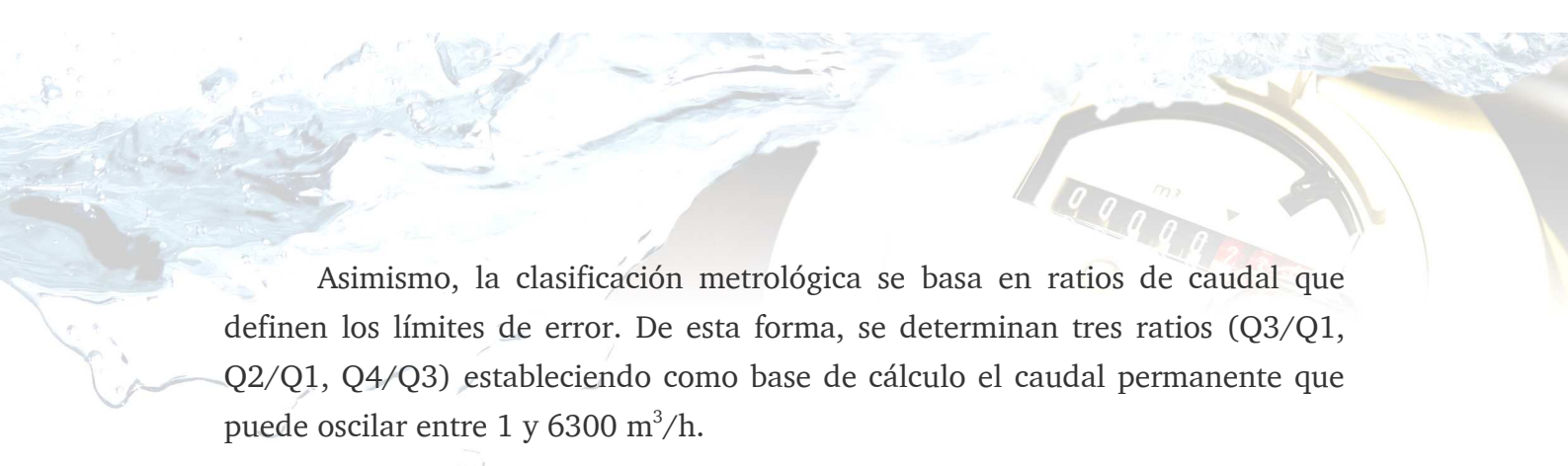
6.1.2.2 Normativa actual: Real Decreto 889/2.006, de 21 de julio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida

El 30 de Abril de 2004 se aprobó la nueva Directiva europea 2004/22/CEE sobre instrumentos de medida que conviviría durante dos años con las normas europeas recogidas en la Directiva 75/33/CEE para contadores de agua fría y en la 79/830/CEE para agua caliente, citadas anteriormente.

En España la legislación actual sobre contadores de agua se encuentra recogida en el Real Decreto 889/2.006, de 21 de julio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida. Las diferencias más importantes respecto de la norma anterior se encuentran en la definición de las características metrológicas, no en cuanto a requisitos de los errores máximos permitidos, que son los mismos, sino en lo referente a la nomenclatura utilizada para definir las calidades metrológicas.

En esta norma, los caudales característicos establecidos en las nuevas recomendaciones que clasifican metrológicamente a los instrumentos, son los siguientes:

- Caudal mínimo (Q1) es el caudal más bajo al cual se exige que el contador funcione dentro del error máximo permisible ($\pm 5\%$).
- Caudal de transición (Q2) es un caudal entre el mínimo y el permanente que divide el rango de caudales en dos zonas con márgenes de precisión diferentes.
- Caudal permanente (Q3), caudal más alto en condiciones normales de funcionamiento, al cual se exige que el contador funcione satisfactoriamente dentro del error máximo permisible ($\pm 2\%$). Los caudales admitidos en la norma se concretan en la Tabla.
- Caudal de sobrecarga (Q4) se define como el caudal más alto al cual el contador puede trabajar durante un periodo corto de tiempo, dentro de su error permisible, manteniendo su rendimiento metrológico a posteriori.



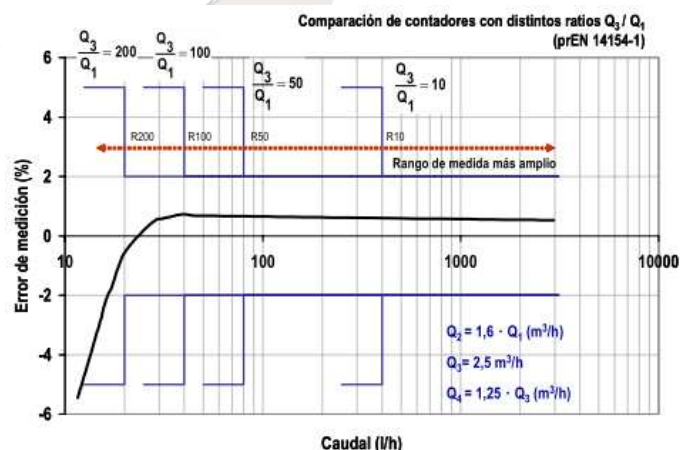
Asimismo, la clasificación metrológica se basa en ratios de caudal que definen los límites de error. De esta forma, se determinan tres ratios (Q_3/Q_1 , Q_2/Q_1 , Q_4/Q_3) estableciendo como base de cálculo el caudal permanente que puede oscilar entre 1 y 6300 m³/h.

Q_3				
1,5"	3,5"	6"	15"	20"
1	1,6	2,5	4	6,3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1.000	1.600	2.500	4.000	6.300

De esta forma, los valores que pueden ser elegidos en el ratio Q_3/Q_1 están indicados en la siguiente tabla:

Q_3/Q_1									
15	35	60	212						
10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

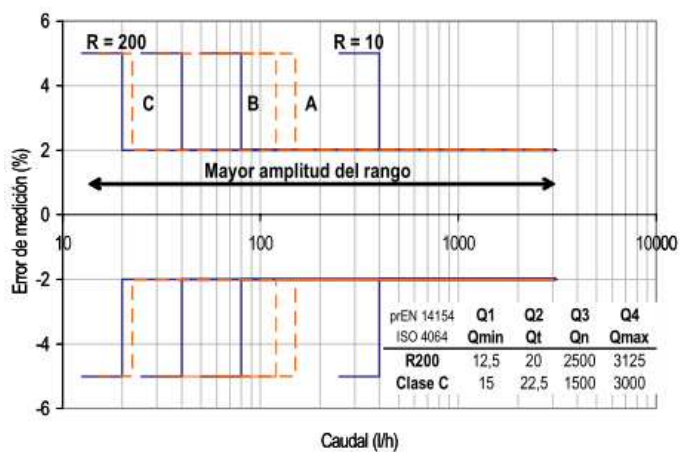
La relación entre el caudal máximo y el permanente será siempre la misma de 1,25, mientras que el ratio entre el caudal de transición y el mínimo será constante e igual a 1,6. De esta manera, cualquier variación del ratio Q_3/Q_1 modificará también el caudal de transición. Así pues, la siguiente gráfica muestra la variación de los límites de error de un contador con Q_3 2,5 m³/h cuando se aumenta el ratio Q_3/Q_1 (nombrado como R).



Clasificación metrológica

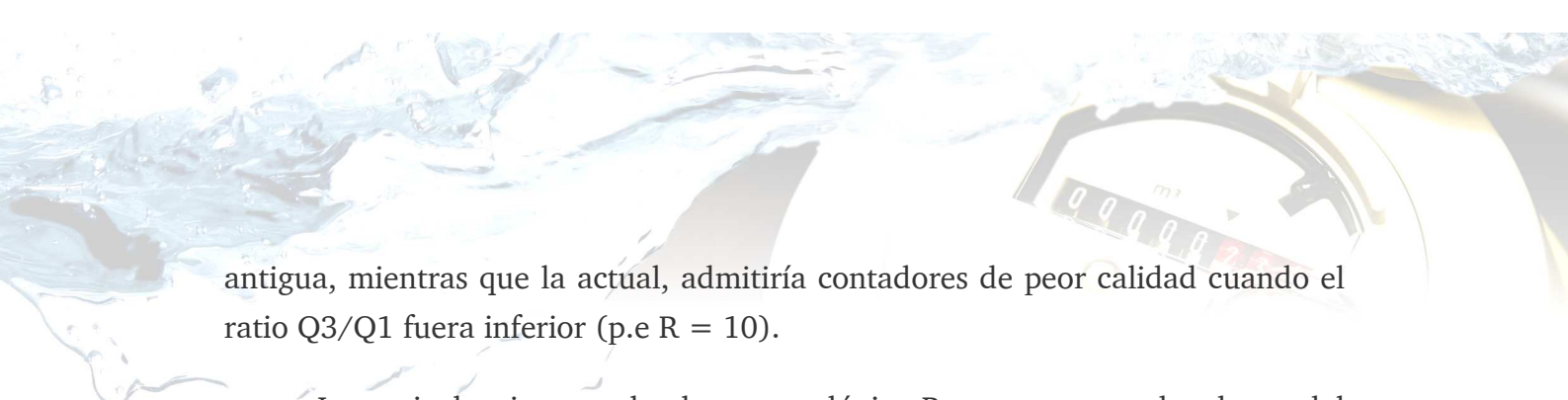
Valores más altos del ratio Q_3/Q_1 señalan un rango de medida más amplio. Además, al haber más valores admisibles para este ratio, existe multitud de clases metrológicas que permiten diferenciar las calidades de los instrumentos.

