

# CONTADORES DE AGUA PARA RIEGO. MEDICIÓN Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Arregui de la Cruz, F.J.<sup>1</sup>; Palau Estevan, C.V.<sup>2</sup> (P); García-Serra García, J.<sup>1</sup>; Herrero Alvaro, M.<sup>2</sup>

## RESUMEN

En este artículo se presentan los principales modelos de contadores de agua existentes en el mercado, describiendo su modo de funcionamiento y qué parámetros son los más importantes a la hora de elegir correctamente este elemento, tanto desde el punto de vista metrológico, de durabilidad, e incluso económico.

## INTRODUCCIÓN

La medición del agua consumida por las tierras cultivadas en regadío ha cobrado especial importancia en los últimos años. El uso de contadores de agua está cada vez más extendido en la Agricultura, forzado por aspectos legales y de aprovechamiento hidráulico, y, por ello, es fundamental conocer las características de estos instrumentos de medida. Es decir, su principio de funcionamiento, sus especificaciones técnicas y recomendaciones para un dimensionado e instalación óptimo, aquellos factores que puedan afectar su metrología, etcétera.

## NORMATIVA

La directiva 75/33/CEE, la Norma ISO 4064 y la Orden Ministerial del 28 de diciembre de 1988 establecen tres clases metrológicas para contadores de agua, de menor a mejor calidad, A, B y C. Para definir estas clases metrológicas se recurre a unos parámetros que es necesario definir previamente:

- El error de un contador de agua a un caudal dado se calcula como:

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{contador}} - Q_{\text{real}}}{Q_{\text{real}}} = \frac{\nabla_{\text{contador}} - \nabla_{\text{real}}}{\nabla_{\text{real}}}$$

- *Caudal máximo* ( $Q_{\text{max}}$ ). Es el caudal al cual el contador debe poder funcionar sin deterioro durante periodos de tiempo limitados. Dado que precisamente a caudal máximo la pérdida de carga en el contador está en el límite superior, también se debe cumplir a este caudal que la pérdida de carga no supere el valor máximo admisible (1 bar).
- *Caudal nominal* ( $Q_n$ ). Es la mitad del caudal máximo y es el que se emplea usualmente para designar al contador. A este caudal, generalmente, el fabricante garantiza que el instrumento de medida puede trabajar ininterrumpidamente.
- *Caudal de transición* ( $Q_t$ ). Es el caudal a partir del cual, y hasta caudal máximo, el error del contador no debe superar el  $\pm 2\%$  (Figura 1).
- *Caudal mínimo* ( $Q_{\text{min}}$ ). Es el caudal a partir del cual, y hasta llegar al caudal de transición, el error del contador no debe superar el  $\pm 5\%$  (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Doctor Ingeniero Industrial

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo

Lo que diferencia una clase metrológica de otra son únicamente los caudales mínimo y de transición, a partir de los cuales se exige que el error del contador sea inferior al valor fijado. En la tabla 1, se muestran estos valores en función del caudal nominal del contador, como un valor en tanto por uno del mismo. Es importante destacar que para contadores de clases A, B y C del mismo caudal nominal, una vez se ha sobrepasado el caudal de transición del contador de clase A, el error máximo admisible para las tres clase metrológicas es exactamente el mismo, del 2%.

De la Figura 1, se deduce que los contadores con mejores condiciones metrológicas son los de clase C, seguidos de las clases B y A. Es evidente que se deberá que tener en cuenta, a la hora de elegir una clase metrológica u otra, si el coste del contador compensa este mejora del registro de agua.

