



Canal de  
Isabel II

## CUADERNOS DE I+D+i

8

Precisión de la medida de los  
consumos individuales de agua  
en la Comunidad de Madrid





© Canal de Isabel II - 2010

Autores:

Isabel Díaz Guzmán

Jaime Flores Cabeza

Dirección del estudio:

Francisco Cubillo

Edición coordinada por:

Subdirección de Comunicación y RR.PP.

#### Agradecimientos

El trabajo que aquí se presenta no hubiese sido posible sin la particular contribución de Francisco Arregui, de la Universidad Politécnica de Valencia; Antonio Martín, de Monedero Instalaciones y Servicios; David Bollo, Asunción Hernández, Hugo Mañero y Ángel García de la Chica de Canal de Isabel II así como de los técnicos de la Dirección General de Industria, Energía y Minas y Laboratorio de Metrología de la Comunidad de Madrid, por lo que es obligado manifestar un especial agradecimiento.

Mención especial merece Juan Carlos Ibáñez Carranza, de la subdirección de I+D+i, por su colaboración en este estudio desde el proyecto de determinación de histogramas de consumo en usuarios domésticos y Fernando Rodríguez Algaba, de la subdirección de I+D+i, por su colaboración en la supervisión de los ensayos en campo para la determinación de la curva de error de contadores.

ISBN: 978-84-936445-3-6

M-27910-2010



## CUADERNOS DE I+D+i

8

Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en  
la Comunidad de Madrid



## EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD



Las afirmaciones recogidas en el presente documento reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de Canal de Isabel II.

Tanto Canal de Isabel II como los autores de este documento, declinan todo tipo de responsabilidad sobrevenida por cualquier perjuicio que pueda derivarse a cualesquiera instituciones o personas que actúen confiadas en el contenido de este documento, o en las opiniones vertidas por sus autores.

## PRESENTACIÓN

Los cuadernos de I+D+i de Canal de Isabel II forman parte de la estrategia de gestión del conocimiento de la Empresa y del desarrollo del Plan de Investigación, Desarrollo e Innovación.

Son elemento de difusión de proyectos e iniciativas desarrollados y auspiciados desde Canal de Isabel II para la innovación en las áreas relacionadas con el servicio de agua en el entorno urbano.

Exponen las diferentes problemáticas abordadas en cada proyecto junto con los resultados obtenidos. La intención al difundirlos mediante estas publicaciones es compartir las experiencias y conocimientos adquiridos con todo el sector de servicios de agua, con la comunidad científica y con cuantos desarrollan labores de investigación e innovación. La publicación de estos cuadernos pretende contribuir a la mejora y eficiencia de la gestión del agua y, en consecuencia, a la calidad del servicio prestado a los ciudadanos.

Los cuadernos de I+D+i ya publicados son los que figuran en la presente tabla.

Nº Colección	Cuadernos de I+D+i publicados
1	Transferencias de derechos de agua entre demandas urbanas y agrarias. El caso de la Comunidad de Madrid
2	Identificación de rachas y tendencias hidrometeorológicas en el ámbito del sistema de Canal de Isabel II
3	Participación de Canal de Isabel II en el Proyecto Internacional de Eficiencia en la Gestión (IDMF)
4	Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid
5	El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid
6	Estudio de potenciales de ahorro de agua en usos residenciales de interior
7	Investigación sobre potenciales de eficiencia con el empleo de lavavajillas

## FICHA TÉCNICA

<b>Título del proyecto</b>	Precisión de la medida de los consumos individuales de agua en la Comunidad de Madrid
<b>Línea de investigación</b>	Eficiencia en la gestión
<b>Unidades de Canal de Isabel II implicadas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Subdirección de I+D+i</li><li>• Dirección G. Comercial</li><li>• Subdirección de Calidad de las Aguas</li></ul>
<b>Participación externa</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid</li><li>• Universidad Politécnica de Valencia (UPV)</li><li>• Monedero Instalaciones y Servicios S.A.</li><li>• Wasser S.A.</li></ul>
<b>Objeto y justificación del proyecto</b>	Obtener mayor conocimiento acerca del estado metrológico del parque de contadores instalados en la Comunidad de Madrid, utilizados por Canal de Isabel II para facturar a sus clientes y determinar el error volumétrico cometido en función de la diversidad de variables que lo conforman. Contribuir al establecimiento de políticas eficientes de gestión del parque de contadores.
<b>Contribución al estado del arte</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejora en el conocimiento de la fiabilidad en la medida del consumo individual</li><li>• Mejora en el conocimiento evolutivo de la precisión en contadores y los factores que la condicionan</li><li>• Mejora en la evaluación de pérdidas aparentes de agua</li><li>• Nuevo protocolo de ensayo de contadores en la instalación del cliente</li></ul>
<b>Resumen del desarrollo del proyecto e hitos relevantes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Selección de la muestra representativa de contadores a ensayar</li><li>• Fabricación y verificación en laboratorio de los equipos de medición in situ</li><li>• Realización de 2.000 ensayos de contadores en campo</li><li>• Análisis de la información de las curvas de error de contadores</li><li>• Determinación de histogramas de caudales de consumo en una muestra de 226 contadores</li><li>• Determinación del error global del parque de contadores y su evolución</li></ul>
<b>Resumen de resultados obtenidos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• El error global del parque de contadores domésticos de la Comunidad de Madrid representa el -14% del total medido</li><li>• La mayor contribución al error global del parque de contadores se debe al consumo no registrado en el rango de los caudales bajos, debido a que en ese rango el error del contador instalado es muy elevado, y de carácter negativo (subcontaje)</li><li>• La vida útil de los contadores aumenta al mejorar su calidad metrológica, de acuerdo con el estudio comparativo entre los contadores de clase B y de clase C analizados (éstos últimos de características constructivas especiales)</li><li>• La influencia de la pérdida de precisión como consecuencia de las condiciones de instalación y de los patrones de consumo en los caudales pequeños pesa más que las pérdidas de contaje por el deterioro temporal, hasta alcanzar en muchos casos más de la mitad de la vida útil</li><li>• Los criterios establecidos por la legislación vigente para el dimensionamiento de acometidas y contadores destinados a uso doméstico se ajustan adecuadamente a los consumos domésticos</li><li>• Existe correlación entre el subcontaje, en el rango de los caudales bajos, con la edad, el diámetro y el consumo</li><li>• Es de destacar el reducido sobrecontaje encontrado en la muestra analizada</li><li>• El caudal de arranque aumenta igualmente con la edad, el diámetro, el consumo y la mayor exposición a las condiciones ambientales</li><li>• El proyecto demuestra la posibilidad de realizar medidas regulares de la precisión de los contadores instalados, con equipos portátiles de verificación en campo, siguiendo un procedimiento estandarizado</li><li>• Los equipos se encuentran actualmente en trámites de patente por parte de Canal de Isabel II</li></ul>
<b>Líneas de investigación abiertas para la continuación de los trabajos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Establecimiento de un marco normativo que regule los procedimientos para llevar a cabo las verificaciones de contadores de agua en uso</li><li>• Mejora de la medida de los factores que influyen en la pérdida de precisión de los contadores, consecuencia de las condiciones de instalación</li><li>• Revisión de los métodos de inspección y mantenimiento de las condiciones de instalación de contadores.</li><li>• Influencia de las pautas de uso en el consumo del agua en la precisión de la medida</li><li>• Evaluación de la precisión en usos no domésticos</li></ul>



## RESUMEN EJECUTIVO



El aseguramiento de una adecuada correspondencia entre los volúmenes consumidos y facturados a los clientes de Canal de Isabel II es del interés de esta Empresa Pública, en su compromiso de prestación de un servicio de calidad a los ciudadanos de la Comunidad de Madrid.

La Empresa es responsable del suministro de agua y saneamiento a más de seis millones de habitantes que viven en la región madrileña.

Canal de Isabel II tiene más de un millón de clientes y todos ellos cuentan con un contador para la medición de su consumo. Actualmente, el consumo de cada cliente se mide bimestralmente, de forma generalizada. Con anterioridad a 2005, los consumos se registraban de forma trimestral. Desde 1994, de acuerdo con la normativa regional, cada nueva propiedad dispone de un contrato individual y el correspondiente contador. Hasta entonces, al menos cada edificio disponía de un contador. Las tecnologías innovadoras de medida se han ido incorporando de forma progresiva. Como consecuencia de esto, el parque de contadores de la Comunidad de Madrid está compuesto por una amplia gama de modelos, categorías y antigüedades.

Entre los objetivos de la Empresa destacan el establecimiento de políticas eficientes de mantenimiento, renovación y sustitución de contadores, pautas de dimensionamiento y mejora del conocimiento de la precisión en la medida de los usos y consumos individuales.

A pesar de su importancia, la evaluación de la precisión de la medida de los contadores a lo largo de su vida útil y en sus condiciones de emplazamiento reales, es un tema que no se ha abordado de una manera profunda y científica en las empresas de Abastecimiento de Agua. Hay una carencia de normativa sobre la inspección y evaluación de los contadores a lo largo de su vida útil. Tampoco existen criterios homogéneamente utilizados para su renovación en las empresas del sector.

La normativa española actual de control metrológico está enfocada, exclusivamente, a garantizar la precisión en la aprobación de modelo y verificación primitiva, es decir, a contadores nuevos.

El establecimiento de normativas y políticas de renovación adecuadas para los contadores ya instalados proporcionaría un valioso marco de eficiencia, de utilidad no sólo para Canal de Isabel II sino también para los clientes, garantizando de este modo la equidad necesaria en el servicio al ciudadano.

Canal de Isabel II ha efectuado en los últimos años algunas campañas para valorar la precisión de los contadores domésticos, tanto en laboratorio como en la instalación del usuario. Las conclusiones de dichos ensayos aconsejaron la realización de un programa más detallado, en el que se incluyeran nuevos procedimientos de ensayo capaces de analizar factores no contemplados hasta la fecha.

De este modo, Canal de Isabel II ha emprendido, junto con la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, un proyecto de investigación para la evaluación de la precisión de la medida de los contadores de agua instalados en la región, identificando y cuantificando además los parámetros que afectan a dicha precisión.

El mencionado proyecto, junto con el análisis detallado de las pautas de consumo de los usuarios, obtenido mediante monitorización en continuo, pretende contribuir a un mayor conocimiento del consumo real controlado de agua en la región, y a la revisión de las políticas de dimensionamiento y renovación de contadores.

El proyecto ha establecido un nuevo procedimiento para el ensayo de los contadores en la propia instalación del usuario, empleando unos novedosos equipos patrón portátiles de verificación en campo, que se han diseñado y fabricado al efecto.

Por último, se pretende evaluar con mayor precisión las pérdidas aparentes de agua debidas al subcontaje de los contadores individuales.

## Planteamiento metodológico

El error de medición de un contador es la diferencia entre el volumen contabilizado por éste y el realmente consumido.

Como el error de medición de un contador varía dependiendo del caudal que circula por el mismo, la diferencia entre el volumen contabilizado y el realmente consumido se debe calcular ponderando el error que se produce en cada valor de caudal de consumo con el porcentaje de volumen que el cliente usa en ese mismo valor.

Por tanto, el error de medición global de un contador depende tanto de su curva de error como de la forma en que utilizan el agua los consumidores, el histograma de consumo. En algunas empresas del sector, este concepto es conocido como error medio ponderado.

La curva de error del contador representa el error de medición en valor porcentual que presenta un contador para cada valor de caudal que circula por el mismo. El error de medición se determina mediante un ensayo, comparando el volumen contabilizado por el contador con el registrado por un elemento de control (contador patrón, tanque calibrado, etc.).

Si el volumen acumulado por el contador es menor que el volumen realmente consumido, el valor del error es negativo, lo que representa subcontaje. Cuando el volumen registrado por el contador sea mayor que el que realmente se ha consumido, el error adopta signo positivo, hablándose en este caso de sobrecontaje.

El caudal de arranque de un contador se puede entender como aquel valor de caudal para el cual el contador comienza a registrar el paso del agua, o bien como el menor de los caudales a los que un contador es capaz de seguir registrando el movimiento o paso del agua, concepto éste más interesante por ser el umbral para la detección de pérdidas ocultas de agua. Constituye el extremo izquierdo de la curva de error del contador.

Por lo general, los contadores presentan desviaciones mayores en la medición de consumos a caudales bajos que a caudales medios y altos.

## Determinación de la curva de error

Las etapas en las que consistió el proyecto de determinación de la curva de error mediante ensayos en campo fueron, por orden cronológico, las siguientes:

- Caracterización de los contadores instalados en la Comunidad de Madrid
- Definición de una muestra representativa de 2.000 contadores
- Diseño y fabricación de una serie de equipos específicos a los que se denominó “equipos portátiles de verificación en campo”
- Desarrollo del software a ser instalado en los equipos
- Validación de los equipos en laboratorio: verificaciones iniciales
- Inspecciones previas a las instalaciones
- Ensayos en campo y validación de los mismos
- Análisis de los datos

El proyecto comenzó en mayo de 2006 y la fase de toma de datos mediante ensayos en campo, finalizó el 26 de marzo de 2008.

## Caracterización del parque de contadores

Los contadores que habitualmente se emplean para el registro del consumo doméstico corresponden a los diámetros nominales DN13 y DN15.

Los contadores destinados al registro de consumos de tipo doméstico (incluyendo los contadores de diámetro nominal superior a DN40) suponen el grupo mayoritario en el total del parque. En 2006 representaron, en número, el 84 por ciento del total del parque y, registraron el 68 por ciento del consumo.

Dentro del total de contadores del parque que registran consumos de tipo doméstico, el grupo de estudio, formado por los contadores de 13 a 40 mm, supone el 99 por ciento del total de contadores y el 87 por ciento del consumo de dicho grupo.

## La muestra de contadores

La población objeto del estudio se extiende a más de un millón de contadores. Ya que el análisis de la misma resultaba inviable desde los puntos de vista técnico y económico, se decidió extraer de dicha población una muestra representativa de 2.000 contadores (aproximadamente un 0,2 por ciento del total), que permitiera extrapolar las conclusiones sobre las características metrologías al resto de la población total.

El proceso de selección de la muestra representativa fue laborioso debido a la gran variedad de marcas y modelos instalados en una empresa de suministro y gestión de agua tan compleja como Canal de Isabel II.

Con esta muestra se pretendía obtener una visión global que permitiera conocer los errores de medición en el mayor número de clientes, la metrología de diferentes tipos de contadores y los errores de medición en el volumen de agua suministrada.

La definición de la muestra se realizó por categorías, según los siguientes criterios:

- Diámetro nominal: comprendido entre DN13 y DN40
- Marca/tecnología: 9 marcas diferentes
- Edad: se han establecido 4 grupos de antigüedad
- Consumo registrado: cada grupo, definido por las variables anteriores, se ha subdividido en rangos de consumo, correspondiendo el 50 por ciento de los contadores a “consumo alto” y el 50 por ciento a “consumo bajo” (según un umbral de consumo establecido para cada diámetro)
- Instalación: 50 por ciento en emplazamiento de interior; 50 por ciento en exterior
- Situación geográfica: 50 por ciento en Madrid capital y 50 por ciento en el resto de municipios

Teniendo en cuenta que los contadores de mayor edad son los que muestran, de modo más acusado, el desgaste por la edad y otros factores, resultaba interesante conocer su comportamiento con mayor detalle. Por ello, a la hora de obtener la muestra, se aplicó un coeficiente de ponderación que permitiera incrementar el peso de los contadores más antiguos en la muestra y disminuir el peso de los contadores más nuevos (en los que no se hubieran observado desviaciones metrológicas importantes).

#### Equipos portátiles de verificación en campo

Para llevar a cabo los ensayos en la instalación del abonado se diseñaron y fabricaron una serie de equipos portátiles de verificación en campo, que se utilizaron como dispositivo de referencia con el que comparar las medidas de los contadores de los usuarios.

Las prestaciones requeridas a los equipos mencionados fueron muy exigentes:

- Contador patrón de alta precisión
- Sistema de registro de datos fiable
- Válvulas de corte y regulación fáciles de manejar
- Tamaño y peso limitados
- Autonomía, robustez y portabilidad, adecuadas para ensayos en campo

En total se fabricaron 8 equipos portátiles de verificación en campo de dos configuraciones y tamaños diferentes, dependiendo del diámetro nominal de los contadores de cliente a ensayar.

Como contador patrón, los equipos disponen de uno o dos contadores volumétricos de pistón rotativo de clase metrológica C, con emisor de pulsos.

Los equipos incorporan además:

- Válvulas de regulación para el ajuste de los ensayos en campo y determinación precisa del caudal de arranque
- Sondas de presión y temperatura
- Baterías recargables para dotar al equipo de la autonomía necesaria
- Sistema de almacenamiento y registro de datos
- Ordenador portátil, cargado con la base de datos o muestra de contadores a ensayar en finca y con el software de adquisición, evaluación y tratamiento de los datos de cada ensayo

#### Verificación de los equipos portátiles en laboratorio

Una vez validado el diseño definitivo, los equipos fabricados se sometieron, antes de comenzar los ensayos en campo, a repetidos ciclos de verificación en el laboratorio de Canal de Isabel II. Se realizaron 20 ciclos de verificación, en dos bancos diferentes, obteniéndose los valores de error iniciales de los equipos, así como las incertidumbres de medida asociadas.

Durante el desarrollo del proyecto, se continuaron realizando verificaciones regulares a los equipos en el laboratorio de Canal de Isabel II, con periodicidad mensual, para el aseguramiento de las características metrológicas de los mismos. El criterio de aceptación de los equipos consistía en que, en la verificación correspondiente en laboratorio, los resultados del ensayo a cualquier caudal no se desviaran en más de un 2 por ciento de los valores de error obtenidos en la verificación inicial, o en la verificación sucesiva inmediatamente anterior.

En las verificaciones sucesivas, además de comprobar el estado del contador, se comprobó la estanqueidad de las válvulas de corte y de las conexiones que posteriormente se utilizaban para los ensayos en campo.

Se realizaron un total de 90 verificaciones sucesivas a lo largo del proyecto.

#### Ensayos en campo con los equipos portátiles

Los ensayos en campo requieren para su correcta ejecución un procedimiento perfectamente definido y estructurado, llevado a cabo por operarios cualificados que hayan realizado cursos de formación al efecto.

Un ensayo en campo consta de una serie de etapas, que se han de seguir en escrupuloso orden que incluyen la comprobación de inexistencia de aire atrapado o fugas de agua, el ajuste preciso de los caudales de ensayo, y la verificación de la estabilidad del caudal y del valor de la presión. El último paso es la determinación del caudal de arranque del contador, entendido éste como el menor de los caudales a los que el contador es capaz de seguir registrando el movimiento o paso del agua, para lo que hay que reducir el caudal progresivamente.

El software del equipo evalúa la validez del ensayo, para repetirlo en caso necesario.

El valor de error de medición del contador del usuario en finca a cada caudal, se debe corregir con el valor de error propio del equipo de verificación, a ese mismo caudal, determinado en laboratorio.

#### Análisis descriptivo de los datos obtenidos en el proyecto de determinación de la curva de error

En la muestra final, compuesta por 1.936 ensayos válidos, se han visto representadas las categorías definidas en su práctica totalidad.

En cuanto a las características metrológicas de los contadores de la muestra final ensayada, hay que señalar que todos los contadores son de velocidad, representando los contadores de chorro único el mayor porcentaje, un 63 por ciento; seguido por los contadores de chorro múltiple, que representan un 30 por ciento; por último, los contadores de turbina axial, que suponen un 7 por ciento.

Con respecto a la clase metrológica, el 7 por ciento de los contadores de la muestra ensayada están clasificados en la clase metrológica C-H/C-V (clase C, tanto en posición horizontal, como en posición vertical), exigidos por la normativa en vigor en el momento de seleccionar la muestra (Directiva 75/33/CEE). El resto de los contadores, un 93 por ciento, cumplen con la clase metrológica B-H/A-V (B, en posición horizontal y A, en posición vertical). Es importante recordar que esta clasificación responde a las características metrológicas de los contadores al salir de fábrica.

Los contadores de clase C presentes en esta muestra corresponden todos a la configuración de turbina axial.

Los resultados de los ensayos se sometieron a un proceso de detección y eliminación de outliers. Por outlier se entiende aquella observación atípica y/o errónea, que tiene un comportamiento muy diferente al del resto de los datos.

Aunque el número de outliers detectado y eliminado ha sido elevado, con los datos depurados resultantes que conforman una muestra de 1.252 contadores, ha sido posible abordar un estudio general de la curva de error, que arroja las siguientes conclusiones:

- La tendencia media de los contadores que componen la muestra se inclina hacia un marcado subcontaje en el rango de los caudales bajos, observándose una correlación con la edad, el diámetro y con el consumo
- El subcontaje aumenta, en el rango de los caudales bajos con el volumen acumulado y, por tanto, con el uso de los contadores
- Es de destacar el reducido sobrecontaje encontrado en la muestra analizada
- No se han detectado correlaciones entre la curva de error de los contadores y variables como la presión, la temperatura del agua, y la temperatura ambiente habitual
- El caudal de arranque de los contadores aumenta igualmente con la edad, el diámetro, el consumo y la mayor exposición a las condiciones meteorológicas
- El caudal de arranque de los contadores de clase metrológica C se muestra inferior al caudal de arranque de los contadores de la clase metrológica B, para un mismo diámetro, por lo que se considera que los primeros son más adecuados para registrar caudales bajos en general
- Con los resultados obtenidos se pueden hacer estimaciones de la evolución del caudal de arranque con la edad, para cada tamaño de contador
- Los datos obtenidos también permiten realizar estimaciones del caudal de arranque a partir de los errores a caudales bajos

#### Determinación de los patrones de consumo

En el ámbito del proyecto de investigación de monitorización de la demanda, se consiguieron determinar los patrones de consumo de usuarios de tipo doméstico, mediante la monitorización en continuo durante un período de 6 meses, de una muestra representativa de la Comunidad de Madrid formada por 226 contadores con equipos de muy alta precisión, capaces de registrar caudales muy bajos, desde 1 l/h.

Se han obtenido los patrones de consumo correspondientes a usuarios de contadores de diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40.

#### Cálculo del error global de medición

Como ya se ha comentado, el error global de medición se calcula combinando los patrones de consumo, a diferentes caudales, con la curva de error de los contadores a esos mismos caudales. A partir de esta ponderación es posible calcular el total de agua no registrada originada por el error de medición de los contadores.

Con los resultados del proyecto de determinación de la curva de error mediante ensayos en campo y con los patrones de consumo de usuarios de tipo doméstico, ha sido posible evaluar el error global de medición del segmento del parque de contadores gestionado por la Empresa, formado por los contadores de diámetro nominal DN13, DN15, DN20, DN25, DN30 y DN40, empleados para registrar consumos de tipo doméstico, que conjuntamente representan en número un 83 por ciento del total del parque, en una clasificación del parque por diámetros; y un 59 por ciento del volumen total facturado por la empresa (datos correspondientes a 2006).

Se han realizado las siguientes consideraciones para el cálculo del error global:

- Las curvas de error comienzan en el caudal de arranque, al que se le ha asignado un error de medición de -70 por ciento
- Se ha considerado una evolución lineal entre los caudales de error conocido
- En cada intervalo de caudales el consumo está repartido uniformemente
- Todo el volumen consumido por debajo del caudal de arranque no se registra (el error a caudales inferiores al de arranque es -100 por ciento)
- El volumen consumido en cada intervalo del patrón de consumo se registra con el error al caudal medio del mismo, obtenido de la reconstrucción de la curva de error

En todos los casos se observa que, debido al error global de medición de signo negativo, el volumen registrado por los contadores de estos diámetros es inferior al realmente consumido.

El mayor porcentaje de error se debe al consumo, en el rango de los caudales bajos, por debajo del caudal de arranque de los contadores, zona en la que éstos no son capaces de registrar el volumen circulado (subcontaje). El rango cercano al caudal nominal, sin embargo, concentra la mayor parte del consumo, pero al ser mayor la precisión de los contadores en estos caudales el error ponderado es prácticamente insignificante.

Al realizar el análisis del volumen real circulado por el grupo de contadores destinados a registrar consumos de origen doméstico de diámetros comprendidos entre 13 y 40 mm se obtiene la cuantía del volumen no registrado o subcontaje por este segmento de contadores, con un valor del -14,32 por ciento.

Al generalizar la valoración del consumo no registrado para el total del volumen consumido y medido por los clientes de Canal de Isabel II, se obtiene la cuantía del volumen no registrado o subcontaje por todo el parque de contadores.

El error global del parque de contadores, que expresa la valoración del consumo no registrado para el total del volumen consumido y medido por los clientes de Canal de Isabel II en 2006, representa un porcentaje del -10,90 por ciento.

Este valor general de error global, referido al volumen total de agua derivada de embalses en 2006, adopta un valor del -8,42 por ciento.

### Consideraciones sobre el dimensionado de contadores

Si el contador está sobredimensionado y, por tanto, no trabaja o lo hace ineficazmente a caudales excesivamente bajos, existirán errores de subcontaje y consiguientes pérdidas económicas para la compañía que lo gestione. En el caso de que el diámetro elegido sea inferior al idóneo (contador subdimensionado), el contador trabajará a caudales excesivamente elevados para su capacidad, por lo que su curva de error se deteriorará prematuramente, dando lugar a errores de medición importantes al poco tiempo de su instalación, en la derivación o acometida, y a los inconvenientes y costes asociados de sustitución.

El procedimiento de dimensionamiento de contadores llevado a cabo por Canal de Isabel II se realiza mediante una tabla que especifica, en función del caudal total de cálculo, el calibre del contador a instalar. Aunque esta tabla es correcta desde el punto de vista de la selección del contador adecuado para evitar un subdimensionamiento del mismo, no garantiza que se contabilicen completamente todos los consumos de cada acometida o zona.

Se ha observado, mediante los proyectos de monitorización de patrones de consumo de contadores desarrollados por Canal de Isabel II, que existe un porcentaje del consumo que se realiza a caudales muy bajos, los cuales no pueden ser contabilizados por el contador o lo son en una mínima fracción, debido a que en ese rango de caudales el error del contador es muy elevado y de carácter negativo (subcontaje).

Esos mismos patrones de consumo muestran, sin embargo, que el mayor porcentaje de consumo se concentra en el rango del caudal nominal del contador instalado (donde el error del contador es mínimo, por otra parte), de lo que se deduce que el caudal punta de cálculo estimado en la selección del calibre tiene un valor cercano al caudal nominal del contador, siendo correcta dicha selección.

### Criterios para la renovación de contadores

El análisis de la periodicidad en el reemplazo de los contadores instalados por otros nuevos, dependerá, entre otros factores, del coste de los mismos, de la estructura tarifaria, del consumo y de la influencia del deterioro en la precisión de la medida de los consumos.

Por vida útil del contador se considera aquella que genera los mayores ingresos, es decir, el mayor valor del valor actual neto de la cadena de renovaciones del contador.

Este cálculo se realiza a partir del deterioro del error global con el tiempo.

Las conclusiones a las que se ha llegado son:

- La vida útil de los contadores aumenta al mejorar su calidad metrológica, de acuerdo con el estudio comparativo entre los contadores de clase B y de clase C analizados
- Los contadores de clase C analizados son de turbina axial, por lo que las conclusiones obtenidas no tienen por qué ser aplicables a contadores de otras características constructivas
- Salvo señales de deterioro en la lectura o fallo de funcionamiento, los contadores de clase B deberían renovarse a partir de los 12 años hasta DN30 y a partir de 7 años los de DN40, mientras que los de clase C podrían mantenerse mucho más tiempo. La vida de la batería podría ser un factor mucho más limitante que la pérdida de precisión, en el caso de los contadores que incorporan este elemento

- La influencia de la pérdida de precisión, como consecuencia de las condiciones de instalación y de los patrones de consumo en los caudales pequeños, pesa más, que las pérdidas de contaje por el deterioro temporal, hasta alcanzar, en muchos casos, más de la mitad de la vida útil del contador
- La diferencia de coste entre los contadores de clase B y C no se justifica por la mejora de la precisión inicial; aunque en la diferencia de coste se incluyen componentes electrónicos, posibilidad de lectura a distancia y otras utilidades que no existen en los contadores analizados de clase B
- Estos cálculos de la frecuencia de renovación deben complementarse con una adecuada supervisión del parque para detectar cuanto antes eventuales comportamientos anómalos o paradas de los contadores
- Todas las conclusiones aquí expuestas son, además del reflejo de las características del parque de contadores de la Comunidad de Madrid, una consecuencia de los regímenes de operación del sistema de distribución y, muy especialmente, de las muy buenas características de la calidad del agua en la Comunidad de Madrid

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## 1. INTRODUCCIÓN página 22

## 2. ANTECEDENTES página 26

## 3. OBJETIVOS página 30

## 4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO página 34

## 5. RESUMEN DE LA LEGISLACIÓN VIGENTE EN ESPAÑA REFERENTE A LA METROLOGÍA DE LOS CONTADORES DE AGUA página 38

## 6. DATOS PRINCIPALES DEL PROYECTO página 44

- 6.1. Participación
- 6.2. Presupuesto
- 6.3. Fases del proyecto y cronograma

## 7. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES página 48

## 8. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA página 52

- 8.1. Objetivo
- 8.2. Justificación del tipo de muestreo elegido
- 8.3. Distribución de los ensayos en la población de contadores
- 8.4. Estratos analizados
- 8.5. Definición de la muestra objetivo para los ensayos en campo
- 8.6. Cobertura de la muestra

## 9. EQUIPOS PORTÁTILES DE VERIFICACIÓN EN CAMPO EMPLEADOS página 62

## 10. VERIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS EN LABORATORIO página 68

- 10.1. Descripción de los bancos de ensayo empleados en laboratorio
- 10.2. Procedimiento de verificación en laboratorio
- 10.3. Determinación del error de medición de los equipos en laboratorio

- 10.4. Determinación de la incertidumbre de medida de los equipos en laboratorio
- 10.5. Conclusiones de las verificaciones iniciales en el laboratorio
- 10.6. Verificaciones sucesivas en el laboratorio

## 11. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS EN CAMPO página 86

- 11.1. Procedimiento seguido durante la realización de un ensayo en campo
- 11.2. Condiciones ambientales e hidráulicas durante los ensayos en campo

## 12. EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR página 96

- 12.1. Fase de confección de la muestra
- 12.2. Fase de fabricación y validación de los equipos
- 12.3. Fase de verificaciones iniciales de los equipos
- 12.4. Fase de inspecciones previas a los contadores en finca
- 12.5. Fase de realización de los ensayos en campo
- 12.6. Seguimiento de la muestra
- 12.7. Fase de verificaciones sucesivas a los equipos de verificación en campo
- 12.8. Repetición de ensayo en campo
- 12.9. Repetición de ensayo en laboratorio

## 13. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL PROYECTO DE DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR página 112

- 13.1. Muestra final
- 13.2. Depuración de los datos brutos
- 13.3. Representatividad de la muestra depurada
- 13.4. Estudio de los resultados por categorías

## 14. DETERMINACIÓN DE LOS PATRONES DE CONSUMO DOMÉSTICO página 184

## 15. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE MEDICIÓN página 198

## 16. CONSIDERACIONES SOBRE EL DIMENSIONADO DE CONTADORES página 216

- 16.1. Introducción
- 16.2. Normativa y bibliografía de referencia relativas al dimensionado de contadores
- 16.3. Selección del caudal nominal del contador en función del consumo estimado
- 16.4. Conclusiones sobre el dimensionado de contadores

## 17. CRITERIOS PARA LA GESTIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES página 234

## 18. ANEXOS página 242

- Anexo 1. Normas de consulta
- Anexo 2. Referencias bibliográficas
- Anexo 3. Índice de figuras
- Anexo 4. Índice de tablas

1

Introducción

El aseguramiento de una adecuada correspondencia entre los volúmenes consumidos y facturados a los clientes de Canal de Isabel II es del interés de esta Empresa Pública en su compromiso de prestación de un servicio de calidad a los ciudadanos de la Comunidad de Madrid.

La Empresa es responsable del suministro de agua y saneamiento a más de seis millones de habitantes que viven en la Comunidad de Madrid.

Canal de Isabel II tiene más de un millón de clientes, y todos ellos cuentan con un contador para la medición de su consumo. Actualmente, el consumo de cada cliente se mide bimestralmente de forma generalizada. Con anterioridad a 2005, los consumos se registraban de forma trimestral. Desde 1994, de acuerdo con la normativa regional, cada nueva propiedad dispone de un contrato individual y el correspondiente contador. Hasta entonces, al menos cada edificio disponía de un contador. Las tecnologías innovadoras de medida se han ido incorporando de forma progresiva. Como consecuencia de esto, el parque de contadores de la Comunidad de Madrid está compuesto por una amplia gama de modelos, categorías y antigüedades.

Entre los objetivos de la Empresa destacan el establecimiento de políticas eficientes de mantenimiento, renovación y sustitución de contadores, pautas de dimensionamiento y mejora del conocimiento de la precisión en la medida de los usos y consumos individuales.

A pesar de su importancia, la evaluación de la precisión de la medida de los contadores a lo largo de su vida útil y en sus condiciones de emplazamiento reales, es un tema que no se ha abordado de una manera profunda y científica en las empresas de Abastecimiento de Agua. Hay una carencia de normativa sobre la inspección y evaluación de los contadores a lo largo de su vida útil. Tampoco existen criterios homogéneamente utilizados para su renovación en las empresas del sector.

La normativa española actual de control metrológico está enfocada exclusivamente a garantizar la precisión en la aprobación de modelo y verificación primitiva, es decir, a contadores nuevos.

El establecimiento de normativas y políticas de renovación adecuadas para los contadores ya instalados proporcionaría un valioso marco de eficiencia, de utilidad no sólo para Canal de Isabel II sino también para los clientes, garantizando de este modo la equidad necesaria en el servicio al ciudadano.

2

Antecedentes

Canal de Isabel II ha efectuado en los últimos años algunas campañas para valorar la precisión de los contadores domésticos, tanto en laboratorio como en la instalación del usuario. Las conclusiones de dichos ensayos aconsejaron la realización de un programa más detallado, en el que se incluyeran nuevos procedimientos de ensayo capaces de analizar factores no contemplados hasta la fecha.

De este modo, Canal de Isabel II ha emprendido, junto con la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, un proyecto de investigación para la evaluación de la precisión de la medida de los contadores de agua instalados en la región, identificando y cuantificando, además, los parámetros que afectan a dicha precisión.

3

Objetivos

El objetivo principal del proyecto es la obtención de un mayor conocimiento acerca del estado metrológico del parque de contadores instalado en la Comunidad de Madrid, utilizado por Canal de Isabel II para facturar a sus clientes y la determinación del error volumétrico cometido en función de la diversidad de variables que lo conforman.

Este conocimiento, junto con el análisis detallado de las pautas de consumo de los usuarios, obtenido mediante monitorización en continuo, pretende contribuir a una mejor aproximación al consumo real controlado de agua en la región, y a la revisión de las políticas de dimensionamiento y renovación de contadores.

Otro de los objetivos perseguidos con el proyecto ha sido la identificación y el diseño de un equipo adecuado para el ensayo y medida de la precisión de los contadores en la propia instalación del usuario.

Por último, se pretende evaluar con mayor precisión las pérdidas aparentes de agua debidas al subcontaje de los contadores individuales.

4

Planteamiento metodológico

El error de medición de un contador es la diferencia entre el volumen contabilizado por éste y el realmente consumido.

Como el error de medición de un contador varía dependiendo del caudal que circula por el mismo, la diferencia entre el volumen contabilizado y el realmente consumido se debe calcular ponderando el error que se produce en cada valor de caudal de consumo, con el porcentaje de volumen que el cliente usa en ese mismo valor.

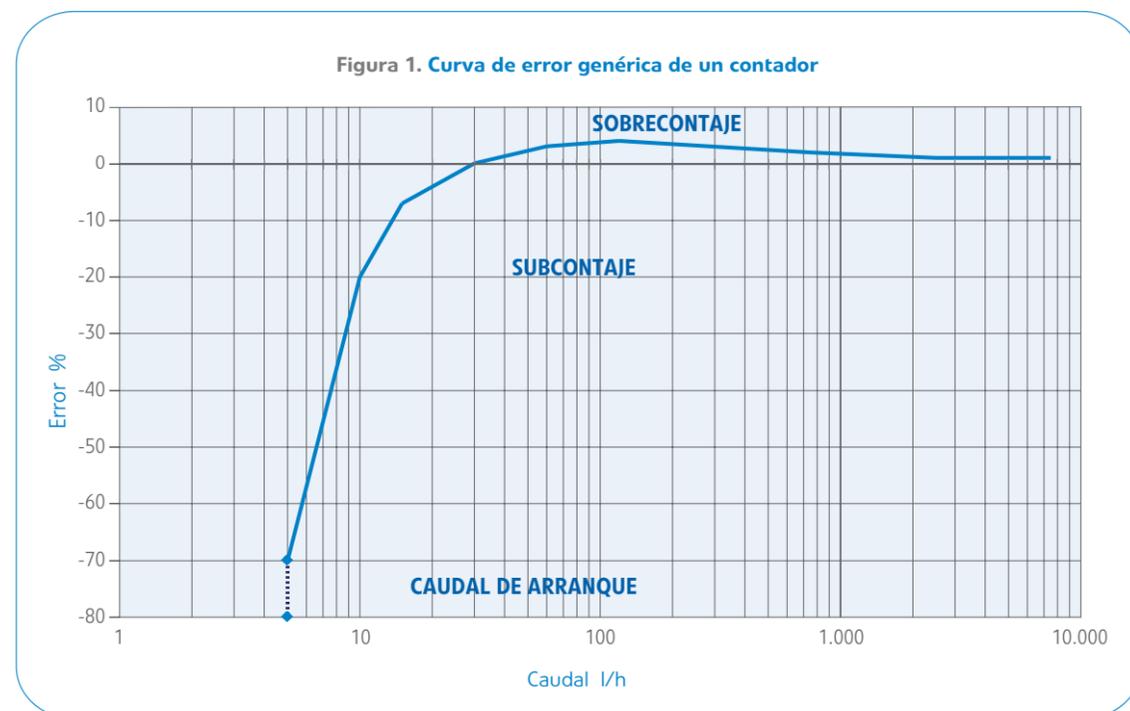
Por tanto, el error de medición global de un contador depende tanto de su curva de error como de la forma en que utilizan el agua los consumidores, el histograma de consumo. Este concepto es conocido por algunas empresas del sector como error medio ponderado.

La curva de error del contador representa el error de medición en valor porcentual, que presenta un contador para cada valor de caudal que circula por el mismo. El error de medición se determina mediante un ensayo, comparando el volumen contabilizado por el contador con el registrado por un elemento de control (contador patrón, tanque calibrado, etc.).

Si el volumen acumulado por el contador es menor que el volumen realmente consumido, el valor del error es negativo, lo que representa subcontaje. Cuando el volumen registrado por el contador sea mayor que el realmente consumido, el error adopta signo positivo, hablándose en este caso de sobrecontaje.

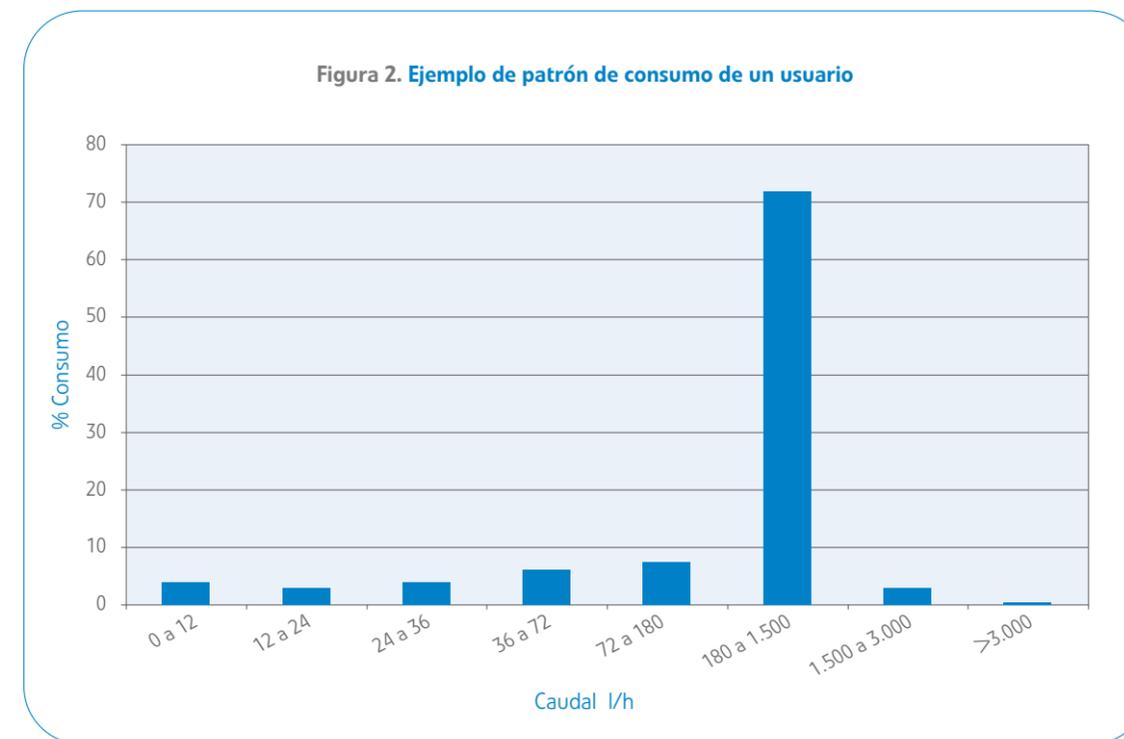
El caudal de arranque de un contador se puede entender como aquel valor de caudal para el cual el contador comienza a registrar el paso del agua, o bien como el menor de los caudales a los que un contador es capaz de seguir registrando el movimiento o paso del agua, concepto éste más interesante por ser el umbral para la detección de pérdidas ocultas de agua. Constituye el extremo izquierdo de la curva de error del contador.

En la figura 1 se representa la curva de error genérica de un contador, observándose en ella los tres conceptos comentados, el caudal de arranque, la zona de sobrecontaje y la zona de subcontaje.



Por lo general, los contadores presentan desviaciones mayores en la medición de consumos a caudales bajos que a caudales medios y altos.

El histograma de porcentajes de volumen consumido (figura 2) para cada rango de caudales, informa de la distribución porcentual del consumo de un cliente por rangos de caudales. Esta distribución se obtiene a partir del estudio del patrón de consumo del usuario que tiene instalado dicho contador.



Para conocer la curva de error de un contador es necesario ensayarlo en aquellos rangos de caudales en los que se da el consumo real.

Canal de Isabel II incluye en su Plan de I+D+i el desarrollo de dos proyectos de investigación que responden a las necesidades mencionadas: "Determinación de la curva de error de contadores", y "Monitorización de las pautas de consumo de los usuarios en todo el rango de caudales".

A lo largo de los siguientes apartados se describe inicialmente el proyecto de determinación de la curva de error, que ha consistido en el ensayo en campo de una muestra representativa del parque de contadores de Canal de Isabel II obteniendo sus curvas de error y caudales de arranque, profundizando así en el conocimiento metrológico de los contadores instalados en la Comunidad de Madrid.

Estas conclusiones se integran con la información de pautas de consumo obtenida gracias al proyecto de monitorización, en los últimos apartados, para valorar los volúmenes no controlados y su evolución y, en base a ello, valorar las políticas de dimensionamiento y mantenimiento de contadores.

# 5

Resumen de la legislación vigente  
en España, referente a la metrología  
de los contadores de agua

Se ha comentado con anterioridad que la legislación sobre contadores de agua vigente actualmente en España, se centra en los requisitos que debe cumplir la curva de error de los contadores nuevos. No obstante, se va a realizar en este apartado un repaso de los criterios establecidos en dicha reglamentación, pues sirven de referencia para evaluar la evolución de la precisión de los contadores ya instalados a lo largo de su vida útil.

Las principales normativas vigentes en la actualidad en España, en las que se tratan los aspectos que nos ocupan son:

- Directiva Europea 2004/22/CE (RD 889/2006 de 21 de julio), de obligado cumplimiento para los contadores de agua nuevos con marcado CE, cuya aprobación de modelo se realice a partir del 31 de octubre de 2006. Esta normativa contempla la comercialización y puesta en servicio de los contadores de agua actuales hasta la expiración de validez de su aprobación de modelo
- Directiva Europea 75/33 CEE (OMM 28/12/88), derogada parcialmente por 2004/22/CE, por la que se regulan los contadores de agua fría con marcado CEE
- Norma armonizada UNE-EN 14154:2005
- Recomendación OIML R-49

Según la Directiva 2004/22/CE, el error máximo permitido es:

$\pm 2\%$  entre  $Q_2$  incluido y  $Q_4$

$\pm 5\%$  entre  $Q_1$  incluido y  $Q_2$  (excluido)

Siendo:

$Q_1$ : Caudal mínimo. El caudal más pequeño al cual se requiere que el contador funcione, dentro del error máximo permitido.

$Q_2$ : Caudal de transición. El caudal comprendido entre  $Q_1$  y  $Q_3$ , que divide el intervalo de caudal en dos zonas, superior e inferior, a las cuales corresponden errores máximos permitidos característicos.

$Q_3$ : Caudal permanente. El caudal de agua más elevado con el que el contador puede funcionar de forma satisfactoria en condiciones de uso normal.

$Q_4$ : Caudal de sobrecarga. El caudal de agua más alto con el que el contador puede funcionar de forma satisfactoria durante un período de tiempo sin sufrir deterioro.

La Directiva 75/33 CEE establece que el error máximo permitido es:

$\pm 2\%$  entre  $Q_t$  incluido y  $Q_{m\acute{a}x}$

$\pm 5\%$  entre  $Q_{m\acute{i}n}$  incluido y  $Q_t$  (excluido)

Siendo:

$Q_{m\acute{a}x}$ : Caudal máximo. El caudal máximo ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) 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.

$Q_n$ : Caudal nominal. El caudal nominal ( $Q_n$ ) es igual a la mitad del caudal máximo  $Q_{m\acute{a}x}$ . Se expresa en metros cúbicos por hora y sirve para designar el contador. Al caudal nominal ( $Q_n$ ) el contador debe poder funcionar en régimen normal de uso, es decir, de forma continua e intermitente, sin sobrepasar los errores máximos tolerados.

$Q_{m\acute{i}n}$ : Caudal mínimo. El caudal mínimo ( $Q_{m\acute{i}n}$ ), es el caudal a partir del cual todo contador debe respetar los errores máximos tolerados. Se fija en función de  $Q_n$ .

$Q_t$ : Caudal de transición. El caudal de transición ( $Q_t$ ) es el caudal que separa las zonas inferior y superior del campo de medida, y en el que los errores máximos tolerados presentan una discontinuidad.

Además,  $Q_{m\acute{a}x}$  siempre es el doble de  $Q_n$ .

La Directiva 75/33 CEE realiza una clasificación de los contadores de agua, según los valores de  $Q_{m\acute{i}n}$  y  $Q_t$  anteriormente definidos, en tres clases metroológicas con arreglo al cuadro mostrado en la tabla 1.

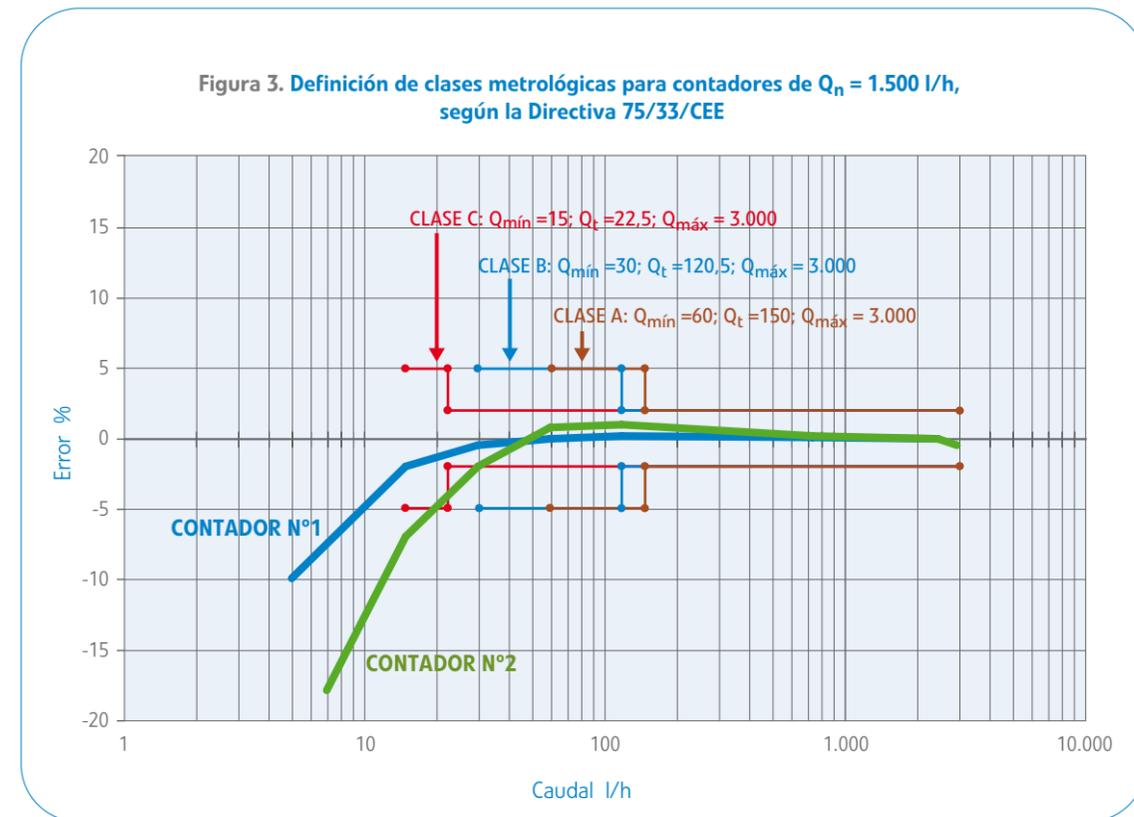
Tabla 1. Clasificación de los contadores de agua según la Directiva 75/33 CEE

Clases		$Q_n$	
		$< 15 \text{ m}^3/\text{h}$	$\geq 15 \text{ m}^3/\text{h}$
Clase A	Valor de $Q_{m\acute{i}n}$	$0,040 Q_n$	$0,080 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,100 Q_n$	$0,300 Q_n$
Clase B	Valor de $Q_{m\acute{i}n}$	$0,020 Q_n$	$0,030 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,080 Q_n$	$0,200 Q_n$
Clase C	Valor de $Q_{m\acute{i}n}$	$0,010 Q_n$	$0,006 Q_n$
	Valor de $Q_t$	$0,015 Q_n$	$0,015 Q_n$

En la figura 3 se puede observar la definición de las franjas de caudales, para cada una de las clases metroológicas, definidas en la Directiva 75/33/CEE, para contadores de  $Q_n = 1.500 \text{ l/h}$ . A modo de ejemplo, se representan en dicha figura las curvas de error de dos contadores, el n° 1 y el n° 2. El contador n° 1 puede clasificarse en "clase metroológica C", mientras que el contador n° 2 sería considerado "clase metroológica B".

Las nuevas normativas establecen un abanico de clases mucho más amplio, definidas por los ratios  $Q_3/Q_1$ . Este valor podrá ir precedido en la marcación del contador con la letra R. La designación de un contador quedará determinada mediante el valor del caudal permanente  $Q_3$ , expresado en  $m^3/h$  y el mencionado ratio  $Q_3/Q_1$ .

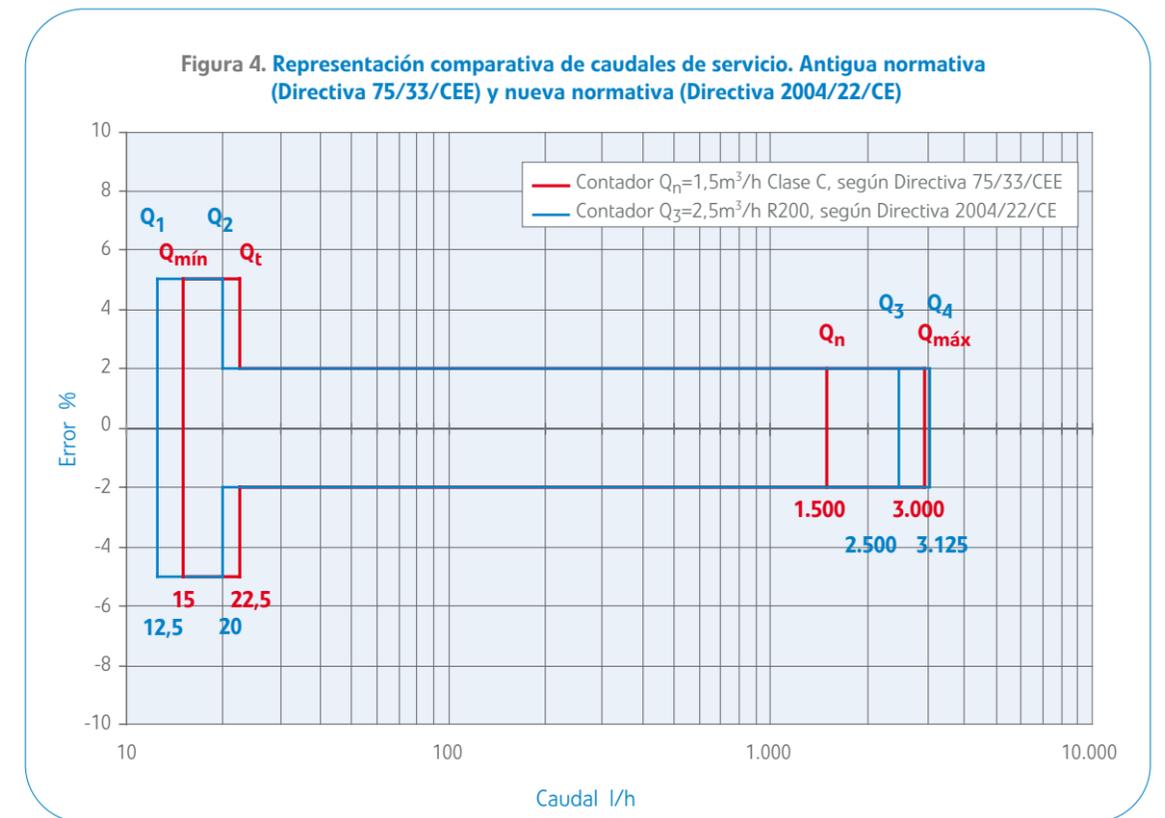
Por ejemplo, un contador con un ratio  $Q_3/Q_1$  igual a 200 será denominado como R200.



A continuación se observa una comparación de caudales en la definición de un contador de DN15, según ambas normativas (tabla 2).

**Tabla 2. Comparación de caudales de servicio para la antigua normativa (Directiva 75/33/CEE) y la nueva normativa (Directiva 2004/22/CE)**

Directiva 75/33/CEE	Directiva 2004/22/CE
Clase C	R200
$Q_n = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$	$Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$
$Q_{\max} = 3 \text{ m}^3/\text{h} (2 \times Q_n)$	$Q_4 = 3,125 \text{ m}^3/\text{h} (1,25 \times Q_3)$
$Q_{\min} = 0,015 \text{ m}^3/\text{h} (0,01 \times Q_n)$	$Q_1 = 0,0125 \text{ m}^3/\text{h} (Q_3/200) \text{ R}=200$
$Q_t = 0,0225 \text{ m}^3/\text{h} (0,015 \times Q_n)$	$Q_2 = 0,02 \text{ m}^3/\text{h} (1,6 \times Q_1)$



6

Datos principales del proyecto



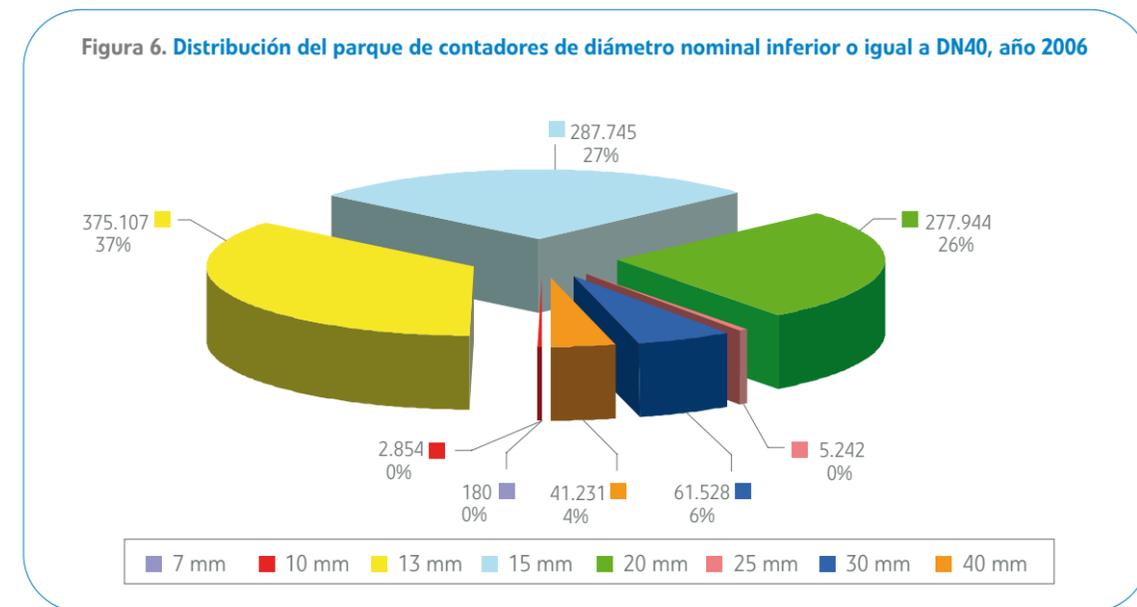
# 7

Caracterización del  
parque de contadores

En este apartado se hace un análisis de la composición del parque de contadores de Canal de Isabel II, de manera que se comprendan los criterios empleados en la selección de la muestra de contadores elegida para realizar los ensayos en campo de sus curvas de error.

El parque de contadores de Canal de Isabel II está constituido por un elevado número de marcas y modelos. Esto es debido, por un lado, a la antigüedad de la Empresa en las labores de suministro de agua y, por otro, a la gran cantidad de abastecimientos de agua de ámbito municipal asimilados o absorbidos en los últimos años que, evidentemente, seguían políticas de medición muy diferentes. La gran dispersión generada en cuanto a composición del parque de contadores aumenta significativamente la complejidad del estudio.

La figura 6 muestra la distribución, por diámetros, del parque de contadores de Canal de Isabel II al inicio del proyecto, extraída del sistema de información comercial, hasta el diámetro de 40 mm (el número de contadores de diámetro superior a 40 mm representa sólo el 3 por ciento del total del parque).



Los contadores que habitualmente se emplean para el registro del consumo doméstico corresponden a contadores de DN13 y DN15 de diámetro nominal. En la práctica, desde un punto de vista constructivo, de capacidad metrológica y de transporte de agua, los contadores de estos dos diámetros son exactamente iguales y la única diferencia entre ambos corresponde al diámetro de las roscas de conexión. A veces, en algunos abastecimientos y por cuestiones históricas, los contadores de 13 y 15 mm se instalan en viviendas de diferentes tipos (A, B, C, D y E según las N.I.A., Normas Básicas para las Instalaciones de Agua, Orden de 9 de diciembre de 1975). En estos casos, los contadores de 15 mm se utilizan para las viviendas con mayor caudal instalado (D y E), mientras que los de 13 mm se instalan en los tipos restantes.

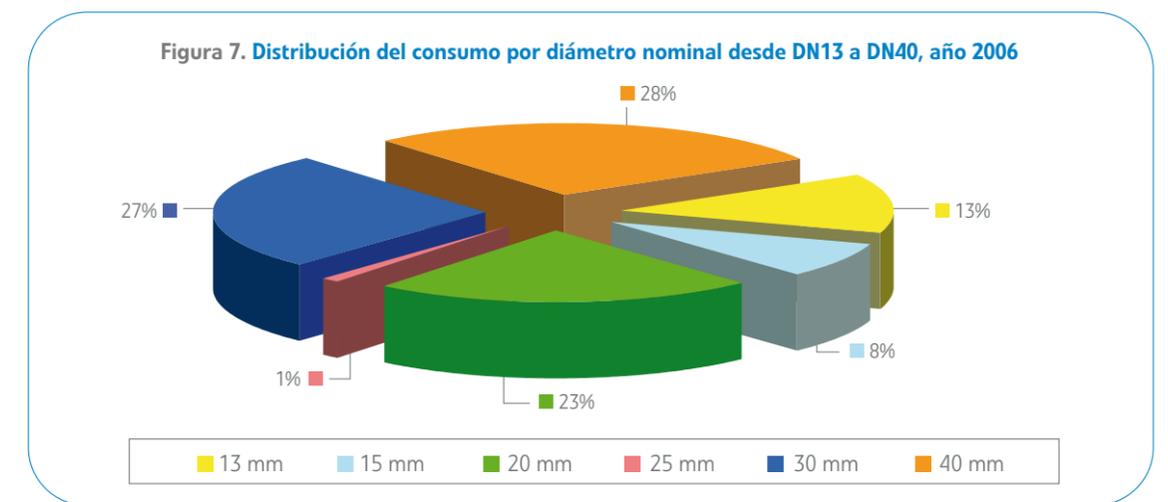
Se detecta una diferencia significativa en cuanto a la edad promedio de cada uno de los diámetros. Mientras que el 22,3 por ciento de los contadores de 13 mm superan los 10 años en servicio, sólo el 2,5 por ciento de los contadores de 15 mm supera dicha edad. De estos últimos, un 65 por ciento corresponde a contadores prácticamente nuevos, de menos de 5 años y de dos únicas marcas.

Algunos consumos de agua domésticos, principalmente de viviendas unifamiliares, pisos con gran superficie construida y acometidas de uso comercial, se registran mediante contadores de 20 mm, con mayor capacidad

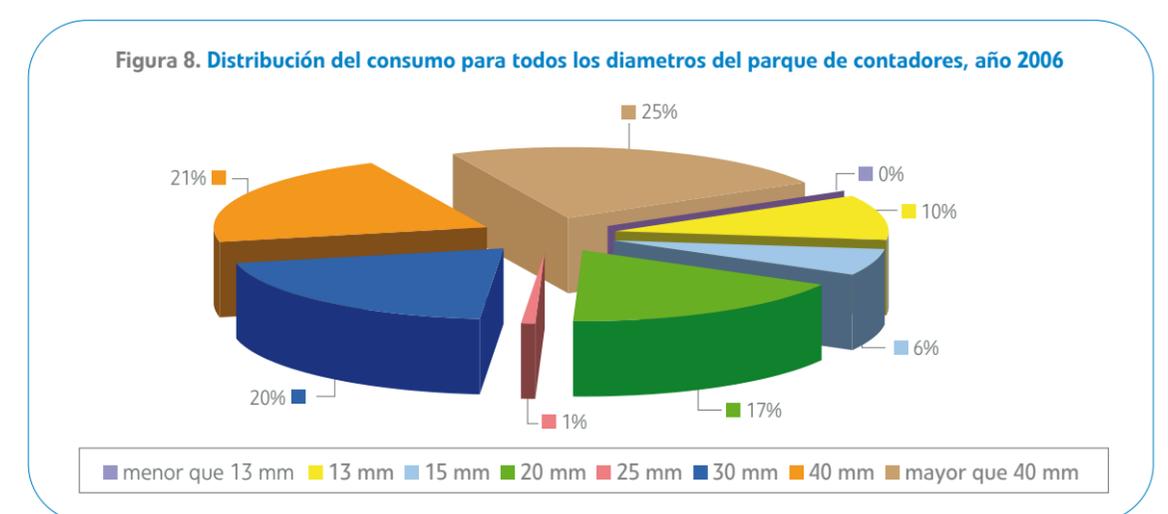
de caudal (caudal nominal 2,5 m<sup>3</sup>/h). La edad promedio y distribución por rangos de edad de estos contadores es similar a la de los contadores de 13 mm. Más de la mitad, casi un 53 por ciento, tiene menos de 5 años y casi un 20 por ciento tiene más de 10 años.

A partir de 25 mm de diámetro, el tipo de suministro corresponde prácticamente en su totalidad a consumo no residencial, por lo que los volúmenes mensuales registrados en cada acometida pueden llegar a ser considerables. Por ello, aunque menor en número, el peso de estos contadores en la facturación total es muy importante. En estos diámetros se aprecia un aumento significativo de la edad promedio. Más del 30 por ciento de los contadores de un diámetro superior (25, 30 y 40 mm) excede los diez años en uso.

Si se representa una gráfica con el peso relativo del volumen facturado por diámetros (figura 7), únicamente considerando los diámetros menores o iguales a 40 mm, se observa que prácticamente el 56 por ciento del consumo se registra mediante contadores de calibres 40, 30 y 25 mm, mientras que éstos, por número, únicamente suponen poco más del 10 por ciento en el parque de contadores.



El peso relativo del volumen facturado por diámetros considerando todos los diámetros presentes en el parque de contadores se refleja en la figura 8, en la que se observa la mayor proporción de los diámetros superiores.



8

Definición de la muestra

### 8.1. Objetivo

La población objeto del estudio se extiende a casi un millón de contadores. El análisis total de dicha población resultaba inviable, tanto técnica, como económicamente. Ha sido, por ello, necesario recurrir al estudio parcial de la misma a través de muestreos y, posteriormente, extrapolar los resultados obtenidos de los elementos seleccionados al resto de la población. Se han habilitado los recursos necesarios para poder realizar un estudio metrológico de 2.000 contadores de diámetro nominal inferior o igual a DN40, con unos criterios que garanticen que los resultados obtenidos de la muestra, relativos al error de medición a diferentes caudales, puedan extenderse al resto de contadores, con cierta fiabilidad. Es decir, que el grado de similitud entre el error promedio de los contadores de la muestra y el error promedio de aquellos contadores a los que representa sea aceptable, con un nivel de confianza elevado.

### 8.2. Justificación del tipo de muestreo elegido

Se ha optado por estratificar la población objeto del estudio en grupos definidos por variables que pudieran tener influencia en el estado metrológico de los mismos. Asimismo, se ha ponderado la importancia de estos grupos en función del objetivo principal del estudio, que trata de establecer el error de medición de los contadores, de un diámetro nominal inferior o igual a DN40, y determinar las variables que puedan afectar a dicho error de medición.

El elevado número de contadores instalados en la Comunidad de Madrid ha hecho que el estudio relativo a la metrología de los mismos se deba abordar desde un punto de vista estadístico, extrapolando al conjunto de la población los resultados obtenidos a partir de una muestra. Sin embargo, un proceso de este tipo lleva implícito cierto grado de incertidumbre y está sujeto a la aparición de sesgos y divergencias, que pueden tener carácter sistemático o aleatorio.

Podrían aparecer sesgos sistemáticos o no aleatorios si, por comodidad, sólo se ensayasen contadores que pertenecieran a determinado subgrupo, como por ejemplo, contadores instalados en batería o contadores de una determinada marca. Los resultados de los ensayos estarían sesgados hacia los valores típicos de estas categorías.

Los sesgos de tipo aleatorio podrían aparecer si se ensayan accidentalmente contadores con características inusuales. No obstante, el efecto en los resultados de este tipo de divergencias es tanto menor cuanto menor sea el tamaño de la muestra.

En nuestro caso, debido a la elevada probabilidad de aparición de sesgos sistemáticos, se ha decidido llevar a cabo el presente estudio a partir de una muestra elegida de forma aleatoria.

En concreto, se ha decidido definir una muestra aleatoria ponderada. Cuando la población incluye uno o varios grupos muy pequeños pero esenciales, hay el riesgo de que ningún miembro de ese grupo quede dentro de una muestra aleatoria. Para asegurar el ensayo de un número mínimo de elementos de estas minorías clave se incrementa deliberadamente la razón de la muestra sobre este grupo de especial importancia. Por supuesto, esto genera un desequilibrio en las mediciones que se obtienen a partir de la muestra ponderada, pero resulta extremadamente sencillo restaurar el equilibrio original. Esto se hace así cuando se combinan los resultados; por ejemplo, al calcular la media de todos los ensayos se dará al resultado de cada grupo, su peso real correspondiente al porcentaje real en la población. En el caso concreto del estudio que se aborda hay ciertos subgrupos a los que, por su importancia en la determinación de los factores de influencia de la

metrología de los contadores, se les ha asignado un peso mayor que el que les corresponde por su importancia en número dentro de la población. Por ejemplo, los contadores de mayor edad, aunque menos en número, resultan interesantes puesto que en ellos el efecto de las variables que alteran la curva de error se muestran con mayor intensidad.

### 8.3. Distribución de los ensayos en la población de contadores

El objetivo prioritario de la distribución de los ensayos en la muestra ha sido la adecuada representatividad del parque de contadores de Canal de Isabel II, contando con una óptima asignación de los recursos limitados de presupuesto y plazo. Se barajaron tres alternativas diferentes para la confección de la muestra, dependiendo de la variable que se pretendiera conocer mejor:

- El conocimiento del estado de los diferentes modelos y marcas de aquellas opciones que actualmente están en uso, repartiendo uniformemente la muestra entre las distintas alternativas, independientemente del número total de contadores de cada una en el abastecimiento. De este modo, la incertidumbre sobre el estado metrológico de cada modelo hubiera sido, en términos generales, bastante parecida
- El conocimiento del mayor número de clientes posible: así, los contadores de mayor calibre tendrían la misma importancia que los más pequeños, lo cual, no parece demasiado razonable teniendo en cuenta que los contadores de 25, 30 y 40 mm, aunque mucho menores en número, registran más volumen que todos los contadores de 13, 15 y 20 mm juntos, según se pudo observar en las figuras 6 y 7
- El reparto de la muestra de tal modo que se caracterice mejor o peor cada tipología de contador, en función de su importancia en el volumen total registrado. Si se hubiera escogido esta opción la muestra hubiera estado compuesta por un número considerable de contadores de mayor diámetro, por ser éstos los que más volumen registran

En este proyecto, finalmente, se decidió no decantarse por ninguna de las tres alternativas, sino utilizar elementos de las tres, estableciendo unos órdenes de prioridad para la estratificación de la muestra. Se ha dado una especial preponderancia al conocimiento del mayor número de clientes posibles. Sin embargo, se han utilizado algunos criterios técnicos y otros de volumen de agua suministrada para reorganizar la distribución de los ensayos.