La siguiente figura muestra una comparativa entre los límites exigidos por la norma anterior a 2.008 y la vigente:



Comparativa de las características metrológicas exigidas en la nueva norma con respecto a la derogada

Un ratio Q_3/Q_1 de 160 en un contador de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ equivaldría a un caudal mínimo de $12,5 \text{ l/h}$ y un caudal de transición de 20 l/h frente a los $22,5$ y 15 l/h , respectivamente, que supondría un contador de clase metrológica C con capacidad similar (caudal máximo aproximadamente $3 \text{ m}^3/\text{h}$) en la norma



antigua, mientras que la actual, admitiría contadores de peor calidad cuando el ratio Q3/Q1 fuera inferior (p.e R = 10).

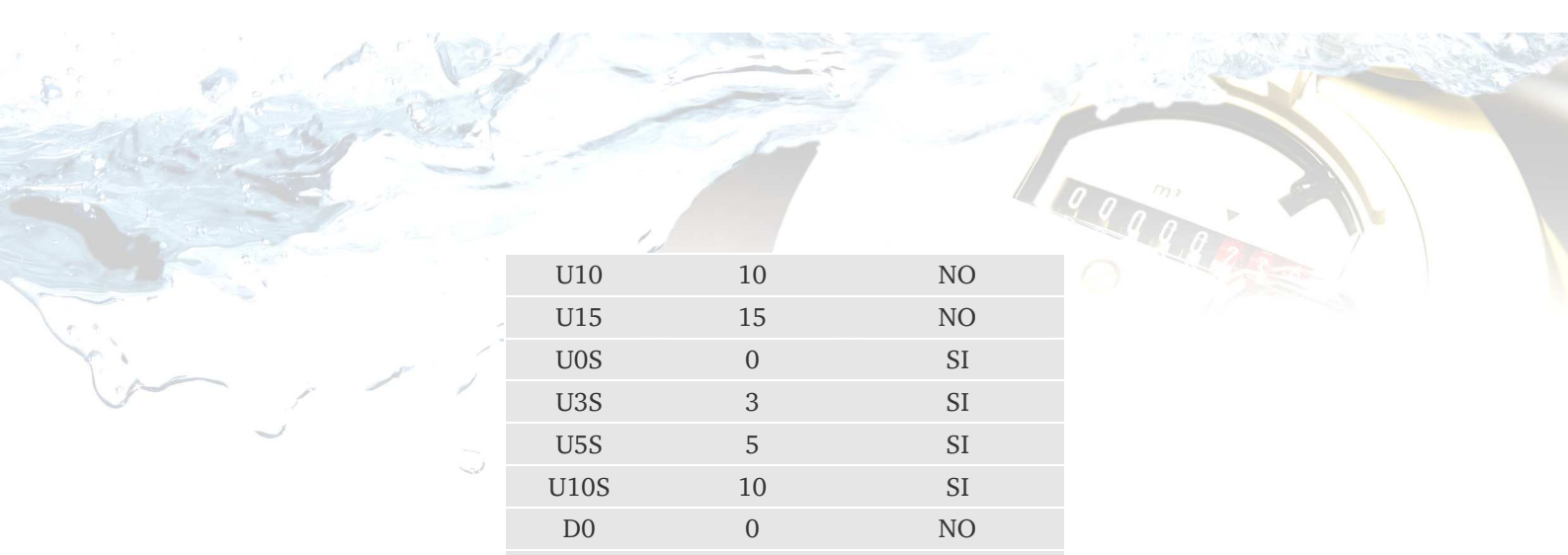
La equivalencia entre la clase metrológica B para un contador de caudal nominal 1,5 m³/h, común en las instalaciones interiores, sería un contador con caudal permanente Q3 de 2,5 con un ratio Q3/Q1 de 80, lo que representa un caudal mínimo de 31,25 l/h y un máximo de 3.125 l/h. Es decir, la designación en esta nueva normativa sería para un contador de las características descritas en el ejemplo, fabricado en el año 2004 para un funcionamiento en posición horizontal Q3 2,5; R80; H; n° contador; 04; nombre del fabricante.

Además, existen otras clasificaciones descritas en la nueva normativa que atienden, por ejemplo, a la presión máxima admisible por el instrumento que vienen referenciadas por la MAP (maximum admissible pressure); MAP 6, MAP 10, MAP16, MAP25 y MAP40, o a la máxima pérdida de carga admisible al caudal máximo; ΔP 63, ΔP40, ΔP25, ΔP16 y ΔP10. La presión mínima admisible (mPA, minimum admissible pressure) para la cual debe estar diseñado el contador de agua es de 0,3 bar.

Otra clasificación considera el rango de temperaturas máximas o mínimas (en ° C) que puede soportar el aparato; T30, T50, T70, T90, T130, T180, T30/70, T30/90, T30/130 y T30/180.

Por último, se introduce una clasificación que diferencia la sensibilidad de cada instrumento salido de fábrica a las irregularidades en el perfil de velocidades. Así, se llevan a cabo ensayos en laboratorio con diversos elementos perturbadores del flujo y se evalúa el comportamiento del medidor y la necesidad de incorporar tramos rectos o estabilizadores de flujo en la instalación donde se coloque el mismo. Las clases se asignan con una U cuando se designa la influencia aguas arriba del elemento y con D para las exigencias aguas abajo.

Clase	Longitud en tramos rectos requerida	Necesidad de estabilizador de flujo
U0	0	NO
U3	3	NO
U5	5	NO



U10	10	NO
U15	15	NO
U0S	0	SI
U3S	3	SI
U5S	5	SI
U10S	10	SI
D0	0	NO
D3	3	NO
D5	5	NO
D0S	0	SI
D3S	3	SI

6.1.3 Presión

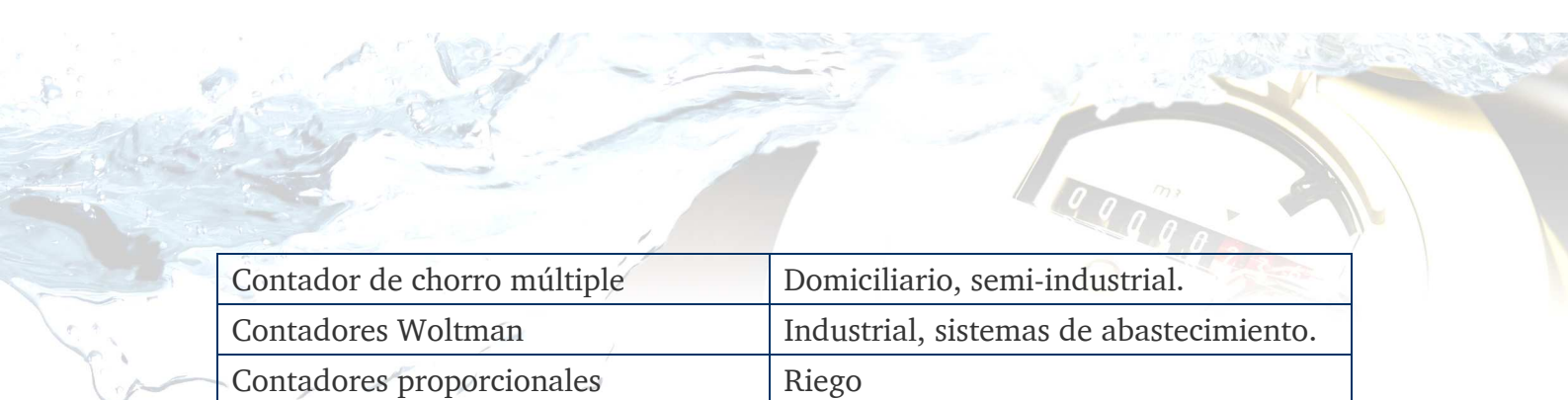
Es fundamental asegurar la correcta estanqueidad de los contadores de agua, por ello los contadores deberán resistir, de modo permanente, sin que se produzcan defectos de funcionamiento, ni fugas ni filtraciones a través de las paredes, ni deformación permanente, la presión continua del agua para la que están previstos, denominada presión máxima de servicio. El valor mínimo de esta presión será de 10 bar. Asimismo, la presión a la salida del contador deberá ser suficiente para que no existan perturbaciones en su funcionamiento ni interferencias entre los contadores.

Es importante conocer la pérdida de presión producida por el contador, teniendo en cuenta su filtro y la parte de conducto integrada en el contador., de manera que no deberá ser superior a 0,25 bar a caudal nominal y 1 bar a caudal máximo.

6.2 Tipos de contador

A grandes rasgos, los tipos de contadores que existen en el mercado son los siguientes:

Tipos de Contador	
CONTADORES DE VELOCIDAD	
Contador de chorro único	Domiciliario, semi-industrial, industrial.



