

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ERROR DE MEDICIÓN DE UN PARQUE DE CONTADORES

F. Arregui de la Cruz, J. García-Serra García, G. López Patiño, J. Martínez Solano¹

RESUMEN: El rendimiento volumétrico de un abastecimiento es quizás uno de los parámetros más importantes a la hora de analizar la eficiencia de un sistema de distribución de agua. Sin embargo para realizar una estimación correcta del mismo se debe conocer una serie de factores como son: el volumen no medido, el no contabilizado debido al subcontaje de los contadores domiciliarios o el perdido en fugas. El presente artículo propone una metodología para estimar la porción de volumen no registrado que corresponde al subcontaje de contadores. Se estructura en dos partes. La primera se centra en la obtención de la forma de consumir de los abonados. En la segunda se lleva a cabo un análisis estadístico del parque de contadores para, en función de la forma de consumir de los abonados, calcular la precisión media del mismo y, en consecuencia, el volumen no registrado en los contadores domiciliarios.

INTRODUCCIÓN

Un abastecimiento debería conocer perfectamente y en cada instante de tiempo, el destino final de la totalidad del agua que inyecta en el sistema. Sin embargo, en la práctica obtener esa información resulta extremadamente difícil, y se asume que parte del agua que se inyecta se "pierde" en el camino hacia el consumidor.

Precisamente, uno de los ratios más importantes entre los indicadores de la eficiencia de un sistema de abastecimiento de agua es el rendimiento volumétrico, que se define como la relación entre el volumen registrado, y el volumen total aportado o inyectado en un periodo de tiempo de referencia:

$$\eta_s = \frac{V_{REG}}{V_{INyec}}$$

$$V_{REG} = V_{INyec} - V_{VNR} \quad (1)$$

A la diferencia entre el volumen inyectado y el registrado se le denomina volumen no registrado (en adelante VNR). Ahora bien, el volumen no registrado o "perdido" puede tener distintos orígenes:

a. *Volumen no contabilizado.* Entra dentro de este apartado el volumen no contabilizado debido al subcontaje de los contadores de los abonados, y el volumen no registrado a causa de contadores parados. Un contador parado se podría considerar como aquel que tenga una precisión media en el rango de medida inferior a un límite especificado por el abastecimiento.

b. *Volumen no medido.* En este capítulo se incluyen las conexiones a la red de agua potable sin contador, como

pueden ser los consumos institucionales, las tomas ilegales y el volumen necesario para las operaciones de mantenimiento y limpieza.

c. *Fugas.* Se entiende por fugas las que se producen en las tuberías de la red de abastecimiento y en los depósitos de la misma. Las que se originan en instalaciones particulares y no son registradas por los contadores domiciliarios, se engloban dentro del volumen no contabilizado por subcontaje de contadores.

d. *Sobrecontaje/subcontaje de los contadores instalados en los puntos de inyección.* En caso de sobrecontaje el rendimiento volumétrico calculado será menor que el real, mientras que si existe subcontaje el rendimiento obtenido será mayor. El sobrecontaje podría derivarse de una alteración en el perfil de velocidades con respecto al que se utilizó en la calibración del contador debido a la presencia de algún elemento accesorio aguas arriba del mismo.

Es imprescindible conocer la importancia de cada concepto dentro del volumen no registrado para poder tomar decisiones sobre cuánto invertir para mejorar cada uno de los apartados con el fin de incrementar el rendimiento. Es absurdo dedicar todos los esfuerzos a la detección de fugas y abandonar la renovación del parque de contadores cuando puede que el problema de bajo rendimiento de la red sea principalmente consecuencia del mal estado de conservación en que se encuentra el parque de contadores y no de la presencia de fugas en tuberías y depósitos. En cualquier caso, es obvio que, para poder tomar una decisión correcta se debe conocer qué parte de volumen no registrado corresponde a cada concepto.

¹ Grupo Mecánica de Fluidos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, -46022- Valencia email: farregui@gmf.upv.es

Artículo publicado en *Ingeniería del Agua*. Vol.5 Num.4 (diciembre1998), páginas 55-66, recibido el 29 de junio de 1998 y aceptado para su publicación el 24 de noviembre de 1998. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

Las diferencias en cuanto a la composición del VNR entre diferentes abastecimientos son notables. Cada sistema tiene sus características particulares que obligan a analizarlo individualmente. Así por ejemplo, de acuerdo con Andrés (1993), el VNR estaría subdividido en los siguientes apartados: un 50% aproximadamente en pérdidas por fugas, un 25% no medido: purgas y limpiezas de la red, así como fraudes y baldeos, un 15% subcontaje de contadores y un 10% correspondería a otros conceptos. Sin embargo otros autores (Amirola, 1997) admiten una contribución del subcontaje en el volumen no registrado superior (del orden del 30%), llegando incluso hasta el 43% (Skarda, 1997). Esta gran dispersión de valores y criterios han inspirado la presente contribución.

Por ello, lo que aquí se propone es una metodología general para conocer, con unos límites de precisión aceptables, qué parte del volumen no registrado corresponde al subcontaje de contadores, lo que sin duda no resuelve el problema del rendimiento global de la red, aunque si establece la magnitud de uno de los factores más significativos implicados. A partir de la metodología propuesta, se podría obtener el periodo óptimo de sustitución de contadores, evaluar económicamente la conveniencia de un tipo de contador u otro, estudiar las pérdidas económicas provocadas por una instalación no adecuada de los contadores, etc...

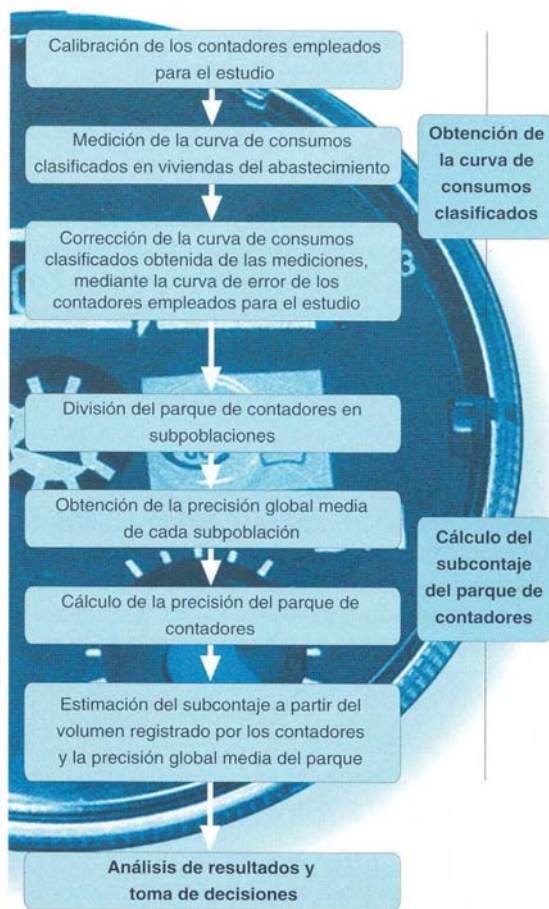


Figura 1. Esquema general de la metodología

El diagrama de flujo adjunto resume las diferentes etapas que confronta el estudio que se propone. Se estructura en tres bloques: en el primero se obtiene la forma de consumir de los abonados del sistema, en el segundo se analiza el estado del parque de contadores para, finalmente, en el tercero llevar a cabo la toma de decisiones en función de los resultados obtenidos.

ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para evaluar correctamente el volumen no registrado derivado del subcontaje de contadores se han de estudiar los siguientes aspectos:

Forma de consumir de los abonados

Debido a que la precisión de un contador no es constante en todo el rango de medida (Figura 2), es necesario estudiar la forma de consumir del abonado típico, es decir, se debe conocer en media qué porcentaje de volumen se consume en cada rango de caudales. Para ello, se define lo que se conoce como curva de consumos clasificados de una población. Esta curva se elabora asignando a cada intervalo de caudales el porcentaje de volumen sobre el total consumido entre el caudal máximo y mínimo de cada intervalo.

Por esta razón, el primer paso para determinar el volumen no registrado debido a errores de conteo consiste en llevar a cabo mediciones para poder estimar la curva de consumos clasificados. Sin embargo, debido a que el proceso de adquisición de datos necesario para conseguir dicha información puede llegar a complicarse considerablemente, y en caso de no disponer de los medios adecuados, siempre se podría recurrir a alguna de las curvas publicadas hasta la fecha por diversos autores (Tabla 1), lo que daría resultados más o menos aproximados en función de la similitud entre la curva real y la escogida.

Estado del parque de contadores

A la vez que es importante conocer la forma de consumir de los abonados, se debe examinar el tipo de contadores de los que se dispone, así como su precisión a diferentes caudales. Además, dependiendo de la edad y materiales de fabricación del contador, las condiciones de instalación (horizontal, vertical, inclinado...), el volumen facturado, la calidad del agua etc.. la precisión de los mismos evolucionará con el tiempo de una forma u otra. Por esta razón, es necesario al estudiar el parque de contadores crear subpoblaciones que puedan tener unas características metrológicas lo más homogéneas posible, por ejemplo, dividiéndolo por modelo y año de instalación, o mejor aún por volumen registrado. Posteriormente se tomarán muestras significativas de las diferentes subpoblaciones, sobre las que se llevará a cabo un ensayo de precisión. Extrapolando la precisión media a diferentes caudales (curva de precisión), obtenida de los contadores de cada muestra, a la subpoblación correspondiente se puede llegar a conocer con una certidumbre determinada la curva de precisión media de las subpoblaciones y, en consecuencia, de la totalidad del parque de contadores.

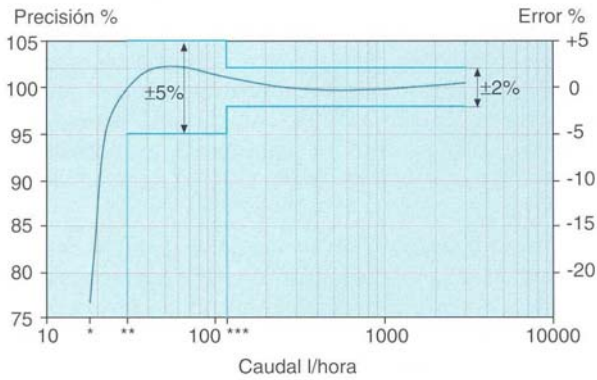


Figura 2. Curva de precisión de un contador de clase B de 13mm

Metrológicamente los contadores se dividen en tres clases (A, B, y C). Los límites de precisión de todas las clases son los mismos, lo único que varía es el rango de caudales en los que se exige al contador que mantenga una determinada precisión. Para ello se recurre al concepto de caudal mínimo y caudal de transición, definidos como los caudales a partir de los cuales el contador debe garantizar un error inferior al $\pm 5\%$ y al $\pm 2\%$ respectivamente. Por ejemplo, mientras que para un contador de clase B de 13 mm (Figura 2) se establece un caudal mínimo de 30 l/hora, un contador de clase C del mismo calibre, debe tener un error menor que el $\pm 5\%$ a un caudal de 15 l/hora. De forma análoga, se establece el caudal de transición a 120 l/hora para el mismo contador de clase B y a 22.5 l/hora para el de clase C. De todo ello se deduce que el rango de caudales en los que se exige un error de $\pm 2\%$ es más amplio en clase C que en clase B, por lo que en caso de que se consuman volúmenes importantes a caudales bajos, la precisión de los primeros será superior a la de los segundos.

En este punto es importante mencionar que el caudal de arranque no está regulado legalmente para ninguna de las clases metrológicas, por lo que los fabricantes no garantizan un valor determinado y simplemente se limitan a proporcionar valores estimados para los contadores nuevos recién salidos de fábrica.

El volumen real que ha circulado a través de un contador se obtiene dividiendo en cada intervalo de caudal, el volumen registrado por la precisión media del contador en dichos intervalos. De manera similar, si se combina la forma de consumir de un usuario y la curva de precisión de su contador, se puede obtener la precisión global del mismo. Siguiendo esta metodología, si se asocia la curva de precisión media de una determinada subpoblación de contadores y la curva de consumos clasificados, que define la forma de consumir típica de los abonados, se puede obtener la precisión global media de esa subpoblación. Dividiendo el volumen registrado por la subpoblación de contadores entre su precisión global media se obtiene el volumen real consumido, y por diferencia con el registrado se calcula el volumen no registrado debido a subcontaje.

Hasta ahora se ha visto que al ponderar la curva de consumos clasificados con la curva de precisión de un conta-

dor se puede calcular la precisión del mismo, corregir su lectura y obtener el volumen real que se ha consumido. Sin embargo, hay que destacar que la curva de consumos clasificados puede estar distorsionada de manera importante por los consumos producidos a caudales menores que el de arranque del contador empleado en las mediciones de dicho parámetro (Arregui 1998). En principio, lo más que se puede hacer es acotar el máximo volumen que podría haber circulado a través del mismo sin que arrancara, pero nunca conocerlo con precisión. Esta situación se ve agravada por el hecho de que el comportamiento de un contador a caudales cercanos al de arranque es imprevisible, por lo que la dificultad de estimar el volumen consumido a estos caudales es todavía mayor. Además el gasto de agua en el rango inferior de caudales suele deberse a fugas en las instalaciones, en las que no siempre se mantiene el caudal constante.

Como dicho volumen es imprescindible para poder averiguar la precisión global del parque de contadores del abastecimiento habrá que prestar especial atención a su determinación, para lo cual se deberán utilizar en el estudio de la curva de consumos clasificados característica de la población contadores con un caudal de arranque muy bajo (existen contadores con un caudal de arranque cercano a 1 l/hora), lo que permitirá conocer aproximadamente la incidencia de fugas en las instalaciones, y en consecuencia estimar con una cierta precisión el volumen consumido a caudales por debajo del medio de arranque del parque.

OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CONSUMOS CLASIFICADOS

En el apartado anterior se comentó la importancia que tiene la forma de consumir de un abonado en el cálculo de la precisión global del contador que está utilizando. Cuando esto se extrapola a poblaciones, necesariamente se ha de recurrir a comportamientos típicos, puesto que es imposible conocer exactamente la forma de consumir de cada abonado del sistema. Por tanto, se ha de tener en cuenta que se trabaja siempre con comportamientos medios, obtenidos a partir de muestreos estadísticos, y que el cálculo de la precisión global para un contador concreto instalado en la vivienda de un abonado puede diferir bastante de la media por dos motivos: el primero es que la curva de precisión del contador sea muy distinta a la característica de la subpoblación a la que pertenece, y el segundo es que la forma de consumir de ese abonado no tenga ningún parecido con la forma de consumir que define la curva de consumos clasificados que se obtuvo para la totalidad del sistema.

Las características de los diferentes aparatos de consumo que existen en una vivienda son muy variadas, por lo que no todo el volumen de agua utilizado en la misma se consume a los mismos caudales. El caudal saliente del grifo de una bañera es muy distinto al caudal con el que se llena una cisterna, el que sale de un fregadero, o el goteo en el grifo de una cocina. Si esto es cierto para una vivienda, lo es más para un número elevado de ellas.