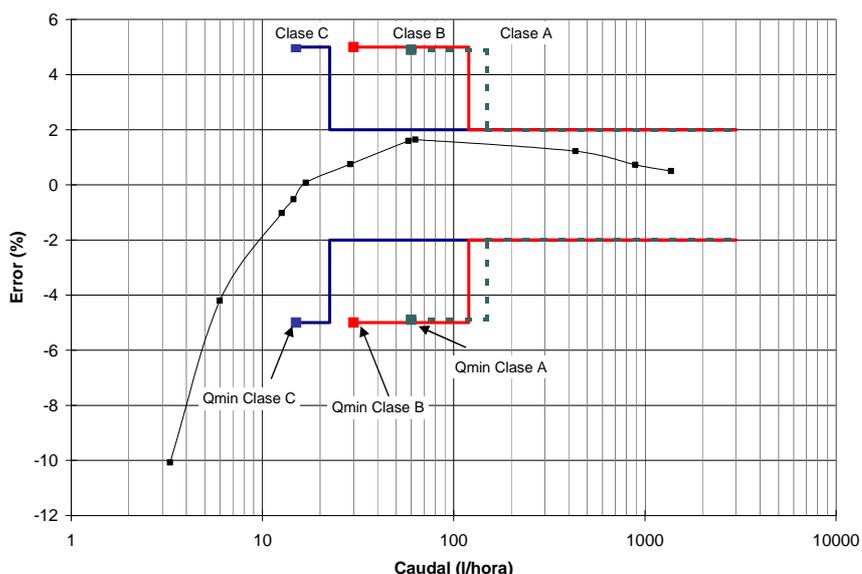


Figura 1. Ejemplo de la curva de error de un contador de agua.

Tabla 1. Clases de precisión de contadores de agua

Clase metrológica	Caudal nominal		
	Caudal	< 15 m <sup>3</sup> /hora	≥ 15 m <sup>3</sup> /hora
A (CEE/ISO)	Mínimo	0.04 · Q <sub>n</sub>	0.08 · Q <sub>n</sub>
	Transición	0.10 · Q <sub>n</sub>	0.30 · Q <sub>n</sub>
B (CEE/ISO)	Mínimo	0.02 · Q <sub>n</sub>	0.03 · Q <sub>n</sub>
	Transición	0.08 · Q <sub>n</sub>	0.20 · Q <sub>n</sub>
C (CEE/ISO)	Mínimo	0.01 · Q <sub>n</sub>	0.006 · Q <sub>n</sub>
	Transición	0.015 · Q <sub>n</sub>	0.015 · Q <sub>n</sub>

Actualmente se está redactando el proyecto de Norma europea para contadores de riego, prEN 14268. En contraste con lo comentado anteriormente, únicamente se definen tres parámetros, *caudal mínimo*, *caudal nominal* y *caudal de sobrecarga*. En principio el caudal de sobrecarga se establece como 1,25 veces el caudal nominal.

Al no haberse definido un caudal de transición, solamente se genera un rango de medición, donde la banda de error admitida es del ±5%. Por ello, la precisión exigida a los contadores de riego en dicho proyecto de Norma es menor que la que se establece en la directiva 75/33/CEE para contadores de agua fría.

## TIPOS DE CONTADORES DE AGUA

### Contadores de chorro único

#### Principio de funcionamiento

Actualmente, debido a su pequeño calibre son instrumentos poco utilizados en la Agricultura. Básicamente, su funcionamiento se basa en la incidencia directa de un *único* chorro sobre una turbina alojada en el interior del cuerpo del instrumento de medida, habitualmente de latón o bronce (Figura 2).

La velocidad de giro de la turbina depende de la velocidad de impacto del chorro de agua o lo que es lo mismo, del caudal circulante en cada momento. Evidentemente, cualquier modificación en la relación entre el caudal circulante y la velocidad de giro de la turbina alterará la curva de error.

#### Condiciones de instalación

En principio, estos contadores están pensados para funcionar en posición horizontal, con el eje totalmente vertical. Cualquier otro tipo de instalación afecta negativamente a su curva de error. No obstante, existen modelos homologados para funcionar en cualquier posición.



Figura 2. Despiece de un contador de chorro único.

En régimen nominal, donde trabaja generalmente el instrumento durante el riego, la curva de error no se ve afectada si su instalación no es horizontal. Sin embargo, si perjudicará la vida útil del mismo al apoyar la turbina sobre el eje de manera incorrecta.

En estos contadores, un perfil de velocidades distorsionado no suele afectar gravemente a la calidad de medición, es decir, no aumenta 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 un perfil de velocidades distorsionado. Por ello, en general, no se requiere de la disposición de tramos rectos de tubería aguas arriba del contador.