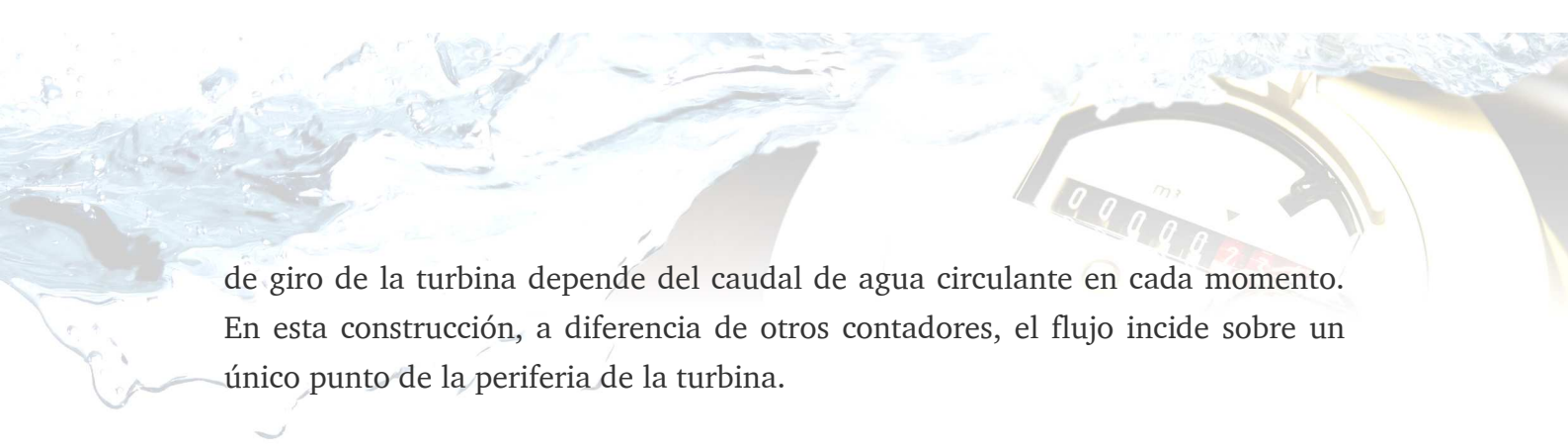
Contador de chorro múltiple	Domiciliario, semi-industrial.
Contadores Woltman	Industrial, sistemas de abastecimiento.
Contadores proporcionales	Riego
Contadores tangenciales	Riego, Aguas sucias
Contadores combinados	En instalaciones con una gran diferencia entre caudales máximos y mínimos
VOLUMÉTRICOS	
Contador de pistón rotativo	Uso a bajos caudales o en cualquier posición de instalación.
Contador de disco nutante	Uso a bajos caudales o en cualquier posición de instalación.
CAUDALÍMETROS	
Caudalímetros de presión diferencial	Sistemas de abastecimiento
Caudalímetros electromagnéticos	Sistemas de abastecimiento, Caudales permanentes
Caudalímetros de inserción	Sistemas de abastecimiento, Caudales permanentes
Caudalímetros de ultrasonidos de tiempo de tránsito	Sistemas de abastecimiento

6.2.1 Contadores de Velocidad

6.2.1.1 Contadores de chorro único

Se pueden clasificar como contadores de velocidad. Los contadores de chorro único son los instrumentos más comunes utilizados en los domicilios españoles para la medición del agua consumida por los abonados. Los más habituales son los de pequeño de 15 mm con un caudal nominal de 1,5 m³/h, aunque se encuentran contadores de tamaño superior en industrias o en establecimientos con mayor consumo de agua.

Estos instrumentos contabilizan el consumo de agua totalizando el número de vueltas de la turbina cuando el agua incide sobre ella. La velocidad



de giro de la turbina depende del caudal de agua circulante en cada momento. En esta construcción, a diferencia de otros contadores, el flujo incide sobre un único punto de la periferia de la turbina.

En principio, estos contadores están pensados para funcionar en posición horizontal, con el eje de la turbina totalmente vertical. No obstante, existen modelos homologados para funcionar en cualquier posición, aunque en ocasiones en detrimento de su precisión.

Las características dimensionales del instrumento adquieren un papel esencial en la metrología del mismo. Así pues, los sólidos en suspensión y las sedimentaciones calcáreas pueden dar lugar a sobrecontaje, cambiando la relación entre el caudal y la velocidad de giro de la turbina al depositarse en el cuerpo del contador. Sin embargo, lo más habitual es que se produzca subcontaje como consecuencia del rozamiento de estas deposiciones con las piezas móviles. También, las fibras y sólidos en suspensión alteran el correcto funcionamiento de estos contadores, bloqueando o dificultando el giro de la turbina, lo que evidentemente provoca subcontaje.

Los perfiles de velocidad distorsionados no suelen afectar gravemente a la calidad de medición, es decir, no aumentan el error de registro del contador. Esto es debido a su diseño, en el que normalmente la entrada tiene forma de tobera convergente que regulariza los perfiles de velocidad distorsionados, manteniendo constante la relación entre la velocidad de giro de la turbina y el caudal. Por ello, en general, no se requiere de la disposición de tramos rectos de tubería aguas arriba del contador.

Estos instrumentos están compuestos por un totalizador de consumo unido por un acoplamiento mecánico o magnético a la turbina. De esta forma, cada vuelta efectuada por la turbina será transmitida a los engranajes del totalizador que se moverá en función de la resolución del contador. Para cada instrumento, el número de vueltas de la hélice se asocia a un volumen marcado en el totalizador mediante una relación de desmultiplicación constante. Por ejemplo, un litro de agua circulado puede corresponder a 25 vueltas de la turbina. De esta forma, se computa el volumen total consumido por el usuario.

Por tanto, los contadores de chorro único clásicos se componen del totalizador compuesto por diversos engranajes y un visor de lectura, una tapa de la carcasa que aísla la zona de paso del agua del resto del instrumento y que en algunos casos sirve como elemento de regulación de la curva de error, una turbina giratoria y una caja o cuerpo de latón:

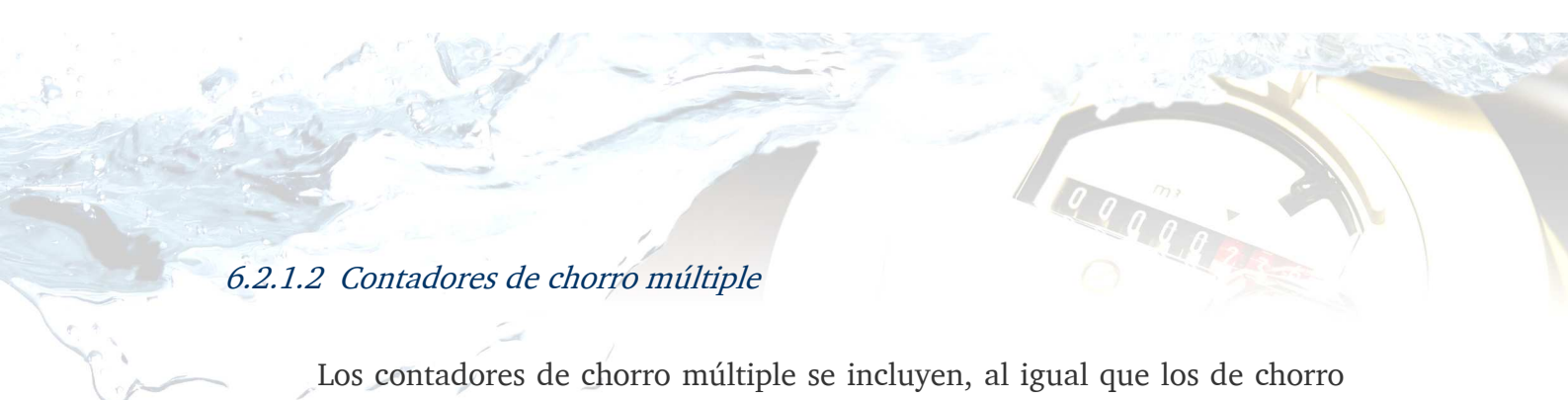


Despiece de un contador de chorro único

En cualquier caso, el desarrollo tecnológico de los contadores de agua se encamina hacia instrumentos más precisos con mayores prestaciones. Actualmente, existen modelos en los que los totalizadores mecánicos se ha sustituido por totalizadores electrónicos que incorporan características que los hacen atractivos en el mercado del agua.



Contador de chorro único con tecnología electrónica



6.2.1.2 Contadores de chorro múltiple

Los contadores de chorro múltiple se incluyen, al igual que los de chorro único, en el grupo de los contadores de velocidad. Este tipo de contadores son muy utilizados en redes de riego, generalmente, en tuberías terciarias y en establecimientos e industrias donde el consumo de agua es superior al de un domicilio y se requiere el uso de instrumentos mecánicamente más robustos. Los tamaños oscilan entre 15 y 50 mm, es decir, hasta un caudal nominal de 15 m³/h.

De la misma forma que en el caso de los contadores del apartado anterior, la velocidad de giro de la turbina depende de la velocidad de impacto del agua sobre la misma. Por ello, cualquier modificación en la relación entre el caudal y la velocidad a la cual debe entrar el agua en la cámara de la turbina implica una alteración en la curva de error. La diferencia de funcionamiento con respecto a los contadores de chorro único está en cómo incide el agua en la turbina. En los contadores de chorro único el agua entra a través de la tobera e incide directamente sobre la turbina, mientras que en los de chorro múltiple existe una cámara que reparte el agua en varios chorros distribuidos circularmente alrededor de la turbina. Con esta característica se consigue un funcionamiento más equilibrado de la turbina y, en teoría, mayor durabilidad del contador.

Como en el instrumento anterior, los elementos principales de los que consta un contador de chorro múltiple son un totalizador y una turbina. En este caso, la turbina se encuentra alojada dentro de una cámara de distribución plástica con diversas aperturas por donde entra el agua. Esta cámara se protege de sólidos en suspensión y sedimentos con un filtro, tal y como se muestra en la figura.