En cada vivienda se darán unas condiciones de consumo distintas, pero realizando un muestreo entre los abonados del sistema se puede deducir la forma de consumir característica de la población y obtener una estimación del porcentaje de volumen que se usa a diferentes rangos de caudal. Es decir, se podría conocer, con un margen de confianza, el porcentaje de volumen que en media se consume en la población, por ejemplo, a caudales menores que 30 litros por hora, o entre 30 y 60 litros por hora. Es precisamente esta información con la que se elabora la curva de consumos clasificados.

Los estudios que se han realizado hasta la fecha de análisis de consumo provienen en su mayor parte de Estados Unidos y tienen cierta antigüedad. Por un lado es evidente que la vivienda tipo americana no tiene demasiada similitud con la europea y menos aún con la española, y por otro lado, las mejoras técnicas que han sufrido los contadores de agua y los equipos de adquisición de datos han sido espectaculares en los últimos años. Esto hace necesario que haya que tomar con ciertas precauciones las curvas publicadas hace algunos años.

En la *Tabla 7* y la *Figura 3*, se muestran los resultados que se obtuvieron en distintos estudios realizados en Estados Unidos y la fecha en que se llevaron a cabo. Las diferencias entre ellos son notables debido, entre otros factores, a la influencia geográfica en los estudios, la fecha de realización, la disparidad en cuanto al tamaño de la muestra y duración de las medidas, así como la época del año en que se llevaron a cabo y a los contadores empleados. Es evidente que en ningún caso se pudieron medir consumos por debajo del caudal de arranque del contador empleado en cada estudio. Todo ello lleva a la conclusión de que los patrones de consumo que actualmente se manejan no son algo definitivo y que resta mucho camino por andar hasta que se tenga una idea clara de cómo se produce el consumo doméstico en función de variables como el tamaño de la vivienda, el número y costumbres de las personas que la habitan, la época del año, la configuración, etc...

A partir de la curva de consumos clasificados se puede obtener lo que se denomina curva de demanda agregada, y que proporciona el porcentaje de volumen que se consume por debajo de un caudal. En la *Figura 3*, se reproducen las curvas de demanda agregada construidas utilizando los datos de las curvas de consumos de la *Tabla 1*.

Aunque a primera vista las curvas de consumo de los estudios mostrados parezcan similares, las diferencias que aparecen resultan fundamentales a la hora de calcular la precisión global de un contador, que depende de forma substancial del porcentaje de volumen consumido a caudales bajos (Male, 1985).

Para obtener con ciertas garantías la curva de consumos clasificados característica de la población es necesario tener presentes los aspectos que a continuación se reseñan:

Elección de las viviendas objeto del estudio

Se ha de tomar una muestra significativa de la población en estudio. Es decir, las mediciones de consumo han de realizarse en un número de viviendas suficiente, considerando distintos estratos sociales y tipos de vivienda.

Llevar a cabo mediciones únicamente en una zona de la ciudad de unas características socio-económicas y tipología de las instalaciones (por ejemplo presencia de aljibes) determinadas alterará de forma substancial los resultados finales. Esto es debido a que la forma de consumir agua y el estado de las instalaciones según el estrato social y tipología en que se enmarque la vivienda en la que se mida es variable. Por ejemplo, considérese el caso de las fugas, que son tanto más probables cuanto peor sea el mantenimiento, la calidad de la instalación interior e incluso el tamaño de la misma (a mayor número de aparatos mayor probabilidad de fuga.).

		Caudal en litros por minuto (lpm)							
		0-0.95	0.95-1.9	1.9-3.8	3.8-7.6	7.6-15.1	15.1-22.7	22.7-37.8	>37.8
		Caudal en galones por minuto (gpm)							
Año		0-0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10.0	>10.0
E	Kuranz 1942	13.6	1.8	5.0	11.8	52.4	14.7	0.7	0
	Graeser 1958	5.0	6.0	8.0	31.0	40.0	10		0
S	Hudson 1964	13.0	3.4	6.8	13.3	43.0	20.5		0
	AWWA 1966	4.6	5.9		13.7	59		16.8	0
T	Sisco 1969	1.0	4.0		81.0		4.0	10.0	0
	Nielsen 1969		8.0	11.0	18.0	39.0	20.0		4.0
U	Brittain 1970	2.6	1.8	10.0	21.9	33.5	19.7	10.5	0
	Yanov 1987	2.6	2.3	1.2	8.0	28.7	20.5	18.9	17.8
D	AWWA 1993	8.8	1.2	3.1	27.6	14.8	28	13.1	3.4

Tabla 1. Curvas de consumos clasificados según diversos autores (%)

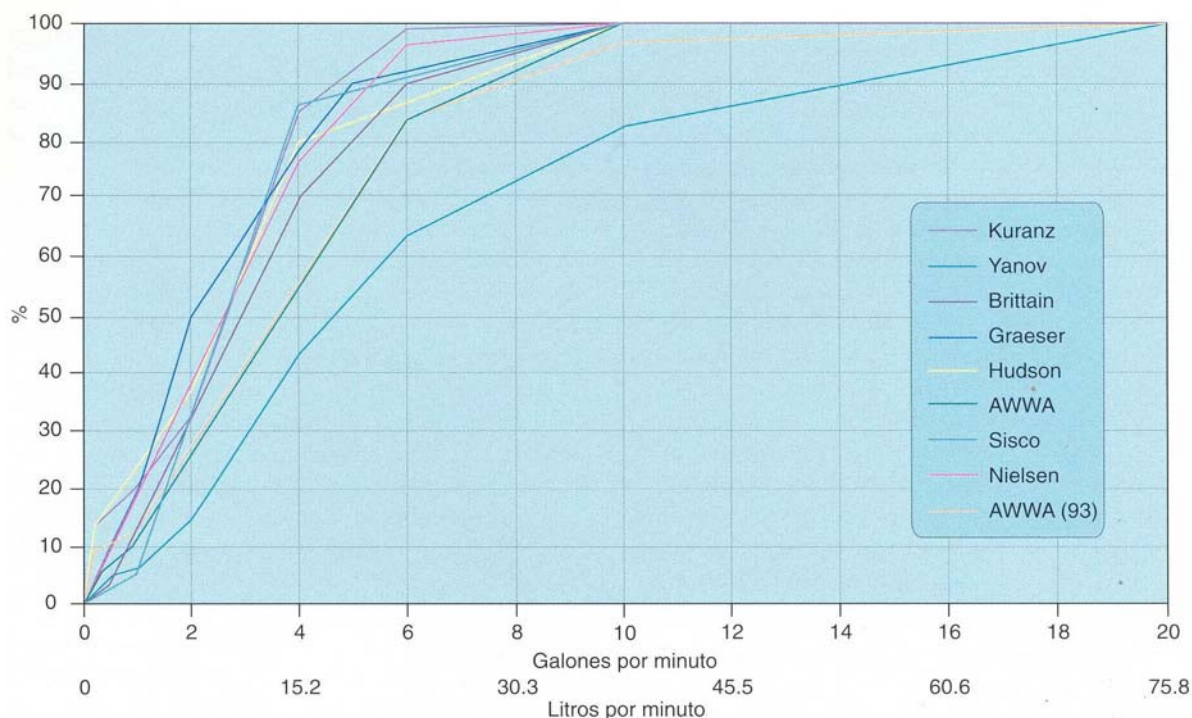


Figura 3. Curvas de demanda agregada de diferentes estudios

Época del año

La época del año es una variable que afecta de manera considerable tanto al volumen total consumido como a la forma de consumir este volumen. Para minimizar el efecto estacional se pueden realizar dos tandas de mediciones en las mismas viviendas, una en verano y otra en invierno.