#### Parámetros que pueden afectar a la metrología

En ocasiones, los sólidos en suspensión y deposiciones calcáreas pueden dar lugar a sobrecontaje, al cambiar la relación entre el caudal y la velocidad de giro de la turbina. También, las fibras y sólidos en suspensión alteran en numerosas ocasiones el correcto funcionamiento de estos contadores, bloqueado o dificultando el giro de la turbina, lo que provoca subcontaje.

Por otro lado, una obturación parcial del filtro de entrada no suele afectar gravemente a la curva de error. Como ya se ha comentado, una tobera de entrada convergente ayuda a regularizar el perfil de velocidades, manteniendo constante la relación entre la velocidad de giro de la turbina y el caudal. En cambio, una obturación casi total del filtro de entrada genera grandes pérdidas de carga y sí podría modificar la curva de error del contador.

## **Contadores de chorro múltiple**

### *Principio de funcionamiento*

Los contadores de chorro múltiple (Figura 3) se incluyen en el grupo de los contadores de velocidad. Este tipo de contadores son utilizados en las redes de riego en tuberías terciarias.

Al igual que ocurre con 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 con respecto al funcionamiento de los contadores de chorro único reside en que en éstos el agua impacta sobre la turbina en un único punto, mientras que en los contadores de chorro múltiple el agua golpea a la turbina en toda la periferia de la cámara (Figura 4).

Con esta característica se consigue un funcionamiento más equilibrado de la turbina y, en teoría, mayor durabilidad del contador. Asimismo, se supone un mejor comportamiento a bajos caudales.

### *Condiciones de instalación*

Al igual que los contadores de chorro único, estos contadores no requieren tramos rectos de tubería aguas arriba.

Una instalación inclinada o en vertical es muy habitual, pero inadecuada, y reduce la sensibilidad del contador a caudales bajos, aunque no afecta a la curva de error a caudales medios y altos. Sin embargo, como en los anteriores, es posible que la durabilidad del contador se vea perjudicada.

### *Parámetros que pueden afectar a la metrología*

La regulación de la curva de error de estos contadores se logra gracias a la habilitación de un circuito en paralelo (figura 4). En caso de obturarse este by-pass, debido a fibras o sólidos en suspensión de cierto tamaño, el caudal circulante por la turbina a un determinado régimen es superior al esperado por lo que ésta girará a mayor velocidad. Es decir, en estos casos, los errores de contaje se volverían positivos. Este problema, sin duda, puede ocasionar numerosos problemas con los clientes.

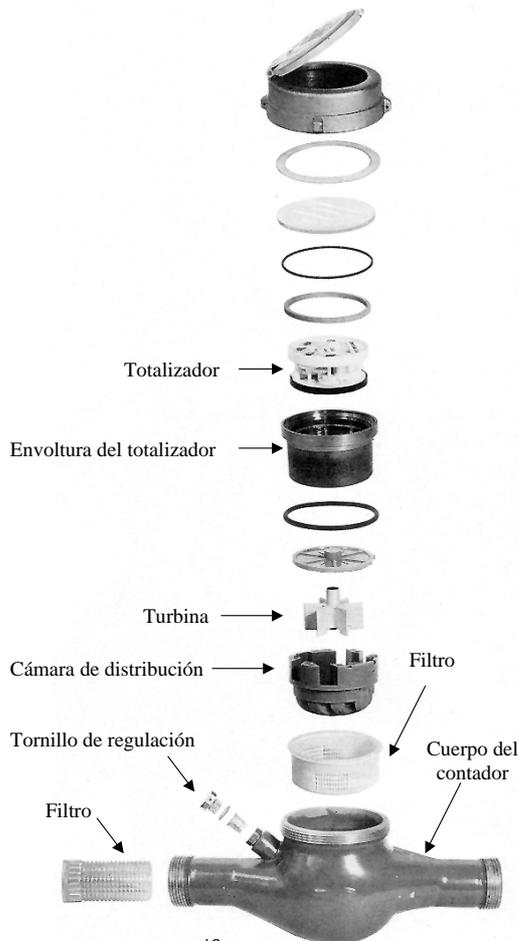


Figura 3. Despiece de un contador de chorro múltiples

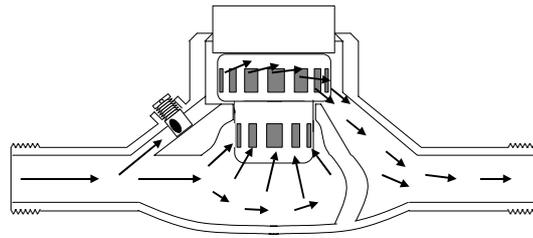


Figura 4. Esquema de funcionamiento de un contador de chorro múltiple.