En los contadores de chorro múltiple, la regulación de la curva de error se logra gracias a la presencia de un circuito en paralelo que ajusta el porcentaje de flujo incidente sobre la turbina dentro de unos márgenes adecuados. Para evitar la obturación de este circuito, el instrumento dispone de un segundo filtro a la entrada. No obstante, en caso de taponarse este by-pass, a causa de precipitaciones calcáreas o sólidos en suspensión de cierto tamaño, la velocidad de circulación del agua por la turbina será superior a la esperada para un

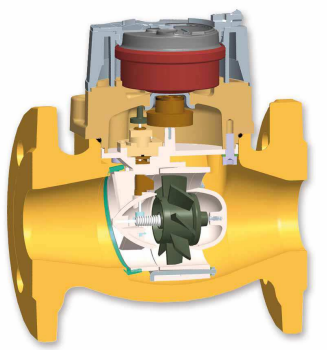
determinado caudal, por lo que la turbina girará a mayor velocidad. Es decir, en estos casos, los errores de conteo se volverán positivos.



Despiece de un contador de chorro múltiple

6.2.1.3 Contadores Woltman

Se denominaron Woltman a este tipo de contadores de agua en homenaje a su inventor Reinhard Woltman que diseñó en 1790 el primer medidor de caudal tipo turbina. Normalmente este tipo de instrumentos de mayor tamaño son utilizados comúnmente en instalaciones de agua donde los caudales circulantes son elevados. Su elemento primario, como en todos los contadores de velocidad, es una hélice sobre la que incide, en dirección axial, el flujo de agua. La velocidad de giro de la misma es función tanto del caudal como de las características constructivas de la hélice, y del ángulo de ataque del agua sobre sus álabes.



*Corte transversal de un contador
Woltmann de eje horizontal*



*Interior de la cámara de medición de un
Woltmann de eje horizontal.*

Existen tres tipos de contador Woltmann en función de sus características constructivas y del eje de rotación de la turbina: los de eje horizontal, los de eje vertical y los Woltmann en codo. En los contadores Woltmann de eje horizontal la dirección del flujo de agua coincide con el eje de giro de la turbina, en cambio, los de eje vertical el avance del fluido se produce perpendicularmente al eje de giro. La tecnología en codo es poco habitual y se utiliza para la medición del agua en pozos y en riego.

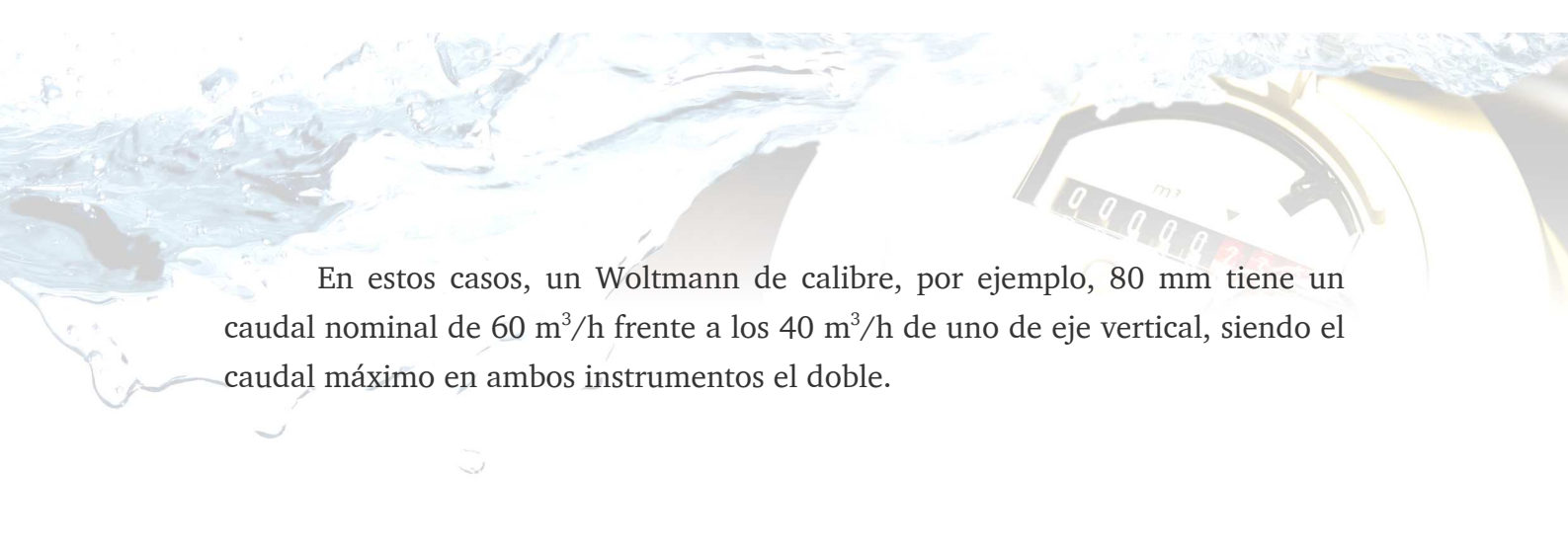
En los contadores Woltmann de eje horizontal, es lógico pensar que el perfil de velocidades a la entrada juega un papel importante en la metrología del mismo. Estudios realizados en torno a este aspecto muestran la necesidad de establecer cierta longitud de tubería recta para regularizar de nuevo un perfil previamente distorsionado por otro elemento hidráulico.



Contadores Woltmann. Tecnología eje vertical, en codo y válvula-contador.

En ocasiones, fundamentalmente en redes de riego, es posible encontrar una variante de los contadores de eje vertical a la que se le añade una válvula de control o regulación. Esta válvula actúa cuando por el contador ha circulado un determinado volumen de agua o simplemente para limitar el caudal, la presión o ambos parámetros. A estos contadores se les denomina comúnmente válvulas-contador, válvulas volumétricas, o hidrómetros. Su calidad metrológica es baja.

Los tamaños de los contadores Woltmann oscilan entre 50 mm y 800 mm, aunque es difícil encontrar instrumentos de diámetro superior a 500 mm. También existen contadores Woltmann de pequeños calibres, aunque su uso no está generalizado. Los Woltmann de eje horizontal tienen mayor capacidad de caudal para un mismo diámetro que los de eje vertical y en codo. Sin embargo, su sensibilidad a caudales bajos con respecto a los contadores de eje vertical es inferior.



En estos casos, un Woltmann de calibre, por ejemplo, 80 mm tiene un caudal nominal de 60 m³/h frente a los 40 m³/h de uno de eje vertical, siendo el caudal máximo en ambos instrumentos el doble.

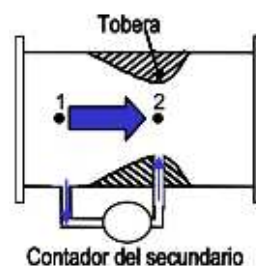
6.2.1.4 Proporcionales

El particular diseño de los contadores proporcionales les permite ser poco sensibles, al menos en teoría, a la calidad del agua. Están, por tanto, indicados para la contabilización de aguas no filtradas extraídas de pozos y cargadas con partículas sólidas. No obstante, prácticamente ningún modelo de este tipo de tecnología está aprobada dentro del marco de la Directiva europea 75/33/CEE debido a su baja precisión y estrecho rango de medida.

Este tipo de medidor incorpora dos circuitos en paralelo por donde circula el fluido. Caracterizando los circuitos principal y secundario se conoce la relación entre el caudal total que circula por el contador proporcional y el que registra el contador del circuito secundario. Normalmente el contador empleado en el secundario puede ser un contador de chorro único o de chorro múltiple de pequeño calibre, donde el flujo de agua es menor, mientras que en el primario se monta una tobera convergente-divergente, que no supone impedimento al libre paso del agua, y por donde pasa la mayor parte del caudal. En la siguiente figura se muestra el esquema de funcionamiento.



Contador proporcional.



Flujo en el interior de un contador proporcional.

6.2.1.5 Tangenciales

Este tipo de contador, al igual que los proporcionales, está diseñado especialmente para riego. Su funcionamiento, como en cualquier contador de velocidad, se basa en el movimiento de una turbina situada en la parte superior de la conducción. Este elemento móvil gira proporcionalmente a la velocidad del

agua en esa zona. Este hecho puede producir graves imprecisiones en la medida cuando el perfil de velocidades llega a la turbina distorsionado. En la siguiente figura se muestra el instrumento visto desde la sección de entrada del agua.



Contador tangencial.

Sin embargo, a pesar de estos inconvenientes tiene ciertas ventajas que los hacen atractivos en el mercado. La primera es que el propio diseño del contador permite que se utilice en todo tipo de aguas ya que internamente no presenta impedimentos al paso de sólidos en suspensión. Además, la pérdida de carga producida en este caso será mucho menor en comparación con otras tecnologías de velocidad. Por último, pero no menos importante, es su coste de adquisición comparativamente más bajo que otros modelos.