En una casa dotada de jardín es muy posible que el volumen consumido de agua aumente en verano debido al riego y a otros usos típicos de la época estival. Por ejemplo, el riego del jardín implicaría un consumo a caudal constante y alto durante largos intervalos de tiempo, por lo que la curva de demanda agregada se vería desplazada con respecto a un caso en el que no existiera tal tipo de consumo.

En una vivienda en la que exista una fuga en la válvula de una cisterna el peso de la fuga será tanto mayor cuanto menor sea el volumen total consumido, por lo que la curva de consumos clasificados tendrá valores más elevados en los rangos inferiores cuando el consumo sea menor que cuando aumente.

Caracterización metrológica del contador usado en la obtención de la curva de consumos clasificados

Es importante tener perfectamente caracterizado metrológicamente el contador usado en las mediciones. En concreto, se debe conocer el caudal de arranque y la curva de precisión en un número elevado de puntos, sobre todo a caudales bajos.

Elegir un contador con un caudal de arranque elevado (mayor que 6 l/hora) hará que se pierda mucha información. Un caudal de arranque lo menor posible, para poder medir la máxima cantidad de fugas, es sin duda una característica muy deseable en el contador utilizado en la obtención de la curva de consumos clasificados.

En una vivienda con alguno de sus grifos goteando, el caudal de fuga podría situarse entre 1 y 5 l/h. Suponiendo un caudal de goteo de 2 l/h, y teniendo en cuenta que el goteo se produce durante las 24 horas del día, el volumen total perdido en la fuga sería de 48 litros. En caso de utilizar un contador de chorro único, aún incluso uno de clase C, dicho volumen no sería contabilizado, puesto que el caudal de arranque de un contador nuevo de este tipo es en cualquier caso mayor que 6 l/hora.

Si el volumen registrado por el contador en un día es de 700 litros, el volumen de la fuga representa un 6.4% (48 litros sobre 748 litros) del real consumido, sin embargo, este volumen no sería considerado y la curva de consumos clasificados obtenida de este modo no sería una representación fiel de cómo realmente se consume.

Para solventar el problema que presentan las mediciones de caudales muy bajos, menores que el de arranque de un contador de chorro único, se puede utilizar contadores volumétricos, por ejemplo de pistón oscilante, que disponen de un caudal de arranque cercano a 1 l/hora, y por lo tanto minimizan la cantidad de fugas no registradas.

La precisión en el rango inferior de caudales depende del caudal de arranque del contador y del volumen consumido por debajo de él, por lo que no es una magnitud que se pueda evaluar ensayándolo. En este caso se ha supuesto un caudal de arranque entre 0 y 4.56 l/hora, de ahí la precisión estimada del 50% en dicho rango.

En el estudio de la AWWA (American Water Works Association) de 1993 no aparecen datos sobre el caudal de arranque del contador utilizado. Si además se tiene en cuenta el método empleado para el tratamiento de los datos, los valores del porcentaje de volumen consumido en los rangos de caudal más bajos pueden estar sujetos a un error importante.

Rango de caudales en litros por hora	% de volumen consumido (de la medición) AWWA 1993	Precisión media del contador en el rango	Por cada 100 litros leídos, volumen real consumido	% de volumen real consumido en el rango de caudales (corregido con la precisión del contador)
0-4.56	2.5	50(Estimada)	5.0	4.88
4.56-14.25	2.3	70	3.29	3.21
14.25-28.5	2.0	91.45	2.19	2.13
28.5-57.0	2.0	96.6	2.07	2.02
57-114	1.2	100.95	1.19	1.16
114-171	1.4	100.95	1.39	1.35
171-228	1.7	100.95	1.68	1.64
228-456	14.2	101.65	13.97	13.63
456-684	13.4	101.65	13.18	12.86
684-912	14.8	101.65	14.56	14.21
912-1368	28	101.65	27.55	26.88
1368-1824	9.8	101.1	9.69	9.46
1824-2280	3.3	101.1	3.26	3.18
2280-3420	2.5	101.1	2.47	2.41
3420-4560	0.7	100.35	0.70	0.68
4560-5700	0.1	100.35	0.10	0.10
>5700	0.2	100.1	0.20	0.19

Tabla 2. Corrección del porcentaje consumido en cada rango de caudal debido error introducido por el contador

En definitiva, la curva de consumos clasificados, obtenida directamente de los datos registrados, es función de la precisión del contador en cada rango de caudales. Por este motivo habrá que corregir la curva original ponderándola con la precisión del contador en cada rango. La corrección es de gran importancia, sobre todo a caudales bajos.

Considérese el ejemplo de cálculo propuesto en la Tabla 2. La segunda columna describe la curva de consumos clasificados deducida del estudio de consumos de la AWWA de 1993 (Bowen *et al.* 1993). La tercera columna muestra la precisión media de un contador, similar al utilizado por la AWWA en el estudio, para cada rango de caudales. Es precisamente a caudales pequeños donde la precisión disminuye considerablemente, y donde es más importante realizar la corrección. En la cuarta columna se calcula, por cada cien litros registrados en el contador siguiendo la pauta de consumo de la segunda columna, el volumen real consumido en cada rango de caudales. Finalmente en la quinta se recalcula la curva de consumos clasificados en cada rango de caudales, teniendo en cuenta los volúmenes reales consumidos de la cuarta columna, es decir, la curva de consumos clasificados que finalmente se considera.

A simple vista es difícil percatarse de la importancia que ha tenido la corrección para posteriormente realizar el cálculo de la precisión global de un contador teniendo en cuenta el patrón de consumo. Para evidenciarlo, en la Tabla 3 se ha realizado el cálculo de la precisión global de un contador típico, con las características descritas en

Rango de caudales en litros por hora	Curva de consumos clasificados (AWWA 1993)	Curva de consumos clasificados corregida	Precisión media del contador en el rango
0-4.56	2.5	4.88	0
4.56-14.25	2.3	3.21	0
14.25-28.5	2.0	2.13	46
28.5-57.0	2.0	2.02	101.3
57-114	1.2	1.16	101
114-171	1.4	1.35	100.5
171-228	1.7	1.64	100.4
228-456	14.2	13.63	100
456-684	13.4	12.86	99.8
684-912	14.8	14.21	99.5
912-1368	28	26.88	99.8
1368-1824	9.8	9.46	100
1824-2280	3.3	3.18	100.1
2280-3420	2.5	2.41	100.5
>3420	1.0	0.97	100.5

Tabla 3. Comparación entre la precisión global de un contador, calculada mediante la curva de consumos original y corregida

la cuarta columna, usando las curvas de consumos clasificados original y corregida (Tabla 2). La precisión en el rango comprendido entre 14.25 y 28.5 l/hora se calcula teniendo en cuenta la situación del caudal de arranque del contador dentro del rango y la precisión media del mismo en el intervalo del rango donde el caudal es superior al de arranque. La precisión global se obtiene multiplicando los porcentajes dados por la curva de consumos clasificados por la precisión del contador en los distintos rangos de caudal. En el ejemplo propuesto se dedujo una precisión global, con la curva de consumos original, y para un contador con la curva de error de la columna 4 (Tabla 2), del 94.1% y de un 90.7% si se emplea la curva de consumos corregida (columna 5 Tabla 2). La discrepancia es por tanto del 3.4%, y se debe principalmente a las diferencias que existen entre ambas curvas de consumos clasificados a caudales bajos.

Almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos es sin duda una de las operaciones que más dificultad entraña. Por un lado, hay que disponer de un equipo de medición que sea capaz de proporcionar información lo suficientemente detallada de los consumos, y por otro lado, al recibir una cantidad ingente de datos, el equipo de registro ha de tener una capacidad de memoria muy elevada.