## Contadores Woltmann

### Principio de funcionamiento

El elemento primario de los contadores Woltmann consiste en 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 y las características constructivas de la hélice, como del ángulo de ataque del agua sobre sus álabes. Este último aspecto tiene especial relevancia en la instalación en campo de los contadores tal y como se verá.

Existen tres tipos de contador Woltmann en función de sus características constructivas y del eje de rotación de la turbina. Los contadores Woltmann *de eje horizontal* tienen mayor capacidad de caudal para un mismo diámetro que los *de eje vertical* y *en codo* (Figura 5). Sin embargo, la sensibilidad a caudales bajos de los contadores de eje vertical es superior.

Existe 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 en ambas, en el sistema. A estos contadores se les denomina comúnmente *válvulas-contador*, *válvulas volumétricas*, o *hidrómetros* (Figura 5).



*Figura 5. Tipos de contadores Woltmann.*

### *Condiciones de instalación*

En los contadores de *eje horizontal*, el perfil de velocidades a la entrada juega un papel fundamental en la metrología del mismo. Dependiendo de la perturbación existente aguas arriba el número de tramos rectos necesarios para regularizarlo oscila entre 5 y 20 diámetros (Figura 6).

Las exigencias de tramos rectos en los contadores de *eje vertical* son menores, puesto que el propio contador distorsiona el perfil de velocidades a la entrada, lo que le hace inmune a muchos tipos de perturbaciones.

### *Parámetros que pueden afectar a la metrología*

El principal parámetro que afecta a la metrología de este tipo de contador es la distorsión del perfil de velocidades que se genera cuando no se mantienen las distancias rectas requeridas aguas arriba (Figura 6). En estos casos, el resultado de la medición es impredecible, y no se garantiza una mínima calidad de medida donde puede salir perjudicado tanto el usuario como el suministrador.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la utilización de este tipo de contadores tiene que ver con la instalación de filtros aguas arriba del contador, con el fin de evitar el impacto de sólidos arrastrados por la corriente, o el paso de fibras que puedan bloquear la hélice.

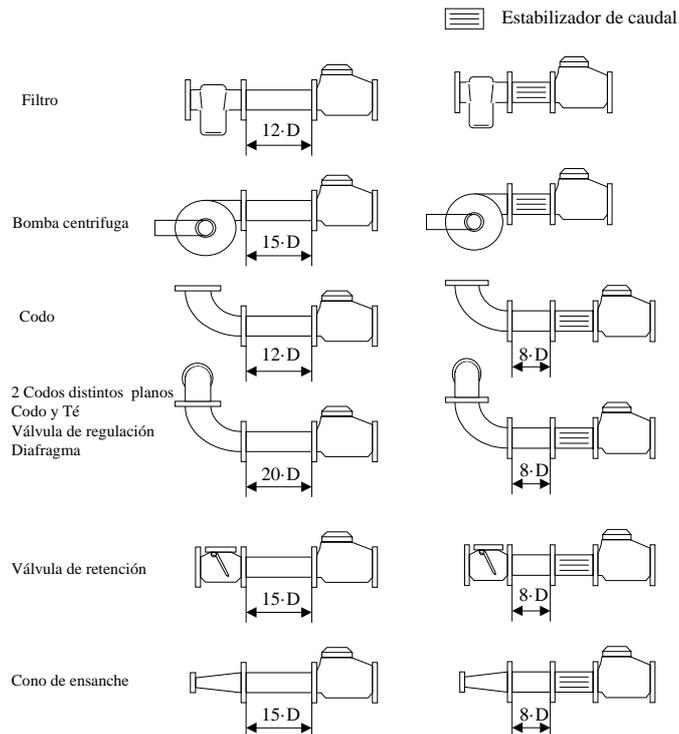


Figura 6. Tramos rectos recomendados para los contadores Woltmann de eje horizontal.