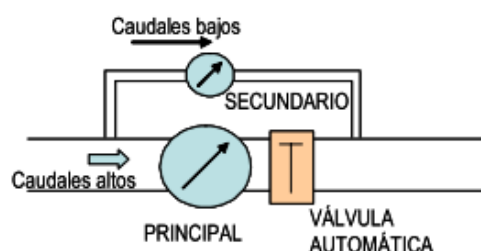
6.2.1.6 Contadores combinados

Esta tecnología de medición, como su nombre indica, combina dos instrumentos de velocidad de diversos diámetros y capacidades en un mismo aparato. Por ejemplo, un contador Woltmann asociado con uno de chorro múltiple. Ambos instrumentos pueden estar conectados en serie o en paralelo como el caso de la figura.

La ventaja de este diseño frente a un único contador es que amplía el rango de funcionamiento, ya que permite medir caudales en rangos altos, a través del contador principal, y bajos, gracias al secundario de pequeño calibre con una buena precisión.



Contador combinado.

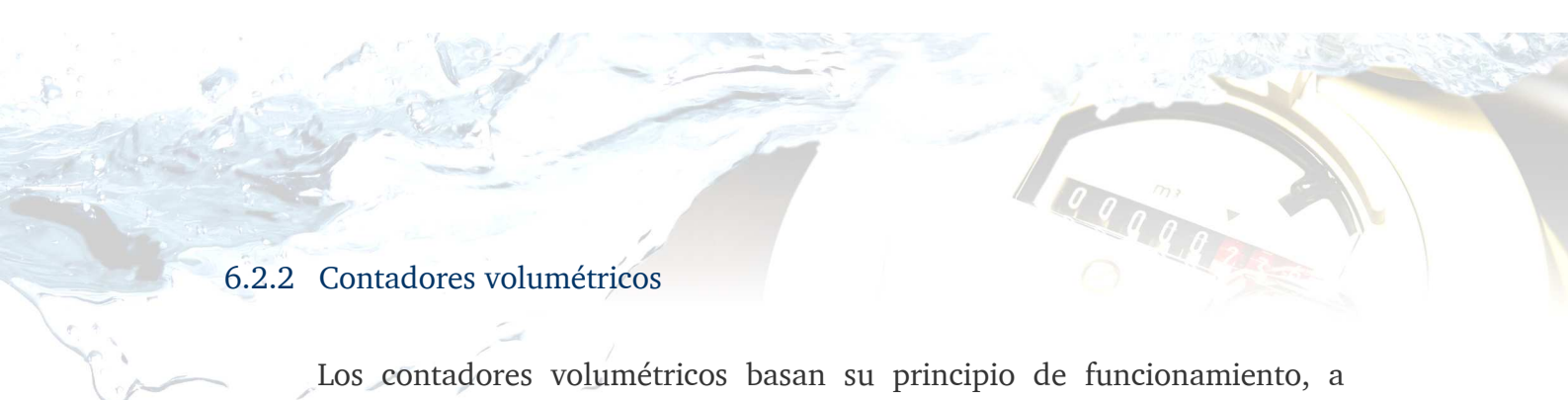


Principio de funcionamiento de un contador combinado en paralelo.

Habitualmente, esta tecnología se instala en lugares donde existe una diferencia elevada entre los caudales máximos y mínimos que se demandan. Por ejemplo, un colegio donde durante ciertas horas el consumo de agua es muy alto y cuando los alumnos están en casa los fines de semana, disminuye de forma brusca, o en un hospital, con grandes diferencias entre el consumo diario y el nocturno.

La derivación del caudal por un circuito u otro se realiza mediante una válvula automática instalada aguas abajo del contador principal. Cuando el caudal es bajo, la válvula está cerrada y el agua circula por el contador secundario. A medida que aumenta el caudal la pérdida de carga en el contador de menor calibre aumentará provocando la apertura de la válvula de regulación y la circulación del fluido por ambos instrumentos. El funcionamiento de la válvula automática es clave para que el equipo sea preciso y esto no siempre se consigue en la práctica, por lo que debe usarse con cautela.

Existen también combinaciones en serie. En estos casos, la válvula automática desvía el agua por uno de los dos circuitos en función del caudal. Cuando el caudal es bajo, cierra la salida del circuito principal haciendo pasar el agua por el secundario, al contrario, en el caso de caudales altos donde se inhabilita la salida del contador más pequeño.



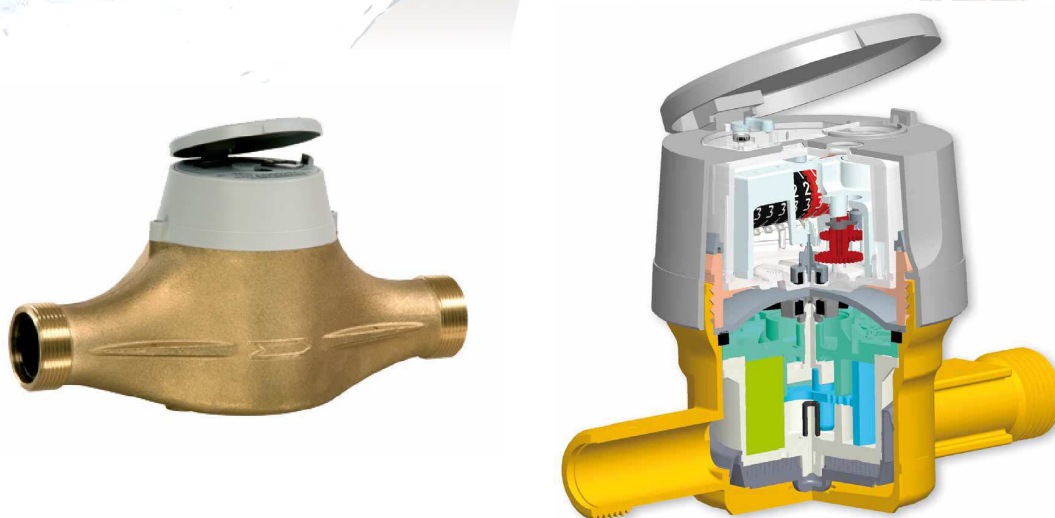
6.2.2 Contadores volumétricos

Los contadores volumétricos basan su principio de funcionamiento, a diferencia de los contadores de velocidad, en el conteo del número de llenados y vaciados de una o dos cámaras de volumen conocido. Existen dos tecnologías, los de pistón rotativo, que suelen ser más comunes, y los de disco oscilante. La diferencia entre ellos se encuentra en el elemento móvil, los primeros poseen un pistón rotativo que gira excéntricamente mientras que el movimiento en los segundos lo realiza un disco giratorio.

6.2.2.1 Contadores de pistón rotativo

Esta tecnología consta del cuerpo de medición donde se encuentra alojada la cámara de volumen calibrado, el pistón rotativo y el plato de división. Generalmente, se fabrica en plástico de alta densidad aunque modelos antiguos todavía se pueden encontrar en latón o bronce. Otro elemento fundamental en este instrumento es el filtro dispuesto aguas arriba de la cámara de medición. Este elemento protege al pistón rotativo de impurezas o partículas de arena que puedan impedir su rotación. El agua se acumula mediante totalizadores de transmisión magnética o mecánica.

El funcionamiento del instrumento se inicia cuando entra el agua dentro de la cámara. Debido a la mayor presión aguas arriba, el pistón tiende a girar excéntricamente cambiando el agua de cada compartimiento. De este modo, se produce el llenado por un lado y, al mismo tiempo, el vaciado por otro. Cada rotación implica el desplazamiento de un volumen de agua conocido.



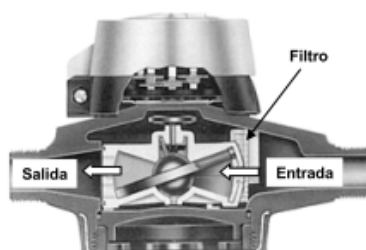
Contador volumétrico con tecnología de pistón rotativo.

Estos instrumentos, de clase metrológica C, con caudales de arranque de incluso inferiores a 1 l/h, son capaces de registrar un amplio rango de caudales que los hacen interesantes a la hora de describir los caudales de consumo de un usuario.

Un inconveniente a mencionar, es que estos equipos son sensibles a las impurezas o partículas sólidas del agua que se introducen en los huecos y holguras del interior de la cámara. A su vez, estas partículas pueden colmatar el filtro de entrada al instrumento.

6.2.2.2 Contadores de disco nutante

La tecnología de disco nutante no es muy habitual en Europa. Su elemento móvil es un disco que gira alrededor a un eje con un movimiento similar al de una peonza. De igual forma, el agua se traslada por el interior del compartimiento de una parte a otra girando excéntricamente en torno al vástago y reconduciendo al agua desde el punto de entrada hasta la salida. De nuevo, en cada rotación del disco se trasiega desde la entrada a la salida el mismo volumen de agua. Las ventajas e inconvenientes son prácticamente similares a las de pistón rotativo.



Corte transversal de un contador volumétrico de disco nutante.

6.2.3 Caudalímetros

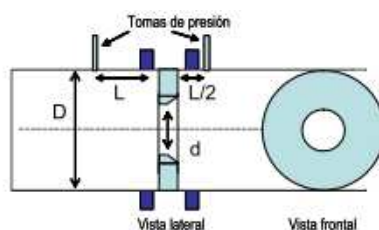
Llamamos caudalímetros a aquellos equipos que registran el caudal instantáneo circulante. Realmente la mayoría de ellos permiten incorporar totalizadores electrónicos o mecánicos que integran esta medida proporcionando volúmenes acumulados al igual que un contador.

Los caudalímetros aquí citados suelen utilizarse en la medición de grandes caudales.