Así, los contadores de más diámetro han tenido una razón de muestreo más alta que los contadores de 13 y 15 mm. No obstante, esta razón de muestreo no es tan alta como la que correspondería si el enfoque que se hubiera seguido en la distribución de la muestra fuese el tercero de los comentados en este apartado.

Algunos modelos de contador han sido descartados del estudio por tener un uso marginal, en un número de clientes reducido. Esta decisión no está de acuerdo con la filosofía del primer enfoque que tiene como objetivo estudiar la metrología de todos los contadores, independientemente de lo extensivo de su uso en el abastecimiento.

### 8.4. Estratos analizados

Para realizar un muestreo estratificado del parque de contadores se ha hecho necesario reducir el número de "clases" de contadores a analizar desde un punto de vista metrológico. Se ha considerado que las variables que pueden afectar en mayor grado a la metrología del contador, tanto a corto plazo, desde el momento de su instalación, como a largo plazo son las siguientes:

- El modelo de contador, que determina sus características constructivas y por tanto, metrológicas.

Las tecnologías empleadas habitualmente en los contadores de agua, para diámetros nominales hasta DN40 son:

- Contadores de velocidad o de turbina: esta categoría se encuentran los contadores de chorro único, de chorro múltiple y de turbina axial
- Contadores volumétricos: principalmente en España, de pistón rotativo

El parque de contadores de la Comunidad de Madrid contiene actualmente elementos exclusivamente del primer grupo.

El elevado número de abastecimientos cuya gestión ha sido encomendada o transferida a Canal de Isabel II, conocidos internamente como "asimilados", y el tamaño de la Empresa, con más de un millón de clientes, ha conducido a que el parque de contadores esté compuesto por un número considerable de marcas y modelos diferentes. Por este motivo, y con el fin de no estratificar en exceso el parque de contadores, se han descartado de la selección de muestra aquellos modelos minoritarios y que no representen a un determinado porcentaje de usuarios del abastecimiento.

Para la definición de la muestra se ha recurrido a una clasificación por las marcas o fabricantes más representativos dentro del parque.

- La clase metrológica del contador. Se han contemplado en la configuración de la muestra las dos clases metrológicas presentes en el parque de contadores:
  - Clase metrológica B: grupo mayoritario
  - Clase metrológica C
- La edad del contador. Los contadores de mayor edad han registrado, en general, un mayor volumen de agua, por lo que sus elementos móviles y los que están en contacto con el agua han sufrido mayor desgaste que los de los contadores más nuevos. Dado el gran número de diferentes modelos de contadores que se han venido utilizando en los abastecimientos que actualmente gestiona Canal de Isabel II, la estratificación en grupos de edad de los contadores se ha realizado en cuatro categorías de cinco años cada una.
- El consumo promedio del usuario. Este factor puede afectar, en uno u otro sentido, al estado en que se encuentra la curva de error a lo largo del tiempo en que el contador permanece en servicio. Teniendo en cuenta el gran número de usuarios, con características de consumo dispares presentes en los abastecimientos que gestiona Canal de Isabel II, se ha hecho necesario definir unos umbrales que puedan implicar un cambio en el comportamiento metrológico del contador, tanto a corto plazo como a medio y largo plazo.

La tabla 3 refleja los umbrales de consumo adoptados como criterio para estratificar la muestra, para cada diámetro. El porcentaje de usuarios con consumo inferior a dicho umbral se ha obtenido a partir de los datos de facturación de Canal de Isabel II.

Tabla 3. Umbrales de consumo, para la estratificación de la muestra, por consumo bimestral registrado

Diámetro (mm)	Umbral consumo (m <sup>3</sup> /bimestre)	Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	Usuarios con consumo inferior al umbral (%)
13/15	60	2	74
20	150	3	54
25	300	4	45
30	500	5	53
40	1.000	10	50

- Condiciones ambientales. Las condiciones ambientales pueden jugar un papel importante en el deterioro de los elementos móviles de un contador. La exposición de un contador a condiciones ambientales desfavorables puede afectar negativamente la metrología del mismo. En este sentido, se considera que los contadores que estén instalados en el exterior sometidos a temperaturas extremas y cambios bruscos, pueden deteriorarse más rápidamente que aquellos situados en armarios o baterías en el interior de los edificios.

### 8.5. Definición de la muestra objetivo para los ensayos en campo

Una vez identificadas las variables que mayor efecto puedan tener sobre la curva de error de los contadores con diámetro nominal inferior o igual a DN40, se ha procedido a la definición de la muestra por categorías. La selección de las marcas se ha llevado a cabo siguiendo los siguientes criterios, en los que se persigue principalmente cubrir el mayor número de usuarios, aunque sin descuidar el estudio de otras variables como la cantidad de modelos y el volumen total registrado.

- El peso de cada marca, dentro del grupo de edad y diámetro correspondiente, es superior al 5 por ciento
- Aquellas marcas que comprendan un número total de contadores superior a 1.000, aún con un peso dentro de su categoría inferior al 5 por ciento

Con estos criterios, las marcas seleccionadas para formar parte de la muestra han sido las representadas, por orden alfabético, en la tabla 4.

Teniendo identificadas las categorías que mayor peso tienen en los abastecimientos gestionados por Canal de Isabel II, se ha definido el número de contadores a ensayar de cada grupo. En este sentido, es preciso tener en cuenta que el tamaño de muestra total del estudio es de 2.000 contadores. Para ello, previendo la aparición de factores de influencia, no considerados en primera instancia, se definió una muestra inicial de 1.631 contadores, reservando el resto, para estudiar con mayor detalle aquellas variables de las que pudiera identificarse su influencia y no hubiesen estado consideradas inicialmente. Estos elementos adicionales podrían utilizarse, asimismo, para reducir en determinados estratos o subgrupos la incertidumbre relativa al error de medición asociada al estudio.

**Tabla 4. Marcas consideradas en la selección de la muestra**

Marcas de contadores
Andrae
Contagua
Contazara
Delaunet
Iberconta
Ruedagua
Tavira
Turbina
Zenner

Además, como se ha comentado, para posibilitar una representatividad adecuada de las características a analizar, a cada estrato se le ha asignado un número mínimo de ensayos.

El número mínimo de ensayos, para cada subgrupo, definido por una marca y un grupo de edad, se ha fijado en ocho, para los diámetros de 13/15 y 20 mm, y en seis para los diámetros superiores. El motivo es que, de este modo, se reduce la probabilidad de obtener conclusiones erróneas extraídas del ensayo de un único contador de cada clase.

Asimismo, permite distribuir la muestra de contadores de cada subgrupo entre otras variables consideradas, como por ejemplo el consumo registrado por periodo de facturación o el tipo de instalación del contador de agua.

Por otro lado, teniendo en cuenta que los contadores de mayor edad son los que muestran de modo más acusado el desgaste por la edad y otros factores, resulta interesante conocer su comportamiento con mayor detalle. El problema es que la contribución de los contadores de más de quince años en el parque es reducida. Por ello, a la hora de obtener la muestra, además de las consideraciones anteriores, se ha aplicado un coeficiente de ponderación que permita incrementar el peso de estos contadores en la misma. De igual manera, a los contadores de menos de cinco años, en los que no es previsible que se aprecien desviaciones metrológicas importantes, se les ha aplicado un coeficiente de ponderación menor que la unidad que permita minusvalorar este grupo de edad.

Finalmente, el número de contadores a ensayar de cada clase queda descrito en la tabla 5. El peso final de cada grupo de edad se ha visto condicionado por el criterio de seleccionar un número mínimo de contadores de cada grupo, especialmente de los diámetros superiores.

A su vez, cada grupo, se ha subdividido en rangos de consumo registrado, según los umbrales definidos en la tabla 3. Así, por ejemplo, de los contadores de 13 y 15 mm, la muestra de cada grupo se divide al 50 por ciento, entre contadores que registran más de 60 metros cúbicos cada bimestre y los que registran menos de ese volumen.

**Tabla 5. Definición de la muestra de contadores a ensayar, por marca y edad**

Diámetro	Marca	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	TOTAL
DN13	Marca 2	8	32	8	8	56
DN13	Marca 3	0	0	8	8	16
DN13	Marca 4	8	8	8	0	24
DN13	Marca 5	0	8	8	8	24
DN13	Marca 7	8	8	0	0	16
DN13	Marca 8	8	56	152	24	240
DN13	Marca 9	0	112	32	80	224
<b>TOTAL DN13</b>		<b>32</b>	<b>224</b>	<b>216</b>	<b>128</b>	<b>600</b>
DN15	Marca 1	0	0	40	0	40
DN15	Marca 3	0	0	16	48	64
DN15	Marca 4	8	8	0	0	16
DN15	Marca 5	0	8	16	8	32
DN15	Marca 7	8	0	0	0	8
DN15	Marca 8	8	8	112	64	192
<b>TOTAL DN15</b>		<b>24</b>	<b>24</b>	<b>184</b>	<b>120</b>	<b>352</b>
DN20	Marca 1	0	0	32	8	40
DN20	Marca 2	8	0	8	8	24
DN20	Marca 3	0	0	8	8	16
DN20	Marca 4	8	8	0	0	16
DN20	Marca 5	8	8	16	8	40
DN20	Marca 6	0	0	0	16	16
DN20	Marca 7	8	0	0	0	8
DN20	Marca 8	8	32	88	64	192
DN20	Marca 9	0	32	8	8	48
<b>TOTAL DN20</b>		<b>40</b>	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>120</b>	<b>400</b>
DN25	Marca 2	0	6	6	0	12
DN25	Marca 4	6	6	6	0	18
DN25	Marca 5	0	6	6	6	18
DN25	Marca 7	6	0	0	0	6
DN25	Marca 8	6	0	6	0	12
DN25	Marca 9	0	6	6	6	18
<b>TOTAL DN25</b>		<b>18</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>84</b>
DN30	Marca 4	6	0	0	0	6
DN30	Marca 5	0	12	6	0	18
DN30	Marca 8	12	6	12	6	36
DN30	Marca 9	0	6	24	6	36
<b>TOTAL DN30</b>		<b>18</b>	<b>24</b>	<b>42</b>	<b>12</b>	<b>96</b>
DN40	Marca 4	9	6	0	0	15
DN40	Marca 5	6	18	12	6	42
DN40	Marca 6	0	0	0	6	6
DN40	Marca 7	6	0	0	0	6
DN40	Marca 8	0	0	12	6	18
DN40	Marca 9	0	0	6	6	12
<b>TOTAL DN40</b>		<b>21</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>99</b>
<b>TOTALES</b>		<b>153</b>	<b>400</b>	<b>662</b>	<b>416</b>	<b>1.631</b>

Análogamente, se ha subdividido la muestra entre contadores situados en el exterior y contadores situados en el interior de los edificios.

Por otro lado, de los grupos definidos por las anteriores variables, la mitad de los contadores pertenecen a clientes localizados en Madrid capital y la otra mitad a usuarios situados en las poblaciones aledañas.

De este modo, las variables que deben contemplarse a la hora de seleccionar un contador para su ensayo en campo se resumen a continuación:

- Diámetro: comprendido entre DN13 y DN 40
- Marca/tecnología: 9 marcas diferentes
- Edad: se han establecido 4 grupos de antigüedad
- Consumo registrado: cada grupo definido por las variables anteriores se ha subdividido en rangos de consumo, correspondiendo el 50 por ciento de los contadores a "consumo alto" y el 50 por ciento a "consumo bajo" (según un umbral de consumo establecido para cada diámetro)
- Instalación: 50 por ciento en emplazamiento de interior y 50 por ciento en exterior
- Situación geográfica: 50 por ciento en Madrid capital y 50 por ciento en resto de municipios

Para seleccionar a los usuarios de cada grupo, definidos por las anteriores características según el diámetro, se han elaborado listados a partir del sistema de información de clientes, en los que se han incluido todos los contadores que cumplen con las condiciones del grupo. De éstos, se han elegido de forma aleatoria un número superior al número de contadores a ensayar en campo. Los contadores se han ensayado según el orden de dicha lista. De este modo se ha asegurado que los usuarios queden distribuidos geográficamente de manera aleatoria y se ha reducido al máximo la probabilidad de que aparezcan sesgos en la definición final de la muestra.

## 8.6. Cobertura de la muestra

El porcentaje de contadores que quedan representados con la muestra planteada es de aproximadamente el 98,6 por ciento del parque, con diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40. El 1,4 por ciento restante son contadores que no quedan representados en la muestra y corresponden a marcas y modelos minoritarios que en muchos casos ya no se utilizan. De hecho, los mayores porcentajes de cobertura se obtienen para los grupos de contadores con fecha de instalación más reciente, alcanzándose un promedio del 99,2 por ciento de cobertura para los contadores instalados entre 2001 y 2005.

En cualquier caso, también cabe señalar que las conclusiones que se puedan extraer relativas a contadores con determinadas características constructivas podrán, en algunos casos, ser extrapoladas a contadores similares, aunque no se hayan tenido en cuenta en la elaboración de la muestra.

9

Equipos portátiles de verificación en  
campo empleados

Para llevar a cabo los ensayos en la instalación del cliente se han diseñado y fabricado una serie de equipos portátiles de verificación en campo, que se han utilizado como dispositivos de referencia con los que comparar las medidas de los contadores de los usuarios.

Las prestaciones requeridas a unos equipos de este tipo son muy exigentes:

- Contador patrón de alta precisión
- Sistema de registro de datos fiable
- Válvulas de corte y regulación fáciles de manejar
- Tamaño y peso limitados
- Autonomía, robustez y portabilidad, adecuadas para ensayos en campo

Dado la dificultad inicial de configurar un único equipo de verificación que permita el ensayo fiable en todo el rango de caudales requerido, desde 15 hasta 10.000 l/h, se decidió disponer de dos tamaños de equipo.

En total, se han fabricado 8 equipos portátiles de verificación en campo:

- Seis equipos de tamaño pequeño (configuración tipo "A"), para el ensayo de contadores de cliente, de diámetros nominales DN13, DN15, DN20 y DN25 y caudal nominal hasta 3.500 l/h<sup>1</sup>, (figura 9)
- Dos equipos de tamaño grande (configuración tipo "B"), que permiten además el ensayo de los contadores de diámetro nominal DN30 y DN40 y caudal nominal hasta 10.000 l/h, (figura 10)

Como contador patrón se ha empleado un contador volumétrico, de pistón rotativo, de clase metrológica C, de diámetro nominal DN15, con emisor de pulsos, en el caso de los equipos de tamaño pequeño.

Los equipos de tamaño grande incorporan dos contadores: un primer contador de las mismas características que el instalado en los equipos de configuración tipo "A", de diámetro nominal DN15, y un segundo contador, de diámetro nominal DN30, para el ensayo de caudales superiores, hasta 10.000 l/h.

Para el ajuste de los diferentes caudales en los ensayos en campo, dispone de una serie de válvulas de regulación de tipo globo o aguja, de diferentes tamaños, que permiten cubrir el rango de caudales objeto del ensayo, desde el caudal de arranque del contador a verificar, hasta el caudal máximo.

El equipo incorpora, además, una válvula de corte para la entrada de agua, una válvula para la salida de agua, un filtro para proteger los contadores patrón y el resto de elementos del equipo, una válvula de vaciado o purga, una sonda de presión del agua, una sonda de temperatura ambiente y una sonda de temperatura del agua.

La conexión del equipo portátil a la toma de muestra situada aguas abajo del contador a verificar se realiza mediante una manguera o tubería flexible reforzada de entrada, dotada en sus extremos de racores tipo enchufe rápido.

**Figura 9. Equipo portátil de verificación en campo, de tamaño pequeño (configuración tipo "A")**



**Figura 10. Equipo portátil de verificación en campo, de tamaño grande (configuración tipo "B")**



<sup>1</sup> Este equipo es capaz de realizar ensayos hasta 3.500 l/h, aunque en este proyecto sólo se ha empleado para realizar ensayos hasta 3.000 l/h.

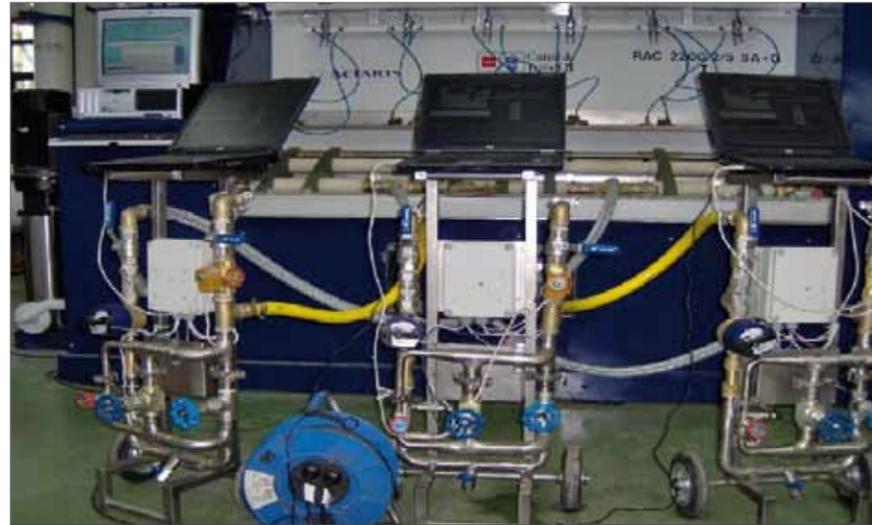


**10**

Verificación de los equipos  
en laboratorio

Una vez validado el diseño definitivo, los equipos fabricados se sometieron, antes de comenzar los ensayos en campo, a repetidos ciclos de verificación en el Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II. Se realizaron 20 ciclos de verificación, en dos bancos de ensayo diferentes, obteniéndose los valores de error inicial de los equipos, así como las incertidumbres de medida asociadas.

Figura 12. Verificación en laboratorio de los equipos portátiles de verificación en campo



Con las verificaciones realizadas en el laboratorio se determinaron los errores de indicación de los 8 equipos patrón a diferentes caudales, para efectuar la corrección oportuna de los errores de indicación de los contadores ensayados en finca, a esos mismos caudales, y así determinar la curva de error real de dichos contadores.

### 10.1. Descripción de los bancos de ensayo empleados en laboratorio

Los dos bancos de ensayo empleados en las verificaciones iniciales de los equipos portátiles de verificación en campo son equipos automáticos, aptos para realizar verificación de contadores de agua fría, de diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40, mediante sistemas gravimétricos de medición.

El sistema gravimétrico de medición consiste en la determinación del caudal en una conducción cerrada, a partir de la cuantificación de la masa vertida en un depósito gravimétrico, durante un tiempo determinado. El depósito gravimétrico se sitúa sobre una balanza de precisión.

Ambos bancos disponen de controladores de velocidad para el accionamiento de las bombas de agua, proporcionando así el flujo de agua requerido en cada ensayo. Además, disponen de tres líneas de regulación de caudal formadas por sendas válvulas de regulación comandadas eléctricamente de forma automática, y que permiten a los equipos el ajuste del caudal de ensayo programado.

En el presente documento se ha empleado la siguiente nomenclatura:

- BANCO N° 1: Banco marca ACTARIS, modelo RAC2200/2/5-SA-G (I)
- BANCO N° 2: Banco marca ACTARIS, modelo RAC2200/2/5-SA-G (II)

Cada uno de los bancos permite distribuir los contadores a ensayar en dos líneas de ensayo, las cuales se encuentran conectadas en serie.

### 10.2. Procedimiento de verificación en laboratorio

Los trabajos de verificación inicial en laboratorio tuvieron por objeto la determinación del error de medición inicial de cada uno de los equipos. Los caudales y aforos de ensayo en laboratorio corresponden a los caudales y aforos de ensayo que se emplearán en los ensayos en finca. El proceso de obtención de los caudales y aforos en el laboratorio se ha automatizado de manera que no sea necesaria la intervención de operarios que maniobren las válvulas de regulación de los equipos portátiles de verificación en campo.

Se definieron dos tipos de ciclos de verificaciones, uno para cada tamaño de equipo portátil de verificación en campo. En cada ciclo se realizaron siete ensayos consecutivos e ininterrumpidos (para no cambiar las condiciones del ensayo) por orden decreciente de caudal, al volumen de aforo correspondiente.

Tabla 6. Ciclo de verificaciones empleado para los equipos de verificación en campo de tamaño pequeño o configuración "A" (numerados del 1 al 6)

Ensayo	Caudal ensayo	Volumen ensayo
Número	(l/h)	(l)
1	3.000	200
2	2.500	100
3	750	100
4	120	20
5	60	20
6	30	10
7	15	10

Tabla 7. Ciclo de verificaciones empleado para los equipos de verificación en campo de tamaño grande o configuración "B" (numerados como 7 y 8)

Ensayo	Caudal ensayo	Volumen ensayo
Número	(l/h)	(l)
1	10.000	200
2	7.500	200
3	3.000	100
4	2.500	100
5	750	100
6	120	20
7	60	20

Como se ha indicado, la verificación inicial se llevó a cabo en los dos bancos que el laboratorio de Canal de Isabel II tiene, para el ensayo de estos caudales, realizando 10 ciclos completos en un banco y después, otros 10 ciclos completos en el otro banco; en total 20 ciclos completos. En cada ensayo se registró el volumen aforado por el banco y el volumen aforado por cada uno de los equipos.

La conexión de los equipos portátiles de verificación en campo en los bancos se realizó colocando hasta tres equipos en serie en cada banco, unidos por sucesivos latiguillos reforzados. Antes de comenzar cada uno de los ciclos de verificación, se vigilaron, con especial atención, aspectos hidráulicos como la presión en el circuito y la ausencia de fugas, tanto en las conexiones, como en los propios equipos portátiles. También se comprobó el buen estado de las sondas de presión y temperatura de todos los componentes electrónicos de los equipos (data logger, ordenador portátil, baterías, etc.) y de las conexiones.

Con respecto a la presión en el circuito cerrado formado por el banco y los equipos portátiles de verificación en campo, hay que destacar que fue necesario adaptar el funcionamiento interno de los bancos a los ensayos de verificación, de manera que en ningún momento del ciclo la presión caiga por debajo de 0,6 bar. De igual modo, la conexión entre equipos se realizó de manera que el agua no pasase por las electroválvulas de los mismos, debido a que al tratarse de un circuito cerrado, estas electroválvulas hubieran cerrado el paso del agua, al estar pensadas para la maniobra de apertura-cierre en los ensayos en campo, donde se encuentran en un circuito abierto.

### 10.3. Determinación del error de medición de los equipos en laboratorio

El error de medición de un equipo se calcula mediante la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{(V_i)(1 + \varepsilon_{patrón})}{V_{patrón}} - 1$$

Donde:

$V_i$

Es el volumen indicado por el contador objeto de ensayo. Diferencia entre la lectura inicial y la lectura final.

En el caso de las verificaciones en el laboratorio, se trata del volumen indicado por el equipo portátil de verificación en campo, y en el caso de los ensayos en campo, se trata del volumen indicado por el contador de cliente a ensayar.

$V_{patrón}$

Es el volumen indicado por el contador patrón.

En el caso de las verificaciones en el laboratorio, se trata del volumen indicado por el banco de ensayo correspondiente, y en el caso de los ensayos en campo, se trata del volumen indicado por el equipo portátil de verificación en campo.

$\varepsilon_{patrón}$

Es el error relativo (por unidad) del contador patrón al caudal de ensayo.

En el caso de las verificaciones en el laboratorio, este valor es despreciable. En el caso de los ensayos en campo, se trata del error obtenido de las verificaciones periódicas en laboratorio.

Como ya se ha comentado, en las verificaciones iniciales se realizaron 10 verificaciones a cada caudal, primero en un banco y después en el otro.

El valor de error de medición de cada equipo portátil de verificación en campo, en cada uno de los bancos, se ha tomado como el valor promedio de los 10 valores de error correspondientes a cada ciclo.

De esta forma, se han obtenido los valores de error que se relacionan en las tablas 8, 9, 10 y 11; que se ilustran representados en forma de curvas en las figuras 13, 14, 15 y 16.

Tabla 8. Error promedio de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	0,04	-3,17	-0,04	-0,09	-1,31	0,04
2.500	-0,02	-3,24	-0,19	-0,10	-1,34	-0,07
750	1,57	-0,86	1,59	1,62	0,90	1,57
120	1,68	0,83	1,38	1,78	1,63	1,68
60	0,97	0,33	0,93	1,22	1,23	1,07
30	0,65	-0,12	0,22	0,75	1,07	0,75
15	-0,92	-2,40	-0,57	-0,62	0,69	-0,52

Figura 13. Curvas de error de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1

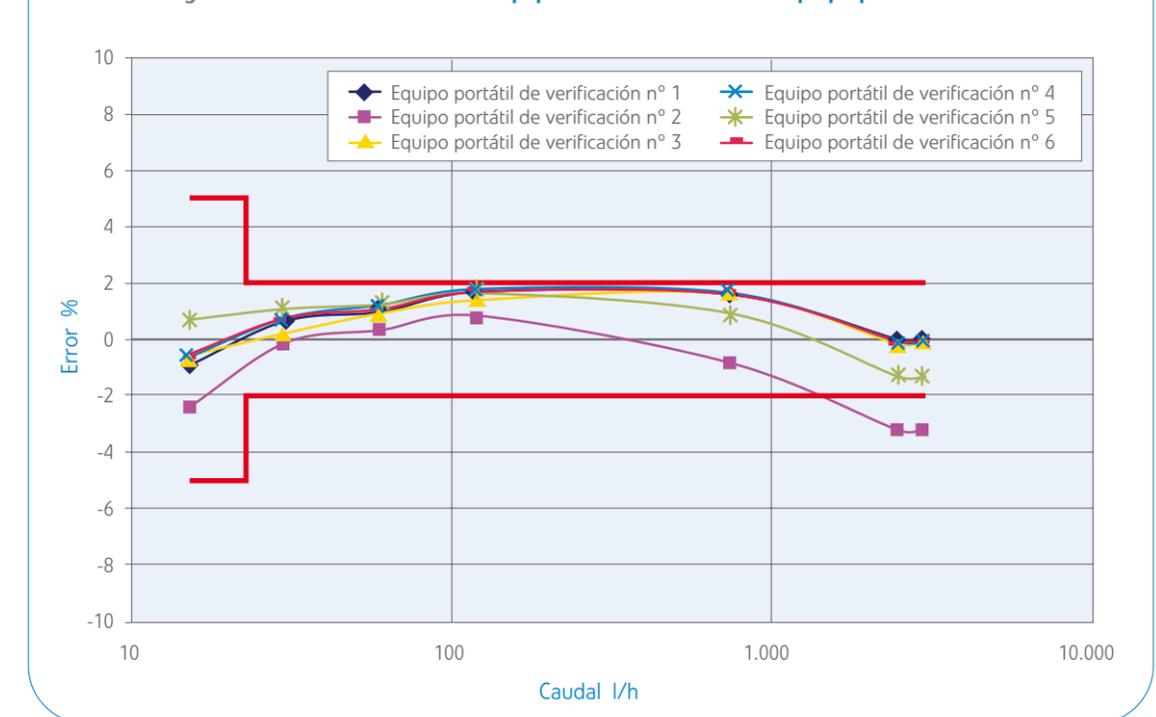


Tabla 9. Error promedio de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	-0,44	-2,21	-0,45	-0,60	-1,03	-0,40
2.500	-0,25	-1,69	-0,21	-0,53	-0,47	-0,26
750	0,84	0,06	0,95	0,57	0,77	0,88
120	1,52	1,28	1,51	1,42	1,87	1,57
60	0,98	0,80	0,86	0,93	1,14	0,93
30	-0,55	-0,29	0,16	-0,74	0,50	-0,35
15	-0,96	-1,83	-0,75	-1,55	-0,54	-0,47

Tabla 10. Error promedio de los equipos de verificación en campo grande - Banco 1

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	-0,10	-0,15
7.500	0,08	0,18
3.000	-0,82	-0,69
2.500	-0,64	-0,54
750	0,60	0,75
120	1,47	1,47
60	0,77	0,92

Figura 14. Curvas de error de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2

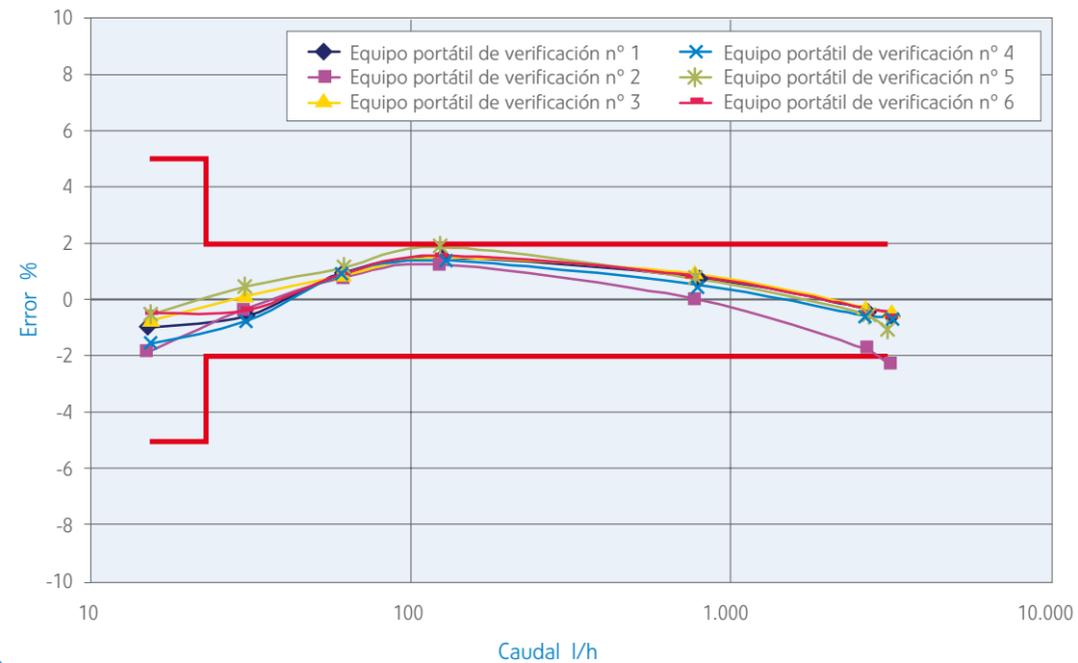


Figura 15. Curvas de error de los equipos de verificación en campo grande - Banco 1

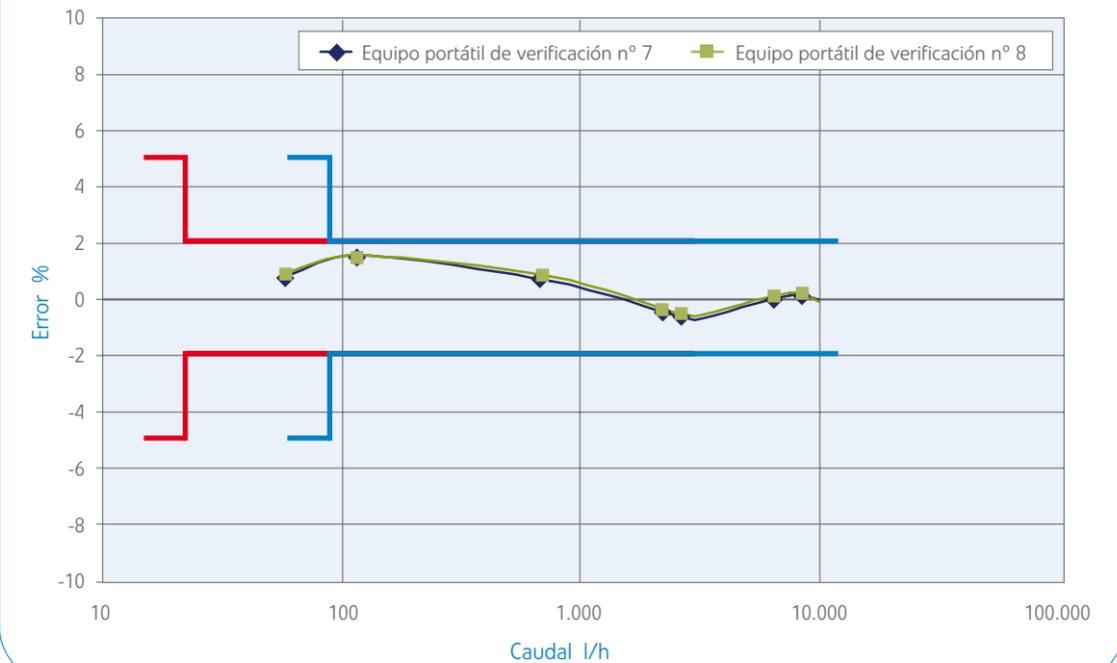
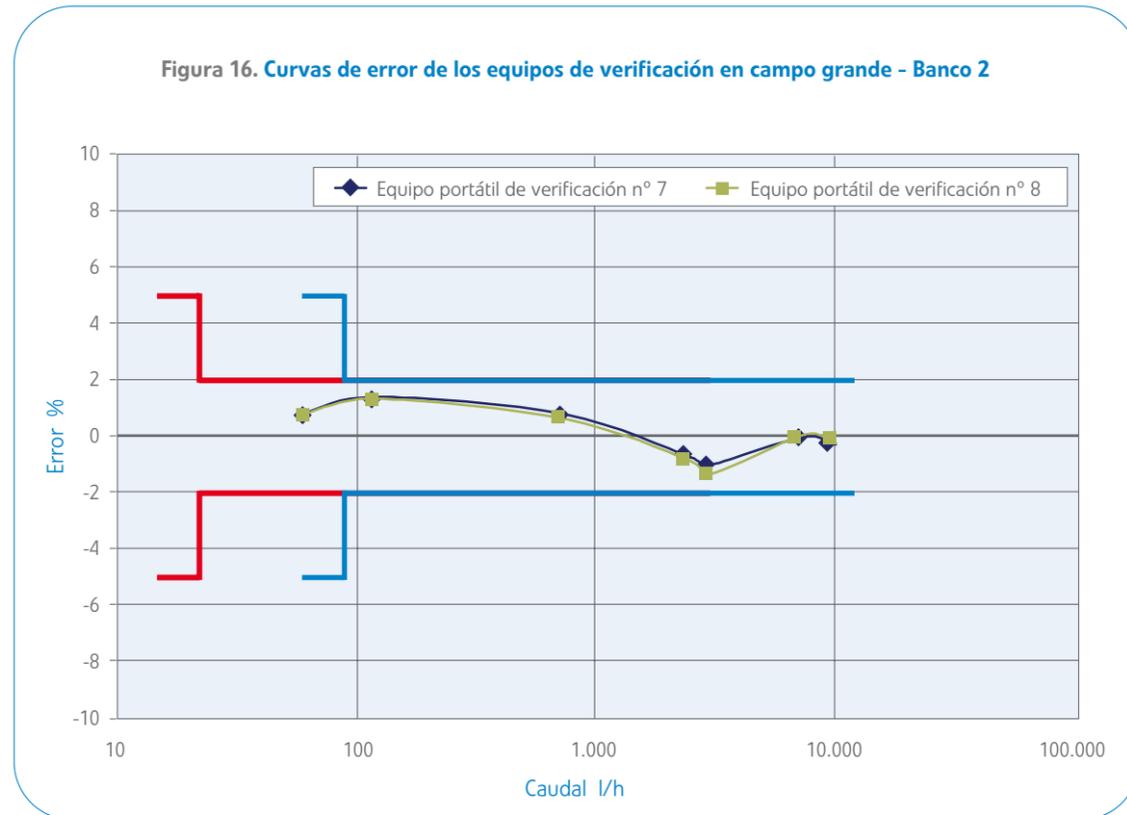


Tabla 11. Error promedio de los equipos de verificación en campo grande - Banco 2

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	-0,22	-0,27
7.500	0,07	0,02
3.000	-1,32	-0,98
2.500	-0,85	-0,73
750	0,63	0,80
120	1,36	1,41

Figura 16. Curvas de error de los equipos de verificación en campo grande - Banco 2



En las figuras anteriores se puede observar como la mayor parte de las curvas de error de los contadores patrón están contenidas entre los límites definidos en la Directiva 75/33/CEE, para contadores nuevos. Asimismo, en la figura 15 (banco 1) y en la figura 16 (banco 2) se puede observar un desnivel, debido a que los equipos de verificación grandes disponen de dos contadores; el primer contador, DN15, destinado al ensayo de caudales hasta 3.000 l/h; y el segundo contador, DN30, para el ensayo de caudales superiores, hasta 10.000 l/h.

#### 10.4. Determinación de la incertidumbre de medida de los equipos en laboratorio

Se ha realizado un análisis de la incertidumbre de medida de cada uno de los equipos, en cada uno de los dos bancos de ensayo empleados.

En el presente apartado se detallan los métodos empleados para calcular este parámetro.

El primer paso consiste en identificar las posibles fuentes de incertidumbre.

##### Incertidumbre debida al dispositivo patrón empleado

A efectos del cálculo, esta incertidumbre se denominará como  $u_0$ .

En el caso de las verificaciones en laboratorio, el dispositivo patrón empleado es el banco de ensayo, y el valor de su incertidumbre se ha obtenido de los certificados de calibración proporcionados por el fabricante.

$$u_0 = 0,144\%$$

##### Incertidumbre debida a la resolución de lectura en el contador ensayado

El volumen contabilizado por el contador ensayado (equipo portátil de verificación en campo, en el caso de las verificaciones en laboratorio), se obtiene a partir de la diferencia de lecturas, antes y después de la prueba. Por ello, la determinación del volumen contabilizado depende de la resolución con la que se pueda leer su índice.

En este caso la incertidumbre asociada a una sola lectura se obtiene de:

$$u_c = \frac{d_c}{2\sqrt{3} \cdot V_{ensayo}} \quad (1 \text{ lectura})$$

Donde:

$d_c$  es la resolución del contador ensayado

$V_{ensayo}$  es el volumen aforado

Cuando el volumen aforado se calcula a partir de la diferencia de dos lecturas, la incertidumbre se determina mediante la siguiente expresión:

$$u_c = \frac{d_c}{\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot V_{ensayo}} \quad (2 \text{ lecturas})$$

En el caso que nos ocupa, los equipos portátiles evalúan el volumen aforado como diferencia de dos lecturas, por lo que se utilizará esta última expresión.

Donde:

$$d_c = 0,1 \text{ l (resolución de lectura del equipo portátil)}$$

#### Incertidumbre debida a la resolución de lectura en el contador patrón

Cuando el ensayo se realice mediante un contador patrón, la incertidumbre asociada a la lectura del instrumento de comparación ( $u_p$ ) se obtiene del mismo modo que lo explicado en el apartado anterior.

$$u_p = \frac{d_0}{2\sqrt{3} \cdot V_{ensayo}} \quad (1 \text{ lectura})$$

$$u_p = \frac{d_0}{\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot V_{ensayo}} \quad (2 \text{ lecturas})$$

En este caso, la incertidumbre  $u_p$  debida a la resolución de lectura del banco de ensayo se calculará mediante una u otra fórmula, dependiendo de si el banco ha calculado el volumen aforado a partir de una única lectura, o como diferencia entre dos lecturas.

Donde:

$$d_0 = 0,001 \text{ l (resolución de lectura del banco)}$$

#### Incertidumbre debida a la estabilidad del caudal

Cuando durante el ensayo es imposible mantener un caudal constante, aparece un término de incertidumbre debido a la falta de estabilidad del caudal. Esta componente puede llegar a ser importante a caudales bajos, inferiores al caudal de transición. Para que el ensayo sea válido las normas internacionales (ISO 4064:2005, EN 14154) exigen que el caudal, una vez alcanzado el caudal de régimen, no varíe en más de un 2,5 por ciento, si el ensayo se realiza entre caudal mínimo y de transición; y un 5 por ciento, a caudales superiores a este último. Si se cumplen estas restricciones, se puede considerar despreciable este término de la incertidumbre, como se ha hecho en este caso.

#### Incertidumbre debida al valor real del caudal de ensayo

Otra fuente de incertidumbre importante es la relacionada con la asignación del error a un caudal de ensayo diferente del real. Esto es debido a que frecuentemente, para simplificar el análisis de los datos, el caudal al que

se asocia el error de medición es el que se ha definido en el protocolo de ensayo, y que se trata de ajustar al inicio; y no al caudal real al cual se realiza el ensayo.

Para estimar su orden de magnitud se puede utilizar la siguiente aproximación:

$$u_{Q_{ensayo}} = 0,2 \cdot Abs(\varepsilon_{Q_{ensayo}}(p \cdot u))$$

Con respecto a las verificaciones llevadas a cabo en el laboratorio, se ha despreciado esta componente de la incertidumbre debido a la precisión con la que se consigue el caudal de ensayo, y a la elevada estabilidad del mismo en el banco.

#### Incertidumbre combinada

Finalmente, la estimación de la incertidumbre combinada asociada al ensayo, teniendo en cuenta que los coeficientes de sensibilidad de cada término adoptan como valor la unidad, se calculará mediante la siguiente expresión:

$$u = \sqrt{(u_0)^2 + (u_c)^2 + (u_p)^2 + (u_{Q_{ensayo}})^2}$$

#### Incertidumbre expandida

En el supuesto de que la incertidumbre combinada esté compuesta por cuatro contribuciones de magnitudes comparables e independientes, puede aplicarse el teorema central del límite, asumiéndose que la incertidumbre combinada sigue una distribución normal. La incertidumbre expandida se obtiene multiplicando la incertidumbre combinada por el factor de cobertura,  $k$ .

$$U = k \cdot u \quad \text{Incertidumbre expandida}$$

Con un valor  $k$  igual a 2, se obtiene una probabilidad de cobertura aproximada del 95 por ciento; suficientemente aceptable.

En las tablas 12, 13, 14 y 15 se resumen los valores de la incertidumbre expandida, así calculada, en cada uno de los dos bancos para cada uno de los equipos portátiles de verificación en campo.

Tabla 12. Incertidumbre expandida (%), calculada en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
2.500	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
750	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
120	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
30	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
15	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87

Tabla 13. Incertidumbre expandida (%), calculada en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
2.500	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
750	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
120	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
30	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
15	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87

Tabla 14. Incertidumbre expandida (%), calculada en equipos de verificación en campo grande - Banco 1

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	0,50	0,50
7.500	0,50	0,50
3.000	0,30	0,30
2.500	0,30	0,30
750	0,30	0,30
120	0,50	0,50
60	0,50	0,50

Tabla 15. Incertidumbre expandida (%), calculada en equipos de verificación en campo grande - Banco 2

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	0,50	0,50
7.500	0,50	0,50
3.000	0,30	0,30
2.500	0,30	0,30
750	0,30	0,30
120	0,50	0,50
60	0,50	0,50

## Evaluación de la incertidumbre suponiendo una distribución "t de Student"

La distribución t de Student puede presuponerse siempre que se cumplan las condiciones de normalidad, y los grados de libertad no lleguen a 30.

En estas circunstancias, puede declararse lo siguiente:

$$U = t \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$n$  = número de grados de libertad

En este caso,  $n = 10$  (número de repeticiones en cada banco)

$t$  = "t de Student" para  $n - 1$  grados de libertad

En este caso,  $t = 2,2622$  ("t de Student" para 9 grados de libertad)

$S$  = desviación típica

La incertidumbre así evaluada proporciona un nivel de confianza de aproximadamente el 95 por ciento.

En las tablas 16, 17, 18 y 19 se presentan los valores de las incertidumbres así evaluadas, en uno y otro banco.

**Tabla 16. Incertidumbre (%), evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1**

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	0,05	0,18	0,03	0,04	0,26	0,04
2.500	0,21	0,15	0,03	0,07	0,23	0,06
750	0,02	0,11	0,06	0,04	0,18	0,06
120	0,18	0,17	0,48	0,18	0,17	0,18
60	0,18	0,18	0,39	0,20	0,11	0,23
30	0,41	0,35	0,75	0,30	0,37	0,30
15	1,65	0,41	0,36	1,47	0,02	1,74

**Tabla 17. Incertidumbre (%), evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2**

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación 1	Equipo portátil de verificación 2	Equipo portátil de verificación 3	Equipo portátil de verificación 4	Equipo portátil de verificación 5	Equipo portátil de verificación 6
3.000	0,09	0,23	0,04	0,10	0,25	0,10
2.500	0,04	0,13	0,03	0,16	0,05	0,06
750	0,06	0,11	0,04	0,12	0,09	0,06
120	0,21	0,51	0,29	0,09	0,38	0,16
60	0,16	0,43	0,51	0,16	0,48	0,16
30	0,74	0,35	0,31	0,92	0,38	0,87
15	0,43	0,76	0,51	0,66	0,60	0,37

**Tabla 18. Incertidumbre (%), evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo grande - Banco 1**

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	0,14	0,18
7.500	0,04	0,13
3.000	0,11	0,13
2.500	0,08	0,10
750	0,05	0,08
120	0,01	0,16
60	0,22	0,19

**Tabla 19. Incertidumbre (%), evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo grande - Banco 2**

Caudal ensayo (l/h)	Equipo portátil de verificación - 7	Equipo portátil de verificación - 8
10.000	0,12	0,17
7.500	0,11	0,17
3.000	0,28	0,11
2.500	0,25	0,06
750	0,06	0,06
120	0,18	0,19
60	0,22	0,29

### 10.5. Conclusiones de las verificaciones iniciales en el laboratorio

Con los datos obtenidos en las verificaciones iniciales, se determinó el error de medición de cada equipo de verificación en campo, a cada uno de los caudales, así como la incertidumbre de medida asociada. Del análisis de los datos, y de la intercomparación de resultados en uno y otro banco, se concluyó lo siguiente:

- Los equipos portátiles de verificación en campo son aptos para la realización de los ensayos en campo objeto del proyecto, ya que las incertidumbres de medida en ambos bancos se encuentran dentro de un rango de valores razonablemente aceptable:
  - La incertidumbre expandida no supera en ningún caso el 0,9 por ciento
  - La incertidumbre evaluada por métodos estadísticos no supera, en ningún caso, el 1,8 por ciento

- Parece más conveniente utilizar los ensayos del banco número 2 como referencia. En este banco, los ensayos fueron más repetitivos y los errores determinados estuvieron más cerca unos de otros
- Los valores de error de medición de los equipos en el banco número 2 se han empleado para corregir los resultados de los ensayos de verificación de contadores en finca, realizados a esos mismos caudales y con los mismos volúmenes de aforo de referencia

### 10.6. Verificaciones sucesivas en el laboratorio

Durante el desarrollo del proyecto se continuaron realizando verificaciones regulares a los equipos en el laboratorio de Canal de Isabel II, con periodicidad mensual, para el aseguramiento de las características metrológicas de los mismos. El criterio de aceptación de los equipos ha consistido en que en la verificación correspondiente en laboratorio, los resultados del ensayo a cualquier caudal no se desviaran en más de un 2 por ciento de los valores de error obtenidos en la verificación inicial, o en la verificación sucesiva inmediatamente anterior.

En las verificaciones sucesivas, además de comprobar el estado del contador, se comprobó la estanqueidad de las válvulas de corte y de las conexiones que posteriormente se utilizaban para los ensayos en campo.

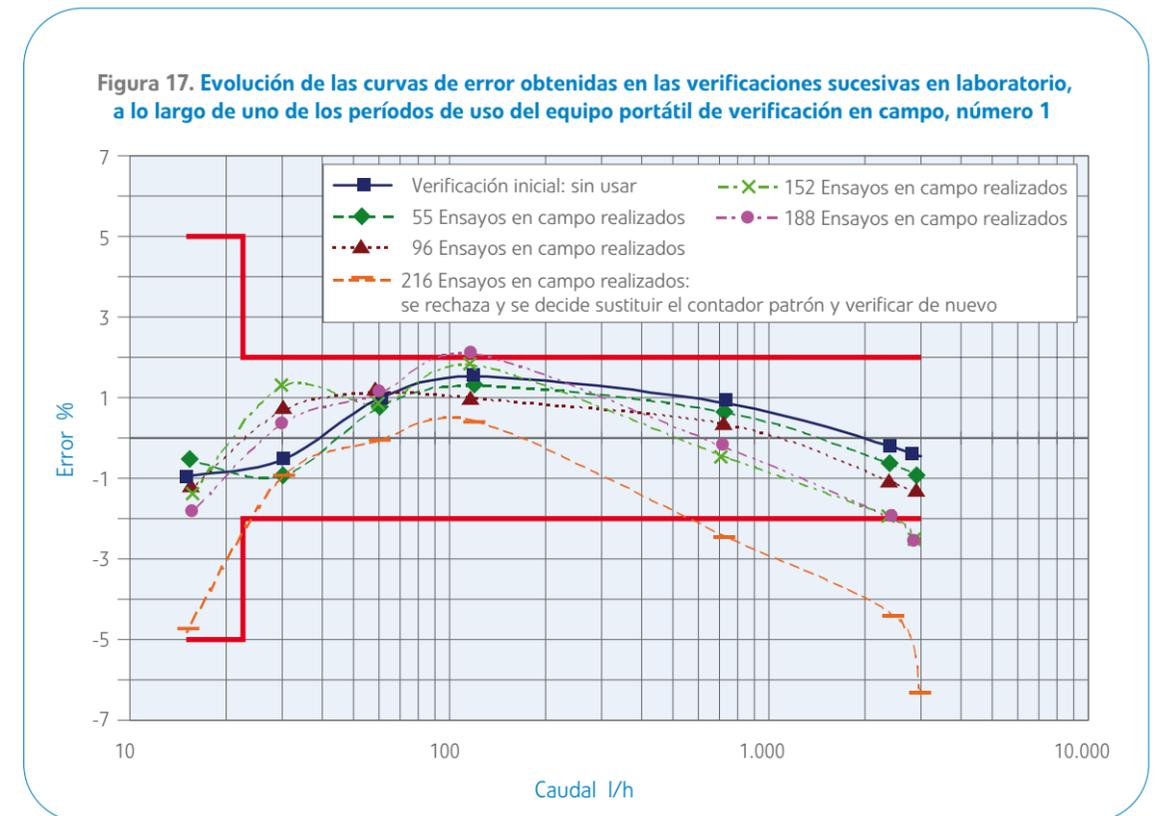
En estas verificaciones se realizaron al menos dos ciclos completos a cada caudal, en algún caso tres ciclos si se observó dispersión en los valores. Como resultado de la verificación a cada caudal, se consideró el promedio de los dos o tres valores obtenidos.

Al igual que los contadores instalados en las fincas de los clientes pierden precisión con el tiempo, se ha observado que los contadores patrón de los equipos de verificación en campo pierden precisión con el uso incluso más rápidamente en el caso de este proyecto, debido al gran número de ensayos realizados y, sobre todo al número, aún mayor, de desplazamientos que ha sido necesario efectuar con los equipos para efectuar los ensayos.

De este modo, como ya se ha comentado al hablar del criterio de aceptación, se han estado rechazando los equipos portátiles de verificación que se desviaban en el ensayo en laboratorio, más de un 2 por ciento, sobre los valores de referencia. En estos casos, el procedimiento seguido ha sido sustituir el contador patrón del equipo portátil, volver a verificar el equipo completo en laboratorio, y por último, repetir los ensayos en campo.

Durante la fase de ensayos en campo se han sustituido, al menos una vez, todos los contadores patrón de los equipos.

Como ejemplo ilustrativo de lo mencionado anteriormente, se muestra en la figura 17 la pérdida de precisión, con el tiempo, de uno de los equipos de verificación en campo; el equipo número 1. En las primeras verificaciones sucesivas la degradación de su curva de error se producía de una forma moderada, aunque progresiva; pero después de 216 ensayos en finca, se decidió que el equipo no era apto para continuar los ensayos en campo, ya que la degradación comenzó a ser más brusca y la desviación de los resultados, con respecto a la verificación inmediatamente anterior, superó el límite del 2 por ciento establecido en alguno de los caudales. Por consiguiente, se retiró de la circulación, se sustituyó el contador y volvió a llevarse al laboratorio para ser verificado de nuevo.



11

Descripción de los ensayos  
en campo

### 11.1. Procedimiento seguido durante la realización de un ensayo en campo

Los ensayos en campo requieren para su correcta ejecución, un procedimiento perfectamente definido y estructurado, llevado a cabo por operarios cualificados que hayan realizado cursos de formación al efecto.

Los principales pasos a seguir son los siguientes:

- Inspección previa de la instalación del usuario

Este paso, previo al ensayo en campo, es necesario para comprobar que el contador a verificar y su instalación asociada cumplen los requisitos operativos necesarios.

- Conexión del equipo a la instalación del usuario

El primer paso del ensayo en campo es la conexión de las mangueras de entrada y de salida al equipo, y el cierre de las llaves de entrada y salida del contador a ensayar. Después, se conecta la manguera de entrada a la toma de muestras del contador a ensayar, disponible aguas abajo de dicho contador. El extremo libre de la manguera de salida se sitúa en la proximidad de un sumidero o desagüe cercano, que deberá haber sido revisado y limpiado previamente para evitar desbordamientos.

La figura 19 muestra un esquema de conexión del equipo a la instalación del usuario durante un ensayo en campo.

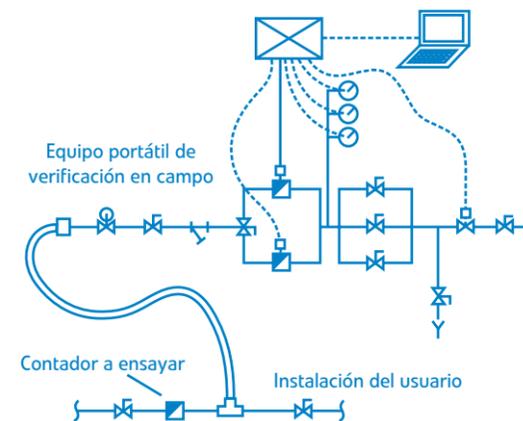
- Inicio del software

Se enciende el ordenador portátil, se activa la tarjeta de adquisición de datos y se conecta ésta última al ordenador portátil mediante el cable USB. Se arranca el software o programa de ensayos cargado en el ordenador portátil.

Figura 18. Realización de un ensayo en campo



Figura 19. Esquema de conexión del equipo a la instalación del usuario durante un ensayo en campo



- Elección del contador patrón, sólo en el caso del equipo portátil de verificación en campo, de configuración grande, o "B"

Se coloca la válvula desviadora en la posición correcta según se vaya a realizar la verificación con un contador patrón u otro, dependiendo del diámetro del contador a ensayar.

- Comprobación de que no queda aire acumulado en el equipo

Para eliminar el aire atrapado en la instalación, se abren la llave de entrada del contador a ensayar, las válvulas de entrada y salida del equipo portátil y la electroválvula y, a continuación, se abren progresivamente las válvulas de regulación del equipo portátil.

- Comprobación de que no existen fugas de agua

Una vez expulsado el aire, se cierra la válvula de salida del equipo portátil, subiendo la presión del equipo hasta la presión de la red. Se cierra la llave de entrada del contador a ensayar y se comprueba, en la pantalla del programa, la presión marcada durante 30 segundos. Si la presión marcada desciende más de 0,1 bar durante ese período de tiempo, se rechaza la instalación. En caso contrario, se abre la válvula de purga muy lentamente, dejándola abierta de manera que salga por ella un caudal mínimo similar a un goteo intenso, comprobando que la presión disminuye. Si la presión no disminuye, se rechaza la instalación.

- Ajuste del caudal de ensayo

Se cierra la llave de purga y se abren la llave de entrada del contador a ensayar y la llave de salida del equipo portátil. Se ajusta el caudal deseado, maniobrando las válvulas de regulación. Cuando el caudal es estable, se cierra la electroválvula.

- Toma de la lectura inicial del contador del usuario

A continuación, se anota en la pantalla de entrada de datos del programa la lectura inicial del contador a ensayar y se indica al software del equipo que el ensayo va a comenzar.

- Puesta en circulación del agua, hasta alcanzar el volumen de ensayo correspondiente

En ese momento, se abre automáticamente la electroválvula y comienza el ensayo hasta que pase el volumen definido para el caudal de ensayo correspondiente. El orden de realización de los ensayos siempre será de mayor a menor caudal, según un protocolo cargado en el software de caudales, volúmenes y tiempos estimados para cada ensayo y calibre de contador a ensayar.

Las tablas 20 y 21 definen los volúmenes y los tiempos de ensayo utilizados en campo, para cada diámetro.

Tabla 20. Volúmenes de ensayo

Caudal de ensayo (l/h)	Caudal nominal del contador a ensayar				
	1,5 m <sup>3</sup> /h	2,5 m <sup>3</sup> /h	3,5 m <sup>3</sup> /h	5 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
15	10 litros	--	--	--	--
30	10 litros	10 litros	10 litros	--	--
60	20 litros	20 litros	20 litros	50 litros	--
120	20 litros	30 litros	30 litros	100 litros	100 litros
750	100 litros	100 litros	100 litros	100 litros	100 litros
2.500	100 litros	--	--	100 litros	100 litros
3.000	--	200 litros	200 litros	--	--
7.500	--	--	--	200 litros	200 litros
10.000	--	--	--	--	200 litros

Tabla 21. Tiempos de ensayo

Caudal de ensayo (l/h)	Caudal nominal del contador a ensayar				
	1,5 m <sup>3</sup> /h	2,5 m <sup>3</sup> /h	3,5 m <sup>3</sup> /h	5 m <sup>3</sup> /h	10 m <sup>3</sup> /h
15	40 minutos	--	--	--	--
30	20 minutos	20 minutos	20 minutos	--	--
60	20 minutos	20 minutos	20 minutos	50 minutos	--
120	10 minutos	15 minutos	15 minutos	50 minutos	50 minutos
750	8 minutos	8 minutos	8 minutos	8 minutos	8 minutos
2.500	2 minutos y 24 segundos	--	--	2 minutos y 24 segundos	2 minutos y 24 segundos
3.000	--	8 minutos	8 minutos	--	--
7.500	--	--	--	1 minuto y 36 segundos	1 minuto y 36 segundos
10.000	--	--	--	--	1 minuto y 12 segundos

- Verificación de la estabilidad del caudal y del valor de la presión

Durante el ensayo se comprueba que el caudal es estable y que la presión no baja de 0,6 bar. En caso contrario, se rechaza el ensayo.

Figura 20. Ajuste del caudal durante la realización de un ensayo en campo



En la tabla 22 se especifica para caudal de ensayo, el caudal máximo y el mínimo que puede circular durante el ensayo en campo. En caso de que la oscilación de caudal sea mayor que la admisible, se rechazará el ensayo.

Tabla 22. Intervalo de caudal admisible para cada ensayo en campo

Caudal Ensayo (l/h)	Caudal máximo (l/h)	Caudal mínimo (l/h)
15	16	15
30	31	29
60	62	58
120	123	117
750	788	731
2.500	2.625	2.438
3.000	3.150	2.925
7.500	7.875	7.313
10.000	10.500	9.750

- Finalización del ensayo, anotando la lectura final del contador del usuario

Una vez que el contador patrón haya registrado el volumen previsto para el ensayo, la electroválvula interrumpe el paso de agua automáticamente y el programa avisa para que se cierre la llave de corte de salida del equipo. Para terminar, se anota la lectura final del contador a ensayar.

El software del equipo evalúa la validez del ensayo, para repetirlo en caso necesario.

A continuación se da paso al siguiente caudal y así sucesivamente hasta cubrir todos los caudales de ensayo para completar la curva de error del contador a ensayar.

- Determinación del caudal de arranque del contador, reduciendo el caudal progresivamente

Además de la obtención de la curva de error, el equipo portátil permite la determinación del caudal de arranque del contador a ensayar. Para ello, se ajusta el equipo portátil de manera que circule el caudal mínimo que corresponda a dicho contador. Si a dicho caudal el contador a ensayar no lograra ponerse en movimiento, el ensayo comenzará por el caudal más bajo de los ensayos anteriores para el cual el contador funcione y se disminuye el caudal en saltos de una décima parte de ese caudal. Se considera que el contador funciona si presenta un movimiento uniforme, sin saltos y manteniendo este movimiento durante al menos 15 segundos. Cuando se haya obtenido el caudal de arranque, se anota en la pantalla de entrada de datos del programa.

- Realización de fotografías

Es conveniente la realización de fotografías que reflejen el contador sometido a ensayo, la instalación, y el montaje que se realiza para los ensayos.

El error de medición del contador ensayado, a cada caudal, se determina mediante la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{(V_i)(1 + \varepsilon_{patrón})}{V_{patrón}} - 1$$

Donde:

$V_i$

Es el volumen indicado por el contador de cliente objeto de ensayo. Diferencia entre la lectura inicial y la lectura final.

$V_{patrón}$

Es el volumen indicado por el contador patrón del equipo de verificación en campo.

$\varepsilon_{patrón}$

Es el error relativo (por unidad) del contador patrón del equipo de verificación en campo al caudal de ensayo (determinado en las verificaciones periódicas en el laboratorio).

## 11.2. Condiciones ambientales e hidráulicas durante los ensayos en campo

Los equipos de verificación en campo permiten registrar, a lo largo del ensayo en campo, variables como la presión y temperatura del agua, y la temperatura ambiente.

Hay que señalar que los valores registrados durante el proyecto de dichos factores se han mantenido en unos intervalos ampliamente tolerados por las distintas tecnologías de los contadores objeto de la muestra, como se refleja en las figuras 21, 22 y 23.

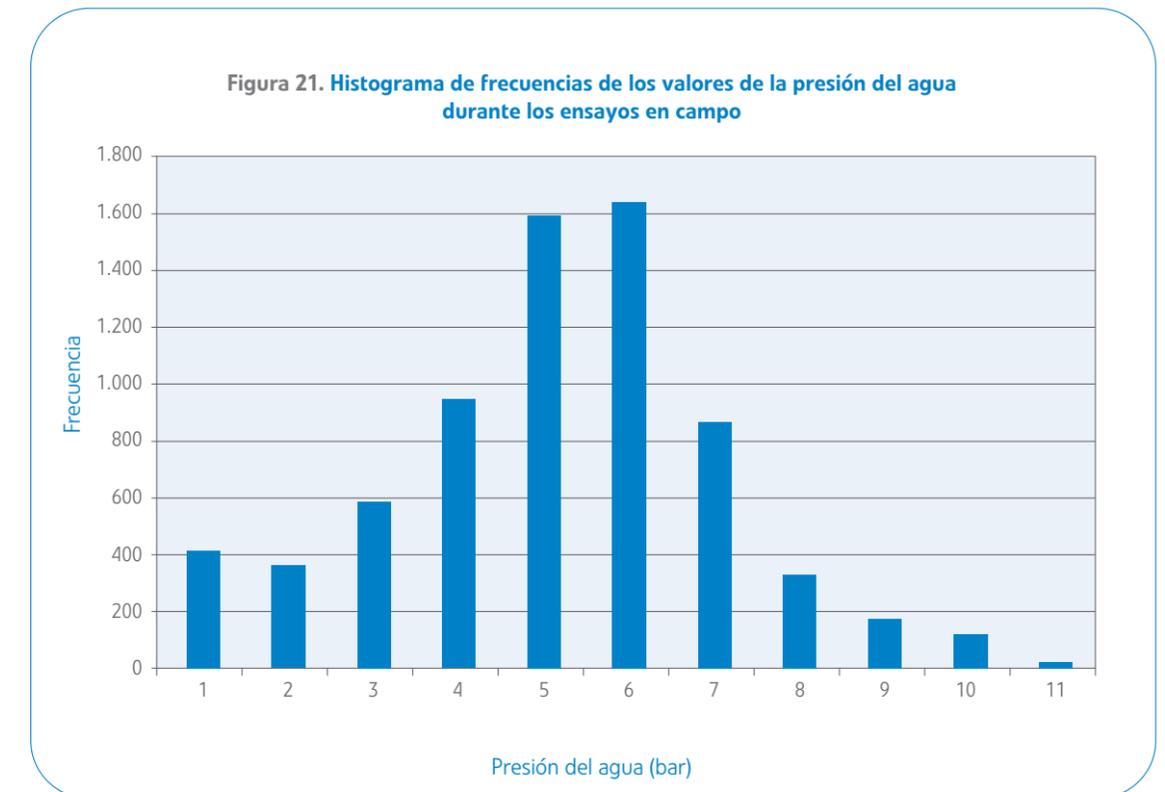


Figura 22. Histograma de frecuencias de los valores de la temperatura del agua durante los ensayos en campo

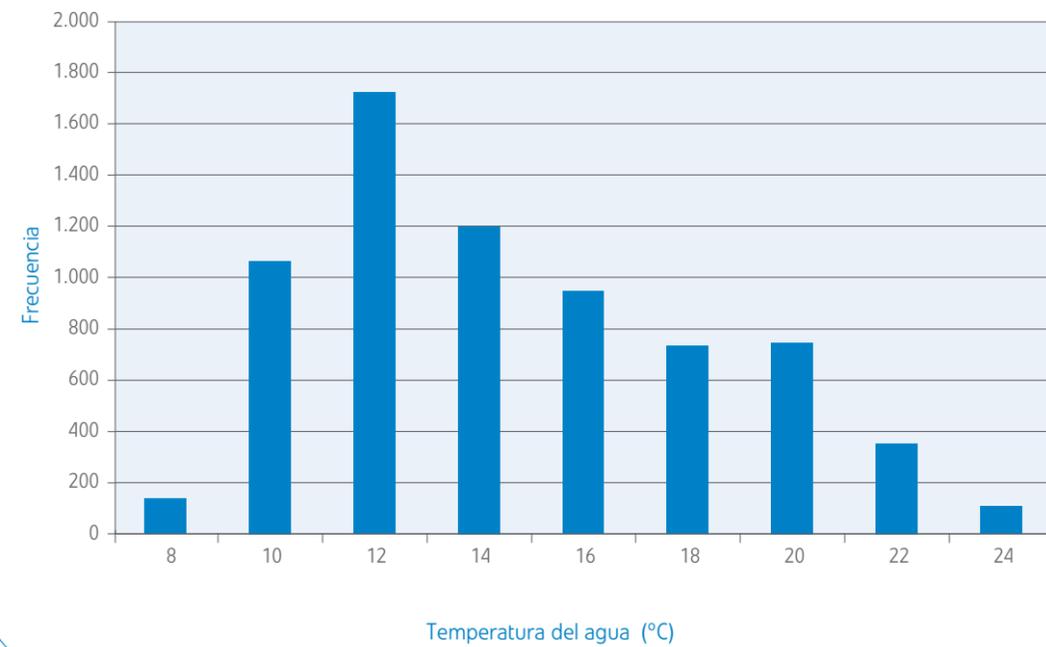
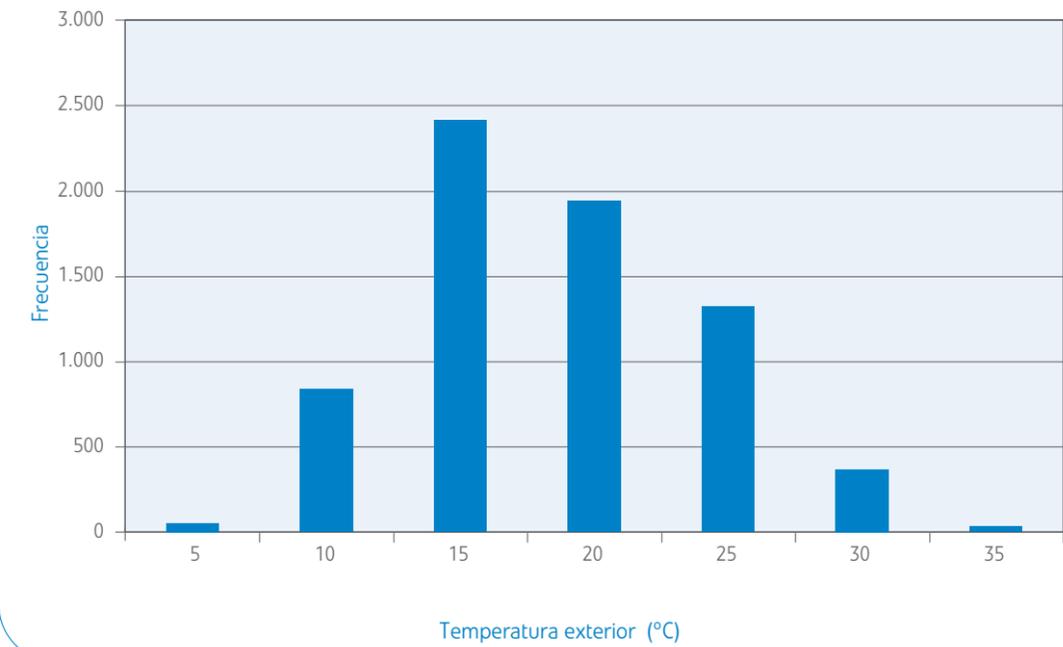


Figura 23. Histograma de frecuencias de los valores de la temperatura exterior durante los ensayos en campo



# 12

Ejecución del proyecto de  
determinación de la curva de error

### 12.1. Fase de confección de la muestra

A lo largo de los siguientes apartados se describe el desarrollo de las distintas fases del proyecto de determinación de la curva de error, haciendo mención a las dificultades encontradas durante su desarrollo y a las soluciones adoptadas para hacer frente a las mismas.