## Contadores proporcionales

### Principio de funcionamiento

En muchas ocasiones el fluido a medir arrastra una gran cantidad de sólidos en suspensión. Ello provoca, en mayor o menor grado, el deterioro de los elementos móviles usados en las tecnologías de medición comentadas hasta el momento.

El particular diseño de los contadores proporcionales (Figura 7) 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, este tipo de contadores no están aprobados dentro del marco de la Directiva europea 75/33/CEE debido a su baja precisión.



Figura 7. Contador proporcional

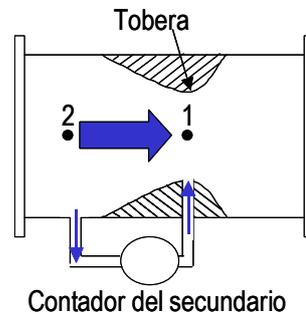


Figura 8. Flujo en el interior de un contador proporcional

Este tipo de contador incorpora dos circuitos en paralelo por donde circula el fluido. El contador se instala en el secundario, 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 Figura 8 se muestra el esquema de funcionamiento.

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.

### *Condiciones de instalación*

En principio estos contadores no son demasiado sensibles a las perturbaciones del flujo. De hecho, elementos como los codos y las tes no afectan a su curva de error.

### *Parámetros que pueden afectar a la metrología*

Para proteger el contador secundario se instala un filtro a la entrada del circuito en derivación. El problema que surge en numerosas ocasiones es que este filtro se obtura impidiendo así el paso del agua por el secundario y provocando errores de registro muy importantes, al cambiar la relación entre el caudal circulante por el secundario y el caudal total. En algunos casos, los fabricantes recomiendan que con aguas muy cargadas (aprox. 3 g/l) la velocidad de circulación sea superior a 2 m/s para dificultar el paso de sólidos por el secundario.

## **Contadores tangenciales**

### *Principio de funcionamiento*

Este tipo de contador está diseñado especialmente para riego pero, al igual que los proporcionales, tiene unas características metrológicas mediocres.

La figura 9 muestra un corte longitudinal de un contador de este tipo. La turbina, situada en la parte superior de la conducción gira proporcionalmente a la velocidad del agua en esta zona. Por ello, un perfil de velocidad asimétrico, que cambie la relación entre la velocidad media y la velocidad medida, perjudica seriamente la precisión.

El uso de los contadores tangenciales, a pesar de los inconvenientes comentados relativos a su escasa precisión, está justificado principalmente por dos razones. La primera tiene que ver con el coste del contador. Dado que el elemento primario mantiene el tamaño, independientemente del diámetro de la conducción, el coste de adquisición no se dispara en exceso en comparación con otro tipo de contadores, como puedan ser los Woltmann.

Por otro lado, el paso de agua no encuentra impedimento alguno, por lo que pueden atravesar el contador sólidos en suspensión de tamaño considerable sin que se dañe la turbina. Los sólidos de mayor densidad circularán por la parte baja de la conducción mientras que la turbina se encuentra en la zona superior.

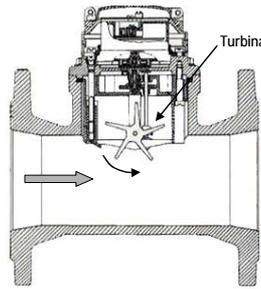


Figura 9. Contador de agua tangencial de uso frecuente en riego.

### Condiciones de instalación

Es frecuente encontrar este tipo de contadores sin ningún tipo de aprobación de clase metrológica, por lo que no pueden ser utilizados como instrumentos de facturación. Su funcionamiento es muy parecido al de un caudalímetro de inserción tipo turbina, por lo que presenta inconvenientes análogos, es decir, alta sensibilidad al perfil de velocidades y baja precisión. Por ello, en la instalación de un contador tangencial es esencial garantizar una calidad excelente del perfil de velocidades, por lo que las distancias de tramos rectos a conservar aguas arriba del contador son considerables. Se puede tomar como referencia las recomendaciones dadas por fabricantes de caudalímetros de inserción tipo turbina. Normalmente estarán comprendidas entre 15 y 30 diámetros, dependiendo de la perturbación.