6.2.3.1 Caudalímetros de presión diferencial

Placa orificio

La placa orificio es un instrumento capaz de medir el caudal en base a la presión diferencial entre dos puntos. A partir de la diferencia de alturas de presión en la entrada y la salida de este dispositivo se calcula el caudal circulante por la conducción.

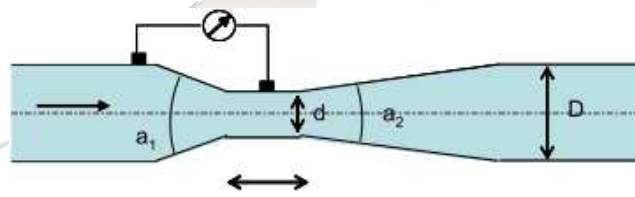


Principio de funcionamiento de una placa orificio.

Venturi

Esta tecnología de medición fue creada por el físico e inventor italiano Giovanni Battista Venturi (1.746 – 1.822). Su principio de funcionamiento es similar al de una placa orificio. Un tubo Venturi está constituido por un convergente, un cuello y un difusor que retorna gradualmente la sección de paso a la original. Este dispositivo mide el gasto de un fluido, es decir, la cantidad de flujo por unidad de tiempo, a partir de una diferencia de presión entre dos secciones, una a la entrada y otra la de menor área de paso.

Los parámetros geométricos del tubo de Venturi para medición de caudales, tal como las estableció Clemens Herschel, son los establecidos en la norma ISO 5167-1. Por lo general, la forma clásica de un tubo Venturi y los parámetros internos más importantes se muestran en la siguiente figura:



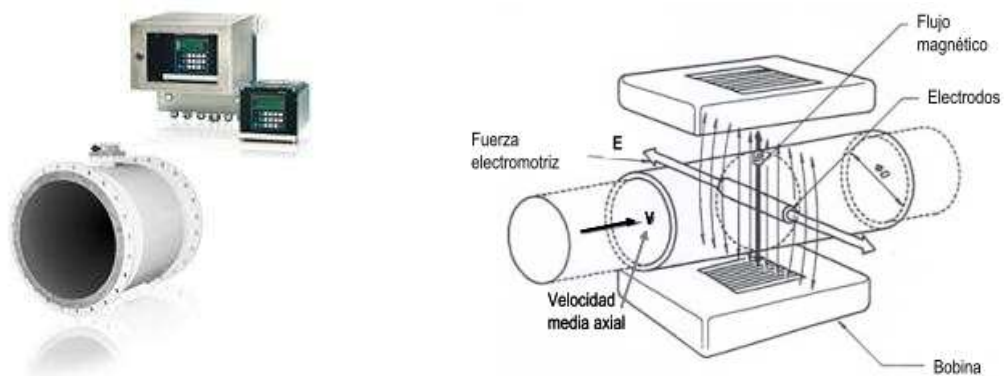
Características dimensionales de un tubo Venturi.

Cuando el fluido entra por el convergente, aumenta progresivamente la velocidad a medida que se estrecha la sección, consecuentemente el término cinético. Este hecho origina una caída de presión en el cuello del Venturi. A partir de la diferencia de presión entre la entrada y el cuello, es posible obtener la velocidad de circulación en cualquiera de las dos secciones y relacionarlas con el caudal circulante.

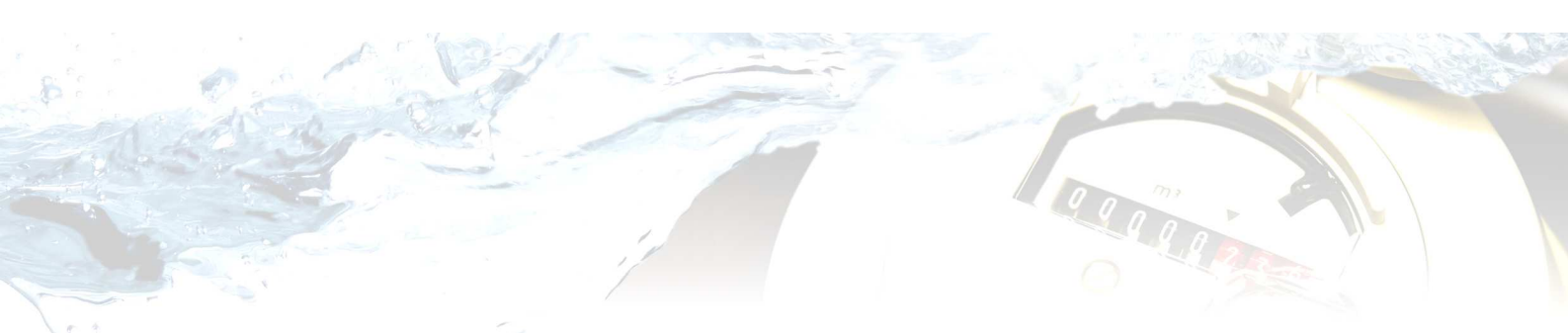
A diferencia de las placas de orificio, la pérdida de carga permanente en este caso es menor ya que el convergente de entrada redondeado distorsiona menos las partículas del fluido que el acabado afilado de la placa de orificio. La altura piezométrica del flujo se recupera, en parte, tras su paso por el Venturi.

6.2.3.2 Caudalímetros electromagnéticos

El principio de funcionamiento de un caudalímetro electromagnético está basado en la ley enunciada por Faraday en 1832, según la cual entre los extremos de cualquier conductor que atravesase un campo electromagnético se induce una fuerza electromotriz perpendicular al campo y a la dirección de circulación del líquido que actúa como conductor.



Caudalímetro electromagnético.



En cuanto a su construcción, este instrumento está constituido por dos partes bien diferenciadas, un elemento primario por el que circula el fluido y que proporciona como salida una señal alterna de baja intensidad proveniente de los electrodos situados en la conducción, y otro secundario integrado por componentes electrónicos, que amplifican y transforman esa señal en una salida eléctrica normalizada.

Con los avances tecnológicos se han comercializado caudalímetros electromagnéticos alimentados mediante baterías, lo que facilita su instalación al no requerir alimentación eléctrica, de este modo se abre un abanico importante en cuanto a posibilidades de instalación.

6.2.3.3 Caudalímetros de inserción

Sonda electromagnética

Este tipo de sonda obtiene la velocidad local del fluido, en las proximidades del cabezal, por el mismo principio físico que los caudalímetros electromagnéticos, la Ley de Faraday. La propia sonda incorpora unas bobinas que generan un campo magnético. El agua al circular con cierta velocidad alrededor de la sonda, genera una diferencia de potencial en los electrodos que resulta proporcional a su velocidad en esta zona. El caudal se obtiene ponderando las velocidades medidas con el área de la conducción y ciertos parámetros correctores.



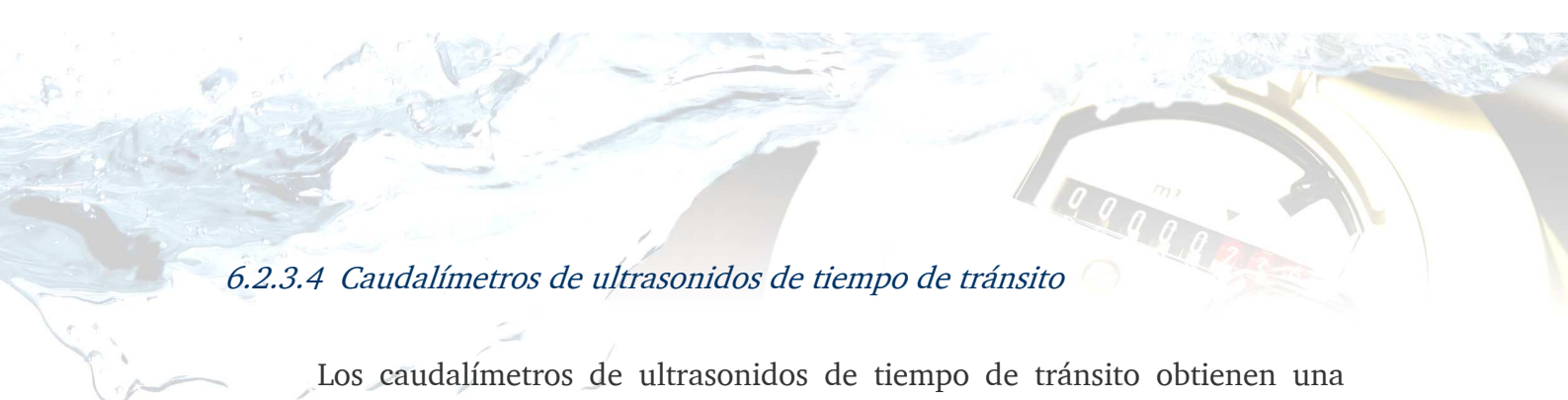
Sonda de inserción electromagnética.

Sonda tipo turbina

Son caudalímetros autónomos donde la velocidad local del fluido se obtiene a partir de la velocidad de rotación de una turbina. El eje de giro de la misma es transversal al eje de la conducción y debe estar perpendicular al flujo de agua para obtener mediciones fiables. La velocidad de giro de la turbina se recoge mediante sensores magnéticos que detectan cada paso de los álabes.