La muestra representativa inicial se realizó extrayendo, del fichero del parque de contadores, 4 posibilidades para cada ensayo necesario, con la idea de que si no era posible realizar la primera dirección se intentara con la segunda, y así hasta la cuarta. Es decir, tenía un tamaño cuatro veces superior al necesario, con los criterios descritos en el apartado de Definición de la Muestra. A pesar de esto, al avanzar los trabajos en campo se observó que, por causas diversas, las cuatro alternativas de determinado tipo de contadores se agotaban sin haber conseguido ninguna apta para el ensayo en campo. Las causas principales que motivaron esta situación, que se analizarán en detalle más adelante, fueron: problemas de acceso; negación al ensayo por parte del usuario; instalación no apta para el ensayo y problemas técnicos durante el ensayo.

La solución no era manejar el fichero completo del parque de contadores (que consta de más de un millón de contratos). Hubo que confeccionar seis muestras parciales más, a lo largo de los meses de abril, mayo, junio, septiembre y octubre de 2007.

### 12.2. Fase de fabricación y validación de los equipos

La fase de fabricación de los equipos se dilató en el tiempo, más de lo previsto, en concreto, desde el mes de junio, hasta el mes de septiembre de 2006, debido a diversos problemas vinculados a la programación del software y a la entrega de componentes, como los elementos de medida patrón, las sondas de temperatura y las electroválvulas. Pero el problema fundamental fue que, en un primer diseño, el elemento de medida patrón que incorporaban los equipos, un caudalímetro de ultrasonidos, no ofreció los requisitos metrológicos demandados y hubo de ser sustituido por otra solución, consistente en un contador volumétrico de pistón rotativo. Esta última solución aporta una fiabilidad metrológica elevada y avalada por su amplia utilización en el mercado.

Para tomar esta decisión se realizaron exhaustivas pruebas a los equipos, tanto en los bancos de pruebas de los fabricantes, como en el Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II.

### 12.3. Fase de verificaciones iniciales de los equipos

Una vez validados los equipos de verificación en campo, dio comienzo la fase de verificaciones iniciales de los mismos, en el Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II. Esta fase, que se extendió desde el 14 de noviembre de 2006 hasta el 16 de enero de 2007, ha sido clave para el conocimiento en profundidad del comportamiento de los equipos, dentro del rango de caudales a los que se realizarían los ensayos en finca, evaluándose así su incertidumbre de medida.

Los equipos demostraron su fiabilidad y repetibilidad. Los resultados de estas verificaciones se adjuntan en el apartado de Verificación de los equipos en laboratorio.

### 12.4. Fase de inspecciones previas a los contadores en finca

Previo a la realización de los ensayos en finca, se inspeccionaron visualmente los contadores y las instalaciones correspondientes, para asegurar la viabilidad de los ensayos, así como el acceso de los equipos y operarios. Así mismo, se llevó a cabo una notificación, mediante cartas de aviso y gestión telefónica, a los usuarios seleccionados para minimizar los posibles trastornos que pudieran ocasionar las verificaciones de los contadores.

Esta fase del proyecto, que se ha solapado en el tiempo con la fase de realización de los ensayos, ha sido una de las más problemáticas. De las instalaciones previamente inspeccionadas, sólo un 30 por ciento han sido válidas para ensayar en finca, lo que ha dificultado la programación de los ensayos. Este problema se ha acrecentado al final del proyecto debido, en gran parte, a que los contadores que quedaban por ensayar correspondían a las categorías más antiguas y a instalaciones fuera de norma o bajo norma no vigente y, por lo tanto, no aptas para el ensayo.

Las actuaciones convenidas para paliar los problemas anteriormente mencionados fueron:

- Incremento del personal destinado a realizar las inspecciones previas, creando incluso varias rutas simultáneas de "inspección"
- Generación de "órdenes de servicio" para reparar las causas que hacían que una instalación no fuera apta para el ensayo, siempre que no se alteraran sustancialmente las condiciones de la instalación
- Paradas temporales de la programación de ensayos en finca a fin de acumular una bolsa de direcciones suficiente y dar tiempo a la resolución de las órdenes de servicio generadas. Esta actuación sólo se ha realizado como último recurso en dos ocasiones y nunca por un periodo superior a dos semanas

Ha sido necesario realizar un total de 6.500 inspecciones previas, para poder realizar 1.977 ensayos en campo.

### 12.5. Fase de realización de los ensayos en campo

Los ensayos en campo comenzaron el 11 de enero de 2007 y finalizaron el 26 de marzo de 2008. Se han realizado 1.977 ensayos, es decir, el 98,85 por ciento de los 2.000 ensayos previstos.

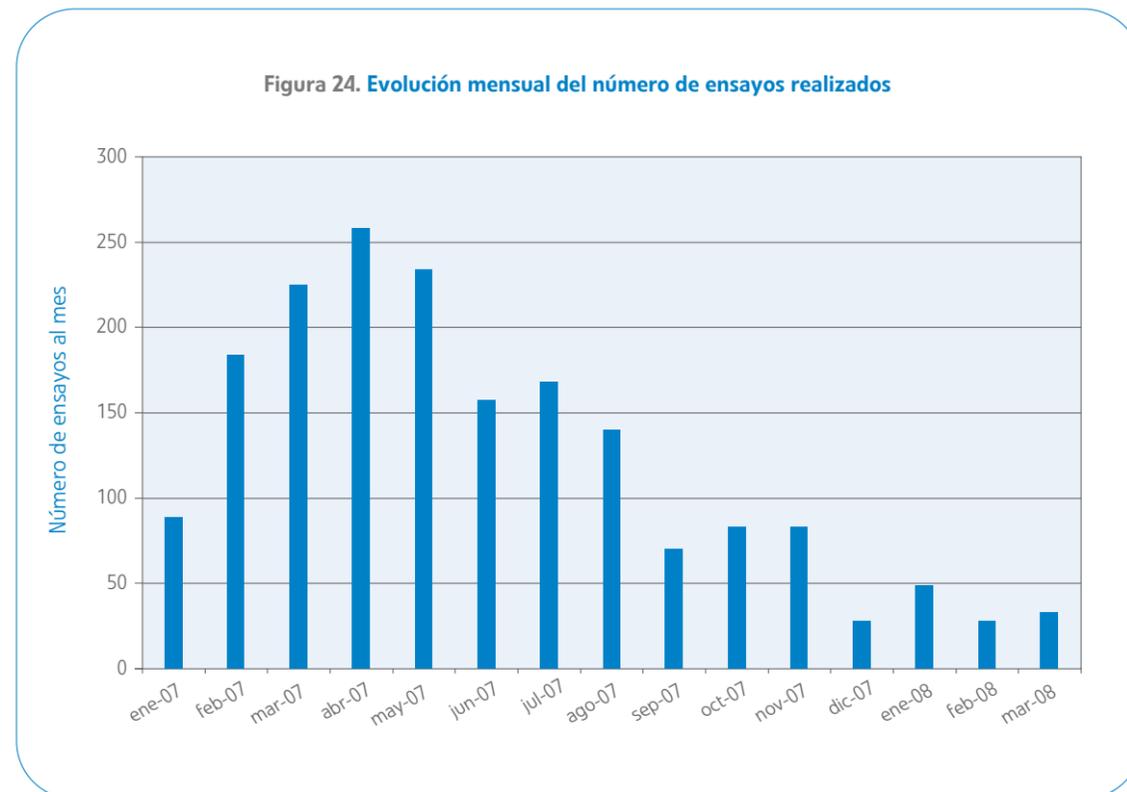
Durante todo este periodo, a lo largo de 55 semanas naturales, ha sido necesario el trabajo conjunto de las tres áreas implicadas de Canal de Isabel II.

Por una parte, los ensayos en campo se han organizado en varias rutas simultáneas diarias organizadas por la subdirección Comercial según criterios de proximidad geográfica entre direcciones, generando a su vez, las correspondientes notificaciones a los clientes afectados.

Los resultados de los ensayos en finca y los partes de trabajo enviados por las brigadas que realizaron los ensayos, se han recibido y supervisado, con periodicidad semanal, por parte de la subdirección de I+D+i. Ha sido necesario además, realizar una transformación de los datos a formatos adecuados para poder realizar su tratamiento y análisis.

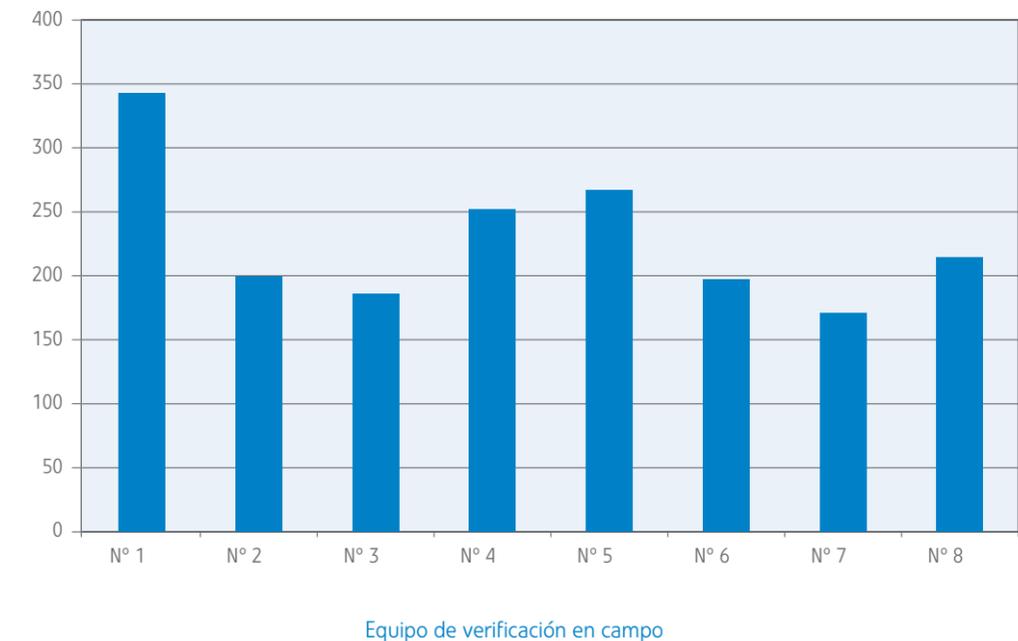
De igual modo, ha existido una coordinación con la subdirección de Calidad de las Aguas para que las verificaciones sucesivas de los equipos de verificación en campo en el Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II no interrumpieran en ningún momento los ensayos en campo y afectaran lo menos posible a las actividades habituales del laboratorio.

En la figura 24 se puede observar la evolución del número de ensayos en campo a lo largo del período que ha durado esta fase. Como se aprecia en dicha gráfica, la tasa de ensayos realizados creció rápidamente en los primeros meses del proyecto, detectándose en la fase final una destacada desaceleración. Esto se ha debido fundamentalmente, como ya se ha comentado, al escaso número de direcciones disponibles, susceptibles de ser ensayadas, según las inspecciones previas, para la confección de las rutas de ensayos en campo.



Hay que destacar que durante el tiempo que ha durado esta fase de ensayos en campo, se ha dedicado un importante esfuerzo al estudio del comportamiento de los equipos de verificación en campo, los cuales han demostrado ser aptos para un trabajo de este tipo. Se ha procurado hacer un uso rotativo de los mismos (ver figura 25), con el fin de que el desgaste fuera similar para todos ellos, y tener siempre equipos verificados en laboratorio listos para su empleo en finca.

**Figura 25. Número de ensayos realizados por cada equipo de verificación en campo**



## 12.6. Seguimiento de la muestra

En este apartado se describe el grado de seguimiento de la muestra inicialmente prevista, presentada en el apartado 8.5.

Con la intención de conseguir una mayor claridad en la exposición se definen los siguientes términos, algunos de ellos ya comentados en apartados anteriores:

- Inspección previa: Verificación, en finca, del contador y la instalación asociada. Es necesaria para comprobar su aptitud para el posterior ensayo con el equipo
- Ensayo válido: Ensayo realizado con el equipo portátil de verificación en campo a un contador perteneciente a la muestra. Sólo se considera válido un ensayo por contador
- Ensayo fallido: Tentativa de ensayo que, habiendo superado la inspección previa, no ha podido realizarse por diferentes causas

- Ensayo redundante: Ensayo realizado a un contador de una categoría ya completada en la muestra representativa, o ensayo comparativo realizado a un mismo contador en ocasiones diferentes
- Ensayo no realizado: Ensayo no realizado sobre un tipo de contador definido en la muestra
- Categoría incompleta: Estrato o subgrupo de la muestra que no ha alcanzado el número de ensayos válidos definidos en la misma como representativos. Cada categoría queda definida por diámetro, marca, grupo de edad, consumo registrado y tipo de instalación

Las siguientes cifras resumen los principales indicadores del seguimiento de la muestra inicial, compuesta por 1.631 contadores.

**Tabla 23. Indicadores de seguimiento**

Indicadores de seguimiento de la muestra de 1.631 contadores	
Número de inspecciones previas necesarias	6.500
Total de ensayos fallidos	1.369
Total de ensayos realizados en finca	1.977
Total de ensayos válidos	1.936
Número de ensayos redundantes	321
Número de ensayos no redundantes	1.615
Número de ensayos no realizados (de un total de 1.631)	16
Número de categorías incompletas (de un total de 570)	6

Se han efectuado 1.936 ensayos válidos y, por tanto, se ha conseguido alcanzar la muestra representativa perseguida inicialmente en un 99 por ciento, a excepción únicamente de 16 ensayos. Estos últimos casos han sido imposibles de completarlos debido a que correspondían a contadores de categorías muy antiguas, instalaciones fuera de norma o bajo norma no vigente y por lo tanto, no aptas para el ensayo, por lo que el ensayo resultó imposible o inapropiado.

En la tabla 24 se detallan las principales causas de los ensayos en campo fallidos.

**Tabla 24. Motivos de ensayos en campo fallidos**

Principales causas de ensayo en campo fallido	
<b>Problemas de acceso</b>	<b>41,24%</b>
Ausencia de abonado y/o portero, para acceso a finca o cerradura ajena a Canal de Isabel II	34,91%
Señas incorrectas / ilocalizable	5,17%
Obras en la zona	1,15%
<b>Negación al ensayo</b>	<b>28,81%</b>
Negación del titular o de los vecinos	18,18%
Local comercial (bar, restaurante, peluquería, etc), colegio	5,89%
Insuficiente comunicación	4,74%
<b>Instalación no apta para el ensayo</b>	<b>26,29%</b>
Inexistencia o defecto de las tomas de muestras o de la "T" de comprobación	12,93%
Desagüe atascado o inexistencia del mismo	4,09%
Oxidación de tomas o mal estado del contador	4,96%
Contador sustituido	2,87%
Tubería de cobre o rígida	1,22%
Problemas con el cajetín	0,22%
<b>Problemas técnicos durante el ensayo</b>	<b>3,66%</b>
Falta de presión en la red	2,95%
Fugas en la acometida	0,50%
Otros	0,22%
<b>TOTAL</b>	<b>100,00%</b>

Tal como se puede observar en la figura 26, la tasa de ensayos fallidos frente a la tasa de ensayos realizados, aunque ha variado durante el desarrollo del proyecto, experimentó en las últimas semanas un considerable ascenso, debido no sólo a las habituales dificultades de localización de titulares de los contratos o sus reticencias ante los cortes de agua necesarios, sino, en mayor medida, a la creciente dificultad de encontrar instalaciones susceptibles de ensayar en finca (a pesar de realizarse inspecciones previas).

Como consecuencia de esta circunstancia, se produjo un aumento de coste de la obtención del total de ensayos válidos definidos, respecto del presupuesto original, por la no consideración de tan elevado número de ensayos fallidos.

Figura 26. Evolución de la tasa semanal de ensayos realizados y fallidos

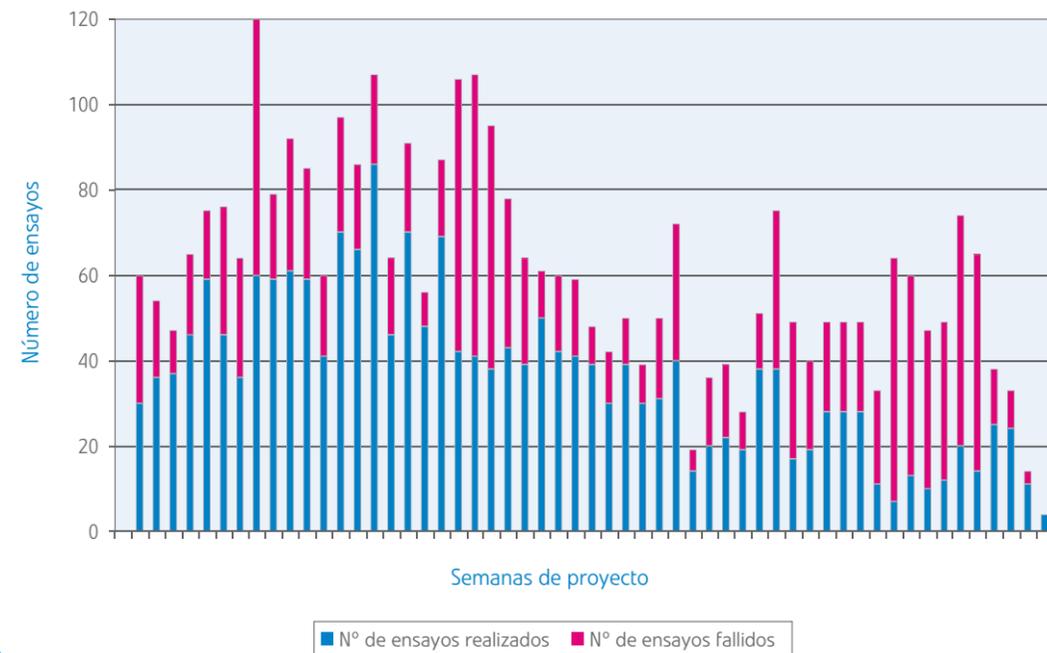
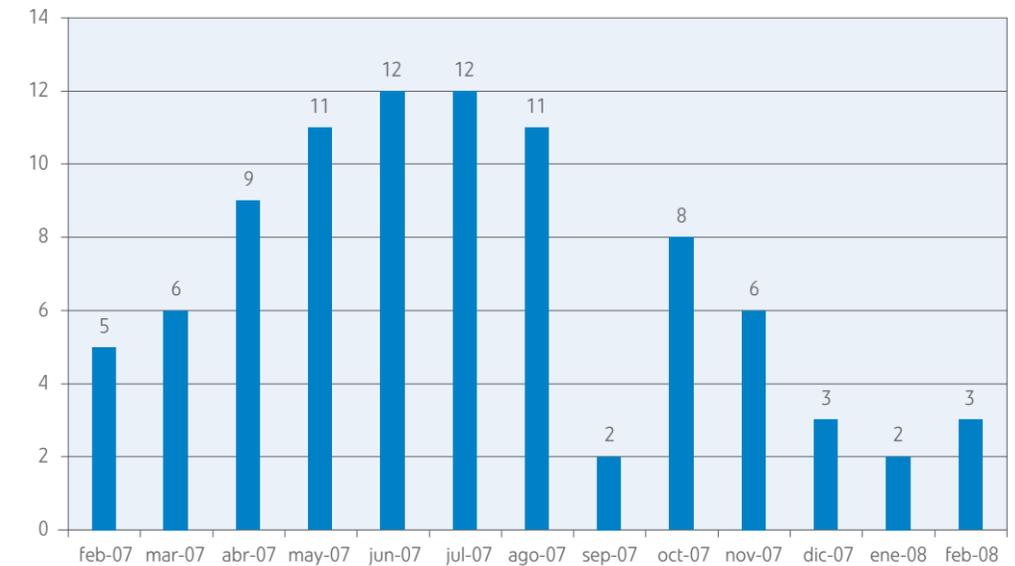


Figura 27. Evolución mensual del número de verificaciones sucesivas en laboratorio



### 12.7. Fase de verificaciones sucesivas a los equipos de verificación en campo

Paralelamente a los ensayos en finca, como ya se ha comentado en otros apartados, se han llevado a cabo verificaciones sucesivas a los equipos portátiles en el Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II con una periodicidad mínima mensual.

Las primeras verificaciones sucesivas se realizaron el 19 de febrero de 2007 y la últimas el 20 de febrero de 2008. Se han realizado un total de 90 verificaciones sucesivas.

Durante los primeros meses de la fase de ensayos en campo, para absorber la acumulación de trabajo que se presentaba, se tomó la decisión de verificar en laboratorio los dos equipos de tamaño grande o configuración tipo "B", los cuales disponen de dos contadores patrón, a todos los caudales de ensayo, desde 15 l/h hasta 10.000 l/h, para así poder emplearse en los ensayos a contadores de cualquier diámetro nominal.

Esta decisión ha demostrado un hecho que al concebir el proyecto no se daba por seguro, y es que existe un único equipo que es capaz de verificar en campo todo el rango de caudales típico del parque de contadores de Canal de Isabel II. Aunque hay que tener en cuenta que para el ensayo de contadores de hasta 25 mm resulta más ligero y manejable el tamaño pequeño, es decir, la configuración tipo "A".

En la figura 27 se resume la evolución mensual de esta fase del proyecto, en la que se manifiesta la misma tendencia que en la fase de ensayos en campo; esto es, creciente al principio debido a una mayor utilización de los equipos y decreciente al final debido al descenso del número de ensayos en campo.

### 12.8. Repetición de ensayo en campo

Es importante destacar que a lo largo de todo el proyecto se han realizado algunos ensayos llamados "de control", consistentes en realizar en dos ocasiones el ensayo a un mismo contador. Se ha realizado en dos ocasiones el ensayo en finca a un total de 21 contadores. La diferencia temporal entre los dos ensayos realizados a cada contador ha sido de uno o dos meses. Al analizar los datos se ha comprobado una elevada repetibilidad, más notoria en los caudales medios de ensayo y en los contadores emplazados en instalaciones más nuevas. El valor porcentual medio de variación entre los errores obtenidos en una y otra ocasión es de 0,70 por ciento.

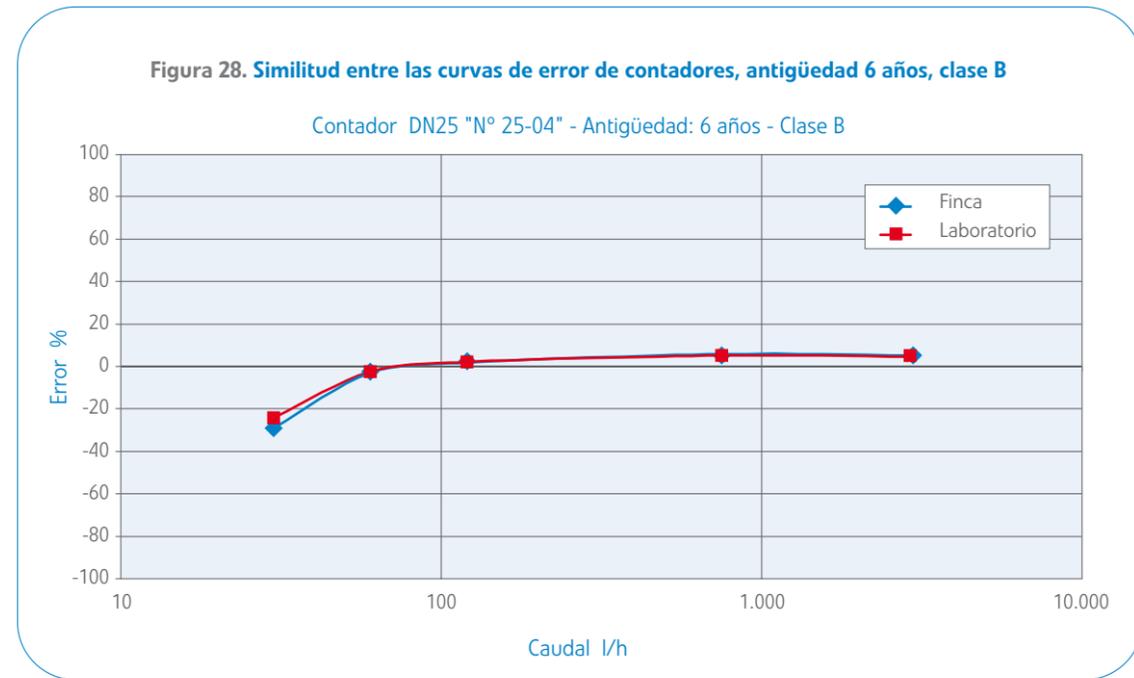
### 12.9 Repetición de ensayo en laboratorio

También se ha seleccionado una muestra de 31 contadores que, después de ser ensayados en campo, han sido retirados de su emplazamiento y se han llevado al Laboratorio de Metrología de Canal de Isabel II para verificar a los mismos caudales (no incluyendo, en estas verificaciones en laboratorio, la determinación del caudal de arranque, el cual sí ha sido determinado en finca). Aunque el número de contadores retirados no es suficiente para extraer conclusiones firmes, se comentan a continuación una serie de aspectos que se han observado.

La diferencia entre el porcentaje de error medido en finca y el porcentaje de error medido en laboratorio aumenta con la edad del contador, de lo que se puede deducir que la influencia de la instalación en el comportamiento de los contadores aumenta con el paso del tiempo. Este efecto se ve más acusado en el caso de los contadores de diámetros pequeños que en los contadores de diámetros mayores y en caudales bajos o altos que en caudales

medios, cercanos al nominal. Esto implica que tanto la verificación en finca como la verificación en laboratorio son métodos válidos para la evaluación de la precisión de un contador cuando el caudal de trabajo de los mismos se encuentra en las cercanías del caudal nominal, que es aquél para el cual ha sido dimensionado.

En las figuras 28<sup>2</sup> a 31 se muestran algunas de las gráficas comparativas entre las curvas de error obtenidas en finca y las curvas de error obtenidas en laboratorio, una vez retirados los contadores de su lugar de emplazamiento. Es importante recordar que estas curvas reflejan únicamente el porcentaje de error a una serie de caudales de ensayo, comenzando en el caudal inferior de ensayo, no en el caudal de arranque.



<sup>2</sup> Similitud entre las curvas de error de algunos contadores obtenidas mediante verificación en su lugar de emplazamiento y posteriormente, mediante verificación en laboratorio en condiciones óptimas de instalación.

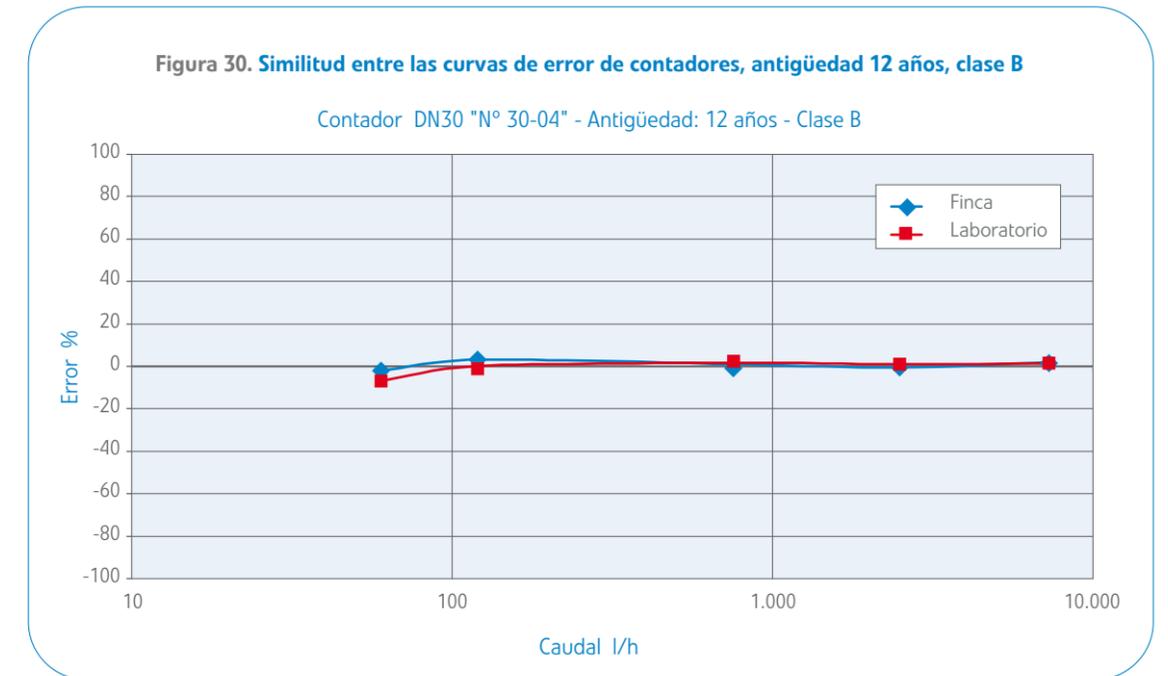
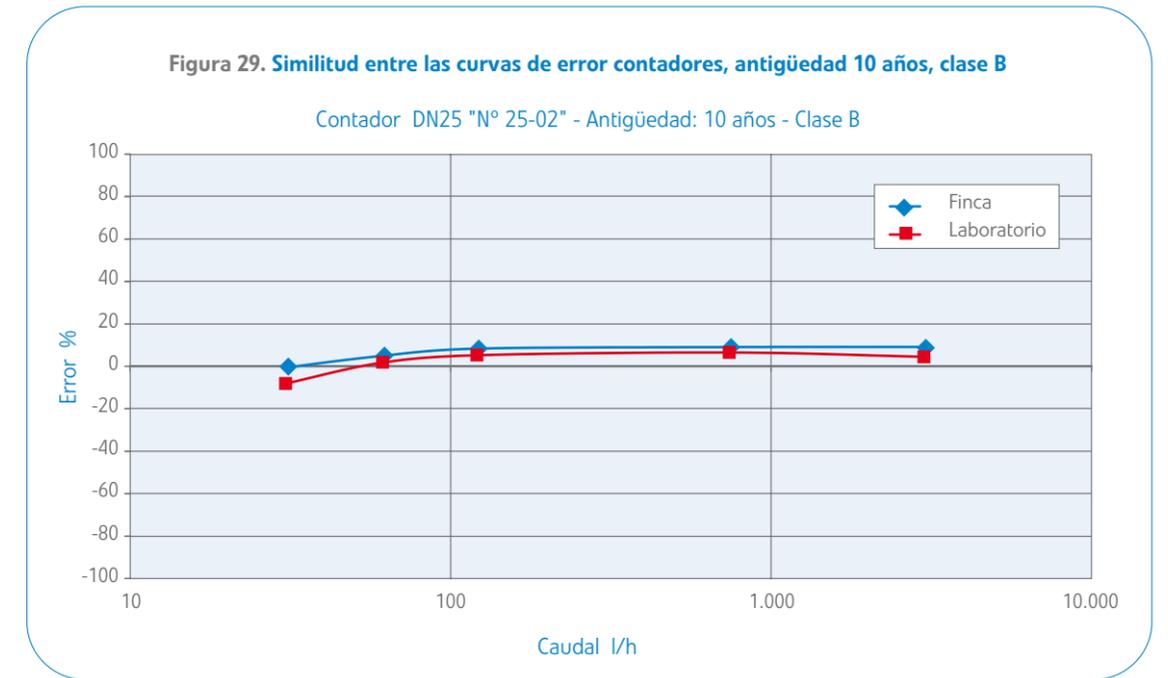


Figura 31. Similitud entre las curvas de error de contadores, antigüedad 1 año, clase B

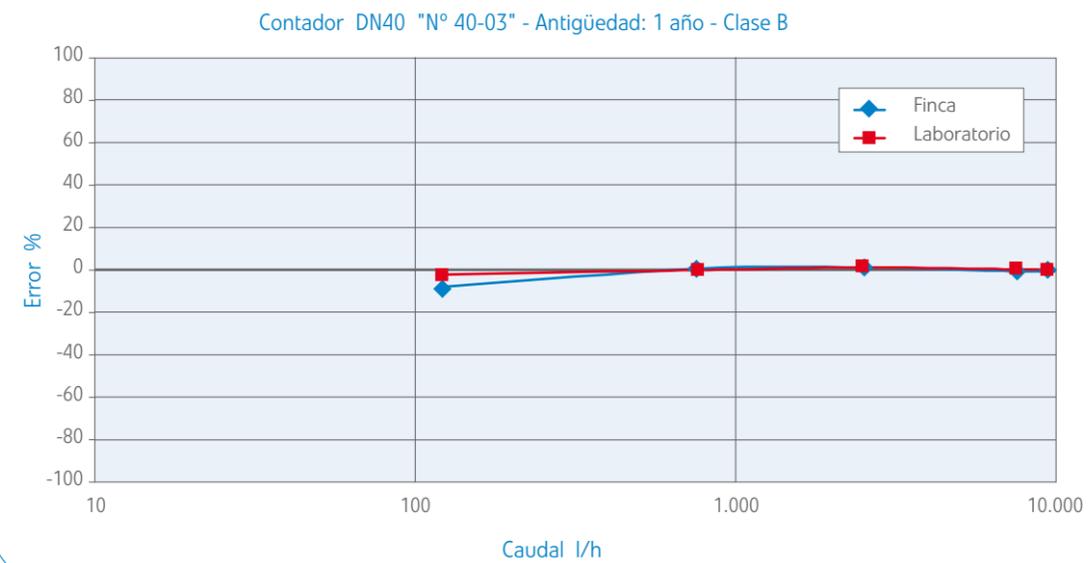
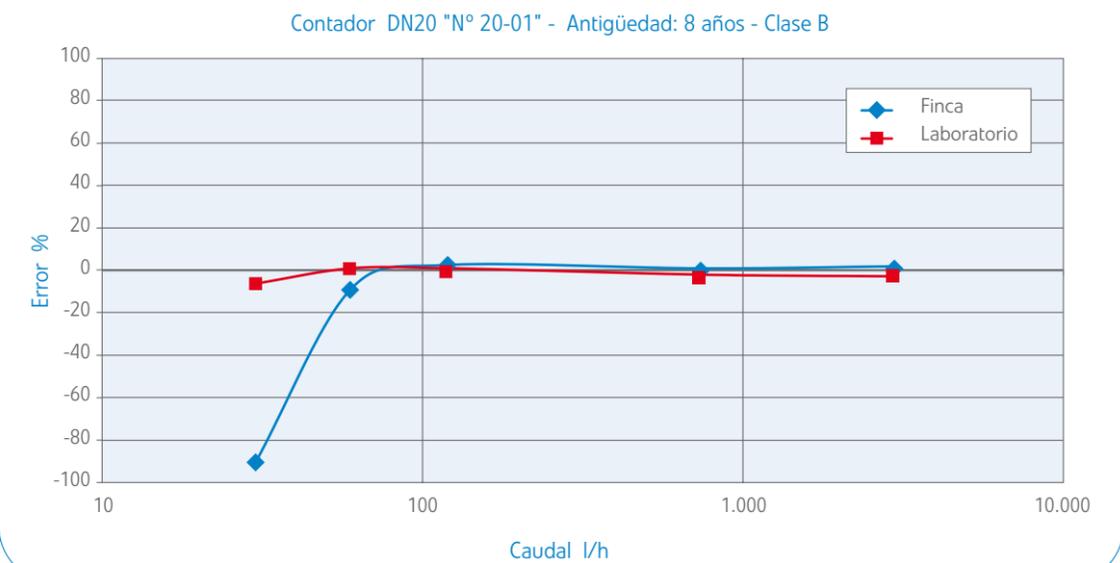


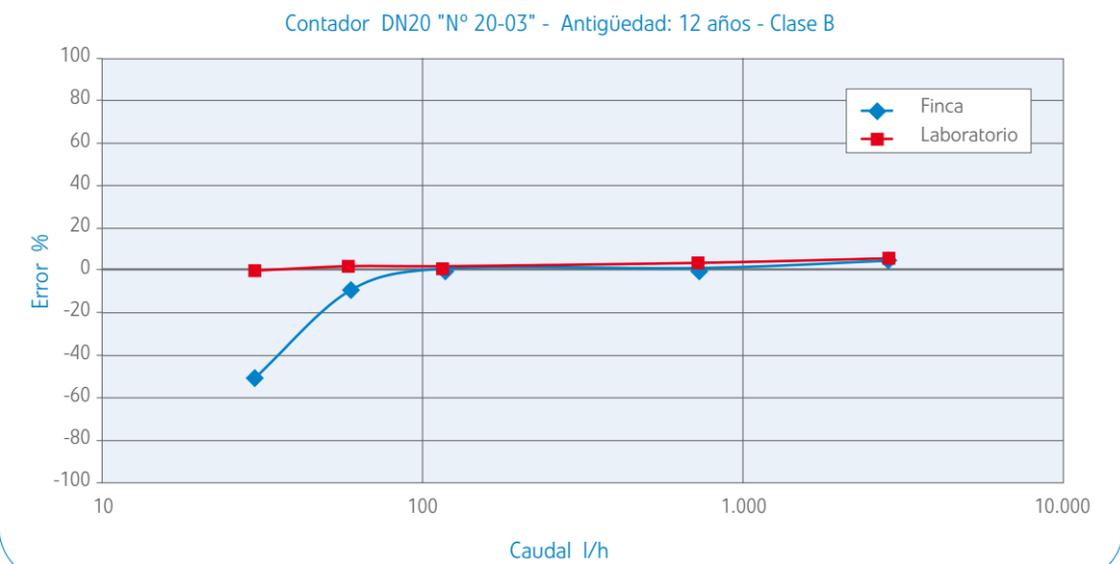
Figura 32. Diferencia entre las curvas de error de contadores, antigüedad 8 años, clase B



En los casos en los que se ha verificado que las condiciones de instalación son óptimas, existe gran similitud entre las curvas de error obtenidas en finca y las curvas de error obtenidas en laboratorio.

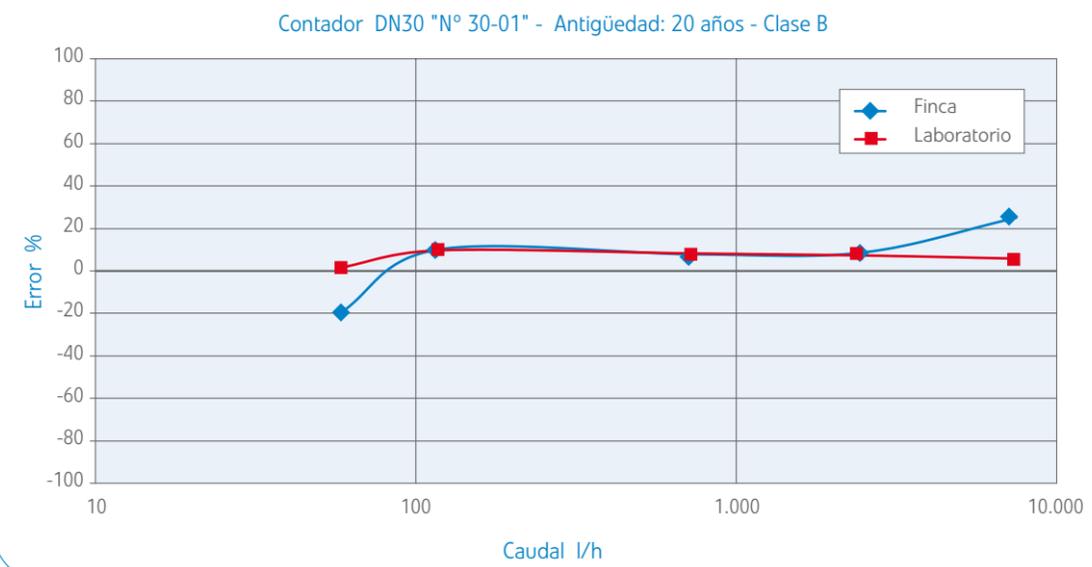
Del mismo modo, y como se refleja en las figuras 32<sup>3</sup> a 36, unas condiciones de instalación adversas hacen que exista una variación, entre los resultados obtenidos en finca y los resultados obtenidos en laboratorio, haciendo, en este caso, más adecuado el método de ensayo en finca.

Figura 33. Diferencia entre las curvas de error de contadores, antigüedad 12 años, clase B

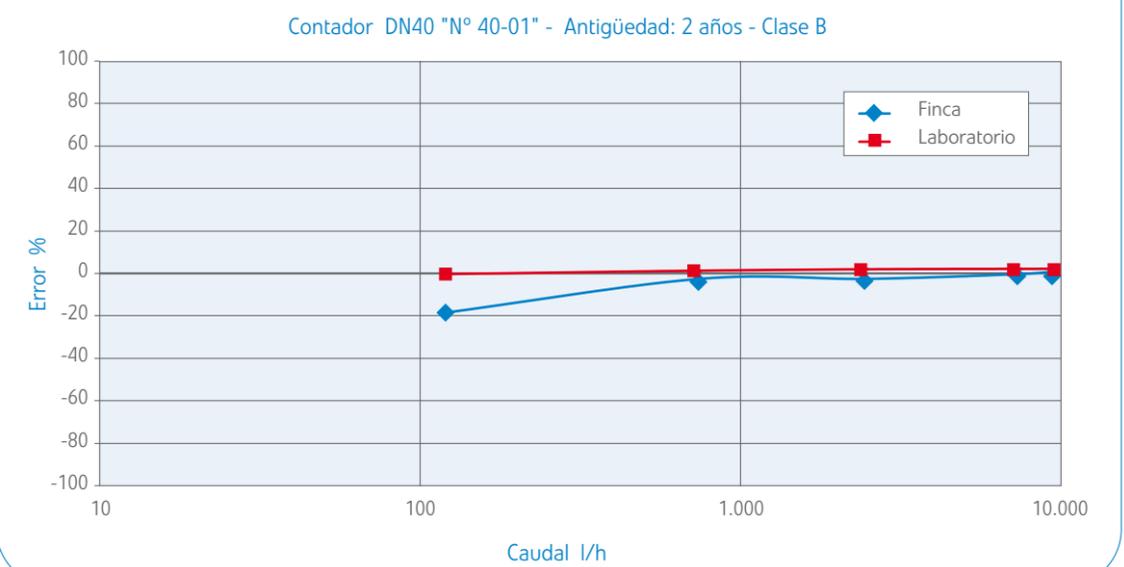


<sup>3</sup> Diferencia entre las curvas de error de algunos contadores obtenidas mediante verificación en su lugar de emplazamiento y posteriormente mediante verificación en laboratorio, debido a la influencia del lugar de emplazamiento.

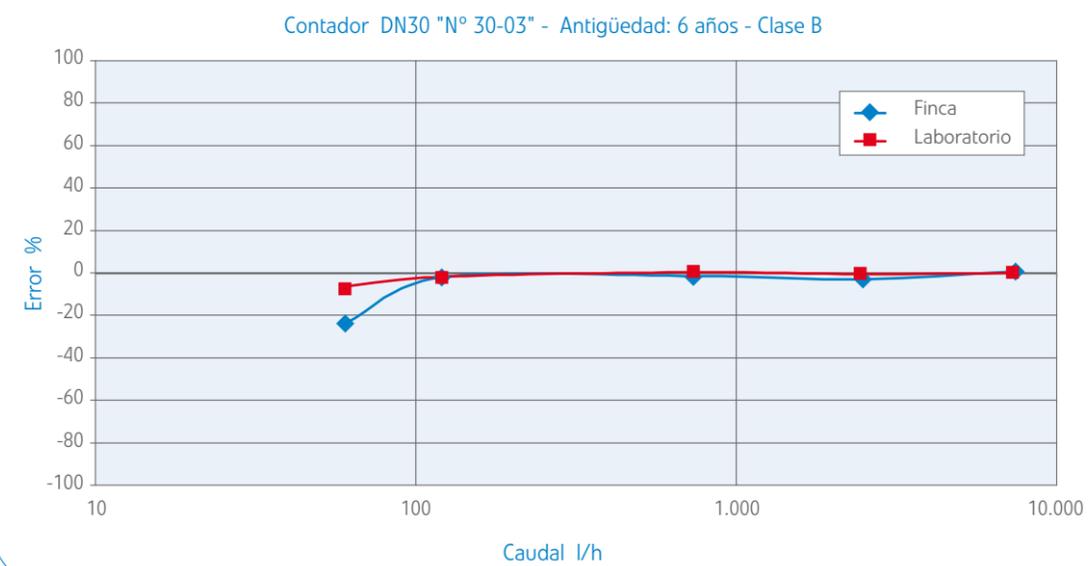
**Figura 34. Diferencia entre las curvas de error de contadores, antigüedad 20 años, clase B**



**Figura 36. Diferencia entre las curvas de error de contadores, antigüedad 2 años, clase B**



**Figura 35. Diferencia entre las curvas de error de contadores, antigüedad 6 años, clase B**



# 13

Análisis descriptivo de los datos  
obtenidos en el proyecto de  
determinación de la curva de error

### 13.1. Muestra final

El objetivo perseguido con la muestra inicial de 1.631 contadores consistía en representar, de una forma estratificada, al mayor número de usuarios, aunque sin descuidar el estudio de otras variables como la cantidad de modelos y el consumo total registrado. Del mismo modo, se pretendía que para cada uno de los estratos o categorías definidos:

- Estuvieran representados al 50 por ciento respectivamente, los contadores de “consumo alto” y los contadores de “consumo bajo”
- La mitad de los contadores correspondiera a instalaciones exteriores y la otra mitad a instalaciones en el interior. (Condiciones ambientales desfavorables y favorables, respectivamente)
- El 50 por ciento de los contadores perteneciera a clientes localizados en Madrid capital, y el otro 50 por ciento, a usuarios situados en poblaciones o municipios aledaños

Asimismo, estaba previsto realizar un número mínimo de ensayos, para cada marca y grupo de edad, consistente en ocho ensayos para los contadores de diámetros 13/15 y 20 mm, y de seis para los diámetros superiores.

Es necesario resaltar, para hacerse una idea de la complejidad de la muestra, que el número total de categorías resultante de todos estos planteamientos era de 570.

Además, estaba previsto llegar a una muestra total de 2.000 ensayos, mediante el estudio en mayor profundidad de algunas de las categorías definidas en la muestra de los 1.631 contadores.

Hay que comentar que todos estos objetivos se han cumplido en gran parte, aunque debido al otro gran reto de este proyecto, que consistía en realizar los ensayos en la propia instalación del cliente, con las dificultades que ello implica y la imposibilidad de realizar los ensayos en muchos de los contadores seleccionados inicialmente, ha sido necesario ir modificando sobre la marcha algunas de las restricciones propuestas, para no alargar excesivamente plazos y costes.

En la muestra final, compuesta por 1.936 ensayos válidos, se han representado todas las categorías definidas en la muestra inicial de los 1.631 contadores (a excepción de 6 categorías, un número poco significativo).

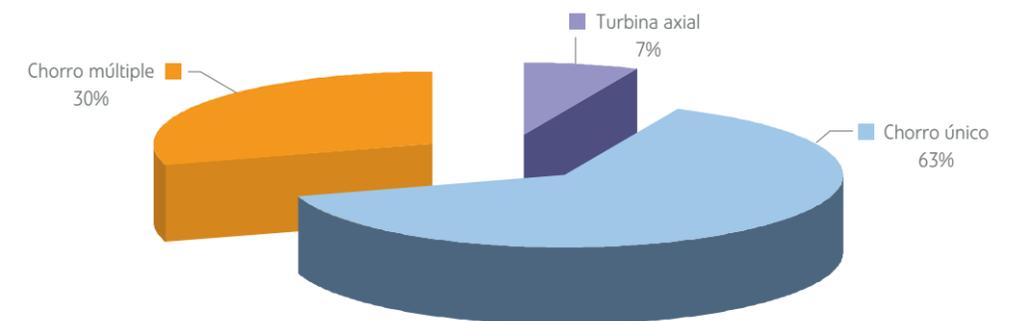
Del total de 1.936 ensayos válidos:

- El 59 por ciento corresponde a contadores de “consumo bajo” y el 41 por ciento a contadores de “consumo alto”
- El 54 por ciento corresponde a contadores de “instalación exterior” y el 46 por ciento a contadores de “instalación interior”
- Se cumple la proporción paritaria prevista entre contadores situados en Madrid capital y en otros municipios

Conseguir ensayar un 41 por ciento de contadores de consumo alto ha sido especialmente difícil, ya que sólo un 3,6 por ciento de los contadores del parque de contadores de Canal de Isabel II es de consumo alto.

En cuanto a las características metrológicas de los contadores de la muestra final ensayada, hay que señalar que todos los contadores son de velocidad representando los contadores de chorro único el mayor porcentaje, un 64 por ciento, seguido por los contadores de chorro múltiple, que representan un 30 por ciento y por último, por los contadores de turbina axial, con un 7 por ciento.

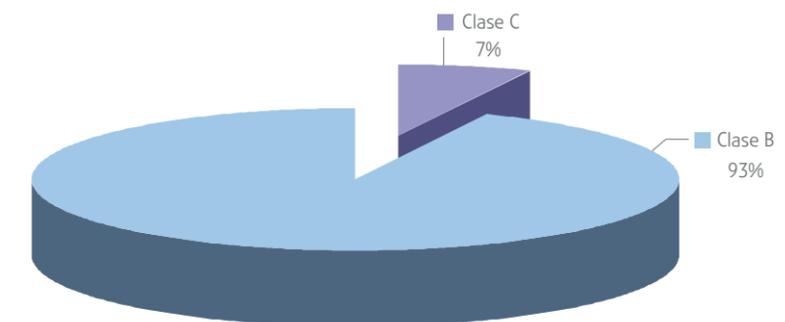
Figura 37. Tecnología de medida de los contadores de la muestra ensayada



Con respecto a la clase metrológica, el 7 por ciento de los contadores de la muestra ensayada están clasificados en la clase metrológica C-H/C-V (clase C tanto en posición horizontal como en posición vertical), de acuerdo con la normativa en vigor en el momento de seleccionar la muestra (Directiva 75/33/CEE). El resto de los contadores, un 93 por ciento, cumplen con la clase metrológica B-H/A-V (B en posición horizontal y A en posición vertical). Es importante recordar que esta clasificación responde a las características metrológicas de los contadores al salir de fábrica.

Los contadores de clase C presentes en esta muestra corresponden todos a la configuración de turbina axial.

Figura 38. Clases metrológicas de los contadores de la muestra ensayada según la Directiva 75/33/CEE



Estas distribuciones son compatibles con las tendencias seguidas por Canal de Isabel II en los últimos años, que han consistido en:

- Optar preferentemente por contadores de chorro único de clase B para diámetros nominales inferiores a DN20 (DN13 y DN15 representan un 64 por ciento del total del parque) y por contadores de chorro múltiple clase B en diámetros nominales DN20, DN25, DN30 y DN40. Hay que mencionar que en DN20, existen en el mercado modelos a un precio igualmente competitivo en ambas tecnologías, haciendo que se encuentren en el parque, en este tamaño, contadores representantes de ambos tipos
- Introducir progresivamente contadores de clases metrológicas superiores, dotados de componentes electrónicos para facilitar la lectura automática, representados hasta la fecha por los contadores mencionados de turbina axial y clase C, en diámetros nominales DN13 y DN15

En las figuras 39 y 40 se representa una comparativa entre la muestra inicial y la muestra final en la que se observa la gran similitud entre ambas y por lo tanto la inexistencia de sesgos significativos que pudieran afectar a los resultados. En la tabla 25 se presenta la muestra final obtenida de contadores.

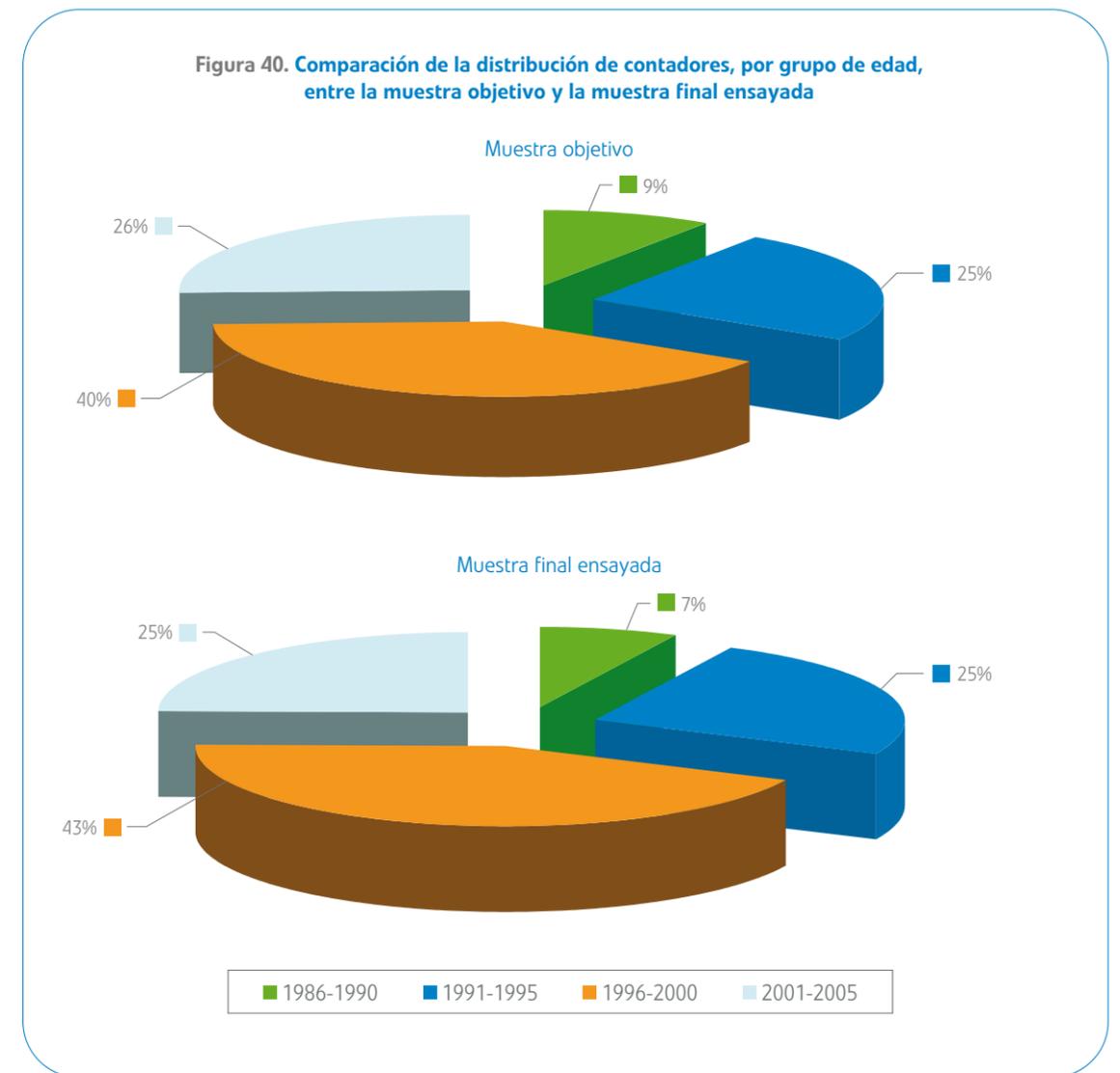
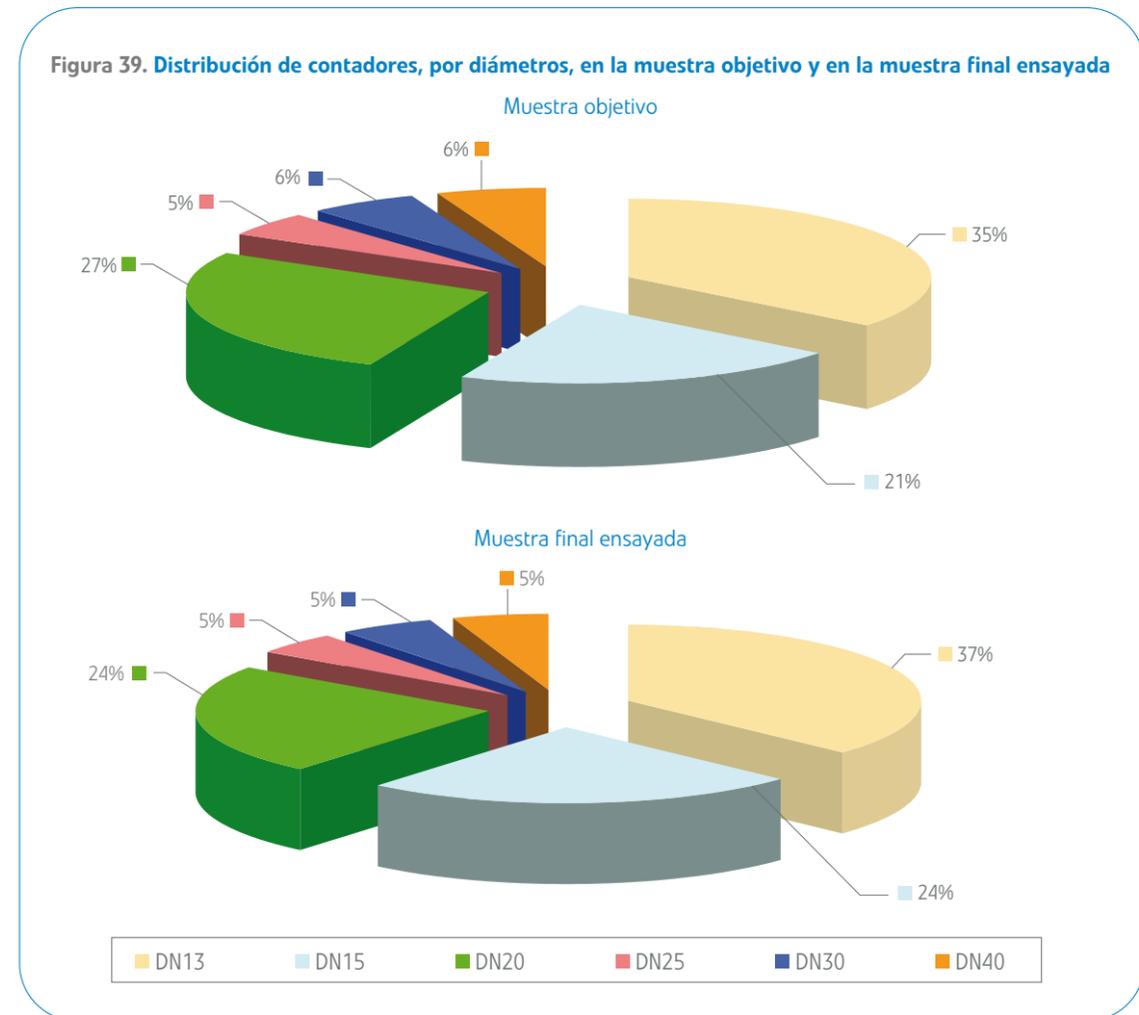


Tabla 25. Muestra final de contadores ensayados por marca y edad

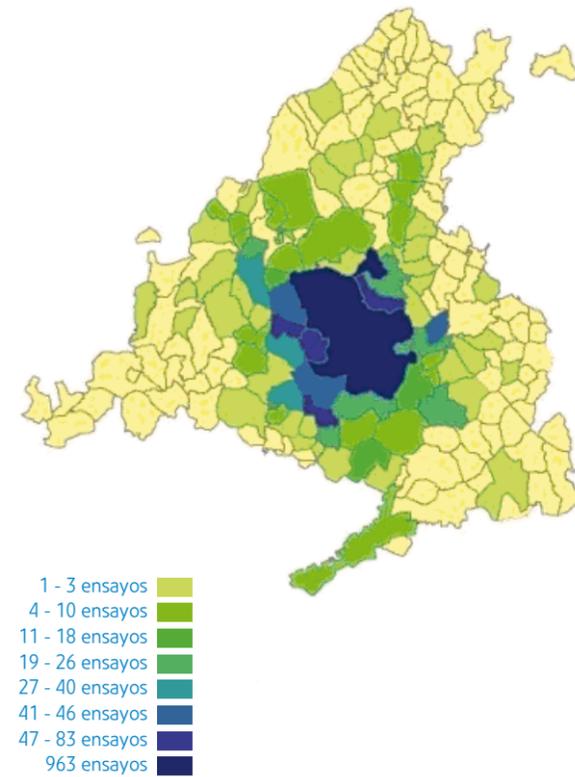
Diámetro	Marca	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	TOTAL
DN13	Marca 2	8	48	14	8	78
DN13	Marca 3	0	0	10	10	20
DN13	Marca 4	7	9	8	0	24
DN13	Marca 5	0	10	12	8	30
DN13	Marca 7	3	9	0	0	12
DN13	Marca 8	3	76	179	27	285
DN13	Marca 9	0	137	45	84	266
<b>TOTAL DN13</b>		<b>21</b>	<b>289</b>	<b>268</b>	<b>137</b>	<b>715</b>
DN15	Marca 1	0	1	59	0	60
DN15	Marca 3	0	0	22	61	83
DN15	Marca 4	8	8	0	0	16
DN15	Marca 5	0	8	29	10	47
DN15	Marca 7	8	0	0	0	8
DN15	Marca 8	8	9	153	85	255
<b>TOTAL DN15</b>		<b>24</b>	<b>26</b>	<b>263</b>	<b>156</b>	<b>469</b>
DN20	Marca 1	0	6	40	9	55
DN20	Marca 2	6	1	10	8	25
DN20	Marca 3	0	0	9	13	22
DN20	Marca 4	8	8	0	0	16
DN20	Marca 5	8	8	19	9	44
DN20	Marca 6	0	0	0	17	17
DN20	Marca 7	5	0	0	1	6
DN20	Marca 8	8	33	108	68	217
DN20	Marca 9	0	33	12	10	55
<b>TOTAL DN20</b>		<b>35</b>	<b>89</b>	<b>198</b>	<b>135</b>	<b>457</b>
DN25	Marca 2	0	6	9	0	15
DN25	Marca 4	6	7	6	0	19
DN25	Marca 5	0	6	6	6	18
DN25	Marca 7	6	0	0	0	6
DN25	Marca 8	6	0	9	0	15
DN25	Marca 9	0	6	6	6	18
<b>TOTAL DN25</b>		<b>18</b>	<b>25</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>91</b>
DN30	Marca 4	6	0	0	0	6
DN30	Marca 5	0	14	7	0	21
DN30	Marca 8	12	7	14	6	39
DN30	Marca 9	0	7	24	7	38
<b>TOTAL DN30</b>		<b>18</b>	<b>28</b>	<b>45</b>	<b>13</b>	<b>104</b>
DN40	Marca 4	9	6	0	0	15
DN40	Marca 5	7	18	12	6	43
DN40	Marca 6	0	0	0	6	6
DN40	Marca 7	6	0	0	0	6
DN40	Marca 8	0	0	12	6	18
DN40	Marca 9	0	0	6	6	12
<b>TOTAL DN40</b>		<b>22</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>100</b>
<b>TOTALES</b>		<b>138</b>	<b>481</b>	<b>840</b>	<b>477</b>	<b>1.936</b>

En la tabla 26 y en la figura 41 se aprecia la distribución por municipios de los ensayos efectuados en campo. Se han realizado aproximadamente el 50 por ciento de los ensayos en Madrid capital y el 50 por ciento en otros 77 municipios, con objeto de realizar un barrido geográfico completo por todo el parque de contadores de la Comunidad de Madrid.

Tabla 26. Distribución geográfica de los ensayos en campo

Municipio	Nº ensayos realizados	Municipio	Nº ensayos realizados
Alcobendas	83	Molar, El	6
Alcorcón	42	Molinos, Los	6
Algete	1	Moraleja de Enmedio	1
Alpedrete	5	Móstoles	38
Aranjuez	5	Navacerrada	3
Arganda del Rey	23	Navalcarnero	2
Arroyomolinos	8	Nuevo Baztán	1
Boadilla del Monte	36	Paracuellos de Jarama	4
Boalo, El	5	Parla	24
Brunete	8	Patones	1
Bustarviejo	1	Pinto	11
Campo Real	3	Pozuelo de Alarcón	62
Ciempozuelos	2	Rivas-Vaciamadrid	14
Cobeña	1	Rozas de Madrid, Las	41
Collado Mediano	6	San Fernando de Henares	24
Collado Villalba	23	San Martín de la Vega	6
Colmenar Viejo	10	San Sebastián de los Reyes	25
Colmenarejo	1	Torrejón de Ardoz	46
Coslada	27	Torrejón de la Calzada	1
Escorial, El	4	Torrejón de Velasco	1
Fresnedillas de la Oliva	1	Torrelaguna	6
Fuenlabrada	68	Torrelodones	19
Fuente el Saz de Jarama	4	Torremocha de Jarama	1
Galapagar	40	Torres de la Alameda	1
Getafe	27	Tres Cantos	4
Griñón	2	Valdemanco	1
Guadarrama	2	Valdemaqueda	1
Hoyo de Manzanares	5	Valdemorillo	4
Humanes de Madrid	1	Valdemoro	18
Leganés	42	Valdetorres de Jarama	1
Loeches	4	Velilla de San Antonio	11
Lozoya	1	Vellón, El	5
Lozoyuela-Navas-Sieteiglesias	2	Villalbilla	3
Madrid	956	Villanueva de la Cañada	5
Majadahonda	60	Villanueva del Pardillo	3
Manzanares el Real	6	Villarejo de Salvanés	1
Meco	4	Villaviciosa de Odón	4
Mejorada del Campo	7	Zarzalejo	3
Miraflores de la Sierra	2		

Figura 41. Mapa de distribución geográfica de los ensayos en campo



### 13.2. Depuración de los datos brutos

Para que la precisión de los datos obtenidos de los ensayos en campo, que presentan una gran variabilidad, tuviera la mayor fiabilidad posible se ha hecho imprescindible realizar una depuración de los mismos, basándose en métodos estadísticos de detección y eliminación de datos atípicos y/o erróneos, también llamados outliers.

Por outlier se entiende aquella observación que es atípica y/o errónea por tener un comportamiento muy diferente al del resto de los datos.

El procedimiento empleado para la detección de outliers ha sido el método del recorrido intercuartílico. Debido a la generalidad que se pretende dar a este estudio, se ha aplicado a las series de datos agrupadas por diámetros, desde 13 a 40 mm en cada diámetro, por sus caudales de ensayo correspondientes. Los ensayos con uno o más datos considerados como outliers leves, han sido eliminados para el análisis final para dotar de mayor rigor al estudio.

El porcentaje de contadores outliers encontrados, para cada diámetro, se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Porcentaje de outliers encontrados en la muestra

DN	% Outliers
13	11%
15	13%
20	8%
25	2%
30	13%
40	8%

Como conclusión hay que comentar que, aunque el número de outliers detectado y eliminado es relativamente elevado, con los datos depurados resultantes, que conforman una muestra de 1.252 contadores, ha sido posible abordar un estudio general de las curvas de error de cada categoría, como se verá en los siguientes apartados.

### 13.3. Representatividad de la muestra depurada

#### 13.3.1. Cumplimiento con los criterios exigidos en la muestra inicial

La mencionada muestra empleada para el análisis, formada por 1.252 contadores, surge de la depuración de datos atípicos y/o erróneos de otra muestra de tamaño superior, formada por 1.936 contadores de diámetros comprendidos entre 13 y 40 mm, que se sometieron a ensayos en finca para la determinación de su curva de error. El número y tipo de contadores que se debían someter a ensayo se encontraban estratificados por diámetro, marca y grupo de edad en una muestra objetivo de 1.631 contadores. Además, se pretendía que se cumplieran los siguientes criterios:

- El 50 por ciento de los contadores debían ser de consumo alto y el 50 por ciento de consumo bajo
- El 50 por ciento de los contadores debían ser de emplazamiento interior y el 50 por ciento de emplazamiento exterior
- El 50 por ciento de los contadores debían pertenecer a Madrid capital y el 50 por ciento al resto de municipios de la Comunidad

A continuación se presenta (figuras 42 a 47) un estudio comparativo entre:

- La muestra objetivo de 1.631 contadores
- La muestra final ensayada de 1.936 contadores
- La muestra depurada de 1.252 contadores, empleada finalmente para el análisis de la curva de error

Figura 42. Comparación de la distribución de contadores por diámetro nominal, en cada una de las muestras

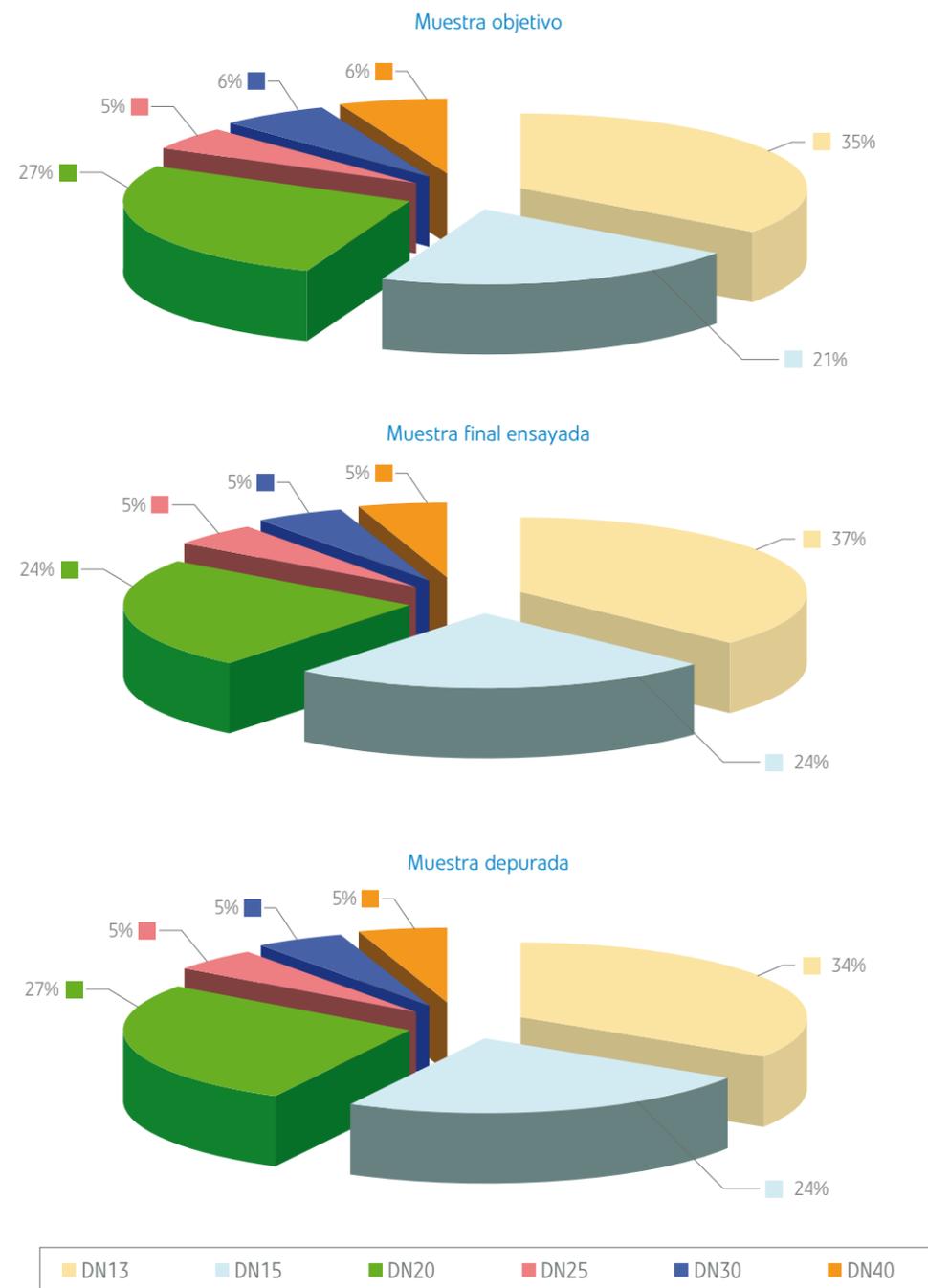


Figura 43. Comparación de la distribución de contadores por marcas, en cada una de las muestras

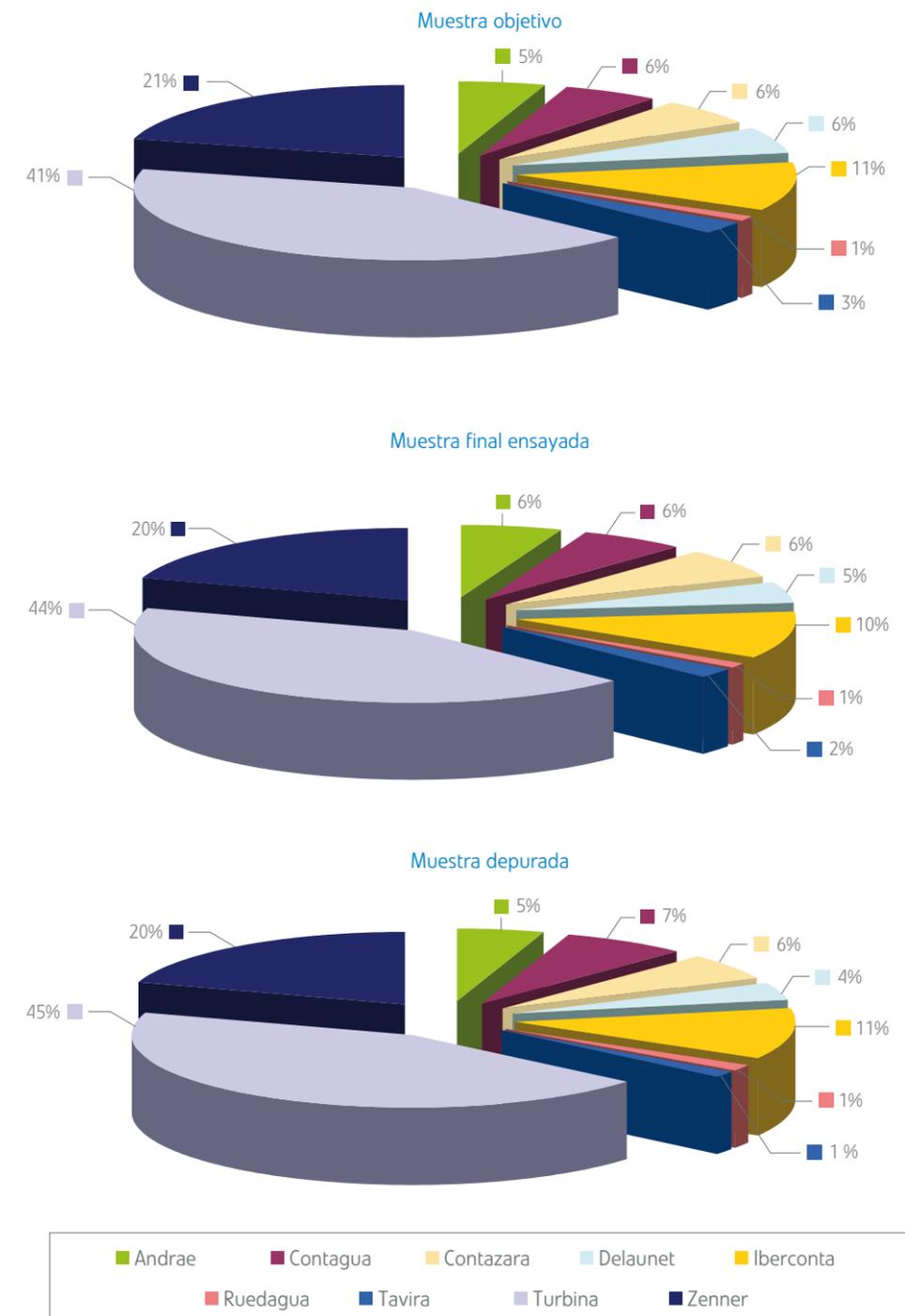


Figura 44. Comparación de la distribución de contadores por grupos de edad, en cada una de las muestras

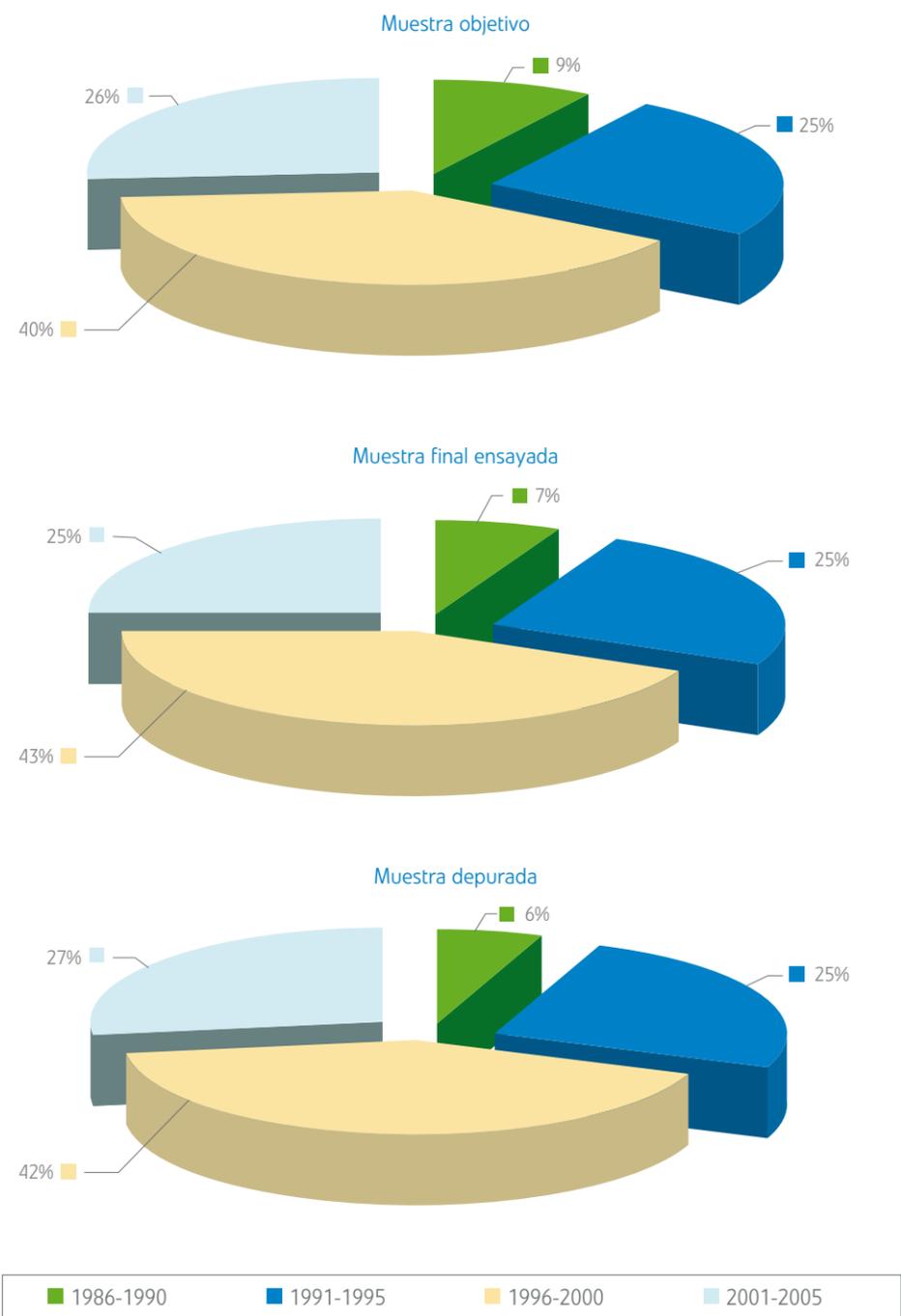
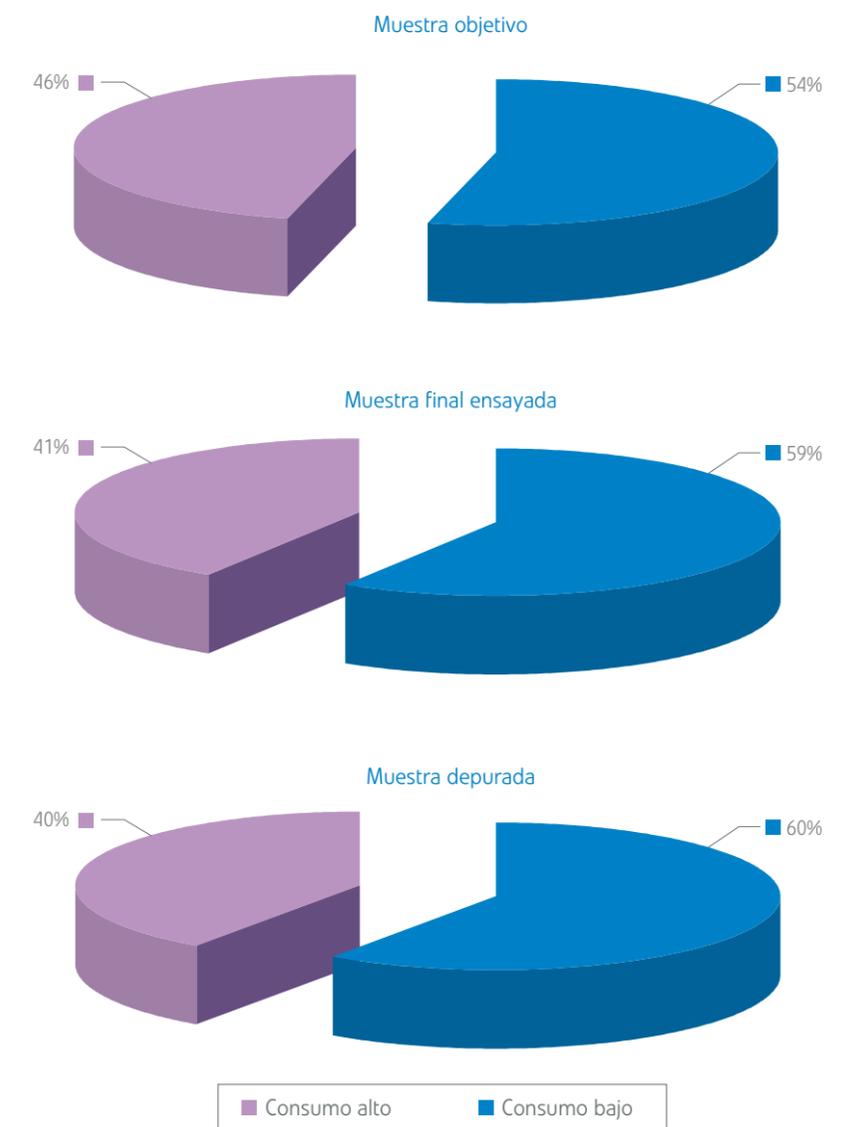
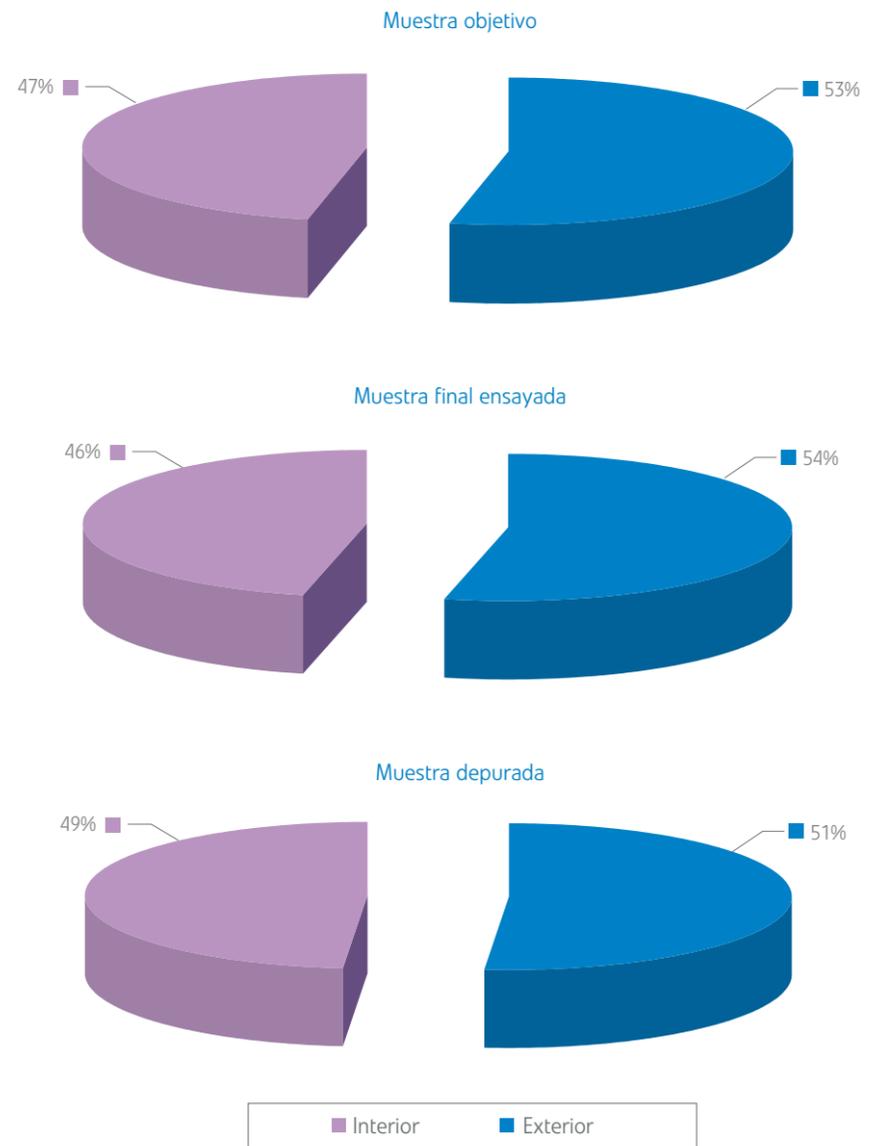


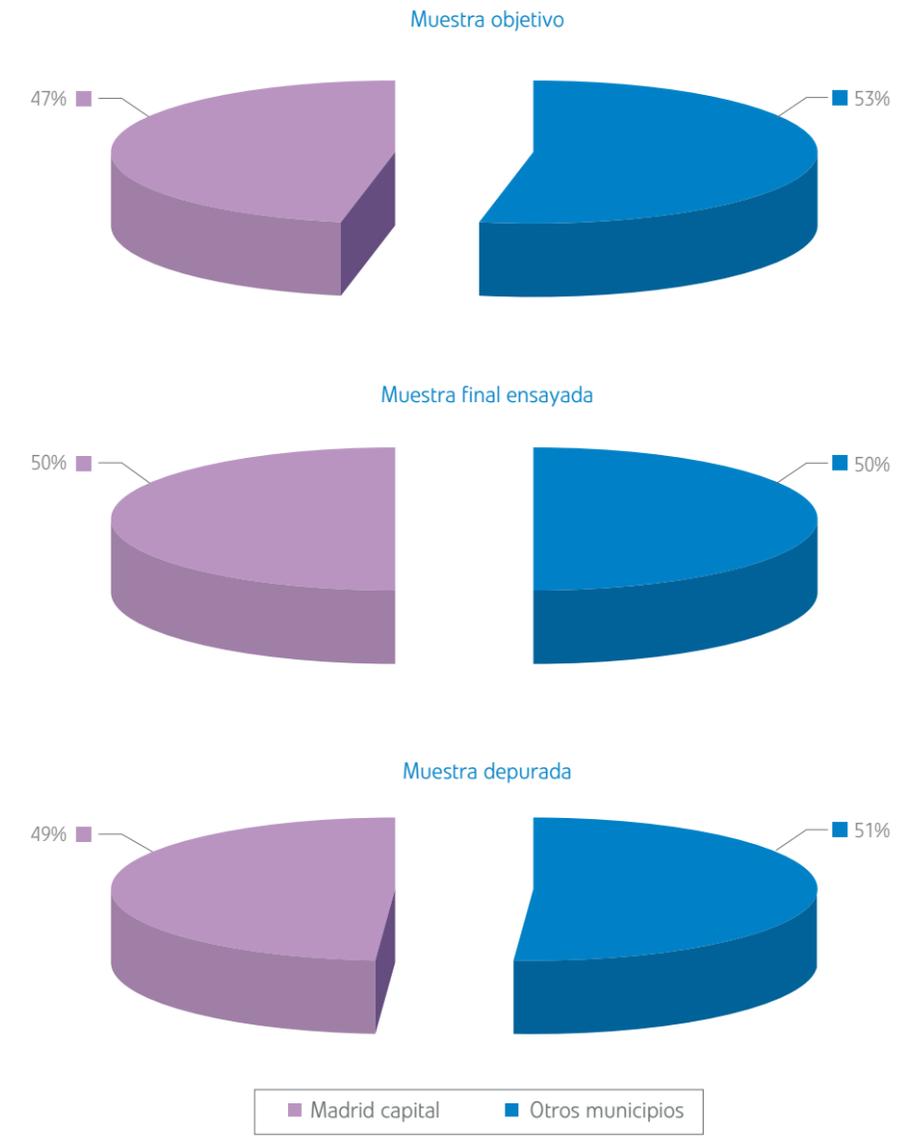
Figura 45. Comparación de la distribución de contadores por tipo de consumo, en cada una de las muestras



**Figura 46. Comparación de la distribución de contadores por tipo de emplazamiento, en cada una de las muestras**



**Figura 47. Comparación de la distribución de contadores por ubicación geográfica, en cada una de las muestras**



Como se refleja en las figuras anteriores, la muestra depurada empleada para el análisis cumple suficientemente con los criterios exigidos en la muestra inicial considerada como objetivo, por lo que se ha considerado como representativa para realizar el análisis general de la curva de error.

No obstante, existen otros criterios, no considerados en la confección de la muestra inicial objetivo, que pueden ser interesantes a la hora de analizar con más profundidad la precisión de los contadores y que se van a comentar en el apartado siguiente.

### 13.3.2. Representatividad de la muestra depurada con respecto a otros factores

En este apartado se va a estudiar la representatividad de la muestra analizada con respecto a otros aspectos que caracterizan al parque y que pueden tener influencia en la curva de error, como el uso al que se destina el contador, la configuración de la instalación del mismo (contadores divisionarios, de tipo único, etc.) o su clase metrológica (B o C).

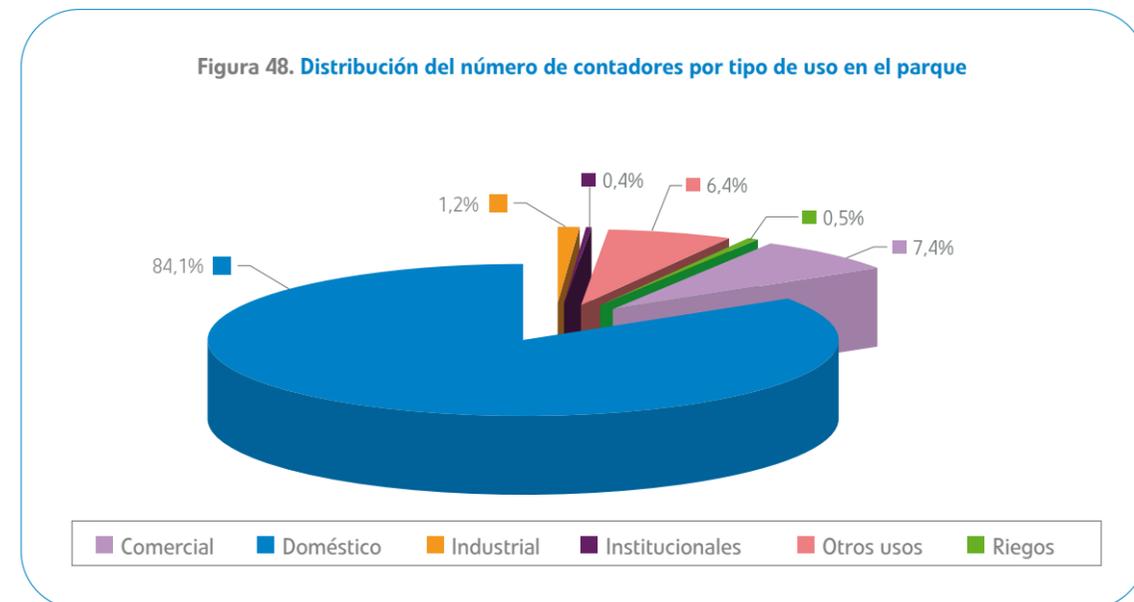
Las discrepancias encontradas entre muestra depurada y parque, con respecto a estos aspectos, se tendrán en cuenta más adelante, en el apartado del cálculo del error global de los contadores.

Clasificación de los contadores por el uso al que se destinan:

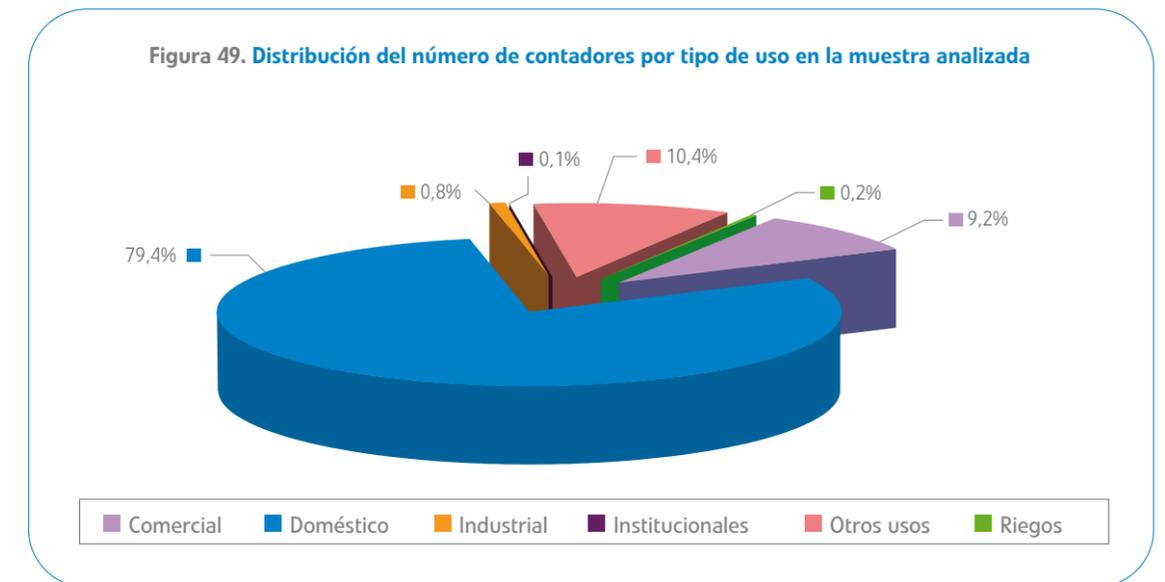
Los usos principales a los que se destinan los distintos contadores que conforman el parque son, según la base de datos de gestión de clientes, los siguientes:

- Doméstico
- Industrial
- Comercial
- Otros usos
- Institucionales
- Riegos

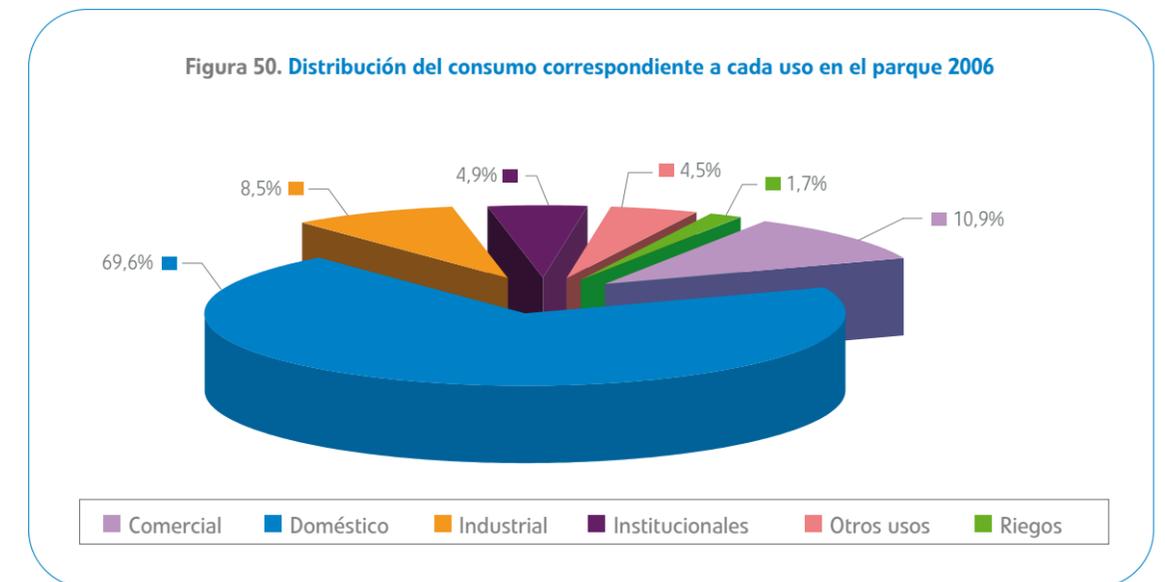
La figura 48 muestra la distribución porcentual de estos usos.



En la muestra analizada de 1.252 contadores la distribución porcentual es la que refleja la figura 49.



En términos de consumo los contadores destinados a uso doméstico suponen el grupo mayoritario, según refleja la figura 50, tanto en el parque como en la muestra. Este tipo de contadores registró aproximadamente el 70 por ciento del consumo en 2006.



Tanto desde el punto de vista del número de contadores como desde el punto de vista del consumo, los usos dominantes en el parque de contadores son el doméstico y el comercial. Conjuntamente representan el 91,5 por ciento del total de contadores del parque y el 80,5 por ciento del consumo. Con respecto a la muestra, el 88,6 por ciento de los contadores son de uso doméstico o de uso comercial.

En cuanto al reparto de dichos usos doméstico y comercial por diámetros nominales, se observa una preponderancia de los diámetros DN13, DN15 y DN20 que conjuntamente representan aproximadamente el 90 por ciento de los contadores, tanto en el parque, como en la muestra, como se observa en la tabla 28.

Hay que remarcar que, aunque la muestra sólo contiene contadores de diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40, se realiza en este apartado la caracterización del parque en toda su gama de diámetros con objeto de estudiar, de una manera más objetiva, la representatividad de la muestra.

**Tabla 28. Clasificación del número de contadores por usos en el parque y en la muestra analizada**

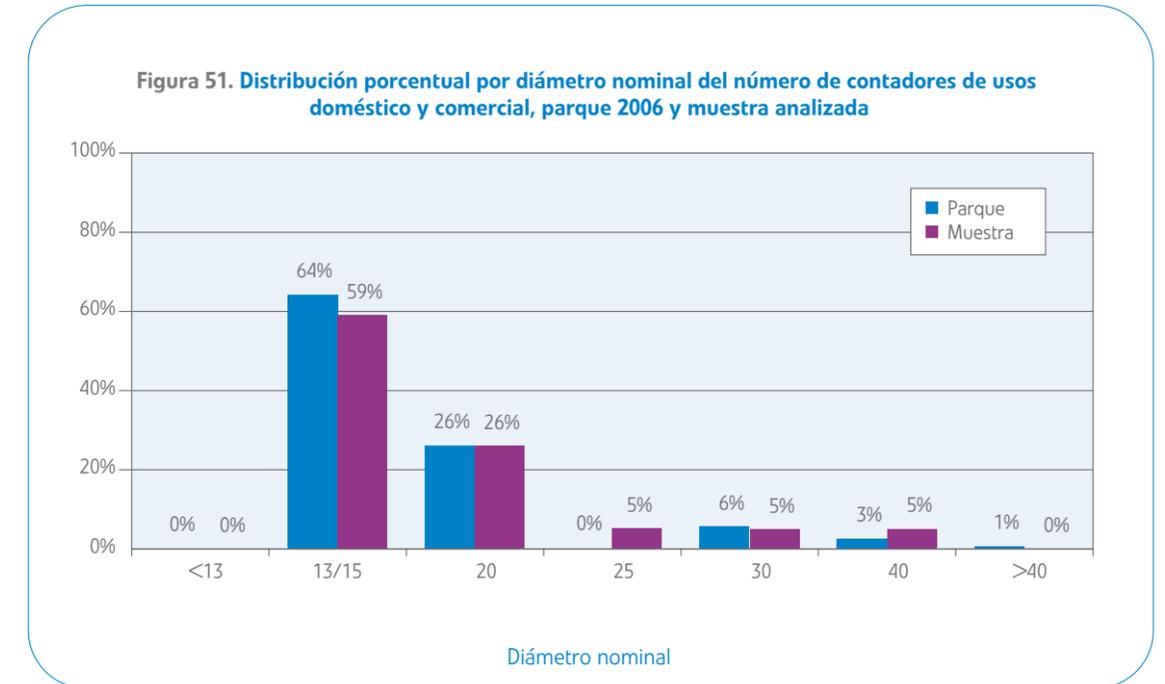
Usos	Número de contadores por diámetro nominal en el parque								
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	TOTAL
Comercial	287	45.309	7.917	16.992	538	4.191	3.149	1.191	<b>79.574</b>
Doméstico	2.554	309.352	272.298	242.325	4.377	51.344	22.894	4.636	<b>909.780</b>
Industrial	182	4.027	189	5.663	148	1.311	1.038	835	<b>13.393</b>
Institucionales	11	730	16	1.002	51	915	1.151	918	<b>4.794</b>
Otros usos	12	15.153	7.317	11.259	119	3.323	10.176	21.871	<b>69.230</b>
Riegos	0	536	8	703	9	444	2.823	664	<b>5.187</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.046</b>	<b>375.107</b>	<b>287.745</b>	<b>277.944</b>	<b>5.242</b>	<b>61.528</b>	<b>41.231</b>	<b>30.115</b>	<b>1.081.958</b>

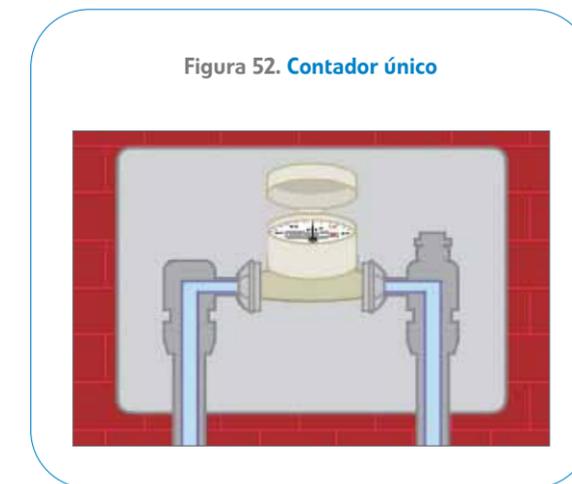
Usos	Número de contadores por diámetro nominal en la muestra								
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	TOTAL
Comercial	0	74	11	21	4	2	3	0	<b>115</b>
Doméstico	0	316	253	266	54	52	53	0	<b>994</b>
Industrial	0	7	0	1	0	0	2	0	<b>10</b>
Institucionales	0	0	0	0	0	0	1	0	<b>1</b>
Otros usos	0	34	32	49	4	3	8	0	<b>130</b>
Riegos	0	0	0	0	0	0	2	0	<b>2</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>431</b>	<b>296</b>	<b>337</b>	<b>62</b>	<b>57</b>	<b>69</b>	<b>0</b>	<b>1.252</b>

El grupo de contadores de diámetros comprendidos entre 13 y 40 mm representa, tanto en el caso de uso doméstico, como en el caso de uso comercial, el 99 por ciento del total de contadores del parque, como se refleja en la figura 51.

Es de destacar la gran similitud entre la distribución por diámetros del parque y de la muestra cuando el uso es doméstico o comercial.



Clasificación de los contadores según el tipo de instalación



Los contadores presentes en el parque, atendiendo al tipo de instalación, se clasifican principalmente en las siguientes categorías:

- Contador único (figura 52), denominado "U" en la base de datos de clientes, que corresponde a una acometida que abastece a un solo usuario. Se pueden encontrar ubicados en armarios o en arquetas; tanto en exterior como en interior

- Contador divisionario. En una acometida que abastece a varios usuarios se colocan tantos contadores como usuarios y se disponen en batería. Cuando esta batería se encuentra situada en un cuarto o armario de uso exclusivo para agua potable, generalmente en bloques de viviendas y locales, se denomina "batería de contadores divisionarios". Los contadores instalados en ella se denominan "contadores divisionarios" adoptando, en la base de datos, el código "DS"
- Contador divisionario principal. Es el contador destinado a registrar el consumo de toda una finca (de fachada generalmente) se denomina "divisionario principal" y adopta el código "DP". La figura 53 representa un esquema de acometida que abastece a varios usuarios, en el que se puede observar un armario de fachada con el contador divisionario principal "DP" y, a continuación del mismo, la batería de contadores divisionarios "DS"

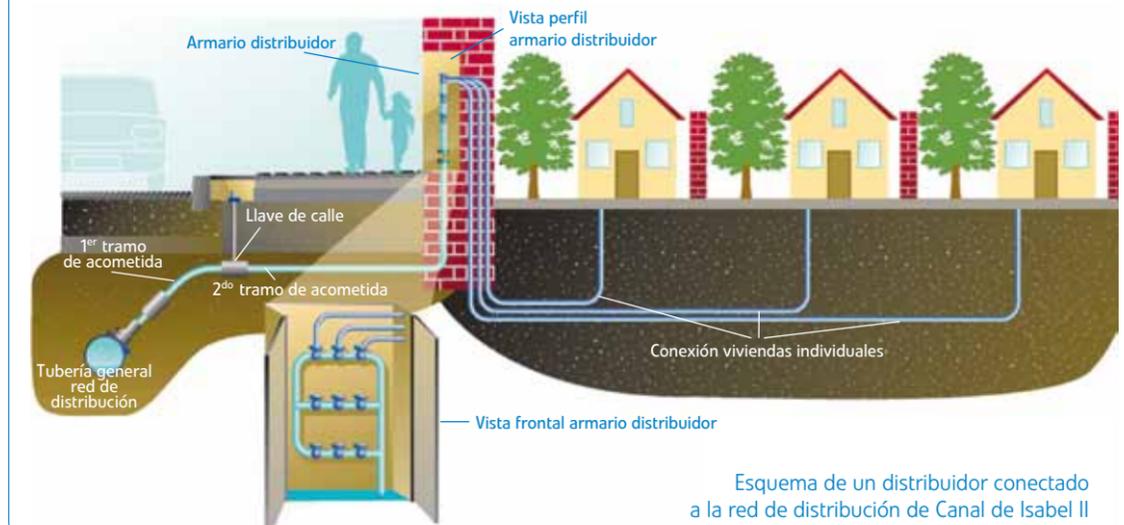
**Figura 53. Batería de contadores secundarios divisionarios y contador divisionario principal ubicado en armario**

Esquema de una batería de contadores conectada a la red de distribución de Canal de Isabel II



- Contadores secundarios de distribuidor. En el caso de viviendas unifamiliares o locales que por motivos diversos no pueden disfrutar de una acometida individual, los contadores correspondientes se disponen también en batería, pero ésta se aloja en un "armario distribuidor" situado en el límite de la propiedad (figura 54). En este caso, los contadores instalados en ella se denominan "contadores secundarios de distribuidor", y adoptan en la base de datos el código "SD".

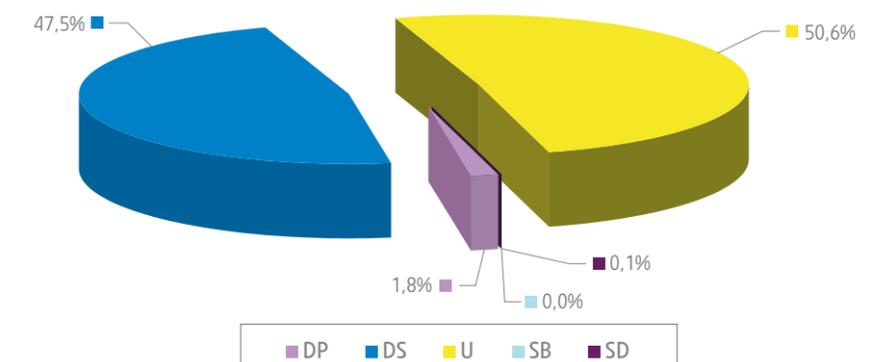
**Figura 54. Contadores secundarios en armario distribuidor**



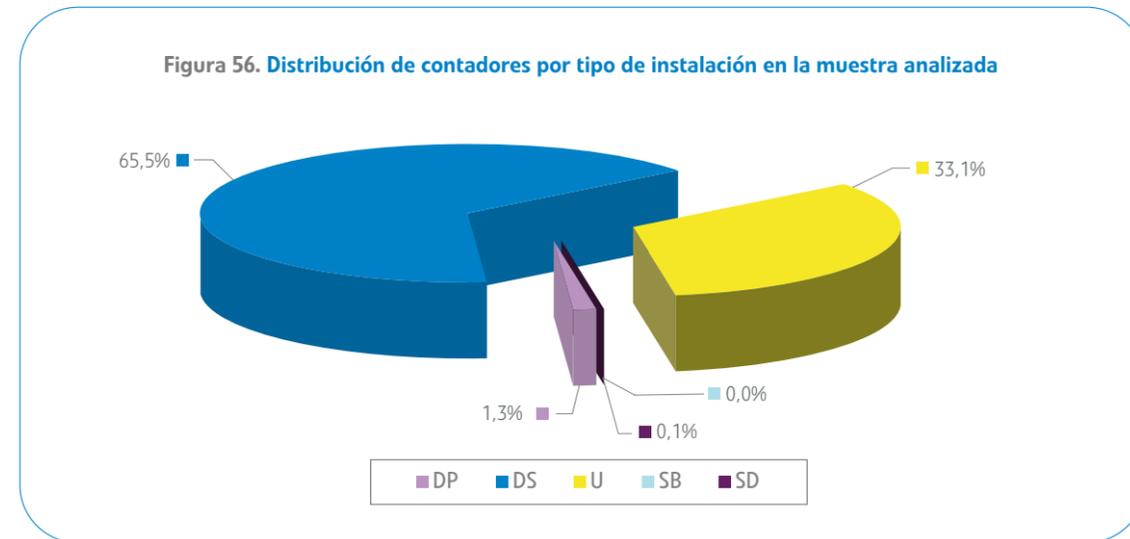
- Contadores biacometida. Se ha encontrado una última categoría minoritaria (dos contadores en todo el parque), que corresponde a una biacometida, situación infrecuente en la red de distribución de la Empresa. Los contadores de este tipo se denominan "contadores de biacometida" y adoptan el código "SB"

Analizando la distribución de los diferentes tipos de instalación en el parque (figura 55), se observa como el 98,1 por ciento de los contadores son de tipo "único" (U) o "divisionario" (DS). La opción mayoritaria, por una ligera diferencia, es la de contador "único". Las categorías SD y SB son prácticamente despreciables en razón de su número.

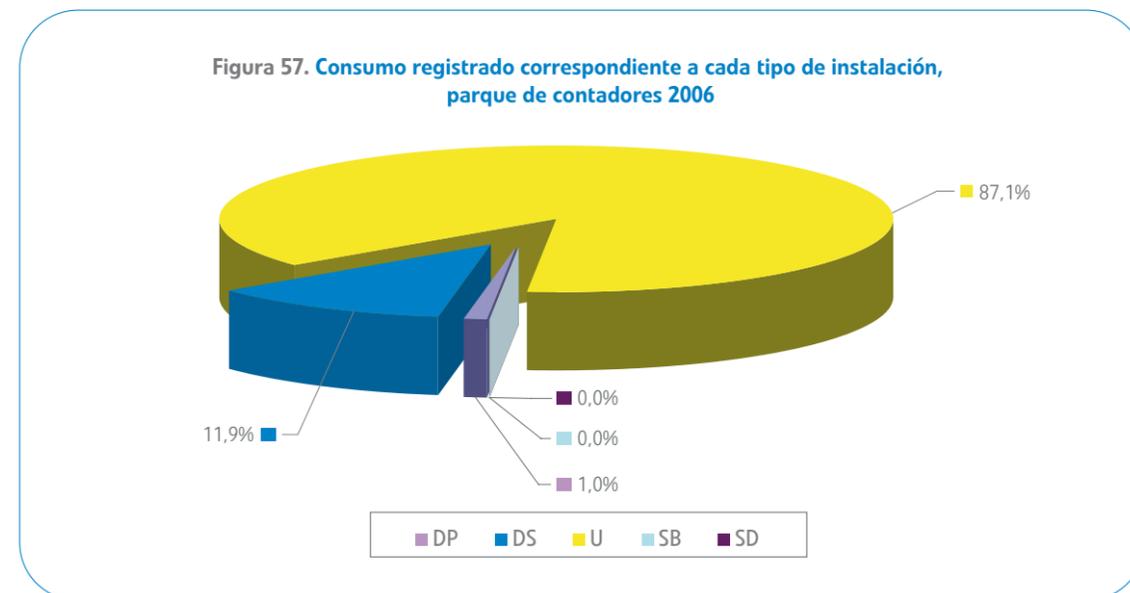
**Figura 55. Distribución de contadores por tipo de instalación - Parque 2006**



En cuanto a la muestra analizada (figura 56), el 98,6 por ciento de los contadores son de tipo único o divisionario, siendo este último caso la opción mayoritaria, con un 65,5 por ciento, frente al 47,5 por ciento que representa en el parque.



Los contadores de tipo único (U) registraron el 87,1 por ciento del consumo total del parque en 2006 frente al 11,9 por ciento registrado por los contadores divisionarios (DS). Esto es debido a que el 99 por ciento de los contadores divisionarios del parque son de diámetros inferiores o iguales a DN20, mientras que este porcentaje baja al 77 por ciento en el caso de los de tipo único. La figura 57 refleja la distribución porcentual de estos consumos.



En la tabla 29 se resume la composición del parque de contadores y de la muestra analizada, en función de los distintos tipos de instalación comentados.

**Tabla 29. Clasificación de contadores por tipo de instalación, en el parque (2006) y en la muestra analizada**

Usos	Número de contadores en parque 2006								TOTAL
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	
DP	1	252	11	8.551	15	6.701	2.754	1.018	<b>19.303</b>
DS	12	172.547	276.788	64.018	217	178	23	7	<b>513.790</b>
U	3.033	202.075	10.651	205.032	5.007	54.648	38.454	29.090	<b>547.990</b>
SB	0	2	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>
SD	0	231	295	343	3	1	0	0	<b>873</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.046</b>	<b>375.107</b>	<b>287.745</b>	<b>277.944</b>	<b>5.242</b>	<b>61.528</b>	<b>41.231</b>	<b>30.115</b>	<b>1.081.958</b>

Usos	Número de contadores en muestra								TOTAL
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	
DP	0	0	0	7	0	4	5	0	<b>16</b>
DS	0	342	282	185	9	2	0	0	<b>820</b>
U	0	89	14	145	51	51	64	0	<b>414</b>
SB	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
SD	0	0	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>431</b>	<b>296</b>	<b>337</b>	<b>61</b>	<b>57</b>	<b>69</b>	<b>0</b>	<b>1.251</b>

Al comparar por diámetros la representación de las categorías más frecuentes (DS, U y DP), tanto en la muestra, como en el parque (figura 58), se observan algunas discrepancias en el reparto, sobre todo en el caso de los contadores de tipo único (U) y divisionario principal (DP).

No hay que olvidar que la muestra sólo contiene contadores de diámetros comprendidos entre DN13 y DN40.

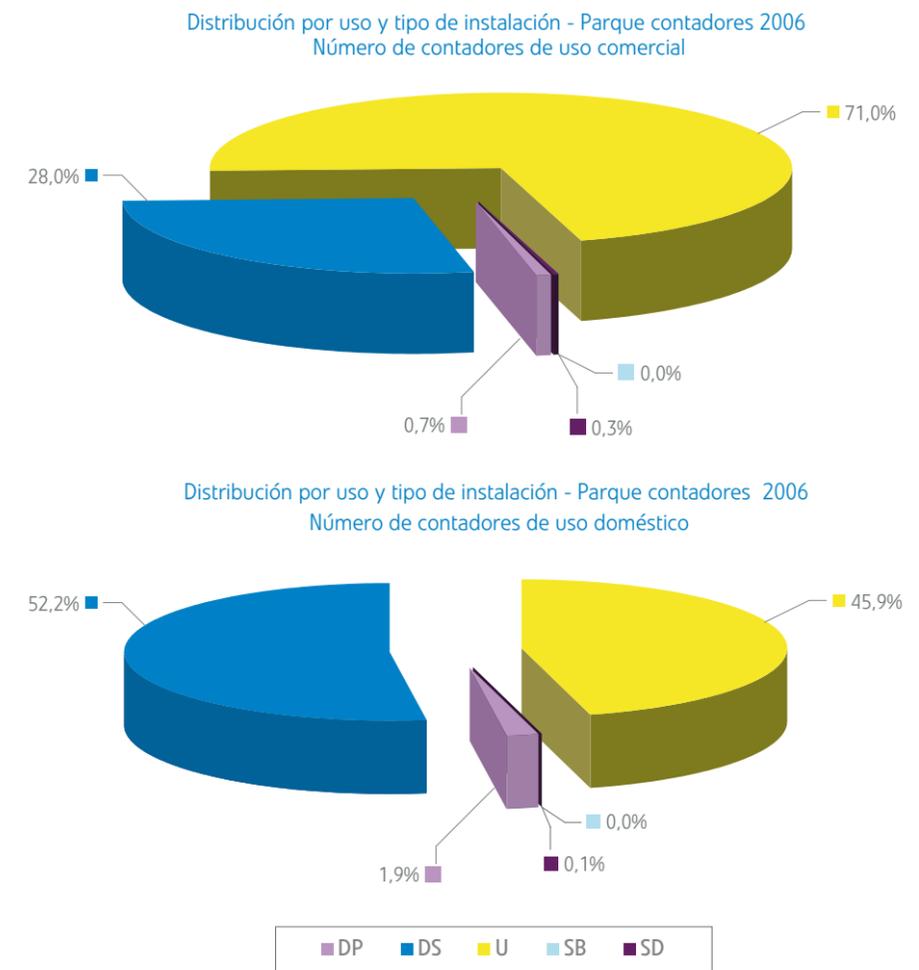
**Figura 58. Comparación entre el porcentaje de contadores divisionarios secundarios, únicos y divisionarios principales, por diámetros nominales, en el parque (2006) y en la muestra analizada**



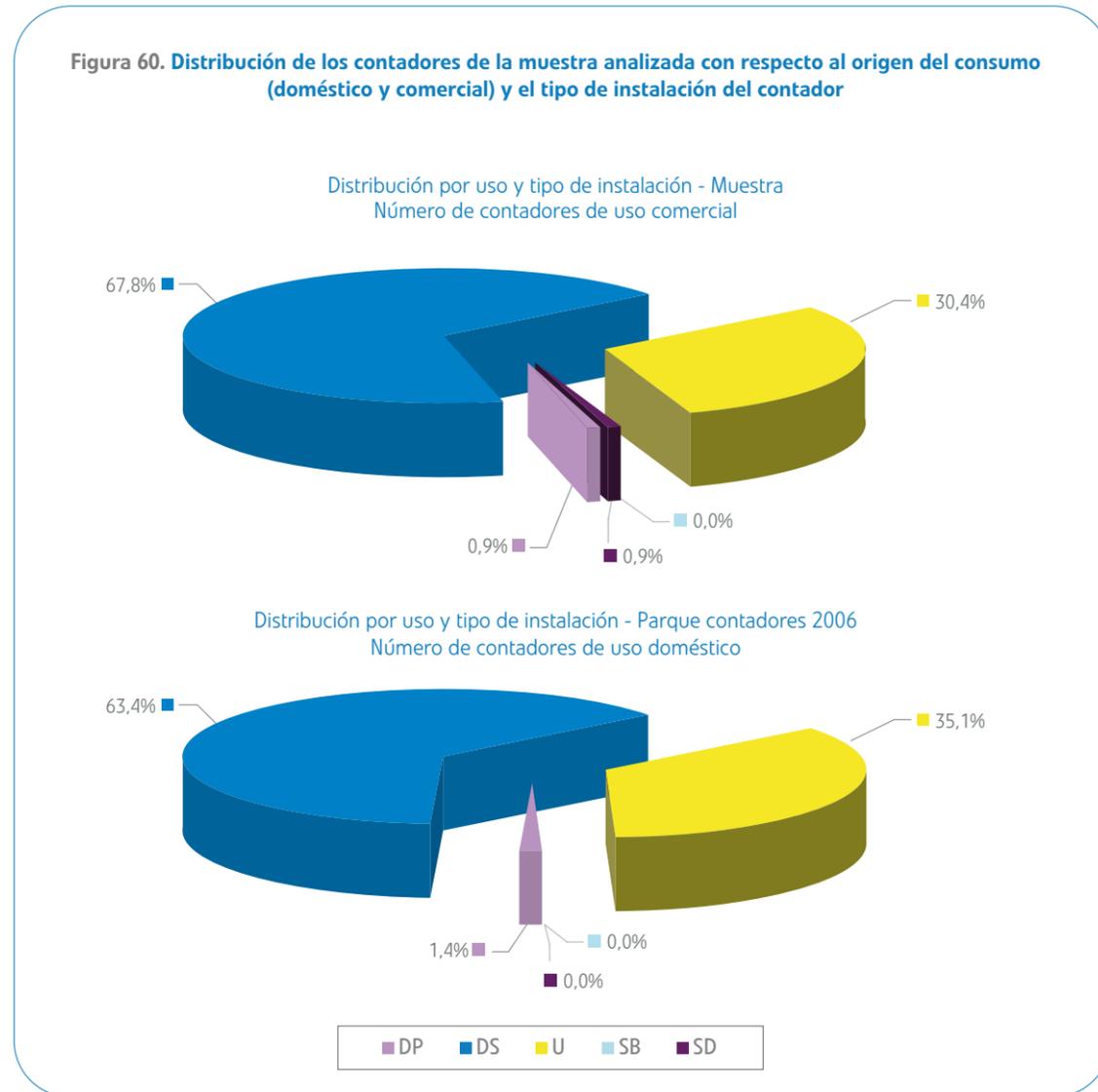
Clasificación de los contadores según el origen de consumo y el tipo de instalación

En el parque, los contadores divisionarios (DS) se emplean principalmente para registrar consumos de origen doméstico, y los contadores de tipo único (U) son más habituales en el registro de consumos de tipo comercial (figura 59).

**Figura 59. Distribución de los contadores del parque (2006) con respecto al origen del consumo (doméstico y comercial) y el tipo de instalación del contador**

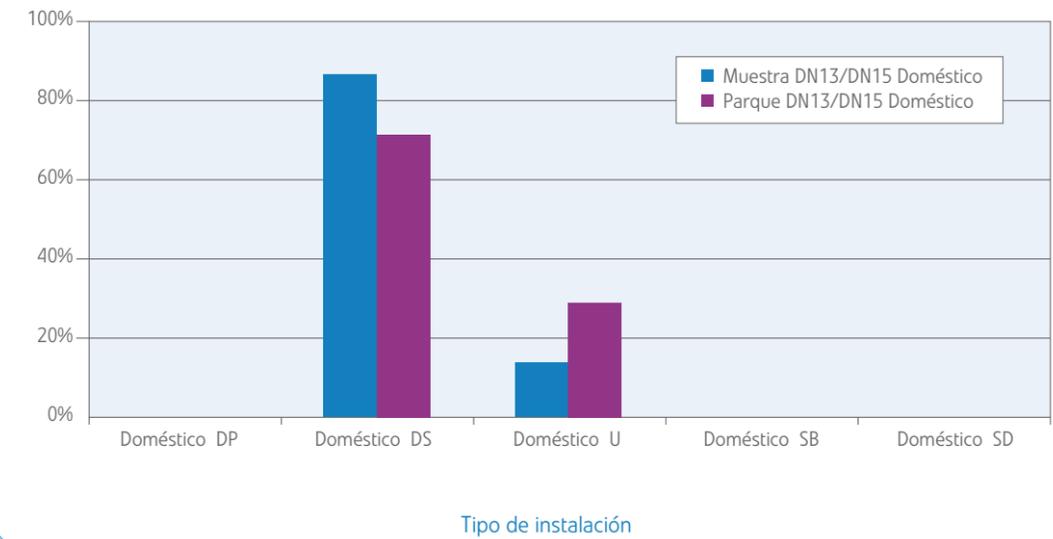


En la muestra analizada (figura 60) son más frecuentes los contadores divisionarios (DS) para registrar ambos tipos de consumos

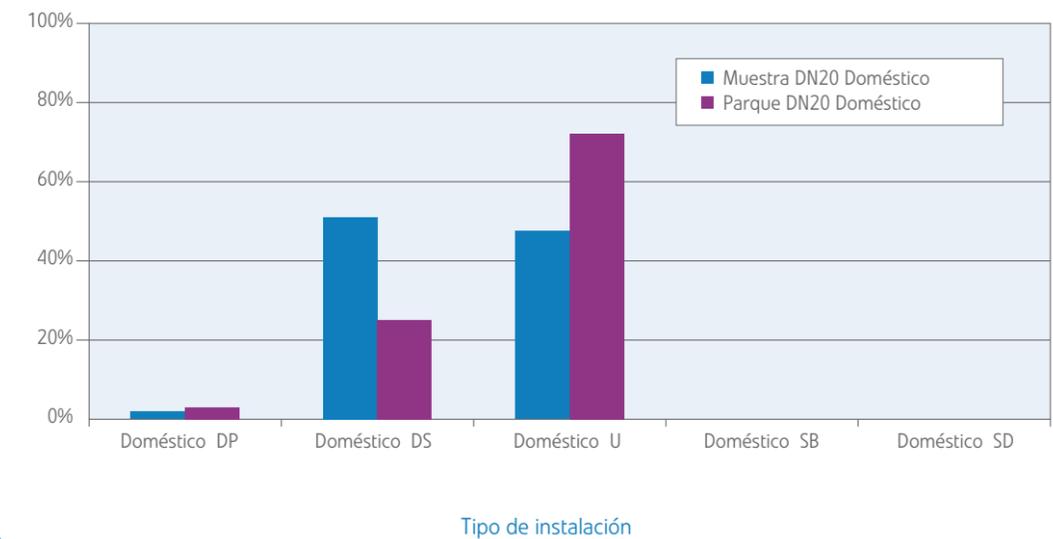


Al analizar el reparto por diámetros nominales de cada una de los tipos de instalación, en el caso de consumo doméstico, se observa una relativa coincidencia entre el parque y la muestra analizada en DN13, 15 y 20, y una elevada coincidencia en DN25, DN30 y DN40 (figuras 61 a 65).

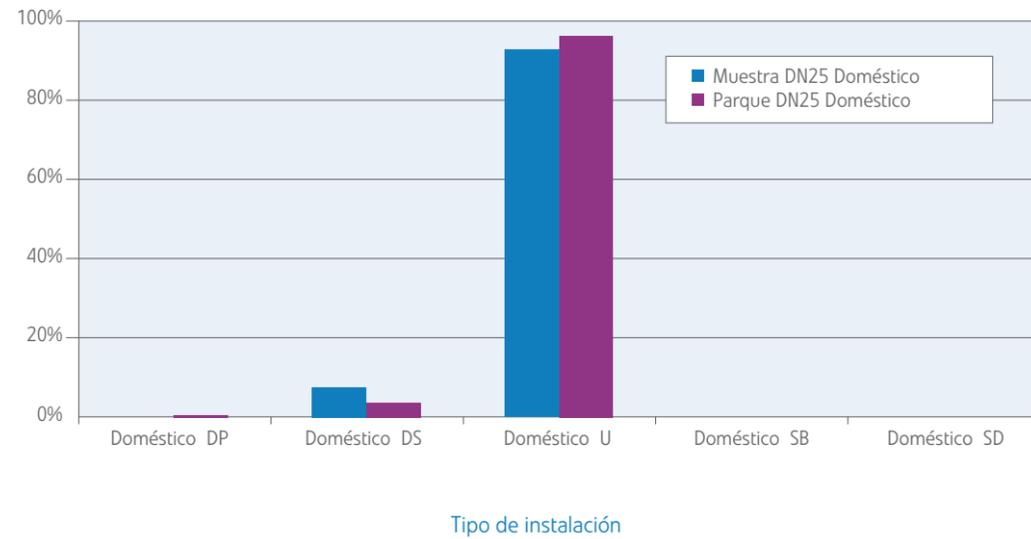
**Figura 61. Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN13 y DN15. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada**



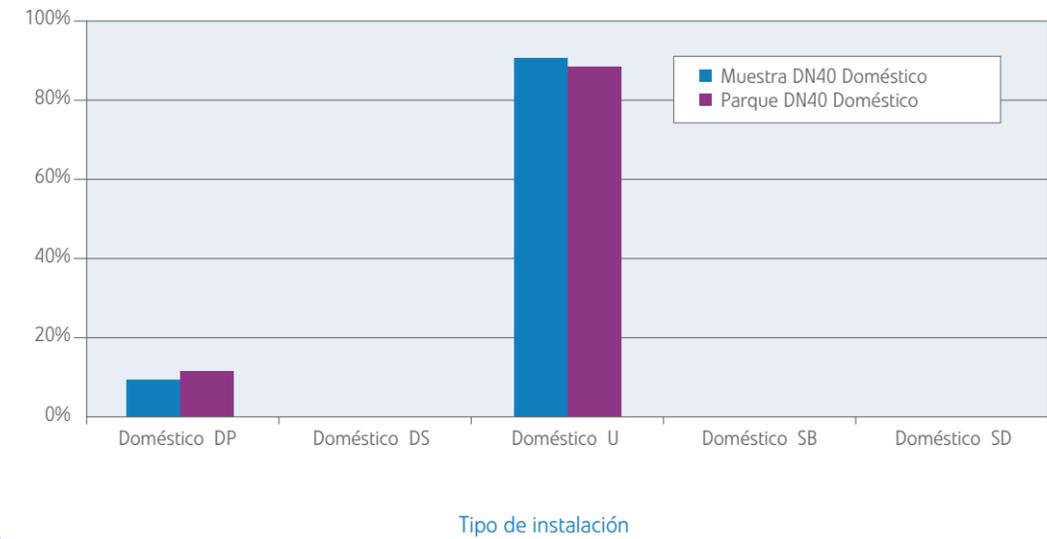
**Figura 62. Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN20. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada**



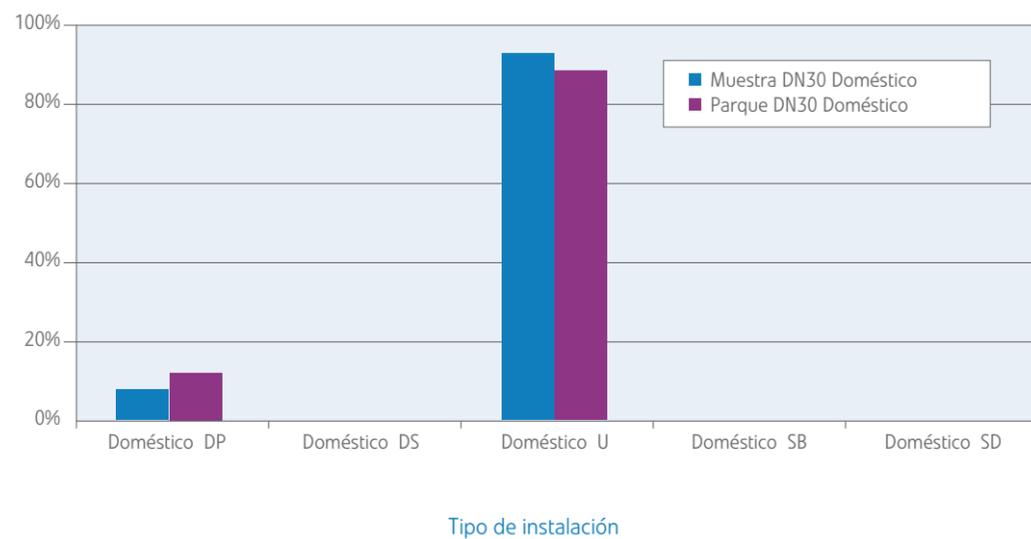
**Figura 63. Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN25. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada**



**Figura 65. Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN40. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada**



**Figura 64. Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN30. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada**



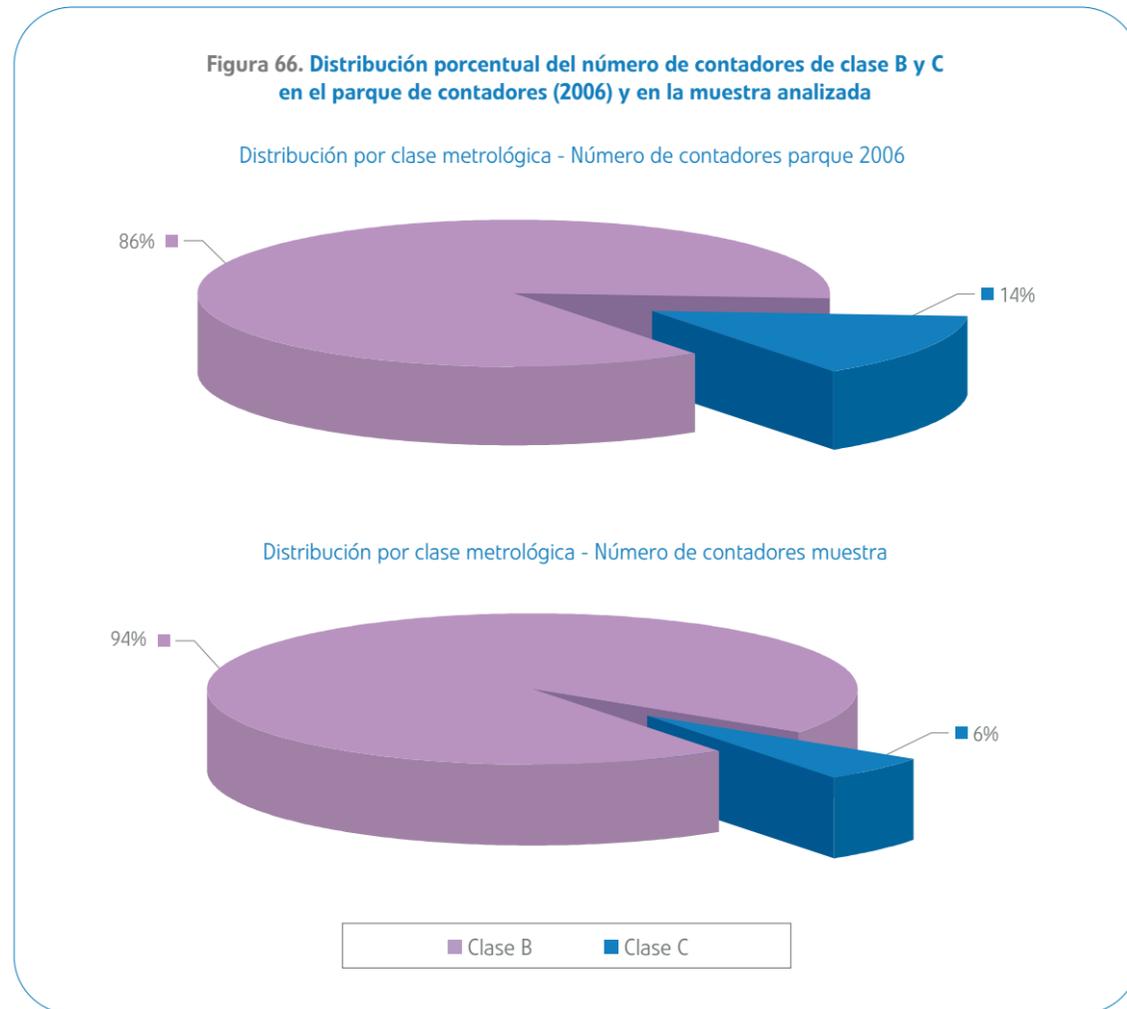
Tanto en la muestra como en el parque, la mayor proporción de contadores DN13 y DN15 que registran consumos de origen doméstico son de tipo divisionario (DS). A partir de DN20 esta tendencia se invierte (aunque aún se mantiene en la muestra en DN20), pasándose a utilizar preferentemente contadores de tipo único (U), ya que este diámetro corresponde a pisos de mayor superficie construida y viviendas unifamiliares, con su propia acometida.

La proporción de contadores de tipo divisionario principal (DP), es muy similar en todos los diámetros en el parque y en la muestra.

#### Clasificación de los contadores según su clase metrológica

Aunque la muestra depurada analizada tiene prácticamente la misma proporción de contadores de clases metrológicas B y C que la muestra que se consideró como objetivo, la composición del parque es algo diferente. (Hay que recordar que los contadores de clase C analizados corresponden, por la fecha en la que se confeccionó la muestra, a un único modelo, con una configuración particular de turbina axial).

En el parque, la proporción de contadores de este tipo particular de contadores de clase C es del 14 por ciento; superior al 6 por ciento presente en la muestra (figura 66).



Esta diferencia se debe al alto porcentaje de contadores de clase C, de diámetro DN15, presente en el parque con respecto a los otros diámetros, como se puede observar en la tabla 30.

**Tabla 30. Clasificación del número de contadores por clase metrológica - Parque (2006) y muestra analizada**

Usos	Número de contadores en parque 2006								TOTAL
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	
Clase B	3.043	358.415	177.912	252.206	5.236	61.378	41.071	29.911	<b>929.172</b>
Clase C	3	16.692	109.833	25.738	6	150	160	204	<b>152.786</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.046</b>	<b>375.107</b>	<b>287.745</b>	<b>277.944</b>	<b>5.242</b>	<b>61.528</b>	<b>41.231</b>	<b>30.115</b>	<b>1.081.958</b>

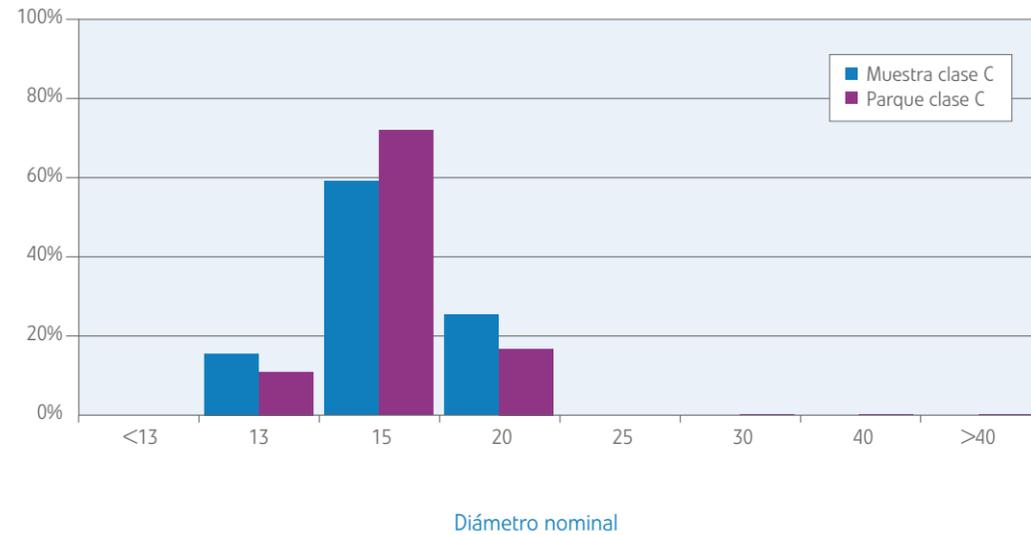
  

Usos	Número de contadores en muestra								TOTAL
	Menor de 13	13	15	20	25	30	40	Mayor de 40	
Clase B	0	420	254	319	62	57	69	0	<b>1.181</b>
Clase C	0	11	42	18	0	0	0	0	<b>71</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>431</b>	<b>296</b>	<b>337</b>	<b>62</b>	<b>57</b>	<b>69</b>	<b>0</b>	<b>1.252</b>

No obstante, se encuentran las siguientes semejanzas entre la muestra y el parque (figura 67):

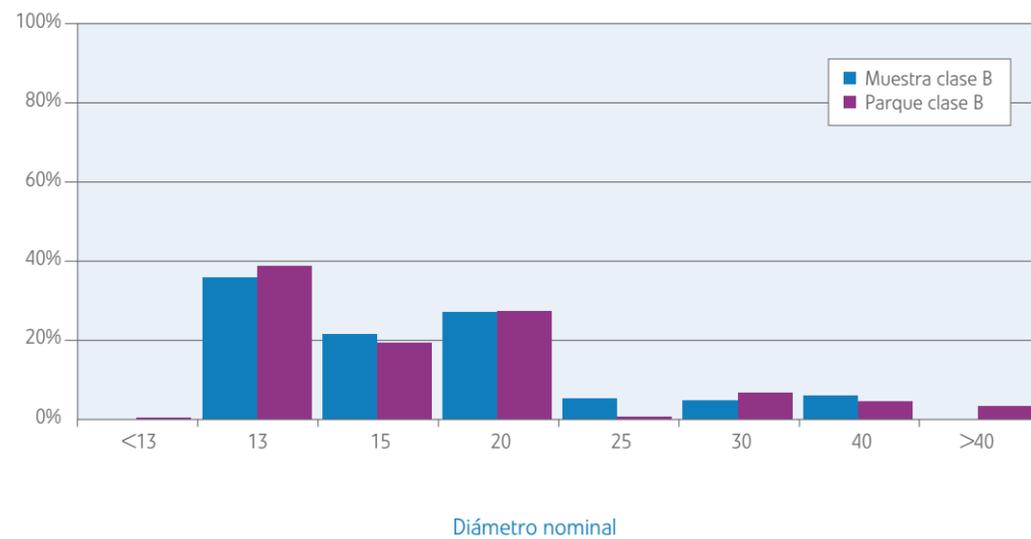
- Los diámetros DN13, DN15 y DN20 concentran la práctica totalidad de contadores de clase C
- La mayor proporción de contadores corresponde a DN15, seguida por el grupo de DN20, y por último, el de DN13

**Figura 67. Comparación entre la proporción de contadores clase C, en parque (2006) y en la muestra analizada**



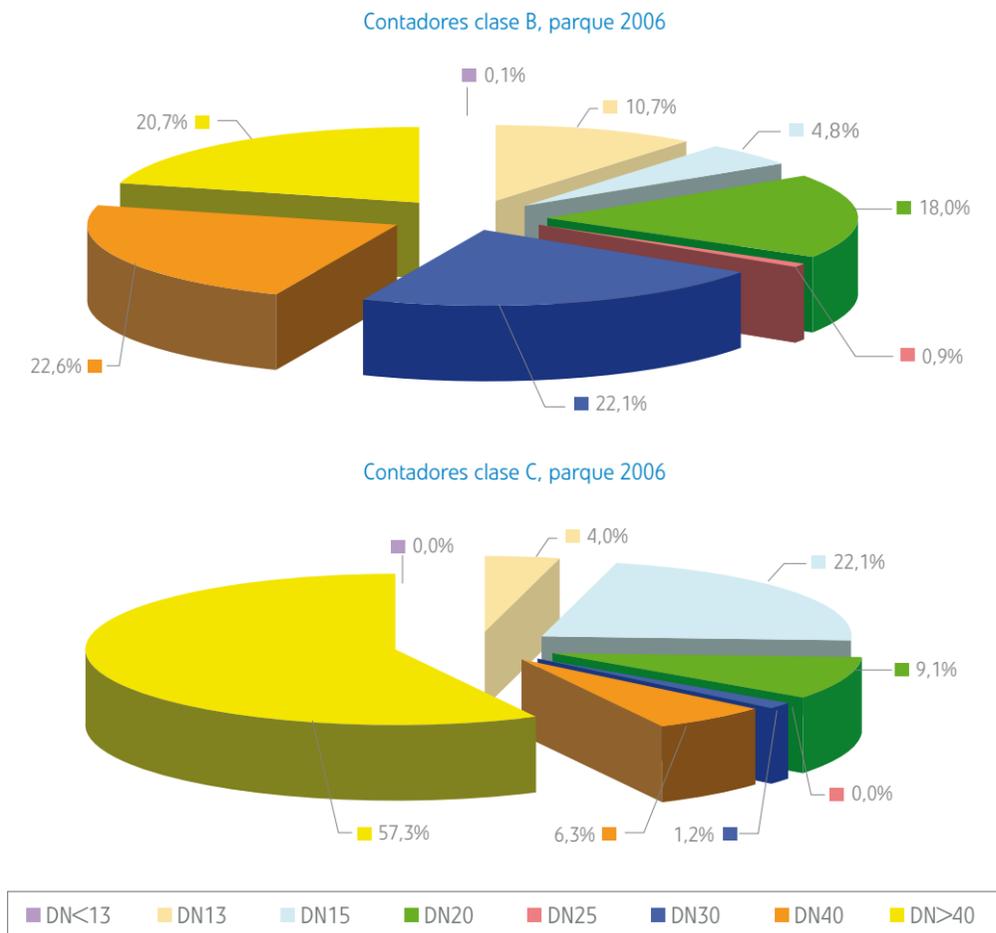
En cuanto al reparto por diámetros de los contadores de clase B (figura 68), se encuentra también cierta semejanza entre la muestra y el parque. Hay que recordar de nuevo, que la muestra sólo contiene diámetros comprendidos entre 13 y 40 mm y que se decidió que el grupo de contadores de DN25 estuviese sobrerrepresentado, para poder disponer de un número suficiente de contadores que permitiera el estudio metrológico de este diámetro.

**Figura 68. Comparación entre la proporción de contadores clase B, en parque (2006) y en la muestra analizada**



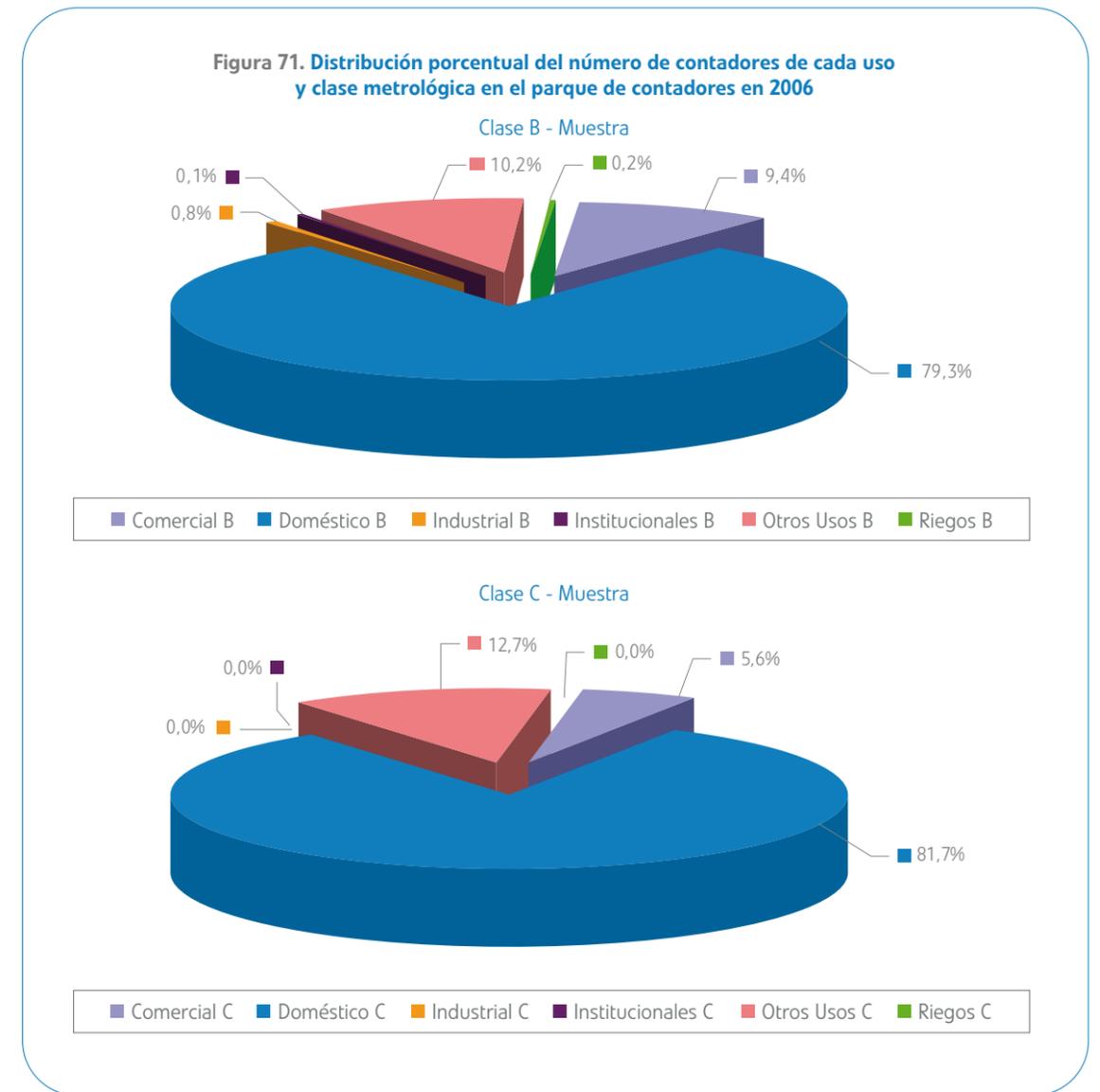
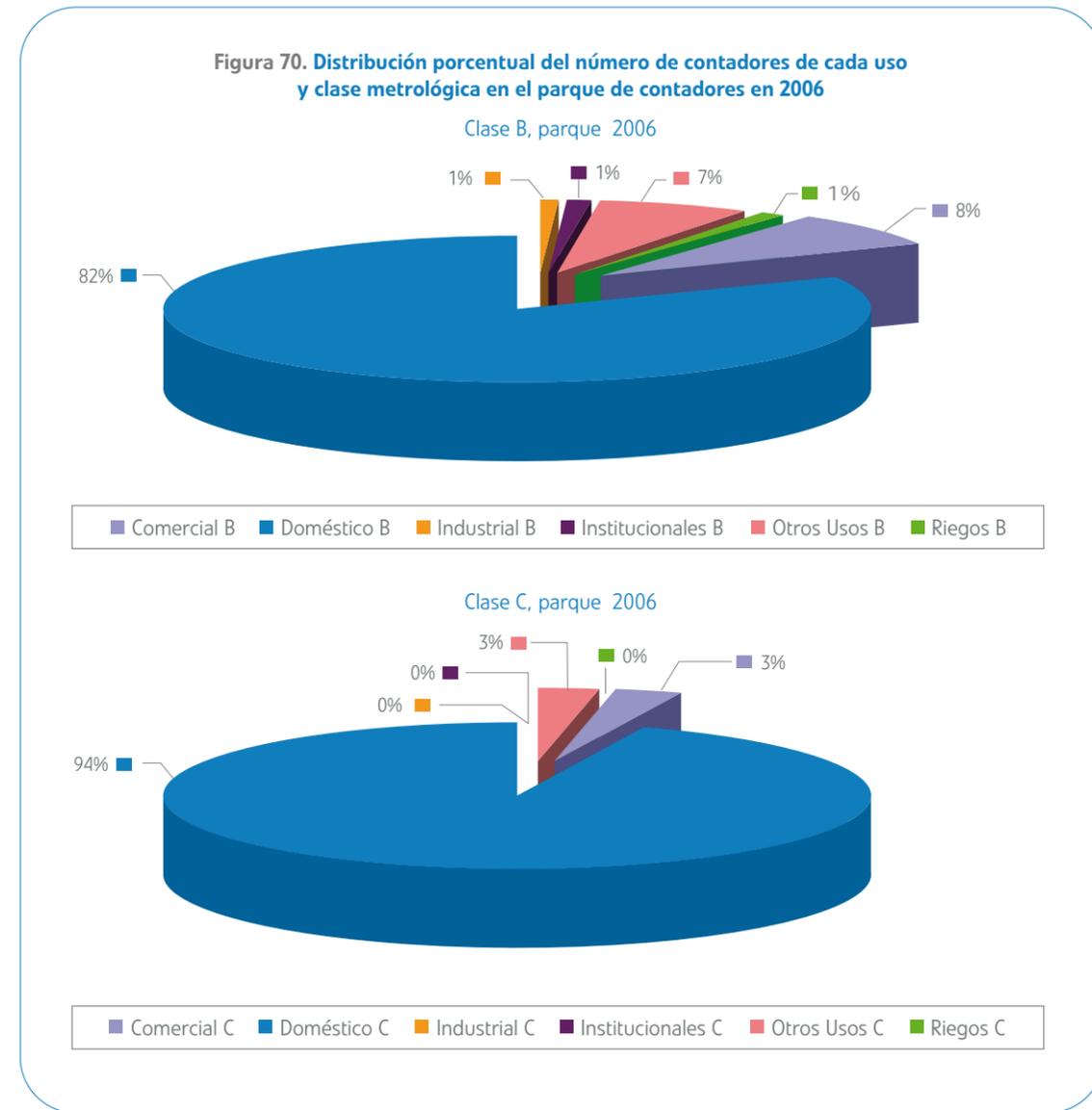
Al estudiar el consumo registrado por ambas clases metrológicas en el parque en 2006 (figura 69), llama la atención la importancia de los consumos registrados por los contadores de clase C, por parte de los diámetros grandes, aunque hay que destacar que dichos consumos corresponden en su mayoría a contadores de tipo único, destinados fundamentalmente a usos industriales, como se verá más adelante.

**Figura 69. Distribución porcentual del consumo registrado en contadores clases B y C, parque 2006**

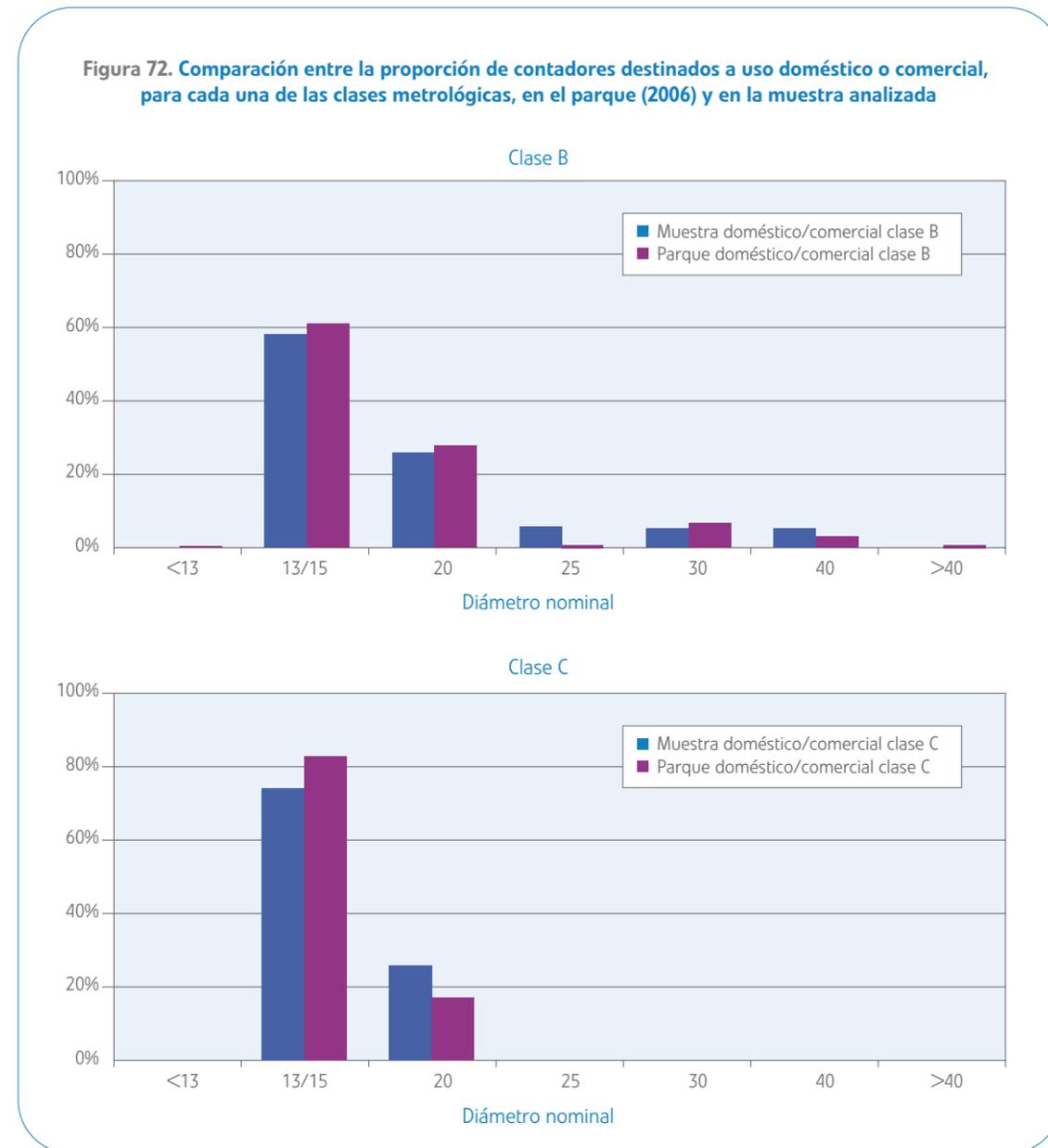


Clasificación de los contadores por el origen de consumo y por su clase metrológica

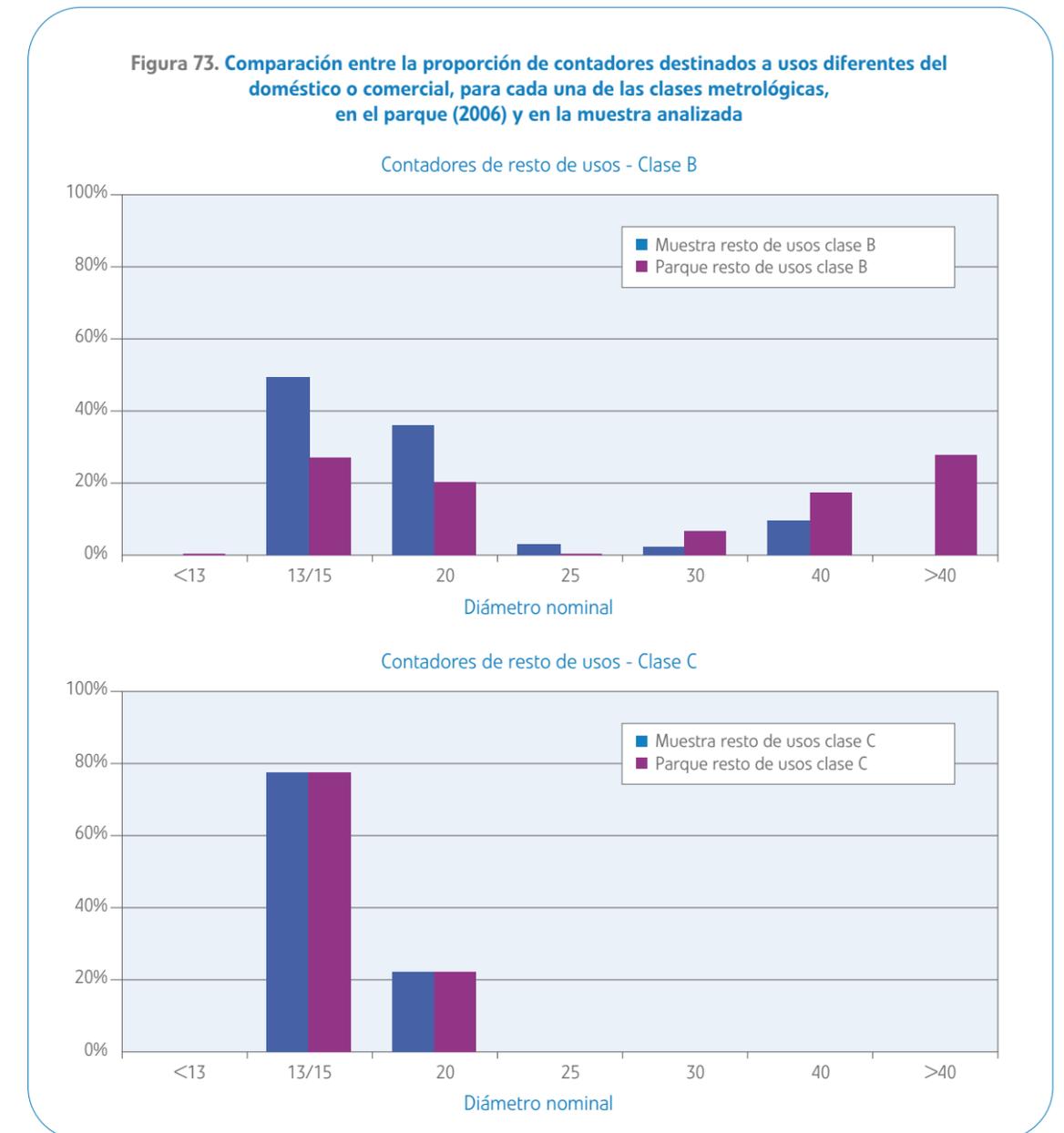
Del análisis del reparto del número de contadores por tipo de consumo y clase metrológica, reflejado en las figuras 70 y 71, se observa que el origen de consumo más frecuente es el doméstico, tanto en clase C como en clase B, siendo en este caso mayor la semejanza entre la muestra y el parque.



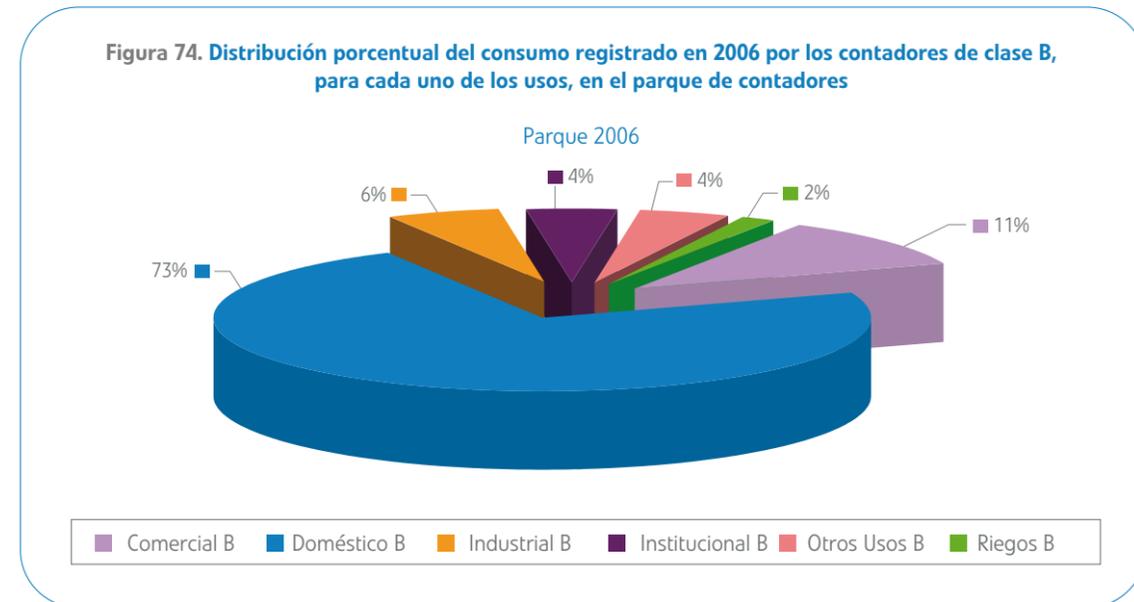
Al estudiar el reparto por diámetros nominales del número de contadores por tipo de consumo y clase metrológica (figura 72) se observa que la proporción de contadores tanto de clase B, como de clase C, es muy similar para la muestra y para el parque cuando el origen del consumo es de tipo doméstico o de tipo comercial.



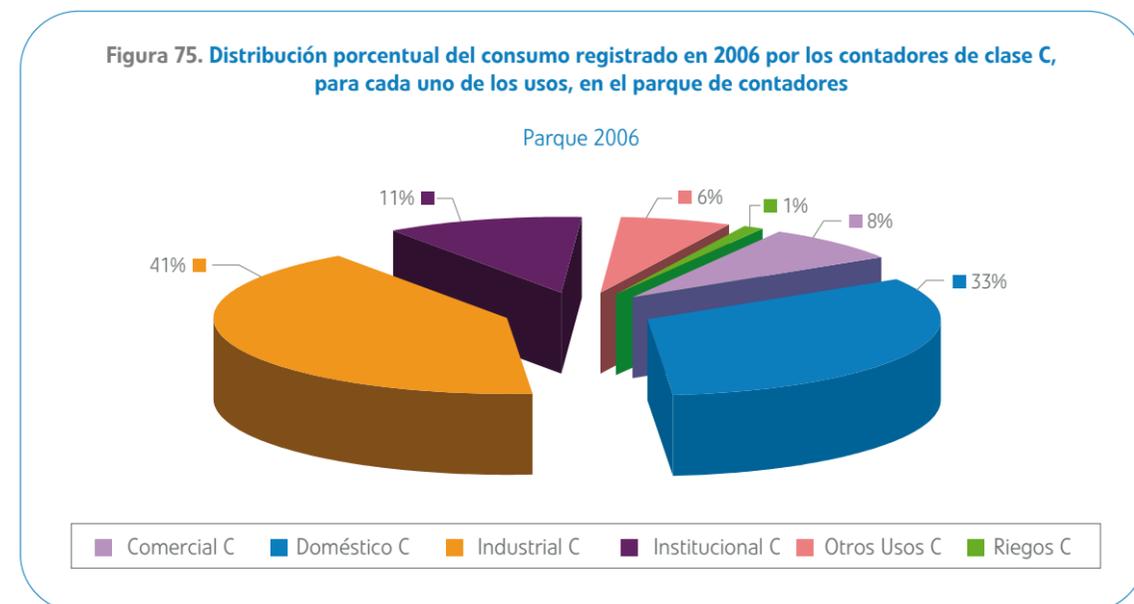
Cuando el origen del consumo no es ni doméstico ni comercial (figura 73), es de destacar la gran semejanza existente en la muestra y en el parque en el caso de los contadores de diámetros DN13 y DN15 de clase C.



El porcentaje mayor de consumo registrado en 2006 por los contadores de clase B, se debió a los contadores destinados a uso doméstico, seguido por los de uso comercial (figura 74). Ambos usos originan aproximadamente el 84 por ciento del consumo de los contadores de clase B.

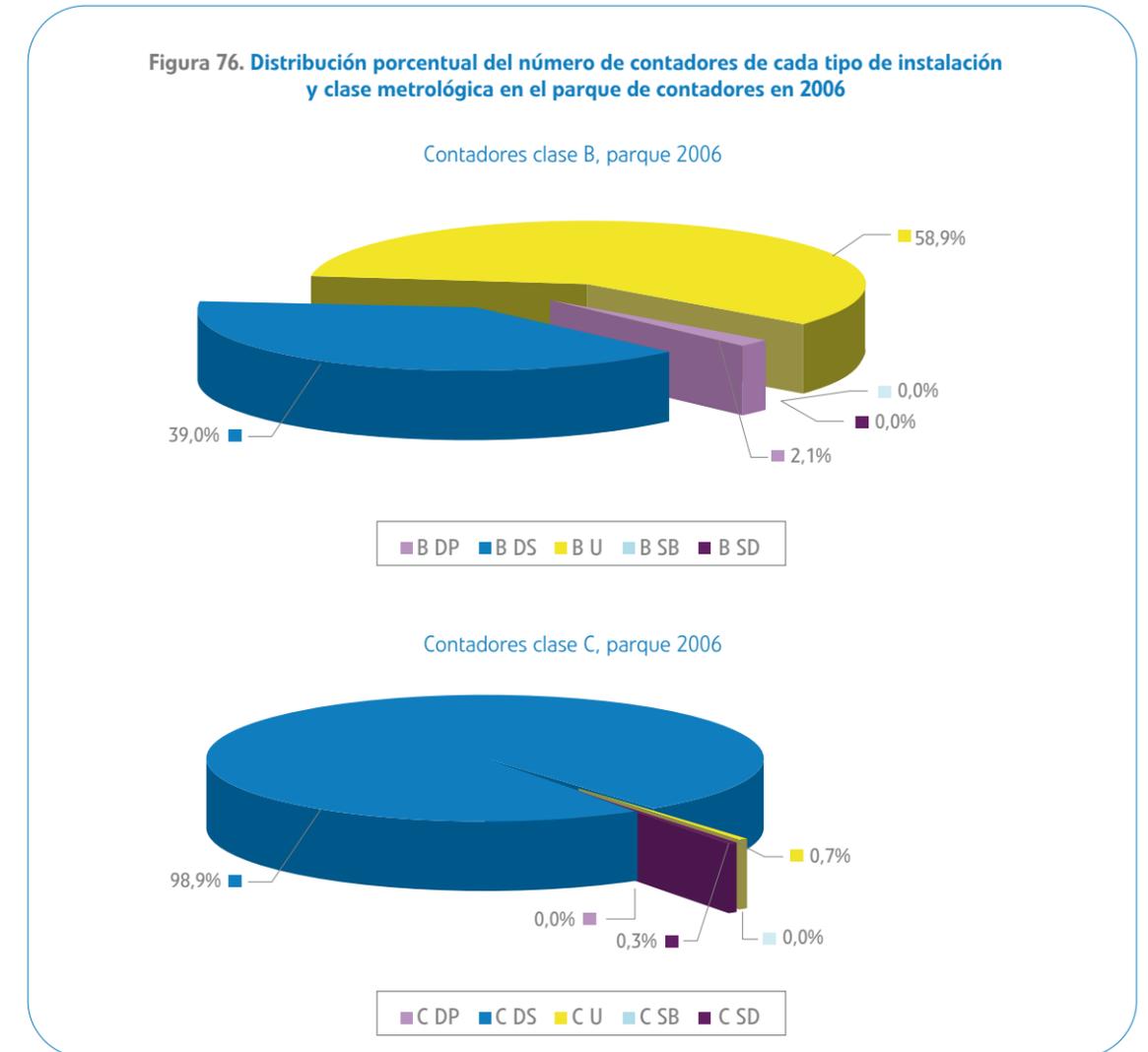


En cuanto a los contadores de clase C (figura 75), el uso industrial originó el mayor de los porcentajes del consumo registrado, un 41 por ciento; seguido por el doméstico, con un 33 por ciento. Los usos doméstico y comercial representan conjuntamente el 41 por ciento del consumo.

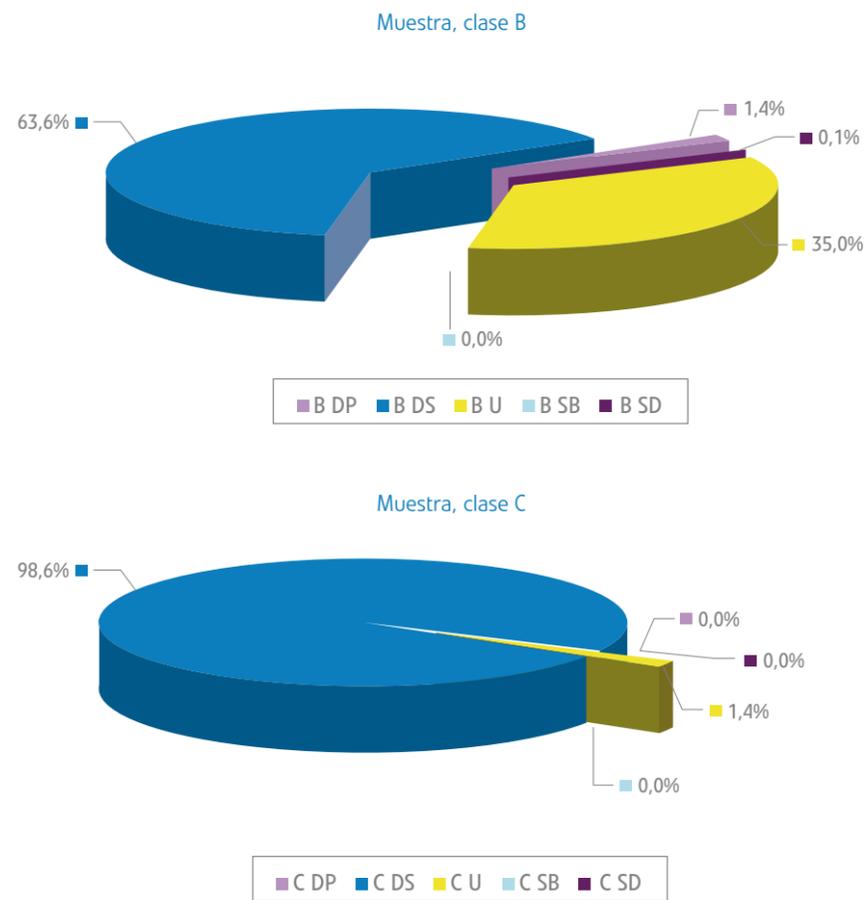


**Clasificación de los contadores por el tipo de instalación y por su clase metrológica**

Al estudiar el reparto del número de contadores por tipo de instalación y clase metrológica representado en las figuras 76 y 77, se observa una mayor semejanza entre el parque y la muestra en el caso de los contadores de clase C. La práctica totalidad de los contadores de clase C, en ambos casos, son de tipo divisionario. Sin embargo, la muestra contiene mayor porcentaje de contadores de clase B de tipo divisionario que el parque.

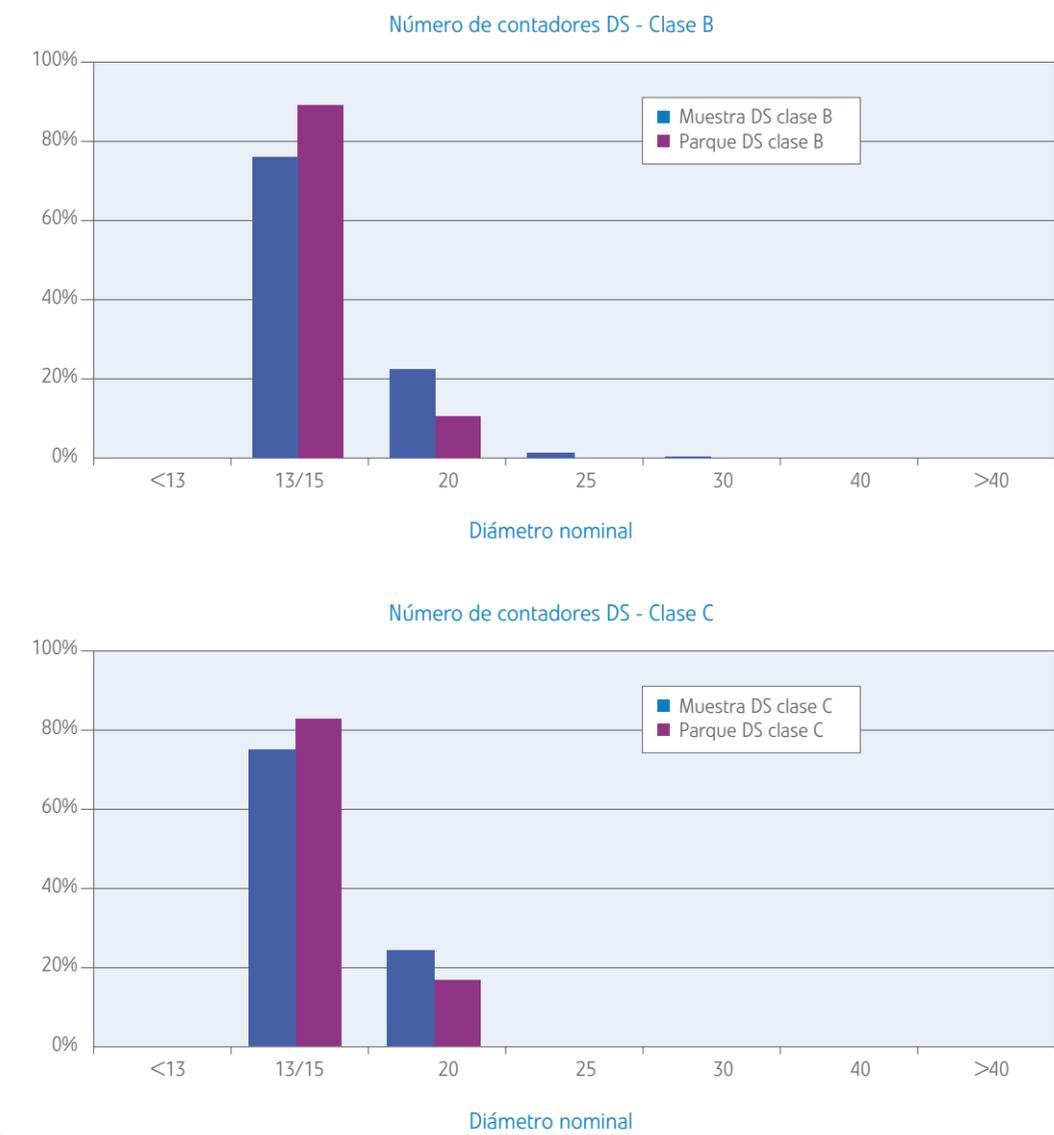


**Figura 77. Distribución porcentual del número de contadores de cada tipo de instalación y clase metrológica en la muestra analizada**

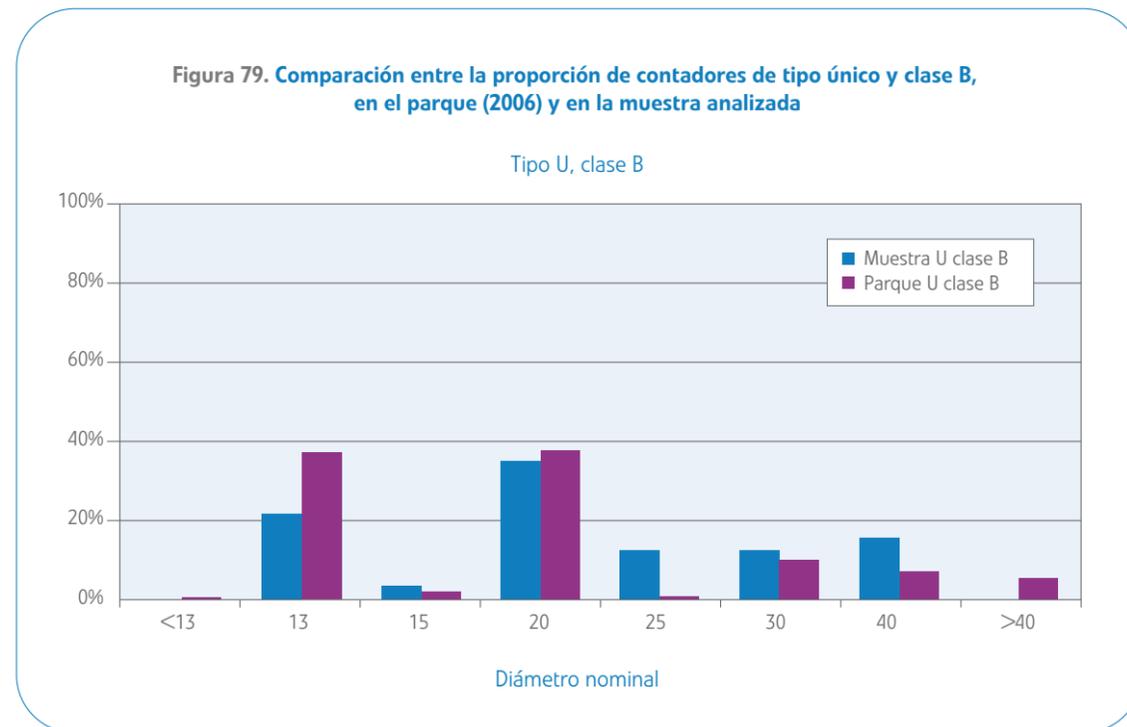


Analizando el reparto por diámetros de los contadores divisionarios (DS), se observa mayor semejanza entre la muestra y el parque en la clase metrológica C (figura 78).

**Figura 78. Comparación entre la proporción de contadores divisionarios, para cada una de las clases metrológicas, en el parque (2006) y en la muestra analizada**



En el caso de los contadores de tipo único (U), sucede lo contrario: la muestra se asemeja más al parque en la clase metrológica B (figura 79).



No se representa la comparación entre la muestra y el parque, de los contadores de tipo "no divisionario" y clase C, al no estar suficientemente representados estos grupos, tanto en el caso del parque como en el de la muestra.

### 13.3.3. Conclusiones sobre la representatividad de la muestra analizada

La muestra depurada de 1.252 contadores, cumple suficientemente con los criterios definidos en la muestra inicial de 1.631 contadores que se consideró como representativa del parque para realizar el análisis general de la curva de error de los contadores de DN13 a DN40 de diámetro nominal.

Aparte de los criterios de diámetro, edad, marca, consumo, ubicación y emplazamiento usados en la mencionada muestra inicial para caracterizar el parque, se han identificado otros factores que pueden influir en la precisión de los contadores como son la clase metrológica, el tipo de instalación o el uso al que se destina el contador.

Las conclusiones más significativas del análisis de estos últimos factores son:

- Para los usos mayoritarios, que son doméstico y comercial, la muestra es altamente representativa en todos los diámetros nominales
- La proporción de contadores de clase B y de clase C, para los distintos diámetros nominales, es similar en la muestra y en el parque cuando el origen del consumo es de tipo doméstico o comercial
- Tanto en la muestra como en el parque los contadores de diámetros DN13, DN15 y DN20 suponen la práctica totalidad del número de contadores de clase C

- La práctica totalidad de los contadores de clase C son de tipo divisionario, tanto en la muestra como en el parque

Las discrepancias encontradas entre la muestra analizada y el parque son las siguientes:

- La proporción de contadores divisionarios es un 18 por ciento mayor en la muestra que en el parque
- La proporción total de contadores de clase C en el parque es un 8 por ciento mayor que en la muestra
- La muestra contiene un 24 por ciento más de contadores divisionarios de clase B que el parque

Como ya se ha comentado, estas consideraciones se tendrán en cuenta en el cálculo del error global del parque de contadores.

## 13.4. Estudio de los resultados por categorías

### 13.4.1. Introducción

En este apartado se aborda el estudio de los resultados de los ensayos en campo mediante un análisis comparativo de las curvas de error de las distintas categorías de contadores.

Es importante destacar que la cifra total de categorías que componen la muestra es 570, por lo que en este informe se ha dado prioridad a comparar las características de grandes grupos de categorías, en lugar de detallar de una manera pormenorizada cada una de ellas. Se estudia también la influencia que pueden tener en la curva de error factores como la presión y la temperatura.

El análisis de las curvas de error se centra inicialmente en los caudales definidos en el procedimiento de ensayo y posteriormente en el caudal de arranque.

Se han realizado las siguientes consideraciones:

- Las curvas comienzan a trazarse en el caudal de arranque, al que se le ha asignado un error de medición de -70 por ciento
- Por debajo del caudal de arranque se ha asignado al error un valor de -100 por ciento

### 13.4.2. Análisis del error a los caudales de ensayo

En este apartado se analizan los resultados de los ensayos a los diferentes caudales de ensayo, adjuntando gráficas comparativas del error promedio por diámetros, marcas, grupos de edad, consumo, localización geográfica y tipo de instalación.

Al realizar el análisis por diámetros para el conjunto de la muestra, reflejado en la figura 80, se observa:

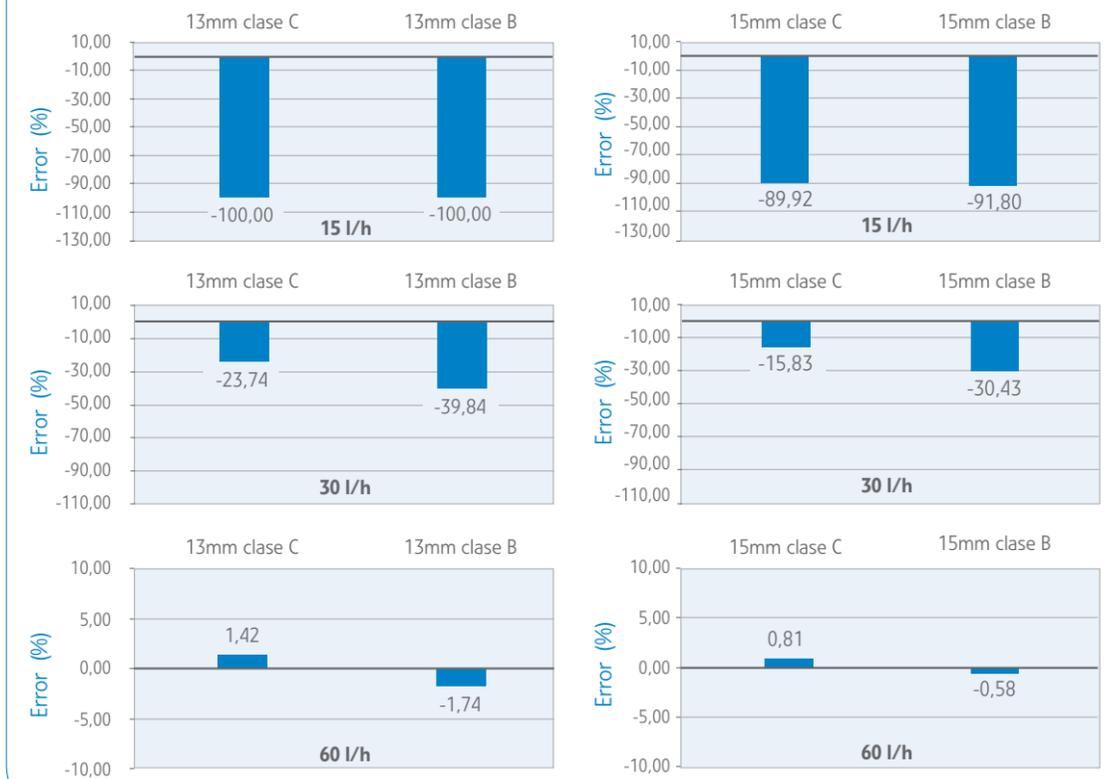
- Hay una progresión clara en las cuantías de los errores en la relación diámetro y caudal, con la excepción de que, a caudales muy bajos, los contadores de 13 mm, tienen mayor subcontaje que los contadores de 15 mm
- El sobrecontaje promedio sólo supera el 4 por ciento en uno de los grupos estudiados

Figura 80. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por diámetro nominal



Al analizar con más profundidad el rango de los caudales bajos de los contadores de 13 y 15 mm de diámetro (figura 81), se puede apreciar la mejor precisión y menor subcontaje, a caudales bajos (15, 30 y 60 l/h) del conjunto de los contadores correspondientes a la clase metrológica C, (según la Directiva 75/33/CEE), frente a los de la clase metrológica B.

Figura 81. Comparativa entre el error promedio, a caudales bajos, en los contadores de diámetro nominal DN13 y DN15, para las clases metrológicas B y C



Es importante recordar que el grupo de contadores de DN15 tiene, en proporción, contadores más nuevos que el grupo de contadores DN13, lo que puede explicar la mayor precisión observada de los primeros con respecto a los segundos.

El análisis de las curvas de error de todo el parque por grupos de edad, que se refleja en la figura 82, para la clase metrológica B, y en la figura 83, para la clase metrológica C, demuestra que, en general, los contadores más antiguos presentan mayor subcontaje que los contadores nuevos, efecto que se acentúa a caudales bajos.

La pérdida de precisión a caudales bajos con la antigüedad del contador corrobora la bibliografía existente sobre el comportamiento de los contadores de velocidad de chorro único y chorro múltiple, que suponen el 93 por ciento de la muestra analizada y corresponden, en dicha muestra, a clase metrológica B, ya que el caudal de arranque en este tipo de contadores se deteriora muy rápidamente.

No se han encontrado tantas referencias en la bibliografía sobre el otro 7 por ciento de la muestra estudiada, que corresponden a contadores de velocidad de turbina axial y clase metrológica C, pero se ha observado que tienen un comportamiento muy similar, a pesar de que se dispone de menos grupos de edad y diámetros para comparar. Los inferiores valores promedio de error que se observan en este grupo con respecto al grupo de clase B se deben a que en el grupo estudiado de clase C sólo se dispone de diámetros 13, 15 y 20, mientras que en otro grupo, mucho más numeroso, se dispone, además, de diámetros 25, 30 y 40.

El comportamiento medio de la muestra apunta a un moderado sobrecontaje, a partir del caudal de 750 l/h, en todos los grupos de edad y en las dos clases metrológicas estudiadas.

Figura 82. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por grupo de edad, clase metrológica B

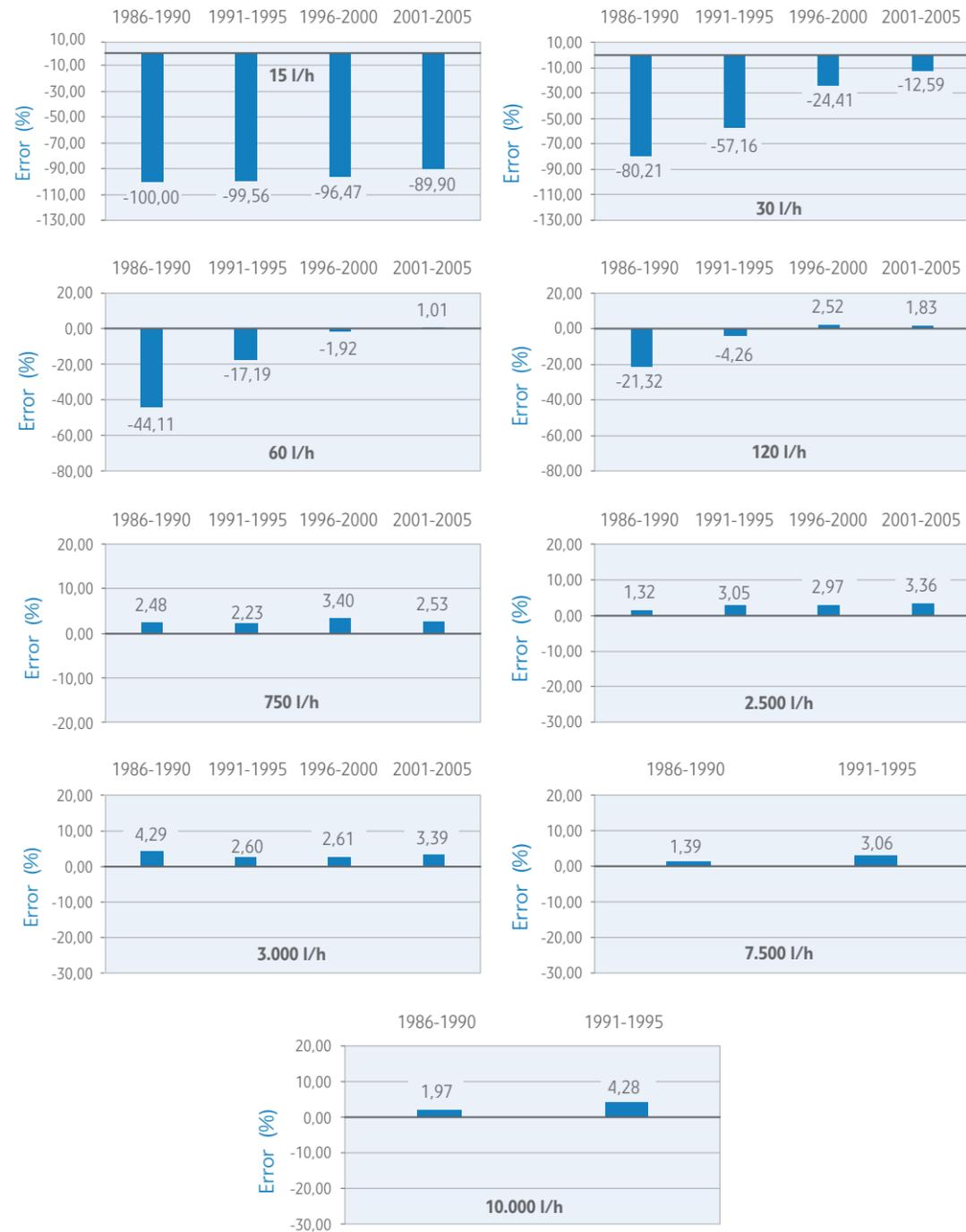
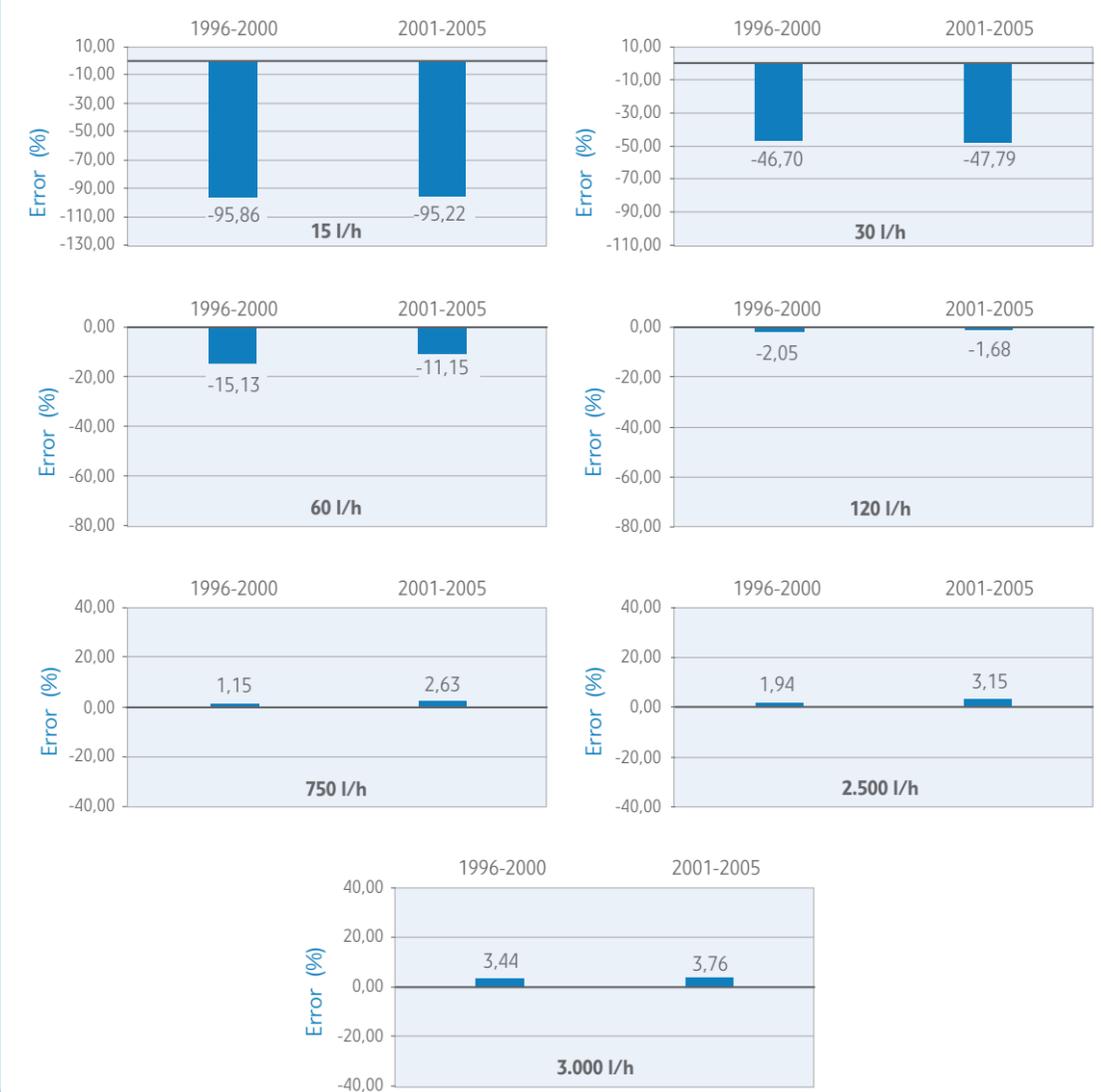
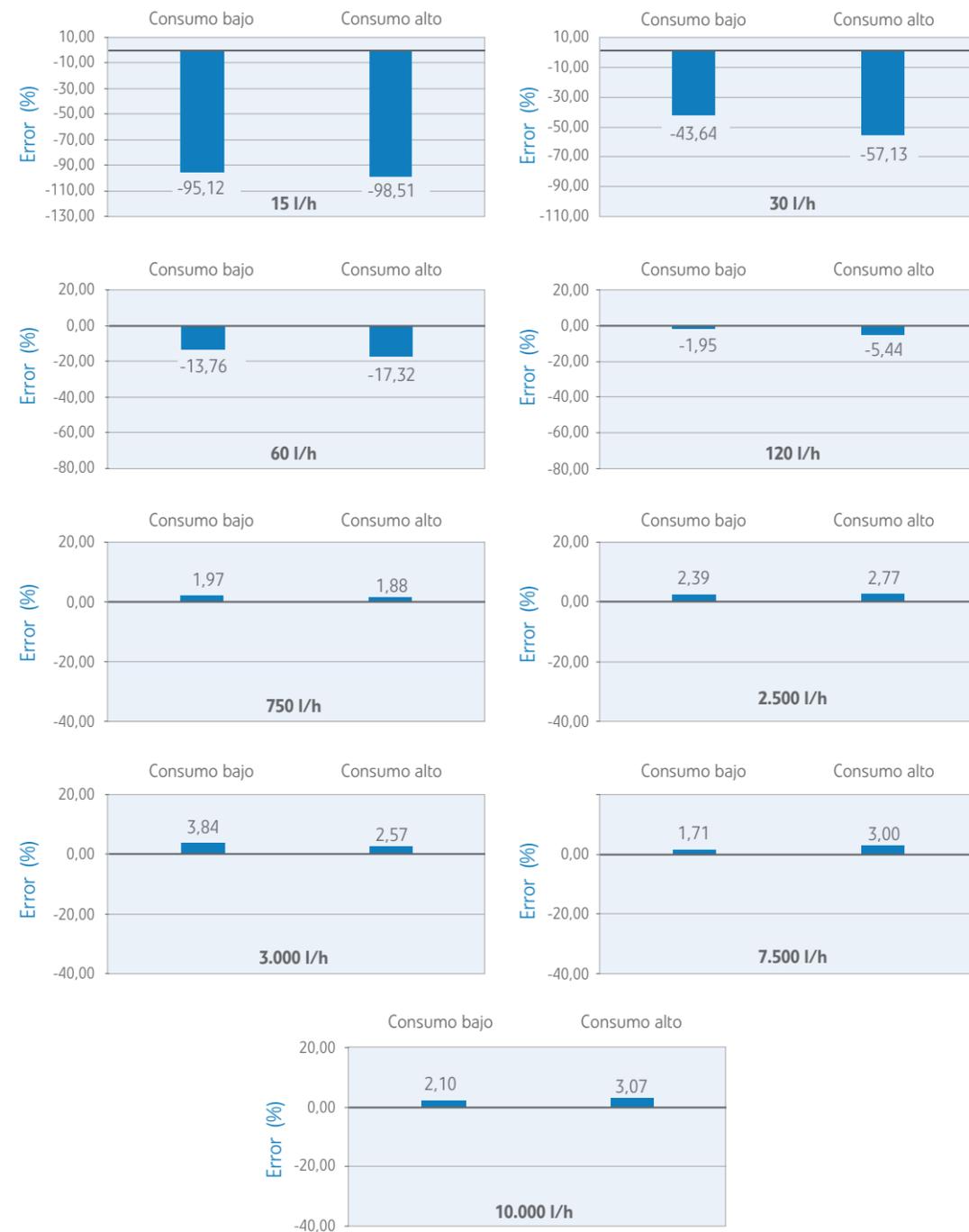


Figura 83. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por grupo de edad, clase metrológica C



En el mismo sentido que la edad del contador influye el consumo. Un mayor consumo (y por lo tanto, un mayor desgaste de las partes móviles del contador) implica un mayor subcontaje en la zona de caudales bajos y un ligero sobrecontaje para el resto de caudales. La figura 84 refleja estas tendencias.

Figura 84. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por tipo de consumo



Se observan tendencias del mismo signo y similar proporción al comparar los contadores de Madrid capital, con los contadores del resto de municipios (figura 85), estudiando el parque de contadores en su conjunto.

Figura 85. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por localización geográfica



Dentro de los rangos de condiciones ambientales existentes durante el ensayo no se han detectado diferencias significativas en cuanto a la pérdida de precisión de los contadores situados en el exterior de los edificios, frente a los contadores situados en el interior de los mismos (figura 86).

**Figura 86. Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por condiciones de instalación**



### 13.4.3. Representación gráfica de las curvas de error completas en las principales categorías

A continuación se adjuntan, a modo de resumen, una serie de gráficas representativas de las curvas de error completas, de las categorías principales, trazadas mediante líneas suavizadas de los valores medidos, desde el caudal de arranque, hasta el mayor de los caudales de ensayo de cada diámetro (figuras 87 a 89).

**Figura 87. Curvas de error de los contadores de diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40**

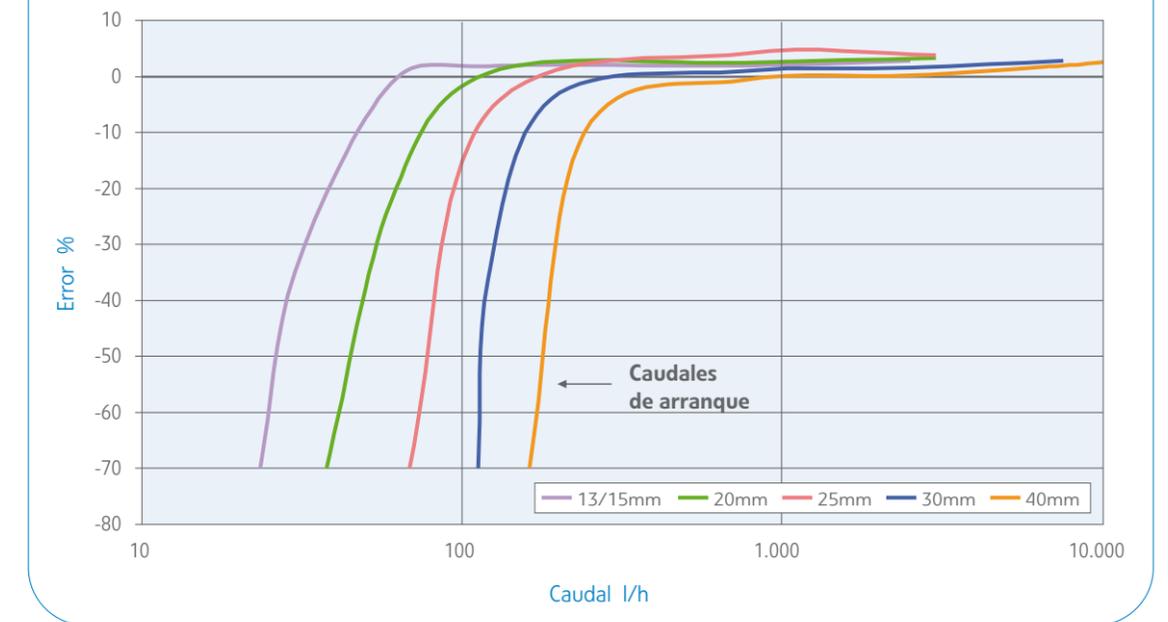
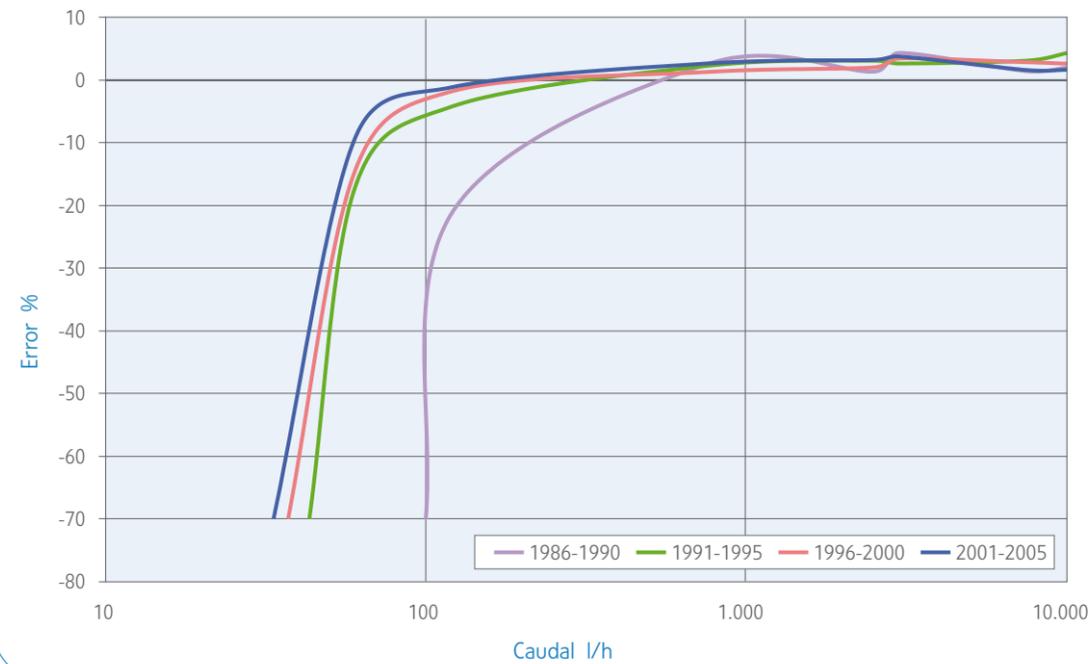


Figura 88. Curvas de error de los contadores agrupados por grupos de edad



En las figuras 90 y 91 se muestra cómo los contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, una vez instalados, se desvían de los criterios establecidos por la normativa para contadores nuevos. Este efecto es acusado por ambas clases metrológicas estudiadas, B y C.

Figura 90. Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15 con antigüedad máxima de dos años y de clases metrológicas B y C

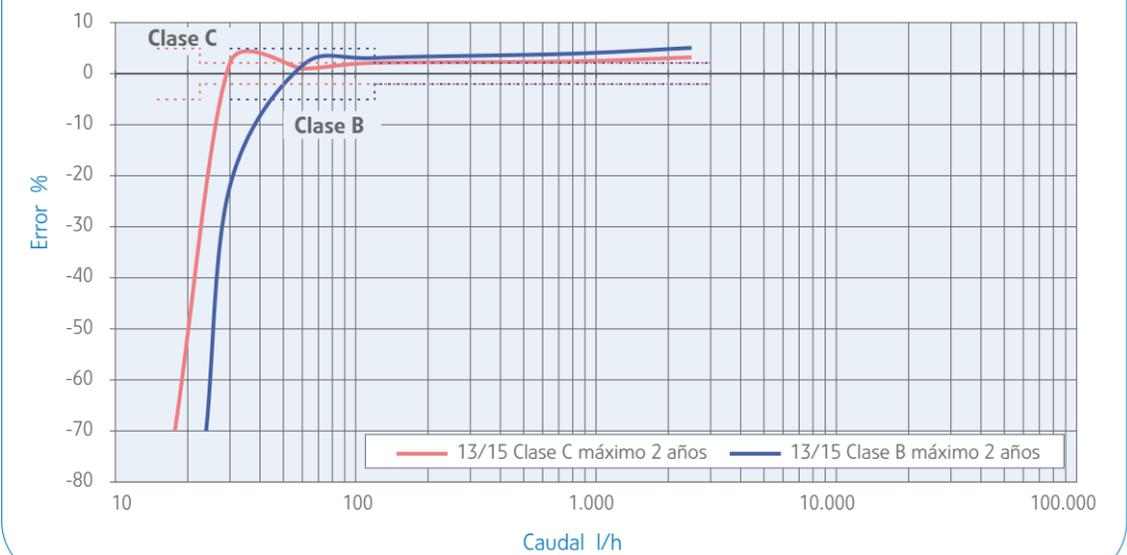


Figura 89. Curvas de error de los contadores agrupados por tipo de consumo

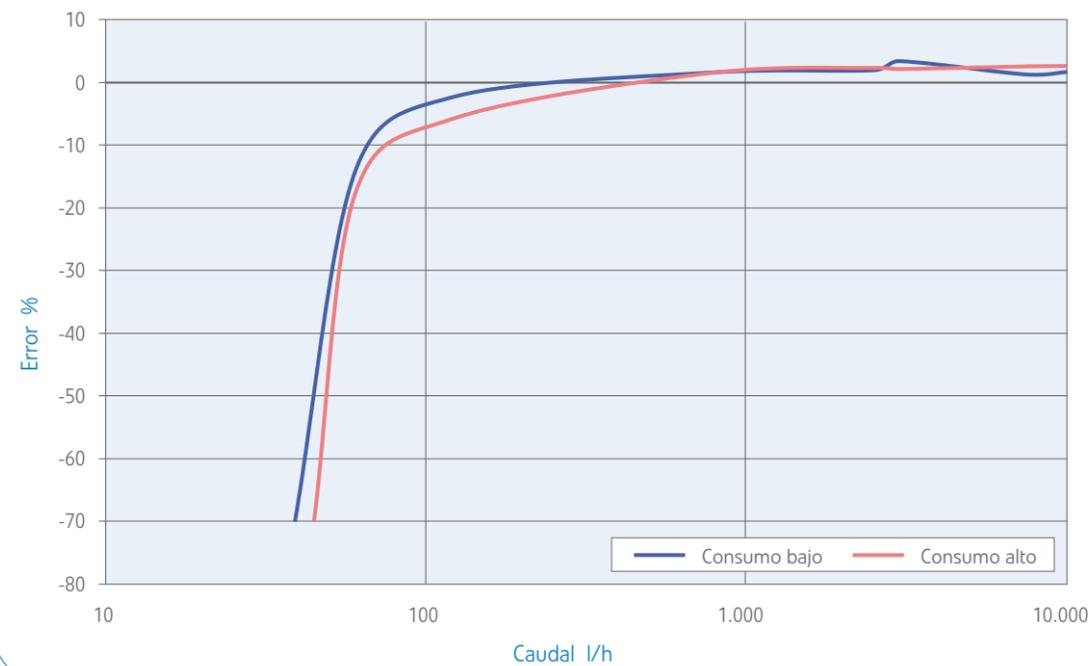
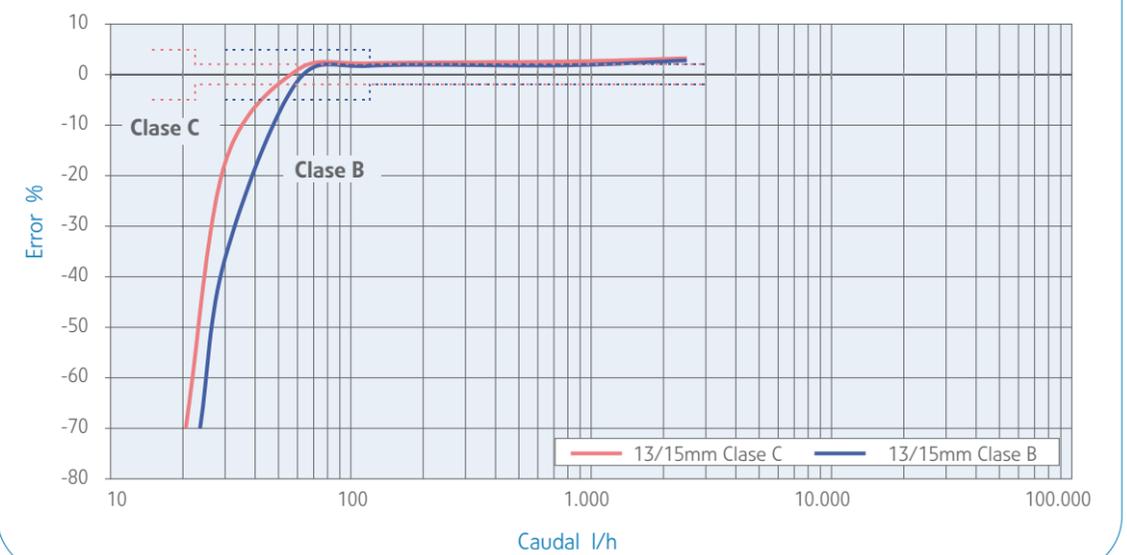


Figura 91. Curvas de error de contadores de diámetros nominales 13 y 15 de clases metrológicas B y C, para toda la muestra



Las figuras 92 a 97 representan las curvas de error promedio de los contadores de la muestra, agrupados por diámetros nominales, y clasificados por clases metrológicas B y C, y diferentes tipos de instalación.

En todos los diámetros se observa que las curvas de error de los contadores de tipo único (U) están más desplazadas a la derecha que las de los contadores divisionarios (DS), para una misma clase metrológica. Esto significa que los contadores de tipo divisionario tienen un caudal de arranque menor que los contadores de tipo único, y son capaces de registrar consumos a caudales bajos con mayor precisión que éstos.

Del mismo modo, y como ya se había mencionado, los contadores de clase B tienen su curva más desplazada a la derecha que los contadores de clase C analizados (ver figuras 92 a 94), lo que indica una mayor precisión a caudales bajos de los contadores de clase C.

También se observa (aunque no conviene generalizar esta conclusión, al no disponer de un número suficiente de contadores de estas categorías minoritarias) como los contadores de tipo divisionario principal (DP) y secundario de distribuidor (SD) tienen una curva de error muy similar a los contadores de tipo único (U), (figuras 94 a 97).

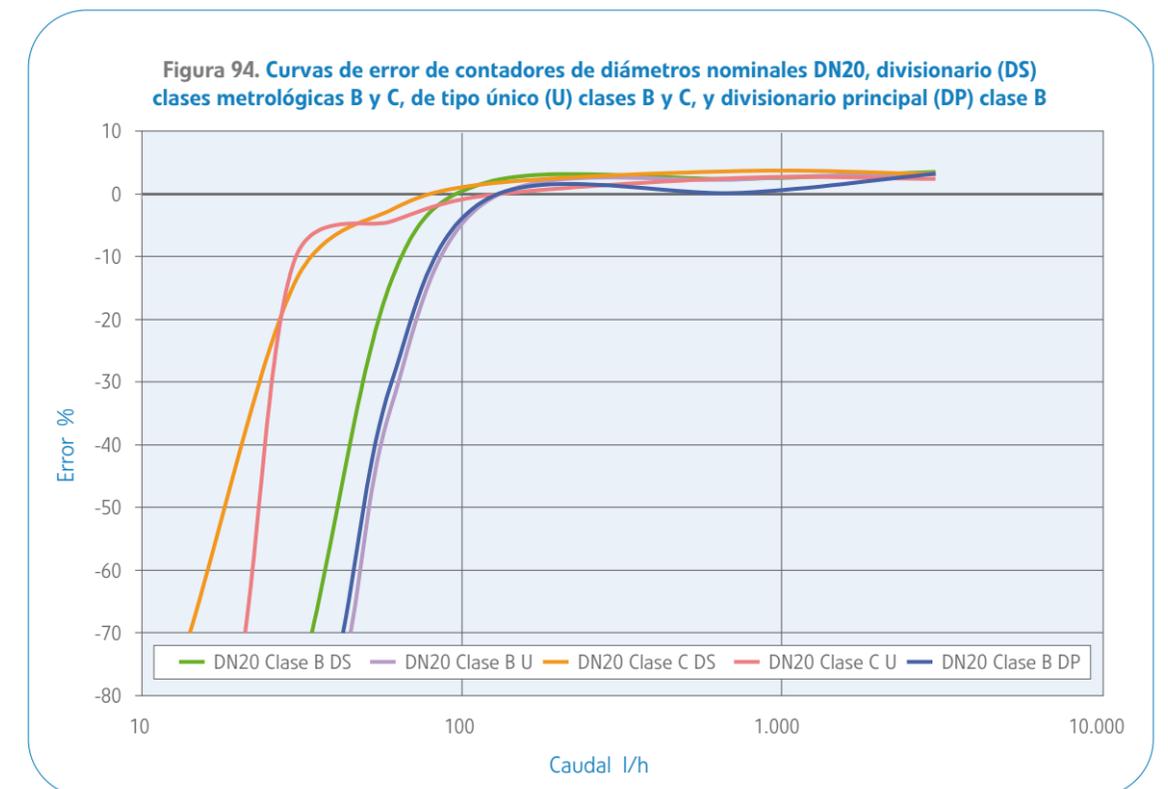
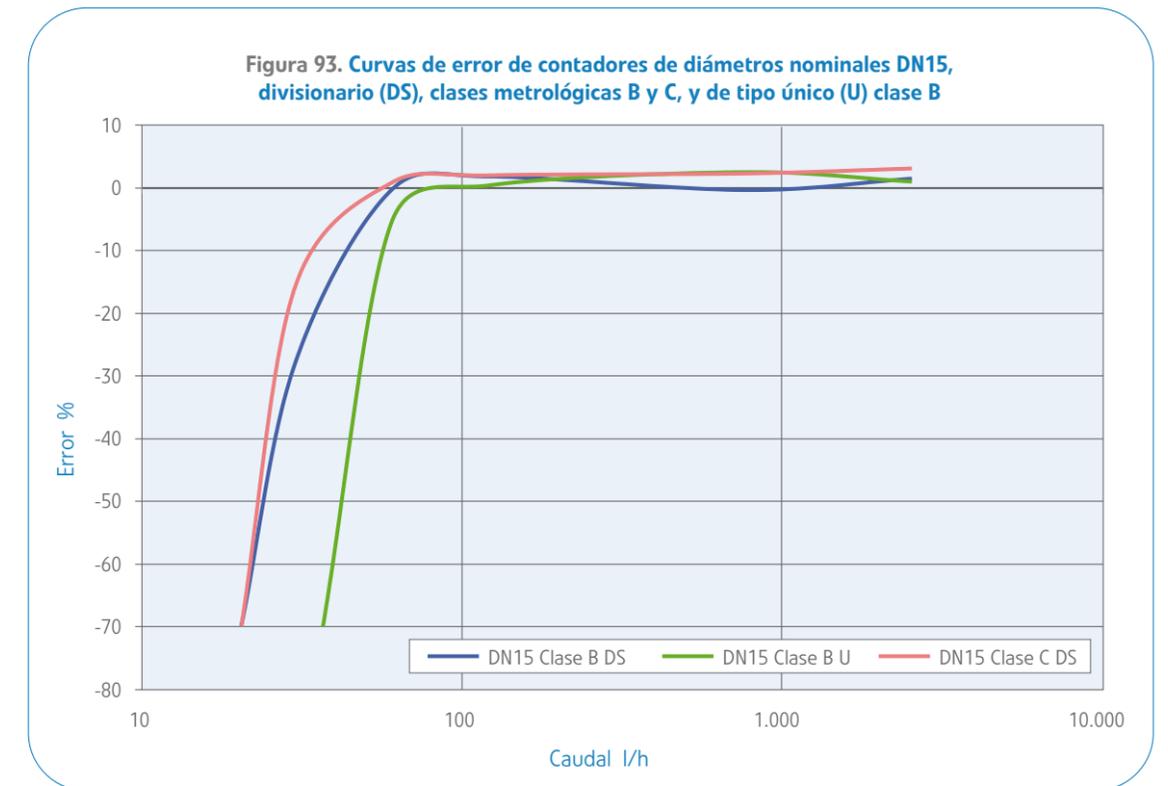
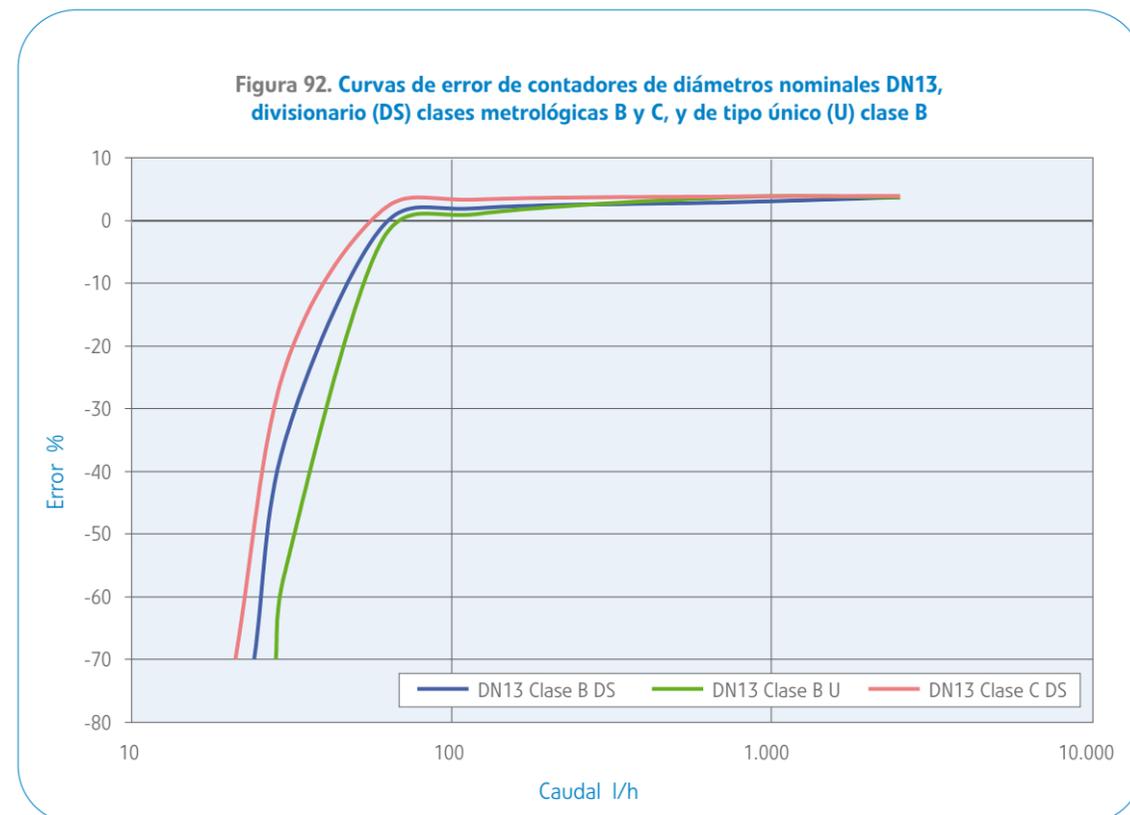


Figura 95. Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN25 y clase metrológica B, divisionario (DS), de tipo único (U) y secundario de distribuidor (SD)

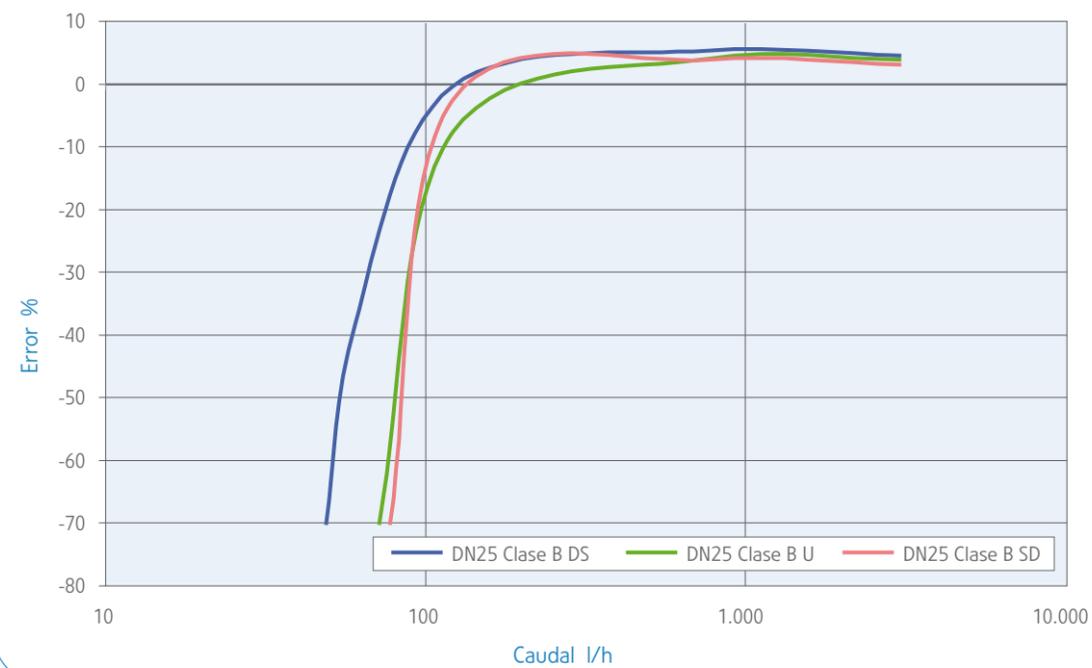


Figura 96. Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN30 y clase metrológica B, divisionario (DS), de tipo único (U) y divisionario principal (DP)

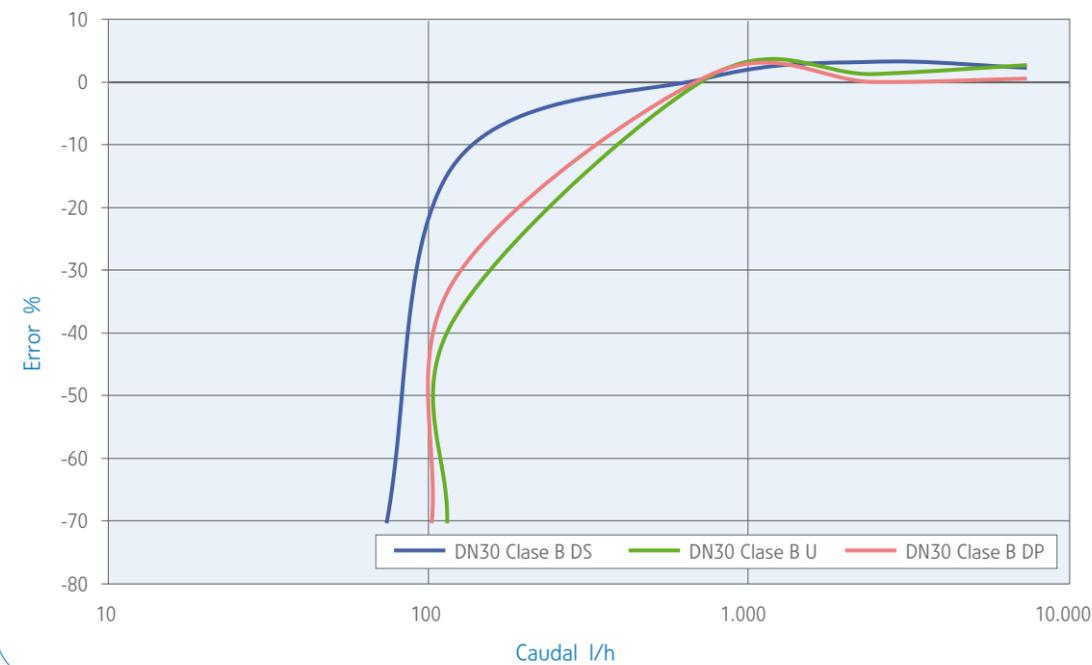
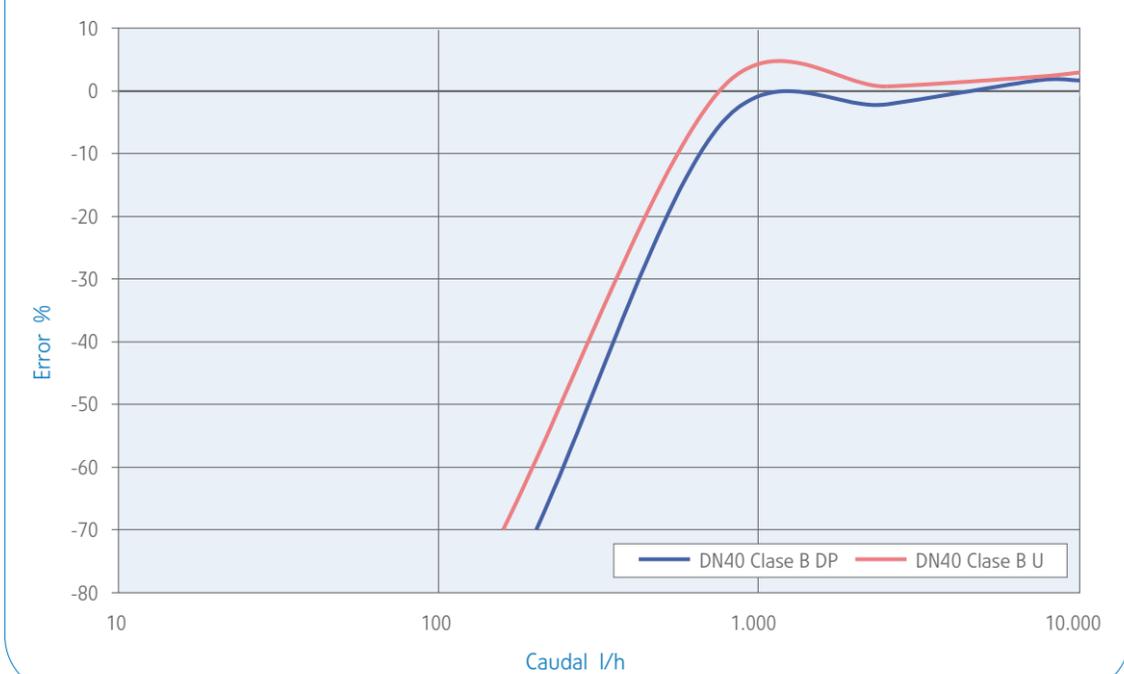


Figura 97. Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN40 y clase metrológica B, de tipo único (U) y divisionario principal (DP)



#### 13.4.4. Evolución de la curva de error con la edad de los contadores

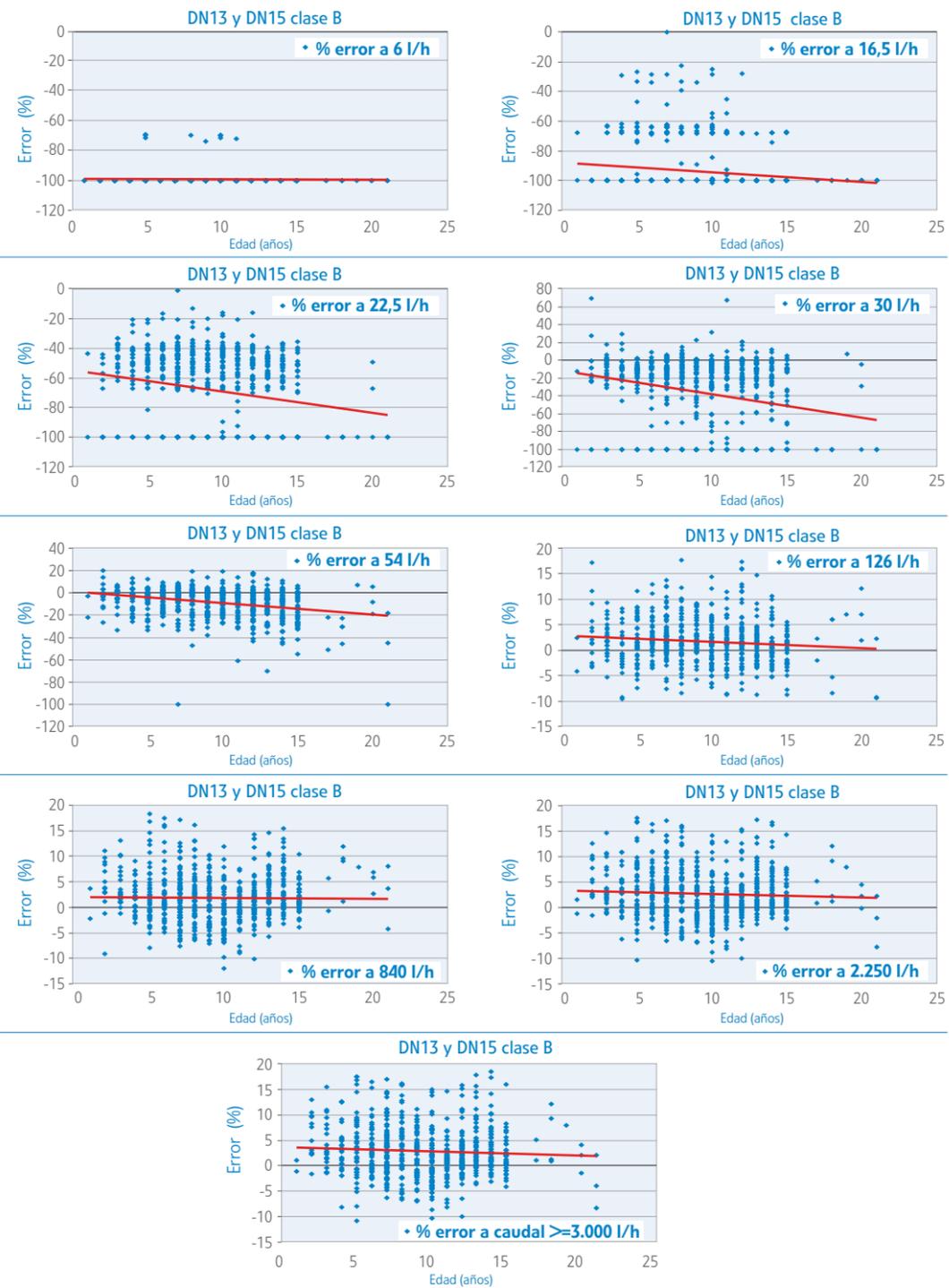
Se ha realizado un análisis de la evolución de la curva de error de los contadores a lo largo del tiempo, que cobrará especial importancia en el análisis que se efectúa en apartados posteriores de la evolución del error global (ponderación entre la curva de error y el patrón de consumo).

Se ha trazado el perfil del error para diferentes diámetros y caudales de ensayo, partiendo de las fechas de instalación de los contadores considerados en la muestra analizada. Se comparan diferentes clases metrológicas, en aquellos diámetros en los que es posible.

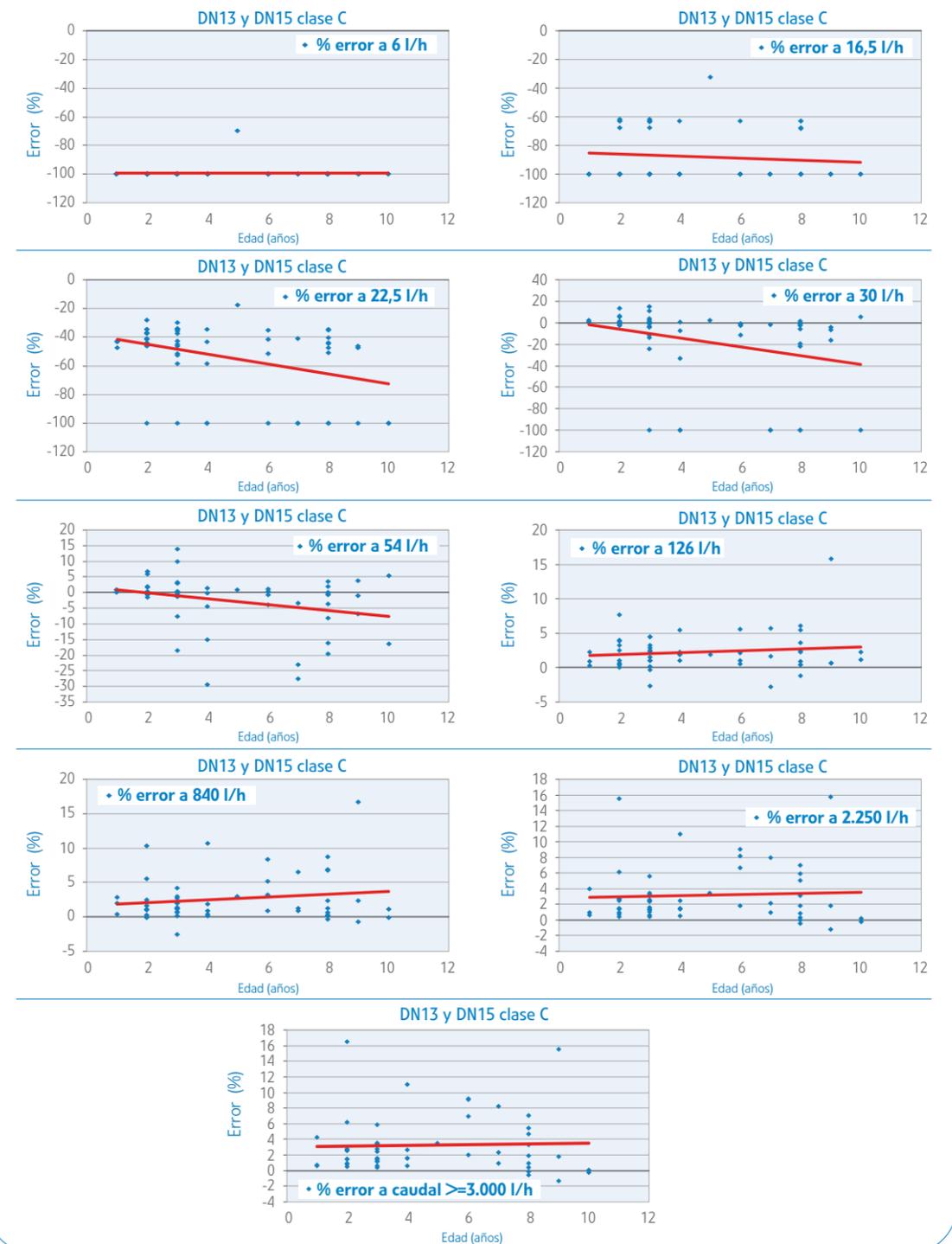
Asimismo, se han considerado los caudales de arranque de cada contador.

Como se ilustra en las figuras 98 a 104, la pérdida de precisión de los contadores con el tiempo es mayor a caudales bajos, tendiendo al subcontaje. A caudales medios, se invierte la tendencia y el error pasa a ser menos dependiente de la edad del contador, aunque tendiendo al sobrecontaje.

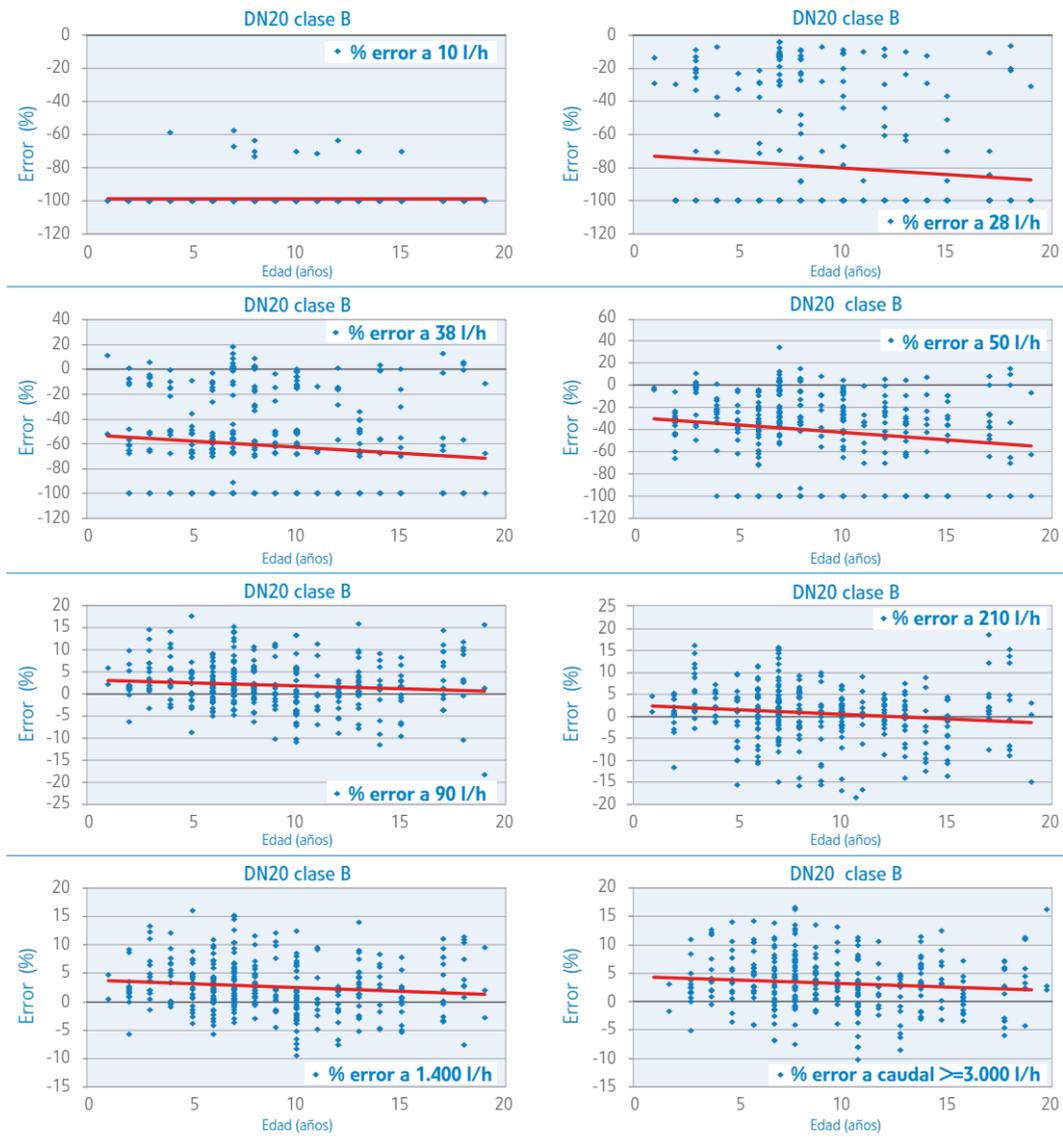
**Figura 98. Evolución de la precisión de los contadores DN13 y DN15, clase metrológica B, a diferentes caudales**



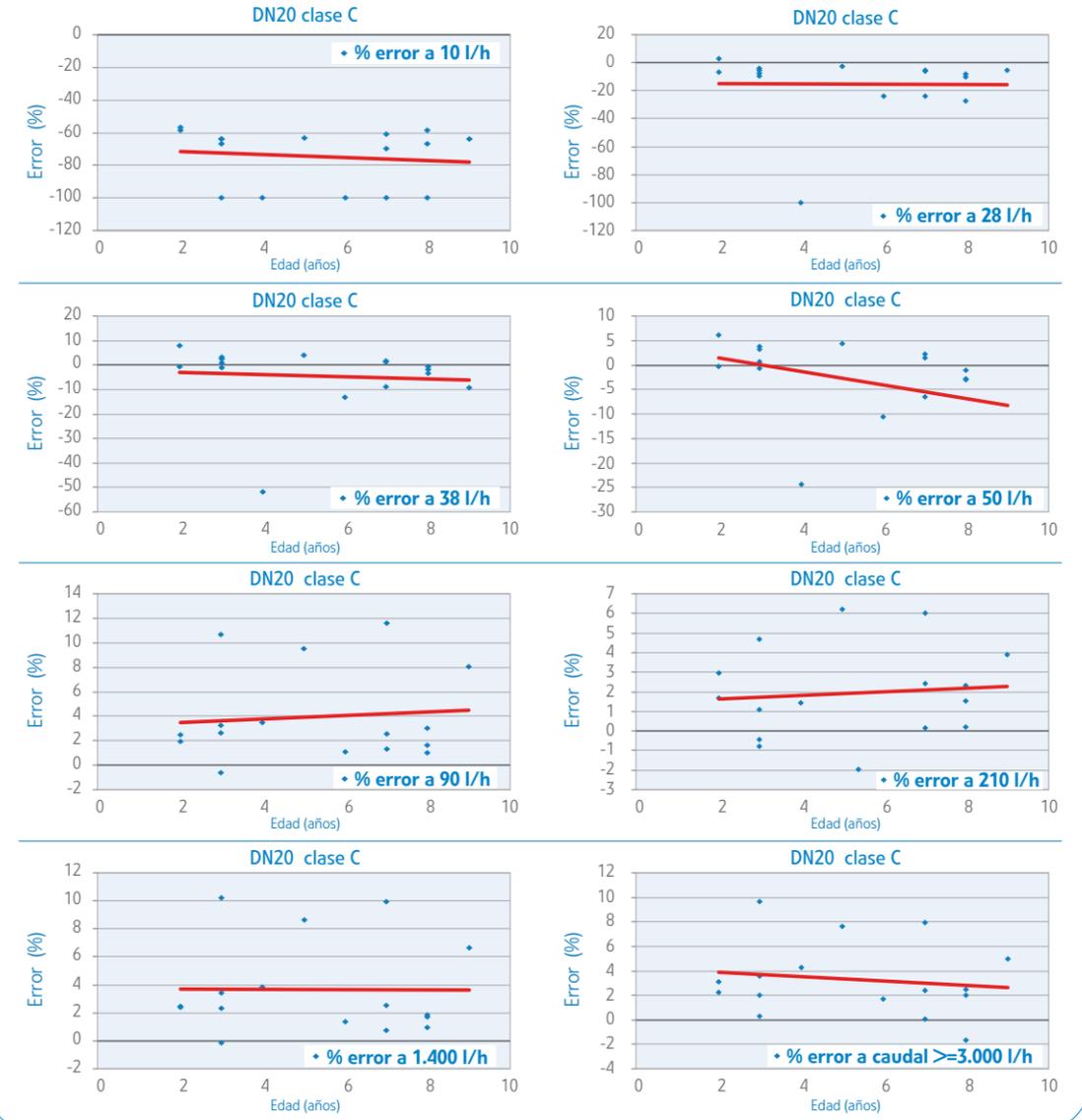
**Figura 99. Evolución de la precisión de los contadores DN13 y DN15, clase metrológica C a diferentes caudales**



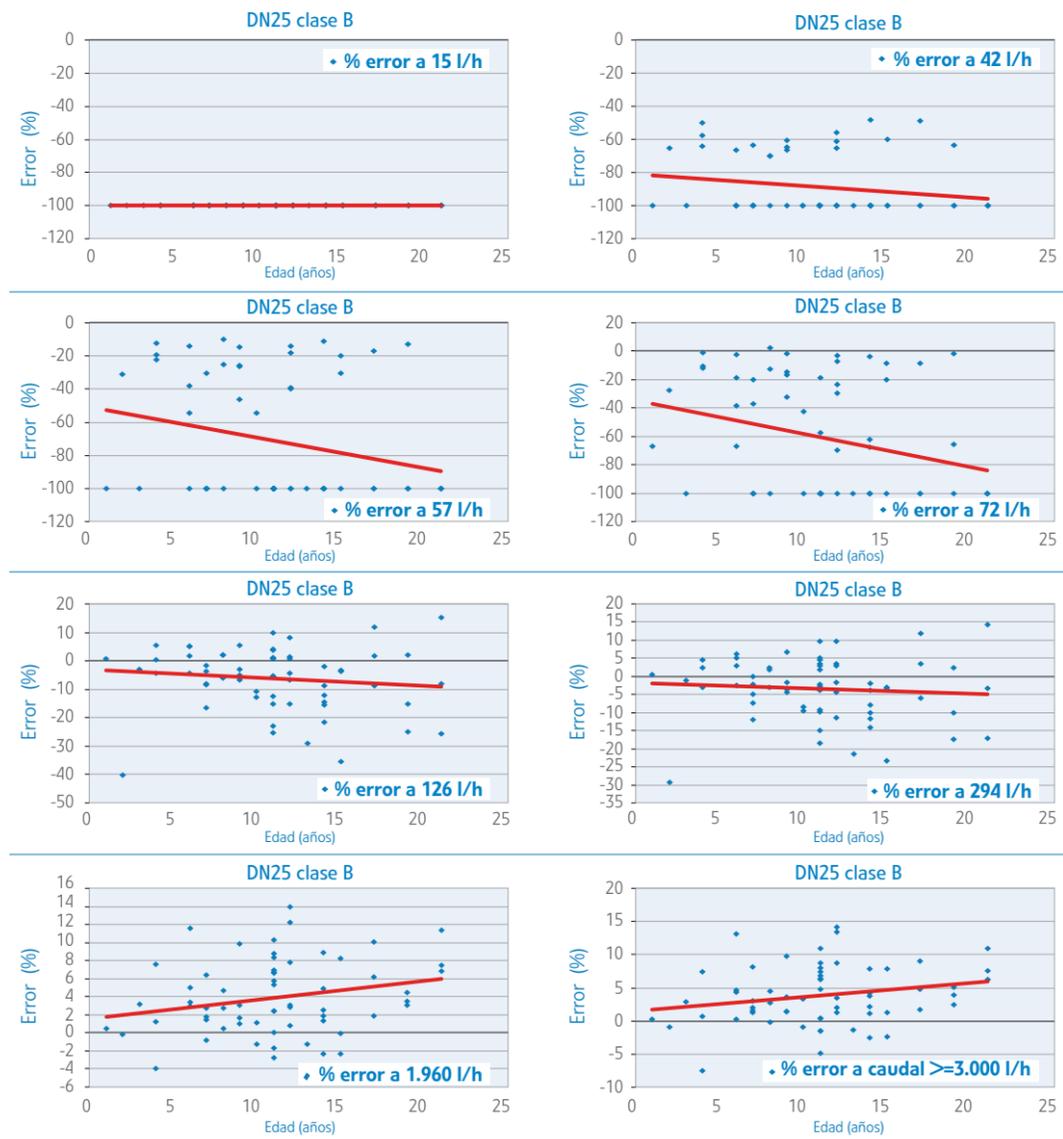
**Figura 100. Evolución de la precisión de los contadores DN20 clase metrológica B a diferentes caudales**



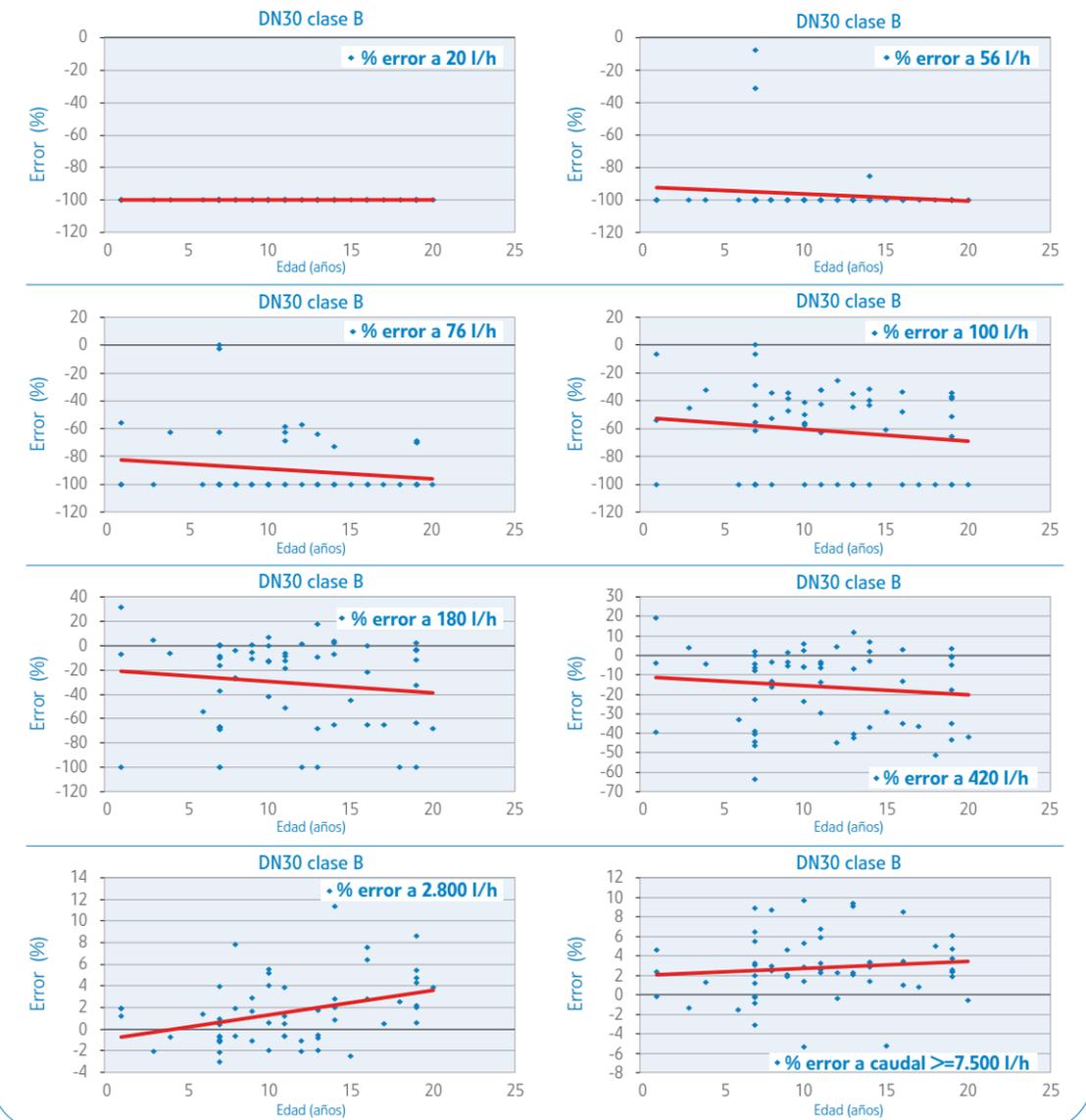
**Figura 101. Evolución de la precisión de los contadores DN20 clase metrológica C a diferentes caudales**



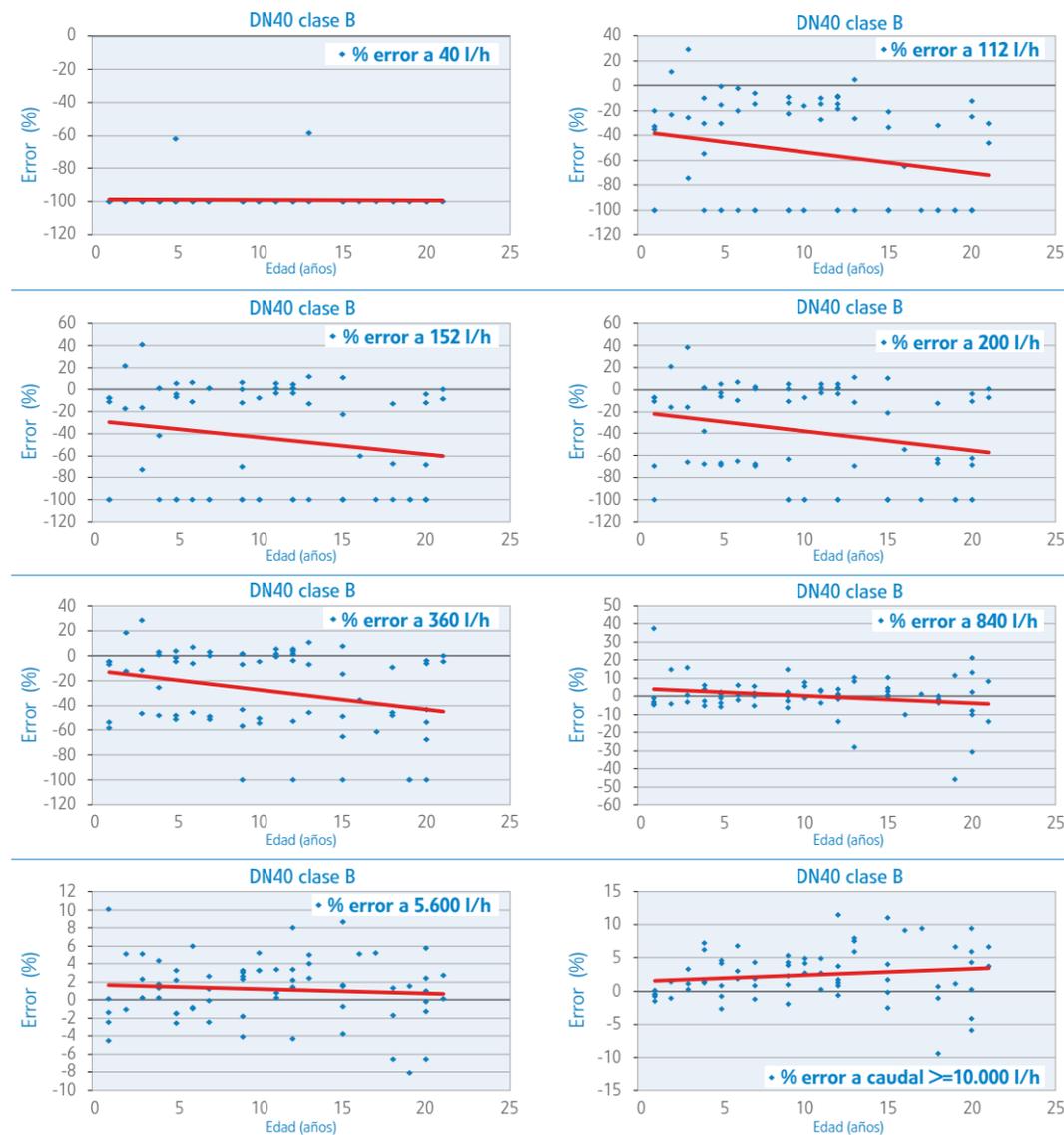
**Figura 102. Evolución de la precisión de los contadores DN25 clase metrológica B a diferentes caudales**



**Figura 103. Evolución de la precisión de los contadores DN30 clase metrológica B a diferentes caudales**



**Figura 104. Evolución de la precisión de los contadores DN40 clase metrológica B a diferentes caudales**



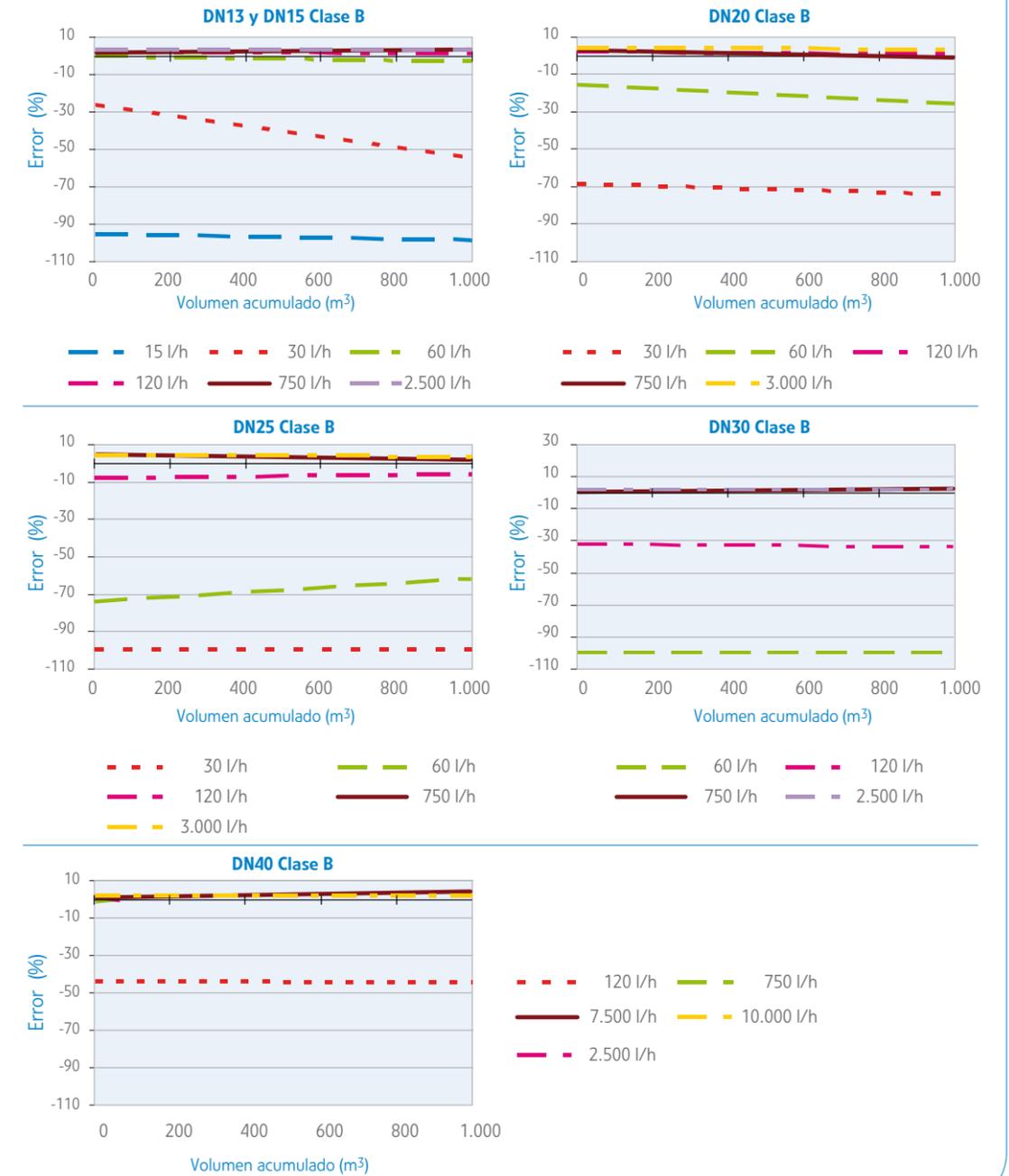
### 13.4.5. Evolución del error con el volumen acumulado por los contadores

Se ha estudiado el ritmo de deterioro del error para cada diámetro y caudal de ensayo con el volumen acumulado por el contador. Las tendencias observadas en la muestra estudiada de clase metrológica B, que se representan en la figura 105, apuntan, en general, al aumento del subcontaje en el rango de los caudales bajos, con el volumen acumulado y, por tanto, con el uso de los contadores.

Como excepción cabe destacar el comportamiento de los contadores de DN 40.

No se ha conseguido encontrar unas funciones análogas para la muestra correspondiente a la clase metrológica C al disponerse de menor cantidad de datos.

**Figura 105. Evolución del error a diferentes diámetros y caudales con el volumen acumulado**



### 13.4.6. Influencia de otros factores en la curva de error

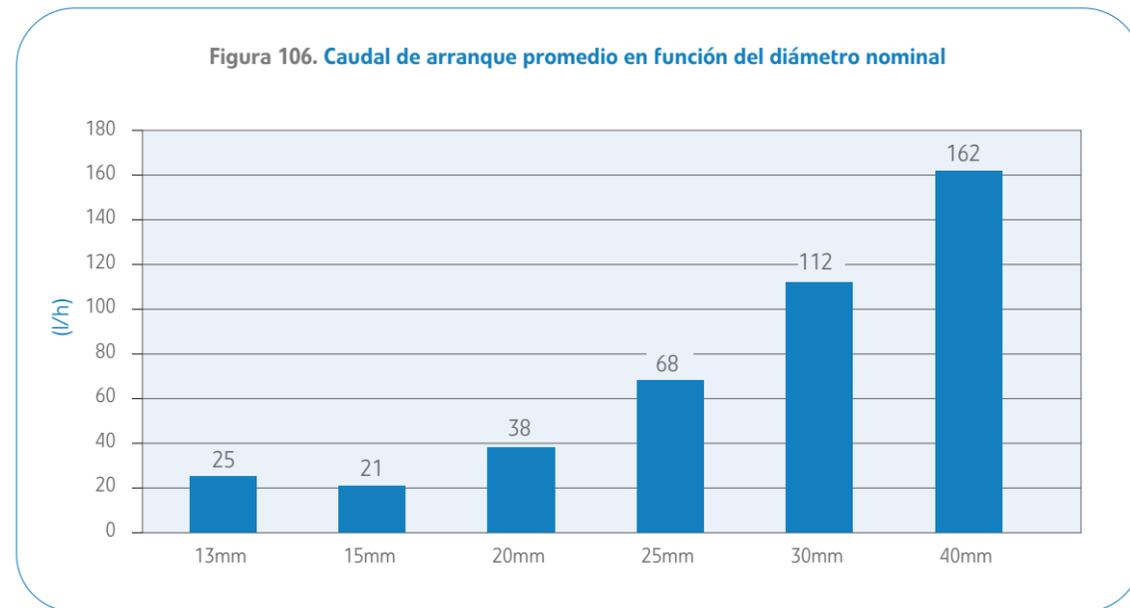
Como ya se ha comentado, una de las características de los equipos portátiles de verificación en campo es que permiten registrar, a lo largo del ensayo en campo, variables como la presión y temperatura del agua, además de la temperatura ambiente.

Al analizar los resultados de la muestra estudiada, no se han detectado correlaciones entre estas variables y la curva de error de los contadores, lo que en el caso de la presión es significativo.

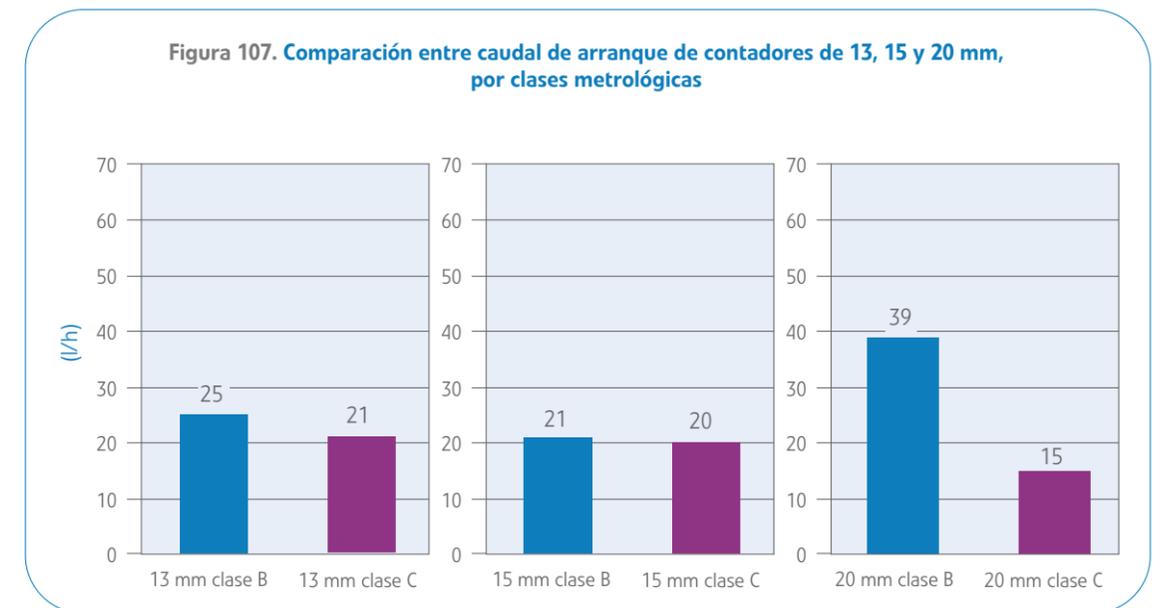
### 13.4.7. Caudal de arranque

En este apartado se estudian, mediante gráficas explicativas, los caudales de arranque de los contadores objeto de la muestra de forma comparativa, por diámetros, marcas, grupos de edad, consumo, localización geográfica y tipo de instalación.

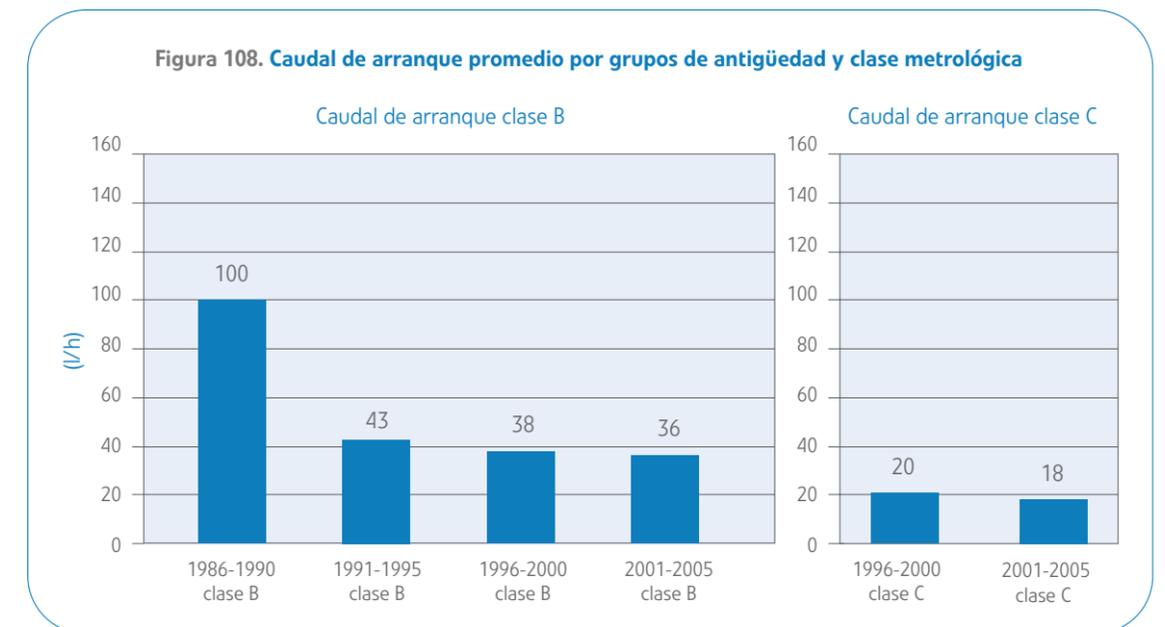
El caudal de arranque aumenta progresivamente con el diámetro, como se observa en la figura 106.



El caudal de arranque de los contadores de clase metrológica C se muestra inferior al caudal de arranque de los contadores de la clase metrológica B para un mismo diámetro, por lo que se considera que los primeros son más adecuados para registrar caudales bajos en general. En el caso de los contadores de diámetro nominal DN13, DN15 y DN20, el caudal de arranque de los contadores de clase C es, en porcentajes, un 16, un 4, y un 63 por ciento inferior, respectivamente, que el caudal de arranque de los contadores de clase B de los mismos diámetros (figura 107).

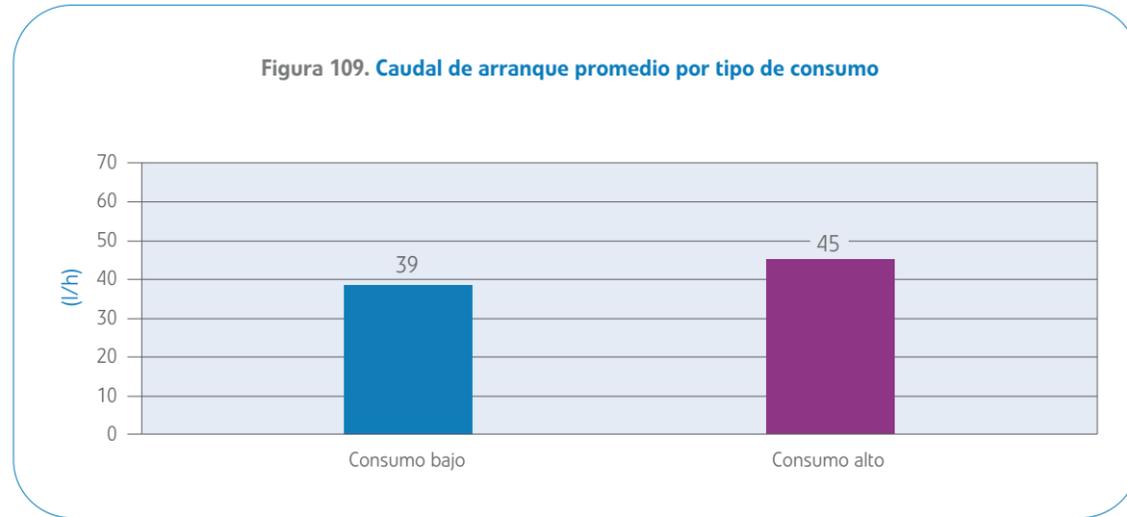


El caudal de arranque aumenta asimismo con la antigüedad del contador para una misma clase metrológica (figura 108). Esta es una característica de los contadores de velocidad que conforman la muestra estudiada.

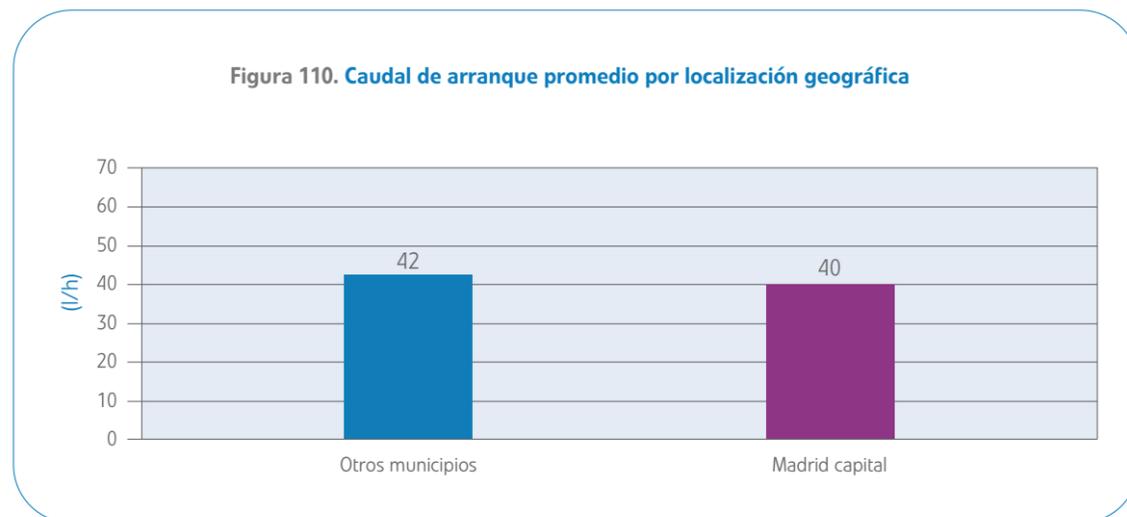


Se comentan a continuación los efectos de las otras variables estudiadas en el proyecto: el consumo, la localización geográfica, la ubicación del contador y las condiciones ambientales.

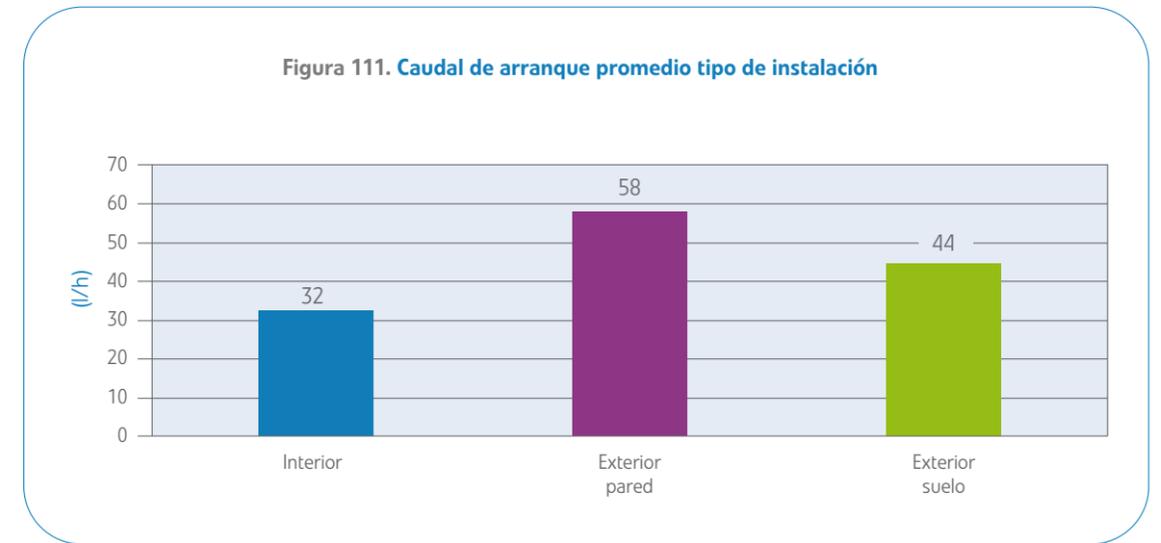
Al realizar el análisis por tipo de consumo se observa que, en general, los contadores de consumo alto presentan mayor caudal de arranque que los contadores de consumo bajo, como se refleja en la figura 109. El hecho de que un contador se califique como de consumo alto indica que ha sufrido mayor desgaste, lo que implica que, según las características constructivas típicas de los contadores de velocidad (caso de la muestra estudiada) el caudal de arranque aumente.



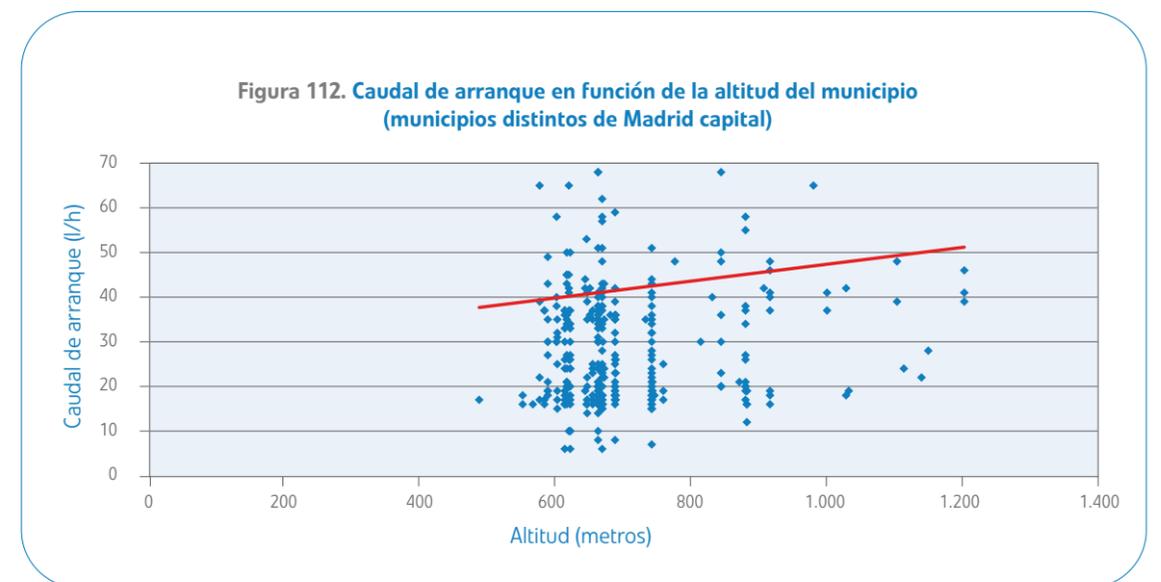
Como se puede apreciar en la figura 110, no se observan diferencias significativas entre el caudal de arranque promedio de los contadores situados en Madrid capital, con respecto al de los contadores situados en otros municipios.



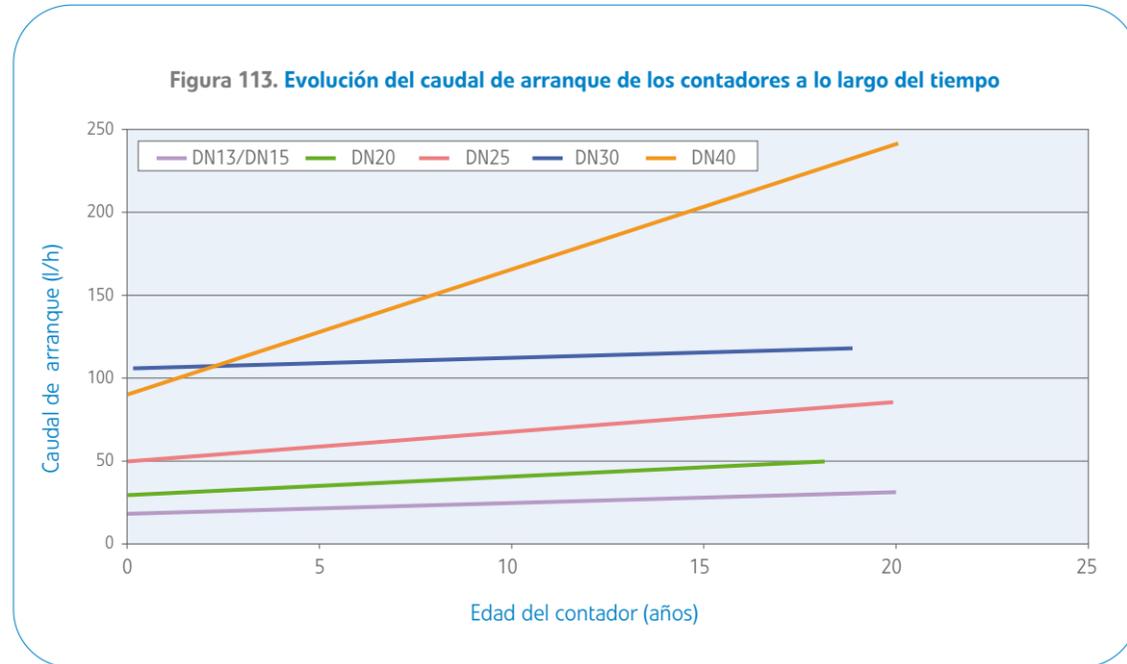
En cuanto a la influencia de las condiciones de emplazamiento, los contadores situados en el interior de los edificios tienen un caudal de arranque un 45 por ciento inferior al de los situados en el exterior en armario de pared, y un 27 por ciento inferior al de los situados en el exterior a nivel de suelo (figura 111). Esto implica que el hecho de proteger al contador, en lo posible, de las condiciones exteriores hará que se registren mejor los caudales bajos.



Aunque se muestra una gran dispersión en los datos, se ha observado asimismo una cierta tendencia al aumento del caudal de arranque con la cota de instalación del contador, como se refleja en la figura 112, particularizada para los contadores de la muestra en municipios distintos de Madrid capital.

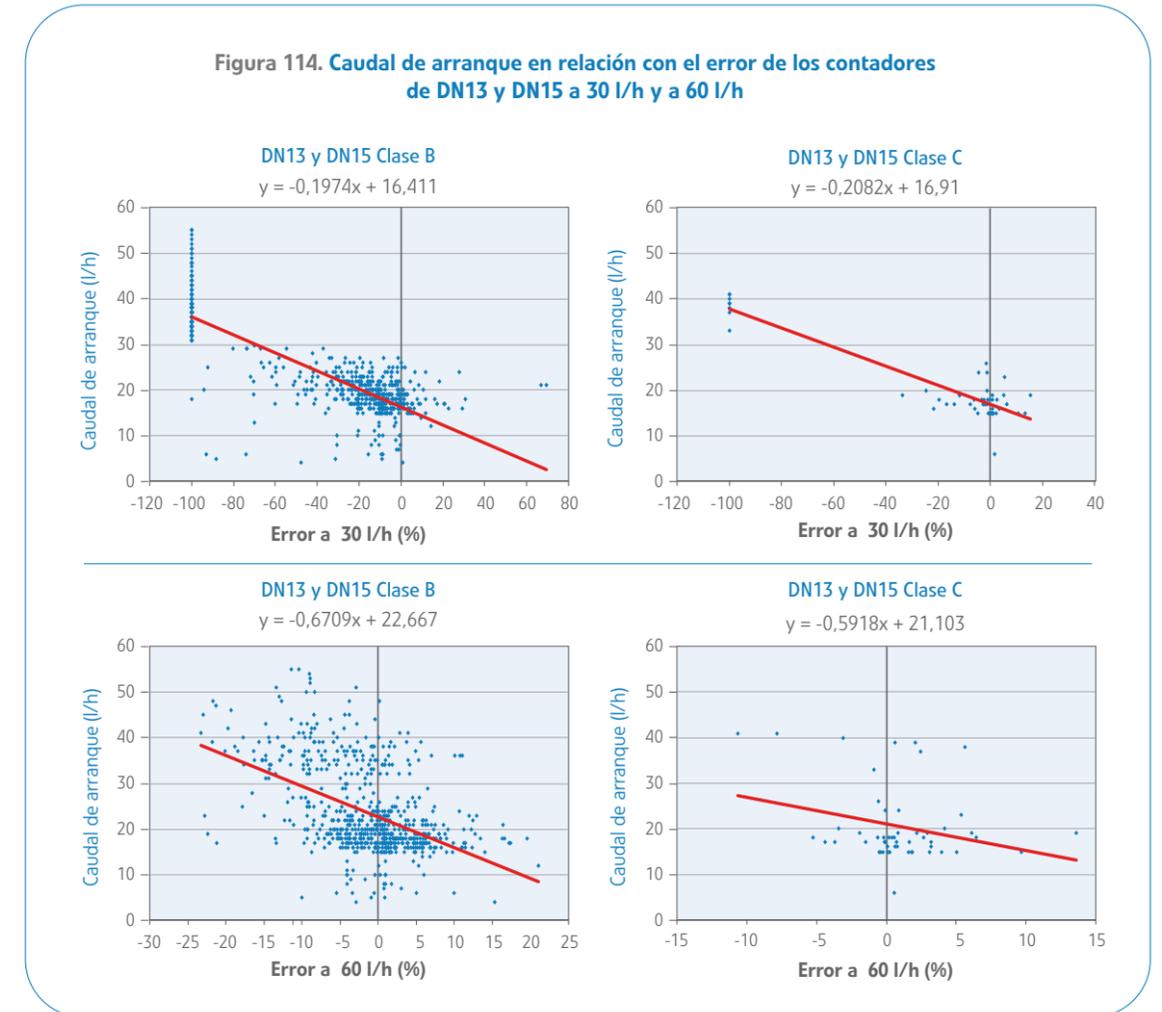


Con los datos obtenidos se pueden hacer estimaciones de la evolución del caudal de arranque con el tiempo, para cada tamaño del contador (figura 113). Aunque en todos los diámetros se observa un aumento del caudal de arranque con la edad del contador, es en DN40 donde se acusa con mayor intensidad este efecto.



Del análisis de la correlación entre el caudal de arranque y el error a caudales bajos, obtenidos ambos parámetros mediante el procedimiento mencionado de ensayo en campo, se obtienen los gráficos representados en la figura 114, particularizados para los contadores de diámetro nominal DN13 y DN15 y los caudales de ensayo 30 y 60 l/h, y para ambas clases metrológicas, B y C.

Hay que resaltar que el caudal de arranque estimado con estas correlaciones es meramente orientativo, siendo el ensayo en campo o en laboratorio el método correcto para determinar el caudal de arranque de un contador concreto.



14

Determinación de los patrones de  
consumo doméstico

El conocimiento de la demanda de agua, sus pautas de comportamiento y factores explicativos han sido objeto de trabajos de investigación por parte de Canal de Isabel II desde hace años, permitiendo obtener un buen conocimiento de las características de la demanda de agua suministrada por la empresa. Esta información es de una gran utilidad para el establecimiento de políticas de gestión de la demanda y para la realización de predicciones sobre la evolución futura.

Uno de estos proyectos de investigación, que Canal de Isabel II incluye en su Plan de I+D+i, es Monitorización de las pautas de consumo de los usuarios en todo el rango de caudales; proyecto de desarrollo, a largo plazo, en el que se realiza la medida directa de los caudales instantáneos suministrados a una muestra de viviendas.

El patrón de consumo o histograma de porcentajes de volumen consumido para cada rango de caudales, informa de la distribución porcentual del consumo de un cliente por rangos de caudales.

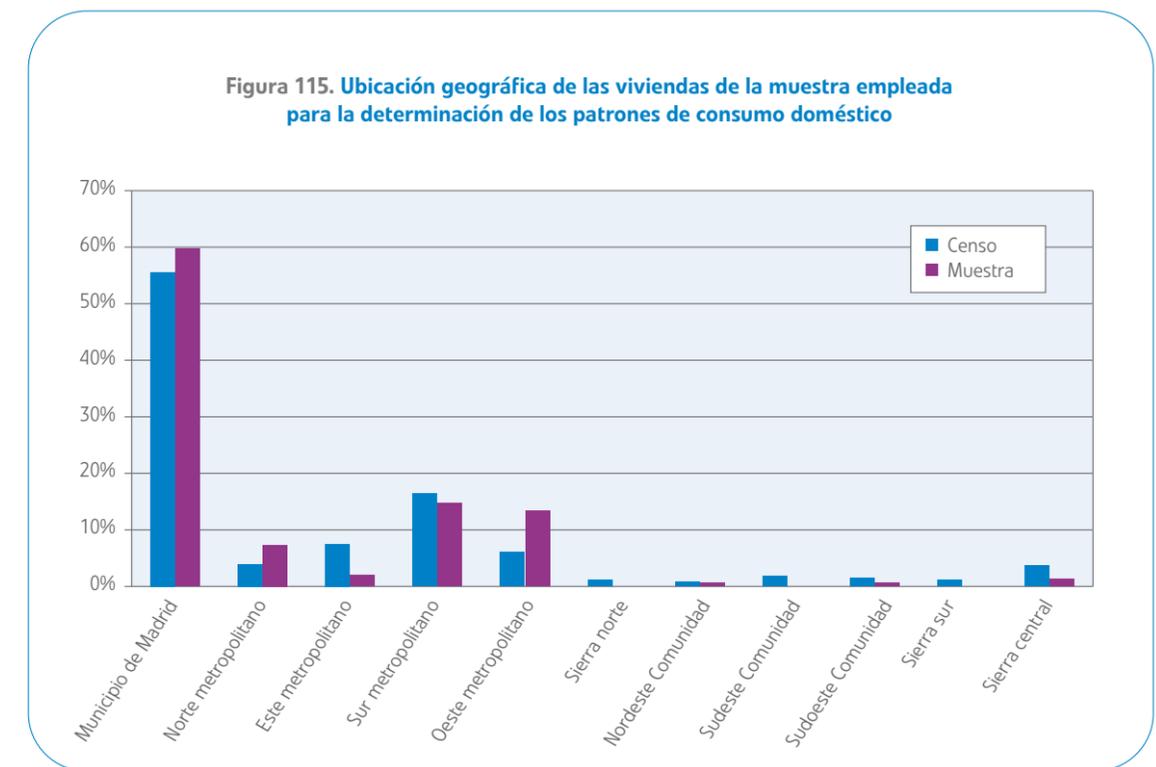
En el ámbito de dicho proyecto de investigación, se han conseguido determinar los patrones de consumo de usuarios de tipo doméstico, que han contribuido a la evaluación del error global de medida del parque, por medio de la combinación de los mismos con las curvas de error de los contadores, mediante el procedimiento que se describe en el siguiente apartado.

Los patrones de consumo de usuarios de tipo doméstico se han obtenido mediante la mencionada monitorización en continuo durante un período de 6 meses a una muestra representativa de la Comunidad de Madrid formada por 226 contadores con equipos de muy alta precisión, capaces de registrar caudales muy bajos, desde 1 l/h.

Para garantizar la representatividad de la muestra seleccionada de viviendas se ha verificado, apoyándose en encuestas personales o cuestionarios realizados a los propietarios, el cumplimiento de determinados criterios de estratificación y ausencia de sesgo en aquellos aspectos que puedan ser relevantes, como son los que se relacionan a continuación.

#### Distribución geográfica

Las viviendas que componen el estudio se sitúan principalmente en el municipio de Madrid y su corona metropolitana, con una minoría ubicada en las zonas de la sierra y periférica, en una distribución que no se aparta significativamente de la distribución porcentual de viviendas en la Comunidad de Madrid según los últimos datos publicados por el INE (figura 115).

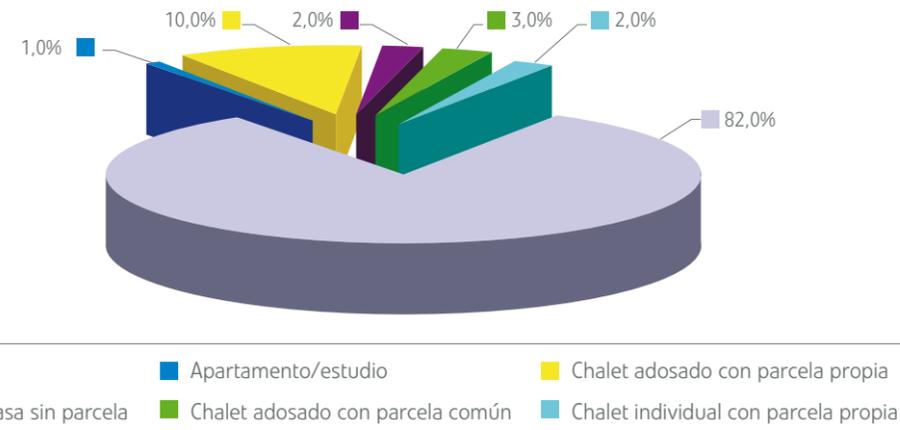


#### Tipología

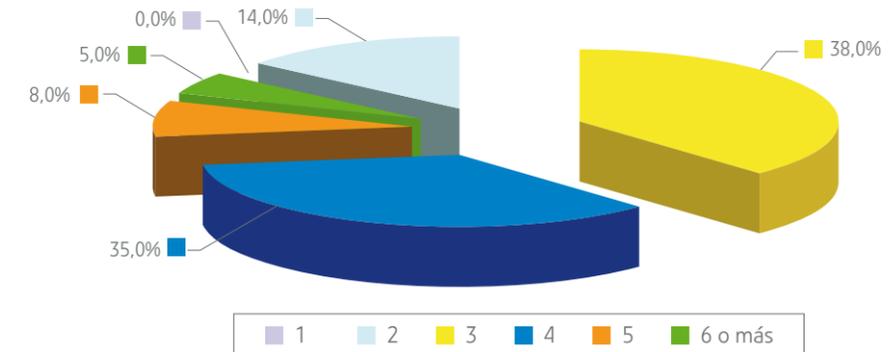
En la Comunidad de Madrid, según datos de Canal de Isabel II, el 12,5 por ciento de las viviendas son del tipo unifamiliar. La muestra incluida en este estudio presenta un 17 por ciento de viviendas unifamiliares, lo que permite disponer de un número significativo de esta tipología, lo cual resulta interesante dadas las particularidades que este tipo de viviendas presenta en cuanto al uso del agua y a la tendencia creciente que se ha observado en los últimos tiempos en la proporción de viviendas unifamiliares.

Cabe destacar que se trataba siempre de primeras viviendas, ocupadas de modo habitual. En la figura 116 se presenta la estratificación de la muestra por tipo de vivienda.

**Figura 116. Tipología de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**



**Figura 118. Número de habitaciones de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

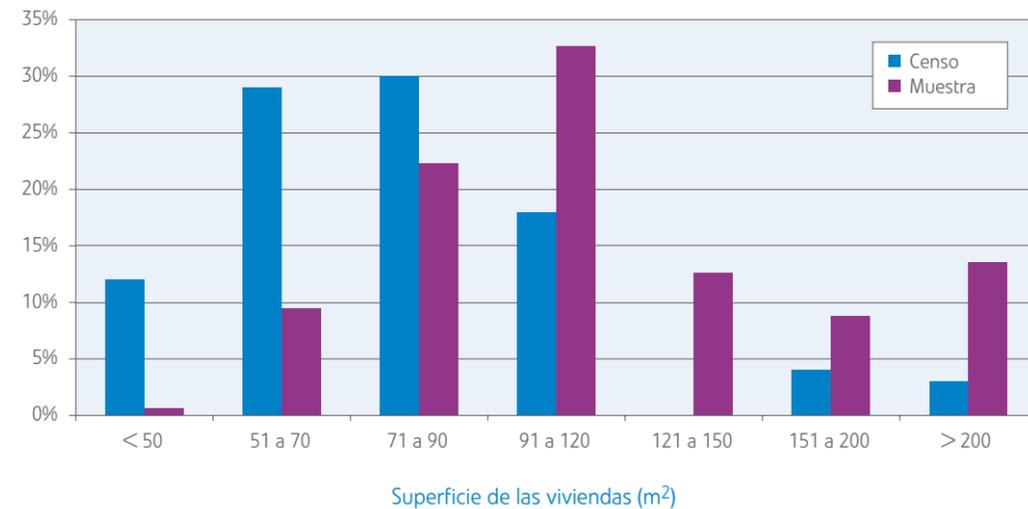


**Tamaño**

El tamaño de las viviendas se ha evaluado en función de su superficie (figura 117) y del número de habitaciones (figura 118). Este es un parámetro muy representativo de aspectos que inciden en el uso del agua, tales como el nivel económico de la familia, número de dispositivos que utilizan agua, etc.

La muestra incluida en el estudio presenta un cierto sesgo hacia viviendas de un tamaño superior a la media de la Comunidad de Madrid.

**Figura 117. Tamaño de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

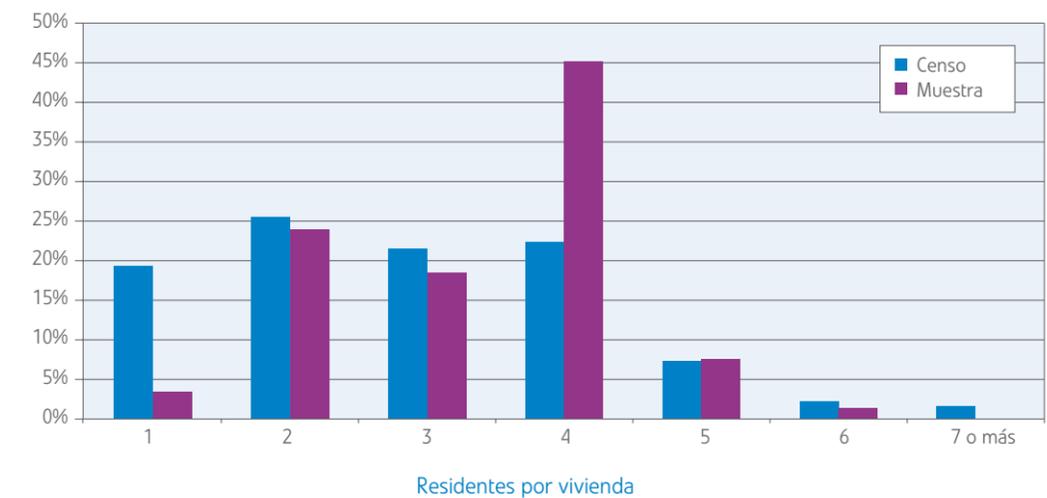


**Ocupación**

La ocupación media de las viviendas incluidas en la muestra es de 3,34 personas por vivienda; algo superior a la media de la Comunidad de Madrid, cifrada en 2,89 personas por vivienda, según el último censo disponible del año 2001.

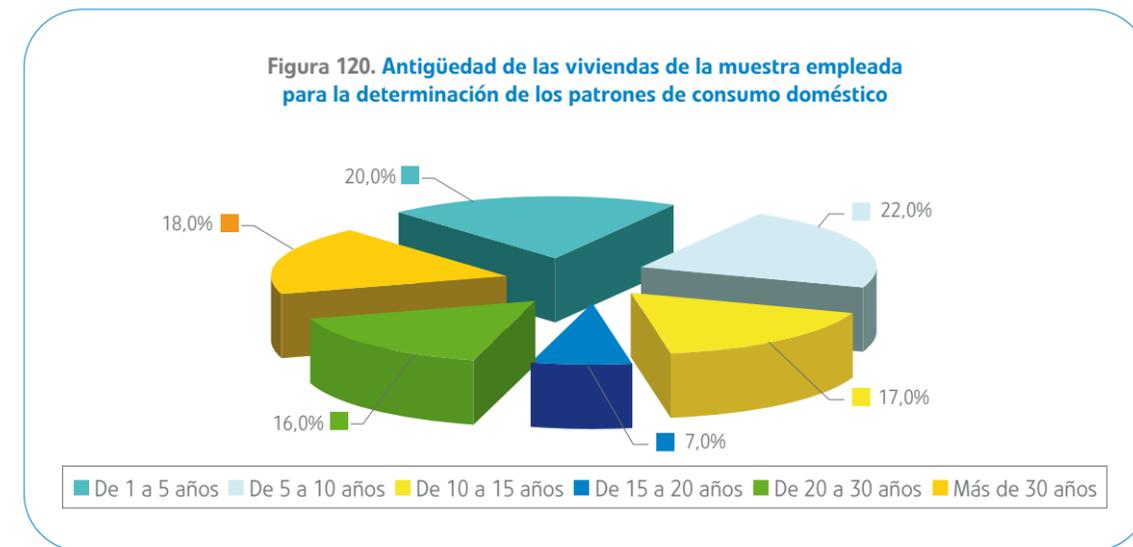
La descripción de la muestra, respecto a la ocupación y comparación con los datos generales de la Comunidad de Madrid, es la de la figura 119. Se observa una sobrerrepresentación de viviendas ocupadas por 4 personas, en detrimento de las de un solo habitante.

**Figura 119. Ocupación de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**



## Antigüedad

Las viviendas incluidas en el estudio pueden considerarse relativamente nuevas, ya que solamente un 18 por ciento tiene más de 30 años, y un 42 por ciento tiene menos de 10. La comparación con los datos censales no puede ser homogénea, ya que el último censo, de 2001, no incluye lógicamente las viviendas construidas en los últimos años. Según ese censo, en aquellas fechas, un 44,4 por ciento de las viviendas de la Comunidad de Madrid tenían más de 30 años, y solamente un 16,1 por ciento menos de 10 años, (figura 120).



## Otros datos estructurales

Otros datos estructurales analizados, como el número y tipo de cuartos húmedos, la presencia de terrazas, jardines, o piscina propia, se representan en las tablas 31 a 33.

**Tabla 31. Porcentaje de cuartos de baño y aseos en las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

Cuartos de baño por vivienda	%	Cuartos de aseo por vivienda	%
0	0,65	0	65,16
1	23,23	1	28,39
2	65,81	2	3,23
3	8,39	3	0,65
4 ó más	1,94	4 ó más	0,00
No sabe, no contesta	0,00	No sabe, no contesta	2,58

**Tabla 32. Porcentaje de viviendas con terraza y/o jardín en la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

Terraza	%	Jardín en m <sup>2</sup>	%
No tienen	41,94	No tienen	83,87
Sí, con plantas y flores	39,35	De 25 a 75	13,55
Sí, sin plantas	18,06	De 75 a 200	1,29
No sabe, no contesta	0,65	De 200 a 500	1,29
		Más de 500	0,00

**Tabla 33. Porcentaje de viviendas con piscina, y volumen de la misma, en la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

Piscina propia	%
No tienen	90,97
Si, de menos de 10 m <sup>3</sup>	0,00
Si, de 21 a 30 m <sup>3</sup>	0,00
Si, de 31 a 45 m <sup>3</sup>	1,94
Si, de 46 a 75 m <sup>3</sup>	0,65
Si, de 76 a 100 m <sup>3</sup>	0,00
Si, más de 100 m <sup>3</sup>	0,00
No sabe, no contesta	6,45

## Nivel de consumo de agua

De aquellos participantes en el estudio que son clientes directos de Canal de Isabel II (89 viviendas), se dispone del historial de consumos de agua facturados. Los datos correspondientes a 2007 y su comparación con la media de la Comunidad de Madrid se resumen en las tablas 34 y 35.

**Tabla 34. Dotación por vivienda. Muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

2007	Dotaciones por vivienda en litros por día		
	Plurifamiliar	Unifamiliar	Todas
Muestra	352,1	464,8	382,5
Media Comunidad de Madrid	307,9	521,1	335,4

**Tabla 35. Dotación por habitante. Muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico**

2007	Dotaciones por habitante en litros por día		
	Plurifamiliar	Unifamiliar	Todas
Muestra	110,0	137,7	117,8
Media Comunidad de Madrid	--	--	135,8

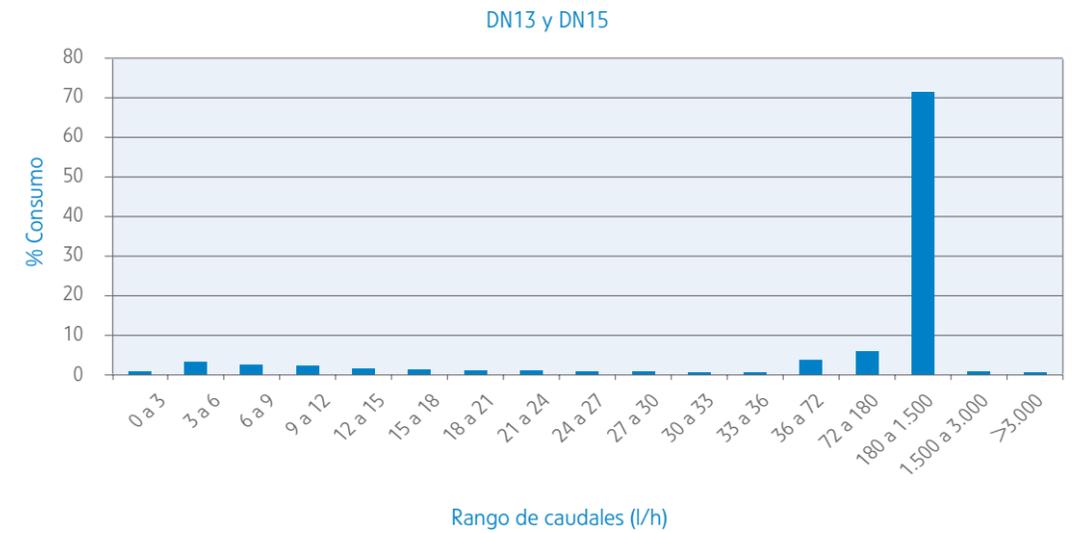
Las dotaciones por vivienda, excepto en el caso de las unifamiliares, son algo superiores a la media de la región, lo que se debe a la mayor ocupación, siendo las dotaciones por habitante un 14 por ciento inferiores a la media, también reflejo del menor consumo por habitante en las viviendas con mayor ocupación.

En resumen, las viviendas que componen la muestra, estratificadas en función de los criterios anteriores, siguen una distribución que no se aparta significativamente de la distribución porcentual de viviendas en la Comunidad de Madrid.

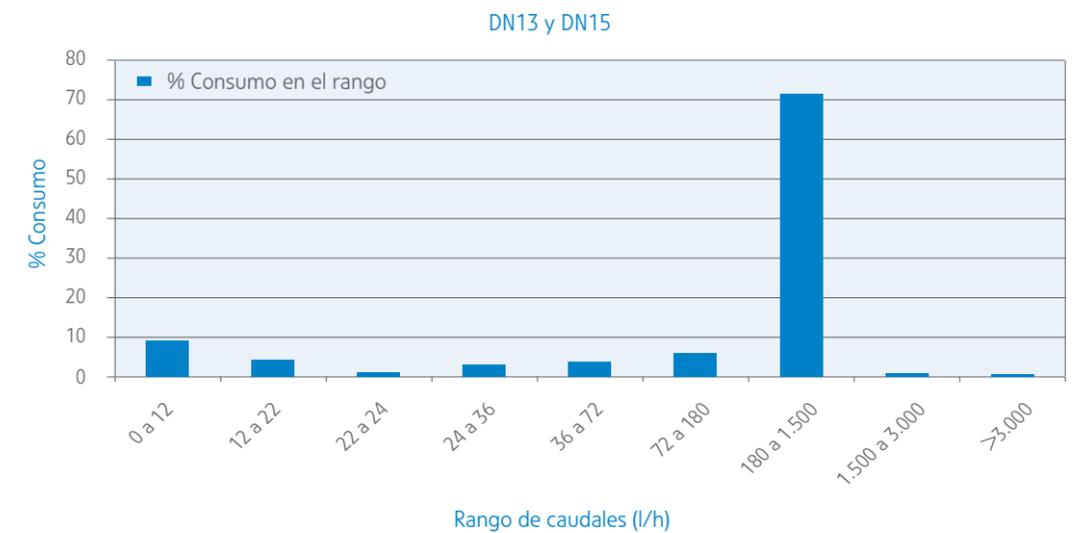
El estudio del consumo a caudales bajos es especialmente importante, ya que en este rango crítico se combinan dos factores: por un lado, el desgaste sufrido por los contadores aparece más acentuado, aumentando su error de medición (errores negativos o subcontaje), y por otro lado, los caudales que aparecen se deben principalmente a fugas en las instalaciones interiores, o a la fase final de llenado de muchas cisternas existentes. Esta situación da lugar a volúmenes no registrados que representan la parte más importante del error global de medida, y como consecuencia un alto porcentaje del coste del agua no registrada.

Los resultados del estudio, representados en forma de histogramas, se reflejan en las figuras 121 a 130, para cada uno de los diámetros nominales de contadores estudiados, desde DN13 a DN40; primero con el nivel de detalle máximo con el que se ha estudiado el rango de los caudales bajos y a continuación de forma simplificada.

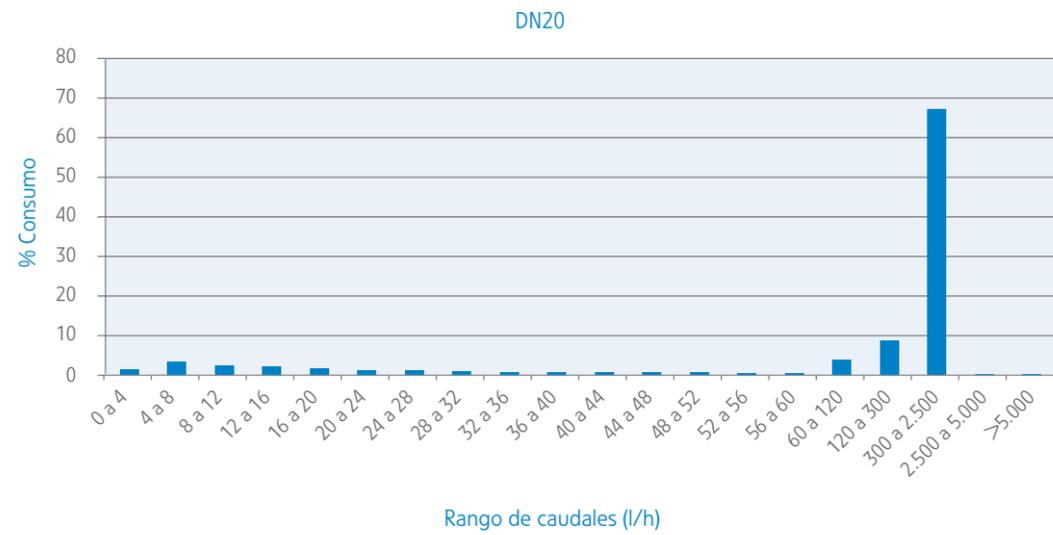
**Figura 121. Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15 para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos**



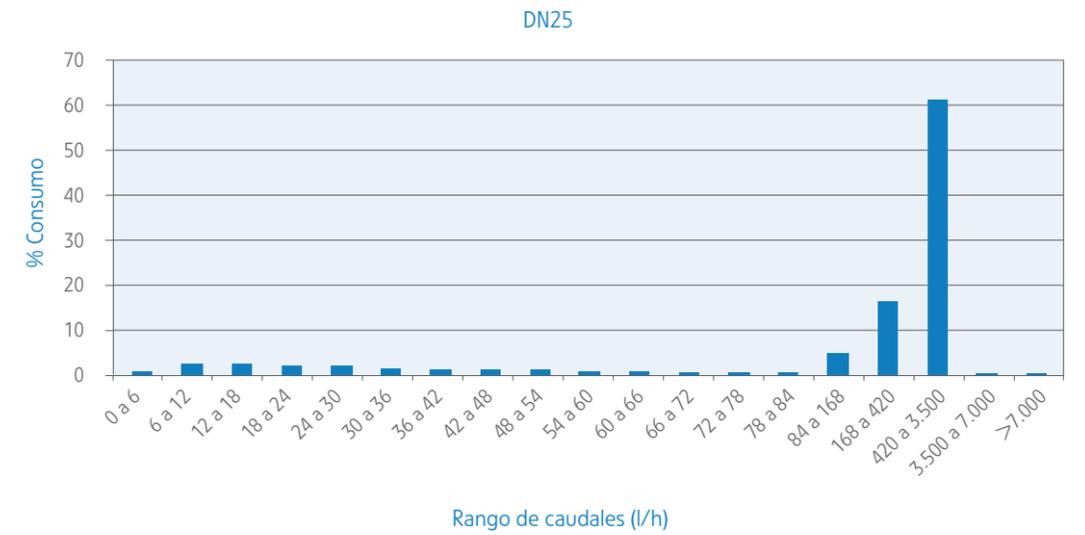
**Figura 122. Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, para uso doméstico**



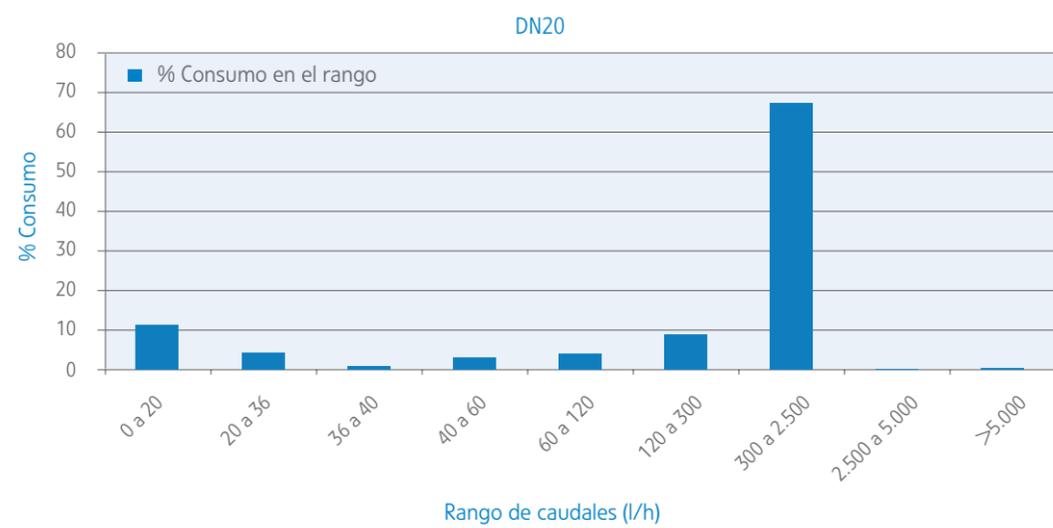
**Figura 123. Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos**



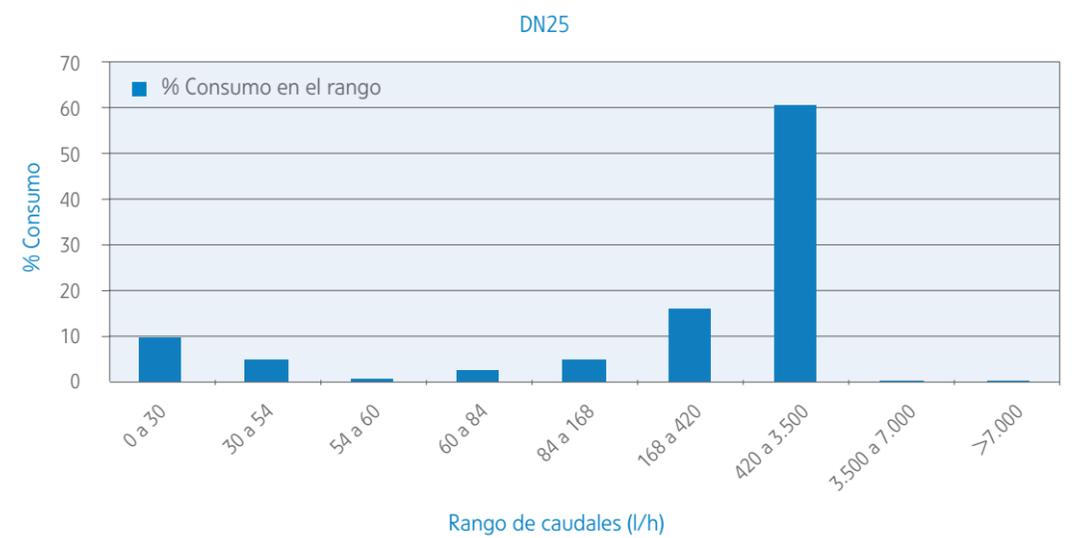
**Figura 125. Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos**



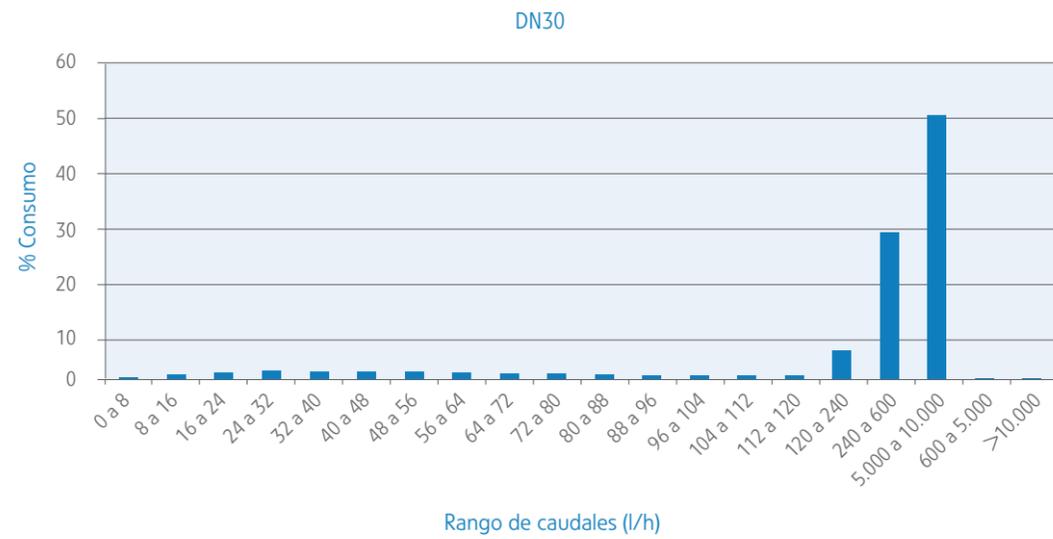
**Figura 124. Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico**



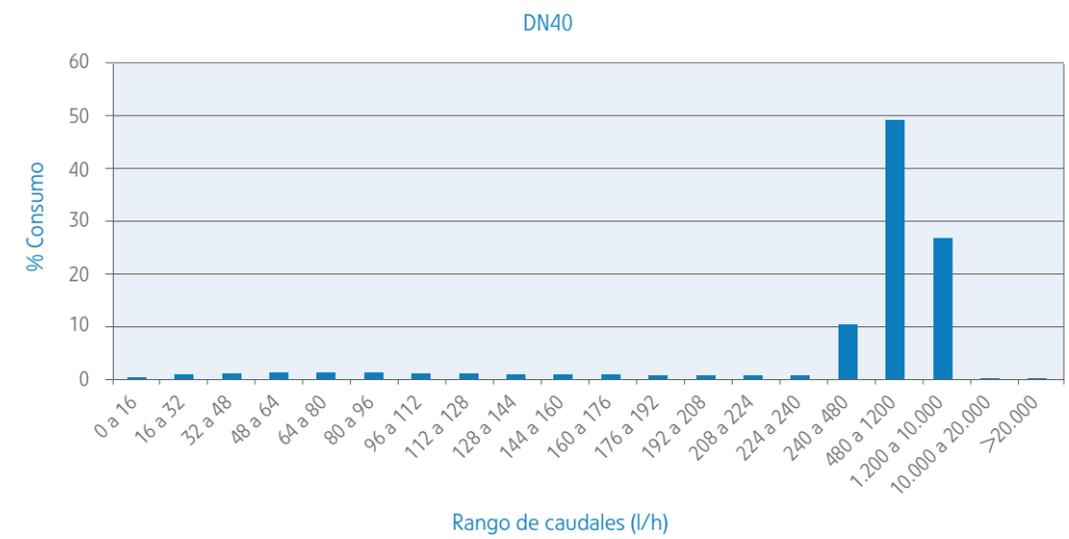
**Figura 126. Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico**



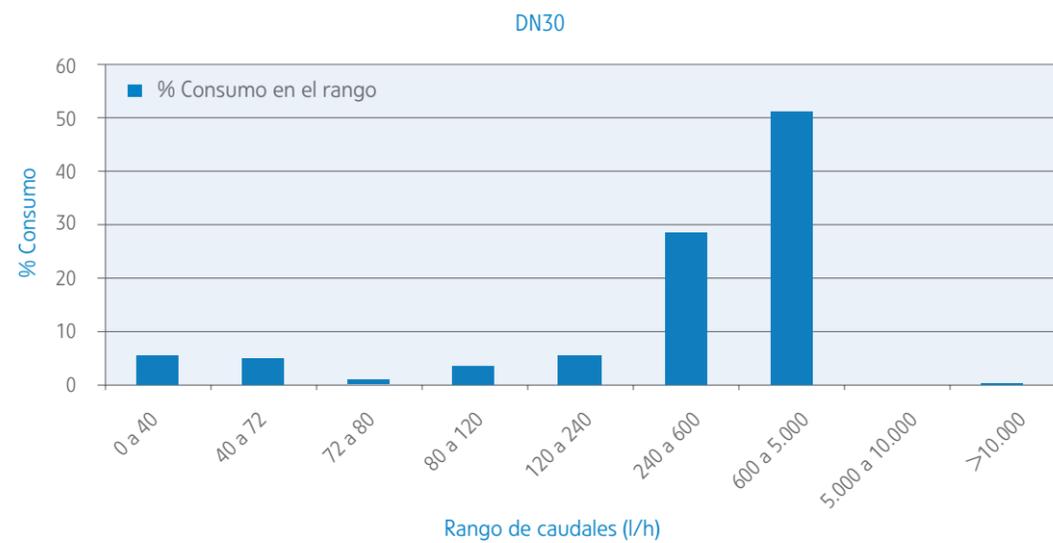
**Figura 127. Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos**



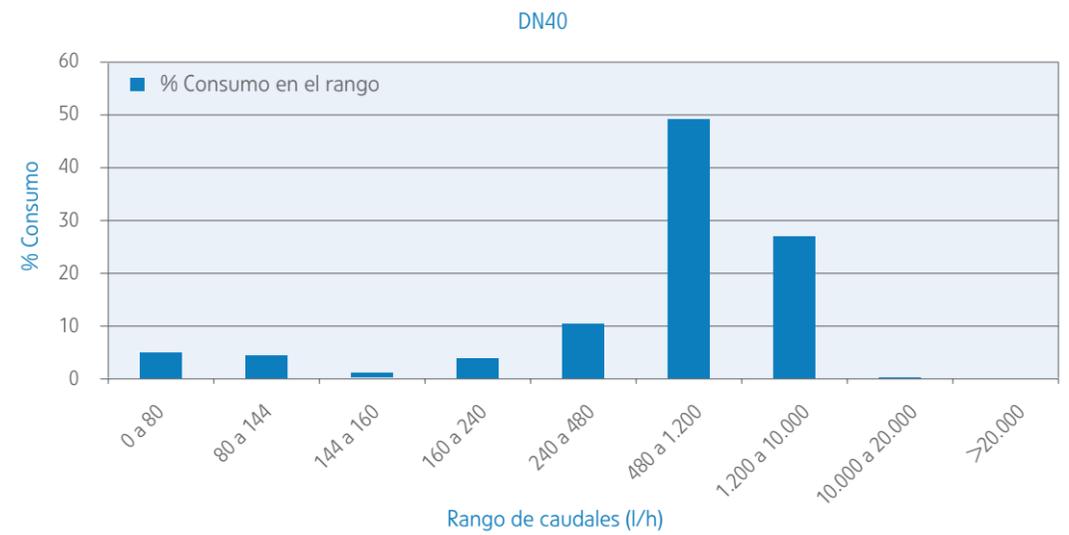
**Figura 129. Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos**



**Figura 128. Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico**



**Figura 130. Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico**



15

Cálculo del error global  
de medición

Como ya se ha comentado, el error global de medición o error medio ponderado, como es conocido por algunas empresas del sector, se calcula combinando los patrones de consumo, a diferentes caudales, con la curva de error de los contadores a esos mismos caudales. A partir de esta ponderación es posible calcular el total de agua no registrada originada por el error de medición de los contadores.

Con los resultados del proyecto de determinación de la curva de error mediante ensayos en campo y con los patrones de consumo de usuarios de tipo doméstico, cuyos resultados se han descrito en apartados anteriores, ha sido posible evaluar el error global de medición del segmento del parque de contadores gestionados por la Empresa, formado por los contadores de diámetro nominal DN13, DN15, DN20, DN25, DN30 y DN40, empleados para registrar consumos de tipo doméstico que conjuntamente representan, en número, un 83 por ciento del total del parque, en una clasificación del parque por diámetros, y un 61 por ciento del volumen total facturado por la Empresa (según datos correspondientes a 2006).

Las curvas de error de los contadores de estos diámetros se han trazado empleando los datos obtenidos en el proyecto de determinación de la curva de error mediante ensayos en campo descrito en el presente documento, con los siguientes criterios.

- Las curvas comienzan en el caudal de arranque, al que se le ha asignado un error de medición de: -70 por ciento
- Se ha considerado una evolución lineal entre los caudales de error conocido

Se han realizado las siguientes consideraciones adicionales para el cálculo del error global:

- En cada intervalo de caudales, el consumo está repartido uniformemente
- Todo el volumen consumido por debajo del caudal de arranque no se registra, (el error, a caudales inferiores al de arranque, es del -100 por ciento)
- El volumen consumido en cada intervalo del patrón de consumo se registra con el error al caudal medio del mismo, obtenido de la reconstrucción de la curva de error

El resultado de los cálculos del error global promedio de los contadores de 13, 15, 20, 25, 30 y 40mm que registran consumos de tipo doméstico se refleja en las tablas 36 a 41.

**Tabla 36. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 13 mm**

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 3	0,89	-100,00	0,00	-0,89
3 a 6	3,36	-100,00	0,00	-3,36
6 a 9	2,64	-100,00	0,00	-2,64
9 a 12	2,26	-100,00	0,00	-2,26
12 a 15	1,68	-100,00	0,00	-1,68
15 a 18	1,39	-100,00	0,00	-1,39
18 a 21	1,17	-100,00	0,00	-1,17
21 a 24	1,03	-100,00	0,00	-1,03
24 a 27	0,90	-66,66	0,30	-0,60
27 a 30	0,73	-48,73	0,38	-0,36
30 a 33	0,70	-37,87	0,43	-0,26
33 a 36	0,67	-34,06	0,44	-0,23
36 a 72	3,75	-9,34	3,40	-0,35
72 a 180	6,05	1,75	6,15	0,11
180 a 1.500	71,42	3,06	73,60	2,18
1.500 a 3.000	0,87	3,54	0,90	0,03
>3.000	0,49	3,63	0,51	0,02
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>86,12</b>	<b>-13,88</b>
			<b>ERROR GLOBAL (%)</b>	<b>-13,88</b>

Tabla 37. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 15 mm

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 3	0,89	-100,00	0,00	-0,89
3 a 6	3,36	-100,00	0,00	-3,36
6 a 9	2,64	-100,00	0,00	-2,64
9 a 12	2,26	-100,00	0,00	-2,26
12 a 15	1,68	-100,00	0,00	-1,68
15 a 18	1,39	-100,00	0,00	-1,39
18 a 21	1,17	-100,00	0,00	-1,17
21 a 24	1,03	-63,69	0,37	-0,66
24 a 27	0,90	-49,49	0,45	-0,44
27 a 30	0,73	-35,28	0,47	-0,26
30 a 33	0,70	-26,79	0,51	-0,19
33 a 36	0,67	-24,01	0,51	-0,16
36 a 72	3,75	-5,96	3,53	-0,22
72 a 180	6,05	1,72	6,15	0,10
180 a 1.500	71,42	0,19	71,55	0,14
1.500 a 3.000	0,87	1,42	0,88	0,01
>3.000	0,49	1,64	0,50	0,01
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>89,94</b>	<b>-15,06</b>
		<b>ERROR GLOBAL (%)</b>		<b>-15,06</b>

Tabla 38. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 20 mm

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 4	1,43	-100,00	0,00	-1,43
4 a 8	3,47	-100,00	0,00	-3,47
8 a 12	2,42	-100,00	0,00	-2,42
12 a 16	2,20	-100,00	0,00	-2,20
16 a 20	1,73	-100,00	0,00	-1,73
20 a 24	1,23	-100,00	0,00	-1,23
24 a 28	1,20	-100,00	0,00	-1,20
28 a 32	0,99	-100,00	0,00	-0,99
32 a 36	0,76	-100,00	0,00	-0,76
36 a 40	0,76	-69,74	0,23	-0,53
40 a 44	0,73	-61,13	0,28	-0,44
44 a 48	0,63	-52,52	0,30	-0,33
48 a 52	0,71	-43,92	0,40	-0,31
52 a 56	0,60	-35,31	0,39	-0,21
56 a 60	0,46	-26,70	0,34	-0,12
60 a 120	3,91	-10,98	3,48	-0,43
120 a 300	8,89	0,71	8,96	0,06
300 a 2.500	67,37	2,58	69,11	1,74
2.500 a 5.000	0,20	3,26	0,21	0,01
>5.000	0,32	3,26	0,33	0,01
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>84,02</b>	<b>-15,98</b>
		<b>ERROR GLOBAL (%)</b>		<b>-15,98</b>

Tabla 39. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 25 mm

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 6	0,97	-100,00	0,00	-0,97
6 a 12	2,39	-100,00	0,00	-2,39
12 a 18	2,40	-100,00	0,00	-2,40
18 a 24	2,03	-100,00	0,00	-2,03
24 a 30	1,89	-100,00	0,00	-1,89
30 a 36	1,47	-100,00	0,00	-1,47
36 a 42	1,23	-100,00	0,00	-1,23
42 a 48	1,11	-100,00	0,00	-1,11
48 a 54	1,01	-100,00	0,00	-1,01
54 a 60	0,88	-100,00	0,00	-0,88
60 a 66	0,77	-100,00	0,00	-0,77
66 a 72	0,65	-69,32	0,20	-0,45
72 a 78	0,59	-61,92	0,23	-0,37
78 a 84	0,55	-54,52	0,25	-0,30
84 a 168	4,84	-6,30	4,53	-0,30
168 a 420	16,13	-3,52	15,56	-0,57
420 a 3.500	60,74	3,91	63,11	2,37
3.500 a 7.000	0,21	3,80	0,22	0,01
>7.000	0,14	3,80	0,15	0,01
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>84,25</b>	<b>-15,75</b>
		<b>ERROR GLOBAL (%)</b>		<b>-15,75</b>

Tabla 40. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 30 mm

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 8	0,35	-100,00	0,00	-0,35
8 a 16	0,90	-100,00	0,00	-0,90
16 a 24	1,26	-100,00	0,00	-1,26
24 a 32	1,56	-100,00	0,00	-1,56
32 a 40	1,40	-100,00	0,00	-1,40
40 a 48	1,31	-100,00	0,00	-1,31
48 a 56	1,35	-100,00	0,00	-1,35
56 a 64	1,17	-100,00	0,00	-1,17
64 a 72	1,03	-100,00	0,00	-1,03
72 a 80	0,98	-100,00	0,00	-0,98
80 a 88	0,82	-100,00	0,00	-0,82
88 a 96	0,74	-100,00	0,00	-0,74
96 a 104	0,73	-100,00	0,00	-0,73
104 a 112	0,64	-100,00	0,00	-0,64
112 a 120	0,60	-53,95	0,27	-0,32
120 a 240	5,51	-8,62	5,03	-0,47
240 a 600	28,43	-1,96	27,88	-0,56
600 a 5.000	51,02	1,60	51,84	0,82
5.000 a 10.000	0,13	2,80	0,07	0,00
>10.000	0,07	2,80	0,14	0,00
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>85,23</b>	<b>-14,78</b>
		<b>ERROR GLOBAL (%)</b>		<b>-14,78</b>

Tabla 41. Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 40 mm

Rango de caudales	Consumo en el rango	Error promedio del contador	Volumen registrado en el rango	Error ponderado
(l/h)	(%)	(%)	(%)	(%)
0 a 16	0,35	-100,00	0,00	-0,35
16 a 32	0,86	-100,00	0,00	-0,86
32 a 48	1,12	-100,00	0,00	-1,12
48 a 64	1,21	-100,00	0,00	-1,21
64 a 80	1,26	-100,00	0,00	-1,26
80 a 96	1,17	-100,00	0,00	-1,17
96 a 112	1,14	-100,00	0,00	-1,14
112 a 128	1,04	-100,00	0,00	-1,04
128 a 144	0,92	-100,00	0,00	-0,92
144 a 160	0,90	-100,00	0,00	-0,90
160 a 176	0,83	-100,00	0,00	-0,83
176 a 192	0,77	-60,06	0,31	-0,46
192 a 208	0,76	-46,29	0,41	-0,35
208 a 224	0,73	-32,52	0,49	-0,24
224 a 240	0,66	-18,75	0,54	-0,12
240 a 480	10,30	-9,44	9,33	-0,97
480 a 1.200	49,03	-1,48	48,31	-0,73
1.200 a 10.000	26,80	0,98	27,06	0,26
10.000 a 20.000	0,14	2,30	0,14	0,00
>20.000	0,14	2,30	0,14	0,00
<b>TOTALES</b>	<b>100,00</b>		<b>86,73</b>	<b>-13,42</b>
		<b>ERROR GLOBAL (%)</b>		<b>-13,42</b>

El mayor porcentaje de error se debe al consumo en el rango de los caudales bajos, por debajo del caudal de arranque de los contadores, zona en la que éstos no son capaces de registrar el volumen circulado. El rango cercano al caudal nominal, sin embargo, concentra la mayor parte del consumo pero al ser mayor la precisión de los contadores en estos caudales, el error ponderado es prácticamente insignificante.

Esta ponderación entre histogramas y curvas de error permite realizar un análisis de los consumos no registrados y de los consumos "sobrerregistrados", por rangos de caudales y diámetros nominales, en el grupo de contadores de uso doméstico estudiado como se refleja en las figuras 131 a 135. El modo en el que se registra el consumo en cada rango de caudales (subcontaje, sobrecontaje o registro correcto) se debe a la forma de la curva de error representativa de ese diámetro (error negativo, positivo o nulo).

Figura 131. Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, para uso doméstico

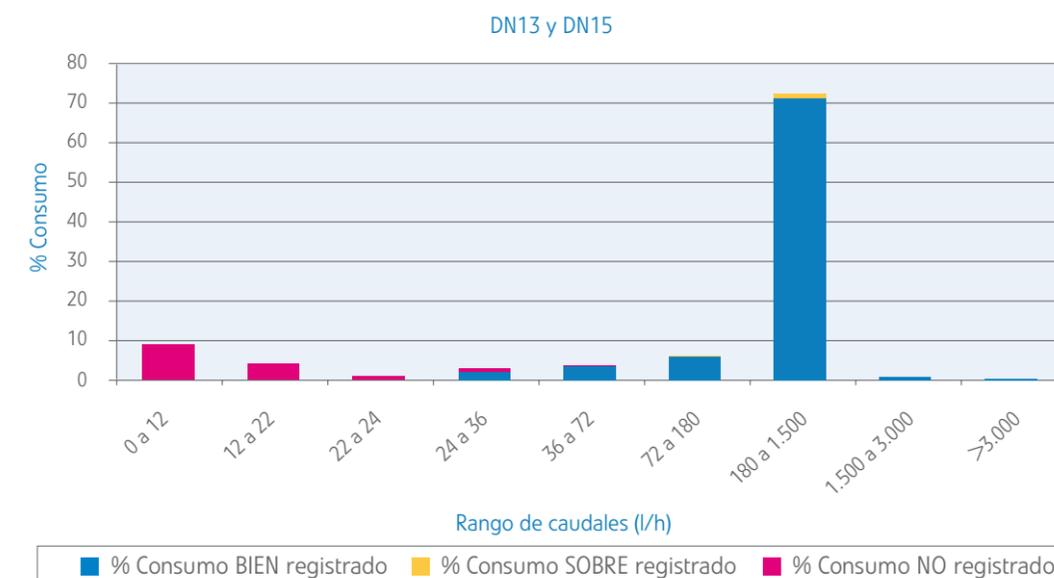
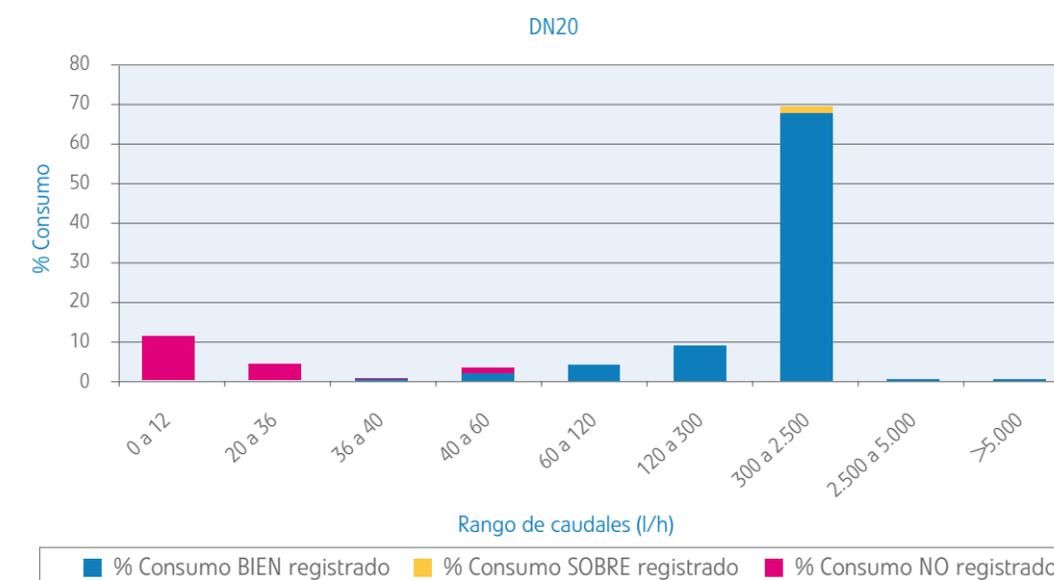
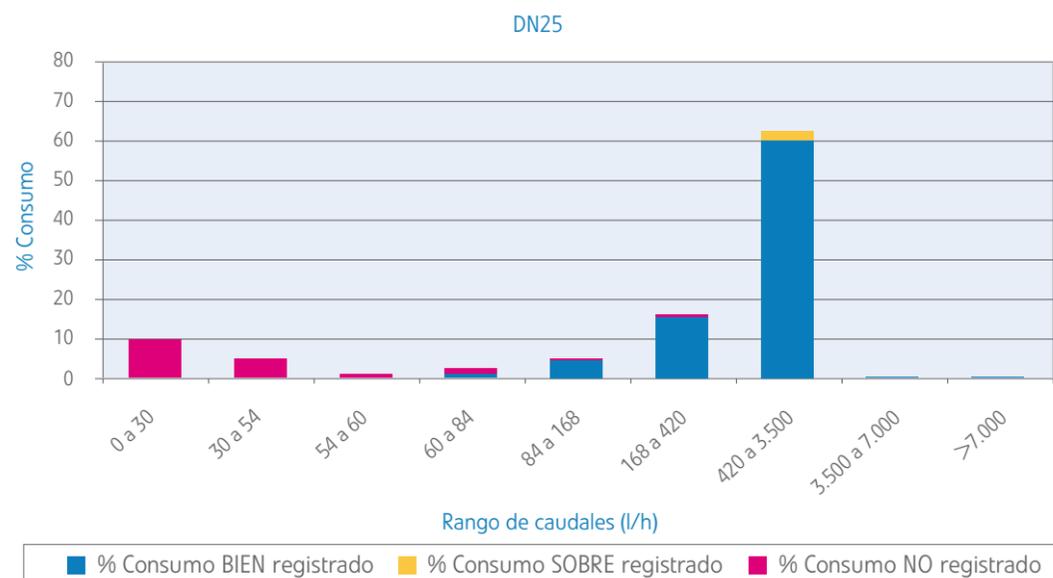


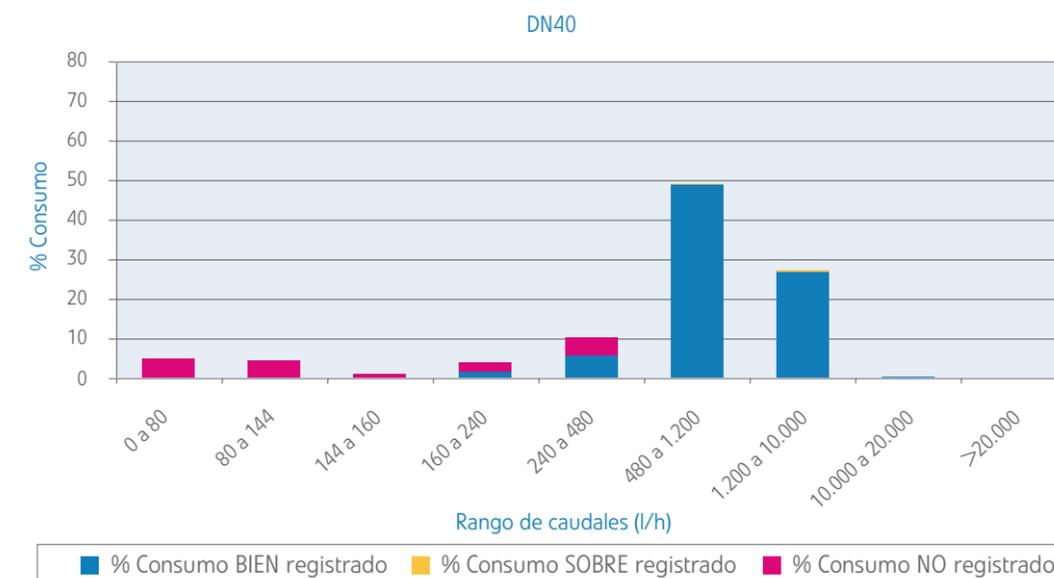
Figura 132. Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico



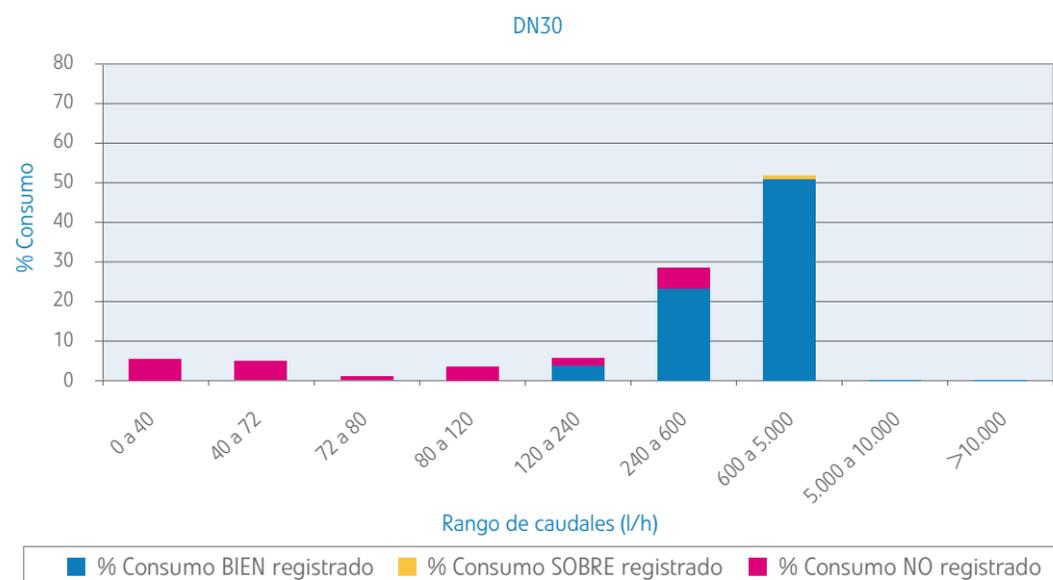
**Figura 133. Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico**



**Figura 135. Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico**



**Figura 134. Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico**



En todos los casos se observa que los valores de error, con signo negativo, son netamente superiores a los de signo positivo, por lo que el volumen registrado por los contadores de estos diámetros es inferior al realmente consumido. Por ejemplo, el segmento de contadores de DN 13 sólo registra 86,18 litros por cada 100 litros consumidos.

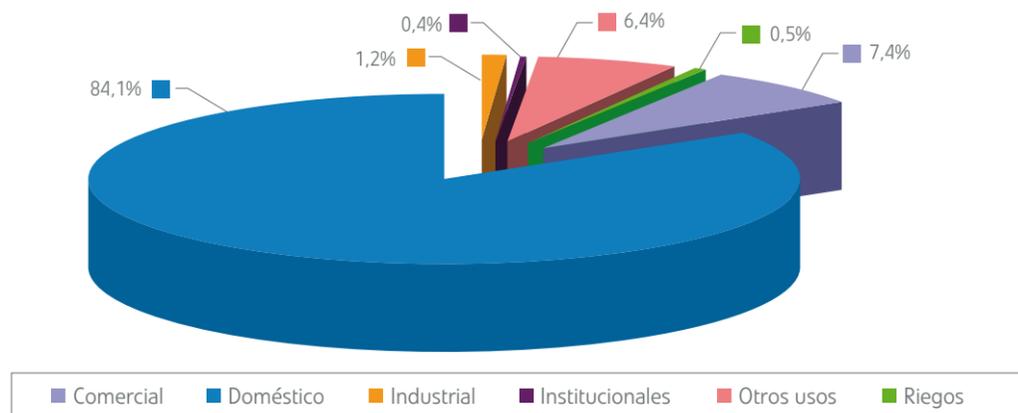
**Tabla 42. Volumen registrado en litros por contadores domésticos de 13 a 40 mm, por cada 100 litros circulados**

DN (mm)	Volumen registrado por el contador, por cada 100 litros circulados a través del mismo (litros)
13	86,12
15	84,94
20	84,02
25	84,25
30	85,09
40	86,58

En la tabla 42 se resumen los valores obtenidos para todos los diámetros.

Como se ha visto en los apartados anteriores, los contadores destinados al registro de consumos de tipo doméstico (incluyendo los contadores de diámetro nominal superior a DN40) suponen el grupo mayoritario en el total del parque. En 2006 representaron, en número, el 84 por ciento del total del parque (figura 136), y registraron el 70 por ciento del consumo (figura 137).

Figura 136. Distribución del número de contadores por tipo de uso en el año 2006



Dentro del total de contadores del parque que registran consumos de tipo doméstico, el grupo de estudio, formado por los contadores de 13 a 40 mm, supone el 99 por ciento del total de contadores (figura 138) y el 87 por ciento del consumo de dicho grupo (figura 139).

Figura 138. Distribución por diámetros del número de contadores de tipo doméstico en el año 2006

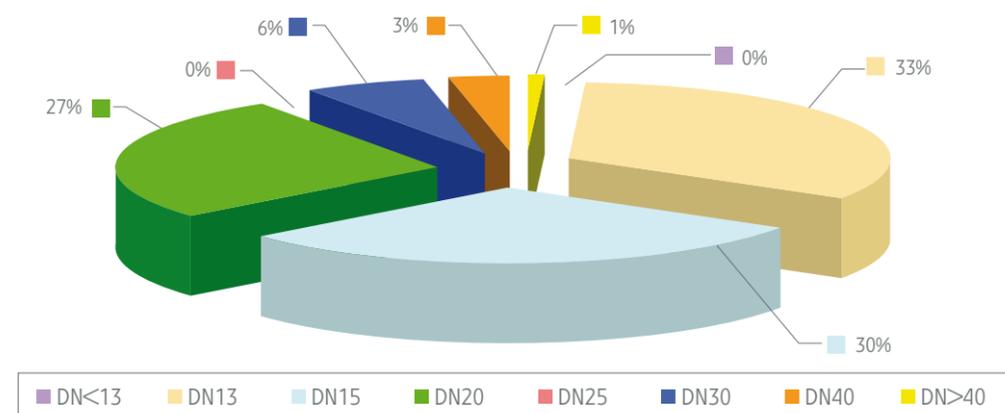


Figura 137. Distribución del consumo registrado para cada categoría de uso en el año 2006

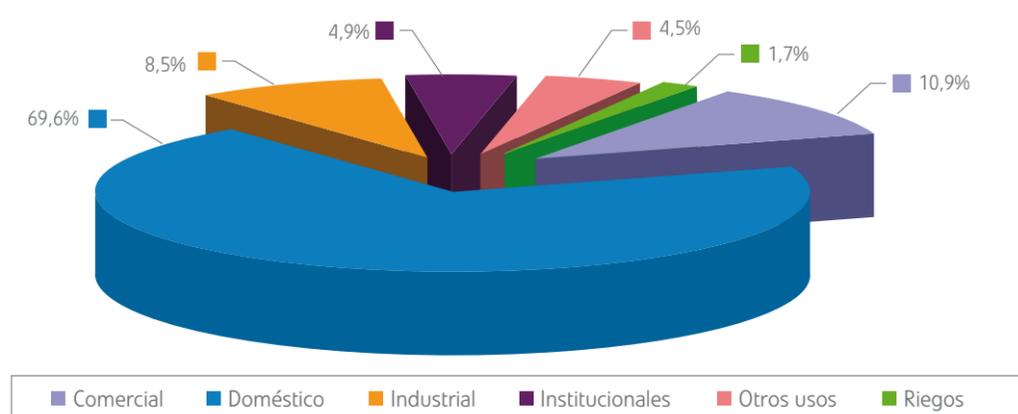
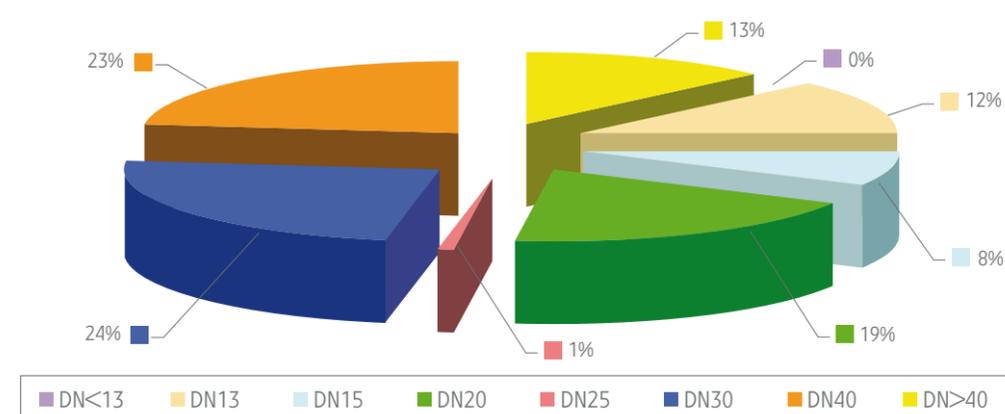


Figura 139. Distribución por diámetros del consumo de los contadores de tipo doméstico en el año 2006



Aunque los volúmenes anteriores se refieren al valor promedio de error global de la muestra, es importante destacar que el error global para cada diámetro está caracterizado por unos límites superior e inferior, y un valor central correspondiente a la mediana. La tabla 43 contiene un resumen de dichos valores.

**Tabla 43. Valores representativos del error global correspondientes a contadores domésticos de DN comprendidos entre 13 y 40, en 2006**

DN	Error global (promedio)	Error global (mediana)	Error global máximo	Error global mínimo
(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)
13	-13,88	-13,67	-25,30	-0,67
15	-15,06	-14,42	-24,87	-2,89
20	-15,98	-14,95	-27,45	-1,10
25	-15,75	-15,20	-23,87	-2,49
30	-14,78	-13,13	-37,89	-3,52
40	-13,42	-8,13	-33,03	0,00

Al realizar el análisis del volumen real circulado por el grupo de contadores destinados a registrar consumos de origen doméstico de diámetros comprendidos entre 13 y 40 mm se obtiene la cuantía del volumen no registrado o subcontaje, reflejada en la tabla 44 (empleando los datos de facturación de 2006 y el error global representado por la mediana).

**Tabla 44. Volumen no registrado por los contadores domésticos de DN comprendidos entre 13 y 40 mm en 2006**

DN	Error global (mediana)	Volumen registrado	Volumen real circulado	Volumen no registrado
(mm)	(%)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
13	-13,67	34.509.545	39.975.405	5.465.860
15	-14,42	24.650.527	28.804.105	4.153.578
20	-14,95	57.644.758	67.778.362	10.133.604
25	-15,20	2.922.219	3.446.059	523.840
30	-13,13	71.391.337	82.184.306	10.792.969
40	-8,13	67.724.495	73.716.088	5.991.593
		<b>258.842.881</b>	<b>295.904.325</b>	<b>37.061.444</b>

El error global de los contadores domésticos de DN13 a DN40 es, en porcentaje:

$$-37.061.444 \text{ m}^3 / 258.842.881 \text{ m}^3 \times 100 = -14,32\%$$

Dicho valor corresponde al volumen no registrado por este segmento del parque de contadores domésticos frente al volumen registrado por los mismos.

Al generalizar la valoración del volumen real circulado por todo el parque de contadores se obtiene la cuantía del volumen no registrado o subcontaje (empleando los datos de facturación de 2006 y el error global representado por la mediana de los datos), asumiendo lo siguiente:

- Por un lado, que el error global de los contadores de uso doméstico, de diámetros inferiores a DN13, es el mismo que el error global de los contadores de DN13 de la muestra
- Que el error global de los contadores de uso doméstico, de diámetros superiores a DN40, es el mismo que el error global de los contadores de DN40 de la muestra
- El error global de los contadores de uso comercial es equivalente, por diámetros, al error global de los contadores de uso doméstico
- El error global de los contadores de uso doméstico y comercial, de diámetros DN13, DN15 y DN20, depende también de su clase metrológica y de sus condiciones de instalación (divisionario o de otro tipo). El error global de cada una de las categorías así definidas, indicado en la tabla 45, corresponde a la mediana de los valores de error global de cada uno de los contadores que conforman dichas categorías
- El error global del grupo formado por el resto de contadores y usos no representados en la muestra, que suponen un 8,6 por ciento del parque, se ha calculado mediante una función lineal dependiente de la edad de los contadores, atendiendo a estimaciones bibliográficas

Este análisis se refleja con detalle en la tabla 45.

Tabla 45. Cálculo del error global del parque de contadores en 2006

DN (mm)	Clase metrológica	Condiciones de instalación	Uso	Error global (%)	Volumen registrado (m <sup>3</sup> )	Volumen real circulado (m <sup>3</sup> )	Volumen no registrado (m <sup>3</sup> )
< 13	B y C	Todas	Doméstico / Comercial	-13,67	317.660	367.973	50.313
13	B	Divisionario	Doméstico / Comercial	-13,75	15.555.533	18.035.255	2.479.722
13	C	Divisionario	Doméstico / Comercial	-12,32	1.269.235	1.447.656	178.421
13	B y C	No divisionario	Doméstico / Comercial	-13,48	24.649.923	28.491.259	3.841.336
15	B	Divisionario	Doméstico / Comercial	-15,02	17.008.075	20.013.942	3.005.867
15	C	Divisionario	Doméstico / Comercial	-12,33	7.228.301	8.244.616	1.016.315
15	B y C	No divisionario	Doméstico / Comercial	-16,31	1.662.894	1.986.874	323.980
20	B	Divisionario	Doméstico / Comercial	-14,11	4.833.652	5.627.421	793.769
20	C	Divisionario	Doméstico / Comercial	-6,88	2.525.161	2.711.859	186.698
20	B y C	No divisionario	Doméstico / Comercial	-16,62	60.434.192	72.482.827	12.048.635
25	B y C	Todas	Doméstico / Comercial	-15,20	3.331.859	3.929.132	597.273
30	B y C	Todas	Doméstico / Comercial	-13,13	79.080.842	91.036.313	11.955.471
40	B y C	Todas	Doméstico / Comercial	-8,13	78.081.153	84.989.001	6.907.848
> 40	B y C	Todas	Doméstico / Comercial	-8,13	47.914.225	52.153.202	4.238.977
Todos	B y C	Todas	Resto de usos	-3,00	83.343.928	85.920.143	2.576.215
					<b>427.236.633</b>	<b>477.437.473</b>	<b>50.200.840</b>

El volumen real circulado total adopta un valor de:

$$477.437.473 \text{ m}^3$$

Descontado de la cifra total del volumen no registrado los volúmenes registrados por diferencia entre los contadores generales y los contadores divisionarios (3.643.887 m<sup>3</sup>), se obtiene el valor del volumen no registrado total:

$$50.200.840 \text{ m}^3 - 3.643.887 \text{ m}^3 = 46.556.953 \text{ m}^3$$

Análogamente, se calcula de nuevo el error global:

$$-46.556.953 \text{ m}^3 / 427.236.633 \text{ m}^3 \times 100 = -10,90\%$$

El error global del parque de contadores representa un porcentaje de -10,90 por ciento del total medido.

Esta cifra expresa la valoración del consumo no registrado para el total del volumen consumido y medido por los clientes de Canal de Isabel II.

Este valor general de error global, referido al volumen total de agua derivada de embalses, que en 2006 fue de 553.232.463 m<sup>3</sup>, supondría: -8,42 por ciento.

# 16

Consideraciones sobre el  
dimensionado de contadores

## 16.1. Introducción

En este apartado se hace un repaso de los criterios empleados en la actualidad para el dimensionado de contadores, factor clave para una adecuada calidad de la medición.

Por regla general, en la bibliografía existente, para dimensionar un contador se parte de la estimación del caudal punta o caudal de trabajo habitual del contador a partir del caudal instalado en los aparatos o puntos de consumo de la derivación al abonado o de la acometida general en la que dicho contador esté instalado, teniendo en cuenta la simultaneidad de uso de los mismos. A partir del caudal punta, se establecen recomendaciones del tamaño idóneo del contador a instalar, basándose en que este caudal se encuentre dentro de los límites establecidos por su rango de medida, lo más cerca posible del caudal nominal o permanente del contador.

Los documentos que se van mencionar a continuación aportan métodos de estimación del caudal punta, pero el método idóneo para conocer con precisión los caudales que circulan por una conducción consiste en la monitorización de la misma, para obtener el perfil o patrón de consumo, que muestre el consumo a cada caudal.

Aunque es evidente que es necesario dimensionar adecuadamente todos los contadores pertenecientes a un parque, es en los contadores de mediano y gran calibre, donde las consecuencias de un incorrecto dimensionado son mayores, pues normalmente, estos aparatos son los encargados de registrar el mayor porcentaje de consumo.

## 16.2. Normativa y bibliografía de referencia relativas al dimensionado de contadores

La legislación existente a nivel nacional se expresa en los textos siguientes:

- Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del Boletín Oficial del Estado de 25 de enero de 2008: Documento Básico HS Salubridad; Sección HS 4 Suministro de agua.
- Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua (Orden del Ministerio de Industria, de 9 de diciembre de 1975: Boletín Oficial del Estado de 13 de enero de 1976 y correcciones en el Boletín Oficial del Estado de 12 de febrero de 1976): derogadas por el CTE, pero vigentes durante los doce meses posteriores a la entrada en vigor del mismo

Se dispone también de normativa local, que en la Comunidad Autónoma de Madrid es la siguiente:

- Normas para el Abastecimiento de Agua de Canal de Isabel II, aprobadas en 1991, y revisadas en 2004

En España existen también otras normativas de carácter local, como por ejemplo la del Gobierno de Canarias:

- Norma Canaria: ORDEN de 25 de mayo de 2007, sobre Instalaciones Interiores de Suministro de Agua y de evacuación de aguas en los edificios, comúnmente llamada I.T.A., (Instrucciones técnicas sobre el agua)

A continuación se realiza un análisis de cada una de las normativas mencionadas.

**Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua. Orden del Ministerio de Industria, de 9 de diciembre de 1975**

Aunque las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua están derogadas actualmente, la muestra representativa del parque de contadores estudiada en el proyecto de determinación de la curva de error se compone de contadores con fecha de instalación anterior a la fecha de pérdida de vigencia de dichas Normas. Por tanto, se considera que han sido de aplicación en el dimensionado de los contadores analizados, y se hace un pequeño repaso de las mismas.

Cada uno de los aparatos domésticos debe recibir, con independencia del estado de funcionamiento de los demás, unos caudales instantáneos mínimos para su utilización adecuada, según la tabla 46.

**Tabla 46. Caudales instantáneos mínimos en los aparatos domésticos según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua**

Aparato	Caudal instantáneo mínimo (l/s)
Lavabo	0,10
Bidé	0,10
Sanitario con depósito	0,10
Bañera	0,30
Ducha	0,20
Fregadero	0,20
Office	0,15
Lavadero	0,20
Máquina lavavajillas	0,20
Máquina lavadora de ropa	0,10

Dichas normas, están orientadas a instalaciones de suministro de agua a edificios de viviendas.

Se establecen criterios diferentes para el dimensionado del contador general y los contadores divisionarios.

El contador general mide la totalidad de los consumos producidos en el edificio.

Los contadores divisionarios miden los consumos particulares de cada propiedad. En general se instalarán sobre los sistemas en batería, salvo que existan razones que justifiquen una disposición distinta.

Los suministros se clasifican según el caudal instalado, siendo éste la suma de los caudales instantáneos mínimos correspondientes a todos los aparatos instalados en el local. Según la cuantía de dicho caudal instalado se distinguen los tipos de suministros relacionados en la tabla 47.

**Tabla 47. Clasificación de los suministros, en función del caudal instalado, según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua**

Suministro	Dotación	Caudal instalado (l/s)
Tipo A	Agua en cocina, lavadero y un sanitario	$Q < 0,6$
Tipo B	Agua en cocina, lavadero y cuarto de aseo	$0,6 \leq Q < 1$
Tipo C	Agua en cocina, lavadero y cuarto de baño completo	$1 \leq Q < 1,5$
Tipo D	Agua en cocina, office, lavadero, un cuarto de baño y otro de aseo	$1,5 \leq Q < 2$
Tipo E	Agua en cocina, office, lavadero, dos cuartos de baño y un aseo	$2 \leq Q < 3$

Se incluyen en la Norma, en forma de tablas, las dimensiones y características que, como mínimo, han de exigirse a las instalaciones interiores con suministro de contador. La norma especifica que estos datos son suficientes para la casi totalidad de los casos prácticos, siendo cualquier caso no incluido en ellos objeto de un estudio en particular por técnico competente.

Los diámetros que se indican son siempre interiores y se expresan en milímetros.

Todos los tubos de que consta la batería de contadores tendrán como mínimo el mismo diámetro que el tubo de alimentación. A partir de 18 contadores tendrán doble alimentación.

El diámetro de los contadores divisionarios y de sus llaves, según la altura respecto a la calzada, del techo del local que alimentan, se especifica en la tabla 48.

**Tabla 48. Diámetros de los contadores divisionarios y de sus llaves, en función de la altura respecto a la calzada del techo del local que alimentan, según Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua**

Suministro	Altura	Diámetro contador	Diámetro llaves asiento paralelo	Diámetro llaves asiento inclinado
	(metros)	(mm)	(mm)	(mm)
Tipo A	Menos de 15	10	20	10
	De 15 a 25	10	20	10
Tipo B	Menos de 15	10	20	10
	De 15 a 25	13	20	15
Tipo C	Menos de 15	13	20	15
	De 15 a 25	15	20	15
Tipo D	Menos de 15	15	20	15
	De 15 a 25	20	20	15
Tipo E	Menos de 15	15	30	15
	De 15 a 25	20	30	20

Se establece el diámetro del contador general y de su llave de salida, según el tipo de suministro y su número, en la tabla 49.

**Tabla 49. Diámetro del contador general y de su llave de salida, en función del tipo de suministro y su número, según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua**

Diámetro contador (mm)	Diámetro llaves asiento paralelo (mm)	Diámetro llaves asiento inclinado (mm)	Número máximo de suministros				
			Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E
13	20	15	3	2	1	-	-
15	25	15	7	5	4	2	1
20	30	20	15	10	8	5	4
25	40	25	25	17	15	9	8
30	40	30	40	25	17	13	11
40	50	40	90	70	62	38	32
50	60	50	150	110	90	65	60

Los fluxores requieren caudales comprendidos entre 1,25 y 2 l/s. Su aplicación en instalaciones domésticas requiere una atención especial, ya que, por ser dichos caudales muy superiores al de los restantes aparatos obligan a variar esencialmente las características de la instalación. En este caso, las instalaciones deben realizarse de acuerdo con el Título 4 de la Norma.

En la refrigeración o acondicionamiento de aire se requieren también caudales elevados y las instalaciones se ajustarán a lo establecido en el Título 3.1. de la Norma.

Documento Básico HS Salubridad; Sección HS 4 Suministro de agua, Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del Boletín Oficial del Estado de 25 de enero de 2008).

Esta normativa sustituye a las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua.

La diferencia fundamental respecto a las citadas Normas es que no incluye fórmulas o tablas de dimensionado.

Se especifica que las compañías suministradoras son las encargadas de facilitar los datos de caudal y presión para poder realizar el dimensionado de las instalaciones.

Las novedades fundamentales de esta normativa con respecto a las Normas Básicas son:

- Se tienen en cuenta los consumos de agua caliente sanitaria (conocido por las siglas ACS)
- Se especifica el caudal de un mayor número de aparatos
- Se elimina la clasificación de los suministros según el caudal instalado (A, B, C, D, E)
- Se simplifica el cálculo de los diámetros mínimos de tuberías
- Se exige un sistema de contabilización, tanto de agua fría como de agua caliente, para cada unidad de consumo individualizable

En cuanto a los criterios de especificación y dimensionado de los contadores, las principales novedades son las siguientes:

- No se obliga a instalación de baterías de contadores. Se admiten ambos esquemas de instalación: con contador general o con contadores aislados
- Los contadores divisionarios contarán con preinstalación adecuada para una conexión de envío de señales para lectura a distancia del contador. Antes de cada contador se dispondrá llave de corte, y después, una de retención y otra de corte
- El dimensionado se realizará por caudales y no por suministros
- El calibre nominal de los distintos tipos de contadores se adecuará, tanto en agua fría como caliente, a los caudales nominales y máximos de la instalación

Un aspecto muy importante a considerar es que no se aportan coeficientes de simultaneidad para el cálculo del caudal punta, lo que obliga a recurrir a bibliografía externa para su consideración. De esta manera, el dimensionado de los contadores queda expuesto a criterio del proyectista.

Se establecen unas condiciones mínimas de suministro para cada tipo de aparato, según la tabla 50.

Tabla 50. Caudal instantáneo mínimo por cada tipo de aparato, según el Código Técnico de la Edificación (CTE)

Tipo de Aparato	Caudal instantáneo mínimo			
	Agua fría		Agua caliente sanitaria (ACS)	
	(dm <sup>3</sup> /s)	(l/h)	(dm <sup>3</sup> /s)	(l/h)
Lavamanos	0,05	180	0,03	108
Lavabo	0,10	360	0,065	234
Ducha	0,20	720	0,10	360
Bañera de 1,40 m o más	0,30	1.080	0,20	720
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	720	0,15	540
Bidé	0,10	360	0,065	234
Inodoro con cisterna	0,10	360	--	--
Inodoro con fluxor	1,25	4.500	--	--
Urinaris con grifo temporizado	0,15	540	--	--
Urinario con cisterna (c/u)	0,04	144	--	--
Fregadero doméstico	0,20	720	0,10	360
Fregadero no doméstico	0,30	1.080	0,20	720
Lavavajillas doméstico	0,15	540	0,10	360
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	900	0,20	720
Lavadero	0,20	720	0,10	360
Lavadora doméstica	0,20	720	0,15	540
Lavadora industrial (8 Kg)	0,60	2.160	0,40	1.440
Grifo aislado	0,15	540	0,10	360
Grifo garaje	0,20	720	--	--
Vertedero	0,20	720	--	--

### Normas para el Abastecimiento de Agua. Canal de Isabel II. (Aprobadas en 1991, y revisadas en 2004).

Estas normas, cuya primera versión data de 1991, fueron redactadas de conformidad con el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento de Agua de 1974, con arreglo a la normativa técnica y marco legislativo vigentes en la fecha de su redacción. En 2004 fueron revisadas para la adaptación al nuevo marco legislativo.

En esa fecha aún no había visto la luz el Código Técnico de la Edificación, por lo que la legislación de referencia considerada en materia de dimensionado de acometidas consiste en las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua (Orden Ministerial de 9 de Diciembre de 1975).

Aún así, los criterios de dimensionamiento de acometidas (y contadores) especificados en las Normas de Abastecimiento de Agua suponen un avance, con respecto a los citados en las Normas Básicas para las Instalaciones de Suministro de agua, pues consideran Zonas de Abastecimiento en lugar de suministros tipo para viviendas, en las que se incluyen, además de los usos domésticos, otro tipo de usos como locales comerciales, hoteles, residencias, bares, hospitales, riego y acometidas para bocas de incendio. Además, no sólo se especifica el calibre del contador a instalar, sino la tecnología más adecuada (chorro múltiple o Woltmann). Se amplía la especificación hasta calibres de contador de 250 mm, mientras que en las Normas Básicas el diámetro de contador general máximo considerado era 50 mm (65 mm si la instalación interior contenía fluxores).

En las Normas de Abastecimiento de Agua se define como zona de abastecimiento al menor conjunto de puntos de consumo con origen común de suministro, como son una vivienda o un local comercial de una edificación, la habitación de un hotel o la cocina de un restaurante.

De acuerdo con sus características, las zonas se dividen en cuatro grandes grupos:

- Grupo 1 - Está formado por el conjunto de zonas cuyos puntos de consumo tienen un caudal discontinuo, entendiéndose por tal el que tiene una duración continuada no superior a una hora. Estas zonas estarán afectadas por un factor de simultaneidad entre ellas

$$Q_I = \frac{19+N}{10(N+1)} \sum n_i q_i$$

Siendo:

$N$ : Número de zonas abastecidas

$q_i$ : Caudal unitario de cada zona, obtenido de la tabla 51

$n_i$ : Número de zonas de caudal  $q_i$

Los riegos se computarán como una sola zona.

**Tabla 51. Caudales unitarios por zonas de abastecimiento (Tabla III-2 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II)**

Zonas	Caudal reducido	
	$q_i$ (l/s)	$q_i$ (l/h)
<b>VIVIENDAS</b>		
Vivienda tipo A (un sanitario)	0,354	1.274
Vivienda tipo B (un aseo)	0,450	1.620
Vivienda tipo C (un baño completo)	0,490	1.764
Vivienda tipo D (un baño y un aseo)	0,533	1.919
Vivienda tipo E (dos baños)	0,604	2.174
Vivienda tipo F (dos baños y aseo)	0,654	2.354
Vivienda tipo G (tres baños)	0,705	2.538
Vivienda tipo H (cuatro o más baños)	0,763	2.747
<b>ASEOS Y ZONAS PRIVADAS EN PEQUEÑOS ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES</b>		
Local comercial	0,250	900
<b>HOTELES, RESIDENCIAS, BARES, HOSPITALES, CONVENTOS, CUARTELES, OFICINAS</b>		
Habitación tipo A (un aseo)	0,250	900
Habitación tipo B (un baño completo)	0,375	1.350
Cocina tipo A (hasta 5 aparatos)	0,590	2.124
Cocina tipo B (media 10 aparatos)	0,950	3.420
Servicio de barra tipo A (media 5 aparatos)	0,435	1.566
Servicio de barra tipo B (media 10 aparatos)	0,700	2.520
Aseo público tipo A (hasta 8 aparatos)	0,505	1.818
Aseo público tipo B (entre 8 y 15 aparatos)	0,828	2.981
Aseo público tipo C (media 25 aparatos)	1,190	4.284
<b>RIEGOS</b>		
Hectárea de zona verde	0,600	2.160

- Grupo 2 - Se incluyen en este grupo las zonas cuyos puntos de consumo tienen un caudal continuo, es decir, de duración continuada superior a una hora, como los caudales para los procesos industriales, aire acondicionado y refrigeración. No estarán afectados por el factor de simultaneidad.

El caudal  $Q_2$  correspondiente a las zonas del Grupo 2 deberá ser aportado por el contratante del suministro de acuerdo con sus necesidades.

- Grupo 3 - Fluxores sin depósito. Estos aparatos se segregarán del resto, se les aplicará su propia simultaneidad y el caudal de cálculo obtenido se sumará al total como si fuera un caudal continuo.

El caudal  $Q_3$  correspondiente a los fluxores, sin depósito incorporado, se obtendrá de la fórmula:

$$Q_3 = 1,6 \cdot N \cdot K_f$$

Siendo:

$N$ : Número de fluxores

$K_f$ : Factor de simultaneidad entre ellos, obtenido de la tabla 52, en la que se diferencian los usos privados y públicos.

- Grupo 4 - Elementos de protección contra incendios.

Estos elementos se considerarán segregados del conjunto puesto que requieren una acometida exclusiva para ellos.

El caudal total de cálculo será:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Entrando con este valor se obtendrá, de la tabla 53, el diámetro de la toma y del contador, y el tipo de contador.

**Tabla 52. Factor de simultaneidad entre fluxores sin depósito incorporado.**  
(Tabla III-3 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II)

Número de fluxores	Factor de simultaneidad	
	Privado	Público
1	1,000	1,000
2	1,000	1,000
3	0,600	0,690
4	0,440	0,520
5	0,340	0,420
6	0,270	0,367
7	0,230	0,300
8	0,200	0,300
9	0,180	0,278
10	0,170	0,255
11	0,162	0,237
12	0,154	0,225
13	0,147	0,210
14	0,141	0,200
15	0,137	0,189
16	0,135	0,181
17	0,132	0,176
18	0,130	0,164
19	0,127	0,158
20	0,125	0,154
25	0,097	0,138
30	0,084	0,138
35	0,074	0,109
40	0,066	0,096
45	0,059	0,089
50	0,057	0,085

**Tabla 53. Dimensiones y características de las acometidas**  
(Tabla III-4 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II)

Caudal hasta	Caudal hasta	Diámetro acometida	Múltiple	Woltmann
(l/s)	(l/h)	(mm)	(mm)	(mm)
0,54	1.944	20	13	--
0,75	2.700	20	20	--
1,25	4.500	30	20	--
2,00	7.200	30	30	--
2,50	9.000	40	30	--
3,50	12.600	40	40	--
5,00	18.000	50	40	--
6,00	21.600	50	50	--
7,50	27.000	65	50	--
8,50	30.600	65	65	50
10,00	36.000	80	65	50
11,00	39.600	80	80	65
12,50	45.000	100	80	65
15,00	54.000	100	100	80
17,50	63.000	150	100	80
22,00	79.200	150	125	100
27,50	99.000	150	125	100
38,89	140.004	150	--	125
58,33	209.988	150	--	150
97,22	349.992	200	--	200
155,55	559.980	250	--	250

En el caso en que el conjunto abastecido disponga de un depósito regulador se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Se segregarán todos los fluxores del grupo 3 y se incluirán en el grupo 1 con el caudal reducido aplicando el factor de simultaneidad que figura en la tabla III-3, tratándose, en consecuencia como aparatos de caudal discontinuo
- En todos los casos, el caudal de cálculo obtenido se multiplicará por un factor corrector de 0,7 si existe grupo de elevación
- Si no existe grupo de elevación, el factor corrector será 0,9

La acometida contra incendios será independiente, y su diámetro dependerá del tipo y número de bocas de incendio equipadas (conocidas por sus siglas BIE) a instalar; tendrá la capacidad suficiente para alimentar simultáneamente, durante 20 minutos, la mitad de las bocas de incendio equipadas, incluyendo la de la posición más desfavorable y para todos los casos con un mínimo de dos y un máximo de cuatro bocas.

Los tipos de BIE recogidos en el reglamento de instalaciones de protección contra incendios son:

- BIE de 25 mm de diámetro.
- BIE de 45 mm de diámetro.

El diámetro de la acometida se obtendrá de la tabla 54.

Dispondrán de un contador Woltmann en paralelo o un contador diferencial.

**Tabla 54. Diámetro de la acometida contra incendios**  
(Tabla III-5 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II)

Número de elementos	BIE 25			BIE 45		
	Caudal (l/s)		Diámetro acometida (mm)	Caudal (l/s)		Diámetro acometida (mm)
	(l/s)	(l/h)		(l/s)	(l/h)	
2	3,0	10.800	40	4,0	14.400	50
3	4,5	16.200	50	6,0	21.600	50
4	6,0	21.600	50	8,0	28.800	65

El dimensionamiento de acometidas que se ha expuesto en la tabla anterior se refiere a acometidas de longitud no superior a 10 metros. Para longitudes mayores habrá que dimensionar la acometida con los caudales de cálculo obtenidos por el procedimiento propuesto considerando una pérdida de carga en el contador de hasta 0,75 MPa.

Los caudales ocasionales, como el utilizado para llenado de piscinas, no deberán tenerse en cuenta en el cálculo.

Para grandes edificaciones donde no exista una clara división en zonas se considerará la superficie dividida en zonas de 500 m<sup>2</sup> o fracción.

Como norma general se instalará contador Woltmann en los casos siguientes:

- Para caudales de cálculo elevados, superiores a 27 l/s
- Para caudales de cálculo altos, entre 8 y 27 l/s, cuando el consumo supere el 20 por ciento de estos caudales, de forma continuada, entendiéndose por tal período de tiempo aquel superior a tres horas
- Cuando el régimen de consumos no presente diferencias bruscas frecuentes
- Cuando el abastecimiento esté equipado con fluxores
- En los abastecimientos en los que se requiera aminorar la pérdida de carga del contador por tener muy ajustada la presión mínima, por ejemplo, el contador instalado en paralelo en las tomas contra incendios
- En los casos de duda, bien porque el origen del suministro se encuentre en el límite de las condiciones anteriormente expuestas, o porque no estén bien definidos los datos de partida

Actualmente, el cálculo del calibre al contratar un suministro gestionado por Canal de Isabel II se realiza mediante la aplicación informática GRECO, en la que se han implementado las mencionadas Normas para el Abastecimiento de Agua.

[Norma Canaria: Orden de 25 de mayo de 2007, sobre Instalaciones Interiores de Suministro de Agua y de evacuación de aguas en los edificios, comúnmente llamada I.T.A. \(Instrucciones técnicas sobre el agua\).](#)

Los antecedentes en la regulación del procedimiento administrativo para la tramitación de las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua en la Comunidad Autónoma de Canarias se remontan a la promulgación de la Orden de 12 de abril de 1996, de la Consejería de Industria y Comercio, por la que se establecen normas sobre documentación, tramitación y prescripciones técnicas de las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua, con las que, como aplicación específica en Canarias de los preceptos de las normas básicas para Instalaciones Interiores de Suministro de Agua, aprobadas por Orden del Ministerio de Industria de 9 de diciembre de 1975, se establecían criterios de aplicación de éstas y se dictaban normas administrativas para el trámite de las citadas instalaciones.

Los antecedentes de esta norma consisten en:

- Orden de 12 de abril de 1996; aplicación específica en Canarias de las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua (Orden del Ministerio de Industria, de 9 de diciembre de 1975). Esta norma ya indicaba criterios adicionales de cálculo y diseño, con respecto a las Normas Básicas
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), que sustituye a las Normas Básicas de 1975

En esta norma se especifica que las condiciones de diseño y dimensionado de las instalaciones de suministro de agua en los edificios responderán a lo establecido en el documento básico HS4 del Código Técnico de la Edificación, en particular al artículo 13.4, exigencia básica HS4: suministro de agua. Pero como condición específica de dimensionamiento, se definen una serie de fórmulas válidas para el cálculo, que complementan al Código Técnico.

En concreto, se define un coeficiente de simultaneidad “ $K_v$ ” de probabilidad de uso simultáneo de los distintos aparatos instalados en un mismo suministro (local o vivienda), especificando que éste supone una reducción del caudal instalado, y aportando una fórmula para su cálculo, así como para el cálculo del caudal máximo probable:

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = K_v \cdot Q_i$$

Siendo:

$n$ : número de aparatos instalados en el suministro

$Q_i$ : caudal instalado (dm<sup>3</sup>/s)

$Q_{m\acute{a}x}$ : caudal máximo probable (dm<sup>3</sup>/s)

El valor del caudal máximo probable,  $Q_{m\acute{a}x e}$ , expresado en dm<sup>3</sup>/s, en un grupo de  $N$  suministros, se define además en función de un coeficiente de simultaneidad entre suministros  $K_e$ :

$$Q_{m\acute{a}x e} = K_e \cdot N \cdot Q_{m\acute{a}x} = K_e \cdot K_v \cdot N \cdot Q_i$$

Siendo el coeficiente de simultaneidad entre suministros el expresado en la fórmula:

$$K_e = \frac{19+N}{10(N+1)}$$

Este último coeficiente es similar al empleado en las Normas de abastecimiento de Canal de Isabel II, en el cálculo del caudal de las zonas cuyos puntos de consumo tienen un caudal discontinuo.

### 16.3. Selección del caudal nominal del contador en función del consumo estimado

En el caso de la Comunidad de Madrid, la legislación vigente es el Código Técnico de la Edificación (CTE). La normativa local consiste en las Normas para el Abastecimiento de Agua de Canal de Isabel II.

El CTE establece los caudales instantáneos mínimos que requieren del posterior empleo de coeficientes de simultaneidad por aparatos y por zonas, no especificados en dicha norma.

En las Normas para el Abastecimiento de Agua de Canal de Isabel II no se contempla una clasificación de caudales instantáneos mínimos por aparatos sino por zonas de abastecimiento, con lo que no es necesario considerar el coeficiente de simultaneidad por aparatos. Se complementan con los coeficientes de simultaneidad por zonas necesarios, además de diversas restricciones adicionales para fluxores, riego, acometidas de agua para incendios, instalaciones con depósito de almacenamiento y con grupos de presión.

Estas normas son el documento de base para el dimensionamiento de contadores por la empresa en la actualidad, mediante una aplicación informática llamada GRECO.

### 16.4. Conclusiones sobre el dimensionado de contadores

Si el contador está sobredimensionado, y por tanto, trabaja a caudales excesivamente bajos, existirán errores de subcontaje, y consiguientes pérdidas económicas para la compañía que lo gestione.

En el caso de que el diámetro elegido sea inferior al idóneo (contador subdimensionado), el contador trabajará a caudales excesivamente elevados para su capacidad, por lo que su curva de error se deteriorará prematuramente, dando lugar a errores de medición importantes al poco tiempo de su instalación en la derivación o acometida, y a los inconvenientes y costes asociados de sustitución.

El procedimiento de dimensionamiento de contadores llevado a cabo por Canal de Isabel II se realiza mediante una tabla que especifica, en función del caudal total de cálculo, el calibre del contador a instalar. Aunque esta tabla es correcta, desde el punto de vista de la selección del contador adecuado para evitar un subdimensionamiento del mismo, no garantiza que se contabilicen completamente todos los consumos de cada acometida o zona.

Se ha observado, mediante los proyectos de monitorización de patrones de consumo de contadores domésticos, desarrollados por Canal de Isabel II (parte de cuyos resultados se describen en este mismo documento), que existe un porcentaje del consumo que se realiza a caudales muy bajos, los cuales no pueden ser contabilizados por el contador, o lo son en una mínima fracción, debido a que en ese rango de caudales el error del contador es muy elevado, y de carácter negativo (subcontaje).

Esos mismos patrones de consumo muestran, sin embargo, que el mayor porcentaje de consumo se concentra en el rango del caudal nominal del contador instalado (donde el error del contador es mínimo, por otra parte). De ello se deduce que el caudal punta de cálculo estimado en la selección del calibre tiene un valor cercano al caudal nominal del contador, siendo correcta dicha selección.

La legislación vigente, Código Técnico de la Edificación, establece que “el calibre nominal de los distintos tipos de contadores se adecuará, tanto en agua fría como caliente, a los caudales nominales y máximos de la instalación”.



El análisis de la periodicidad en el reemplazo de los contadores instalados por otros nuevos dependerá del coste de los mismos, de la estructura tarifaria, del consumo y de la influencia del deterioro en la precisión de la medida de los consumos.

En este apartado se realiza una valoración del deterioro, en función de diversas variables y de su influencia en la selección de clase metrológica y plazo de renovación.

Los parámetros empleados son:

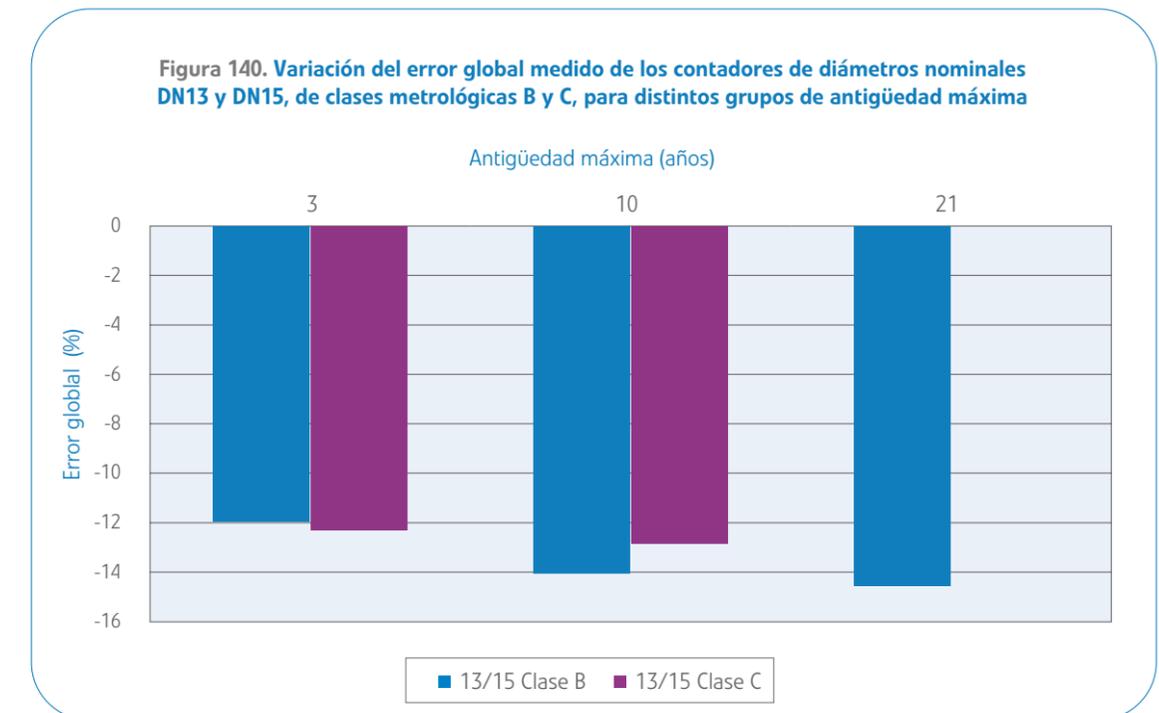
- Coste del contador: incluye precio de compra, coste de instalación y gastos administrativos, (se emplean valores actuales de mercado)
- Clase metrológica: se realiza una comparación entre clase B y clase C (matizando que en la muestra analizada esta última clase está representada por contadores de turbina axial)
- Error inicial: calculado para la categoría estudiada en el año "0", a partir de la tendencia de tipo lineal que representa la evolución del error global a lo largo del tiempo
- Ritmo de deterioro del error global: pendiente de la tendencia de tipo lineal que representa la evolución del error global a lo largo del tiempo
- Volumen promedio consumido: se utiliza el valor medio correspondiente a 2006 para cada categoría
- Tasa de actualización nominal: se emplea un valor del 5 por ciento (representa la rentabilidad de la inversión)
- Inflación: se estima en un 2 por ciento
- Tasa de actualización real: corresponde a la corrección de la tasa de actualización nominal con el valor de la inflación, obteniéndose un valor de 2,9 por ciento
- Precio de venta del agua: se estima en 1,07 euros por metro cúbico, correspondiente al precio medio del agua en 2006

Se han estudiado los siguientes tipos de contadores:

- DN13 y DN15, clase metrológica B
- DN13 y DN15, clase metrológica C
- DN20, clase metrológica B
- DN20, clase metrológica C
- DN25, clase metrológica B
- DN30, clase metrológica B
- DN40, clase metrológica B

A modo de resumen, se ilustra en la figura 140 la variación de los valores de error global medido de los contadores de diámetros nominales DN13 y DN15 de clases B y C, para los grupos de antigüedad máxima 3, 10 y 21 años de la muestra.

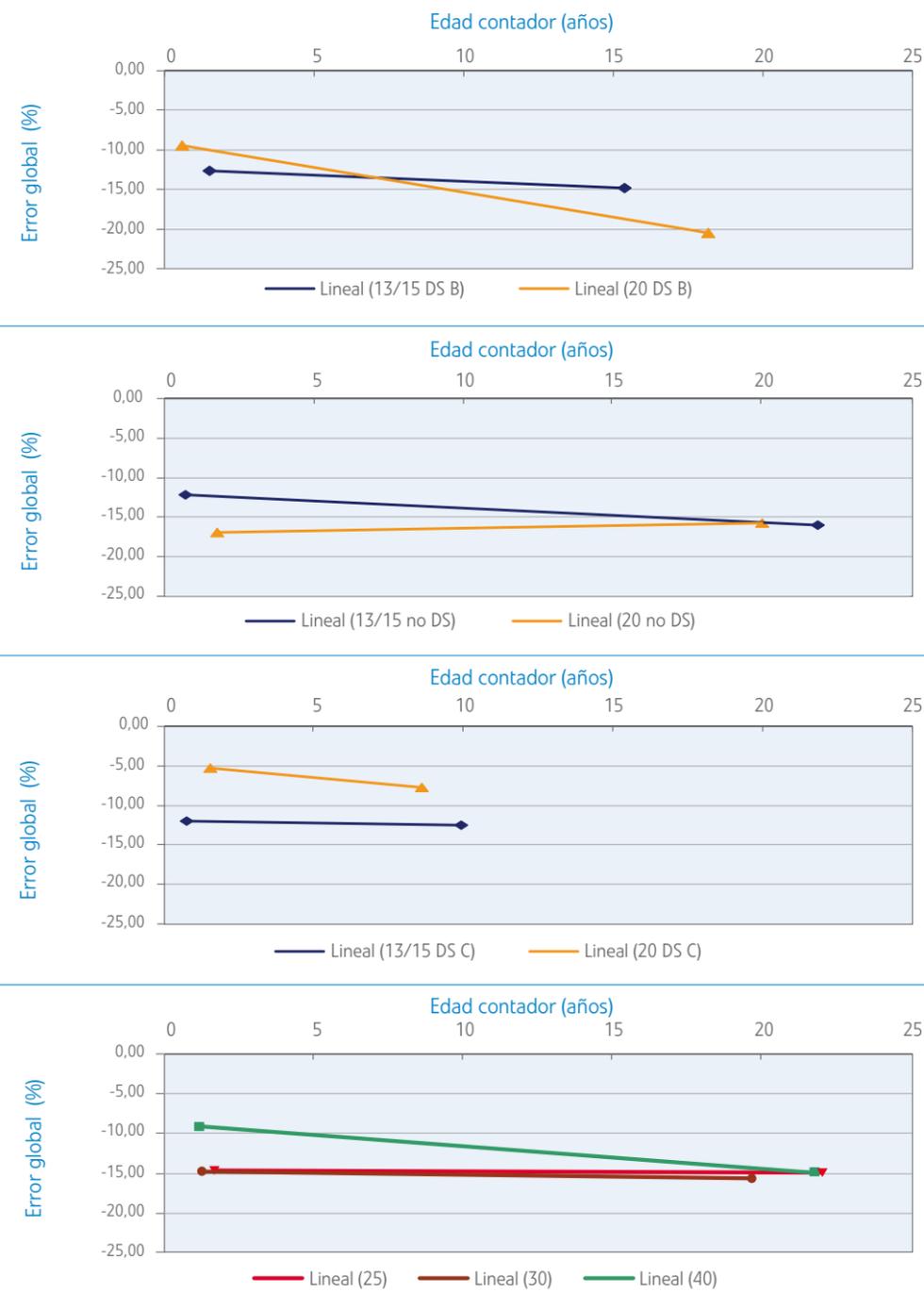
Es de destacar la escasa diferencia observada entre los errores globales de los contadores más nuevos de ambas clases (antigüedad máxima 3 años), y que, en contra de lo que cabía esperar, los contadores de clase C analizados (turbina axial) presentan un subcontaje similar a los de clase B, en este grupo de antigüedad. Sin embargo, la variación del error global con la antigüedad es más acusada en los contadores de clase B.



Al asimilar a tendencias de tipo lineal, la degradación del error global con el tiempo, para cada uno de los diámetros y clases estudiados (distinguiendo entre divisionarios y no divisionarios en los diámetros DN13/15 y DN20), se obtienen las funciones reflejadas en la figura 141.

A partir de dichas tendencias se han calculado el ritmo de deterioro esperado, en porcentaje (pendiente de las rectas) y el error global inicial de cada uno de los grupos (ordenada en el origen), componentes de la función de deterioro de los contadores con la edad. En la tabla 55 se resumen los resultados.

**Figura 141. Evolución del error global con la edad. Contadores domésticos de diámetros entre DN13/15 y DN40**



**Tabla 55. Componentes de la función de deterioro de los contadores domésticos con la edad**

Ritmo de deterioro esperado (%)			
DN	Tipo	Clase	Porcentaje
13/15	DS	B	-0,15
13/15	DS	C	-0,06
13/15	NO DS	B	-0,18
20	DS	B	-0,63
20	DS	C	-0,35
20	NO DS	B	0,06
25	NO DS	B	-0,01
30	NO DS	B	-0,05
40	NO DS	B	-0,29
Error Inicial (%)			
DN	Tipo	Clase	Porcentaje
13/15	DS	B	-12,49
13/15	DS	C	-11,92
13/15	NO DS	B	-12,03
20	DS	B	-9,07
20	DS	C	-4,69
20	NO DS	B	-16,94
25	NO DS	B	-14,69
30	NO DS	B	-14,69
40	NO DS	B	-8,78

La vida útil del contador se considera la que genera los mayores ingresos, es decir, el mayor valor del valor actual neto de la cadena de renovaciones del contador.

El resultado obtenido es el reflejado en la tabla 56.

**Tabla 56. Estimación de la vida útil de los contadores domésticos**

Vida útil (años)			
DN	Tipo	Clase	Años
13/15	DS	B	29
13/15	DS	C	más de 30
13/15	No DS	B	28
20	DS	B	10
20	DS	C	19
20	No DS	B	más de 30
25	No DS	B	más de 30
30	No DS	B	18
40	No DS	B	7

Como conclusiones hay que recordar:

- La vida útil de los contadores aumenta al mejorar su calidad metrológica, de acuerdo con el estudio comparativo entre los contadores de clase B y de clase C analizados
- Los contadores de clase C analizados son de turbina axial, por lo que las conclusiones obtenidas no tienen por qué ser aplicables a contadores de otras características constructivas
- Salvo señales de deterioro en la lectura o fallo de funcionamiento, los contadores de clase B deberían renovarse a partir de los 12 años hasta DN30, y a partir de 7 años los de DN40, mientras que los de clase C podrían mantenerse mucho más tiempo. La vida de la batería podría ser un factor mucho más limitante que la pérdida de precisión
- La influencia de la pérdida de precisión, como consecuencia de las condiciones de instalación y de los patrones de consumo en los caudales pequeños, pesa más que las pérdidas de contaje por el deterioro temporal, hasta alcanzar en muchos casos más de la mitad de la vida útil del contador

- La diferencia de coste entre los contadores de clase B y C no se justifica por la mejora de la precisión inicial, aunque en la diferencia de coste se incluyen componentes electrónicos, posibilidad de lectura a distancia y otras utilidades que no existen en los contadores analizados de clase B
- Estos cálculos de la frecuencia de renovación deben complementarse con una adecuada supervisión del parque, para detectar cuanto antes, eventuales comportamientos anómalos o paradas de los contadores



## ANEXO 1. Normas de consulta

### Código Técnico de la Edificación (CTE)

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del Boletín Oficial del Estado de 25 de enero de 2008: documento básico HS salubridad; sección HS 4 suministro de agua.

### Directiva europea 2004/22/CE

Parlamento Europeo y del Consejo de 31 de marzo de 2004 relativa a los instrumentos de medida (RD 889/2006 de 21 de julio), de obligado cumplimiento para los contadores de agua nuevos con marcado CE.

### Directiva europea 75/33 CEE

(OM 28/12/88), derogada parcialmente por 2004/22/CE, por la que se regulan los contadores de agua fría con marcado CEE.

### ISO/DIS 5168:2003

Measurement of fluid flow. Evaluation of Uncertainties.

### Norma Armonizada UNE-EN 14154:2005

### Normas Básicas para las instalaciones de agua

(Orden de 9 de diciembre de 1975).

### Normas para el Abastecimiento de Agua de Canal de Isabel II

Aprobadas en 1991 y revisadas en 2004.

### Recomendación OIML

R-49 2003. Water meters intended for the metering of cold potable water.

## ANEXO 2. Referencias bibliográficas

Documento de conclusiones de la reunión de debate sobre la metodología a emplear para evaluar la exactitud de la medida del parque de contadores de Canal de Isabel II (2005)

(Documento interno de Canal de Isabel II).

Francisco Arregui de la Cruz, Enrique Cabrera Cochera y Ricardo Cobacho Jordán (2006)

Gestión integral de contadores de agua.

Informe sobre los resultados del ensayo de contadores realizado en marzo de 2004 (2005)

(Documento interno de Canal de Isabel II).

Informe sobre los resultados de los ensayos realizados en campo para la determinación de la influencia de algunos factores en la precisión de la medida de los contadores de agua (2005)

(Documento interno de Canal de Isabel II).

Levine, David M. (2006)

Estadística para administración.

López Peláez, Manuel (1986)

Edades y errores de funcionamiento de los contadores de velocidad.

(Documento interno de Canal de Isabel II).

### ANEXO 3. Índice de figuras

- Figura 1. Curva de error genérica de un contador - pág.36
- Figura 2. Ejemplo de patrón de consumo de un usuario - pág.37
- Figura 3. Definición de clases metrológicas para contadores de  $Q_n=1.500l/h$ , Directiva 75/33/CEE - pág.42
- Figura 4. Representación comparativa de caudales de servicio. Antigua normativa (Directiva 75/33/CEE) y nueva normativa (Directiva 2004/22/CE) - pág. 43
- Figura 5. Cronograma de desarrollo del proyecto - pág. 47
- Figura 6. Distribución del parque de contadores de diámetro nominal inferior o igual a DN4, año 2006 - pág. 50
- Figura 7. Distribución del consumo por diámetro nominal desde DN13 a DN40, año 2006 - pág. 51
- Figura 8. Distribución del consumo para todos los diámetros del parque de contadores, año 2006 - pág. 51
- Figura 9. Equipo portátil de verificación en campo, de tamaño pequeño (configuración tipo "A") - pág. 65
- Figura 10. Equipo portátil de verificación en campo, de tamaño grande (configuración tipo "B") - pág. 65
- Figura 11. Software del equipo portátil de verificación en campo - pág. 67
- Figura 12. Verificación en Laboratorio de los equipos portátiles de verificación en campo - pág. 70
- Figura 13. Curvas de error de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1 - pág. 73
- Figura 14. Curvas de error de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2 - pág. 74
- Figura 15. Curvas de error de los equipos de verificación en campo grande - Banco 1 - pág. 75
- Figura 16. Curvas de error de los equipos de verificación en campo grande - Banco 2 - pág. 76
- Figura 17. Evolución de las curvas de error obtenidas en las verificaciones sucesivas en laboratorio, a lo largo de uno de los períodos de uso del equipo portátil de verificación en campo, número 1 - pág. 85
- Figura 18. Realización de un ensayo en campo - pág. 88
- Figura 19. Esquema de conexión del equipo a la instalación del usuario durante un ensayo en campo - pág. 88
- Figura 20. Ajuste del caudal durante la realización de un ensayo en campo - pág. 91
- Figura 21. Histograma de frecuencias de los valores de la presión del agua durante los ensayos en campo - pág. 93
- Figura 22. Histograma de frecuencias de los valores de la temperatura del agua durante los ensayos en campo - pág. 94
- Figura 23. Histograma de frecuencias de los valores de la temperatura exterior durante los ensayos en campo - pág. 95
- Figura 24. Evolución mensual del número de ensayos realizados - pág. 100
- Figura 25. Número de ensayos realizados por cada equipo de verificación en campo - pág. 101
- Figura 26. Evolución de la tasa semanal de ensayos realizados y fallidos - pág. 104
- Figura 27. Evolución mensual del número de verificaciones sucesivas en laboratorio - pág. 105
- Figura 28. Similitud entre curvas de error de contadores, antigüedad 6 años, clase B - pág. 106
- Figura 29. Similitud entre curvas de error de contadores, antigüedad 10 años, clase B - pág.107
- Figura 30. Similitud entre curvas de error de contadores, antigüedad 12 años, clase B - pág. 107
- Figura 31. Similitud entre curvas de error de contadores, antigüedad 1 año, clase B - pág. 108
- Figura 32. Diferencia entre curvas de error de contadores, antigüedad 8 años, clase B - pág. 109
- Figura 33. Diferencia entre curvas de error de contadores, antigüedad 12 años, clase B - pág. 109
- Figura 34. Diferencia entre curvas de error de contadores, antigüedad 20 años, clase B - pág. 110
- Figura 35. Diferencia entre curvas de error de contadores, antigüedad 6 años, clase B - pág. 110
- Figura 36. Diferencia entre curvas de error de contadores, antigüedad 2 años, clase B - pág. 111
- Figura 37. Tecnología de medida de los contadores de la muestra ensayada - pág. 115
- Figura 38. Clases metrológicas de los contadores de la muestra ensayada según la Directiva 75/33/CEE - pág. 115
- Figura 39. Distribución de contadores, por diámetros, en la muestra objetivo y en la muestra final ensayada - pág.116
- Figura 40. Distribución de contadores, por grupo de edad, en la muestra objetivo y en la muestra final ensayada - pág. 117
- Figura 41. Mapa de distribución geográfica de los ensayos en campo - pág. 120
- Figura 42. Comparación de la distribución de contadores por diámetro nominal, en cada una de las muestras - pág. 122
- Figura 43. Comparación de la distribución de contadores por marcas, en cada una de las muestras - pág. 123
- Figura 44. Comparación de la distribución de contadores por grupos de edad, en cada una de las muestras - pág. 124
- Figura 45. Comparación de la distribución de contadores por tipo de consumo, en cada una de las muestras - pág. 125
- Figura 46. Comparación de la distribución de contadores por tipo de emplazamiento, en cada una de las muestras - pág. 126
- Figura 47. Comparación de la distribución de contadores por ubicación geográfica, en cada una de las muestras - pág. 127
- Figura 48. Distribución del número de contadores por tipo de uso en el parque - pág. 128
- Figura 49. Distribución del número de contadores por tipo de uso en la muestra analizada - pág. 129
- Figura 50. Distribución del consumo correspondiente a cada uso en el parque 2006 - pág. 129
- Figura 51. Distribución porcentual por diámetro nominal del número de contadores de usos doméstico y comercial, parque 2006 y muestra analizada - pág. 131
- Figura 52. Contador único - pág. 131

- Figura 53.** Batería de contadores secundarios divisionarios y contador divisionario principal en armario - pág. 132
- Figura 54.** Contadores secundarios en armario distribuidor - pág. 133
- Figura 55.** Distribución de contadores por tipo de instalación - Parque 2006 - pág. 133
- Figura 56.** Distribución de contadores por tipo de instalación en la muestra analizada - pág. 134
- Figura 57.** Consumo registrado correspondiente a cada tipo de instalación, parque de contadores 2006 - pág. 134
- Figura 58.** Comparación entre el porcentaje de contadores divisionarios secundarios, únicos y divisionarios principales, por diámetros nominales, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 136
- Figura 59.** Distribución de los contadores del parque (2006) con respecto al origen del consumo (doméstico y comercial) y el tipo de instalación del contador - pág. 137
- Figura 60.** Distribución de los contadores de la muestra analizada con respecto al origen del consumo (doméstico y comercial) y el tipo de instalación del contador - pág. 138
- Figura 61.** Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN13 y DN15. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada - pág. 139
- Figura 62.** Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN20. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada - pág. 139
- Figura 63.** Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN25. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada - pág. 140
- Figura 64.** Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN30. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada - pág. 140
- Figura 65.** Comparación entre el porcentaje de contadores de uso doméstico, por tipo de instalación. DN40. Parque de contadores año 2006 y muestra analizada - pág. 141
- Figura 66.** Distribución porcentual del número de contadores de clase B y C en el parque de contadores (2006) y en la muestra analizada - pág. 142
- Figura 67.** Comparación entre la proporción de contadores de clase C, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 144
- Figura 68.** Comparación entre la proporción de contadores de clase B en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 144
- Figura 69.** Distribución porcentual del consumo registrado en contadores clases B y C, parque 2006 - pág. 145
- Figura 70.** Distribución porcentual del número de contadores de cada uso y clase metrológica en el parque de contadores en 2006 - pág. 146
- Figura 71.** Distribución porcentual del número de contadores de cada uso y clase metrológica en el parque de contadores en 2006 - pág. 147
- Figura 72.** Comparación entre la proporción de contadores destinados a uso doméstico o comercial, para cada una de las clases metrológicas, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 148
- Figura 73.** Comparación entre la proporción de contadores destinados a usos diferentes del doméstico o comercial, para cada una de las clases metrológicas, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 149
- Figura 74.** Distribución porcentual del consumo registrado en 2006 por los contadores de clase B, para cada uno de los usos, en el parque de contadores - pág. 150
- Figura 75.** Distribución porcentual del consumo registrado en 2006 por los contadores de clase C, para cada uno de los usos, en el parque de contadores - pág. 150
- Figura 76.** Distribución porcentual del número de contadores de cada tipo de instalación y clase metrológica en el parque de contadores en 2006 - pág. 151
- Figura 77.** Distribución porcentual del número de contadores de cada tipo de instalación y clase metrológica en la muestra analizada - pág. 152
- Figura 78.** Comparación entre la proporción de contadores divisionarios, para cada una de las clases metrológicas, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 153
- Figura 79.** Comparación entre la proporción de contadores de tipo único y clase B, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 154
- Figura 80.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por diámetro nominal - pág. 156
- Figura 81.** Comparativa entre el error promedio, a caudales bajos, en los contadores de diámetro nominal DN13 y DN15, para las clases metrológicas B y C - pág. 157
- Figura 82.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por grupo de edad, clase metrológica B - pág. 158
- Figura 83.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por grupo de edad, clase metrológica C - pág. 159
- Figura 84.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por tipo de consumo - pág. 160
- Figura 85.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por localización geográfica - pág. 161
- Figura 86.** Distribución del error promedio a los caudales de ensayo, por condiciones de instalación - pág. 162
- Figura 87.** Curvas de error de los contadores de diámetros nominales comprendidos entre DN13 y DN40 - pág. 163
- Figura 88.** Curvas de error de los contadores agrupados por grupos de edad - pág. 164
- Figura 89.** Curvas de error de los contadores agrupados por tipo de consumo - pág. 164
- Figura 90.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15 con antigüedad máxima de dos años y clases metrológicas B y C - pág. 165
- Figura 91.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales 13 y 15 de clases metrológicas B y C, para toda la muestra - pág. 165
- Figura 92.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN13, divisionario (DS) clases metrológicas B y C, y de tipo único (U) clase B - pág. 166

- Figura 93.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN15, divisionario (DS) clases metrológicas B y C, y de tipo único (U) clase B - pág. 167
- Figura 94.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN20, divisionario (DS) clases metrológicas B y C, de tipo único (U) clases B y C, y divisionario principal (DP) clase B - pág. 167
- Figura 95.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN25 y clase metrológica B, divisionario (DS), de tipo único (U) y secundario de distribuidor (SD) - pág. 168
- Figura 96.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN30 y clase metrológica B, divisionario (DS), de tipo único (U) y divisionario principal (DP) - pág. 168
- Figura 97.** Curvas de error de contadores de diámetros nominales DN40 y clase metrológica B, de tipo único (U) y divisionario principal (DP) - pág. 169
- Figura 98.** Evolución de la precisión de los contadores DN13 y DN15 clase metrológica B a diferentes caudales - pág. 170
- Figura 99.** Evolución de la precisión de los contadores DN13 y DN15 clase metrológica C a diferentes caudales - pág. 171
- Figura 100.** Evolución de la precisión de los contadores DN20 clase metrológica B a diferentes caudales - pág.172
- Figura 101.** Evolución de la precisión de los contadores DN20 clase metrológica C a diferentes caudales - pág.173
- Figura 102.** Evolución de la precisión de los contadores DN25 clase metrológica B a diferentes caudales - pág. 174
- Figura 103.** Evolución de la precisión de los contadores DN30 clase metrológica B a diferentes caudales - pág. 175
- Figura 104.** Evolución de la precisión de los contadores DN40 clase metrológica B a diferentes caudales - pág. 176
- Figura 105.** Evolución del error a diferentes diámetros y caudales con el volumen acumulado - pág. 177
- Figura 106.** Caudal de arranque promedio en función del diámetro nominal - pág. 178
- Figura 107.** Comparación entre caudal de arranque de contadores de 13, 15 y 20 mm, por clases metrológicas - pág. 179
- Figura 108.** Caudal de arranque promedio por grupos de antigüedad y clase metrológica - pág. 179
- Figura 109.** Caudal de arranque promedio por tipo de consumo - pág. 180
- Figura 110.** Caudal de arranque promedio por localización geográfica - pág. 180
- Figura 111.** Caudal de arranque promedio por tipo de instalación - pág. 181
- Figura 112.** Caudal de arranque en función de la altitud del municipio (municipios distintos de Madrid capital) - pág. 181
- Figura 113.** Evolución del caudal de arranque de los contadores a lo largo del tiempo - pág. 182
- Figura 114.** Caudal de arranque en relación con el error de los contadores de DN13 y DN15 a 30 l/h y a 60 l/h - pág. 183
- Figura 115.** Ubicación geográfica de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 187
- Figura 116.** Tipología de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 188
- Figura 117.** Tamaño de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 188
- Figura 118.** Número de habitaciones de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 189
- Figura 119.** Ocupación de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 189
- Figura 120.** Antigüedad de las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 190
- Figura 121.** Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos - pág. 193
- Figura 122.** Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, para uso doméstico - pág. 193
- Figura 123.** Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos - pág. 194
- Figura 124.** Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico - pág. 194
- Figura 125.** Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos - pág. 195
- Figura 126.** Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico - pág. 195
- Figura 127.** Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos - pág. 196
- Figura 128.** Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico - pág. 196
- Figura 129.** Patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico, expresado en porcentaje de volumen acumulado, con mayor detalle en el rango de los caudales bajos - pág. 197
- Figura 130.** Patrón de consumo simplificado de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico - pág. 197

- Figura 131.** Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, para uso doméstico - pág. 207
- Figura 132.** Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN20, para uso doméstico - pág. 207
- Figura 133.** Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN25, para uso doméstico - pág. 208
- Figura 134.** Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN30, para uso doméstico - pág. 208
- Figura 135.** Volúmenes de agua no registrados y sobre registrados en el patrón de consumo de usuarios de contadores de diámetro nominal DN40, para uso doméstico - pág. 209
- Figura 136.** Distribución del número de contadores por tipo de uso en el año 2006 - pág. 210
- Figura 137.** Distribución del consumo registrado para cada categoría de uso en el año 2006 - pág. 210
- Figura 138.** Distribución por diámetros del número de contadores de tipo doméstico en el año 2006 - pág. 211
- Figura 139.** Distribución por diámetros del consumo de los contadores de tipo doméstico en el año 2006 - pág. 211
- Figura 140.** Variación del error global medido de los contadores de diámetros nominales DN13 y DN15, de clases metrológicas B y C, para distintos grupos de antigüedad máxima - pág. 237
- Figura 141.** Evolución del error global con la edad. Contadores domésticos de diámetros entre DN13/15 y DN40 - pág. 238

## ANEXO 4. Índice de tablas

- Tabla 1.** Clasificación de los contadores de agua según la Directiva 75/33 CEE - pág. 41
- Tabla 2.** Comparación de caudales de servicio para la antigua normativa (Directiva 75/33/CEE) a nueva normativa (Directiva 2004/22/CE) - pág. 42
- Tabla 3.** Umbrales de consumo, para la estratificación de la muestra, por consumo bimestral registrado - pág. 57
- Tabla 4.** Marcas consideradas en la selección de la muestra - pág. 58
- Tabla 5.** Definición de la muestra de contadores a ensayar por marca y edad - pág. 59
- Tabla 6.** Ciclo de verificaciones empleado para los equipos de verificación en campo de tamaño pequeño o configuración "A" (numerados del 1 al 6) - pág. 71
- Tabla 7.** Ciclo de verificaciones empleado para los equipos de verificación en campo de tamaño grande o configuración "B" (numerados como 7 y 8) - pág. 71
- Tabla 8.** Error promedio de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1 - pág. 73
- Tabla 9.** Error promedio de los equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2 - pág. 74
- Tabla 10.** Error promedio de los equipos de verificación en campo grande - Banco 1 - pág. 75
- Tabla 11.** Error promedio de los equipos de verificación en campo grande - Banco 2 - pág. 76
- Tabla 12.** Incertidumbre expandida (%) calculada en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1 - pág. 80
- Tabla 13.** Incertidumbre expandida (%) calculada en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2 - pág. 80
- Tabla 14.** Incertidumbre expandida (%) calculada en equipos de verificación en campo grande - Banco 1 - pág. 80
- Tabla 15.** Incertidumbre expandida (%) calculada en equipos de verificación en campo grande - Banco 2 - pág. 81
- Tabla 16.** Incertidumbre (%) evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 1 - pág. 82
- Tabla 17.** Incertidumbre (%) evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo pequeño - Banco 2 - pág. 82
- Tabla 18.** Incertidumbre (%) evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo grande - Banco 1 - pág. 83
- Tabla 19.** Incertidumbre (%) evaluada por método estadístico en equipos de verificación en campo grande - Banco 2 - pág. 83
- Tabla 20.** Volúmenes de ensayo - pág. 90
- Tabla 21.** Tiempos de ensayo - pág. 90

- Tabla 22.** Intervalo de caudal admisible para cada ensayo en campo - pág. 91
- Tabla 23.** Indicadores de seguimiento - pág. 102
- Tabla 24.** Motivos de ensayos en campo fallidos - pág. 103
- Tabla 25.** Muestra final de contadores ensayados por marca y edad - pág. 118
- Tabla 26.** Distribución geográfica de los ensayos en campo por municipios - pág.119
- Tabla 27.** Porcentaje de outliers encontrados en la muestra - pág. 121
- Tabla 28.** Clasificación del número de contadores por usos en el parque y en la muestra analizada - pág. 130
- Tabla 29.** Clasificación de contadores por tipo de instalación, en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 135
- Tabla 30.** Clasificación del número de contadores por clase metrológica en el parque (2006) y en la muestra analizada - pág. 143
- Tabla 31.** Porcentaje de cuartos de baño y aseos en las viviendas de la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 190
- Tabla 32.** Porcentaje de viviendas con terraza y/o jardín en la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 191
- Tabla 33.** Porcentaje de viviendas con piscina, y volumen de la misma, en la muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 191
- Tabla 34.** Dotaciones por vivienda. Muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 191
- Tabla 35.** Dotaciones por habitante. Muestra empleada para la determinación de los patrones de consumo doméstico - pág. 191
- Tabla36.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 13 mm - pág. 201
- Tabla 37.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 15 mm - pág. 202
- Tabla 38.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 20 mm - pág. 203
- Tabla 39.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 25 mm - pág. 204
- Tabla 40.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 30 mm - pág. 205
- Tabla41.** Cálculo del error global promedio de los contadores de uso doméstico de 40 mm - pág. 206
- Tabla 42.** Volumen registrado en litros por los contadores domésticos de 13 a 40 mm, por cada 100 litros circulados - pág. 209
- Tabla 43.** Valores representativos del error global, correspondientes a contadores domésticos de DN comprendidos entre 13 y 40, en 2006 - pág. 212
- Tabla 44.** Volumen no registrado por los contadores domésticos de DN comprendidos entre 13 y 40 mm, en 2006 - pág. 212
- Tabla 45.** Cálculo del error global del parque de contadores en 2006 - pág. 214
- Tabla 46.** Caudales instantáneos mínimos en los aparatos domésticos según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua - pág. 219
- Tabla 47.** Clasificación de los suministros en función del caudal instalado, según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua - pág. 220
- Tabla 48.** Diámetros de los contadores divisionarios y de sus llaves, en función de la altura respecto a la calzada del techo del local que alimentan, según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua - pág. 221
- Tabla 49.** Diámetro del contador general y de su llave de salida, en función del tipo de suministro y su número, según las Normas Básicas para las Instalaciones Interiores de Suministro de Agua - pág. 221
- Tabla 50.** Caudal instantáneo mínimo por cada tipo de aparato, según el Código Técnico de la Edificación (CTE) - pág. 223
- Tabla 51.** Caudales unitarios por zonas de abastecimiento (Tabla III-2 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II) - pág. 225
- Tabla 52.** Factor de simultaneidad entre fluxores sin depósito incorporado (Tabla III-3 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II) - pág. 227
- Tabla 53.** Dimensiones y características de las acometidas (Tabla III-4 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II) - pág. 228
- Tabla 54.** Diámetro de la acometida contra incendios (Tabla III-5 de Normas para el Abastecimiento de Agua, Canal de Isabel II) - pág. 229
- Tabla 55.** Componentes de la función de deterioro de los contadores domésticos con la edad - pág. 239
- Tabla 56.** Estimación de la vida útil de los contadores domésticos - pág. 240

Canal de  Isabel II

Canal de  Isabel II

[www.cyii.es](http://www.cyii.es)

Canal de Isabel II  
Santa Engracia, 125. 28003 Madrid