### Tabla resumen

Tabla 2. Comparativa entre las diferentes tecnologías de contadores de agua.

TIPO	CLASES METROLÓGICAS FRECUENTES	DIÁMETROS DISPONIBLES (mm)	PÉRDIDAS DE CARGA (bar)	CALIDAD DE AGUA REQUERIDA	COSTE ECONÓMICO
Chorro único	B-C	7-100 (habitualmente hasta 65)	≈ 1 *	Buena	Alto en calibres a partir de 30mm
Chorro múltiple	B-C	15-50	≈ 1 *	Buena	Bajo-medio
Woltmann eje horizontal	B	50-800	0,2-0,4	Regular	Medio
Woltmann eje vertical	B	50-200	0,2-0,4	Regular	Medio-alto
Proporcionales	A	65-150	≈ 0,6	Mala	Bajo
Tangenciales	A	50-250	≈ 0,1 bar	Mala	Bajo

\* Norma ISO-4064 la pérdida de carga a caudal máximo está limitada a 1 bar.

### DIMENSIONADO

El dimensionado de contadores de agua para riego se efectúa teniendo en cuenta su caudal nominal, que es aquel para el cual el contador puede funcionar de manera continua sin deterioro (ISO-4064). Este caudal nominal no es único para cada diámetro y puede variar dependiendo del diseño de cada fabricante.

Una adecuada elección de la capacidad de caudal es fundamental en cualquier aparato de medida ya que hace que aumenta su durabilidad, es decir, su vida útil y garantiza una correcta medición de los consumos.

En el caso de los contadores de agua, un *infradimensionado* implica que por el instrumento circulen caudales excesivamente altos, lo que dañaría en un periodo corto de tiempo sus elementos internos, deteriorando su curva de error. Por el contrario, un contador *sobredimensionado* trabaja en la zona inferior del rango de medida donde los errores de medición son más elevados.

Por tanto, para dimensionar correctamente un contador de riego, se debe conocer primero los caudales de agua que van a circular por él, y segundo el tiempo durante el cual circularán estos caudales. Con un tiempo de uso o riego largo conviene elegir un contador que ajuste su caudal nominal a los caudales circulantes. En cambio, si los periodos de riego son más cortos y separados 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.

Incluso en el caso de contadores de igual diámetro, existen diferencias entre los parámetros de cada modelo comercial. Por ejemplo, en la Tabla 3 se muestran las características técnicas de diversos modelos de contador Woltmann horizontal. Se comprueba que los caudales aceptables, si el uso no supera las 10 horas/día, son significativamente superiores a los caudales nominales.

También es destacable las diferencias entre los distintos modelos disponibles en el mercado, a pesar de que todos ellos corresponden a contadores Woltmann de eje horizontal.

Tabla 3. Tabla resumen con las principales marcas comerciales.

Recomendaciones de dimensionado para contador **tipo Woltmann de eje horizontal calibre 100mm.**

	Marca A	Marca B	Marca C	Marca D
$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /h)	200	250	120	120
$Q_n$ (m <sup>3</sup> /h)	100	180	60	60
Capacidad volumen máximo mensual (m <sup>3</sup> )	72.000	129.600	43.200	43.200
$Q_{max}$ durante 10 horas/día (m <sup>3</sup> /h)	150	-	100*	-
$Q_{max}$ pocos minutos (m <sup>3</sup> /h)	300	250	200	120

\* $Q_{max}$  en continuo

## BIBLIOGRAFÍA

- Arregui F. (2001). “Contadores de agua”. Curso de medición e instrumentación en sistemas hidráulicos a presión. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.
- Directiva CEE 75/33 de 17 de diciembre de 1974 para contadores de agua. Diario oficial de la Comunidad Europea (DOCE). N°L-014 de 20 de enero de 1975.
- Orden de 28 de diciembre de 1988 por la que se regulan los contadores de agua fría. BOE de 6 de marzo de 1989.
- Pr-EN14268:2000(E). Irrigation techniques – Meters for irrigation water. Comité CEN/TC 334.

## AGRADECIMIENTOS

El artículo presentado ha sido financiado por el MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA en el marco del Proyecto de investigación “Propuestas metodológicas para el cálculo de la vida útil de los contadores de agua” (DPI2000-0657).