Sonda de inserción de turbina



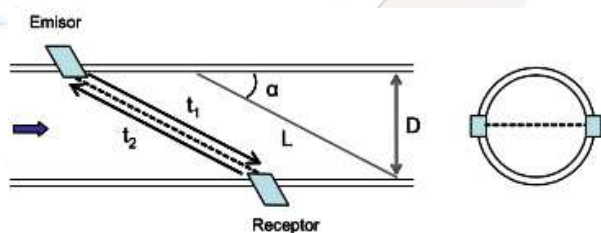
6.2.3.4 Caudalímetros de ultrasonidos de tiempo de tránsito

Los caudalímetros de ultrasonidos de tiempo de tránsito obtienen una estimación de la velocidad de circulación del agua a partir de la velocidad de propagación del sonido en un medio en movimiento. Este instrumento registra el tiempo transcurrido desde que las ondas sonoras generadas desde el punto emisor llegan al punto receptor en un medio transmisor para relacionarlo con el caudal circulante por la tubería. Este tiempo de tránsito depende de múltiples factores como la velocidad de propagación del sonido en el medio, de la dirección del flujo, de la instalación y las características geométricas del instrumento, etcétera.

En general, este tipo de tecnología consta de dos transductores piezoeléctricos cerámicos que actúan indistintamente como receptores y como emisores de ondas sonoras. Como emisores se excitan mediante pulsos eléctricos que seguidamente convierten en una señal acústica, y como receptores el proceso es justamente el contrario, captan las variaciones de presión debidas a las ondas sonoras creadas por el emisor transformándolas en impulsos eléctricos.

Existen diferentes tipos de transductores, los que están en contacto directo con el medio transmisor, denominados wetted transducers, que son más precisos, y los que se instalan exteriormente, clamp-on transducers, que generalmente se utilizan como caudalímetros portátiles.

Los caudalímetros de tiempo de tránsito sitúan estos focos de emisión y recepción a cierta distancia en línea recta de la tubería formando un ángulo α entre el eje de la conducción y la línea ficticia de ondas sonoras. De ésta disposición se tiene, una longitud L entre transductores, un ángulo α y el diámetro D de la tubería que forman un triángulo, base para el cálculo del tiempo de tránsito del tren de ondas sonoras.



Principio de funcionamiento de un caudalímetro de tiempo de tránsito.



Caudalímetro de Ultrasonidos

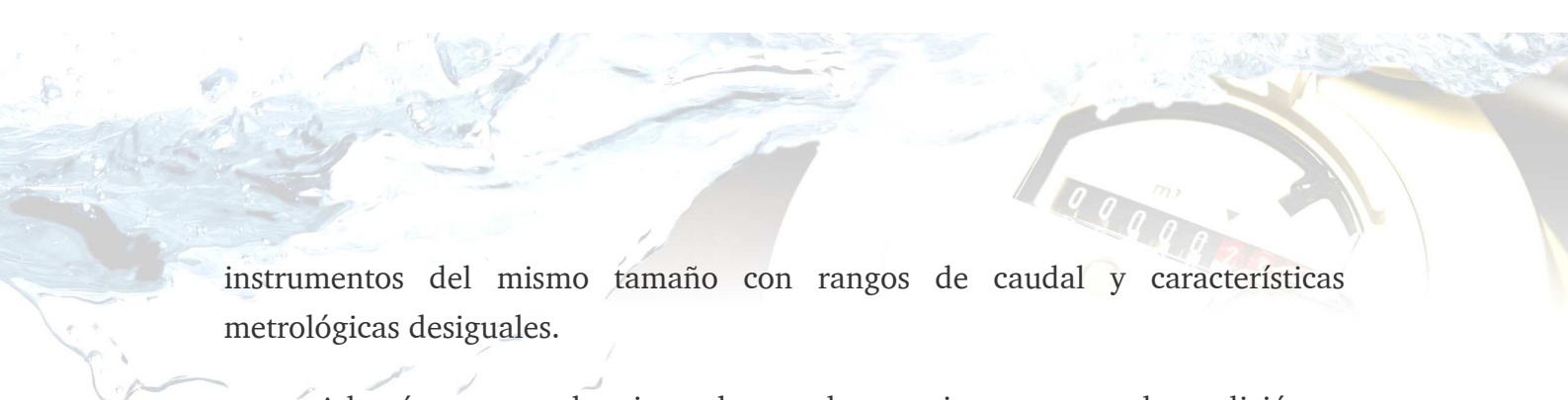
El transductor situado aguas arriba manda una señal que tarda un tiempo t_1 en llegar al transductor aguas abajo que, en este caso, actúa como receptor y que invierte el proceso emitiendo ondas sonoras que tardan un tiempo t_2 en alcanzar el transductor aguas arriba.

Cuando la velocidad de circulación del fluido es nula, ambos tiempos son iguales, pero cuando el fluido se encuentra en movimiento estos tiempos se ven influenciados por la velocidad del agua. Es decir, el perfil de velocidades de la cuerda entre transductores provocará que las ondas sonoras viajen a mayor o menor velocidad, y en consecuencia, el tiempo de tránsito disminuya o aumente. Las ondas de presión que se transmiten en el sentido del flujo tendrán un tiempo de tránsito menor (t_1) que aquellas que viajan en sentido contrario al flujo de agua (t_2).

6.3 Dimensionamiento

El dimensionado de instrumentos de medida de caudal, especialmente contadores de agua, se efectúa teniendo en cuenta su caudal nominal. Este caudal, como se ha comentado en repetidas ocasiones, es aquel para el cual el contador puede funcionar de manera normal sin deterioro alguno en su funcionamiento.

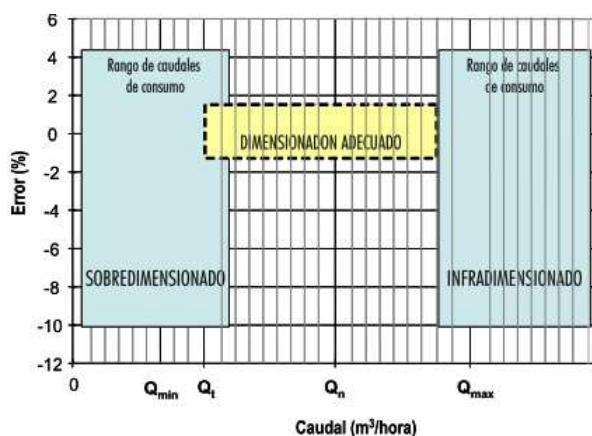
Cada fabricante tiene su propio diseño de contador que, aun siendo del mismo tamaño, puede tener capacidades de caudal diferentes. Por ejemplo, dentro de una misma tecnología de medición se comprueba que se comercializan



instrumentos del mismo tamaño con rangos de caudal y características metrológicas desiguales.

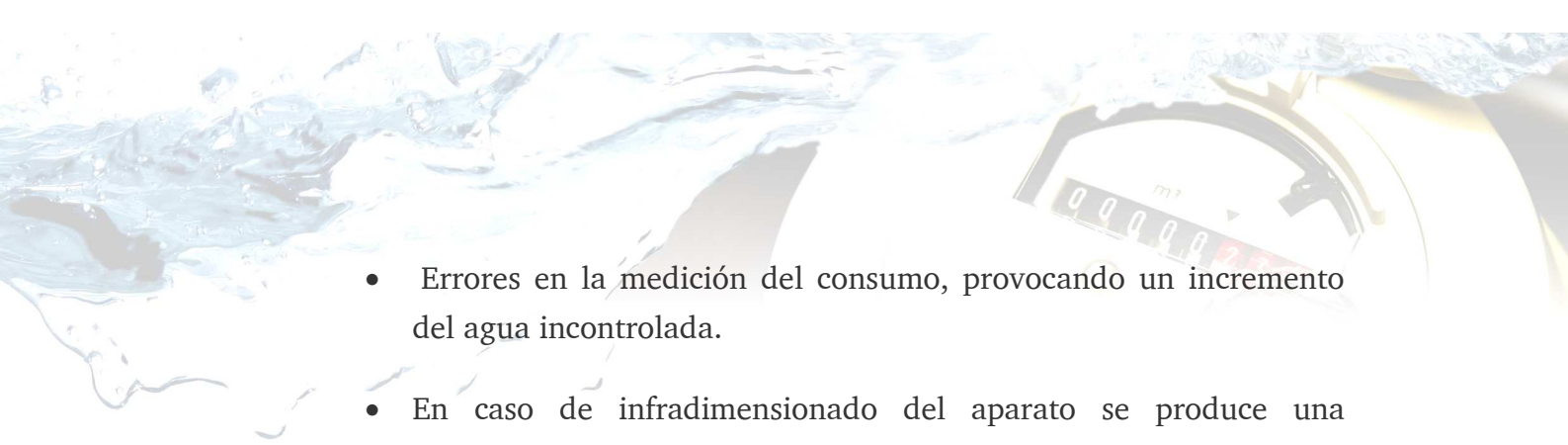
Además, como se ha visto, el error de estos instrumentos de medición es dependiente del caudal demandado por el consumidor. Por tanto, una adecuada elección de la capacidad de caudal del instrumento, revisando que las especificaciones técnicas aportadas por cada fabricante se ajusten al máximo a sus condiciones de funcionamiento. Esta práctica resulta fundamental en la selección de cualquier aparato de medida ya que aumenta su vida útil y garantiza una correcta medición del consumo de agua.

En el caso de los contadores de agua, un infradimensionado implica que por el instrumento circulan caudales excesivamente altos para su capacidad máxima de funcionamiento, lo que puede dañar en un periodo corto de tiempo sus elementos internos, deteriorando su curva de error. Por el contrario, un contador está sobredimensionado cuando su rango de funcionamiento habitual se encuentra en la zona inferior del rango de medida donde los errores de medición son más elevados, y consecuentemente los volúmenes de agua que quedan sin registrar son significativos.