Básicamente existen dos maneras de realizar el almacenamiento de datos. La primera de ellas consiste en almacenar el instante de tiempo en que se producen los pulsos provenientes de un contador, lo cual proporciona el tiempo que tarda cierto volumen de agua en ser consumido. La segunda, se basa en realizar lecturas absolutas del contador a intervalos de tiempo definidos de manera que sustrayendo la lectura inicial de la final se obtendría el volumen consumido en dicho intervalo.

Cada método distorsiona la realidad de manera distinta y en cualquier caso hay que asegurar que el volumen por pulso (caso de emplear el primer método) o el tiempo entre cada lectura de contador (segundo método), sean lo suficientemente pequeños como para que la distorsión introducida no modifique de forma substancial la curva de consumos clasificados que se obtendrá de los datos almacenados. Un volumen por pulso para el primer método y un período de lectura para el segundo razonables para realizar el estudio son 0.1 l/pulso y 10 segundos respectivamente. Bien entendido, que en el segundo método se necesita como mínimo una resolución de lectura de, por ejemplo, una décima de litro.

ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN DE CONTADORES

Conocer la curva de precisión de todos y cada uno de los contadores que están instalados resulta prácticamente imposible y tratar de aproximarse a ella muy costoso. Por ello se ha de recurrir a un muestreo de la población de contadores para poder extraer conclusiones sobre la precisión del parque sin tener de esta forma que ensayarlo en su totalidad. En otras palabras, los resultados sobre precisión obtenidos de la muestra se extrapolarán a la población de la cual se ha extraído. La cuestión es:

¿cuántos contadores se han de tomar como muestra para que ésta sea representativa de la población con un nivel de confianza especificado?

Por otro lado, la evolución de la precisión en un contador depende de numerosos parámetros como los caudales circulantes a través del contador, el volumen total contabilizado, la calidad del agua, los materiales en los que está fabricado el contador, el modelo, las condiciones de instalación, etc... Por ello, con el fin de uniformar la población objeto del estudio y minimizar las variables en juego, es recomendable que ésta se subdivide en subpoblaciones. Cada subpoblación estaría compuesta de un modelo concreto de contador que lleve instalado cierto tiempo o con un volumen registrado similar. El resto de variables, o son comunes para todos los contadores en el abastecimiento, o son difíciles de conocer con exactitud, por lo que no son útiles a la hora de crear subpoblaciones.

El proceso a seguir para ensayar una subpoblación sería:

1. Seleccionar un modelo de contador.
2. Separar aquellos que lleven instalados un tiempo definido previamente, por ejemplo, entre 8 y 10 años, más de 15 años, etc... o bien aquellos que hayan registrado cierto volumen desde que se instalaron formando subpoblaciones.
3. Para cada subpoblación escoger una muestra aleatoria y ensayar cada contador a un número de caudales previamente definido. Los caudales de ensayo se deben escoger en función de la curva de consumos clasificados (Arregui 1998).
4. Ensayando cada uno de los contadores de la muestra a los diferentes caudales establecidos se puede obtener para cada caudal un intervalo de confianza de la precisión de la población de contadores.
5. Calcular la precisión global del parque de contadores, según los resultados de los ensayos.

Tamaño de la muestra

El tamaño de muestra necesario depende de dos factores. El primero de ellos es la dispersión de las precisiones en los distintos contadores de la muestra a cada caudal, calculada mediante la desviación típica muestral definida en la Ecuación 2 (Daniel y Terrel, 1995), donde \bar{x}_q representa el valor medio resultante del ensayo de la precisión de los contadores a un caudal q , Pq_i es la precisión del contador i al caudal q y n es el tamaño de la muestra.

$$\text{Varianza muestral: } s_q^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Pq_i - \bar{x}_q)^2}{n-1}$$

$$\text{Desviación típica muestral: } s_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pq_i - \bar{x}_q)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Evidentemente cuanto más variabilidad haya en la precisión de los contadores a un caudal dado, mayor tendrá que ser el tamaño de la muestra para que el resultado obtenido de ésta (precisión media de los contadores a

dicho caudal), sea representativo de la población con un nivel de confianza elevado. En otras palabras, si al ensayar los contadores de la muestra a un caudal de por ejemplo 30 l/hora las precisiones son muy parecidas (desviación típica pequeña), el tamaño de muestra necesario para definir un intervalo con una cierta amplitud será menor que si la desviación típica de las precisiones es mayor. Realmente, cuando se calcule la desviación típica a los caudales de ensayo especificados, los valores que se obtendrán serán distintos para cada caudal (Figura 4). Esto implicará que si el objetivo es construir intervalos de confianza con una amplitud fija, la máxima desviación típica obtenida será la que condicione el tamaño de muestra necesario.

El segundo factor a considerar es la tolerancia o amplitud máxima, d , admitida en el intervalo de confianza. Suponiendo que la precisión de los contadores a cada caudal sigue una distribución normal, se define el intervalo de confianza para la precisión media de la población seleccionada a cada caudal q (Daniel y Terrel, 1995), como:

$$\bar{x}_q \pm d = \bar{x}_q \pm t_{X\%}^{n-1} \cdot \frac{s_q}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

donde \bar{x}_q representa el valor medio de la precisión de los contadores de la muestra a un caudal q y t corresponde a valores de la distribución de probabilidad t de Student con un nivel de confianza del $X\%$ y $n-1$ grados de libertad, siendo n el tamaño de muestra.

Por tanto, si se pretende conocer la precisión media de la población de contadores a un determinado caudal con un nivel de confianza del 99%, en un intervalo con una tolerancia del $\pm 0.1\%$, el tamaño de muestra necesario será mucho mayor que si la tolerancia permitida es del $\pm 1\%$.

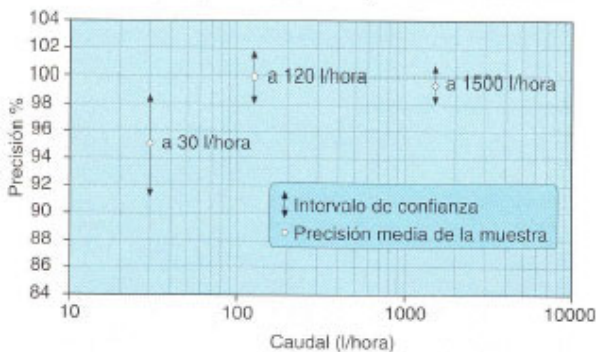


Figura 4. Intervalos de confianza para la precisión media de una subpoblación de contadores a diferentes caudales

Se puede por tanto seguir dos filosofías. La primera de ellas consistiría simplemente en coger un tamaño de muestra y evaluar los intervalos de confianza. Para cada caudal, con la misma muestra, se obtendrá una amplitud de intervalo diferente en función de la desviación típica resultante.

Otra opción consiste en fijar la amplitud máxima del intervalo de confianza y coger el tamaño de muestra necesario para conseguirla, teniendo en cuenta los valores de varianza a diferentes caudales y nivel de confianza

requerido. Una simplificación para elegir el tamaño de muestra, despreciando el hecho de que se está muestreando sobre una población finita, sería:

$$n = \frac{t_{\infty}^2 \cdot \sigma^2}{d^2} \quad (4)$$

donde t_{∞} representa el valor de la t de Student para infinitos grados de libertad y un nivel de confianza especificado, d es la tolerancia o amplitud del intervalo requerida, y σ^2 es la varianza poblacional. Este parámetro no se conoce en principio, y se puede estimar a partir de la varianza muestral σ^2 , definida en la Ecuación 2, o de ensayos anteriores que se hayan realizado. El proceso a seguir, recomendado para poder estimar σ^2 , es:

1. Se coge un tamaño de muestra relativamente pequeño, $n1$, por ejemplo 15 contadores.
2. Se ensayan a un caudal dado y se calcula la media x_q y la desviación típica, s_q , de la muestra a ese caudal
3. En la fórmula del tamaño de muestra se sustituye s por s_q y se obtiene el tamaño de muestra para la tolerancia especificada $n2$.
4. Se ensayan el resto de contadores hasta llegar a los $n2$ requeridos por la tolerancia y el nivel de confianza, es decir $n2-n1$.
5. Se vuelve a calcular la desviación típica, s_q , y el tamaño de muestra necesario, $n3$, para el nivel de confianza y la tolerancia especificadas. Si $n3$ es menor que $n2$ o están cercanos entonces se concluye el ensayo, en caso contrario se volvería al paso 4.

Supóngase que en un ensayo de precisión de 15 contadores se calculó una desviación típica muestral de 6.3% y se desea construir un intervalo con un nivel de confianza del 95% y una tolerancia del $\pm 2\%$. En este caso, el tamaño de muestra necesario será de 39 contadores por lo que restarán por ensayar 24 contadores más. Seguidamente habrá que comprobar a partir de los resultados del siguiente ensayo de precisión cuál es el intervalo de confianza obtenido.

Número de caudales a ensayar y valor de los mismos

Hasta ahora, se ha visto cómo calcular el tamaño de muestra para que las características de ésta se puedan extrapolar con ciertas garantías a la población. Sin embargo, no se ha mencionado nada sobre a cuántos o a qué caudales se deben ensayar los contadores para poder calcular de forma correcta la precisión global del parque. Teniendo perfectamente definida una curva de error de la población de contadores, se podría calcular con bastante exactitud la precisión media de los mismos. Sin embargo, no resulta económico ensayar los contadores de la muestra a un número muy elevado de caudales.

Los principales errores de conteo se dan a caudales bajos, por debajo del de arranque y entre el de arranque y el mínimo, donde la precisión del contador es menor, debiéndose además tener en cuenta que la curva de error de un contador se deteriora con el tiempo en mayor medida en la parte inferior del rango.

La AWWA (1986) recomienda ensayar los contadores volumétricos que se instalan en Estados Unidos a 3 caudales: 1/4 gpm (0.95 litros por minuto) para cubrir la parte inferior del rango de 0 a 1/2 gpm, a 2 gpm (7.6 litros por minuto) representando la precisión del intervalo entre 1/2 gpm y 3 gpm y finalmente a 15 gpm (57 litros por minuto) que representa la precisión del contador de 3 gpm en adelante. Teniendo en cuenta que el caudal máximo de estos contadores es de 20 gpm (4540 l/hora), una propuesta de equivalencia de los caudales de ensayo para los contadores de 13 mm de chorro único podría ser: 0.65 lpm, 5 lpm y 38 lpm (Planells et al, 1987).

Con todo se puede demostrar que la precisión del contador a caudales bajos no queda bien representada por el ensayo a 1/4 gpm para los contadores americanos, o a 0.65 lpm para los contadores de chorro único utilizados en España, debiéndose escoger un caudal más cercano al de arranque. Esta situación queda perfectamente reflejada en la *Figura 5*, en donde se observa que, por ejemplo, la precisión típica de un contador en el rango inferior de 0 a 80 l/hora, no se corresponde con la precisión a 40 l/hora (0.65 lpm).

En el rango de 0-80 l/hora se pueden distinguir tres zonas. La primera se sitúa entre 0 y el caudal de arranque, en la que el volumen que se consume no se contabiliza (precisión del contador nula), otra entre el caudal de arranque y un caudal cercano al mínimo (40 l/hora) en la que la precisión crece de forma pronunciada y una tercera en la que la precisión primero crece y luego decrece suavemente. En los contadores de chorro único de calibre 13 el punto máximo de la curva suele situarse entorno a los 50 l/hora.

En consecuencia, para poder calcular la precisión media del contador con ciertas garantías, se debe identificar los siguientes parámetros:

- Caudal de arranque. El caudal de arranque medio de los contadores ensayados proporcionará una estimación del volumen no contabilizado por haberse consumido por debajo de dicho caudal. Este volumen será tanto más importante cuanto mayor sea el nivel de fugas existente en las instalaciones interiores. La precisión global de un contador está muy condicionada por el valor del caudal de arranque, y es conveniente estudiar este parámetro detenidamente.

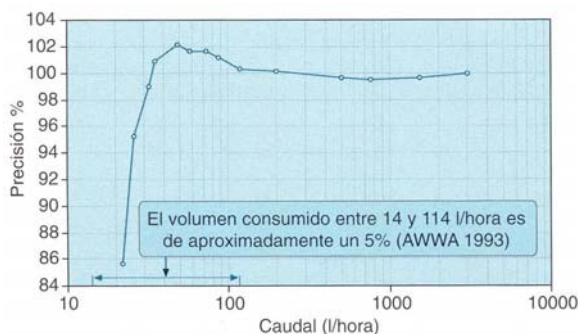


Figura 5. Curva de error de un contador de chorro único

- Según la curva de consumos clasificados de la AWWA de 1993, entre 14 y 114 l/hora se consume solamente un 5.2% del volumen total, por lo que si se comete un error de un $\epsilon\%$ en la estimación de la precisión del contador en el intervalo, la influencia en la precisión global del mismo será de sólo $0.052\epsilon\%$. En otras palabras, no hace falta conocer detalladamente la curva de precisión entre el caudal de arranque y el de transición, aunque sí que es necesario ensayar el contador en al menos un punto de esta zona, por ejemplo a caudal mínimo, puesto que es precisamente a caudales bajos donde la precisión del contador se deteriora más rápidamente y de esta forma se dispone de una buena referencia para observar en un futuro como evoluciona su precisión.

Hay que destacar que aunque para calcular la precisión global de un tipo de contador no hace falta ensayarlo a número elevado de caudales en este rango, cuando se caracteriza el contador que se emplea en las mediciones de la curva de consumos clasificados si que se debe estudiar detalladamente la curva de error a caudales bajos. La razón es que no se conoce el caudal de arranque medio que va a tener el parque de contadores, y los errores introducidos en la estimación de la curva de consumos clasificados a caudales menores que el medio de arranque del parque se van a trasladar en toda su magnitud al valor de precisión global del mismo.

- Entre el caudal de transición y el caudal máximo la curva de error es bastante horizontal, no hay variaciones bruscas, y además la precisión del contador se deteriora menos que a caudales más bajos. La precisión del contador a caudal nominal es bastante representativa de este rango.

En este caso se han propuesto unos caudales de ensayo suponiendo que la curva de consumos clasificados típica del abastecimiento se corresponde con la de la AWWA de 1993, pero de cualquier manera, dependiendo de la misma, se deben elegir los caudales de ensayo de los contadores (Arregui, 1998). Así, por ejemplo, si se comprobase que la incidencia de fugas en las instalaciones interiores es prácticamente nula, podría prescindirse del ensayo a caudales bajos.

	Caudal	Precisión
Arranque	Aprox. 20 l/hora	—
Mínimo	30 l/hora	98.0%
Nominal	1500 l/hora	99.7%
Rango caudales	Precisión	% Volumen consumido en el rango*
Cero-Arranque	0%	5.8%
Arranque-Transición	98%	4.2%
Transición-Máximo	99.7%	90%

* Volúmenes consumidos correspondiente a la curva de consumos clasificados del estudio de la AWWA de 1993 (Bowen et al.)

Tabla 4. Precisión de la subpoblación de contadores a 30 y 1500 l/hora

Consideraciones sobre el cálculo de la precisión global de una subpoblación de contadores

La precisión global de un contador se calcula, como se ha comentado anteriormente, ponderando el porcentaje de volumen consumido en cada rango de caudales con la precisión estimada del contador en dicho rango. Evidentemente, cuantos más datos se tengan de la curva de error y de la curva de consumos clasificados, más detalladamente se podrá realizar la ponderación. En concreto, para calcular la precisión global de una subpoblación de contadores cuya curva de error media estimada es la de la *Figura 5*, disponiendo únicamente de los datos de precisión a caudal mínimo y nominal, y caudal de arranque medio (*Tabla 4*), habría que tomar en consideración ciertos aspectos.

La estimación del porcentaje de volumen consumido entre 0 y el caudal de arranque medio de la subpoblación se debe realizar con sumo cuidado, considerando el caudal de arranque del contador que se utilizó en el estudio de la curva de consumos clasificados. Con este caudal de arranque se acota el máximo porcentaje de volumen que pudo haberse consumido sin ser detectado cuando se realizaron las mediciones. Por ejemplo, si se empleó un contador con un caudal de arranque de 1 l/hora, y el consumo medio por día resultó de 700 litros, el máximo porcentaje de volumen que podría haberse usado por día sin ser medido sería del 3.3% (24 litros sobre 724). Por lo tanto, si con la curva de consumos clasificados se concluye que a caudales menores que el de arranque medio de la subpoblación de contadores (en el ejemplo 20 l/hora) se consume un 5.8% del agua, el porcentaje de volumen real que se utiliza en este rango estaría comprendido entre 5.8 y 8.9%. Además se debería corregir el resto de la curva considerando el posible volumen consumido, 724 litros en vez de 700. En consecuencia, se obtendrían dos curvas de consumos clasificados extremas, una en la que se supondría que el contador empleado en su obtención no dejó de registrar volumen alguno y otra que se calcularía suponiendo que el consumo por debajo del caudal de arranque de dicho contador fue el máximo posible. La curva de consumos clasificados real estaría situada entre estas dos posibilidades. Esto es algo que se debe tener en cuenta a la hora de calcular la precisión global del parque de contadores, puesto que en cada una de estas dos situaciones el volumen consumido en el rango inferior de caudales varía significativamente y en consecuencia el resultado final del cálculo de precisión global (hay que recordar que justamente el porcentaje de volumen consumido en el rango inferior de caudales es el más determinante en el cálculo de la precisión global de un contador).

En el caso de utilizar la curva de consumos clasificados de la AWWA de 1993, al desconocerse el caudal de arranque del contador empleado en la obtención de la misma no se puede considerar la incertidumbre introducida por el porcentaje de volumen consumido por debajo de dicho caudal, con lo que los cálculos de precisión que se realicen estarán sujetos a cierto error. Lo que si se sabe con toda seguridad es que la precisión global calculada

con la citada curva será mayor que la real. Utilizando los datos de la *Tabla 4*, se tiene que la precisión a caudal mínimo, representativa del intervalo entre el caudal de arranque y el caudal de transición, es del 98%, y el volumen consumido en el citado intervalo es de un 4.2%. Por otro lado, la precisión a caudal nominal, representativa a partir del caudal de transición, es del 99.7% y el volumen consumido a caudales mayores que el caudal de transición es del 90%.

La precisión global se obtiene a partir de la media ponderada:

$$P = \frac{0\% \cdot 5.8\% + 98\% \cdot 4.2\% + 99.7\% \cdot 90\%}{100} = 93.8\% \tag{5}$$

Es decir, un grupo de contadores con las características de caudal de arranque y precisión a caudal mínimo y nominal como las indicadas, y dadas unas condiciones de consumo como las obtenidas por la AWWA en 1993, contabilizaría solamente 93.8 litros de cada 100 consumidos, lo cual significa que, en el caso ideal, se podría incrementar la facturación en un 6.2%. Como se ha comentado anteriormente este es el valor máximo que puede esperarse de la precisión global para esta subpoblación, puesto que el porcentaje de volumen consumido por debajo del caudal de arranque es, con toda seguridad, mayor que 5.8%.

Aunque en el cálculo se han empleado únicamente 3 puntos de precisión del contador, si se quisiese afinar más en la estimación de la precisión global se debería tener mejor definida la curva de error de la subpoblación (como en el ejemplo de la *Tabla 3*).

Cálculo de la precisión del parque de contadores

Conocida la precisión global de cada subpoblación de contadores, la precisión conjunta de todo el parque se podría calcular mediante la media ponderada:

$$P_{parque} = \frac{\sum_i^{np} P_{gi} \cdot N_i}{N} \tag{6}$$

donde P es la precisión global de la subpoblación de contadores i , N_i es el número de contadores de la subpoblación i , N es el número de contadores total del parque, y np es el número de subpoblaciones en las que se ha dividido el parque.

Sin embargo, y de acuerdo con los objetivos del presente estudio, para evaluar el volumen de agua no registrado por los contadores domiciliarios es más significativa la precisión del parque de contadores a partir de la ponderación de los volúmenes que registra cada subpoblación. De esta forma, tal precisión viene dada por:

$$P_{parque} = \frac{\sum_i^{np} P_{gi} \cdot \nabla_i}{\nabla} \tag{7}$$

donde ∇ representa el volumen registrado en el abastecimiento por la totalidad de los contadores domiciliarios en un periodo de tiempo y ∇_i corresponde al volumen registrado por cada subpoblación en el mismo período.

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Supóngase el caso de una población de 11000 habitantes que cuenta con un parque de 3865 contadores. El volumen total registrado por los contadores anualmente es de aproximadamente 643000 m³.

Se realizaron una serie de mediciones para obtener la curva de consumos clasificados característica del abastecimiento (para simplificar el ejemplo se supone que únicamente es necesaria una). En el estudio se utilizó un contador volumétrico con un caudal de arranque de 1 l/hora y el consumo medio registrado durante las mediciones fue de 500 l/contador/día. Los resultados, una vez corregida la curva con la precisión del contador empleado, se muestran en la segunda columna de la *Tabla 5*. En la tercera columna se detalla la curva de consumos clasificados más desfavorable que se tendría si durante las mediciones se hubiera dejado de registrar un consumo de 1 l/hora en todas las viviendas durante las 24 horas del día (caso extremo muy improbable que da lugar al valor de 4.58% en el intervalo de 0-1 l/hora, tal y como se indica en la primera fila de la *Tabla 5*). La curva de consumos clasificados real estará comprendida entre estas dos posibilidades. Sin embargo, y dado que el caudal de arranque es muy bajo, 1 l/h, lo más normal en este caso sería que la curva real estuviera mucho más cercana a la primera posibilidad que a la segunda, por lo que en el cálculo del ejemplo se usará únicamente la primera.

De todos modos hay que tener en cuenta que a la incertidumbre que introduce el caudal de arranque del contador empleado en la determinación de la curva de consumos clasificados hay que añadir otras imprecisiones relacionadas con la cantidad de viviendas observadas, lo representativas que son estas viviendas en el conjunto de la población, el número de días de mediciones, etc... Por ello, se debe suponer que la curva de consumos clasificados extraída de las mediciones tiene unos

Rango de caudales en litros por hora	Curva de consumos medida	Curva de consumos más desfavorable
0-1	0	4,58
1-10	5.01	4.78
10-20	2.28	2,18
20-30	2.37	2,26
30-60	3.34	3,19
60-120	1.95	1,86
120-240	6.46	6,16
240-500	35.87	34,23
500-750	24.01	22,91
750-1000	13.83	13,20
1000-1500	4.65	4,44
1500-3000	0.23	0,22

Tabla 5. Límites extremos de la curva de consumos real.

intervalos de confianza en cada rango de caudal y que aunque se trabaje con los valores medios de las mediciones existe cierto riesgo de que no se correspondan con los valores medios reales de la viviendas objeto del estudio.

Para determinar la precisión global del parque de contadores se precisa conocer la curva de precisión media del mismo. Dadas las características del parque éste se ha dividido en 4 subpoblaciones, cuyos datos aparecen detallados en la *Tabla 6*. Los caudales de ensayo seleccionados son: Q_{arr}, 30 l/h (representativo de consumos entre el de arranque y 120 l/h) y 750 l/h (para consumos mayores que 120 l/h) y el nivel de confianza de los intervalos es del 95%. Los contadores se ensayan a 750 l/h y no a caudal nominal debido a que el porcentaje de volumen consumido por encima de 1500 l/h es despreciable, por lo que la precisión del contador a 750 l/h es más representativa que la que tiene a caudal nominal para el rango de caudales entre 120 y 3000 l/h.

De los ensayos de precisión de las diferentes subpoblaciones a cada caudal se obtienen unos intervalos de confianza, calculados según el método detallado en el punto 4. Usando los valores medios de dicho intervalos y la curva de consumos clasificados de la segunda columna de la *Tabla 5* se llega a la precisión global media para la subpoblación (marcada en negrilla en la última fila de la *Tabla 6*). Asimismo, se puede calcular la precisión global en el peor y en el mejor de los casos según los resultados de los ensayos de precisión, dando con ello un intervalo con un nivel de confianza muy alto para dicho parámetro. Por ejemplo, para la población 2, el peor caso ocurriría cuando el caudal de arranque fuese el mayor del intervalo (18 l/hora) y la precisión de la subpoblación coincidiese con la menor de cada intervalo (98% a 30 l/h y 99.5% a 750 l/h). Con el nivel de confianza con que se construyeron los intervalos (95%), la probabilidad de que esto ocurra es de tan sólo 0.025³ = 1.5·10⁻⁵ (0.0015%).

	Subpoblación 1	Subpoblación 2	Subpoblación 3	Subpoblación 4
Q Arranque l/h	10±1	15±3	16±4	20±6
Precisión a 30 l/h (%)	100.5±0.5	99±1	99±1.5	94±2
Precisión a 750 l/h (%)	101±0.3	100±0.5	101±0.7	99±1
Precisión global	95.9±0.8	93.8±1.2	94.4±1.6	91.4±2.3

Tabla 6. Ensayo de las subpoblaciones de contadores y cálculo de la precisión global

Utilizando los valores medios de precisión global de cada subpoblación, se calculan en la *Tabla 7*, en la página siguiente, los costes asociados al volumen de agua no registrada por cada una, suponiendo un precio del agua de 50 ptas/m³.

Subpoblación (contadores)	Precisión (%)	V anual facturado (%)	Volumen no registrado por subcontaje (%)	Coste en pesetas del VNR
1 (850)	95,9	146000	6242	312096
2 (400)	93,8	80000	5288	264392
3(1315)	94,4	227000	13466	673305
4(1300)	91,4	190000	17877	893873
Total parque	93,7	643000	42873	2143666

Tabla 7. Características supuestas de las subpoblaciones de contadores en el abastecimiento considerado

El coste del volumen no registrado por subcontaje de contadores domiciliarios, con dicho precio por metro cúbico, tiene un enorme impacto económico sobre todo en las subpoblaciones donde los contadores están en peor estado. En concreto, para la última subpoblación, de 1300 contadores, se generan unas pérdidas de casi 900.000 ptas/año. Suponiendo un coste del contador ya instalado de 4000 ptas. y una precisión global media durante los primeros años de los contadores nuevos del 98%, la inversión se recuperaría en unos 6-7 años. En caso de que el precio del agua se duplicase, el periodo de amortización se reduciría aproximadamente a la mitad.

Un ratio interesante a calcular son las pérdidas en pesetas por año que introduce cada tipo de contador. Este parámetro proporciona información sobre el estado del parque. Para las diferentes subpoblaciones de contadores del abastecimiento que se ha propuesto, este parámetro se situaría en 367, 660, 512 y 687 ptas./contador/ año. Evidentemente cuanto más elevado es este valor más necesario resulta el cambio del contador.

En cualquier caso hay que resaltar que llevar a la práctica un análisis económico detallado es muy complicado y se han tener en cuenta factores como la evolución de la precisión y caudal de arranque de cada tipo de contador en función del tiempo instalado y del volumen facturado, las diferencias en la forma de consumir entre distintas configuraciones de viviendas, el coste del contador instalado, el precio del agua, el tipo de interés, el índice y caudal de fugas, etc... Una propuesta de cómo abordarlo se puede encontrar en Arregui (1998).

CONCLUSIÓN

En el trabajo se ha presentado una metodología general de calculo del volumen no registrado debido al subcontaje de contadores domiciliarios. En la primera parte se propone la metodología para obtener la curva de consumos clasificados, que representa la forma de consumir típica de los abonados. En la segunda se realiza un estudio estadístico del parque de contadores, dividiéndolo en subpoblaciones con características metrológicas similares para finalmente obtener una estimación de la precisión del mismo en función de los resultados de los ensayos y de las curvas de consumos clasificados empleadas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por la CICYT, a través del proyecto de investigación "Monitorización de redes de distribución de agua y su aplicación a la detección de fugas" Ref. AMB95-0869.

BIBLIOGRAFÍA

Amirola Camps J. J. (1997) Control de pérdidas de agua. Análisis de pérdidas y fugas en redes de abastecimiento. Curso 4/1997. A.S.A.

Andrés M. (1995) Mejora del Rendimiento y de la Fiabilidad en Sistemas de Distribución de Agua. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. U.P.V.

Arregui F. (1998) Propuesta de una Metodología para el Análisis y Gestión del Parque de Contadores de Agua en un Abastecimiento. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

AWWA (1986) Water Meters-Selection. Installation. Testing and Maintenance. AWWA 3rd Ed.; Denver, CO

AWWA (1966) Determination of Economic Period for Water meter Replacement. J.of AWWA. Junio 1966; pp 642-650.

Bowen P.T., Harp J.F., Baxter J.W., Shull R.D. (1993) Residential Water Use Patterns. Ed American Water Works Association Research Foundation. Denver, CO

Brittain, R.L. (1974) Small Meter Periodic Test Limit Extension Study. Unpublished Report, Philadelphia Suburban Water Company.

Daniel W.W., Terriel J.C. (1994) Business Statistics for Management and Economics. Houghton Mifflin Company. Boston

Graeser, H.J. (1958) Detecting Lost Water at Dallas. L of AWWA. Juho 1958; pp 925-932

Hudson, W.D. (1964) Reduction of Unaccounted-for Water. J.ofAWWA. Febrero 1964; pp 143-148

Male J.W., Noss R.R., Moore I.C. (1985) Identifying and Reducing Losses in Water Distribution Systems. Noyes Publications.

Nielsen, N. (1969) Determination of Proper Age for 5/8 Inch Meters in the Hackensack and Spring Valley Systems. Report for the Hackensack Water Company, Harrington Park, NJ.

Planells F., Antolí A., López V., Sanz F., García-Serra J. (1987) Diagnóstico de la gestión óptima de contadores en un sistema de distribución de agua. Tecnología del Agua N°38 1987.

Siseo, R.J. (1967) The case for Meter Replacement Programs J. of AWWA, Nov. 1967; pp 1149-1455.

Skarda, B.C. (1987) The Swiss Experience with Performance Indicators and Special Viewpoints on Water Networks. IWSA Workshop on Performance Indicators and Distributions Systems. LNEC. Lisboa. Mayo 1997

Yanov, D.A., Koch, R.N. (1987) A Modern Residential Flow Demand Study. Session 27 of AWWA Annual Conference. Kansas City, KS.