Criterio de dimensionado de contadores de agua.

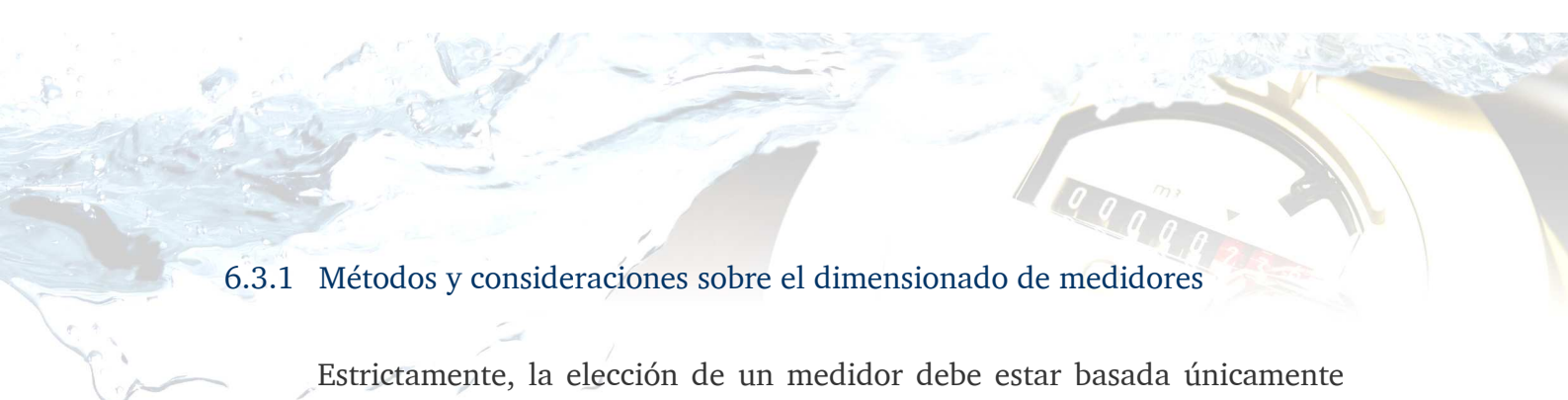
Por tanto un incorrecto dimensionado puede ocasionar graves inconvenientes en los instrumentos de medición:

- 
- Errores en la medición del consumo, provocando un incremento del agua incontrolada.
 - En caso de infradimensionado del aparato se produce una disminución de la capacidad de suministro a una acometida.
 - En caso de sobredimensionado, pérdidas económicas por el mayor coste del instrumento.
 - Los caudales excesivamente altos para la capacidad del instrumento provocan un deterioro acelerado del aparato con el consecuente aumento en el coste de mantenimiento.
 - Escasa fiabilidad de las medidas.

De este modo, para dimensionar correctamente un contador se debe conocer primero la magnitud de los caudales de agua que circularán por él y, segundo, el tiempo durante el cual circularán estos caudales. Un tiempo de uso prolongado a caudales altos hace recomendable elegir un contador cuyo caudal nominal esté cercano a los caudales circulantes. En cambio, si el periodo donde el consumo a caudales elevados es más corto y disperso en el tiempo, es admisible el uso de contadores de calibres más pequeños, siempre y cuando los caudales circulantes no superen el $Q_{\max}$ del mismo y las pérdidas de carga que originen estén dentro de los valores admisibles en el sistema.

Generalmente, los instrumentos sobredimensionados registran menor volumen de agua diario ya que el usuario consume unos caudales reducidos para ese calibre de contador, es decir, consume en rangos de caudal donde los errores de registro son mayores. No obstante, hay que ser conscientes de que cuando el volumen diario registrado es anormalmente bajo puede ser debido a otros factores, como por ejemplo un instrumento con una curva de error deteriorada, un medidor parado o manipulado, un consumo realmente bajo, etc.

El siguiente apartado revisa los métodos existentes y las consideraciones que se deben tener en cuenta para dimensionar correctamente estos sistemas y evitar que una elección incorrecta del aparato afecte a su medición y a su vida útil.



6.3.1 Métodos y consideraciones sobre el dimensionado de medidores

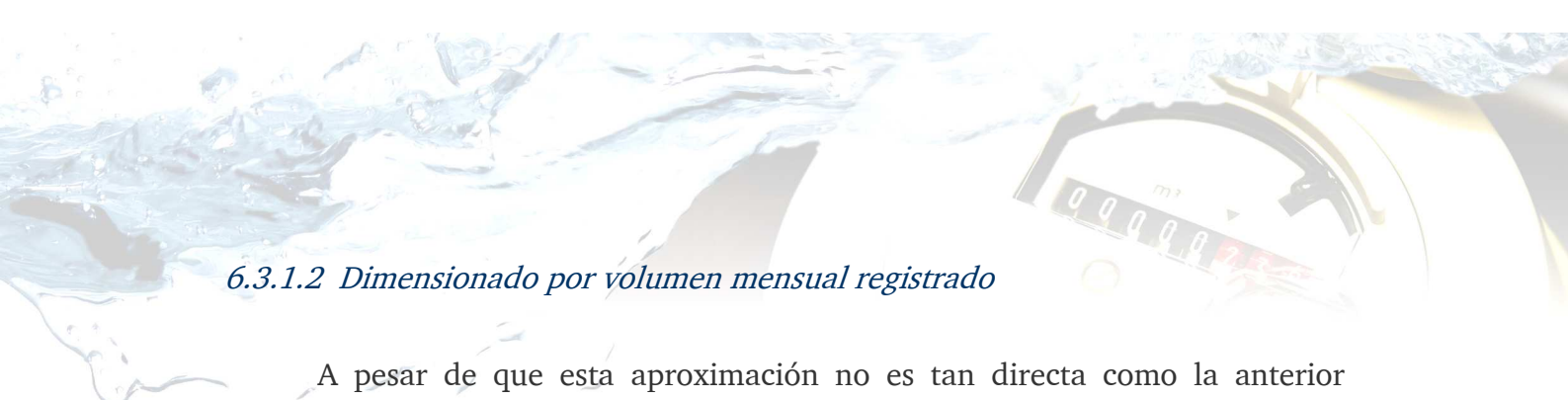
Estrictamente, la elección de un medidor debe estar basada únicamente en los caudales que circulan por él, es decir, en la demanda de agua del usuario. Criterios de dimensionado basados en la pérdida de carga o aquellos que adoptan directamente el mismo diámetro o uno inferior que la conducción pueden ocasionar errores de medición que afecten significativamente a la facturación y al control de los caudales en las líneas de distribución. Durante el dimensionado de un instrumento de medición se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Ajustar, siempre que sea posible, el rango de funcionamiento del instrumento a los caudales de consumo del usuario, abarcando entre el caudal de transición y el nominal tanto los caudales más bajos como los más altos de consumo.
- Los caudales máximos admisibles o caudal de sobrecarga del aparato no se deben sobrepasar.
- No provocar una pérdida de carga excesivamente alta y siempre tener presente la disponibilidad de presión en cada instalación.

A la hora de elegir el medidor es importante examinar las especificaciones técnicas de cada aparato. Fundamentalmente, su rango de medición, su caudal nominal y la pérdida de carga que produce. Algunas de las técnicas que se pueden aplicar son las siguientes:

6.3.1.1 Dimensionado mediante la estimación del caudal punta

En caso de suministrar principalmente a usuarios particulares, es posible calcular el caudal punta de la instalación a partir del caudal instalado. Este método es el que habitualmente se utiliza en el cálculo de los caudales punta en las instalaciones interiores de edificios. Tiene en cuenta el número de aparatos de consumo y la posible simultaneidad de uso de los mismos.



6.3.1.2 Dimensionado por volumen mensual registrado

A pesar de que esta aproximación no es tan directa como la anterior (caudal instalado) es muy utilizada por ser los datos del consumo mucho más fáciles de obtener, a partir de la lectura periódica de los medidores, que aportan informaciones fiables en cuanto a las instalaciones internas de los consumidores. Es un método recomendado por algunos fabricantes de contadores, en la medida que permite estimar por la lectura acumulada y tiempo de uso si el medidor estaba sujeto a caudales mayores o menores que los recomendados que, como se ha dicho, es una de las circunstancias que lleva al subregistro de consumos.

6.3.1.3 Dimensionado mediante levantamiento del perfil de caudales

Es el método más preciso, y se basa en el levantamiento de un perfil de caudales para conocer realmente los caudales circulantes por la conducción. Solamente se debe tener la precaución de corregir las mediciones con el posible sesgo que pueda introducir el caudalímetro o contador empleado en el levantamiento del perfil. Por ejemplo, si se utiliza un contador Woltman ya instalado para verificar si es adecuado o no, dados los caudales circulantes, puede suceder que el contador esté deteriorado y no proporcione una imagen real de lo que realmente circula por la conducción. No registrar consumos a caudales bajos no necesariamente implica que no los haya. Puede ser que el medidor no los registre por no tener suficiente sensibilidad o estar averiado.

6.3.2 Dimensionado caudalímetros

Son aplicables los criterios expuestos en el apartado anterior, pero cabe señalar que muchos fabricantes recomiendan el dimensionado mediante los datos del caudal circulante:

