



EVALUACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE MEDICIÓN DE CONTADORES DOMÉSTICOS NUEVOS

INTENSIFICACIÓN: HIDRÁULICA URBANA

Autor:

MANUEL COLADO DOMÍNGUEZ

Directores:

FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ

JAVIER SORIANO OLIVARES

VALENCIA, 4 DE SEPTIEMBRE DE 2012



Título del Trabajo Fin de Máster:
**EVALUACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE MEDICIÓN DE
CONTADORES DOMÉSTICOS NUEVOS**

Autor: **COLADO DOMÍNGUEZ, MANUEL**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	F. ARREGUI DE LA CRUZ	Fecha de Lectura	SEPTIEMBRE, 2012
Codirector1	JAVIER SORIANO OLIVARES		
Codirector2			
Tutor			

Resumen:

La empresa de abastecimiento puede confiar en los procedimientos de control de calidad utilizados por el fabricante y aceptar sus partidas de contadores sin ningún ensayo adicional de sus características metroológicas. Sin embargo, la experiencia muestra que las partidas a menudo contienen unidades defectuosas, y que su porcentaje varía significativamente de un suministrador a otro. Por ello, no resulta recomendable adoptar esta estrategia pasiva que, además, tampoco incentiva al proveedor a mantener unos mínimos de calidad

El objetivo principal de este trabajo es establecer un control de calidad a la recepción en contadores nuevos debido a la gran diversidad de modelos en el mercado, inclusive dentro de un mismo fabricante, lo que hace que sea más complicado el análisis del rendimiento real de los contadores al haber simultáneamente muchas variables relacionadas entre sí.

A esto se le añade la falta de estudios y datos en este ámbito. Algunas empresas del sector tienen sus propias políticas de inspección, cuyos procedimientos y resultados rara vez se publican, y de serlo se hace de manera resumida, en cuanto a metodología y datos aportados, tendiendo a ensalzar la buena gestión o proceso de fabricación mediante datos predeterminados.

Ante esta falla en el control de calidad, se propone la evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos a partir de tres estudios, centrándose cada uno de ellos en diferentes aspectos de la metrología del contador y cuyo resultado es la propuesta de estandarización de los ensayos a la recepción.

Mediante el primer estudio se evalúan 10 modelos de contadores con el fin de conocer la fiabilidad de los fabricantes. Para ello se plantea un análisis de variabilidad, cuyos resultados se representan a través de gráficos de dispersión.

En el estudio segundo se examina la calidad de las diferentes partidas de contadores a través de sus curvas de error (dispersión-concentración de las 30 curvas entre las bandas de error). También se comprueba el comportamiento de 5 modelos a un amplio rango de caudales con el fin de comprender su funcionamiento a caudales bajos, ya que esta es la zona más sensible a los errores de medición y problemática de cara a determinar el consumo real del usuario. Por último, a partir de la investigación y el análisis del error medio ponderado cuantificamos el número de ensayos para controlar de forma óptima la calidad de las partidas.

El tercer estudio se focaliza en la estandarización del cálculo del error de medición, a partir de la propuesta de un patrón de consumo y de los caudales de ensayo para la totalidad de los contadores domésticos. La estandarización se basa en el punto del estudio anterior donde se justifica la elección de un número determinado de caudales de ensayo.

Dentro del procedimiento de calidad a la recepción se hallan factores que alteran el error de medición de un contador. Principalmente, los relacionados con el proceso de fabricación, vistos en los anteriores estudios, y los concernientes al embalaje y manipulación (durante el transporte). Esta sección revela el estado en el que se ha recibido cada modelo de contador y las posibles medidas correctoras a aplicar a fin de disminuir los riesgos que incrementen la aparición del error. Adicionalmente al final del estudio se listan los aportes y las futuras líneas de investigación consideradas por el autor.

Abstract:

The utility can rely on the quality control procedures used by the manufacturer and accept their counter items without any additional testing of its metrological characteristics. However, experience shows that items often contain defective, and that the percentage varies significantly from one supplier to another. Thus, it is not advisable to adopt this passive strategy also encourages the supplier to either maintain minimum quality

The main objective of this work is to establish a quality control to new reception counters due to the wide variety of models on the market, even within the same manufacturer, which makes it more complicated analysis of actual performance counters simultaneously having many interrelated variables.

To this is added the lack of studies and data in this area. Some companies have their own inspection policies, the procedures and results are rarely published, and if so in summary is, in terms of methodology and data provided, tending to exalt the good management or manufacturing process using default data

Given this failure in quality control, we propose the global error evaluation of new domestic meters measuring from three studies, each focusing on different aspects of metrology counter and the result is the proposal of standardization receipt trials

By the first study evaluated 10 models counters to know the reliability of the manufacturers. This poses a variability analysis, whose results are represented by scatter plots

In the second study examines the quality of different batches of accountants through their error curves (dispersion-concentration of the 30 curves between error bands). Behavior is also found in 5 models to a wide range of flow in order to understand its operation at low flow rates, as this is the most sensitive to measurement errors and problems in order to determine the user's actual consumption. Finally, from research and analysis quantified the error weighted average the number of trials to optimally control the quality of the items

The third study focuses on the standardization of the measurement error calculation, based on a proposed consumption pattern and test flows for all the domestic meters. The standardization relies on the previous survey point where the choice of a number of test volumes justifies.

Within the process of receiving quality are factors that alter the measurement error of a meter. Mainly, those related to the manufacturing process, as seen in previous studies, and those concerning the packaging and handling (during transport). This section shows the state in which each model has received counter and possible corrective measures applying to decrease the risks that increase the occurrence of the error. Additionally at the end of the study lists the input and future research considered by the author.

Resum:

L'empresa de proveïment pot confiar en els procediments de control de qualitat utilitzats pel fabricant i acceptar les seves partides de comptadors sense cap assaig addicional de les seves característiques metrològiques. No obstant això, l'experiència mostra que les partides sovint contenen unitats defectuoses, i que el seu percentatge varia significativament d'un subministrador a un altre. Per això, no resulta recomanable adoptar aquesta estratègia passiva que, a més, tampoc incentiva al proveïdor a mantenir uns mínims de qualitat

L'objectiu principal d'aquest treball és establir un control de qualitat a la recepció en comptadors nous a causa de la gran diversitat de models en el mercat, inclusivament dintre d'un mateix fabricant, el que fa que sigui més complicat l'anàlisi del rendiment real dels comptadors a l'haver simultàniament moltes variables relacionades entre si.

A això se li afegix la falta d'estudis i dades en aquest àmbit. Algunes empreses del sector tenen les seves pròpies polítiques d'inspecció, els procediments de la qual i resultats rars vegades es publiquen, i de ser-lo es fa de manera resumida, quant a metodologia i dades aportades, tendint a enaltir la bona gestió o procés de fabricació mitjançant dades predeterminades.

Davant aquesta falla en el control de qualitat, es proposa l'avaluació de l'error global de mesurament de comptadors domèstics nous a partir de tres estudis, centrant-se cadascun d'ells en diferents aspectes de la *metrologia del comptador i el resultat del qual és la proposta d'estandardització dels assajos a la recepció

Mitjançant el primer estudi s'avaluen 10 models de comptadors amb la finalitat de conèixer la fiabilitat dels fabricants. Per a això es planteja una anàlisi de variabilitat, els resultats de la qual es representen a través de gràfics de dispersió.

En l'estudi segon s'examina la qualitat de les diferents partides de comptadors a través de les seves corbes d'error (dispersió-concentració de les 30 corbes entre les bandes d'error). També es comprova el comportament de 5 models a un ampli rang de cabals amb la finalitat de comprendre el seu funcionament a cabals baixos, ja que aquesta és la zona més sensible als errors de mesurament i problemàtica de cara a determinar el consum real del *usuari. Per últim, a partir de la investigació i l'anàlisi de l'error mig ponderat quantifiquem el nombre d'assajos per a controlar de forma òptima la qualitat de les partides.

El tercer estudi es focalitza en l'estandardització del càlcul de l'error de mesurament, a partir de la proposta d'un patró de consum i dels cabals d'assaig per a la totalitat dels comptadors domèstics. L'estandardització es basa en el punt de l'estudi anterior on es justifica l'elecció d'un nombre determinat de cabals d'assaig.

Dins del procediment de qualitat a la recepció es troben factors que alteren l'error de mesurament d'un comptador. Principalment, els relacionats amb el procés de fabricació, vistos en els anteriors estudis, i els concernents a l'embalatge i manipulació (durant el transport). Aquesta secció revela l'estat en el qual s'ha rebut cada model de comptador i les possibles mesures correctores a aplicar a fi de disminuir els riscos que incrementin l'aparició de l'error. Addicionalment al final de l'estudi es llisten els aportis i les futures línies d'investigació considerades per l'autor.

Palabras clave: Control de calidad a la recepción/ Cálculo del error de medición/ Error global/ Curvas de Error/ Error medio ponderado/ Fiabilidad del proceso de fabricación/ WOLTMANN.

Key words: Quality control at the reception / measurement error calculation / Global Error / Error Curves / Error weighted average / reliability of the manufacturing process / WOLTMANN.

Paraules Claus: Control de qualitat a la recepció/ Càlcul de l'error de mesurament/ Error global/ Corbes d'Error/ Error mig ponderat/ Fiabilitat del procés de fabricació// WOLTMANN.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MARCO DEL TRABAJO.....	2
1.1.1	IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD A LA RECEPCIÓN.....	3
1.2	ANTECEDENTES.....	4
1.2.1	NORMATIVA.....	8
1.3	OBJETIVOS.....	9
1.4	ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	10
2	METROLOGÍA, NORMATIVA Y LEGISLACIÓN.....	13
2.1	INTRODUCCIÓN.....	14
2.2	PARÁMETROS METROLÓGICOS.....	14
2.3	NORMATIVA.....	18
2.3.1	NORMATIVA ISO.....	18
2.3.2	NORMATIVA CEN.....	26
2.4	LEGISLACIÓN.....	27
3	DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS.....	29
3.1	INTRODUCCIÓN.....	30
3.2	CÁLCULO DEL ERROR DE MEDICIÓN.....	31
3.2.1	INTRODUCCIÓN.....	31
3.2.2	DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE CONSUMO.....	32
3.2.3	DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE ERROR.....	33
3.3	SERIE DE CONTADORES RECIBIDOS.....	38
3.4	PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO.....	39
3.4.1	INTRODUCCIÓN.....	39
3.4.2	DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE ENSAYO.....	39
3.4.3	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO EN LABORATORIO.....	42
3.5	ESTUDIOS.....	45
3.5.1	INTRODUCCIÓN.....	45
3.5.2	ESTUDIO DE FIABILIDAD DE LOS 10 MODELOS DE CONTADORES NUEVOS (ESTUDIO I).....	46

3.5.3	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS CURVAS DE ERROR, CALIDAD DE LAS PARTIDAS Y JUSTIFICACIÓN DEL MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES A ENSAYAR (ESTUDIO II)	47
3.5.4	PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DEL ERROR DE MEDICIÓN (ESTUDIO III).....	50
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO I	54
4.2	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO II.....	59
4.2.1	ANÁLISIS DE CURVAS DE ERROR.....	59
4.2.2	ANÁLISIS DE LOS ERRORES GLOBALES	75
4.2.3	JUSTIFICACIÓN DEL NÚMERO DE CAUDALES DE ENSAYOS NECESARIOS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LAS PARTIDAS A PARTIR DEL ESTUDIO DEL ERROR MEDIO PONDERADO	77
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO III	79
4.4	PROCEDIMIENTO DE CALIDAD A LA RECEPCIÓN.....	80
4.4.1	INTRODUCCIÓN	80
4.4.2	ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS	81
4.4.3	CONCLUSIONES.....	88
5	CONCLUSIONES	91
5.1	CONCLUSIONES	92
5.2	APORTES DEL TRABAJO	95
5.3	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	96
6	REFERENCIAS.....	97
6.1	REFERENCIAS.....	98
6.1.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
6.1.2	REFERENCIAS LEGISLATIVAS	99
ANEXO I.....		101
ANEXO II.....		107
ANEXO III		113

Índice de figuras

FIGURA 1. CURVA DE DE ERROR DE UN CONTADOR DE AGUA	15
FIGURA 2. ERRORES MÁXIMOS PERMITIDOS EN UN CONTADOR DE AGUA.....	17
FIGURA 3. CLASES METROLÓGICAS PARA CONTADORES CON Q_p 1.5M ³ /H.....	21
FIGURA 4. LIMITES DE ERROR CONTADOR DOMÉSTICO CON Q_3 2.5M ³ /H.....	23
FIGURA 5. DEGRADACIÓN DE LA CURVA DE ERROR	34
FIGURA 6. CURVA DE ERROR RECONSTRUIDA DISPONIENDO DEL CAUDAL DE ARRANQUE Y REALIZANDO UNA INTERPOLACIÓN LINEAL	35
FIGURA 7. RECONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE ERROR A PARTIR DE LOS DATOS DEL ERROR A 30, 120 Y 1500 L/H.	37
FIGURA 8. BANCO DE ENSAYOS DE CONTADORES DE AGUA	40
FIGURA 9. CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS, VÁLVULAS DE REGULACIÓN Y CRONÓMETRO.....	41
FIGURA 10. FALTA DE SINCRONIZACIÓN ENTRE LOS RODILLOS Y LAS SAETAS DEL CONTADOR.....	44
FIGURA 11. ECUACIONES EN EL CÁLCULO DEL ERROR DEL CONTADOR.....	45
FIGURA 12. CURVAS DE ERROR DEL CONTADOR	48
FIGURA 13. GRÁFICO DE DISPERSIÓN	50
FIGURA 14. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES VOLUMÉTRICOS	60
FIGURA 15. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES DE CHORRO ÚNICO	61
FIGURA 16. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN.....	61
FIGURA 17. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 1	62
FIGURA 18. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 2	63
FIGURA 19. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 3	64
FIGURA 20. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 4	64
FIGURA 21. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 5	65
FIGURA 22. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 6	66
FIGURA 23. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 7	67
FIGURA 24. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 8	67
FIGURA 25. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 9	68
FIGURA 26. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 10.....	69
FIGURA 27. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO,CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 1.....	70
FIGURA 28. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO,CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 2.....	71
FIGURA 29. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO,CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 3.....	72
FIGURA 30. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO,CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 4.....	73

FIGURA 31. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 5.....	74
FIGURA 32. CURVAS DE ERROR DETALLADAS DE CONTADORES DE CHORRO ÚNICO	74
FIGURA 33. GRÁFICO DE DISPERSIÓN PATRÓN TIPO II	78
FIGURA 34. GRÁFICO DE DISPERSIÓN PATRÓN TIPO AGUAS DE VALENCIA	78
FIGURA 35. EMBALAJE CONTADORES MODELO A	81
FIGURA 36. EMBALAJE CONTADORES MODELO B	82
FIGURA 37. EMBALAJE CONTADORES MODELO C.....	83
FIGURA 38. EMBALAJE CONTADORES MODELO D	83
FIGURA 39. EMBALAJE CONTADORES MODELO E.....	84
FIGURA 40. EMBALAJE CONTADORES MODELO F	85
FIGURA 41. EMBALAJE CONTADORES MODELO G	85
FIGURA 42. EMBALAJE CONTADORES MODELO H	86
FIGURA 43. EMBALAJE CONTADORES MODELO I.....	87
FIGURA 44. EMBALAJE CONTADORES MODELO J.....	87
FIGURA 45. DAÑOS EN EL EMBALAJE POR MANIPULACIÓN DURANTE EL TRANSPORTE	88
FIGURA 46. PALETIZACIÓN DE PARTIDAS COMO MEDIDA PREVENTIVA	89
FIGURA 47 .DISPOSICIÓN DE LA PARTIDA A LA RECEPCIÓN. DAÑO POR TRAQUETEO	89
FIGURA 48. DISPOSICIÓN INICIAL DE LA PARTIDA.....	90

Índice de tablas

TABLA 1. CLASES METROLÓGICAS DEFINIDAS EN LA NORMA ISO 4064:1993 EN FUNCIÓN DE SU CAUDAL PERMANENTE.....	19
TABLA 2. CAUDALES CARACTERÍSTICOS POR CLASE METROLÓGICA.....	20
TABLA 3. VALORES ADMISIBLES PARA CAUDAL PERMANENTE	22
TABLA 4. VALORES ADMISIBLES PARA EL RATIO Q_3/Q_1	22
TABLA 5. CLASES DE CONTADOR SEGÚN PRESIÓN MÁX. DE TRABAJO.....	24
TABLA 6. CLASES DE CONTADOR SEGÚN TEMPERATURA DE TRABAJO.....	24
TABLA 7. CLASES DE CONTADOR SEGÚN PÉRDIDA DE PRESIÓN MÁX.	24
TABLA 8. CLASES DE CONTADOR SEGÚN SENSIBILIDAD A DISTORSIÓN EN AGUAS ARRIBA.....	25
TABLA 9. CLASES DE CONTADOR SEGÚN SENSIBILIDAD A DISTORSIÓN EN AGUAS ABAJO.	25
TABLA 10. RANGOS MÍNIMOS DE LECTURA PARA EL DISPOSITIVO INDICADOR.	26
TABLA 11. PATRONES DE CONSUMO TIPO I Y II.....	32
TABLA 12. PATRÓN DE CONSUMO AGUAS DE VALENCIA.	32
TABLA 13. CAUDALES DE LOS CONTADORES PARA LOS ENSAYOS DE REPRODUCIBILIDAD Y VARIABILIDAD	36
TABLA 14. MODELOS DE CONTADORES	38
TABLA 15. CAUDALES SEGÚN NORMATIVA DE LOS MODELOS ENSAYADOS.....	51
TABLA 16. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 1	54
TABLA 17. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 2	55
TABLA 18. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 3	55
TABLA 19. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 4	56
TABLA 20. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 5	56
TABLA 21. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 6	56
TABLA 22. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 7	57
TABLA 23. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 8	57
TABLA 24. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 9	58
TABLA 25. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 10	58
TABLA 26. ERRORES GLOBALES.....	76
TABLA 27. ERRORES GLOBALES A PARTIR DE LAS CURVAS DETALLADAS	76
TABLA 28. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-80 L/H.....	102
TABLA 29. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-400 L/H.....	102
TABLA 30. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 50-2000 L/H.....	102
TABLA 31. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 21-120 L/H.....	102
TABLA 32. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-18-1500 L/H.....	103
TABLA 33. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-100-2600 L/H.....	103
TABLA 34. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 15-80-500 L/H.....	103

TABLA 35. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 25-600-2000 L/H.....	103
TABLA 36. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-15-60-1500L/H.....	104
TABLA 37. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-30-100-600L/H.....	104
TABLA 38. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-15-350-2600L/H.....	104
TABLA 39. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-40-140-2000 L/H.....	104
TABLA 40. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-15-30-100-600-1500 L/H.....	105
TABLA 41. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-21-60-400-800-2000 L/H.....	105
TABLA 42. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-18-350-600-1500-2600 L/H.....	105
TABLA 43. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-21-40-120-500-1000L/H	105
TABLA 44. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-350-1500-2600 L/H	108
TABLA 45. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-120-600-2600 L/H	108
TABLA 46. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-500-1500-2600 L/H	109
TABLA 47. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 12-21-40-350-500-1500 L/H	109
TABLA 48. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-120-600-2600 L/H	110
TABLA 49. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-120-1500-2600 L/H	110
TABLA 50. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-350-1500-2600 L/H	111
TABLA 51. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-350-600-2000 L/H	111
TABLA 52. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-600-1500-2600 L/H	112
TABLA 53. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-40-500-1500 L/H ...	114
TABLA 54. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-12-40-1500 L/H	114
TABLA 55. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-40-1500 L/H	114
TABLA 56. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-120-1500 L/H	114
TABLA 57. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-500-1500 L/H	114
TABLA 58. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-350-1500 L/H	115
TABLA 59. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-120 L/H	115
TABLA 60. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-350 L/H	115
TABLA 61. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-1500 L/H	115

Capítulo 1

Introducción

1.1 MARCO DEL TRABAJO

Como cualquier aparato de medida, los contadores no son instrumentos infalibles y no registran todo el volumen de agua que pasa por ellos. Cada contador, sin importar el tipo, tiene unas limitaciones de medida considerables. A menudo, parte del agua que se consume no queda registrada y por lo tanto no se le carga al consumidor. Otras veces, en función de la tecnología de medida empleada y otros factores concretos, se origina el resultado opuesto, se produce un sobrecontaje en el consumo de agua. En cualquiera de los dos casos, ya que las imprecisiones son aceptadas como una parte crítica de las pérdidas aparentes, es importante que se pueda cuantificar la magnitud de estos errores de medida. Por tanto, se hace necesaria la implantación de una serie de controles que regulen los errores máximos en los que pueden incurrir los contadores de agua (tanto antes de su instalación como durante el tiempo que permanecen en servicio). Estos ensayos tienen como objetivo examinar la capacidad del fabricante para suministrar contadores con la calidad requerida y de evaluar la capacidad de los instrumentos para adaptarse a las condiciones específicas de cada abastecimiento.

Esta situación refuerza la importancia de establecer un control de calidad a la recepción de contadores nuevos, debido a la gran diversidad de modelos en el mercado, inclusive dentro de un mismo fabricante, lo que hace que sea más complicado el análisis del rendimiento real de los contadores al haber simultáneamente muchas variables relacionadas entre sí.

En esta línea, diversos autores, como se verá más adelante, han contribuido en esta área de investigación mediante estudios de control de calidad en lo referente a planes de muestreo y ensayos de diferentes modelos de contador y tecnologías de medición basados en estándares internacionales. Se puede ver que en estos últimos hacen una comparativa de los resultados obtenidos siguiendo los estándares de las normativas, pero no proponen un procedimiento de recepción de contadores nuevos.

El presente Trabajo Fin de Máster persigue ahondar en esta línea de investigación mediante el estudio del error global de contadores nuevos, haciendo hincapié en el análisis de la curva de error, y proponiendo un procedimiento de control de calidad a la recepción de contadores nuevos.

La necesidad de establecer un plan de control de calidad (propuesta de estandarización de caudales) surge de la falta de estudios y datos. Algunas empresas tienen sus propias políticas de inspección, cuyos procedimientos y resultados de ensayo rara vez se publican, y de serlo se presentan en informes poco detallados, en lo que respecta al método de obtención de datos, que tienden a ensalzar la buena gestión del parque de contadores o funcionamiento de los aparatos de medida instalados.

A esto se le suma la dificultad de organizar un procedimiento de control de calidad a la recepción en contadores nuevos debido a la gran exigencia de trabajo en

campo que representa. Los principales inconvenientes son: contar con un banco de ensayos adecuado para los diferentes modelos del mercado, disponer de una amplia representación de modelos para ensayar (situación que no es tan simple ya que los fabricantes no ceden con facilidad sus modelos a estudios de esta índole), una correcta gestión de los tiempos de ensayo (ya que una proporción notable del tiempo del procedimiento de control se deriva en ellos), y por último, la problemática ya citada, una notable escasez de antecedentes.

Por otra parte, la exigencia de la Directiva Marco del Agua del 2010, por la que se han de recuperar los costes de amortización de las grandes infraestructuras, previamente subsidiadas, y los ambientales, establece la necesidad de repercutir los costes sobre los abonados. Esto se ve reflejado en un aumento del coste del m³ de agua potable. Un mayor coste del agua incrementa automáticamente las pérdidas ocasionadas por el coste del agua no registrada.

Por ello, los contadores de agua deben someterse a diversos controles de calidad, tanto antes de su instalación como durante el tiempo que permanece en servicio. Estos ensayos tienen como objetivo examinar la capacidad de los instrumentos, además de la propia calidad del proceso de fabricación (Arregui et al. 2007).

1.1.1 Importancia del control de calidad a la recepción

La empresa de abastecimiento puede confiar en los procedimientos de control de calidad utilizados por el fabricante y aceptar sus partidas de contadores sin ningún ensayo adicional de sus características metrológicas. Sin embargo, la experiencia muestra que las partidas a menudo contienen unidades defectuosas, y que su porcentaje varía significativamente de un suministrador a otro. Por ello, no resulta recomendable adoptar esta estrategia pasiva que, además, tampoco incentiva al proveedor a garantizar unos mínimos de calidad

Para analizar el rendimiento real de los contadores se debe prestar atención a varias consideraciones. En primer lugar, la gran variedad de modelos, marcas y tecnologías de los aparatos de medida empleados por las empresas distribuidoras para determinar el consumo doméstico. En España la tecnología de medición más usada y barata en contadores domésticos es la de chorro único. Diferentes fabricantes compiten en el mercado ofreciendo distintos modelos dentro de un rango de precios y rendimientos metrológicos. Por ello, las características constructivas así como la diversidad de calidad de los contadores es importante. Esta diversidad genera grandes dificultades en el diseño del enfoque adecuado para resolver la cantidad de caudal no registrado o registrado en exceso por los contadores. Además por lo general un modelo no se fabrica más allá de 2-3 años, o incluso menos, sin que se introduzcan cambios significativos en él.

La mayoría de las modificaciones, aunque no sean externamente perceptibles, pueden alterar el funcionamiento del contador y la evolución del error de medida en el tiempo. Como resultado, es casi imposible predecir cómo cambia el error del modelo con el tiempo, dado que no hay una tendencia bien definida. Las diferentes versiones del modelo fabricadas se degradan de manera diferente, incluso estando en las mismas condiciones de trabajo, y por ello deben ser estudiadas por separado.

Por esta razón, un mejor enfoque por parte de las empresas distribuidoras sería establecer ensayos a medio y largo plazo de los rendimientos de los modelos, para tener una evaluación continua de la curva de error de los contadores instalados. De esta manera, una cantidad apropiada de contadores (todos los posibles modelos) serán probados cada año. Con este enfoque se podrá desarrollar, para cada versión de contador, una base de datos accesible que contenga los rendimientos y pueda estar disponible para su análisis (Arregui et al. 2007).

Resulta conveniente, antes de proceder a la instalación de un determinado modelo, realizar una serie de ensayos que garanticen la calidad de los contadores adquiridos y la adecuación de los mismos a las características del abastecimiento. Con tal fin, se detallarán diversos niveles de actuación en los ensayos definidos en los capítulos posteriores.

1.2 ANTECEDENTES

El análisis de la incertidumbres en contadores domésticos nuevos, aun siendo un problema palpable y con una considerable repercusión en las pérdidas aparentes, no presenta una trayectoria importante en el ámbito de la investigación, y principalmente cuenta con recomendaciones establecidas en normas de referencia (tanto de carácter nacional como internacional), aportaciones de algunos autores, junto con contribuciones esporádicas y puntuales de algunas empresas de suministro de agua u otras empresas del sector

Respecto a las normas, en España, este control está regulado mediante la Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1988 y por el RD 889 de 21 de julio de 2006. por el que se establece el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida. El primero de los documentos incluye, entre otros aspectos, la *verificación primitiva* de los contadores de agua. Según este procedimiento, cada contador, antes de salir de fábrica, debe ensayarse individualmente. En este proceso, se obtiene el error de medición del contador a tres caudales (mínimo, transición y máximo) y se comprueba que dichos errores son inferiores a los máximos permitidos.

En el segundo de los documentos (RD 889 del 21 de julio de 2006) se establecen las consideraciones asociadas al control metrológico en la fase de comercialización y puesta en servicio. Según la cual, los fabricantes tienen que garantizar mediante diferentes alternativas la conformidad de los contadores fabricados según la legislación española o comunitaria. Por ello, los contadores deben someterse a diversos controles, tanto antes de su instalación como durante el tiempo que permanece en servicio. Estos ensayos tienen como objetivo examinar la capacidad de los instrumentos, y la propia calidad del proceso de fabricación.

Más recientemente, Neilsen (2011), en una de sus publicaciones reiteró que los procedimientos de ensayo de contadores más utilizados están basados en normativas y recomendaciones desarrolladas por diferentes organizaciones internacionales, entre ellas se destaca la International Organization for Standardization (ISO), la International Organization of Legal Metrology (OIML) y la American Water Works Association (AWWA). A partir de estos ensayos es posible conocer qué parte de la variabilidad de los resultados está causada por la capacidad del proceso productivo del proveedor.

Por otro lado, y en lo que respecta a las aportaciones más importantes de los autores, en Arregui et al. (2007) se muestran la importancia de realizar un control a la recepción con el fin de involucrar a las empresas fabricantes y suministradoras para reducir, significativamente, los ensayos necesarios en el control de calidad. Del mismo modo también concluyen en la necesidad de establecer un procedimiento de control adecuado. Arregui en su libro dedica un capítulo al control de calidad a la recepción, referente a planes de muestreo, desde su elaboración hasta el planteamiento y análisis de los resultados de los mismos.

En el trabajo de Nielsen et al. (2011) se publica un estudio para el análisis de la precisión de contadores en servicio a bajos y altos caudales (*“Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Rates”*), y cuya utilización se promovió en el artículo *“Off the shelf accuracies of residential water meters”* en el que se compara la precisión de diversos contadores nuevos con diferentes tecnologías de medición disponibles en el mercado, siguiendo los correspondientes estándares de calidad del AWWA en materia de contadores de agua fría. Si bien su difusión en nuestro país no ha sido relevante, debido a que está orientado al mercado norteamericano, presenta un interesante campo de investigación en la metrología con aplicación en empresas de abastecimiento y suministro de agua. En este trabajo además se concluye que la estimación del volumen exacto de agua potable a través de la medición es un enfoque adecuado para conservar los recursos acuáticos y fomentar un uso responsable de los mismos. Asimismo, en consonancia con el AWWA, suscriben: *“Ninguna herramienta disponible en las empresas distribuidoras juega un papel más importante en la conservación del agua que el contador”*.

Por otro lado, no debe perderse de vista la importancia que para empresas de abastecimiento y otras entidades presenta el control metrológico a la recepción en aras de contribuir a una mejor adecuación del parque de contadores. En esta línea, muchos de los proveedores abalan la calidad de sus procesos de fabricación en general y la idoneidad de sus productos en particular, a partir del cumplimiento de diversas normativas, pero tal como se ha podido comprobar en diferentes estudios, sistemáticamente no alcanzan los estándares mínimos (Neilsen et al. 2011; Water RF 2011), existiendo con frecuencia partidas que contienen unidades defectuosas.

A las dificultades derivadas del control del proceso de fabricación hay otras cuestiones que deben tenerse presente, y es que aunque los fabricantes cumplan estrictamente con los procedimientos de ensayo, es posible que durante el transporte y manipulación de los contadores éstos sufran pequeños golpes que alteren su metrología. Por ello, y dada la inversión que supone una buena elección de contadores, las empresas de agua deben realizar una serie de procedimientos de control de calidad de los contadores independientes a los ya practicados por el fabricante, pero los resultados de estos ensayos raramente se publican.

Como se ha comentado, el error en la medición de un contador, tanto en el momento en el que éste entra en servicio como durante su vida útil está íntimamente relacionado con las pérdidas aparentes en el abastecimiento. En este campo las publicaciones han sido más que notables, destacándose las contribuciones de Allender (1996), Arregui (2010), Fantozzi (2009), Mckenzie (2005), Mutikanga (2010), Rizzo (2007), entre otros. En estas publicaciones se indica que las pérdidas aparentes conllevan pérdidas de ingresos apreciables para las empresas suministradoras, a la vez que distorsionan la integridad de los datos de consumo necesarios en la gestión.

De las aportaciones citadas, los trabajos desarrollados por Arregui, coincidiendo con los desarrollados por Rizzo y Cilia (2005), consideran la incertidumbre asociada a los contadores como una componente importante de las pérdidas aparentes en un sistema de distribución de agua. No obstante, y tal como se muestra hay varias causas que contribuyen al total de las citadas pérdidas.

En esta misma línea, la AWWA divide el concepto de pérdidas aparentes en tres componentes: irregularidades en el tratamiento de datos y facturación, tomas pirata y errores en la medición. Las dos primeras componentes están relacionadas con la gestión de la empresa suministradora, mientras que la última depende de la correcta elección de la tecnología de medición, de un adecuado tamaño e instalación de los aparatos y de la frecuencia de sustitución seguida por el abastecimiento. A fin de reducir la influencia de este componente se llevará a cabo un análisis del rendimiento de los contadores, que incluirá la determinación de las curvas de error y los patrones de consumo. A partir de aquí, una vez conocidos los factores que afectan a la eficiencia en la medida se propone garantizar la idoneidad de los aparatos para las instalaciones.

Otra de las líneas de investigación más extendidas en los últimos años se centra en la determinación del período óptimo de renovación de estos aparatos de medida. Este término trata de analizar cuál es el momento más adecuado para proceder a la sustitución de los contadores atendiendo a componentes económicas y de uso del contador. En este campo se destaca la aportación de Fantozzi (2009), según el cual las empresas suministradoras que se encargan de mantener e instalar los contadores, mayoritariamente no proceden a su renovación hasta que se produce el fallo. Esta situación se da en muchos países al no existir una cláusula obligatoria en cuanto a la renovación de contadores, siendo una consecuencia la imprecisión y antigüedad del parque de contadores en instalaciones urbanas.

El trabajo anterior también muestra las implicaciones económicas que tendría la renovación en el último momento, afectando negativamente a la inversión del capital, poniendo en peligro la viabilidad económica del programa de sustitución, y elevando el coste del servicio del agua. Argumenta que la política de sustitución de los contadores cuando están obstruidos o son bastante viejos o por uso abusivo (volumen totalizado elevado) es sólo admisible en aquellos abastecimientos con precios bajos del agua y que mantengan bajos costos de medición. Sin embargo, esta política de bajo perfil da a lugar a errores importantes en contadores, y como norma general, un control mediocre de los consumos.

Por otro lado, Mutikanga (2011) desarrolla un modelo para precisar el tiempo de reposición óptimo basándose en el volumen total registrado por el contador. Sugiere que se está aceptando que sea el uso y no el tiempo el responsable del deterioro que se produce. Muchas de las herramientas desarrolladas anteriormente se basaban en la edad y no en el uso de los contadores, además de no tener en cuenta el valor temporal del dinero en las decisiones de renovación. Señala que el período óptimo de renovación se calcula en base a los costes de la pérdida de agua durante la vida útil debido a la falta de precisión del contador y el coste de reposición del mismo incluido su valor residual.

Para reducir las pérdidas de ingresos de agua por la medición, varios criterios de selección, incluyendo los costes durante la vida útil, deben adoptarse frente a un único criterio que se emplea a menudo en la selección de contadores: adquisición inicial del contador a bajo coste. El análisis de sensibilidad se llevó a cabo para evaluar el impacto de determinadas variables de entrada sobre el período óptimo de renovación. Los resultados indican que el período óptimo de reposición es muy sensible al precio del agua y al ritmo de degradación ponderado de la precisión de medida versus el uso.

1.2.1 Normativa

La normativa y recomendaciones técnicas que regulan el funcionamiento y las características constructivas de los contadores de agua resultan esenciales para garantizar su correcta metrología. La legislación vigente que aplicaba a contadores en el ámbito europeo y nacional era:

Ámbito europeo:

- Directiva 75/33/CEE – Contadores mecánicos de agua fría
- Directiva 79/830/CEE – Contadores mecánicos de agua caliente

Ámbito nacional. La trasposición de la Directiva al derecho interno español se realiza a través de las siguientes órdenes ministeriales:

- BOE 28/12/1988 – Contadores mecánicos de agua fría
- BOE 30/12/1988 – Contadores mecánicos de agua caliente

Estos documentos definen entre otros aspectos:

- Características metrológicas: errores máximos permitidos, clases metrológicas A.B.C.
- Características tecnológicas: fabricación, materiales, estanqueidad, resistencia a la presión, pérdida de carga, dispositivo indicador, etc.
- Requisitos para la aprobación de modelo
- Procedimiento de verificación primitiva

Posteriormente, el 31 de marzo de 2004 se publica la nueva directiva, Directiva 2004/22/CE, en la que:

- Contempla 10 tipos diferentes de instrumentos de medida
- No hace referencia a los procedimientos concretos de medida
- Define unos requerimientos esenciales comunes a los diferentes instrumentos
- Define unos requerimientos específicos para cada instrumento

Los estados disponen de 2 años más 6 meses para transponer esta Directiva a sus legislaciones nacionales. En España se plasma en el RD 889 del 21 de julio de 2006.

La nueva Directiva deroga parcialmente la Directiva 75/33/CEE para contadores de agua limpia y contadores de uso residencial, comercial e industria ligera. Por tanto la Directiva 75/33/CEE sigue vigente cuando:

- Se mide agua no limpia
- Se mide el consumo de agua en usos diferentes al residencial, comercial e industria ligera
- Solamente para contadores mecánicos

Para cubrir los vacíos legales que da a lugar la derogación parcial en España se desarrolla la Orden ITC/279/2008 del 31 de enero, por la que se regula el control metrológico del Estado de los contadores de agua fría, tipos A y B. Siendo el tipo A contadores no mecánicos y B contadores mecánicos. Esta Orden se aplica a:

- Contadores destinados a medir agua no-limpia
- Contadores para usos diferentes al residencial, comercial e industria ligera

1.3 OBJETIVOS

Un problema que deriva de los escasos análisis del rendimiento en contadores domésticos nuevos son las pérdidas aparentes, ya que a raíz de estos ensayos se pueden detectar las imprecisiones en los medidores durante el tiempo que permanecerán en funcionamiento.

Las pérdidas aparentes están relacionadas con el agua consumida pero no pagada, conllevan pérdidas de ingresos para las empresas de abastecimiento y distorsionan la integridad de los datos de consumo necesarios en la gestión del suministro. La determinación de las imprecisiones en los modelos de contadores nuevos nos ayuda a establecer una práctica de inspección en la recepción, a la vez que discriminan aquellos aparatos que puedan incurrir en pérdidas.

A la vista de la problemática asociada a la falta de un procedimiento en el control a la recepción de contadores domésticos nuevos, principalmente en aquellas empresas responsables del suministro de agua dirigida al consumo humano, se hace necesaria la implantación de una estandarización en los ensayos a la recepción.

En esta línea de trabajo se persigue establecer una evaluación de diferentes modelos comerciales, con el objetivo de ver las diferencias en cuanto a reproducibilidad a diferentes rangos de caudales.

Para dar una idea aproximada de la fiabilidad del fabricante se realiza un análisis de variabilidad para un mismo modelo y comparativamente entre varios con el fin de conocer la calidad del proceso de fabricación. Esta labor se realiza a través del estudio de la dispersión de datos, que incluye la desviación típica y los intervalos de confianza.

Así mismo, se elaboran las curvas de error de los distintos modelos para diferentes agrupaciones de caudal, que junto a los patrones de consumo seleccionados permiten calcular los errores globales. A partir de los errores globales calculados se cuantifica el número de ensayos necesarios para controlar de forma óptima la calidad de las partidas.

Siguiendo la idea anterior, es importante comprobar el comportamiento de los modelos en un amplio rango de caudales con el fin de apreciar la forma de la curva de error a caudales intermedios (de los habituales) y precisar las diferencias entre los

distintos modelos ensayados. A su vez esta estrategia permite valorar el procedimiento actual de verificación de contadores por parte de los fabricantes (sólo a tres caudales), y a su vez permite realizar una adecuada selección de los caudales de ensayo y determinar el error de medición, al ponderar la curva de error con los patrones de consumo.

Por otro lado se pretende establecer el comportamiento de los contadores domésticos a caudales bajos con mayor precisión, al tratarse de la zona más sensible a los errores de medición y la más problemática de cara a determinar el consumo real de agua del usuario.

Atendiendo a la falta de procedimientos en el control a la recepción, se propone una estandarización en el cálculo del error de medición, dentro del manual de buenas prácticas elaborado como referencia para los técnicos encargados del control metrológico de los contadores. Se trata además de una aportación que puede resultar de interés para un abastecimiento, al tiempo que puede establecer un precedente para futuros trabajos de investigación en esta área.

1.4 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presente documento se estructura en cinco capítulos, presentándose al final del mismo, un listado de las referencias utilizadas y consultadas en este Trabajo Fin de Máster.

El capítulo I recoge la introducción. En éste se presenta el marco del trabajo seguido de los objetivos planteados y antecedentes. Sobre éstos se hace una revisión de los trabajos relacionados con la evaluación del error global de medición de contadores y el control de calidad a la recepción de autores de distintas instituciones.

En el capítulo II se detalla una visión global de todo lo relativo a la metrología propia de los contadores de agua así como de la normativa y legislación vigente. Se definen los principales parámetros que resaltan y cuantifican el error de medición. Así mismo se explica las normativas internacionales ISO 4064:1993 y su revisión del 2005, como la actual Directiva en la Unión Europea, Directiva 2004/22/CE, y su transposición a la legislación española, RD 889/2006.

El capítulo III describe los ensayos a realizar para determinar el error global de medición de contadores domésticos nuevos, en cuanto a materiales, procedimientos y estudios en la evaluación de los diferentes modelos. En esta línea, se expone el cálculo del error de medición a través del patrón de consumo y la determinación de la curva de error. En relación a la primera componente, se muestran y analizan los diferentes tipos de patrones seleccionados. Respecto a la segunda, se detalla la selección de caudales de ensayo y las consideraciones en el cálculo del error de medición.

También se contempla en este capítulo la especificación de la serie de contadores recibidos, así como el método de ensayo, en alusión a la descripción del banco de ensayos y al procedimiento seguido en el laboratorio.

En el capítulo IV se presentan y discuten los resultados obtenidos en los estudios especificados en la anterior sección, con el objetivo de conocer la calidad del proceso de fabricación de los aparatos y hacer una propuesta de caudales estandarizados en el control a la recepción de contadores nuevos.

En el capítulo V se recopilan las principales conclusiones y las futuras líneas de investigación que se derivan del presente Trabajo Fin de Máster.

En el capítulo VI se recogen las diferentes referencias consultadas.

Capítulo 2

Metrología, normativa y legislación

2.1 INTRODUCCIÓN

La metrología se define como la ciencia e ingeniería de la medida, incluyendo el estudio, mantenimiento y aplicación del sistema de pesos y medidas. Actúa tanto en los ámbitos científico, industrial y legal, como en cualquier otro demandado por la sociedad. Su objetivo fundamental es la obtención y expresión del valor de las magnitudes, garantizando la trazabilidad de los procesos y la consecución de la exactitud requerida en cada caso; empleando para ello instrumentos métodos y medios apropiados.

El objetivo del presente capítulo consiste en proporcionar una visión general de todo lo relativo a la metrología propia de los contadores de agua así como de la normativa y legislación vigente.

Debido a la variedad y dinamismo en la elaboración de nuevo documentos resulta complicado presentar un capítulo sobre este tema que aborde la totalidad de las normas existentes y que resulte perdurable en el tiempo. En consecuencia, esta parte del trabajo, sólo puede facilitar una panorámica actual cuya vigencia deberá ser revisada periódicamente.

2.2 PARÁMETROS METROLÓGICOS

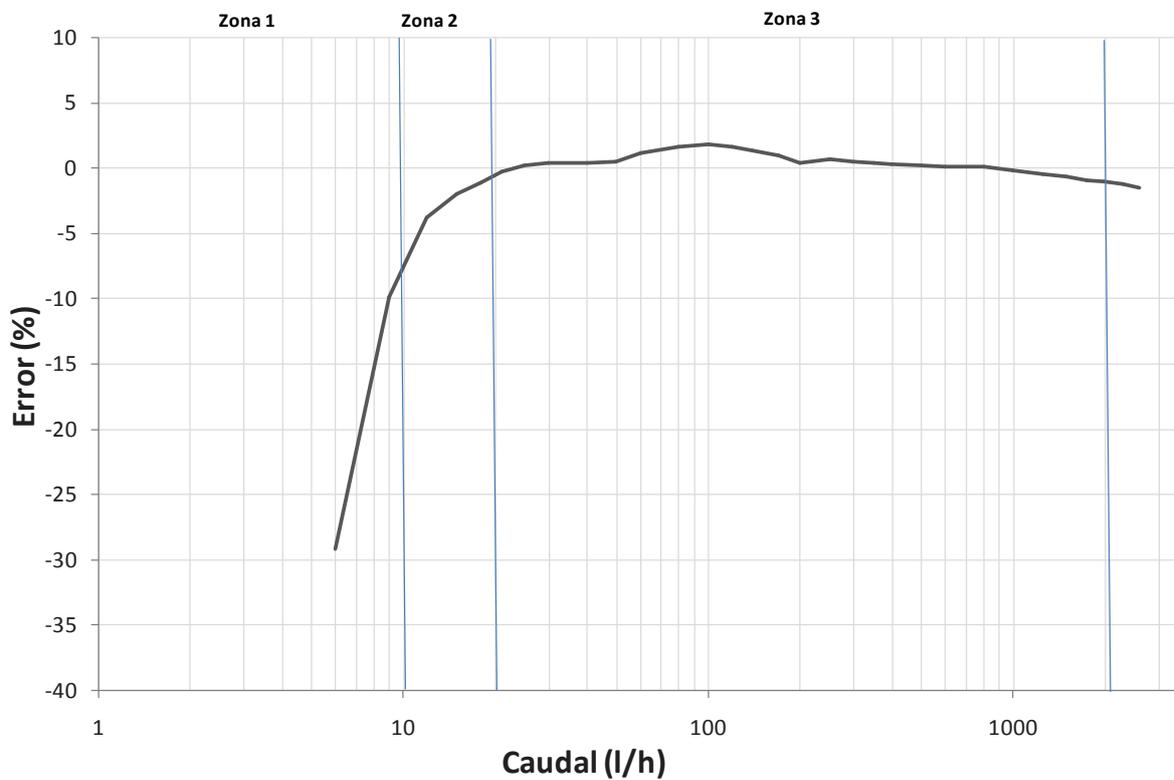
Independientemente de las particularidades técnicas de cada tipo de contador, hay una serie de parámetros generales comunes a todos ellos. Éstos permiten la caracterización de los distintos aspectos de funcionamiento, por lo que su conocimiento constituye un primer paso fundamental en la materia. Los denominados parámetros metrológicos están directamente relacionados con la incertidumbre y con la delimitación y cuantificación del error de medición.

Bajo la denominación de parámetros metrológicos se agrupan aquéllos que están directamente relacionados con la función del contador: la adecuada medición del volumen de agua que ha circulado a través del mismo. Estos parámetros son:

- *Volumen real*: volumen de agua que ha circulado por el contador en un lapso de tiempo determinado, sin atender a la duración del mismo. En relación con este parámetro, se define el caudal real como el cociente entre el volumen real y dicho lapso de tiempo.
- *Volumen medio*: lectura mostrada por el contador correspondiente a un determinado volumen real. Al igual que en el punto anterior, el caudal medio es el cociente entre el volumen medio y el lapso de tiempo transcurrido durante la medición.

- *Error de medición absoluto o error de indicación:* diferencia entre el volumen medio y el volumen real. Esta diferencia tiene unidades de volumen y puede ser tanto positiva (sobrecontaje) como negativa (subcontaje).
- *Error de medición relativo:* resultado de dividir el error de medición absoluto entre el volumen real. Se trata de un parámetro adimensional, por lo que suele expresarse en tanto por cien. El error de medición relativo también puede ser positivo o negativo.
- *Curva de error del contador:* el error de medición relativo de un contador no es constante e independiente de su punto de funcionamiento, sino que varía en función del caudal que lo atraviesa. La representación gráfica de la relación entre el caudal circulante y el error de medición relativo, recibe el nombre de curva de error del contador.

FIGURA 1. CURVA DE DE ERROR DE UN CONTADOR DE AGUA

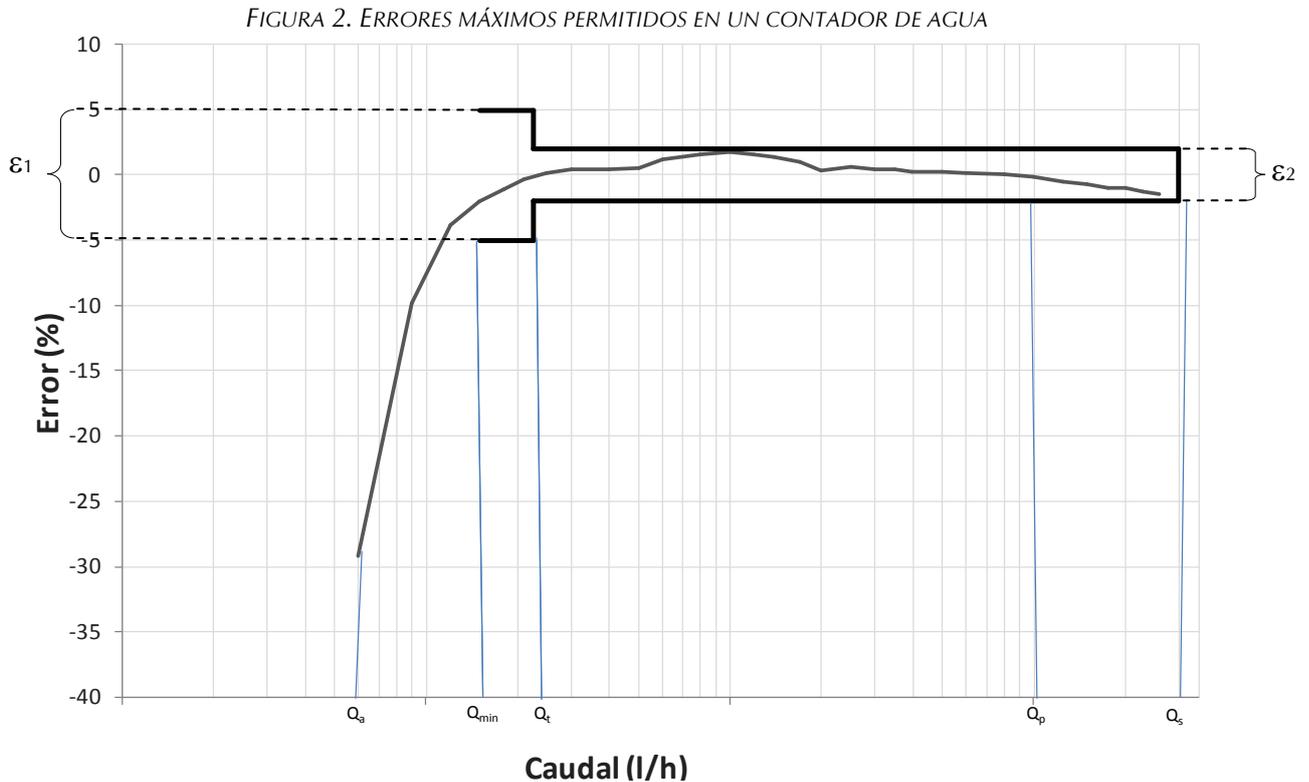


De forma general en la curva de error de cualquier contador se pueden distinguir tres zonas. Una primera zona en la que el error de medición es del -100%, es decir el volumen circulado queda sin registrar en su totalidad permaneciendo el contador completamente parado. Una segunda zona en la que el caudal empieza a ser suficiente como para mover o activar el sensor del contador, aunque el registro del consumo se produce con errores importantes. Y una tercera zona en la que el error de medición se mantiene estable y casi independiente del caudal circulante.

En la Figura 1 se observa la forma característica de la curva de error de un contador. Estudiándola con más detalle se pueden identificar las siguientes características:

- La curva no corta en su parte izquierda a ninguno de los ejes. Esto implica que existe un valor límite de caudal a partir del cual el elemento sensor del contador (turbina, pistón, disco, etc.) no se mueve (a caudales iguales o inferiores a dicho valor límite, el contador no registra el volumen de agua circulado). Por ello, la representación de la curva se inicia a partir de un punto determinado, denominado caudal de arranque. En la práctica, el caudal de arranque de un contador no es un valor único sino que varía dentro de un cierto rango.
- A partir del caudal de arranque se inicia un tramo de ascenso continuado y rápido hasta alcanzar un valor del error próximo a cero. En el rango de caudales correspondiente a este tramo, el error de medición presenta valores negativos (empezando en el entorno del -70% aproximadamente, que suele ser el error típico al caudal de arranque). Es habitual que la amplitud de este rango esté comprendida entre 10 y 15 l/h. En otras palabras, el caudal al cual se alcanza un valor del error relativo cercano a cero es sólo unos 10-15 l/h superior al arranque.
- Finalmente, existe un tercer tramo en el que la curva de error no sufre prácticamente variaciones con el caudal y el error se mantiene dentro de las tolerancias admisibles. La forma que adopta la curva en este tramo depende tanto de las características constructivas del contador como de la tecnología de medición del mismo. Es en esta zona en la que se sitúan los caudales normales de funcionamiento del contador.

El conocimiento de la curva de error de un contador resulta crítico puesto que constituye la base para cualquier evaluación de la fiabilidad de su funcionamiento. Por tal motivo, en las diferentes normativas internacionales se dedica una atención especial a los requerimientos que debe cumplir esta curva. Las normas ISO 4064, EN 14154 y la recomendación OIML R-49 dividen el rango de caudales en dos bandas, teniendo cada una de ellas un error máximo permitido diferente.



Como podemos observar en la figura anterior, la banda inferior, definida entre el caudal mínimo (Q_m) y el caudal de transición (Q_t), tiene como característica un error máximo permitido, ϵ_1 , del 5%. La segunda franja, comprendida entre el caudal de transición (Q_t) y el caudal máximo o de sobrecarga (Q_s), tiene un error máximo permitido, ϵ_2 , del 2%.

Puesto que la metrología de un contador de agua está íntimamente ligada a la bondad de su curva de error y el modo en que ésta se mantiene en el tiempo, las diferentes normas definen dicha calidad por medio de unos valores característicos de caudal, para los cuales deben cumplirse unas determinadas exigencias metrológicas. Así diferenciamos dentro de la curva de error una serie de caudales que nos definen la capacidad metrológica de un contador:

- Caudal de arranque (Q_a): Este parámetro es de difícil definición y en la práctica no se encuentra enunciado en ninguna norma publicada hasta el momento. Se puede entender como aquel valor de caudal para el cual el contador comienza a moverse, o bien como el caudal mínimo que mantiene un contador en

movimiento. Se debe recordar que el concepto caudal de arranque se aplica en la determinación del porcentaje de volumen registrado por un contador, ya que es el valor más bajo de caudal para el cual el error de medición deja de ser del -100% y constituye el extremo izquierdo de la curva de error.

- Caudal Mínimo (Q1): Valor mínimo de caudal en el que el contador funciona dentro del error máximo permitido ϵ_1 .
- Caudal de Transición (Q2): Valor situado entre el caudal nominal (ISO 4064:1993) o permanente (ISO 4064:2005, EN 14154, OIML R49:2006) y el caudal mínimo, y que divide todo el rango de caudales de funcionamiento de un contador en dos zonas, la “zona superior” y la “zona inferior”, cada una caracterizada por su propio error máximo permitido.
- Caudal Permanente (Q3): Valor máximo de caudal dentro de las condiciones nominales de funcionamiento, para el que se requiere que el contador funcione de una manera satisfactoria dentro del error máximo permitido. A este parámetro frecuentemente se le denomina caudal nominal (ISO 4064:1993).
- Caudal de Sobrecarga (Qs): Valor del caudal para el cual el contador puede funcionar de forma excepcional durante cortos periodos de tiempo manteniendo el error de medición dentro de los errores máximos permitidos y recuperando su plena funcionalidad cuando posteriormente, retorna a las condiciones normales de operación. A este parámetro en ocasiones se le denomina caudal máximo (ISO 4063:1993).

En diversas normas, a las diferentes calidades metrológicas de los contadores se les denomina *clases metrológicas*. Contadores con la misma capacidad de caudal e idéntico caudal permanente, tendrán distintos caudales mínimo y de transición dependiendo de la clase metrológica a la que pertenezcan (en general, a mayor calidad metrológica menores son los valores definidos para el caudal mínimo y de transición). En función de la norma, se dividen un número diferente de calidades o clases metrológicas. Así la ISO 4064:1993 distingue cuatro clases diferentes: A, B, C y D. Mientras que las Norma ISO 4063:2005, OIML R49:2003 y EN 14154:2004 tienen un abanico mucho más amplio. En cualquier caso, se debe destacar que los errores máximos permitidos en todos los casos son los mismos, y que entre una clase metrológica y otra únicamente cambian los valores de caudal a los caudales se exige al contador que cumpla con dichos requisitos de error.

2.3 NORMATIVA

2.3.1 Normativa ISO

En 2005 se aprobó la última revisión de la norma ISO 4064:2005 “*Measuring of water flow in fully charged closed conduits – Meters for cold and hot potable water*”. Al igual que sucede en otros documentos, las variaciones respecto a la anterior versión (de

1993 y prácticamente idéntica a la Directiva Europea 75/33/CEE) han sido significativas. No obstante, todavía se aplica la versión de 1993 a un gran número de contadores.

La norma ISO 4064:1993 se compone de tres partes diferentes:

1. Especificaciones.
2. Condiciones de instalación.
3. Métodos y materiales para los ensayos.

Aspectos clave recogidos en el contenido de esta norma:

- La versión de 1993 es sólo aplicable a aparatos de medida integradores que determinan de manera continua el volumen de agua que pasará por ellos, cualquier otro líquido. El elemento sensor debe ser mecánico y puede estar constituido por cámaras volumétricas de paredes móviles (como un contador de pistón rotativo) o por algún elemento móvil cuya reacción dependa de la velocidad del agua circulante (como un contador de chorro único).
- La designación del contador queda determinada por el valor del caudal permanente Q_p , expresado de metros cúbicos por hora y precedido por la letra "N". Dicho valor, para cada tipo de contador, debe restringirse a los siguientes:
 - Contadores con conexión roscada: 0.6, 1, 1.5, 2.5, 3.5, 6, 10.
 - Contadores con conexión bridada (volumétricos, chorro único y múltiple): 15, 20, 30, 50.
 - Contadores con conexión bridada (Woltmann): 15, 25, 40, 60, 100, 150, 250, 400, 600, 1000, 1500, 2500, 4000.
- Se especifican cuatro clases metrológicas: A, B, C y D. La tabla 2 muestra las características de cada una en función de su caudal permanente (la norma ISO 4064:1993 hace referencia a la designación del contador y no al caudal permanente, pero por motivos de claridad se ha preferido referir la tabla a dicho caudal).

TABLA 1. CLASES METROLÓGICAS DEFINIDAS EN LA NORMA ISO 4064:1993 EN FUNCIÓN DE SU CAUDAL PERMANENTE

Clase	Caudal	Q_p	
		$<15 \text{ m}^3/\text{h}$	$\geq 15 \text{ m}^3/\text{h}$
A	Q_m	$0.04 Q_p$	$0.08 Q_p$
	Q_t	$0.10 Q_p$	$0.30 Q_p$
B	Q_m	$0.02 Q_p$	$0.03 Q_p$
	Q_t	$0.08 Q_p$	$0.20 Q_p$
C	Q_m	$0.01 Q_p$	$0.006 Q_p$
	Q_t	$0.015 Q_p$	$0.015 Q_p$
D	Q_m	$0.0075 Q_p$	-
	Q_t	$0.0115 Q_p$	-

TABLA 2. CAUDALES CARACTERÍSTICOS POR CLASE METROLÓGICA

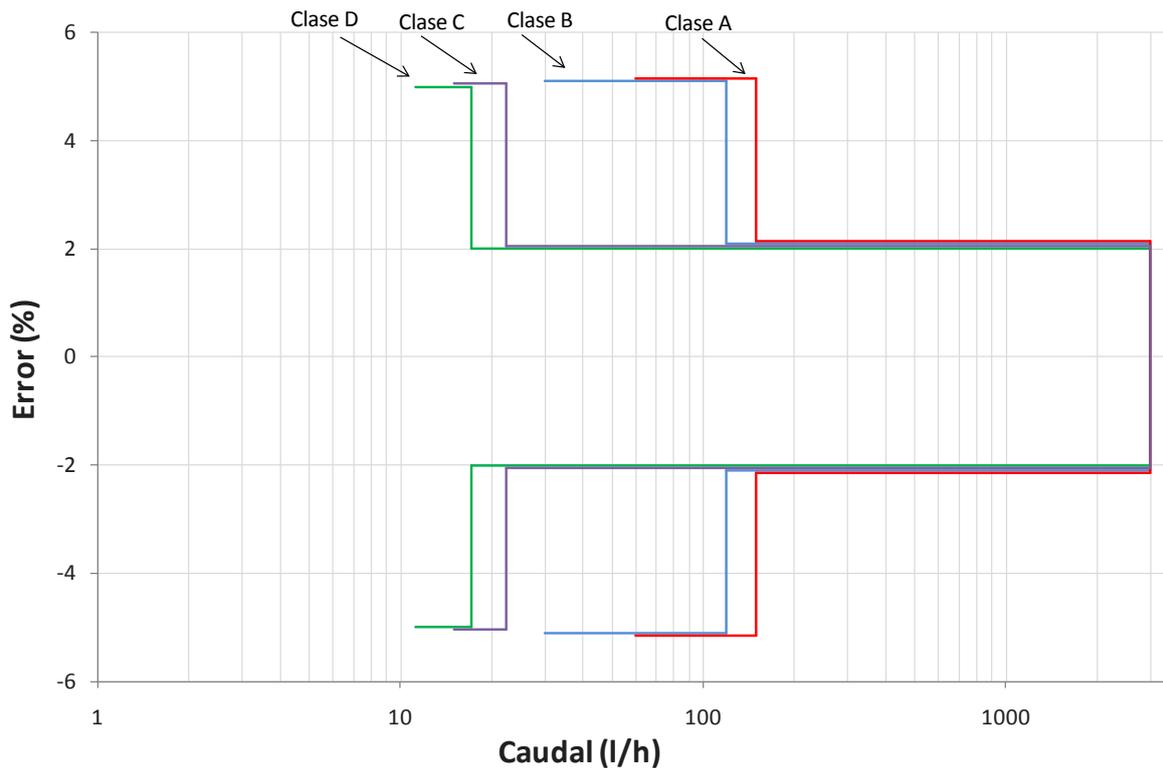
Q_p (m ³ /h)	Clase A		Clase B		Clase C		Clase D		
	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_m (l/h)	Q_t (l/h)	Q_s (l/h)
0.6	24	60	12	48	6	9	4.50	6.90	1.2
1	40	100	20	80	10	15	7.50	11.50	2
1.5	60	150	30	120	15	22.5	11.25	17.25	3
2.5	100	250	50	200	25	37.5	18.75	28.75	5
3.5	140	350	70	280	35	52.5	26.25	40.25	7
6	240	600	120	480	60	90	45	69	12
10	400	1000	200	800	100	150	75	115	20
15	1200	4500	450	3000	90	225	-	-	30
20	1600	6000	600	4000	120	300	-	-	40
25	2000	7500	750	5000	150	375	-	-	50
30	2400	9000	900	6000	180	450	-	-	60
40	3200	12000	1200	8000	240	600	-	-	80
50	4000	15000	1500	10000	300	750	-	-	100
60	4800	18000	1800	12000	360	900	-	-	120
100	8000	30000	3000	20000	600	1500	-	-	200
150	12000	45000	4500	30000	900	2250	-	-	300
250	20000	75000	7500	50000	1500	3750	-	-	500
400	32000	120000	12000	80000	2400	6000	-	-	800
600	48000	180000	18000	120000	3600	9000	-	-	1200
1000	80000	300000	30000	200000	6000	15000	-	-	2000
1500	120000	450000	45000	300000	9000	22500	-	-	3000
2500	200000	750000	75000	500000	15000	37500	-	-	5000
4000	320000	1200000	120000	800000	24000	60000	-	-	8000

- El valor del caudal de sobrecarga Q_s se define para todas las clases como el doble del caudal permanente Q_p .
- Los valores de los caudales mínimo, de transición y máximo para las distintas clases metrológicas se muestran en la Tabla 3.
- El error máximo permitido para cada rango de caudal queda establecido en $\pm 5\%$ (ϵ_1) y $\pm 2\%$ (ϵ_2). La figura 3 muestra las bandas de error máximo permitido para las distintas clases metrológicas de un contador con caudal permanente igual a 1.5 m³/h. En dicha figura se observa claramente que el carácter más restrictivo de una clase metrológica superior se refiere únicamente a los valores de caudal a partir de los cuales se exige que el error sea inferior al error máximo permitido. En ningún caso varían las tolerancias de error de una clase metrológica a otra.
- La presión de trabajo mínima admisible para un contador queda fijada en 10 bar para todos los contadores, independientemente de su tipo, diámetro y clase

metrológica. En caso de que la presión de trabajo admisible sea superior a los 10 bar, el valor real deberá marcarse de manera visible en el exterior del contador.

- La temperatura de trabajo máxima admisible queda fijada en 30°C para todos los contadores.
- La pérdida de presión máxima en el contador, expresada en bar, debe restringirse a alguno de los siguientes valores: 0.1, 0.3, 0.6 y 1 bar.

FIGURA 3. CLASES METROLÓGICAS PARA CONTADORES CON $Q_p 1.5M^3/H$



La norma ISO 4064:2005 se compone de tres partes diferentes:

1. Especificaciones.
2. Condiciones de instalación.
3. Métodos y materiales para los ensayos.

Aspectos diferenciadores recogidos en esta norma:

- A diferencia de la versión anterior, esta nueva norma es de aplicación a los contadores de agua basados en cualquier principio eléctrico o electrónico, y a contadores de agua mecánicos con algún componente electrónico. La norma es de aplicación a cualquier instrumento de medida de manera que continua el volumen de agua circulado a través del mismo.
- Los contadores de agua quedan caracterizados por el diámetro nominal de las conexiones o de las bridas. Para cada diámetro se definen una serie de valores

(dándose uno como preferido) como diferentes alternativas a las dimensiones del contador: longitud, altura y anchura.

- Los caudales que definen la metrología del contador se denominan de la siguiente forma:
 - Caudal mínimo $\longrightarrow Q_1$
 - Caudal de transición $\longrightarrow Q_2$
 - Caudal permanente $\longrightarrow Q_3$
 - Caudal de sobrecarga $\longrightarrow Q_4$
- La designación del contador queda determinada mediante el valor del caudal permanente Q_3 , expresado en metros cúbicos por hora, y el ratio Q_3/Q_1 .
- El caudal permanente Q_3 , en metros cúbicos por hora, debe restringirse a alguno de los valores mostrados en la tabla 4, así como a otros múltiplos y submúltiplos de 10.

TABLA 3. VALORES ADMISIBLES PARA CAUDAL PERMANENTE

Q_3				
1	1.6	2.5	4	6.3
10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300

Durante un periodo transitorio de 5 años desde su publicación se admitirán los valores: 1.5, 3.5, 6, 15 y 20 m³/h.

- El caudal mínimo Q_1 y en consecuencia, la calidad metrológica del contador, quedan definidos a partir del ratio Q_3/Q_1 . Los valores que dicho ratio puede adoptar se muestran en la tabla 5. También se admiten otros múltiplos y submúltiplos de 10.

TABLA 4. VALORES ADMISIBLES PARA EL RATIO Q_3/Q_1 .

Q_3/Q_1									
10	12.5	16	20	25	31.5	40	500	63	80
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800

Durante un periodo transitorio de 5 años se admitirán los valores: 15, 35, 60 y 212.

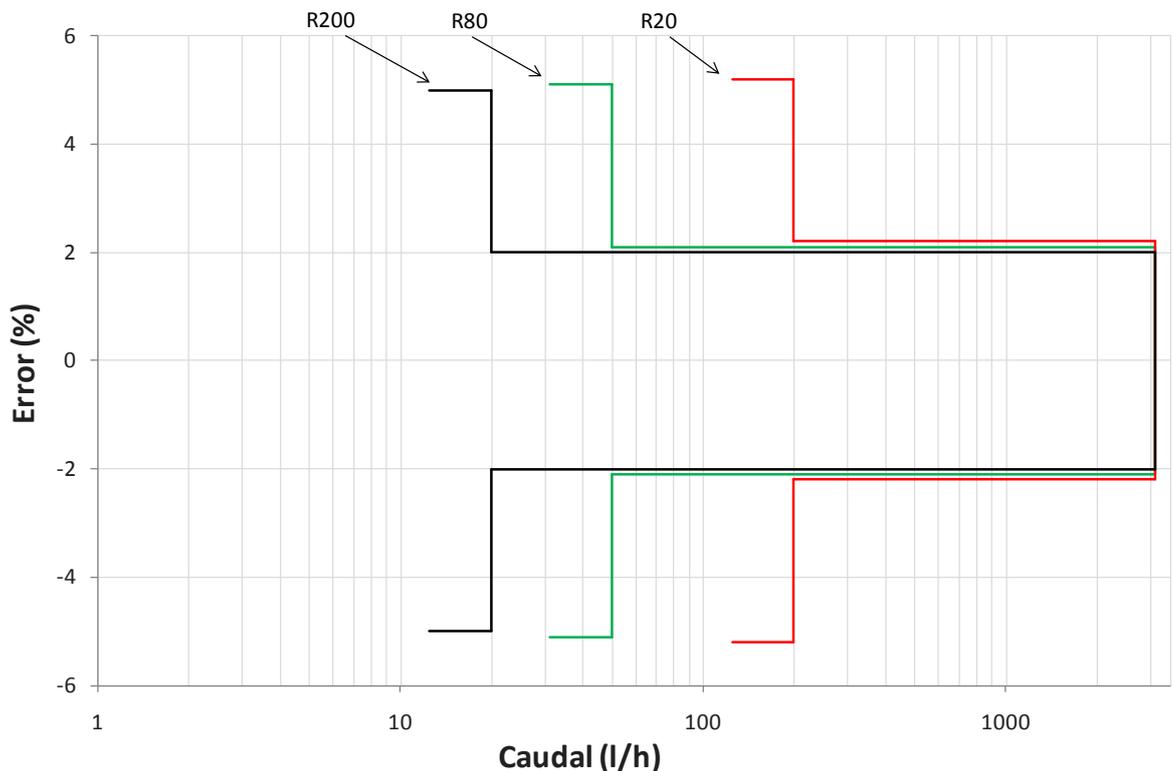
- El valor del ratio Q_3/Q_1 podrá ir precedido en la marcación del contador con la letra R. De este modo, un contador con un valor de este ratio igual a 200 será denominado R200. Las clases metrológicas no se definen explícitamente en esta

nueva norma, sino que surgen como resultado de los distintos valores que puede adoptar el ratio $R(Q_3/Q_1)$, ya que Q_2 y Q_4 quedan inequívocamente definidos a partir de Q_1 y Q_3 , respectivamente.

- El caudal de transición Q_2 se establece a partir del ratio Q_2/Q_1 , para el que se define un único valor de 1.6. Sin embargo, durante un periodo de transición de 5 años se admitirán los valores: 1.5, 2.5, 4 y 6.3.
- El caudal de sobrecarga Q_4 se define a partir del ratio Q_4/Q_3 , para el que se establece un único valor de 1.25.
- El error máximo permitido para los dos rangos de caudales, delimitados por el caudal de transición, queda fijado en los siguientes valores:
 - $\varepsilon_1 = \pm 5\%$
 - $\varepsilon_2 = \pm 2\%$ para $T \leq 30^\circ\text{C}$
 - $\varepsilon_2 = \pm 3\%$ para $T > 30^\circ\text{C}$

A modo de ejemplo, en la figura 8 se representan los límites de error para contadores de agua fría con Q_3 igual a $2.5\text{m}^3/\text{h}$ y tres valores del ratio Q_3/Q_1 .

FIGURA 4. LÍMITES DE ERROR CONTADOR DOMÉSTICO CON $Q_3 2.5\text{m}^3/\text{h}$



- La presión de trabajo mínima admisible es fija e igual 0.3 bar para todos los contadores. Por el contrario, según la presión máxima de trabajo, los contadores se clasifican en las clases mostradas en la tabla 6.

- Las temperaturas de trabajo máxima y mínima admisibles clasifican los contadores en las clases mostradas en la tabla 7.
- La máxima pérdida de presión que el contador puede provoca en condiciones normales de operación a caudal permanente Q_3 , es de 0.63 bar. Por debajo de esta cifra, los contadores se clasifican en las clases mostradas en la tabla 8.

TABLA 5. CLASES DE CONTADOR SEGÚN PRESIÓN MÁX. DE TRABAJO.

Clase	Presión máxima de trabajo (bar)
MAP 6	6
MAP 10	10
MAP 16	16
MAP 25	25
MAP 40	40

TABLA 6. CLASES DE CONTADOR SEGÚN TEMPERATURA DE TRABAJO.

Clase	Temperatura de trabajo (°C)	
	Mínima	Máxima
T30	0.1	30
T50	0.1	50
T70	0.1	70
T90	0.1	90
T130	0.1	130
T180	0.1	180
T30/70	30	70
T30/90	30	90
T30/130	30	130
T30/180	30	180

TABLA 7. CLASES DE CONTADOR SEGÚN PÉRDIDA DE PRESIÓN MÁX.

Clase	Pérdida de presión máxima (bar)
ΔP 63	0.63
ΔP 40	0.4
ΔP 25	0.25
ΔP 16	0.16
ΔP 10	0.10

- Como una de las principales novedades, la nueva norma ISO 4064:2005 clasifica los instrumentos en función de la influencia que una posible perturbación en el perfil de velocidades entrante pudiese ejercer sobre el error de medición del

contador. Dicha sensibilidad respecto a irregularidades en el perfil de velocidades queda establecida en las clases mostradas en la tabla 9, para las perturbaciones aguas arriba del contador, y la tabla 10 para las perturbaciones aguas abajo. Cada una de las clases indica la longitud de tubería recta que el contador necesita en cada extremo, expresada en múltiplos de su diámetro nominal, y la posible exigencia adicional de un estabilizador de flujo para garantizar que el error de medición se mantenga dentro de los límites requeridos ϵ_1 y ϵ_2 .

- Las condiciones climáticas y mecánicas presentes en el entorno de operación del contador se toman en consideración definiendo tres clases al respecto:
 - Clase *B*: Contadores fijos instalados en interior.
 - Clase *C*: Contadores fijos instalados en exterior.
 - Clase *I*: Contadores móviles.

Para cada una de estas clases, se define un nivel concreto de severidad en cuanto a calor seco, calor húmedo, frío, vibraciones y golpes, que deberá considerarse en los correspondientes ensayos en laboratorio.

TABLA 8. CLASES DE CONTADOR SEGÚN SENSIBILIDAD A DISTORSIÓN EN AGUAS ARRIBA.

Clase	Longitud de tubería necesaria (xDN)	Necesidad de estabilizador
U0	0	No
U3	3	No
U5	5	No
U10	10	No
U15	15	No
U0S	0	Sí
U3S	3	Sí
U5S	10	Sí
U10S	15	Sí

TABLA 9. CLASES DE CONTADOR SEGÚN SENSIBILIDAD A DISTORSIÓN EN AGUAS ABAJO.

Clase	Longitud de tubería necesaria (xDN)	Necesidad de estabilizador
D0	0	No
D3	3	No
D5	5	No
D0S	0	Sí
D3S	3	Sí

- Las condiciones electromagnéticas presentes en el entorno de operación del contador se clasifican en dos clases:
 - Clase E1: Entorno doméstico, comercial y de industria ligera.
 - Clase E2: Entorno de industria pesada.

Para cada una de estas clases, se define un nivel concreto de severidad en cuanto a descargas electrostáticas, campos de emisión de radiofrecuencias, sobrecargas y transitorios/averías eléctricas, que deberá considerarse en los correspondientes ensayos de laboratorio.

- El dispositivo indicador de cada contador dispondrá de un rango mínimo de lectura, en metros cúbicos, que queda fijado en función del valor Q_3 , tal y como muestra la tabla 11.

TABLA 10. RANGOS MÍNIMOS DE LECTURA PARA EL DISPOSITIVO INDICADOR.

$Q_3(\text{m}^3/\text{h})$	Rango mínimo de lectura (m^3)
$Q_3 \leq 6.3$	9999
$Q_3 \leq 63$	99999
$6.3 < Q_3 \leq 630$	999999
$630 < Q_3 \leq 6300$	9999999

2.3.2 Normativa CEN

Actualmente, se encuentran aprobadas dos normas europeas preparadas por el Comité Europeo de Normalización (CEN). Una referente a contadores de agua limpia potable (EN 14154:2005) y otro para contadores de riego (EN 14268:2005).

La norma EN 14154 en su conjunto se compone de tres partes diferentes:

1. Requerimientos generales.
2. Instalación y condiciones de uso.
3. Equipamiento y métodos de ensayo.

En los aspectos básicos, esta norma coincide prácticamente en su totalidad con la norma ISO 4064:2005, por lo que todo lo representado en el apartado anterior es perfectamente aplicable a la norma europea.

La norma EN 14286 es relevante para algunas aplicaciones en la industria del agua en las cuales el agua no esté limpia, o se utilice para propósitos fuera del ámbito de aplicación de la Directiva europea 2004/22/CE y de la norma EN 14154.

2.4 LEGISLACIÓN

El objetivo de este subcapítulo consiste en proporcionar una visión global de todo lo relativo a la normativa propia de los contadores de agua domésticos: desde la legislación anterior hasta los diferentes documentos actualmente en vigor, destacando sus aspectos de mayor interés y estableciendo las comparaciones más relevantes.

La Directiva de la Unión Europea que actualmente se aplica a los contadores de agua es la Directiva 2004/22/CE de 31 de marzo de 2004 relativa a los instrumentos de medida. Esta directiva derogó a los dos directivas anteriores 75/33/CEE (contadores de agua fría) y 79/830/CEE (contadores de agua caliente). Sin embargo, la aprobación de modelo de los contadores según dichas Directivas tiene una validez de 10 años, motivo por el cual los requisitos de las anteriores Directivas pueden estar presentes en los modelos fabricados hasta el 2015 (la nueva directiva sólo se convirtió en obligatoria en octubre de 2006).

En la Directiva 2004/22/CE se definen los requisitos esenciales de carácter general que debe cumplir cualquier instrumento de medida, y los requisitos específicos para cada tipo de instrumento. La directiva reconoce al CEN como organismo autorizado para elaborar normas armonizadas que permitan evaluar la conformidad de los instrumentos con la nueva Directiva.

Los requisitos esenciales definidos en la Directiva comunes a todo tipo de instrumentos hacen referencia a las características que éstos deben cumplir para asegurar un elevado grado de protección a las partes implicadas en una transacción comercial resultante de la medida de una variable. Según la Directiva, los instrumentos deben diseñarse de tal modo que el usuario pueda tener un elevado grado de seguridad sobre el resultado de la medición.

Los requisitos específicos, relativos a los contadores de agua no son extensos. Básicamente, se definen los caudales: mínimo, de transición, permanente y de sobrecarga, al igual que en la recomendación de la OIML R49:2006-1 y en las normas ISO 4064:2005 y EN-14154:2005.

La transposición de la Directiva al derecho interno español se realiza a través del RD889 del 21 de julio de 2006.

Como se ha visto la Directiva 2004/22/CE deroga parcialmente a la Directiva 75/33/CEE para contadores de agua limpia, de uso residencial, comercial e industria ligera. Por tanto la Directiva 75/33/CEE continua vigente cuando se mida con contadores mecánicos agua no limpia y consumo de agua que sea diferente al uso residencial, comercial e industria ligera.

Con el fin de cubrir los vacíos legales que da lugar la derogación parcial, en España, se desarrolla la orden ITC/279/2008 de 31 de enero, por la que se regula el control metrológico del estado de los contadores de agua fría, tipos A y B (definiéndose tipo A como contador no mecánico y tipo B como mecánico). Esta Orden aplica a contadores destinados a medir agua no limpia y contadores para usos diferentes al residencial, comercial e industria ligera.

En el marco actual los contadores mecánicos destinados a medir agua limpia o para usos residencial, comercial e industria ligera, se rigen mediante RD889/2006 en fase de comercialización y puesta en servicio. En lo referente a la medición de agua no limpia y otros usos diferentes a los citados, estos contadores se rigen por la Directiva 75/33/CEE cuando sea la fase de comercialización y puesta en servicio, y por la ITC/279/2008 en fase de instrumentos en servicio: verificación después de la reparación o modificación y en fase de en servicio: verificación periódica.

Los contadores no mecánicos se rigen por la misma legislación, RD889/2006, que los mecánicos en medición de agua limpia y de usos residencial, comercial e industria ligera. En medición de agua no limpia y usos diferentes a los descritos, se aplica la Orden ITC/279/2008 en todas sus fases (comercialización y puesta en servicio y de instrumentos en servicio).

Capítulo 3

Descripción de ensayos

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan los materiales, procedimientos de ensayo y estudios realizados para evaluar los diferentes modelos y llegar a la determinación del error global de medición de contadores domésticos nuevos. Para el desarrollo de este trabajo se ha utilizado un banco de ensayos de contadores de agua de pequeño diámetro, permite ensayar contadores de 13 y 15 mm.

Los contadores empleados en los ensayos han sido cedidos por el Consorcio de Aguas de Guipúzcoa. No se detallarán las marcas ni modelos de los mismos debido a que queremos preservar la privacidad de los fabricantes. Nos referiremos a ellos según la tipología metrológica que distingue la ISO 4064:1993 y la análoga del 2005.

El primer estudio evalúa diez modelos de contadores con el fin de analizar las diferencias, en cuanto a reproducibilidad, a diferentes rangos de caudales. Asimismo, se persigue obtener una idea de la calidad del sistema productivo del fabricante mediante un análisis de variabilidad para un mismo modelo y comparativamente entre varios modelos.

Con el segundo estudio se quiere comprobar el comportamiento de los modelos a un amplio rango de caudales, de esta manera se puede detallar el rendimiento de los contadores a caudales intermedios y precisar las diferencias entre modelos. Esto da una mayor comprensión del comportamiento de los contadores domésticos a caudales bajos, siendo la zona más sensible a los errores de medición y problemática de cara a determinar el consumo real del usuario. Igualmente, mediante este estudio se cuantifica el número de ensayos necesarios para controlar de forma óptima la calidad de las partidas.

El tercer estudio se focaliza en la estandarización del cálculo del error de medición, a partir de la propuesta de un patrón de consumo y de los caudales de ensayo para la totalidad de los contadores domésticos. Para llegar a la estandarización, nos basaremos en el punto del estudio anterior donde se desarrolla la dispersión del error de medición en función del número de caudales ensayados. Los resultados de esta fase pueden ser un referente para empresas que estén interesadas en realizar un control de las partidas de contadores, o como alternativa para aquellas que ya disponen de un procedimiento propio.

3.2 CÁLCULO DEL ERROR DE MEDICIÓN

3.2.1 Introducción

Los contadores no registraran el consumo de agua con la misma exactitud para cualquier caudal circulante. Es decir, el error cometido en la medición no es constante en todo el rango. En general las variaciones son mínimas a caudales medios y altos, mientras que a caudales bajos la curva de error evoluciona bruscamente desde el caudal de arranque hasta un nivel cercano al caudal mínimo. Por ello, si no se conocen los caudales que circulan por un contador es imposible determinar el porcentaje de agua que registrará de más o de menos. Se puede ver que para un mismo contador, dependiendo de las características del usuario, registre su consumo con una extraordinaria exactitud o incurra en un error reseñable.

Como se ha visto en la *figura 1* gran parte del error global del contador se produce a consumos bajos originados por fugas en instalaciones interiores (principalmente en las cisternas de los inodoros), o por la presencia de depósitos de almacenamiento intercalados entre el contador y los puntos de consumo. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, se concluye que para determinar el error de medición de un parque de contadores de un abastecimiento se requiere conocer dos parámetros. Por un lado, las curvas de error actuales de los diferentes tipos de contador instalados y, por otro, los caudales de consumos de los diferentes usuarios (patrón de consumos).

La curva de error se obtiene en un banco de ensayo en laboratorio. Sin embargo, el patrón de consumo es más costoso de obtener y está sujeto a mayores incertidumbres y dificultades. En este sentido, han aparecido diversas publicaciones en las que se describe la metodología y se facilita información sobre el consumo en viviendas. No obstante, el alcance de estos estudios es muy limitado por lo que las conclusiones no son extrapolables a la mayoría de abastecimientos.

Se seguirán los sucesivos pasos que se describen a continuación, con el fin de determinar la cantidad (%) de agua no registrada por errores en los contadores. Primero, se debe clasificar los contadores en grupos de características similares (edad, modelo de contador, volumen acumulado, tecnología, etc. A continuación, se clasifican los diferentes usuarios de la red en función del consumo de caudales esperado, haciendo hincapié en los que se puedan producir en los rangos inferior y superior, y atendiendo a la presencia de depósitos de almacenamiento domiciliarios y la tipología de la vivienda.

En este apartado se ha dado una idea general de cómo debe estimarse el error de medición en un parque de contadores. No entraremos en detalle en la determinación del patrón de consumo ya que no es una parte relevante del presente trabajo. Sin embargo, detallaremos y describiremos de manera general y particular la determinación de la curva de error.

3.2.2 Determinación del patrón de consumo

Se ha visto la importancia que tienen los caudales de consumo de agua de los usuarios en el error con que se registra dicho consumo. Por lo que se hace fundamental establecer cuidadosamente el volumen de agua que se consume en el rango inferior de medida de los contadores, puesto que estas demandas son las que mayores errores de contaje generan y por lo tanto las que más acentúan la incertidumbre de la medida.

Los patrones de consumo seleccionados para el desarrollo del análisis de los contadores domésticos se han extraído de bibliografía. Los autores han desarrollado proyectos de caracterización de patrones de consumo en España considerando residencias con y sin depósitos domiciliarios. El número de cada fila indica el porcentaje de consumo que se produce en cada rango de caudales.

TABLA 11. PATRONES DE CONSUMO TIPO I Y II.

Caudal	Tipo I	Tipo II
0-12 l/h	4.7%	10.0%
12-24 l/h	2.8%	3.1%
24-36 l/h	1.9%	1.8%
36-72 l/h	4.3%	4.2%
72-180 l/h	8.5%	11.6%
180-900 l/h	40%	50%
900-1500 l/h	35.7%	19.3%
1500-3000 l/h	1.9%	0.0%
>3000 l/h	0.2%	0.0%
Consumo medio	Aprox:500 l/día	Aprox:500 l/día

TABLA 12. PATRÓN DE CONSUMO AGUAS DE VALENCIA.

Caudal	Aguas de Valencia
0-10 l/h	5.01%
10-20 l/h	2.28%
20-30 l/h	2.37%
30-60 l/h	3.34%
60-120 l/h	1.95%
120-240 l/h	6.46%
240-500 l/h	35.87%
500-1000 l/h	37.84%
1000-2000 l/h	4.65%
2000-3000 l/h	0.23%
>3000 l/h	0.0%

Vivienda Tipo I: Apartamentos en edificios con alimentación directa de la red o de un equipo de bombeo.

Vivienda Tipo II: Apartamentos en edificios con alimentación desde depósito elevado.

Aguas de Valencia: Representa al patrón de consumo de la ciudad de Valencia, donde la alimentación es directa desde la red. Los datos han sido cedidos por la empresa de abastecimiento Aguas de Valencia.

Como se puede apreciar, los tres patrones presentan el mayor porcentaje de consumo entre 200-1500 l/h. Por otra parte, observando los caudales de consumo máximos de cada tipo de vivienda puede concluirse que las demandas muy raramente exceden de los 1500 l/h, caudal nominal típico de un contador doméstico.

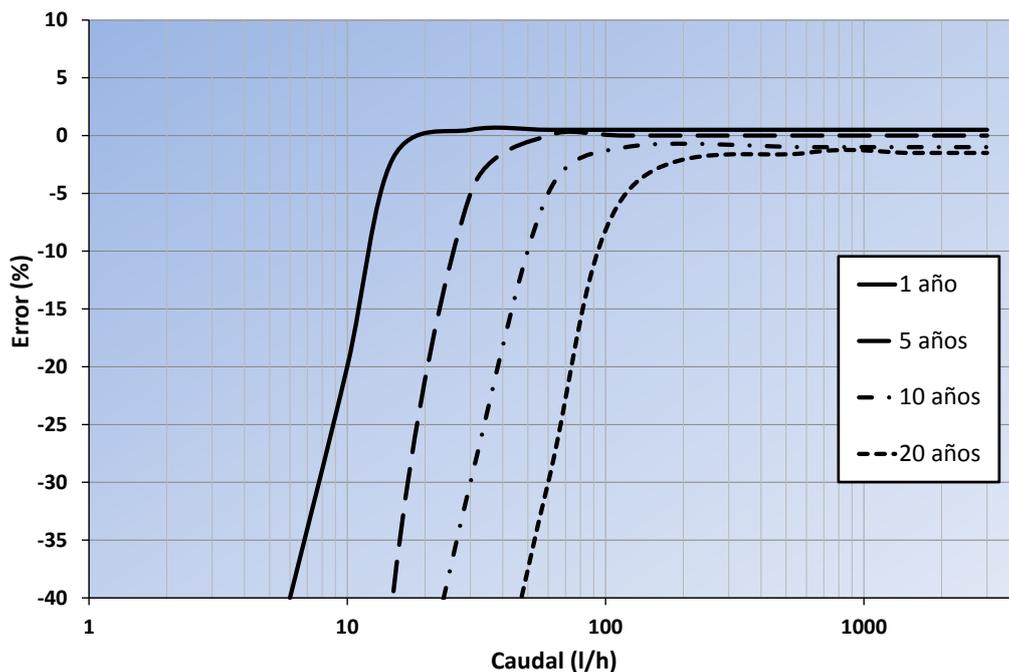
Es evidente la diferencia en el rango más inferior entre la *Vivienda Tipo II* y las otras dos restantes. Se debe principalmente a que el nivel del agua en el depósito controla la apertura de la válvula de llenado, por lo que salvo en consumos excepcionales ésta no se abre completamente, dejando circular únicamente caudales bajos. Este es el motivo por el que en estos casos el contador trabaja permanentemente en la zona inferior del rango de medida. Esto se ve reflejado en los pesos de consumo, mientras que en las viviendas de alimentación directa el rango entre 0 y 30 l/h no llega al 10%, en las viviendas con alimentación desde depósito alcanza el 15%. Por tanto, los errores a pequeños caudales tendrán más peso en el último tipo de alimentación.

3.2.3 Determinación de la curva de error

La rapidez y el modo en que evoluciona la curva de error definen la capacidad del instrumento para medir con exactitud los consumos de agua a lo largo de su vida. Evidentemente, no todas las tecnologías de contador sufren el mismo tipo de degradación, e incluso para una misma tecnología existen diferencias importantes dependiendo de la construcción y calidad de acabados. Además, parámetros externos pueden afectar a cada modelo de distintas maneras. Por ello, es necesario realizar un estudio específico para conocer la evolución de la curva de error de cada tipo de contador.

Estudios realizados (Arregui et al, 2003) han comprobado que el desgaste de las piezas móviles tiene un mayor impacto en el error a caudales bajos, mientras que a caudales medios y altos el error se mantiene estable en el tiempo. En consecuencia los consumos que afectarán en mayor medida al error de medición de un contador serán los que tienen lugar a caudales bajos.

FIGURA 5. DEGRADACIÓN DE LA CURVA DE ERROR



No obstante, resulta muy laborioso determinar la curva de error detallada de un contador. En primer lugar es necesario seleccionar los caudales a los cuales se ensayarán los contadores para reconstruir su curva de error. Tal y como se detallará más adelante, este es un paso que se realiza sin concederle la importancia que realmente tiene.

Una vez decidido a qué caudales se ensayarán los contadores, debe planificarse el muestreo de modo que se acote la incertidumbre hasta los niveles deseados y se cubran los diferentes modelos de los medidores del parque (Arregui et al. 2007).

3.2.3.1 Selección de los caudales de ensayo

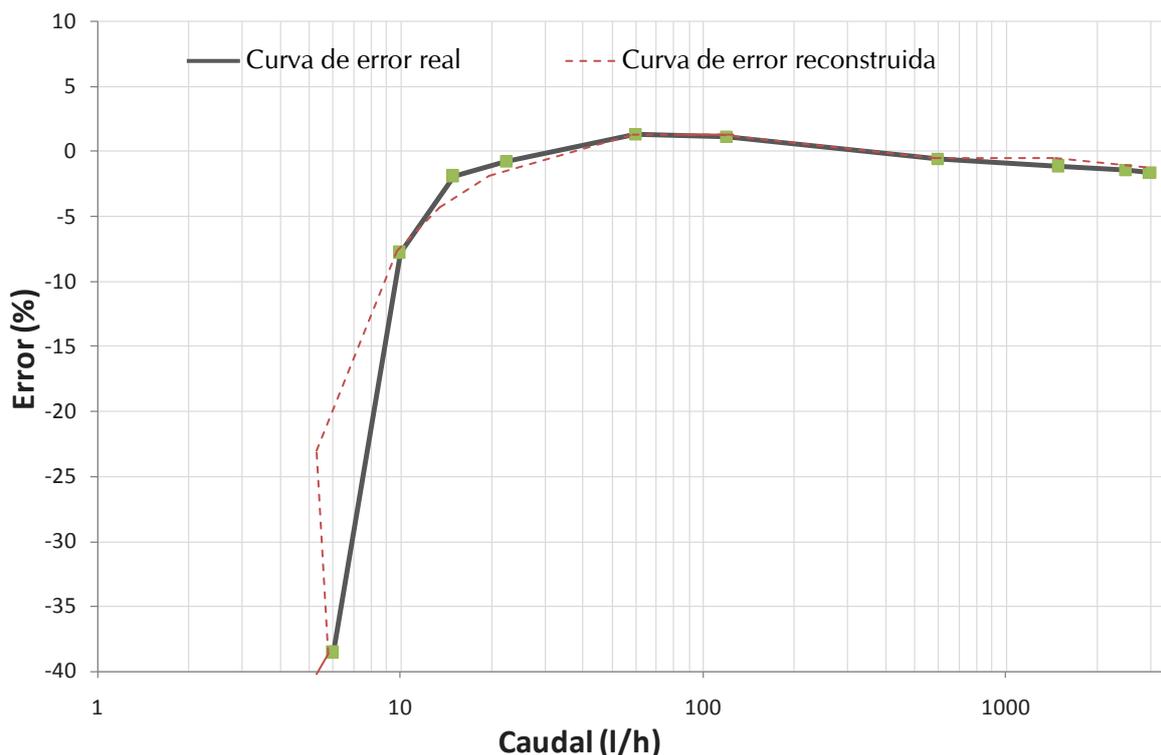
Tradicionalmente para definir la curva de error se eligen tres caudales, uno en el rango inferior, otro en el medio y el último en el rango superior. Estos caudales suelen ser Q_1 , Q_2 y Q_3 o Q_4 para los contadores regidos por la nueva normativa ISO 4064:2005, y Q_{\min} , $Q_{\text{transición}}$ y Q_{nominal} o $Q_{\text{sobrecarga}}$ para la ISO 4064:1993.

Hay algunos autores, como Yee (1999) y Allender (1996), que recurren a los caudales recomendados por los estándares de la AWWA para calcular el error de los contadores domésticos. En este estándar, el error es constante para cada rango de caudales, es decir que el error a 6 l/h, verbigracia, es igual al de 15 l/h, para el rango inferior. Por lo tanto, el error a caudales bajos no es representativo del error del contador en el rango inferior.

A fin de justificar el empleo de estos estándares y la deficiente reconstrucción de la curva de error, se alega que el consumo de caudales en rangos inferiores es muy pequeño. Sin embargo, esta afirmación no es siempre correcta. La experiencia ha demostrado que es a caudales bajos cuando los errores de medida son más importantes, por lo que es en esta zona donde debe definirse con mayor detalle la curva de error. Para ello, hemos de conocer el caudal de arranque, o una estimación del mismo.

De forma general se ha recomendado ensayar el contador, en el rango inferior, a caudal mínimo y a otro caudal entre el mínimo y el de transición. A caudales medios y altos, con ensayos de dos caudales entre 500 l/h y 1500 l/h sería suficiente, teniendo en cuenta que los consumos rara vez están por encima de los 1500 l/h y que el error es muy similar en este rango de caudales. El error a partir del último caudal se considera estable salvo por un posible desacoplamiento entre la turbina y el totalizador. Los errores a caudales diferentes de los de ensayo se pueden obtener mediante una interpolación lineal entre los datos disponibles.

FIGURA 6. CURVA DE ERROR RECONSTRUIDA DISPONIENDO DEL CAUDAL DE ARRANQUE Y REALIZANDO UNA INTERPOLACIÓN LINEAL



Para la conclusión de los objetivos marcados en el Trabajo Fin de Máster, y tal como se verá más adelante, el número de caudales seleccionados para los diferentes modelos difieren levemente de las consideraciones generales. Por una parte, queremos evaluar, para el primer estudio, la reproducibilidad y variabilidad de los aparatos a diferentes rangos de caudales, razón por la cual requeriremos de un número mayor de caudales, específicamente entre nueve y diez para los análisis citados, siendo los valores

de partida los característicos del modelo (Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4 , y sus iguales de la ISO 4064:1993). Por otra parte, se desea obtener un mayor entendimiento de la precisión a bajos rangos de caudal con el fin de mejorar la medición de los modelos y fijar unas futuras medidas estándar, a la vez que comprobar el comportamiento de la curva de error a caudales intermedios y precisar las diferencias entre los distintos modelos, para el segundo estudio. Para tal fin, seleccionamos los caudales que nos permitan el estudio minucioso de la curva de error en toda su extensión. Se estimaron treinta y un caudales, análogos a todos los modelos ensayados.

TABLA 13. CAUDALES DE LOS CONTADORES PARA LOS ENSAYOS DE REPRODUCIBILIDAD Y VARIABILIDAD

Modelo	Caudales (l/h)
Modelo 1	6-10-15-22.5-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 2	6-12.5-20-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 3	6-10-15-30-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 4	6-10-20-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 5	6-10-15-25-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 6	6-10-15-30-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 7	6-12.5-20-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 8	6-10-15-30-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 9	6-10-15-22.5-60-120-600-1500-2500-3000
Modelo 10	5-8-15-30-60-120-600-1600-2000

3.2.3.2 Cálculo del error de medición

Una vez obtenidos el patrón de consumo de los usuarios y la curva de error de los contadores instalados, se está en disposición de poder calcular el porcentaje del consumo que registran los medidores. Para tal fin se procede a ponderar el porcentaje del volumen registrado en un determinado rango de consumo, por el error de medición obtenido del ensayo en el banco de contadores en el mismo rango de consumo.

Algunas simplificaciones que se proponen en la bibliografía técnica, por ejemplo las recomendaciones publicadas por la AWWA (1999), pueden conducir a resultados incorrectos como se demuestra en Arregui (1998), al no considerar en la ponderación el caudal de arranque de los contadores o el volumen no registrado por ser consumido a caudales inferiores al de arranque.

De acuerdo con la ISO 4064:1993, los caudales de ensayo para un contador serán 30 l/h, 120 l/h y 1500 l/h.

Según este método, la ponderación se realizaría multiplicando el porcentaje de consumo de cada rango por el error de medición en el mismo. En el caso de usuarios

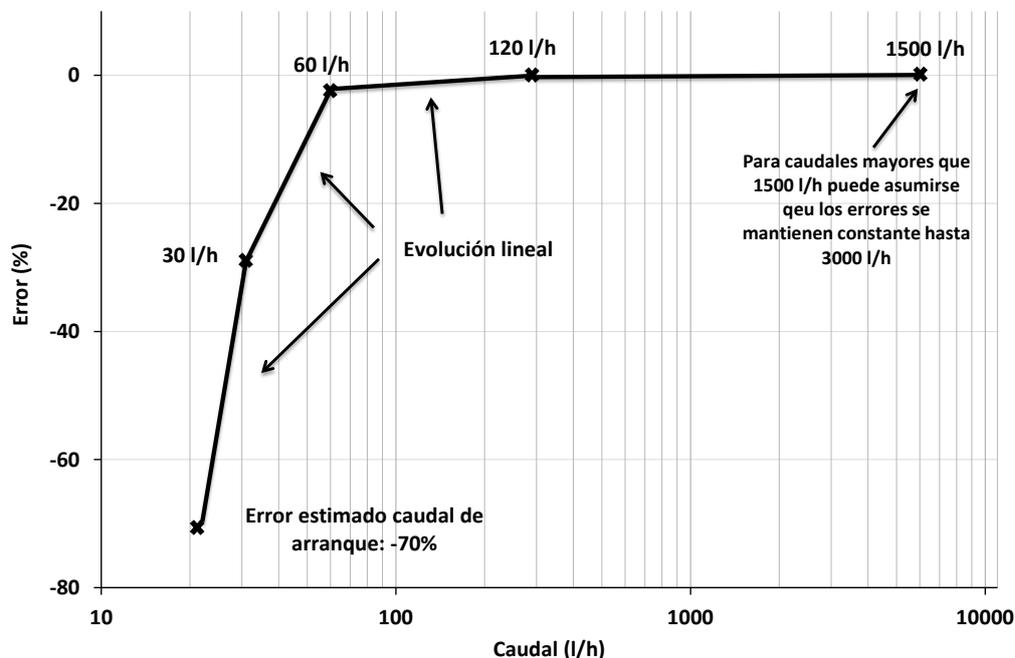
domésticos con el patrón de consumo característico de una vivienda alimentada desde red (Tabla 11), la fórmula quedaría:

$$Error\ global = 0.094 \cdot E(30\ l/h) + 0.128 \cdot E(120\ l/h) + 0.778 \cdot E(1500\ l/h)$$

Siendo 0.094, 0.128 y 0.778 la fracción del volumen consumido en cada rango de caudal (su suma es 1). Obviamente, el error global depende de la distribución de volúmenes consumidos a cada caudal.

Tras consultar diversos estudios realizados mediante este método podemos afirmar que el error de medición en aquellas instalaciones con mayor índice de fugas, caudales bajos, es significativamente mayor que en las tipologías con menor porcentaje consumo en los rangos inferiores.

FIGURA 7. RECONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE ERROR A PARTIR DE LOS DATOS DEL ERROR A 30, 120 Y 1500 L/H.



Según Arregui (2007), asumir que la totalidad del consumo a caudales bajos se registra con un error igual al que presenta el contador a 30 l/h es incorrecto, ya que como se ha indicado a rango de caudales bajos el error no es constante para todos. Por ello, propone un método de ponderación, que en el trabajo se seguirá, basado en las siguientes consideraciones:

- Respecto a la curva de error
 - El error de medición a caudal de arranque es del 70 %
 - La evolución será lineal entre los caudales de error conocido
- Respecto al patrón de consumo
 - En cada intervalo de caudales el consumo está repartido uniformemente.

- Respecto al error de medición global
 - Todo el volumen consumido por debajo del caudal de arranque no se registra.
 - 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.

Las discrepancias entre el procedimiento descrito por Yee y Allender y el de Arregui se encuentra en que el primero (AWWA) no tiene en cuenta qué parte del consumo a caudales bajos no se registra por ocurrir a caudales inferiores al de arranque del contador.

3.3 SERIE DE CONTADORES RECIBIDOS

Los diferentes contadores domésticos que se ensayan han sido cedidos por el Consorcio de Aguas de Guipúzcoa, siendo un total de 300 unidades, de las cuales 90 corresponden a contadores volumétricos y los restantes a contadores de chorro único.

A continuación se detallarán en la tabla los modelos que se emplearon en el Trabajo Fin de Máster. Los caudales mostrados (Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4) son los que definen la metrología del contador en la ISO 4064:2005. Los relativos a la ISO 4064:1993 son, Q_{min} , Q_t , Q_p y Q_s .

TABLA 14. MODELOS DE CONTADORES

Modelo	Tecnología	Clase	Normativa	Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 (l/h)
Modelo 1	Chorro único	C	ISO 4064:1993	15-22.5-1500-3000
Modelo 2	Chorro único	R200	ISO 4064:2005	12.5-20-2500-3125
Modelo 3	Chorro único	B	ISO 4064:1993	30-120-1500-3000
Modelo 4	Chorro único	R125	ISO 4064:2005	20-32-2500-3125
Modelo 5	Chorro único	R100	ISO 4064:2005	25-40-2500-3125
Modelo 6	Chorro único	B	ISO 4064:1993	30-120-1500-3000
Modelo 7	Volumétrico	R200	ISO 4064:2005	12.5-20-2500-3125
Modelo 8	Chorro único	B	ISO 4064:1993	30-120-1500-3000
Modelo 9	Volumétrico	C	ISO 4064:1993	15-22.5-1500-3000
Modelo 10	Volumétrico	R315	ISO 4064:2005	5.1-8.1-1600-2000

Como se ha indicado, se han recibido 10 modelos, cada uno de ellos con 30 contadores, dándose la tecnología de medición de pistón rotativo (volumétrico) en 90 de ellos y la de chorro único en 210. Por tanto, se dispone de una amplia representación de los contadores domésticos que se pueden encontrar en el mercado, 7 modelos de chorro único y 3 volumétricos.

En cuanto a las normativas que los regulan se aprecia que hay equidad, 5 modelos están regulados por la ISO 4064:1993 y los otros 5 por su homóloga del 2005. Aunque dos modelos del primer grupo ya han sido certificados por la ISO del 2005, como garantizan sus fichas técnicas.

3.4 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

3.4.1 Introducción

Uno de los fundamentos en los que se apoya la gestión del parque de contadores es el control metrológico de los mismos, sin diferenciar los usados de los que se adquieren nuevos. En general toda la información empleada en los métodos propuestos para el análisis del error del parque se extrae de los ensayos del error de medición.

De ahí que resulte importante realizar los ensayos de error de manera sistemática, con los procedimientos correctamente definidos, y con la mayor exactitud posible. Hay que tener en cuenta que en la mayoría de las ocasiones los resultados obtenidos de tales ensayos se utilizarán sin cuestionar la validez de los mismos, por lo que un procedimiento de ensayo erróneo conducirá a conclusiones equivocadas, provocando consecuentemente pérdidas económicas de considerable magnitud al abastecimiento. Esta parte del trabajo se centra en describir los procedimientos y equipos de ensayo empleados en la obtención de los resultados fiables y fidedignos de las pruebas de error.

3.4.2 Descripción del banco de ensayo

El banco de ensayo está compuesto por un depósito de aspiración, un grupo de bombeo, un tanque hidroneumático, varios filtros a lo largo del banco, válvulas de control y seccionamiento, cronómetro con puesta a cero, manómetros, caudalímetros de control utilizados para ajustar el caudal circulante, una sección sobre la que montar los contadores a ensayar y por último, al final de la línea de ensayo, se sitúa los tanques volumétricos.

El depósito de aspiración, aun estando la sección de ensayo llena de agua, tiene la suficiente capacidad para evitar la cavitación de la bomba, siendo el nivel del mismo suficiente. La bomba es de velocidad fija, parando y arrancando mediante consignas de presión del tanque hidroneumático, lo que evita superar el número máximo de arranques y paradas de la bomba.

En la fase de ensayo, la presión en la impulsión de la bomba deberá ser suficiente para vencer las pérdidas de carga producidas por los contadores y la instalación. Aguas abajo del grupo de bombeo se encuentra ubicado un depósito hidroneumático cuya función es reducir las vibraciones generadas por las bombas, que resultan inmensamente desfavorables en la validez de los ensayos, especialmente a

caudales bajos. Otra función que desarrolla el calderín es surtir a los ensayos cuando la bomba está parada, debiendo ser precavidos durante esta maniobra y anticiparse a la bajada de presión que haga que el caudal varíe más de lo permitido, para evitar esta situación se cuenta con un compresor. Esta solución permite llevar a cabo los ensayos con una presión en la entrada totalmente libre de vibraciones.

A la entrada de los caudalímetros hay instalado un filtro con el fin de evitar que las posibles partículas llegadas del depósito de aspiración dañen los instrumentos. Cobra especialmente importancia su presencia al tratarse de caudalímetros electromagnéticos de diámetro reducido.

Los caudalímetros instalados se utilizan como mecanismo para ajustar el caudal de los contadores ensayados. La exactitud exigida será suficiente con un error del 2% en rangos elevados de caudal, y entre el 3 y el 4% en rangos inferiores de caudal. Debemos ser extremadamente cautelosos en la elección de los rangos de funcionamiento de tal modo que se garantice en todo el rango de caudales un error inferior a los citados. En nuestro banco de pruebas se han instalado dos para cubrir satisfactoriamente el rango de medida (5 l/h a 3000 l/h) con la exactitud deseada.

FIGURA 8. BANCO DE ENSAYOS DE CONTADORES DE AGUA



La sección de ensayo ha de diseñarse de manera que se pueda aislar hidráulicamente del resto de los componentes mediante las válvulas de seccionamiento, se cuentan en número de dos y están situadas aguas arriba y debajo de la sección de ensayo, la de aguas abajo es una válvula neumática regulada por consignas de nivel. Las válvulas de regulación las encontramos aguas abajo de la citada sección, las cuales permiten ajustar el caudal de prueba de los contadores. Un punto a tener en cuenta para mantener estables los caudales bajos durante el ensayo es la calidad de estas válvulas. Por el contrario, la regulación a caudales medios y altos es mucho menos estricta. Encontramos a lo largo de la conducción un conjunto de válvulas de corte que sirven para conducir el caudal por las secciones deseadas según el tipo de ensayo. Estas mismas válvulas se emplean en el purgado de todas las secciones del banco. La figura 9 muestra la sección de ensayo montada con 5 contadores de 13/15 mm.

FIGURA 9. CAUDALÍMETROS ELECTROMAGNÉTICOS, VÁLVULAS DE REGULACIÓN Y CRONÓMETRO



El elemento que recoge el caudal bombeado en los ensayos es un tanque volumétrico. Este banco de ensayos, concretamente, cuenta con dos depósitos, lo que nos permite realizar ensayos en un rango de caudal relativamente amplio.

Los depósitos instalados son de acero inoxidable, con el fin de evitar cambios en el volumen relacionados con la dilatación térmica del material o las deformaciones en las paredes.

El vaciado de los tanques se hace por la toma inferior que conecta con el depósito de almacenamiento donde se encuentra la bomba.

El ensayo finaliza en el momento que el agua del depósito alcanza el nivel deseado, controlado por un sensor de nivel. Dicho sensor dispara la válvula neumática (corte) situada al final de la sección de ensayo y previa a los caudalímetros.

La válvula neumática está controlada electrónicamente mediante un cuadro de mandos que también conecta con los sensores de nivel de los tanques volumétricos y con un cronómetro, de manera que al accionarse la apertura de la misma se activan los sensores y el cronómetro empieza a contar, al alcanzarse el volumen de ensayo la válvula se cierra y el cronómetro para.

3.4.3 Procedimiento de ensayo en laboratorio

A la hora de llevar a cabo el ensayo para determinar la curva de error se realiza el siguiente procedimiento que se describe a continuación:

1. Se procede a montar en el banco de ensayos la tanda de contadores que queremos probar. El montaje se realiza de aguas abajo a aguas arriba, debido a que el mecanismo que sella la conducción se encuentra junto a la válvula de corte, a su vez situada aguas arriba de los medidores. Una vez que se han colocado todos los contadores, nos aseguramos que están alineados y que su orientación es totalmente perpendicular a la conducción. No hemos de preocuparnos por la distancia entre contadores, ya que el banco está preparado para que sea la suficiente para no distorsionar la medición en todos ellos. Un factor importante es montar los contadores en el sentido adecuado, es general que el fabricante coloque en la carcasa el sentido de circulación del caudal.
2. Se abre la válvula de corte colocada aguas arriba de los contadores de manera progresiva para ir llenando la sección de ensayo y no alterar el estado de los mismos, ya que un llenado brusco podría dañar a cualquier parte móvil del contador. Si la válvula de corte (válvula neumática) situada aguas abajo de los aparatos permanece cerrada, se aprecia como los manómetros registran el incremento de presión rápidamente ante un llenado brusco y continuo en caso de llenado lento. La válvula de corte aguas abajo puede estar abierta, aunque es recomendable que se encuentre cerrada.
3. Antes de comenzar con el purgado de las conducciones, y estando cerrada la válvula neumática (de corte) aguas abajo, se debe asegurar que no existen fugas en la sección de ensayo y que la presión del agua es la adecuada. Si hubiera una fuga durante el llenado se vería como oscila la

aguja del manómetro. Una posible causa de fuga tiene su origen en las juntas que sellan las diferentes secciones, al pellizcarlas accidentalmente en el montaje de los contadores.

4. Se acciona el automatismo que abre la válvula neumática dejando circular caudal. El objetivo de esta fase es eliminar la mayor cantidad de aire que haya podido quedar atrapado en las conducciones y la sección de ensayo. La operación de purga debe durar al menos 2-3 minutos. Se debe asegurar que no persistan bolsas de aire en el circuito, sometidas a presiones variables, durante o después del ensayo.
5. Cuando se tiene la certeza de haber purgado íntegramente toda la conducción, se puede proceder al ajuste del caudal de ensayo mediante la válvula de regulación. En este punto conviene que se anoten las posiciones de la válvula para cada caudal a ensayar, ya que hemos de tener en cuenta la capacidad de regulación y los tiempos de respuesta de dichas válvulas. Esta situación cobra mayor importancia en los ensayos de corta duración. Prestaremos mayor atención cuando regulemos a bajos caudales, a pesar que las tolerancias permitidas a estos rangos son mayores que a intermedios o altos. La regulación de la válvula es más sencilla a altos rangos que a bajos, incidiendo en mayor grado el error en estos últimos.
6. Antes de iniciar el ensayo se debe hacer las comprobaciones pertinentes para asegurar que el tanque volumétrico está vacío y con la llave de fondo cerrada, que el cronómetro se ha puesto a cero y que está preparado para empezar a contabilizar, y que la válvula de regulación está en la posición que corresponde al primer caudal del ensayo. Además se habrá de tomar las lecturas de los contadores y de los caudalímetros electromagnéticos, que nos sirven para comprobar también el volumen aforado, prestando mucha atención en este paso, ya que algunos errores que aparecen más tarde derivan de lecturas mal tomadas.
7. Una vez que está todo comprobado comenzamos el ensayo procediendo a la apertura de la válvula neumática mediante control electrónico.
8. Durante el ensayo se debe comprobar en todo momento que el caudal circulante se corresponde con el previsto para el ensayo. La máxima diferencia entre ambos no deberá ser mayor de un 2.5% para caudales de rango inferior, o de un 5% para caudales de rango medio y alto. Esto es especialmente importante a caudales bajos, en los que cualquier variación del caudal de ensayo modifica completamente los errores del contador

9. Cuando se alcanza el volumen fijado sobre una escala del tanque volumétrico, un sensor lo detecta y envía una señal para que cierre la válvula neumática y cese la circulación de caudal. La citada escala nos da la calibración del volumen aforado en el tanque. En este punto se para también el cronómetro al recibir la señal de cierre de la válvula de corte.
10. Una vez que se haya cerrado la válvula de corte principal, situada aguas abajo de la sección de ensayo, se procede a la lectura de los contadores, del cronómetro y del nivel del tanque volumétrico. Para ello, todos los contadores deben estar completamente parados y no debe existir ninguna fuga.
- Este paso es extremadamente importante, ya que el error de medición se calcula a partir de los datos extraídos de las lecturas inicial y final del contador.
- Los errores más frecuentes que se han visto a la hora de tomar la lectura de un contador suelen ser:

- El rodillo y la saeta no están completamente sincronizados. Por ejemplo, el rodillo de los litros se encuentra en una posición intermedia (*Figura 11*). Esta circunstancia conduce generalmente a errores de lectura.
- Fallos en la anotación de la lectura. Aunque la interpretación visual se hace correctamente, cuando se anota dicho valor “bailan” números o éstos se introducen erróneamente.

FIGURA 10. FALTA DE SINCRONIZACIÓN ENTRE LOS RODILLOS Y LAS SAETAS DEL CONTADOR



11. El error del contador se calcula a partir del volumen acumulado por el tanque volumétrico y las dos lecturas del contador, antes y después de la prueba. El caudal asociado a dicho error se obtiene dividiendo el volumen acumulado entre el tiempo registrado por el cronómetro.

FIGURA 11. ECUACIONES EN EL CÁLCULO DEL ERROR DEL CONTADOR

$$\text{error (\%)} = \frac{(\text{lectura final} - \text{lectura inicial}) - \text{Volumen de referencia}}{\text{Volumen de referencia}} \cdot 100$$

$$\text{Caudal de ensayo} = \frac{\text{Volumen de referencia}}{\text{Duración del ensayo}}$$

(Arregui 2007)

3.5 ESTUDIOS

3.5.1 Introducción

Para la consecución de los objetivos establecidos en este Trabajo Fin de Máster, se lleva a cabo el desarrollo y análisis de tres estudios, centrándose cada uno de ellos en diferentes aspectos de la metrología del contador. Los métodos empleados para la determinación de estos estudios se basan en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, ya sea en su forma de rango estadístico (máximo-mínimo) o su representación como desviaciones estándar o intervalos de confianza.

Los dos primeros ensayos dan una idea de la fiabilidad y calidad de los aparatos de medida ensayados en cuanto a reproducibilidad, comportamiento de los contadores a amplio rango de caudales, especialmente a bajos, y capacidad del sistema productivo. También se establecen comparativas entre los contadores de un mismo modelo y entre modelos, lo que permite analizar las diferencias de medida entre contadores de igual y distinta características metrológicas, así como con la tecnología de medición propia de cada modelo.

En cuanto al desarrollo de uno de los objetivos principales del presente documento, propuesta de estandarización del cálculo del error de medición, cabe aclarar que toman parte los dos últimos estudios. Mediante el segundo se justifica el mínimo número de caudales que hay que ensayar para obtener un error global ecuánime, y es en el tercero, conociendo el número de caudales a ensayar, donde se realiza el análisis y propuesta de caudales.

3.5.2 Estudio de fiabilidad de los 10 modelos de contadores nuevos (estudio I)

Tal y como se ha referido en párrafos anteriores, el primer estudio evalúa diez modelos de contadores con el fin de analizar las diferencias, en cuanto a reproducibilidad, a diferentes rangos de caudales.

Previo al análisis de este concepto se debe obtener los datos de los contadores. A partir de las ecuaciones presentadas en la *figura 12* y de la hoja de cálculo Excel obtenemos los errores de cada contador a los diferentes caudales ensayados según modelo.

A partir de los datos aportados, calculamos el error promedio para cada caudal desestimando aquellos valores claramente alejados del promedio que puedan distorsionar su cálculo. Tal y como se detalló en el apartado 3.2.3.1 *Selección de caudales de ensayo*, los caudales seleccionados para cada contador difieren unos de otros, al ser elegidos en función de sus características metrológicas.

3.5.2.1 Análisis de reproducibilidad o variabilidad de condiciones

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), la reproducibilidad se define como la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian. Donde:

- Una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición que cambia.
- Las condiciones que cambian pueden incluir: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo.
- La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.
- Se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos.

El análisis de reproducibilidad indica las posibles diferencias entre los contadores de un mismo modelo, al verificar si mantienen la misma proporción de error en los distintos caudales a los que se han ensayado y dentro de un mismo caudal. Observando en qué porcentaje varían los errores, desviación típica, de los contadores para un mismo modelo se puede dar una idea de la capacidad del sistema de fabricación y hacer una comparativa entre modelos. De forma que hay una relación proporcional entre la variabilidad/reproducibilidad y la desviación típica, un modelo puede presentar una alta variabilidad entre sus contadores si la desviación típica también lo es, y viceversa.

Atendiendo a la definición de reproducibilidad, por una parte evaluamos a los 30 contadores de un modelo dentro del mismo caudal viendo en qué cuantía se diversifican los errores. En este caso la condición que cambia es el instrumento de medida. Por la otra, se procede a la comparativa de modelos viendo para cada contador

la variabilidad del error en todos los caudales ensayados, es decir si la magnitud del error se mantiene igual en todos los caudales: En esta ocasión la condición que cambia es el caudal de ensayo. Como se ha dicho anteriormente, mediante este estudio, se tiene una idea aproximada de la calidad del sistema productivo del fabricante.

Mediante tablas y diagramas de dispersión mostramos los resultados en cuanto a la reproducibilidad a un mismo caudal y a la comparativa entre modelos. A partir de los intervalos de confianza se evalúan a los contadores (cuanto se van respecto del promedio) y se presentan en la curva promedio para cada caudal y modelo correspondientes, lo que nos permite tener una visión individual y de conjunto de la capacidad de fabricación de los diferentes modelos. Los resultados y consideraciones extraídas del estudio se pueden consultar en el capítulo correspondiente, resultados y discusión.

3.5.3 Estudio del comportamiento de las curvas de error, calidad de las partidas y justificación del mínimo número de caudales a ensayar (estudio II)

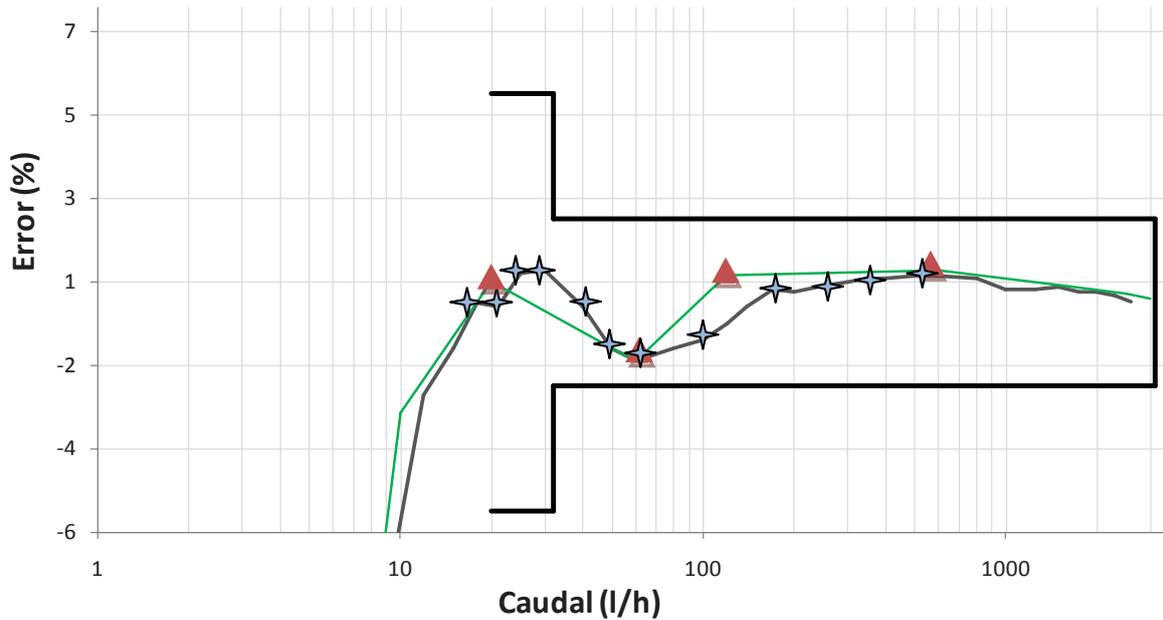
En el segundo estudio se lleva a cabo un análisis de las curvas de error obtenidas a partir de los datos del anterior estudio, comprobando el comportamiento de las mismas al rango de caudales definido para los estudios de reproducibilidad, así como una comparativa gráfica entre todas las pertenecientes al mismo modelo y su curva de error promedio.

La obtención de las curvas de error se hace mediante el software especializado para la gestión integral de contadores de agua, WOLTMANN, desarrollado por el grupo ITA. Además de calcular las curvas de error de cada contador, obtiene las curvas promedio y errores globales para cada modelo. La ventaja del programa es que linealiza la curva de error interpolando los valores de error de los caudales conocidos del rango para obtener los valores de error de los caudales intermedios, de esta manera conseguimos una curva de error lineal.

A su vez se desea comprobar el comportamiento de los modelos en un amplio rango de caudales, de esta manera se puede detallar el rendimiento de los contadores a caudales intermedios y precisar las diferencias entre modelos. Esto da una mayor comprensión del comportamiento de los contadores domésticos a caudales bajos, siendo la zona más sensible a los errores de medición y problemática de cara a determinar el consumo real del usuario.

Se quiere estudiar aquellas zonas de la curva de error donde se estime que puede variar el error entre caudales conocidos, es decir errores interpolados. Aumentando el número de caudales de ensayo se ve como varía la curva en una determinada zona como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 12. CURVAS DE ERROR DEL CONTADOR



En la gráfica se aprecia una curva con un nivel de detalle mayor que otra para un mismo contador, la curva de puntos estrellados tiene más del doble de caudales ensayados que la curva con puntos triangulares para el mismo rango inferior. Es apreciable que hay tramos de sobrecontaje y subcontaje en ambas curvas, no siendo coincidentes. Este aspecto viene a decir que hay parte del caudal que queda sin registrar o que se sobre registra por el mismo contador en el mismo rango de caudales, siendo de especial relevancia en zonas de rangos de caudal intermedios y elevados, donde una variación del $\pm 1-2\%$ en el error supone un gran volumen no contabilizado o sobre contabilizado. Por ello se centra la atención en la linealidad de las curvas para ver qué zonas son candidatas a estudio.

Para esta fase del estudio se escogerán un total de 5 contadores de 5 modelos diferentes. La condición de seguir esta línea de análisis parte de la elección de distintos tipos de modelos que representen al amplio muestrario de contadores domésticos presentes en el mercado, sumado a que el incremento del tiempo global de ensayo, de someter a control a todos los modelos y contadores, no mejorará los resultados obtenidos además de implicar una mala gestión del tiempo dedicado a los ensayos.

La elección del modelo, como ya se comentó, se hace acorde a la estratificación del mercado para que todas las tipologías metrológicas queden representadas, no siendo así en cuanto a tecnología de medición. Aquellos contadores que son claramente defectuosos y por tanto distorsionen la curva de error promedio serán eliminados de la selección, siendo designados al estudio los que se asemejen a esta última.

Durante la primera parte del estudio, análisis de las curvas de error, se estima que no hay una gran variación de los errores en los modelos volumétricos, al apreciarse una casi total linealidad de sus curvas de error en los diferentes rangos de caudal en comparación con los contadores de chorro único. Por esta razón, se propone los análisis exhaustivos de las curvas de error de estos últimos.

Las curvas de error obtenidas se muestran en forma de gráficas, distinguiéndose:

- Gráfica de curvas promedio según tecnología de medición.
- Gráfica de curvas de un determinado modelo, que recoja los 30 contadores más la curva promedio.
- Gráfica comparativa de curvas promedio entre tecnologías de medición.
- Gráfica comparativa de curvas detalladas de los 5 contadores seleccionados ensayados a un amplio número de caudales.
- Gráfica comparativa que recoge la curva detallada del contador seleccionado, su curva general y la curva promedio del modelo.

Igualmente, mediante este estudio cuantificaremos el número de ensayos necesarios y el error global medio de los modelos para controlar de forma óptima la calidad de las partidas.

Teniendo en cuenta los patrones de consumo, detallados en el apartado 3.2.2 *Determinación del patrón de consumo*, y las curvas de error promedio de los contadores (eliminando de cada modelo aquellos contadores claramente defectuosos que distorsionan la curva de error promedio) se obtienen los errores globales iniciales para cada modelo.

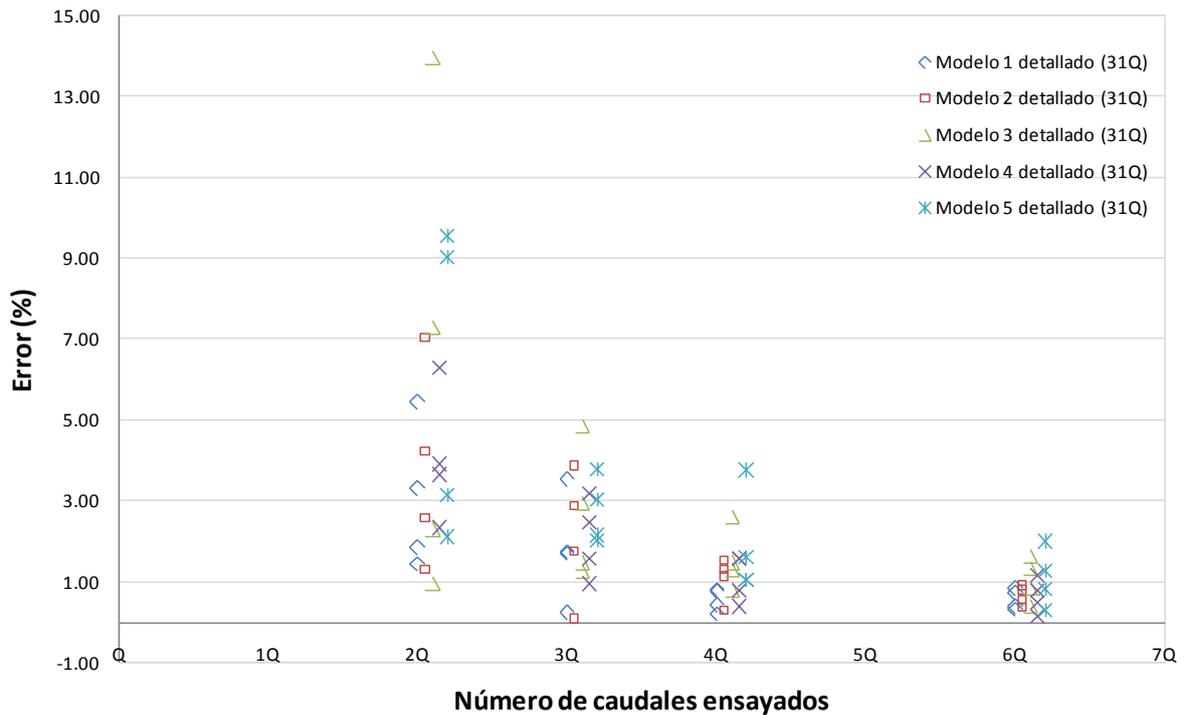
Mediante los 5 contadores seleccionados de 5 modelos, se cuantifica el efecto del error en el error global del contador, es decir qué margen de mejora tenemos en los errores globales. Los caudales ponderados para el estudio fueron: 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 170, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2300 y 2600 l/h.

Para determinar los errores globales de los modelos se emplea el software citado anteriormente, WOLTMANN. Los resultados se recogen en una tabla y serán comentados en el capítulo correspondiente a resultados y discusión.

En la justificación del mínimo número de caudales a ensayar para obtener un error global ecuánime, analizamos la dispersión del error en función del número de caudales empleados en su cálculo. A partir de dicha cuantificación, se calculan los errores para dos de los tres patrones de consumo, dado que el Patrón Tipo I y el de Aguas de Valencia son de la misma tipología. Se escoge el de Aguas de Valencia.

Al igual que en la fase de determinación del error global de medición de los modelos, se emplea la herramienta WOLTMANN para calcular en esta ocasión los errores a los diferentes caudales. La diferencia entre los errores globales y estos últimos se representan en una gráfica, relacionando cada uno de ellos con el número de caudales ensayados se observa claramente la dispersión de los datos (Figura 13).

FIGURA 13. GRÁFICO DE DISPERSIÓN



A partir de estas gráficas se puede establecer el mínimo número de caudales que habría que ensayar para obtener un error global dentro del rango. Se aprecia que a medida que aumenta el número de caudales ensayados el error cometido en la estimación de los errores -valga la redundancia- se reduce. Por el contrario, esto precisará de un aumento del tiempo y coste del ensayo.

3.5.4 Propuesta de estandarización del error de medición (estudio III)

El tercer estudio se focaliza en la estandarización del cálculo del error de medición, a partir de la propuesta de un patrón de consumo y de los caudales de ensayo para la totalidad de los contadores domésticos. Para llegar a la estandarización, la propuesta se basa en el punto del estudio anterior donde se justifica la elección de un número determinado de caudales de ensayo a través del análisis de dispersión del error de medición en función del número de caudales ensayados.

Los caudales propuestos se deben ponderar sin que en su cuantificación haya preferencias hacia una clase metrológica concreta, ya que como indica la palabra, estandarización, se busca generalizar la propuesta de caudales a todos los contadores domésticos nuevos.

En el desarrollo de la estandarización se aprecian dos contrariedades, por una parte se sabe que no hay definido un patrón de consumo común (va en función de las características del consumidor y cada franja del rango de caudales tiene un peso porcentual variando con el tipo de consumidor e instalación), por lo que se hace una propuesta de patrón. Y por otra, al no haber un protocolo de ensayo de contadores domésticos nuevos, previo a este, lo propio sería establecer una estandarización de los caudales en función de los dictados por la normativa (Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4). De seguir esta línea, no se podría determinar unos caudales de ensayo en función de los caudales dados por normativa sin atender a la clasificación de los contadores. Por lo que, no se puede realizar la propuesta en función del tipo de contador sin tener una gran dispersión en la elección de los caudales. En aras de consensuar y esclarecer la selección, se representan en la siguiente tabla los caudales que definen cada clase metrológica presente en los estudios.

TABLA 15. CAUDALES SEGÚN NORMATIVA DE LOS MODELOS ENSAYADOS

	ISO 4064:2005				ISO 4064:1993	
	Q_3 1.6(m ³ /h)	Q_3 2.5(m ³ /h)			Q_n 1.5 (m ³ /h)	
	R315	R200	R125	R100	B	C
$Q_1 - Q_m$	5.079	12.5	20	25	30	15
$Q_2 - Q_t$	8.1264	20	32	40	120	22.5
$Q_3 - Q_p$	1600	2500	2500	2500	1500	1500
$Q_4 - Q_s$	2000	3125	3125	3125	3000	3000

Previo al cálculo de los errores globales, se ha de tener en cuenta que no se dispone del error a determinados caudales en los cinco modelos que no se ensayaron a un amplio rango de volúmenes. La solución es obtenerlo por interpolación de los errores a caudales conocidos.

Una vez que se ha establecido el patrón de consumo y los caudales de ensayo con sus respectivos errores se procede al cálculo del error global. Esta operación se hace mediante el software WOLTMANN.

La idoneidad del ensayo, según modelo, se confirma restando el error global calculado al error global de referencia, tomando las siguientes consideraciones:

- Se valora que una diferencia superior a 1 o inferior a -1 no es aceptable.
- Los errores globales de referencia varían según modelo, para 5 modelos serán los calculados a 31 caudales, mientras que para los 5 restantes serán los obtenidos entre 9 y 10 caudales.

Los resultados obtenidos así como las diversas consideraciones que se hacen a lo largo del estudio pueden consultarse en el capítulo posterior, resultados y discusión.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO I

Este estudio trata la calidad de las partidas de contadores, con el fin de analizar los errores de todos los contadores dentro de un mismo modelo y entre ellos. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de dispersión, que recogen los valores promedios, desviación típica, valor máximo y mínimo de la serie, así como los intervalos de confianza para cada caudal de los distintos modelos.

Mediante este análisis se puede determinar la fiabilidad de los fabricantes para los distintos modelos y establecer una comparativa entre ellos. La desviación típica muestra cuán dispersos están los errores de los contadores de un mismo modelo, siendo la tendencia general de mayor a menor valor de desviación conforme aumenta el caudal. En algunos modelos se da el caso que la desviación típica al primer caudal es nula, esto es debido a que todos los contadores a ese caudal no totalizan, por tanto su error promedio es del -100% y consecuentemente su desviación cero. La diferencia de los valores máximos y mínimos con el promedio es lo que marca el intervalo de confianza.

A partir de este punto se comienza a analizar los siguientes modelos, presentando tras los comentarios una tabla de resultados (la banda de error superior e inferior hacen referencia al intervalo de confianza). Las gráficas se exponen en la parte final del apartado.

Modelo 1

La producción parece estar controlada en ciertos aspectos. No obstante el comportamiento a caudales bajos resulta errático (amplios intervalos de confianza) para un contador con la calidad que se le presupone a este modelo. La razón de ello puede radicar en que los contadores de velocidad son muy sensibles a las características dimensionales del cuerpo (mecanizados con latón), a la alineación de los apoyos, y en definitiva a una multitud de parámetros que son muy difíciles de controlar.

El caudal de arranque es normal para su clase metrológica (4.9 l/h).

TABLA 16. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 1

Modelo 1	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	22.5 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-38.93	-7.40	-1.90	-0.77	1.28	1.11	-0.59	-1.11	-1.47	-1.66
Desv. típica	9.99	3.01	1.01	1.01	0.49	0.44	0.34	0.35	0.40	0.41
Valor MAX	-21.84	3.21	-0.30	0.70	2.39	2.28	0.07	-0.59	-0.60	-0.77
Valor min	-75.75	-15.43	-4.30	-4.10	0.30	0.30	-1.31	-1.84	-2.33	-2.56
Banda sup.	17.1	4.4	1.6	1.5	1.1	1.2	0.7	0.5	0.9	0.9
Banda infer.	36.8	7.8	2.4	3.3	1.0	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9

Modelo 2

La producción está bastante controlada como demuestra los estrechos intervalos de confianza de las curvas de error.

El caudal de arranque es bueno (4 l/h). Sin embargo habría que estudiar el modo en que se mantiene en el tiempo, no hay que olvidar que se trata de un contador de velocidad

TABLA 17. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 2

Modelo 2	6 (l/h)	12.5 (l/h)	20 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-15.72	0.24	1.41	-1.32	0.28	0.90	0.61	0.31	0.09
Desv. típica	7.12	1.04	1.13	0.51	0.36	0.32	0.27	0.29	0.38
Valor MAX	-7.92	1.80	2.83	-0.20	0.89	1.47	1.15	0.75	0.68
Valor min	-35.07	-2.25	-2.85	-2.69	-0.69	0.06	-0.07	-0.37	-1.00
Banda sup.	7.8	1.6	1.4	1.1	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6
Banda infer.	19.3	2.5	4.3	1.4	1.0	0.8	0.7	0.7	1.1

Modelo 3

La producción está bastante controlada tal y como muestra los estrechos intervalos de confianza.

El caudal de arranque no es excesivamente bajo (8.8 l/h) pero para los patrones de consumo empleados sin un consumo demasiado alto a caudales bajos no resulta un problema.

TABLA 18. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 3

Modelo 3	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-100	-36.51	-8.92	3.84	2.13	1.49	1.06	0.52	0.32	0.28
Desv. típica	0.0	9.71	2.78	0.76	0.98	0.66	0.39	0.49	0.51	0.55
Valor MAX	-100	-20.24	-4.01	5.41	3.59	2.48	1.67	1.39	1.47	1.58
Valor min	-100	-74.27	-18.14	2.55	-0.10	-0.15	0.19	-0.77	-0.83	-0.89
Banda sup.	0.0	16.3	4.9	1.6	1.5	1.0	0.6	0.9	1.1	1.3
Banda infer.	0.0	37.8	9.2	1.3	2.2	1.6	0.9	1.3	1.2	1.2

Modelo 4

La producción no parece estar lo suficientemente controlada como demuestra los amplios intervalos de confianza.

El caudal de arranque es bueno (5l/h), aunque este resultado no ha considerado a tres contadores defectuosos que de otro modo hubiese afectado muy negativamente al caudal promedio. Habría que estudiar cómo se mantiene en el tiempo.

TABLA 19. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 4

Modelo 4	6 (l/h)	10 (l/h)	20 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-34.20	-6.41	-1.22	-2.60	-0.58	0.38	0.43	0.35	0.19
Desv. típica	23.10	8.13	1.85	1.00	0.75	0.53	0.42	0.44	0.45
Valor MAX	-14.04	-1.70	0.50	-0.40	0.95	1.39	1.28	1.30	1.11
Valor min	-96.09	-45.54	-9.02	-4.09	-1.98	-0.77	-0.36	-0.50	-29.66
Banda sup.	20.2	4.7	1.7	2.2	1.5	1.0	0.9	0.9	0.9
Banda infer.	61.9	39.1	7.8	1.5	1.4	1.1	0.8	0.9	29.9

Modelo 5

La producción no parece estar controlada tal y como se ve en los amplios intervalos de confianza

El caudal de arranque se considera correcto (8.6 l/h)

TABLA 20. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 5

Modelo 5	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	25 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-100	-34.23	-11.01	-1.02	-0.46	-0.81	0.24	0.57	0.76	0.76
Desv. típica	0.0	24.13	13.51	3.19	1.26	0.78	0.83	1.01	1.18	1.28
Valor MAX	-100.0	-14.47	-3.61	1.45	1.15	1.09	1.96	2.86	3.76	4.08
Valor min	-100.0	-100.00	-67.34	-15.86	-3.71	-2.18	-1.11	-1.27	-1.43	-1.47
Banda sup.	0.0	19.8	7.4	2.5	1.6	1.9	1.7	2.3	3.0	3.3
Banda infer.	0.0	65.8	56.3	14.8	3.2	1.4	1.4	1.8	2.2	2.2

Modelo 6

La producción no parece estar tan controlada como en otros modelos, tal y como se deduce de los intervalos de confianza.

El caudal de arranque no es bueno (9.7 l/h), Este valor dista mucho de los caudales de arranque promedio de otros modelos de clase B.

TABLA 21. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 6

Modelo 6	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-100	-67.08	-17.49	-0.29	0.59	0.07	-0.33	-1.21	-1.36	-1.36
Desv. típica	0.0	28.98	6.29	2.15	2.89	0.58	0.67	0.65	0.57	0.53
Valor MAX	-100.0	-29.43	-10.12	2.60	2.84	1.59	0.66	-0.29	-0.64	-0.68
Valor min	-100.0	-100.00	-41.11	-8.30	-0.55	-1.19	-2.46	-3.43	-3.14	-2.98
Banda sup.	0.0	37.6	7.4	2.9	2.3	1.5	1.0	0.9	0.7	0.7
Banda infer.	0.0	32.9	23.6	8.0	1.1	1.3	2.1	2.2	1.8	1.6

Modelo 7

La producción parece estar completamente controlada.

El caudal de arranque puede considerarse como excelente (1.5 l/h), en la medida de cualquier contador volumétrico

TABLA 22. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 7

Modelo 7	6 (l/h)	12.5 (l/h)	20 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-4.50	-1.39	-0.25	1.19	1.79	0.94	0.12	-0.54	-0.99
Desv. típica	1.31	0.32	0.19	0.24	0.37	0.26	0.16	0.19	0.58
Valor MAX	-3.41	-0.90	0.10	1.50	3.23	1.26	0.43	-0.08	-0.50
Valor min	-10.62	-2.20	-0.80	0.80	1.29	0.20	-0.30	-1.00	-1.60
Banda sup.	1.1	0.5	0.4	0.3	1.4	0.3	0.3	0.5	0.5
Banda infer.	6.1	0.8	0.5	0.4	0.5	0.7	0.4	0.5	0.6

Modelo 8

La producción no parece estar lo suficientemente bien controlada como se aprecia en los amplios intervalos de confianza.

El caudal de arranque no es bueno (13.5 l/h), dista mucho de los caudales de arranque promedio de otros modelos clase B.

TABLA 23. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 8

Modelo 8	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	25 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-100	-89.98	-34.37	1.85	2.25	0.54	-1.29	-0.53	0.14	0.31
Desv. típica	0.0	22.41	27.76	2.39	0.69	1.28	0.59	0.53	0.56	0.62
Valor MAX	-100	-39.88	-9.81	5.40	3.69	1.54	-0.21	0.68	1.43	1.67
Valor min	-100	-100	-100	-6.80	0.70	-5.65	-2.55	-1.54	-0.67	-0.76
Banda sup.	0.0	50.1	24.6	3.5	1.4	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
Banda infer.	0.0	10.0	65.6	8.7	1.6	6.2	1.3	1.0	0.8	1.1

Modelo 9

La producción parece estar completamente controlada.

El caudal de arranque puede considerarse como excelente (2.1 l/h), en la medida de cualquier contador volumétrico

TABLA 24. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 9

Modelo 9	6 (l/h)	10 (l/h)	15 (l/h)	22.5 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3000 (l/h)
Promedio	-3.00	-1.48	-0.22	0.45	1.45	1.51	0.83	0.10	-0.34	-0.39
Desv. típica	1.01	0.64	0.37	0.25	0.18	0.19	0.14	0.13	0.15	0.16
Valor MAX	-1.60	-0.72	0.28	0.85	1.89	1.89	1.17	0.40	-0.06	-0.10
Valor min	-5.01	-2.73	-0.97	-0.21	1.20	1.19	0.55	-0.14	-0.57	-0.64
Banda sup.	1.4	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
Banda infer.	2.0	1.2	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3

Modelo 10

La producción parece estar completamente controlada.

El caudal de arranque puede considerarse como excelente (1.9 l/h), en la medida de cualquier contador volumétrico

TABLA 25. RESULTADOS ESTUDIO I MODELO 10

Modelo 10	5 (l/h)	8 (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	600 (l/h)	1600 (l/h)	2000 (l/h)
Promedio	-2.95	-1.03	0.40	1.20	1.60	1.47	0.74	-0.21	-0.55
Desv. típica	1.03	0.72	0.43	0.33	0.25	0.20	0.29	0.31	0.39
Valor MAX	-1.10	0.10	0.98	1.70	2.09	1.88	1.14	0.35	0.11
Valor min	-4.71	0.10	-0.50	0.30	1.09	1.09	0.06	-1.01	-1.47
Banda sup.	1.8	1.1	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7
Banda infer.	1.8	-1.1	0.9	0.9	0.5	0.4	0.7	0.8	0.9

Desde un punto de vista metrológico los contadores volumétricos son los que presentan mejores resultados, pero tienen un mayor coste en el mercado. Por lo que para la elección del medidor, se habrá de baremar el coste del aparato, la tarifa del agua y las características de los consumos de los usuarios, con el fin obtener el máximo rendimiento de los mismos y maximizar el beneficio del abastecimiento.

Este punto de vista económico queda fuera del desarrollo del Trabajo Fin de Máster, pero es un punto trascendente de cara a posibles vías de investigación, como por ejemplo definir el coste de ensayo y elección de un tipo de contador a partir de la estandarización del error de medición.

Respecto a los contadores volumétricos cabe decir que se ha de incrementar la precaución en relación a la calidad del agua, ya que son más susceptibles a obstrucciones que sus homólogos de chorro único. Añadir que tienen una excelente sensibilidad a caudales bajos como puede comprobarse en su reducida desviación típica e intervalos de confianza a estos caudales.

No se aprecia diferencias notables entre los modelos de contadores volumétricos en cuanto a dispersión de errores. El proceso productivo parece estar controlado en todos ellos.

Los contadores de chorro único tienen cualidades metrológicas que están por debajo de las de los volumétricos, tal y como muestra el estudio de variabilidad. Se hace evidente que hay mayor diferencia de fiabilidad entre los modelos de chorro único que entre los volumétricos. Esta afirmación se corrobora en los gráficos de dispersión, donde hay una gran variabilidad entre los distintos modelos.

Los gráficos recogen a los distintos contadores de chorro único en función de sus características metrológicas, así se distinguen tres tipos de gráficos: el de los contadores de clase B (modelos 3, 6 y 8), el que recoge a los modelos 1 y 2, y el último muestra a los modelos 4 y 5. Los dos últimos gráficos engloban a modelos no de iguales características metrológicas pero sí similares.

Del primer gráfico destaca la diferencia del proceso de producción entre el modelo 3 y los modelos 6 y 8, parece estar más controlada en el primero. Como se ha comentado anteriormente, es en estos modelos donde la desviación típica a caudales bajos es nula o muy amplia. Estos valores se tienen en consideración al estimar la calidad de producción pero no con el mismo peso que los posteriores, ya que por su clase metrológica estos caudales inferiores no entran en su rango.

Los procesos de producción parecen que están controlados en los modelos 1 y 2 aunque como ya se comentó, en el modelo 1 hay un comportamiento errático a caudales bajos, que puede tener su origen en la calidad de los componentes.

En la tercera gráfica de los contadores de chorro único se aprecia que por la amplitud de los intervalos de confianza en ambos modelos (4 y 5), la producción no parece estar controlada.

Un inconveniente que presentan los modelos de chorro único es su mecanismo de medición, ya que supone un condicionante para que incurran en un error mayor, hecho que no ocurre en los volumétricos. Esta circunstancia se debe a que tanto la turbina, el eje y los respectivos apoyos no están equilibrados hidráulicamente por lo que están sometidos a esfuerzos que se traducen en un mayor error de medición y en la aceleración del desgaste. A esto se une la posible falta de sincronización entre la saeta y el rodillo del totalizador.

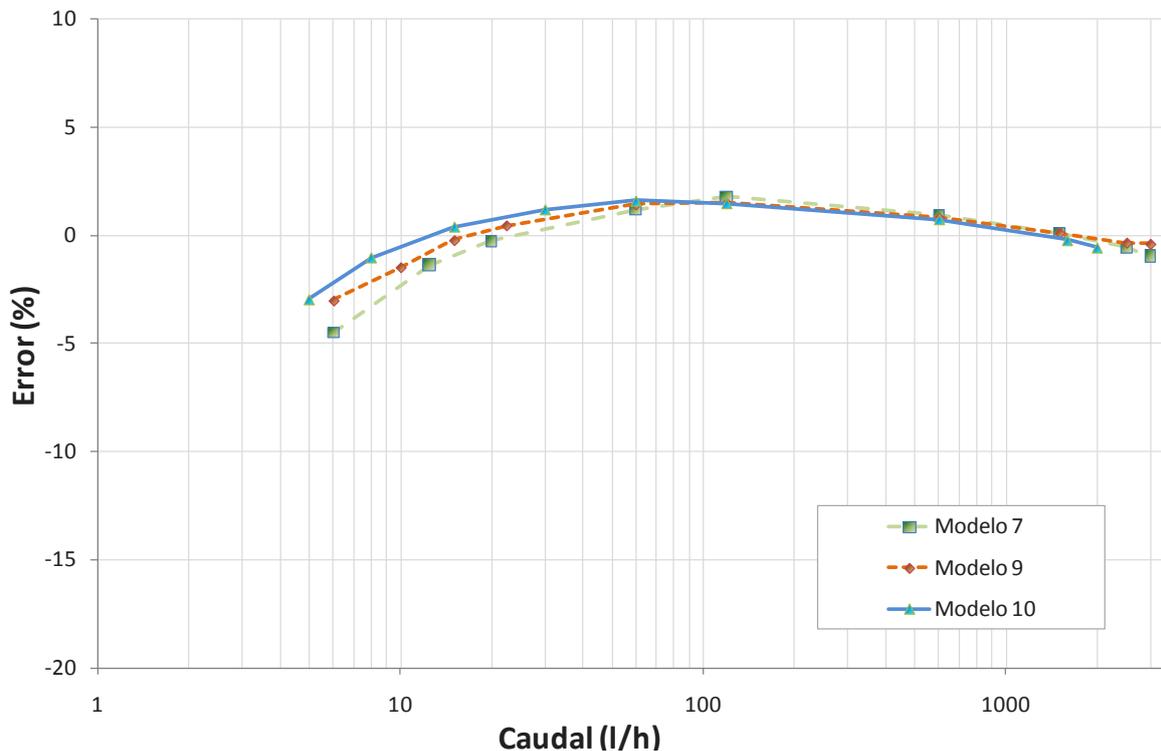
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO II

4.2.1 Análisis de curvas de error

Como se detalló en el capítulo anterior, este estudio se centra en el comportamiento de las curvas de error y la justificación del menor número de caudales que hemos de ensayar en la obtención del error global.

El primer resultado de los ensayos se muestra en las siguientes gráficas, se puede observar la evolución de la curva de error para los 9-10 caudales ensayados en todos los modelos. Para presentar los diez modelos de contadores, se hace una discriminación de las curvas de error según su tecnología de medición, representando en una gráfica las curvas de los contadores volumétricos y en otra a las de chorro único debido a su diferente evolución.

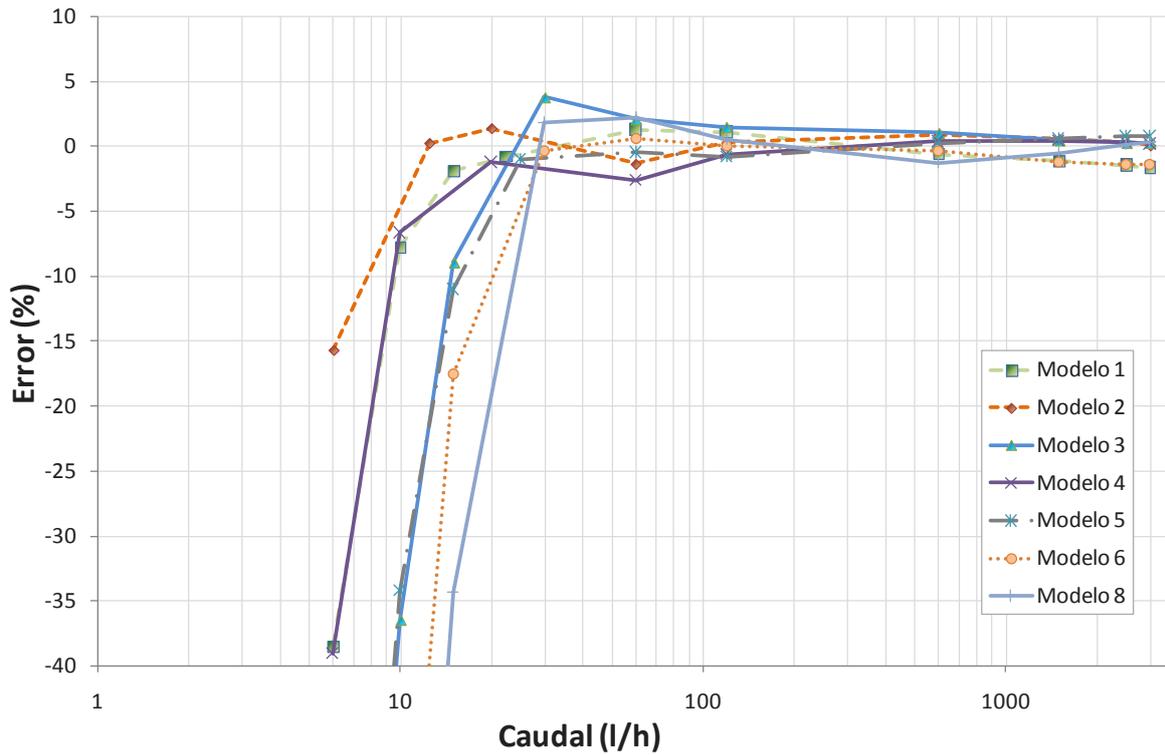
FIGURA 14. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES VOLUMÉTRICOS



Tal y como se ve en la gráfica superior, los contadores volumétricos muestran una clara linealidad de la curva de error, pasando de errores negativos en el rango de bajo caudal a errores de sobre contaje en los intermedios, siendo prácticamente nulos a altos caudales. Asimismo, se puede apreciar en la progresión de las tres curvas que los errores son reducidos en ambas franjas de error, dándose los mayores a rangos bajos de caudal.

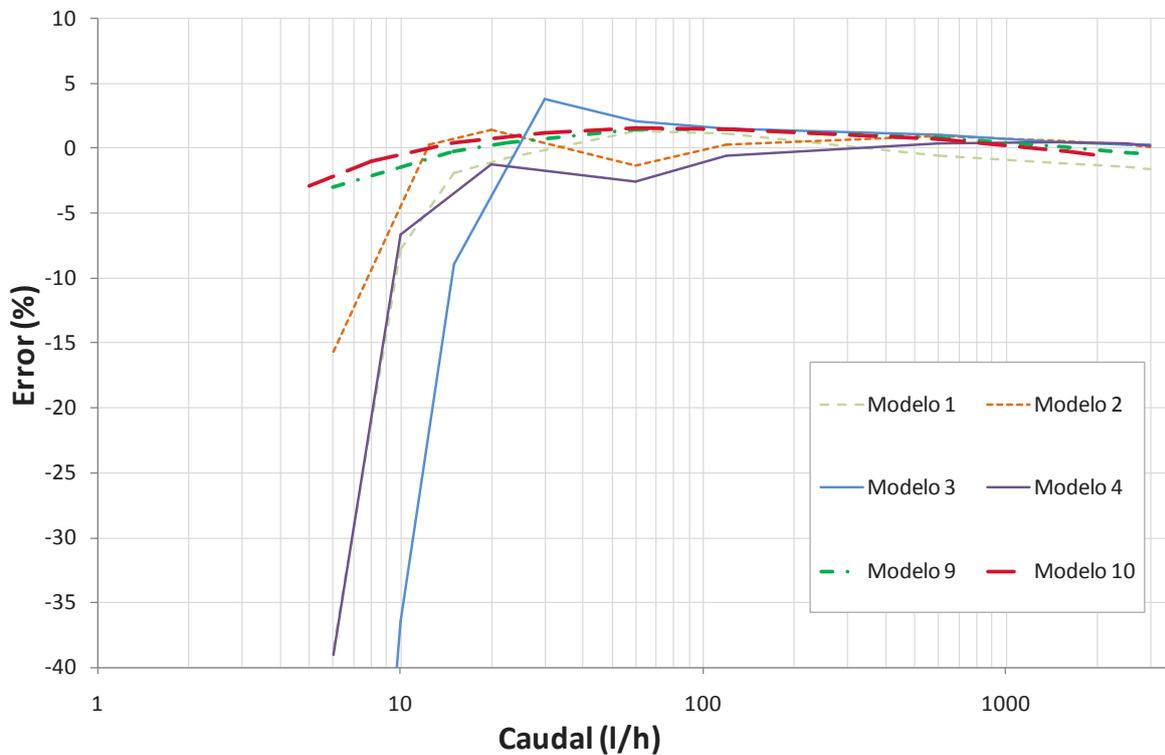
En cuanto a las curvas de error de los contadores de chorro único, como se puede ver en la gráfica inferior, hay una mayor divergencia de curvas que en la anterior debido a una diferencia más evidente entre tipologías metrológicas. Esta diferencia se hace patente en la posición de las curvas, observándose unas más desplazadas hacia la derecha que otras, correspondiendo las clases metrológicas inferiores a las más alejadas del eje de ordenadas (un contador R100 y tres de tipo B desde el origen respectivamente). Esta situación tiene su explicación en que tanto sus caudales de arranque como los mínimos ($Q_{\min} - Q_1$) son mayores que en el resto de modelos.

FIGURA 15. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES DE CHORRO ÚNICO



En el capítulo 3 en el apartado de estudios, se describió la justificación de porqué el análisis detallado de las curvas de error se hace entorno a cinco contadores de chorro único, siendo reforzada tal verificación a través de la Figura 15.

FIGURA 16. COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN



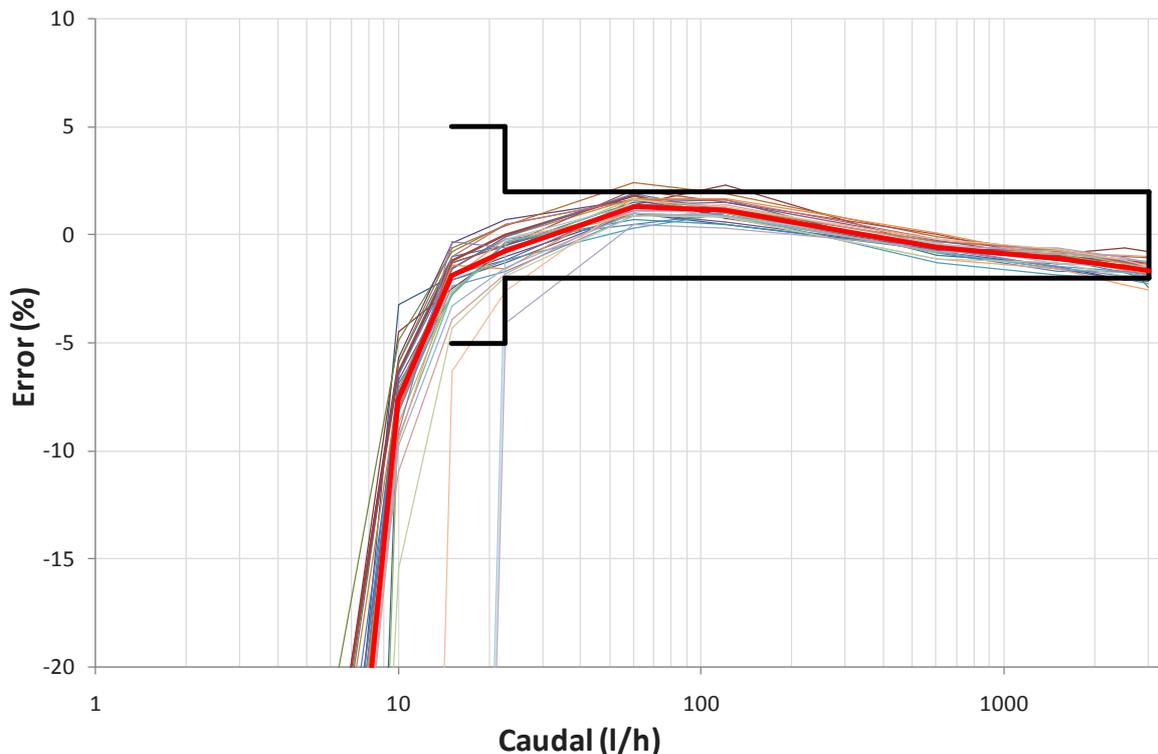
Esta gráfica recoge la comparativa entre las curvas de error de los contadores volumétricos y los de chorro único, se hace evidente la diferencia de linealidad entre tecnologías de medición. La razón por la que se muestra un número determinado de modelos es para facilitar la visualización de las curvas, de manera que quede representado todo el conjunto de las clases metrológicas presentes en el trabajo.

A continuación se presenta, recogidas en la misma gráfica, las curvas de error de los 30 contadores por modelo y su curva promedio ensayadas entre 9 y 10 caudales.

Mediante el análisis de los datos y de estas curvas, se determina cuáles son los contadores que se eliminan en la estimación de la curva promedio con el fin de evitar distorsiones de la misma.

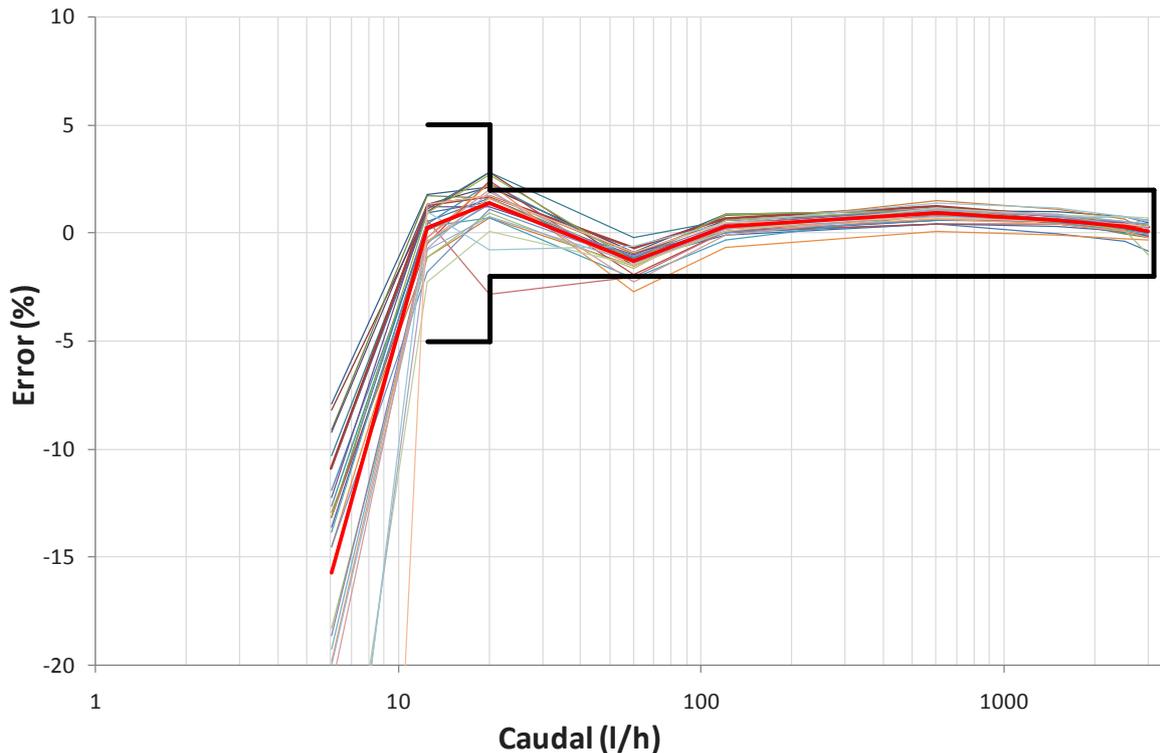
En la gráfica del modelo 1, se observa que la producción parece estar controlada en ciertos aspectos (no hay mucha dispersión de las curvas de error). No obstante, se puede ver que hay un comportamiento demasiado errático a caudales bajos con la calidad que se presupone para un contador de esta clase metrológica, siendo dos de los contadores ensayados claramente defectuosos (quedan fuera de la banda de error), y otro que es defectuoso pero en menor medida. La forma de la curva de error conduce a errores normales para su clase metrológica, la cual se va volviendo más negativa conforme mayor es el caudal.

FIGURA 17. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 1



De los 30 contadores ensayados del modelo 2, no se ha tenido problemas con ninguno, aunque un contador tuvo problemas midiendo a 6 l/h, lo cual no supone ningún problema puesto que está fuera de las especificaciones del contador. Asimismo, destaca en el conjunto de las curvas un error “raro” a 20 l/h en un contador que registra de menos cuando la corriente del resto es la contraria, posiblemente por un error de lectura, al igual que el descenso general en la zona de 60 l/h.

FIGURA 18. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 2



El modelo de contador 3 es un contador de clase B, de los 30 contadores que se han ensayado no se tuvo problemas con ninguno. Todo el conjunto de contadores no totalizó a 6 l/h, siendo lo corriente para su clase metrológica. Como se puede apreciar, la curva de error está bien definida con un sobre contaje generalizado al Q_{min} , yendo en descenso a partir de ese punto y aproximándose más a cero conforme aumenta el rango de caudales.

De los contadores ensayados del modelo 4, se tuvo problemas con tres de ellos por desacoplamiento de la turbina y el totalizador, aunque lo más grave de la situación fue que dos de ellos se quedaron completamente parados sin registrar el paso de caudal. Para su clase metrológica la curva conduce a errores globales buenos, aunque igual que en el modelo II se aprecia un descenso notable del error a 60 l/h. Los valores de la curva error promedio no consideran el efecto de los contadores parados para evitar su distorsión.

FIGURA 19. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 3

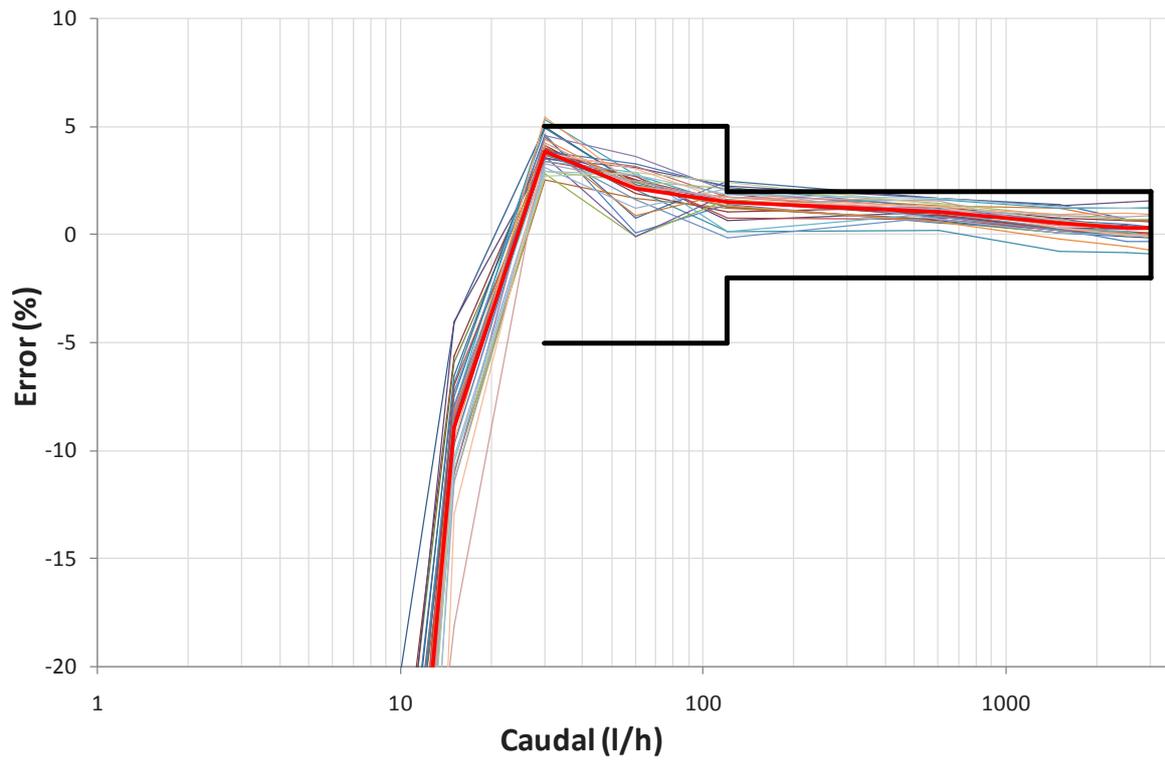
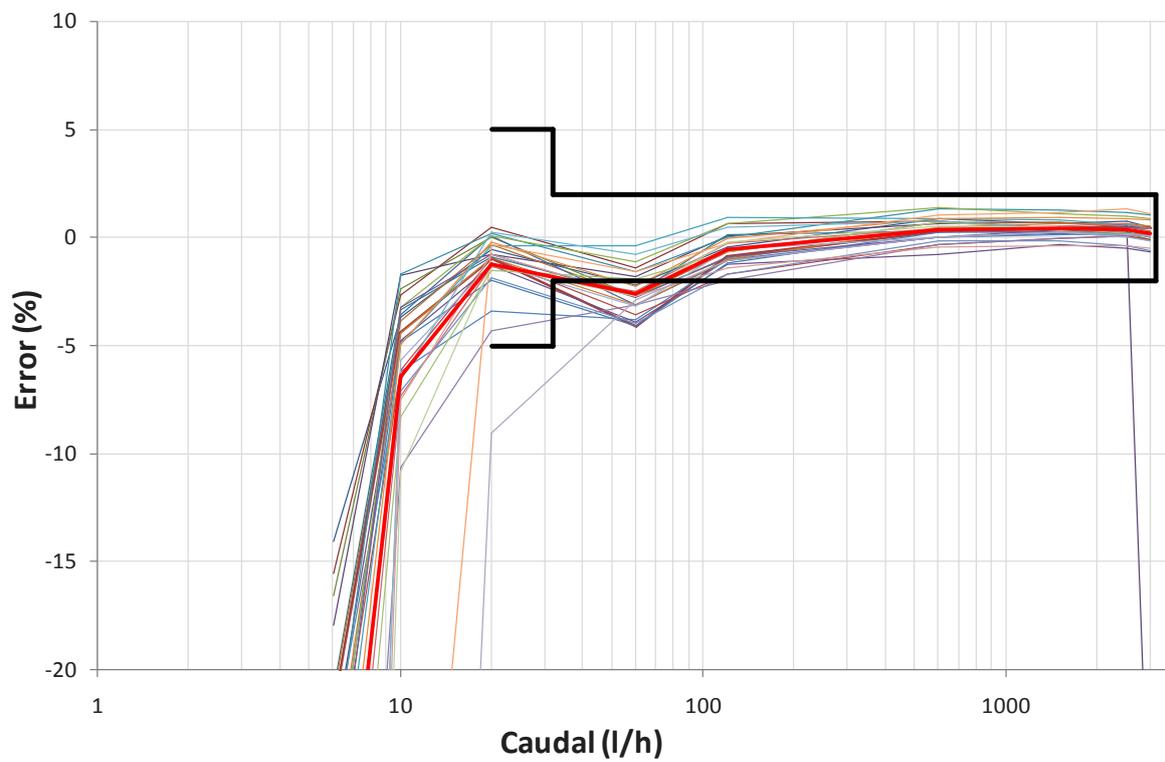
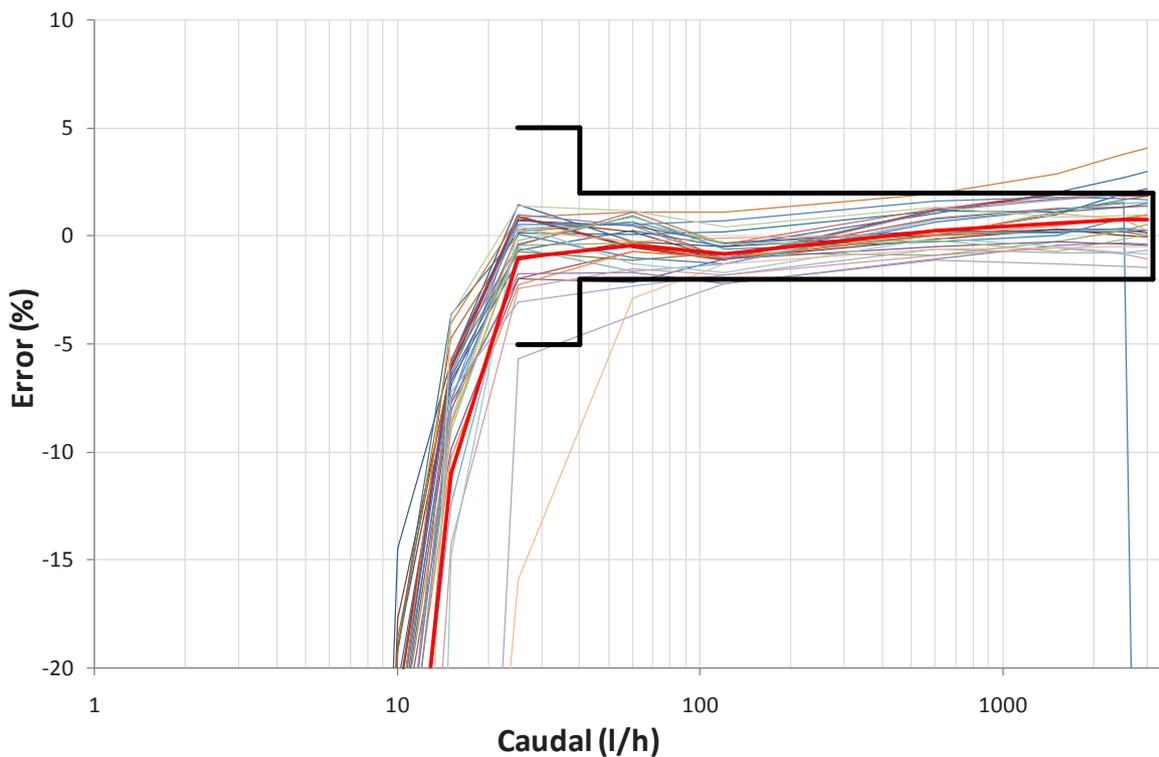


FIGURA 20. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 4



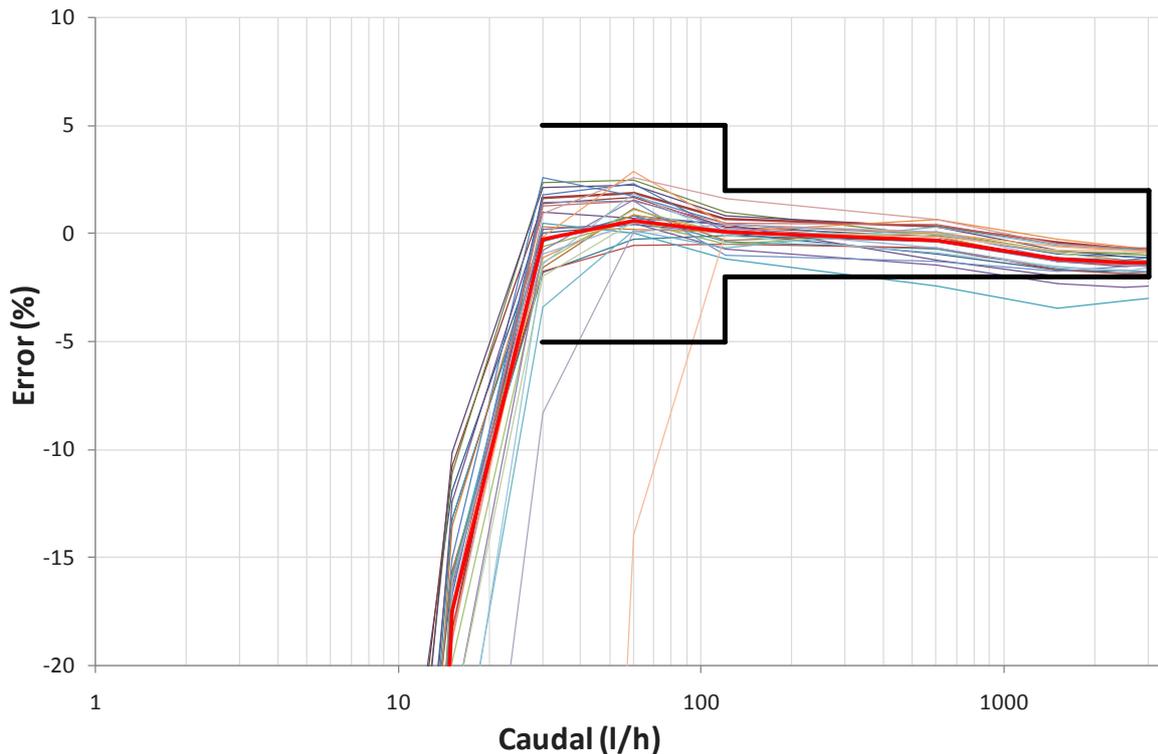
En la gráfica del modelo 5, se puede ver claramente que en los ensayos se tuvo problemas con tres contadores, uno de ellos desacoplaba a caudal máximo, y los dos restantes no respondían correctamente a caudales bajos. Adicionalmente, dos contadores han mostrado errores excesivamente positivos a caudales altos. La tendencia de la serie conforme aumenta el caudal de ensayo es incurrir en sobre contaje, volviéndose las curvas más positivas cuanto mayor es el caudal (aunque empieza en valores relativamente negativos). Es en este modelo donde se comprueba que las curvas de error difieren más unas de otras lo cual no es un buen indicador de calidad de producción.

FIGURA 21. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 5



De los 30 contadores ensayados del modelo 6 perceptiblemente se tuvieron problemas con dos de ellos, siendo uno de ellos defectuoso y el otro también lo era en menor medida. Se aprecia que la curva se vuelve más negativa conforme aumenta el caudal, verificándose que en el rango de consumo más frecuente, entre 200 y 1500 l/h, los errores promedios son negativos o están muy cerca de serlo. La producción no parece estar tan controlada como en otros modelos, tal y como se deduce de la separación de las curvas.

FIGURA 22. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 6



El modelo 7 es un contador volumétrico, cuya curva de error conduce a errores globales excelentes para su clase metrológica. De los contadores ensayados se produjo un desacople de la turbina en dos de ellos a caudal máximo, y anecdóticamente en uno de ellos a caudal intermedio 120 l/h se dio un error por encima de la banda de error permitida, pero sigue la tendencia de la partida. Se produce un repunte de la curva precisamente en la zona de mayor consumo para luego ir descendiendo y llegar a valores negativos a caudales elevados. La forma de la curva de error conduce a errores globales excelentes para su clase metrológica. En vista de la confluencia de las curvas se puede asegurar que la producción está perfectamente controlada.

De los 30 contadores ensayados del modelo 8 se ha tenido problemas con uno de ellos que salió claramente defectuoso. Ningún contador contabilizó a 6 l/h y, salvo cinco de ellos, tampoco lo hicieron a 10 l/h. Aquellos que pudieron totalizar lo hicieron a altos errores sin modificar el error promedio de la serie. Se observa una caída importante del error en la zona de mayor consumo para luego experimentar un repunte a caudales altos (valle). La forma de la curva de error conduce a errores globales bastante elevados para su clase metrológica, y respecto a la calidad de producción parece que no está suficientemente controlada como demuestra la disgregación de sus curvas.

FIGURA 23. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 7

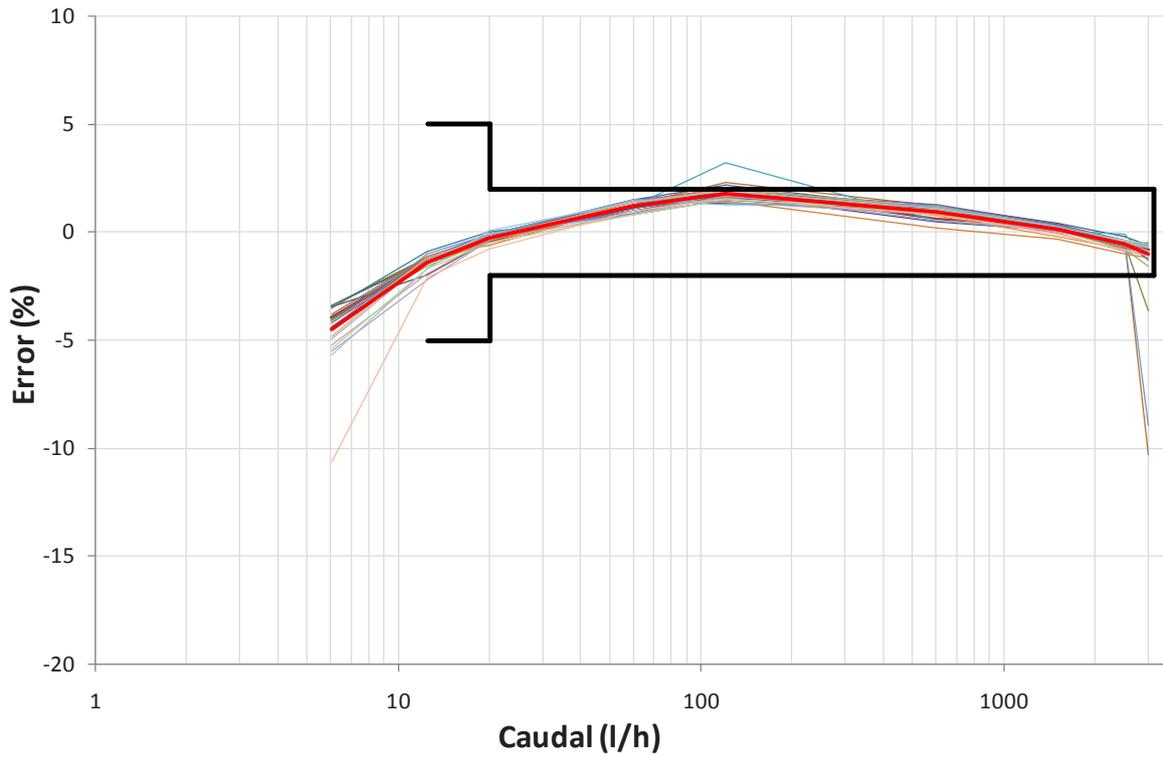
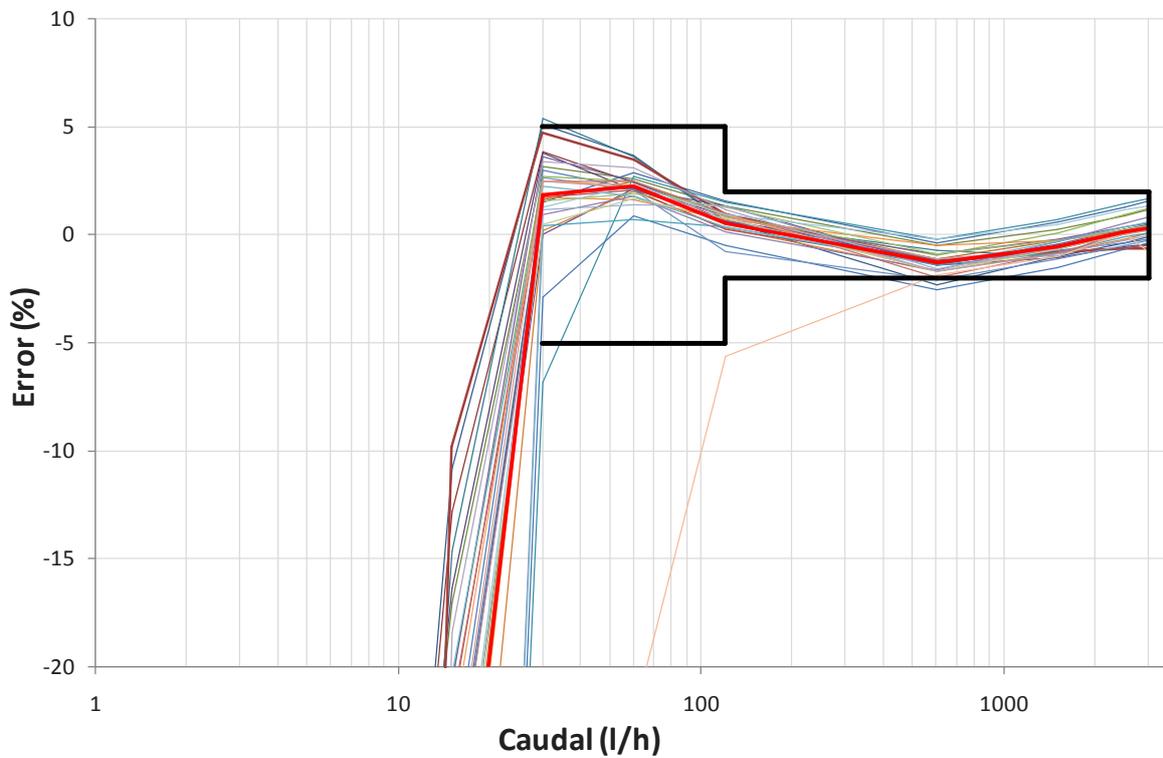


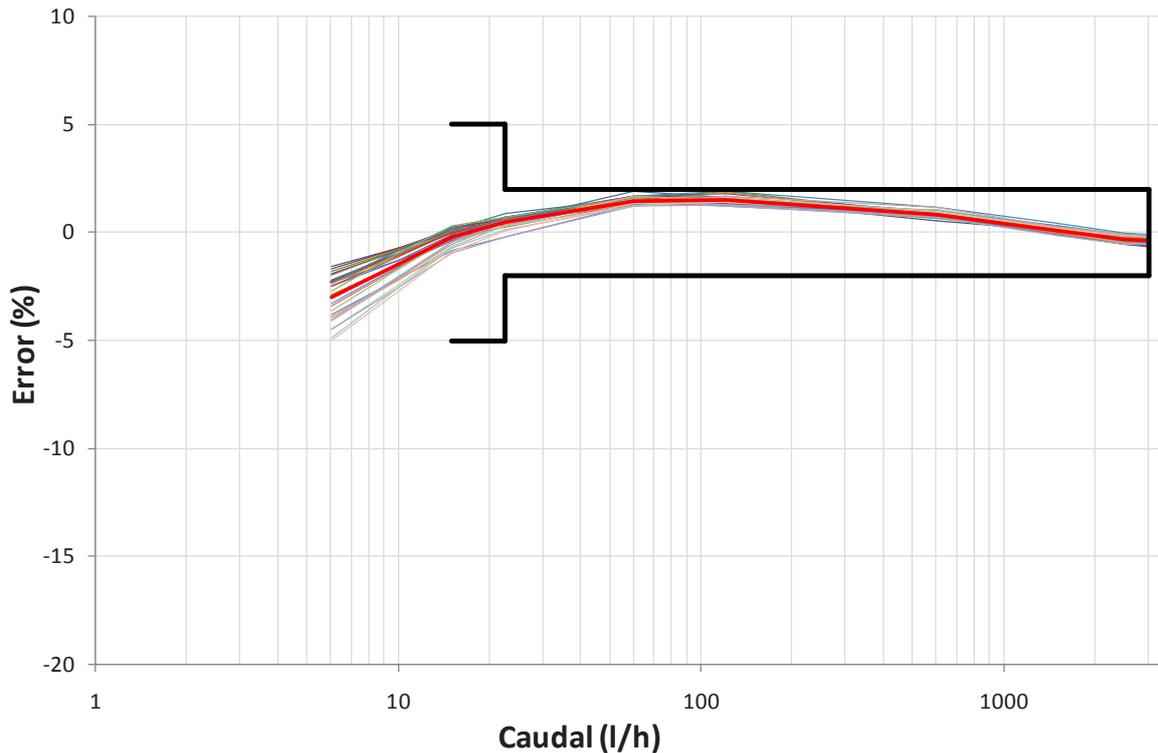
FIGURA 24. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 8



Observando la curva se reconoce que este modelo, 9, corresponde a un contador volumétrico. En los ensayos de la serie no aparecieron problemas con ningún contador

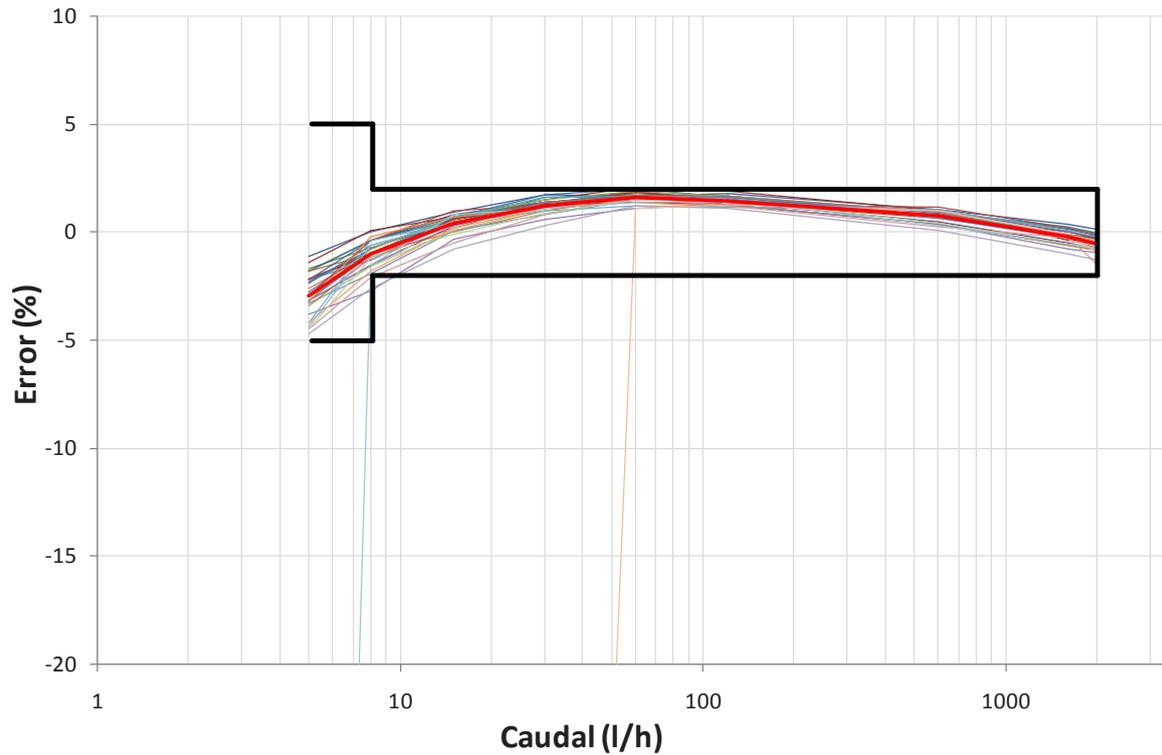
tal y como se puede ver. Lo más destacable es que en la zona de mayor consumo la curva presenta valores ligeramente positivos, tendiendo a reducirse, anularse e incorporarse a la franja de error negativa conforme se alcanzan mayores valores de caudal. Posiblemente, este modelo junto con el séptimo sean los que mejores resultados han obtenido de los ensayos, ya que las curvas de error de todos los aparatos son muy similares, lo cual es un buen indicador de calidad de la producción.

FIGURA 25. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 9



De este modelo de contador volumétrico, 10, destacamos que se dieron problemas durante los ensayos con dos unidades, una de ellas totalmente defectuosa y la otra con un grave error a caudal bajo, 6 l/h, no asumible por un contador de estas características metrológicas y tecnología de medición. Se aprecia que en los caudales sucesivos del rango inferior el comportamiento del aparato se normalizó, por lo que una posible explicación del error sería el estancamiento de una pequeña bolsa de aire en el contador, que al ir subiendo el caudal acabaría por purgarse. Su curva presenta el mismo comportamiento que la del anterior modelo aunque se observa mayor dispersión de las curvas a bajo y alto caudal, lo que nos indica que su proceso de fabricación es bueno pero no alcanza la calidad del anterior.

FIGURA 26. CURVAS DE ERROR DE CONTADORES + CURVA PROMEDIO. MODELO 10

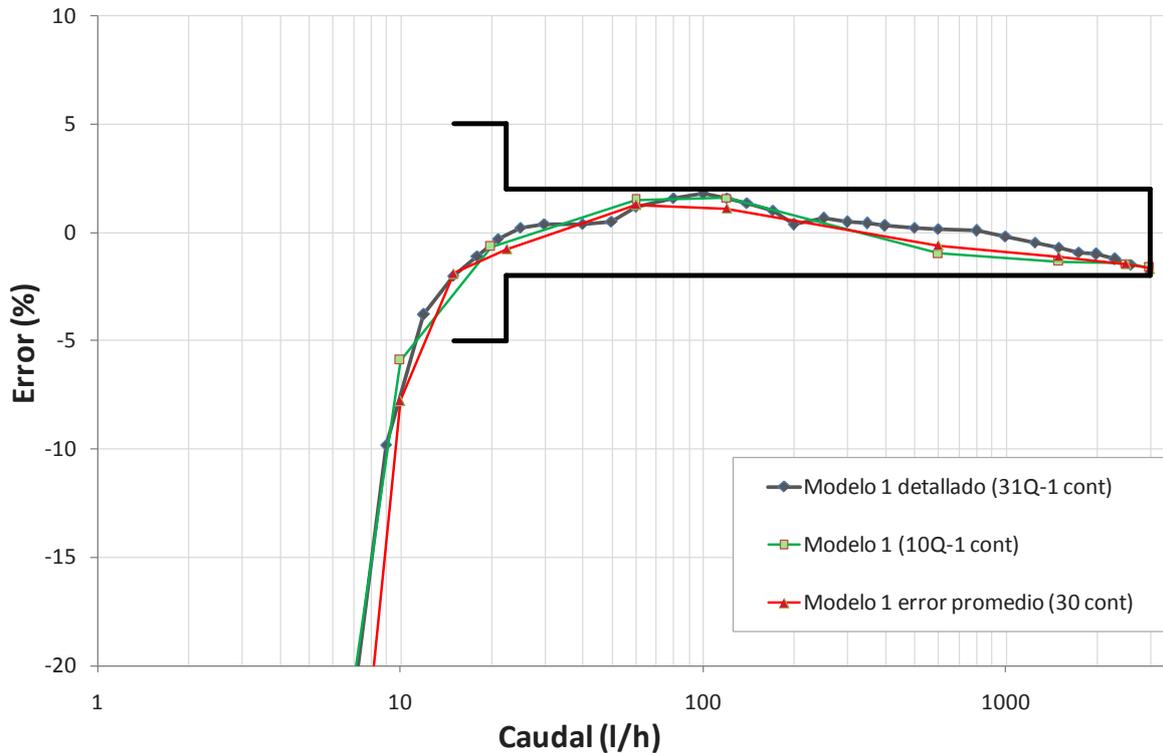


En este estudio también se analiza el comportamiento de 5 contadores de 5 modelos a un amplio rango de caudales, de esta manera se puede detallar el rendimiento de los contadores a caudales intermedios, su comportamiento a bajos rangos y precisar las diferencias entre modelos. La elección de los citados contadores se justificó en el anterior capítulo.

La forma en que se presentan los modelos seleccionados es análoga a todos ellos, mostrándose para cada uno de ellos:

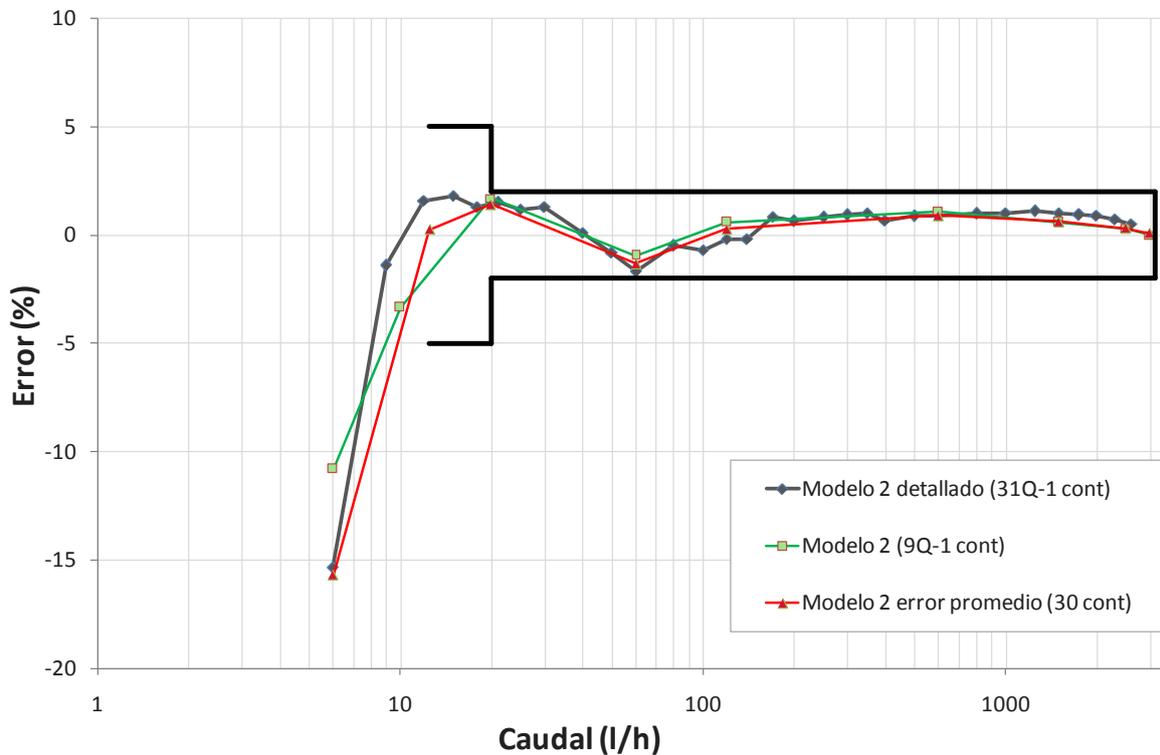
- curva de error del contador seleccionado a 9-10 caudales,
- curva promedio correspondiente al modelo y
- curva detallada del contador seleccionado a 31 caudales.

FIGURA 27. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO.
MODELO 1



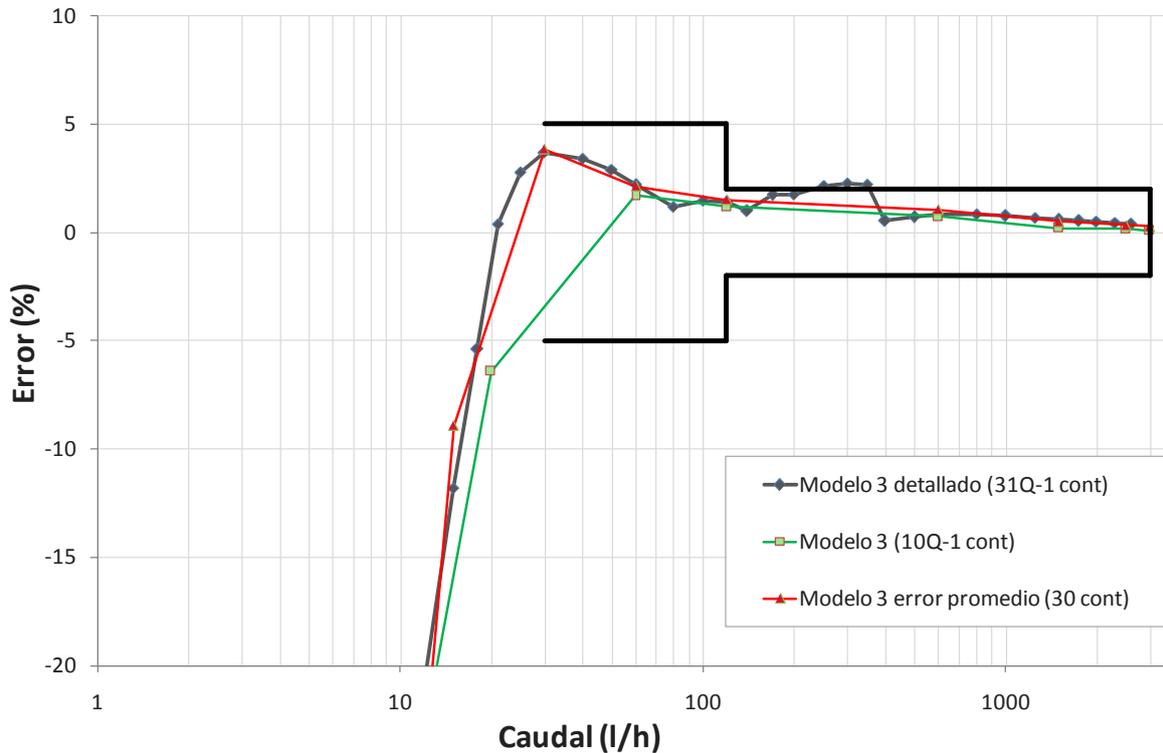
Mediante el estudio comparativo entre la curva inicial del modelo (10Q) y la detallada (31Q), se puede ver como los errores obtenidos a mayor precisión de caudal no difieren en exceso de los interpolados en la curva de menor número de caudales ensayados. Otro punto de interés es el comportamiento de la curva detallada en el rango de mayor consumo (200-1000 l/h), diferenciándose de las otras dos en que los errores calculados no son negativos y prácticamente se anulan (hecho que verifica su buen comportamiento a caudales intermedios). También se puede ver como sigue la misma tendencia en cuanto a incurrir en errores negativos a altos caudales, por lo que este modelo de contador no se recomienda en instalaciones con alto consumo y sí en aquellas que tengan mayor probabilidad de consumo a bajos caudales.

FIGURA 28. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 2



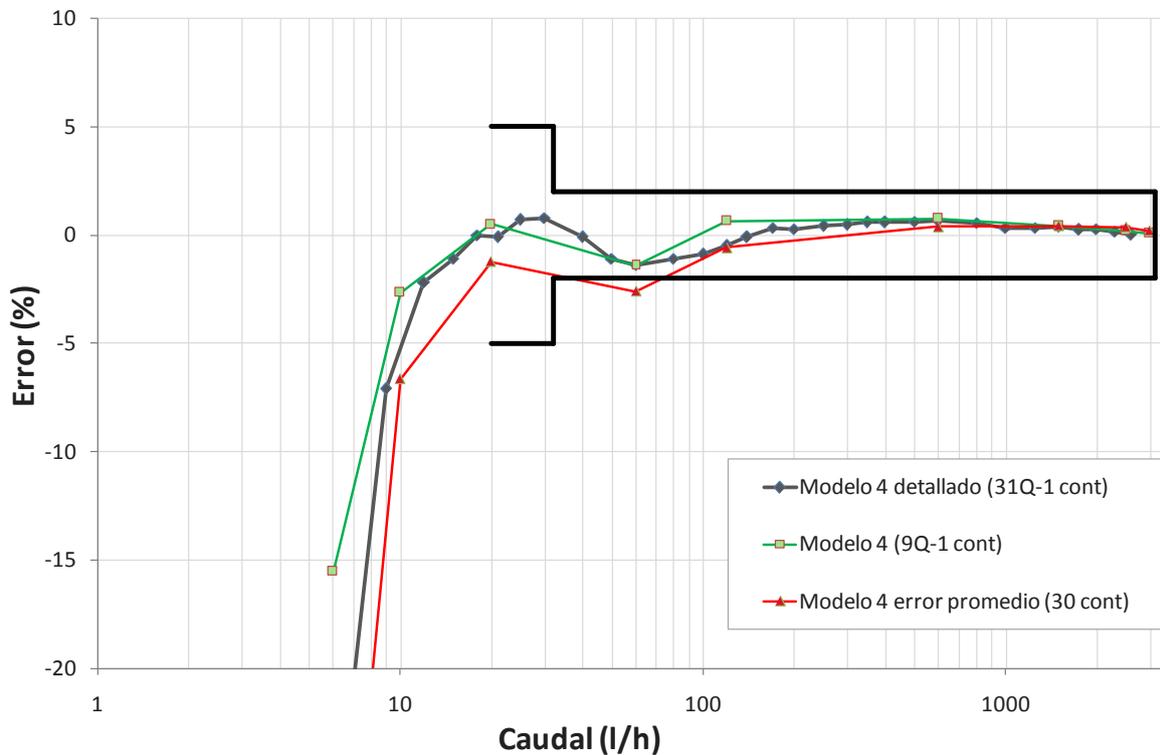
Como se puede apreciar en el primer tramo de la curva detallada, los errores obtenidos son más positivos que los supuestos en la linealización de las otras dos curvas, aún así están dentro de los márgenes de error. La zona que abarca el rango de caudales entre 15 y 200 l/h presenta un valle (los errores se van haciendo más negativos), coincidiendo el punto más bajo en las tres curvas a 60l/h. Al tratarse de un contador de velocidad, aun siendo de buena clase metrológica, existe una alta probabilidad que vea mermada su sensibilidad a caudales bajos más rápidamente que un contador volumétrico, razón por la que se recomienda el uso de este modelo para usuarios con consumos intermedios y altos. Afirmación que se confirma al observar el comportamiento de las curvas en los citados intervalos. Añadir a la recomendación dada que este contador también funciona bien a intervalos bajos de caudal, tal y como se ve en su gráfica, pero si tuviéramos que escoger un modelo para un usuario que consumiera a bajos caudales nos decantaríamos por un contador volumétrico antes que por este.

FIGURA 29. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO.
MODELO 3



Al igual que en el anterior modelo, la curva de error detallada del modelo 3 presenta valores más altos que la curva inicial del contador en el primer tramo. A caudales intermedios la curva experimenta un repunte que no reviste de mayor importancia al estar los valores controlados. Se repitieron los ensayos en esta banda de caudales para constatar que no fuese un error de procedimiento ni de lectura, la conclusión fue que en estos caudales la curva se sitúa alrededor de la banda de error superior, volviendo a valores cercanos a cero. Es un contador que por sus características metrológicas funcionaría bien en rangos de caudal altos y medios, aunque por lo visto en las curvas podría tener rendimientos regulares, de carácter uniforme, a bajos caudales siempre y cuando los patrones de consumo empleados no tengan consumos altos a caudales bajos, y no perdiendo la idea que es un contador tipo B.

FIGURA 30. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 4



Como se puede ver en el primer tramo los errores iniciales de la curva detallada se ajustan bien a su curva antecesora. Siguiendo el desarrollo de la curva, se observa el mismo efecto que en la curva detallada del modelo 2, surge un valle, aunque de menor intensidad. La curva acaba alcanzando al final de su evolución valores positivos. Al igual que en el modelo II, se recomienda estos contadores para usuarios con altos consumos (por ejemplo, viviendas con zonas verdes y riego automático). Con esta recomendación no se pretende reducir la polivalencia que tiene el contador a bajos caudales, ya que como se ve en las curvas tiene una disposición regular a este rango de caudales, siempre y cuando el usuario no consuma altos volúmenes a bajo caudal (no se ha de descuidar que es un R125)

En cuanto al estudio detallado de la curva de error del modelo 5, se puede ver un primer tramo que encaja perfectamente con su predecesora a 10 caudales. Es a partir del Q_{min} cuando se produce una subida exagerada del error con una pendiente inusitada de la curva. El descenso de la misma también es brusco para situarse, en dos caudales tomados, en errores negativos Tal y como ocurre en la curva promedio y en la de mayor proximidad, la curva detallada presenta una pendiente ascendiente volviéndose más positiva cuanto mayor es el caudal, llegado el punto que en los últimos valores de caudal se sale del rango. La sensibilidad a caudales bajos que tiene este modelo no está respaldada ni por su metrología ni por su caudal permanente, demasiado alto ($2.5 \text{ m}^3/\text{h}$).

FIGURA 31. COMPARATIVA DE LA CURVA PROMEDIO, CURVA DETALLADA Y CURVA DEL CONTADOR SELECCIONADO. MODELO 5

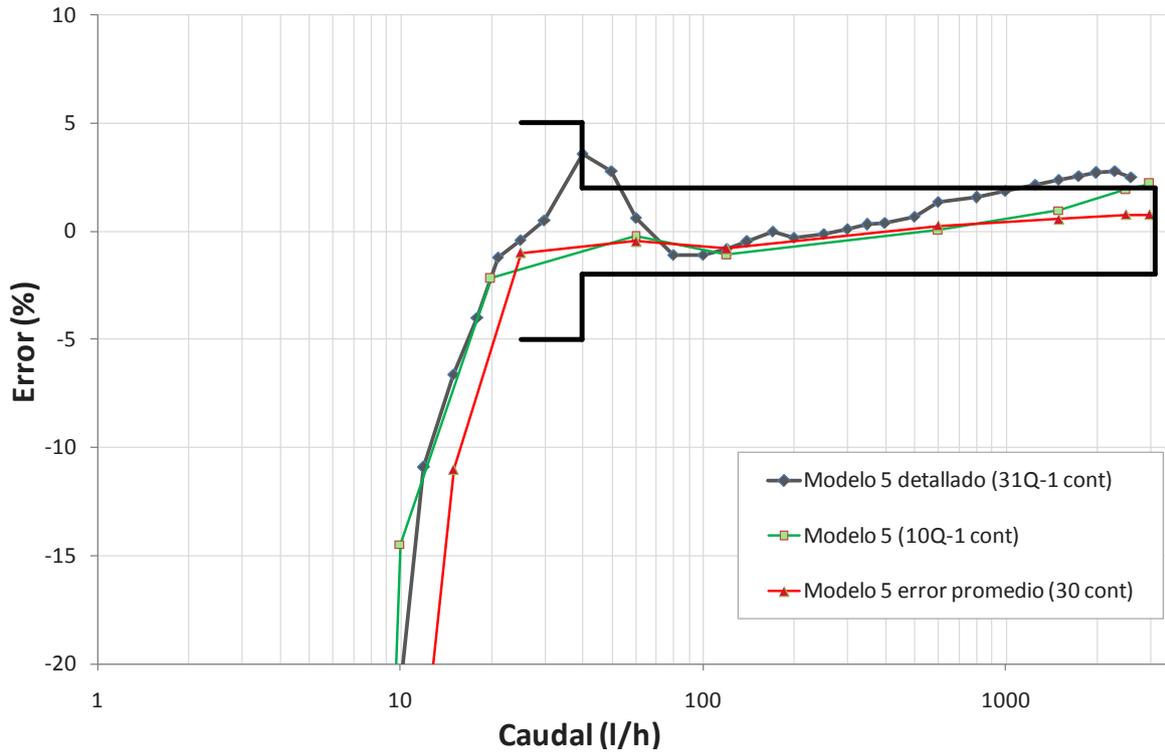
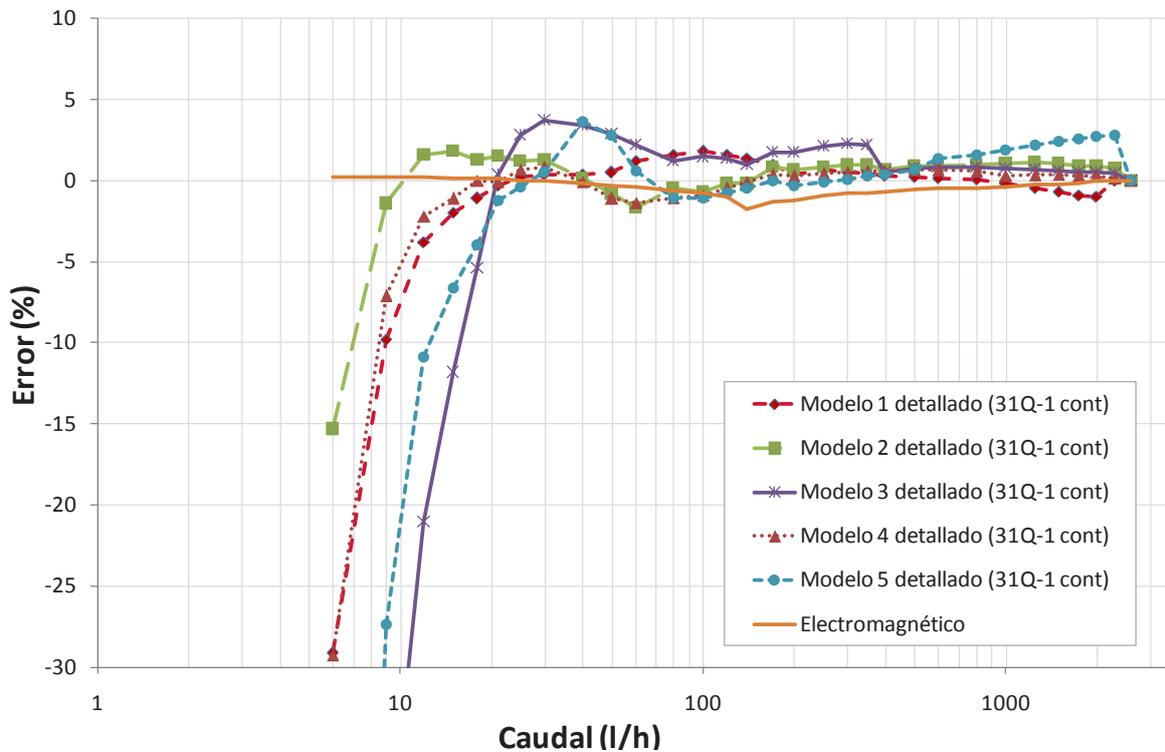


FIGURA 32. CURVAS DE ERROR DETALLADAS DE CONTADORES DE CHORRO ÚNICO



La Figura 32 recoge todos los modelos de contadores que han sido estudiados minuciosamente más el caudalímetro electromagnético, que sirve como referencia. Esta gráfica no difiere mucho de la que recoge las curvas promedio de los contadores de chorro único (*Figura*) en cuanto a una perspectiva general de las distintas clases metrológicas.

Mediante esta gráfica se puede establecer qué tipos de contadores tendrán mejor comportamiento en función del rango de caudal donde se produzca el consumo, así:

- A rangos inferiores destaca el comportamiento de los modelos 1 y 2, este último es el que detecta los caudales más bajos de todos los estudiados (curva más cercana al eje de ordenadas). En cuanto a los modelos 3 y 4 destacamos que tienen un rendimiento regular siempre y cuando no se trabaje con patrones donde los mayores consumos se den en franjas inferiores, no se puede olvidar sus características metrológicas. Del modelo 5 comentar que dada su metrología y su alto caudal permanente presenta una escasa sensibilidad a caudales bajos.
- En cuanto a los caudales intermedios y altos, destacamos los buenos rendimientos de los modelos 2 y 4, en el 3 se dio un repunte de los errores en el rango medio sin tener una mayor importancia al estar los valores controlados y volver a lo esperado a caudales altos. En cuanto al modelo 1 se aprecia un descenso de la curva de error sin mayor importancia, ya que continúa dentro de las bandas de error y próxima al cero. La curva del contador 5 destaca porque en esta franja toma una pendiente ascendiente saliendo de las bandas de error en la zona superior del intervalo, por lo que no se puede recomendar para medir a rangos elevados ya que el contador produciría un sobre conteo de una gran cantidad de volumen, y por tanto inaceptable.

4.2.2 Análisis de los errores globales

Teniendo en cuenta los patrones de consumo y las curvas de error promedio de los contadores (eliminando de cada modelo aquellos contadores claramente defectuosos que distorsionan la curva de error) se obtienen los siguientes errores iniciales para cada modelo de contador.

Se puede observar como los patrones correspondientes al tipo I y al de Aguas de Valencia arrojan errores globales comprendidos en un $\pm 1\%$. Estas variaciones están debidas al porcentaje de volumen que tenga asignado el patrón a caudales bajos.

Hay tres contadores que presentan claramente los errores menores, al ser volumétricos y debido a la forma de la curva de error: errores altos (aproximadamente $+ 2\%$) en el rango de mayor consumo y una excelente sensibilidad a caudales bajos. Los modelos a los que nos referimos son el 7, 9 y 10.

TABLA 26. ERRORES GLOBALES

Modelo	Error Patrón I	Error Patrón II	Error Aguas de Valencia
Modelo 1	-2.84	-5.44	-3.37
Modelo 2	-1.35	-3.57	-1.82
Modelo 3	-3.09	-7.44	-3.93
Modelo 4	-2.55	-5.43	-3.30
Modelo 5	-4.00	-8.43	-5.09
Modelo 6	-5.28	-10.05	-6.01
Modelo 7	-0.13	-1.00	-0.28
Modelo 81	-5.98	-11.29	-6.82
Modelo 9	-0.23	-1.19	-0.35
Modelo 10	-0.19	-1.00	-0.24

Algo similar ocurre con el modelo 2, para el que la forma de la curva de error a caudales medios (+0.9%) y la buena sensibilidad a caudales bajos hace que su error oscile entre el -1.35% y el -1.82% para patrones de consumo con alimentación directa desde red o a través de equipo de bombeo.

A un tercer nivel se sitúan los modelos 1, 4 y 3. Este último a pesar de ser un clase B obtiene buenos resultados gracias a la forma de la curva de error a caudales medios. La forma de la curva de error del modelo 4 conduce a errores globales bastante buenos para su clase metrológica, aunque al igual que en el modelo 2 en la zona de 60 l/h aumenta el error. Del modelo 1 destacar que la curva se vuelve más negativa cuanto mayor es el caudal y que en el rango de consumo más frecuente los errores promedios o son negativos o están a punto de serlo. Finalmente, por calidad metrológica podríamos ordenar los modelos restantes en el siguiente orden: 5, 6 y 8. Todos ellos cuentan con algún contador defectuoso.

Cabe mencionar que los errores globales crecen cuando tomamos el patrón de consumo tipo II, al corresponderse con un tipo de vivienda con depósito elevado y por tanto los errores a pequeños caudales tienen más peso, viéndose más perjudicados aquellos modelos que tienen una mala sensibilidad a rangos bajos.

A continuación se muestra la tabla que recoge los errores globales a partir de las curvas de error detalladas a 31 caudales y los patrones de consumo (desestimamos el patrón tipo I ya que es muy parejo al de Aguas de Valencia)

TABLA 27. ERRORES GLOBALES A PARTIR DE LAS CURVAS DETALLADAS

Modelo	Error Patrón II	Error Aguas de Valencia
Modelo 1	-4.66	-2.79
Modelo 2	-3.07	-1.54
Modelo 3	-7.39	-3.83
Modelo 4	-4.54	-2.59
Modelo 5	-7.03	-3.86

Se aprecia un descenso generalizado del error global en todos los modelos, destacando los modelos 5,4 y 1, en el modelo 2 se hace más complicado disminuir el error debido a su clase metrológica, y sorprende el modelo 3 sin apenas un descenso del error pese a triplicar el número de ensayos realizados, lo que reafirma en este último modelo los excelentes resultados obtenidos en el anterior cálculo del error global y que aun aumentando el número de caudales de ensayo el margen de mejora es muy estrecho. Esta justificación es válida también para aclarar porque no se han seleccionado los contadores volumétricos para el ensayo detallado a 31 caudales.

4.2.3 Justificación del número de caudales de ensayos necesarios para controlar la calidad de las partidas a partir del estudio del error medio ponderado

El objetivo principal de esta parte del estudio es lograr el mínimo número de caudales necesarios que garanticen la calidad de las partidas, o lo que es lo mismo obtener errores globales aceptables.

Para alcanzar dicho objetivo se analizan bloques de caudales a diferentes rangos, a partir de los cuales se estiman unos errores globales que se comparan con los extraídos de los ensayos a 31 caudales (*tabla Errores globales a partir de las curvas detalladas*). Los caudales ensayados, los errores calculados a partir de ellos y su diferencia con el error global están recogidos en el anexo I.

Tras analizar los resultados obtenidos se puede ver que conforme vamos aumentando el número de caudales nos aproximamos más al error global y las diferencias son menores. Así se determina que el número mínimo de caudales a ensayar en la obtención del error global son seis. Para su mejor visualización y entendimiento se recogen todos estos resultados en un gráfico de dispersión, uno por cada patrón de consumo.

Se puede apreciar que en los dos patrones de consumo la dispersión es menor conforme aumenta el número de caudales. La dificultad del estudio radica en establecer un número concreto de caudales que satisfaga a todas las clases metrológicas, ya que cada una de ellas tiene distinta sensibilidad según rangos de caudal. No se puede olvidar que este estudio es la base para la propuesta de estandarización del error de medición. Por ello se considera que aquellos bloques de caudal que presenten una diferencia menor a la unidad en todos los modelos serán considerados en el desarrollo de la propuesta.

Como conclusión del apartado se puede decir que la importancia del estudio radica en la obtención de un número de ensayos que garanticen una calidad adecuada en las partidas de contadores nuevos. Actualmente no se conoce ninguna línea de investigación que aborde el control de calidad de contadores nuevos desde esta perspectiva, pudiéndose considerar este Trabajo Fin de Máster como una referencia y punto de partida de futuros estudios.

FIGURA 33. GRÁFICO DE DISPERSIÓN PATRÓN TIPO II

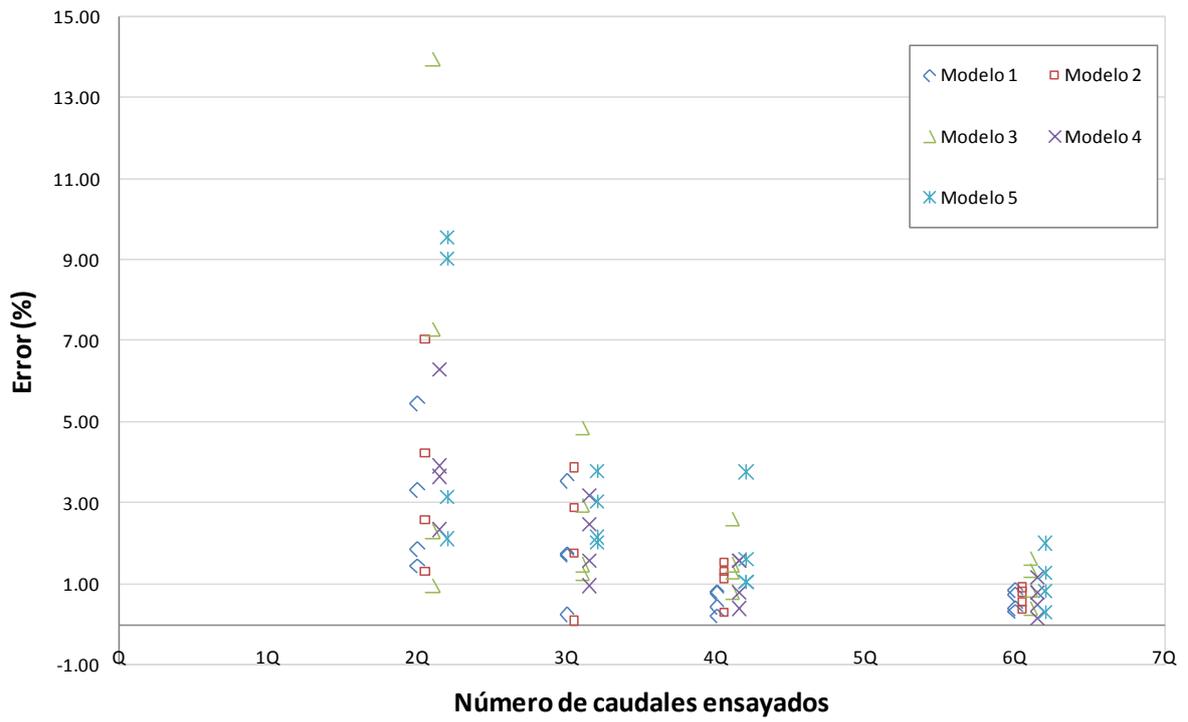
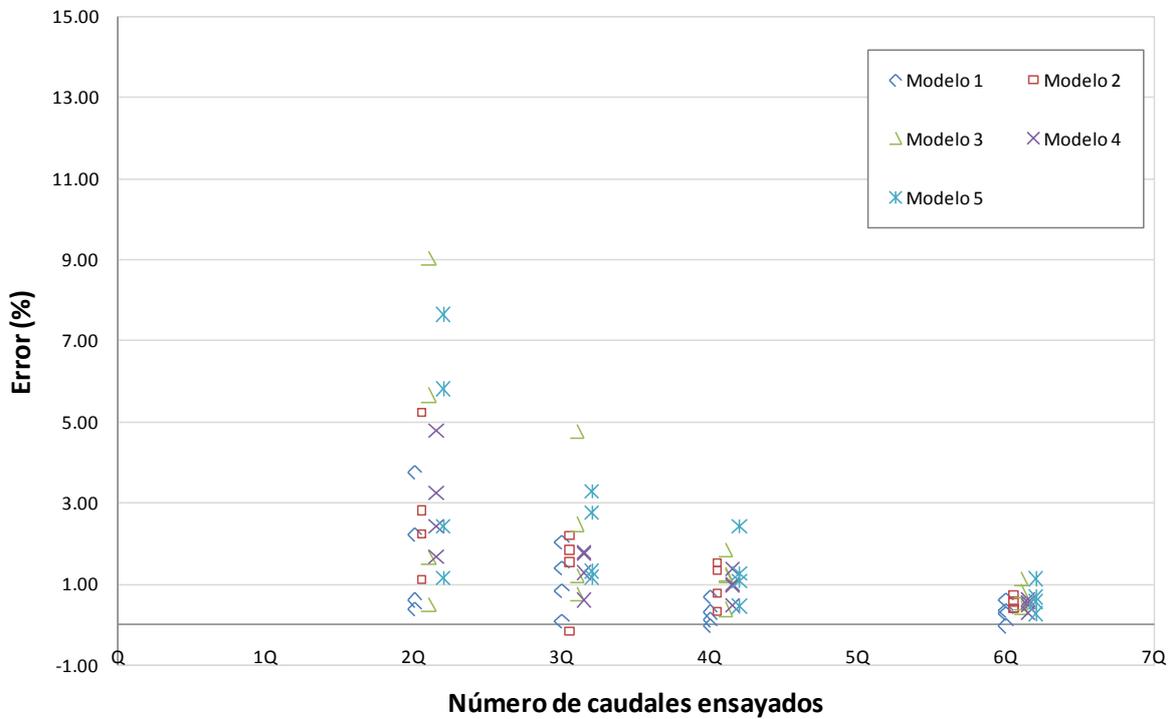


FIGURA 34. GRÁFICO DE DISPERSIÓN PATRÓN TIPO AGUAS DE VALENCIA



4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO III

Como se explicó en el capítulo anterior, el objetivo del presente estudio es proponer una estandarización del error de medición, lo que incluye una propuesta de patrón de consumo y una ponderación de los caudales de ensayo.

En cuanto al patrón de consumo, se trabaja con los dos patrones que se han empleado en los estudios anteriores: patrón Tipo II y patrón Aguas de Valencia.

En lo que respecta a los caudales, trabajamos con los valores de error obtenidos en los ensayos a 31 caudales. Para que el estudio sea aplicable a todos los modelos, en aquellos contadores que no fueron ensayados exhaustivamente, se estiman los errores no conocidos mediante interpolación. Se presta mayor atención en este cálculo a los modelos 6 y 8 que a sus homólogos volumétricos, puesto que presentan una mayor dispersión de las curvas de error aunque cabe decir que siguen una misma tendencia.

En base a las *tablas 26 y 27*, y los resultados analizados del segundo estudio, los caudales propuestos, los errores globales obtenidos, así como su diferencia con los errores globales de referencia se presentan en las tablas recogidas en el anexo II.

Como se puede apreciar en los resultados y teniendo en cuenta la condición del apartado 3.5.4 (no aceptables diferencias mayores a 1 e inferiores a -1), sólo son válidas aquellas series que presentan un valor inicial de caudal muy bajo, 6 l/h, que hace que algunos de los contadores estén próximos a la unidad o la superen en algún caso. Esta circunstancia se da en aquellos modelos de metrología menor como los modelos 6 y 8, y en algún caso particular en los modelos 4 y 5.

Igualmente destaca que los resultados de los contadores volumétricos cuando el caudal de inicio de la serie no es 6 l/h sean superiores a la unidad. Razón por la que se recomienda, en base a esta situación, diferenciar las series de los contadores de chorro único a las de los volumétricos, en pos de optimizar el tiempo de los ensayos y consecuentemente beneficiarse de una mejor gestión del abastecimiento.

Se considera como una propuesta de la serie de caudales para los modelos de chorro único aquella que recoja un caudal de inicio igual a 9 l/h, dos caudales entre el rango de 20-60 l/h, un caudal intermedio entre 120 y 600l/h y dos caudales entre los valores 600-2600 l/h, recomendándose en esta última franja que se incluya en la serie al menos un Q_3 o Q_p de los modelos a ensayar.

En cuanto a los caudales planteados para los contadores volumétricos, se verifica que siempre y cuando el primer caudal de la propuesta sea 6 l/h y el resto de valores estén distribuidos dentro de la normalidad, es decir que haya una representación ponderada de los rangos bajo, intermedio y alto, todas las opciones de caudal son válidas.

Siguiendo esta línea, se realiza un análisis en mayor profundidad de los contadores volumétricos con el fin de vislumbrar a qué número de caudales y en qué cuantía de los mismos dejan de ser apropiados. Los resultados obtenidos se detallan en el anexo III.

Se aprecia que el análisis a cuatro caudales, siempre y cuando se mantengan las condiciones citadas para este tipo de contador, es valedero en todas las propuestas.

Es en el estudio a tres caudales donde se ve las primeras no conformidades. Como se advierte, es en el segundo caudal donde se aprecia la diferencia entre series., debido a que la mayor parte del consumo se da en valores intermedios. Por lo que se demuestra que conociendo tan sólo dos caudales de la curva, siempre que el primero sea 6 l/h y el segundo esté en la franja de mayor de consumo, la propuesta será válida.

Del estudio se deduce que primero, en la propuesta de caudales se ha de diferenciar entre tecnologías de medición si se persigue la optimización de la gestión en abastecimientos, en vista a economizar los tiempos de ensayo, segundo, se ha de tener presente el patrón de consumo a la hora de ponderar los caudales, y tercero, es una herramienta novedosa en el control de calidad a la recepción de contadores nuevos.

4.4 PROCEDIMIENTO DE CALIDAD A LA RECEPCIÓN

4.4.1 Introducción

El procedimiento de calidad a la recepción está regulado mediante por la Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1988 y por el RD 889 de 21 de julio de 2006. Estos documentos recogen, entre otros aspectos, la verificación primitiva que es definida como el proceso que ha de pasar cada contador, individualmente, antes de salir de fábrica. En este proceso, se obtiene el error de medición del contador a través de tres caudales (mínimo, transición y máximo) y se comprueba que es inferior al error máximo permitido. El sentido de establecer este procedimiento es descartar aquellos contadores que se encuentren en mal estado y por tanto no sean propicios para la medición.

Hay abastecimientos y empresas del sector que dan como únicos y válidos los ensayos realizados por el fabricante. Obviando un posible factor en el error como es el transporte y la manipulación de los contadores, y la posibilidad que éstos sufran pequeños golpes que alteren su metrología durante la consecución de las tareas anteriores. Por ello, y dada la inversión que supone una buena elección de contadores, las empresas de agua deben realizar una serie de procedimientos de control de calidad de los contadores independientes a los ya practicados por el fabricante.

Como se ha explicado, dentro del procedimiento de calidad a la recepción se hallan posibles factores que alteran el error de medición de un contador. Principalmente, los relacionados con el proceso de fabricación, vistos en los anteriores estudios, y los concernientes al embalaje y manipulación (durante el transporte).

4.4.2 Análisis de las muestras ensayadas

En este apartado se presenta el estado en el que se ha recibido cada modelo de contador y las posibles medidas correctoras a aplicar a fin de disminuir los riesgos que incrementen la aparición del error.

A continuación se muestran diferentes imágenes del material, no habiendo relación en el orden de designación de estos modelos con los modelos de los estudios anteriores (el modelo 1 no se corresponde con el modelo A, y así repetidamente para el resto) a fin de preservar la privacidad de los fabricantes.

Modelo A

El embalaje como puede verse es correcto, y los contadores están protegidos en cajas individuales. Además cada contador cuenta con dos tapas roscadas para evitar la entrada de residuos que puedan afectar al mecanismo.

FIGURA 35. EMBALAJE CONTADORES MODELO A



Modelo B

El embalaje es correcto, y los contadores están suficientemente protegidos. También tienen tapas roscadas. Al ser más voluminosos se acopian en menor número.

FIGURA 36. EMBALAJE CONTADORES MODELO B

**Modelo C**

El embalaje es correcto, y los contadores están suficientemente protegidos. Todos los contadores llevan tapas roscadas.

Modelo D

El embalaje es correcto, y los contadores están protegidos en cajas individuales. No llevan tapones roscados en toma de entrada y salida.

Modelo E

El embalaje no es correcto, y los contadores no están lo suficientemente protegidos. Están separados mediante una mediana endeble de cartón, que no imposibilita que ante cualquier movimiento brusco de la caja los contadores choquen unos con otros. Se recomienda que no si no van a ir en cajas individuales, se acopien mediante módulos como en los modelos B y C, o se disponga de un separador más consistente y de material esponjoso o espumoso que absorba los impactos o vibraciones, asimismo es conveniente fortalecer el material de la caja. No cuentan con tapones roscados.

FIGURA 39. EMBALAJE CONTADORES MODELO E



Modelo F

El embalaje no es del todo correcto, y los contadores no están lo suficientemente protegidos, los cuales están separados mediante una mediana endeble de cartón y el material de la caja no es muy resistente. Cuenta con material espumoso que absorbe las vibraciones e impactos. Se recomienda que de seguir con este embalaje se refuerce el separador así como el material de la caja, y de cambiar se opte por la opción de los modelos B y C. El modelo viene sin tapas en las tomas.

FIGURA 40. EMBALAJE CONTADORES MODELO F



Modelo G

El embalaje es correcto, y los contadores están protegidos en cajas individuales. El modelo se comercializa con tapones roscados.

FIGURA 41. EMBALAJE CONTADORES MODELO G



Modelo H

El embalaje no es correcto, y los contadores no están suficientemente protegidos. Tanto el material de la caja como el del separador son débiles. No tiene material espumoso que ocupe los espacios vacíos. Sin protección en las tomas de entrada y salida. Se recomienda un embalaje como el de los modelos B y C por la morfología del contador.

FIGURA 42. EMBALAJE CONTADORES MODELO H



Modelo I

El embalaje no es correcto, y los contadores no están suficientemente protegidos. Los contadores están separados en celdas por una mediana de cartón, que a priori parece robusta, mas no se ha de olvidar que el material puede deshacerse con facilidad. No hay material esponjoso o espumoso que evite el traqueteo de los aparatos. El modelo no cuenta con tapones para las tomas. Se recomienda cambiar el material de la mediana, así como de la caja por uno más robusto e incluir material espumoso o esponjoso en los espacios. Sino cambiar al tipo de embalaje de los modelos A, D y G.

Modelo J

El embalaje no es correcto, y los contadores no están lo suficientemente protegidos. Las especificaciones y recomendaciones que se han dado en el modelo anterior, el I, son extrapolables a éste.

FIGURA 43. EMBALAJE CONTADORES MODELO I



FIGURA 44. EMBALAJE CONTADORES MODELO J



4.4.3 Conclusiones

Como se ha visto, el procedimiento de calidad a la recepción de contadores nuevos tiene dos enfoques, por un parte está el proceso de fabricación, estudiado en profundidad en los estudios I y II del presente trabajo, y por otra el sistema de transporte, embalaje y manipulación.

A continuación daremos una serie de pautas que han de seguirse para asegurar la correcta recepción de los materiales.

- Planificar la recepción en arreglo al tiempo y espacio a emplear
- Preparación y empleo del equipo suficiente y necesario
- Equiparse de los sistemas de seguridad y protección requeridos para la operación
- Recibir e inspeccionar el estado de los artículos de una manera ordenada
- Cotejar las cantidades del material recibido con la orden de compra y envío
- Redactar informes cuando hay escasez, daños durante el tránsito y devoluciones al proveedor.

Asimismo se detallan las disconformidades que se vieron en la recepción de los contadores. Uno de los puntos más importantes en la recepción de la mercancía es el estado en el que nos llega.

Como se puede apreciar en las imágenes posteriores, durante el transporte debido a la falta de robustez del material el embalaje sufrió daños. A ello se le suma que estos contadores, a pesar de ir individualmente protegidos en una caja, no estaban acopiados en el mismo envase que el resto sino que estaban fuera de él, y por tanto tuvieron mayor riesgo de daño.

FIGURA 45. DAÑOS EN EL EMBALAJE POR MANIPULACIÓN DURANTE EL TRANSPORTE



La solución a este problema es la disposición ordenada de las partidas y su paletizado.

FIGURA 46. PALETIZACIÓN DE PARTIDAS COMO MEDIDA PREVENTIVA



Otro aspecto que se ha comentado en el desarrollo del apartado, es el traqueteo que sufre el material al ser transportado o manipulado. Las imágenes siguientes corresponden al estado en que llegó una partida de contadores y cómo debería haber llegado, aun habiendo deficiencias en el embalaje.

FIGURA 47 .DISPOSICIÓN DE LA PARTIDA A LA RECEPCIÓN. DAÑO POR TRAQUETEEO



FIGURA 48. DISPOSICIÓN INICIAL DE LA PARTIDA



Mediante el procedimiento de calidad a la recepción se consigue:

- Mejorar la calidad del producto al someterlo a diversos controles.
- Creación de políticas de calidad que incluyan auditorias donde se inspeccione y supervise el nivel de calidad aceptable.
- Minimizar costes, involucrando a las empresas fabricantes en los procedimientos de aseguramiento de la calidad.
- Mayor instauración de medidas preventivas que correctivas, en interés de una mejor producción y servicio.
- Mejor gestión del abastecimiento al tener un mayor control sobre los errores de medición.
- Establecer una cultura de calidad en la que cooperen tanto los fabricantes como los usuarios.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 CONCLUSIONES

El Trabajo Fin de Máster destaca la necesidad de establecer un control de calidad a la recepción en contadores nuevos. Esta necesidad se hace cada vez más acuciante debido a la gran diversidad de modelos y tecnologías existentes en el mercado, inclusive las ofertadas por un mismo fabricante. Ello conduce a que resulte más complicado el análisis del rendimiento real de los contadores al aparecer simultáneamente muchas variables relacionadas entre sí y que condicionan el error global efectivo de los mismos.

A la complejidad del problema se añade la carencia de estudios publicados y datos disponibles en este ámbito. Es cierto, que algunas empresas del sector tienen sus propias políticas de inspección, cuyos procedimientos y resultados rara vez se publican, y de serlo se hace siempre de manera resumida en cuanto a metodología y datos aportados, tendiendo a ensalzar la buena gestión o proceso de fabricación. Por lo tanto, estas escasas publicaciones no se pueden tomar en cuenta como referentes de cara al desarrollo del presente Trabajo Fin de Máster.

Es cierto que se podría discutir sobre la necesidad de realizar un control de calidad a la recepción, puesto que la gran mayoría de los fabricantes garantizan la calidad de sus partidas a través de la denominada *verificación primitiva*, según la cual, cada contador sin excepción y antes de salir de fábrica, debe ensayarse individualmente a tres caudales (mínimo, transición y máximo), comprobándose que el error es inferior al máximo permitido. Pero no es menos cierto que con relativa frecuencia no se cumple los requisitos sobre el error máximo permitido, bien porque ha escapado al control o bien por incidencias ocurridas posteriormente a la realización del ensayo. Esta afirmación se ha comprobado en varios de los modelos de contador ensayados, en los que a pesar de los supuestos controles iniciales, se ha detectado un número nada despreciable de instrumentos defectuosos.

Para prevenir estos fallos de calidad de los instrumentos adquiridos se propone la evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos y se comprueba la necesidad de estandarizar los procedimientos con el fin de facilitar su implantación por los técnicos de los abastecimientos de agua que, en general, disponen de conocimientos limitados de estadística. Esta estandarización del procedimiento de ensayo y de cálculo del error global conlleva, necesariamente, la necesidad de definir los caudales de ensayo de los contadores y del peso relativo de cada caudal en el cálculo del error global.

En una primera fase del estudio se han evaluado 10 modelos de contadores nuevos con el fin de conocer la fiabilidad de los fabricantes y de determinar el error global inicial de los mismos. Para ello se plantea un análisis de variabilidad de las curvas de error de la muestra de cada modelo, cuyos resultados se representan a través

de gráficos de dispersión. De su análisis se extrae que los modelos volumétricos (7,9 y 10) tienen todos un proceso de fabricación perfectamente controlado presentando una dispersión de la curva de error mínima (y que podría incluso achacarse a la propia incertidumbre del ensayo). En los modelos de velocidad, chorro único, de clase metrológica B - modelos 3, 6 y 8 – se aprecian diferencias entre ellos significativas en lo que se refiere al proceso de producción. Mientras que la dispersión de las curvas del modelo 3 es bastante baja, en los otros dos modelos la dispersión es bastante superior. Por otro lado el proceso de fabricación en los modelos 1 y 2 aparentemente está controlado, con la salvedad que en el modelo 1 hay un comportamiento errático a caudales bajos, que puede tener su origen en la calidad de los componentes; en los modelos 4 y 5, por la amplitud de los intervalos de confianza, la producción no parece estar controlada.

Se observa que en función de la tecnología de medición los resultados varían considerablemente, ya que los contadores de velocidad son muy sensibles a las características dimensionales del cuerpo (que habitualmente se mecaniza en latón), a la alineación de los apoyos, y en definitiva, a una multitud de parámetros que son muy difíciles de controlar en la fase de producción. Es por ello que a los fabricantes les resulta extremadamente complicado producir modelos en los que los contadores tengan, todos ellos, curvas de error cercanas y próximas a las deseadas. La probabilidad de fallo en la producción de un contador de velocidad es mucho mayor que en los contadores volumétricos.

Adicionalmente al estudio de la dispersión de la curva de error de los contadores, se ha evaluado la calidad de los diferentes modelos ensayados a través de la forma de la curva de error. No sólo es importante asegurar que el fabricante sea capaz de producir contadores que tengan curvas de error similares. Además es deseable que la curva de error sea lo más plana posible y proporcione el mejor (más positivo, dentro de los límites legales) error global. Para ello se obtuvo el error global, para diferentes patrones de consumo, de los 10 modelos de contador ensayados. A modo resumen se muestra la tabla que recoge los errores de los modelos.

Modelo	Error Patrón I	Error Patrón II	Error Aguas de Valencia
Modelo 1	-2.84	-5.44	-3.37
Modelo 2	-1.35	-3.57	-1.82
Modelo 3	-3.09	-7.44	-3.93
Modelo 4	-2.55	-5.43	-3.30
Modelo 5	-4.00	-8.43	-5.09
Modelo 6	-5.28	-10.05	-6.01
Modelo 7	-0.13	-1.00	-0.28
Modelo 81	-5.98	-11.29	-6.82
Modelo 9	-0.23	-1.19	-0.35
Modelo 10	-0.19	-1.00	-0.24

Hay tres contadores que presentan claramente los errores menores, son los correspondientes a los modelos 7, 9 y 10. Se trata de contadores volumétricos que presentan una excelente sensibilidad a caudales bajos, y debido a la forma de la curva de error: errores altos (aproximadamente +2%) en el rango de mayor consumo.

Algo similar ocurre con el modelo 2, para el que la forma de la curva de error a caudales medios (+0.9%) y la buena sensibilidad a caudales bajos hace que su error oscile entre el -1.35% y el -1.82% para patrones de consumo con alimentación directa desde red o a través de equipo de bombeo.

A un tercer nivel se sitúan los modelos 1, 4 y 3. Este último a pesar de ser un clase B obtiene buenos resultados gracias a la forma de la curva de error a caudales medios. La forma de la curva de error del modelo 4 conduce a errores globales bastante buenos para su clase metrológica. Del modelo 1 destacar que la curva se vuelve más negativa cuanto mayor es el caudal y que en el rango de consumo más frecuente los errores promedios o son negativos o están a punto de serlo.

Finalmente, por calidad metrológica podríamos ordenar los modelos restantes en el siguiente orden: 5, 6 y 8. Todos ellos cuentan con algún contador defectuoso.

Como complemento al estudio anterior se ha comprobado el comportamiento de 5 modelos en un amplio rango de caudales (30 caudales) concluyendo que a rangos inferiores destaca el comportamiento de los modelos 1 y 2; de los modelos 3 y 4 destacamos que tienen un rendimiento regular siempre y cuando no se trabaje con patrones donde los mayores consumos se den en franjas inferiores; del modelo 5 comentar que dada su metrología y su alto caudal permanente presenta una escasa sensibilidad a caudales bajos. En cuanto a los caudales intermedios y altos, destacamos los buenos rendimientos de los modelos 2 y 4; en el modelo 1 se aprecia un descenso de la curva de error sin mayor importancia; la curva del contador 5 sale de las bandas de error en la zona superior del intervalo; y por último el modelo 3 tiene un comportamiento normal atendiendo a su clase metrológica.

Por último, a partir de la investigación y el análisis del error medio ponderado se cuantificó el número de ensayos para controlar de forma óptima la calidad de las partidas. Hay que tener en cuenta que aumentar el número de caudales de ensayo mejora la cantidad y calidad de información pero aumenta sensiblemente el coste de los mismos. Se llegó a la conclusión que para obtener un error no muy alejado del error global de referencia, obtenido con 30 caudales de ensayo, el número de caudales de ensayo óptimo es de seis.

El tercer estudio se focaliza en la estandarización del cálculo del error de medición, a partir de la propuesta de un patrón de consumo y de los caudales de ensayo para la totalidad de los contadores domésticos. La estandarización se basa en el punto del estudio anterior donde se justifica la elección de un número determinado de caudales de ensayo.

Se considera como una propuesta de la serie de caudales para los modelos de chorro único aquella que recoja un caudal de inicio igual a 9 l/h, dos entre el rango de 20-60 l/h, uno intermedio entre 120 y 600l/h y dos entre los valores 600-2600 l/h, recomendándose en esta última franja que se incluya en la serie al menos un Q_3 o Q_p de los modelos a ensayar.

5.2 APORTES DEL TRABAJO

El principal aporte de este Trabajo Fin de Máster es el desarrollo de una propuesta de control de calidad a la recepción para contadores nuevos, que permita analizar el rendimiento real de los contadores. Cada estudio desarrollado aporta una serie de nuevas ideas que no se han visto desarrolladas en otros estudios.

En el primer estudio a partir del análisis de la variabilidad, se pone de manifiesto la fiabilidad de los fabricantes, es decir la calidad de su proceso productivo, a través de comparativas entre contadores de un mismo modelo y modelos diferentes.

En el segundo estudio, se comprueba el comportamiento de 5 modelos a un amplio rango de caudales con el fin de comprender su funcionamiento a caudales bajos, ya que esta es la zona más sensible a los errores de medición y problemática de cara a determinar el consumo real del usuario

El análisis del error medio ponderado es una herramienta diferente en el control de calidad a la recepción de contadores nuevos, que permite cuantificar el número de caudales a ensayar para controlar la calidad de las partidas. Además, actualmente no se conoce ninguna línea de investigación que aborde esta materia desde esta perspectiva, pudiéndose considerar este Trabajo Fin de Máster como una referencia y punto de partida de futuros estudios.

La estandarización del cálculo del error de medición, a partir de la propuesta de un patrón de consumo y de los caudales de ensayo para la totalidad de los contadores domésticos, es otro desarrollo diferente a lo que se había hecho. Siguiendo esta línea se deduce que: primero, en la propuesta de caudales (ponderación) se ha de diferenciar entre tecnologías de medición si se persigue la optimización de la gestión en abastecimientos, en vista a economizar los tiempos de ensayo, segundo, se ha de tener presente el patrón de consumo a la hora de ponderar los caudales, y tercero, supone una herramienta útil en el control de calidad a la recepción de contadores nuevos.

5.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como se ha comentado en el apartado anterior, el desarrollo de la estandarización del cálculo del error de medición es un avance innovador en el campo del control de calidad a la recepción.

El trabajo Fin de Máster puede considerarse como un primer acercamiento a la propuesta de estandarización. No obstante, se habrá de desarrollar en diversos abastecimientos con características distintas para que se estime como una herramienta de aplicación general.

Por otro lado, en la estandarización no se ha desarrollado la componente económica, con lo que esta puede ser una importante vía de estudio en aras de economizar los ensayos a realizar en las partidas de contadores nuevos.

Capítulo 6

Referencias

6.1 REFERENCIAS

6.1.1 Referencias bibliográficas

Allander H., 1996. *Determining the Economical Optimum Life of Residential Water Meters*. Journal of Water Engineering and Management. Vol. 143, no. 9, pp. 20-24.

Arregui, F.J.; Palau, C.V.; Gascón, L.; Peris, O., 2003 *Evaluating domestic water meter accuracy. A case study*.

Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., García-Serra J., 2005 *Keys factors affecting water meter accuracy*

Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., García-Serra J., 2006 *Reducing Apparent Losses Caused By Meters Inaccuracies*

Arregui F., Cabrera E. Jr., Cobacho R., 2007. *Integrated water meter management*. IWA Publishing.

Arregui F.J.; Pardo M.A.; Parra J.C.; Soriano J., 2007. *Quantification of meter errors of domestic users. A case study*

Arregui F.J.; Cobacho R., Soriano J., García-Serra J., 2010. *Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies*

Fantozzi M., 2009. *Reduction of customer meters under-registration by optimal economic replacement based on meter accuracy testing programme and Unmeasured Flow Reducers*. Proceedings of the 5th IWA Water Loss Reduction Specialist Conference. International Water Association (IWA), pp. 233-239.

Fantozzi M., Criminisi A., Fontanazza C.M., Freni G., Lambert A., 2009. *Investigations into under-registration of customer meters in Palermo (Italy) and the effect of introducing Unmeasured Flow Reducers*.

- Neilsen MA., Barfuss SL. And Johnson MC., 2011. *“Off-the-shelf accuracies of residential water meters”*, Journal AWWA, sept. 2011.
- Mutikanga, H.E., Sharma, S.K., Vairavamoorthy K., 2010. *Assessment of apparent losses in urban water systems*
- Mutikanga, H.E., Sharma, S.K., Vairavamoorthy K., 2011. *Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda*
- Mutikanga, H.E., Kizito, F., Sharma, S.K., Vairavamoorthy K., 2011. *Decision support tool for optimal water meter replacement*
- Water Research Foundation, 1999. *Residential End Uses of Water*
- Water Research Foundation, 2011. *Accuracy of In-Service Water Meters at Low and High Flow Rate.*
- Yee M.D. (1999). *Economic analysis for replacing residential meters.*Journal of AWWA.Pp 72-77. July 1999

6.1.2 Referencias legislativas

- Orden Ministerial de 28 de diciembre de 1988, por la que se regulan los contadores de agua fría y aplica la Directiva 75/33/CEE de 17.12.74 (BOE N° 55, de 6.3.1989).
- Real Decreto 889/2006, de 21 de julio, por el que se regula el control metrológico del Estado sobre instrumentos de medida.

Anexos

Anexo I

TABLA 28. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-80 L/H

Caudales 6-80 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-6.1271	-3.3965	1.46	0.61
Modelo 2	-5.6514	-3.7643	2.58	2.23
Modelo 3	-14.6818	-9.4882	7.30	5.66
Modelo 4	-8.4568	-5.8368	3.91	3.25
Modelo 5	-16.5793	-11.5103	9.55	7.65

TABLA 29. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-400 L/H

Caudales 9-400 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-7.9771	-5.0237	3.31	2.23
Modelo 2	-4.3733	-2.637	1.30	1.10
Modelo 3	-21.3529	-12.8777	13.97	9.05
Modelo 4	-6.8822	-4.2604	2.34	1.67
Modelo 5	-16.0638	-9.6656	9.03	5.81

TABLA 30. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 50-2000 L/H

Caudales 50-2000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-10.1062	-6.5513	5.44	3.76
Modelo 2	-10.108	-6.7619	7.04	5.22
Modelo 3	-9.6922	-5.4984	2.31	1.67
Modelo 4	-10.8345	-7.357	6.29	4.77
Modelo 5	-9.146	-4.9999	2.11	1.14

TABLA 31. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 21-120 L/H

Caudales 21-120 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-6.514	-3.1808	1.85	0.39
Modelo 2	-7.3014	-4.3497	4.23	2.81
Modelo 3	-8.36	-4.3246	0.97	0.50
Modelo 4	-8.1977	-5.0104	3.65	2.42
Modelo 5	-10.1705	-6.2854	3.14	2.43

TABLA 32. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-18-1500 L/H

Caudales 21-120 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-6.4296	-4.1935	1.77	1.40
Modelo 2	-3.1605	-1.3772	0.09	-0.16
Modelo 3	-12.2627	-8.6183	4.88	4.79
Modelo 4	-5.4993	-3.1952	0.96	0.61
Modelo 5	-10.8084	-7.1322	3.77	3.27

TABLA 33. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-100-2600 L/H

Caudales 9-10-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.9025	-2.8864	0.24	0.10
Modelo 2	-4.8151	-3.3749	1.75	1.84
Modelo 3	-10.3418	-6.3014	2.96	2.47
Modelo 4	-6.1177	-4.369	1.57	1.78
Modelo 5	-10.0598	-6.612	3.03	2.75

TABLA 34. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 15-80-500 L/H

Caudales 15-80-500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-6.3917	-3.6451	1.73	0.86
Modelo 2	-5.9384	-3.0764	2.87	1.54
Modelo 3	-8.8675	-5.0404	1.48	1.21
Modelo 4	-7.0199	-3.8607	2.48	1.27
Modelo 5	-9.19	-5.1716	2.16	1.31

TABLA 35. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 25-600-2000 L/H

Caudales 25-600-2000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-8.1982	-4.826	3.53	2.04
Modelo 2	-6.9413	-3.7341	3.87	2.20
Modelo 3	-8.6618	-4.5999	1.28	0.77
Modelo 4	-7.7297	-4.3404	3.19	1.75
Modelo 5	-9.0521	-5.019	2.02	1.16

TABLA 36. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-15-60-1500L/H

Caudales 6-15-60-1500l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.0951	-2.7727	0.43	-0.02
Modelo 2	-4.5954	-3.0591	1.53	1.52
Modelo 3	-8.182	-4.2088	0.80	0.38
Modelo 4	-6.1121	-3.9698	1.57	1.38
Modelo 5	-8.0685	-4.3059	1.03	0.45

TABLA 37. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-30-100-600L/H

Caudales 6-30-100-600l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.4291	-3.0919	0.76	0.30
Modelo 2	-4.2123	-2.3163	1.14	0.78
Modelo 3	-10.0007	-5.6868	2.62	1.86
Modelo 4	-6.1041	-3.5743	1.56	0.99
Modelo 5	-10.7952	-6.2832	3.76	2.42

TABLA 38. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-15-350-2600L/H

Caudales 9-15-350-2600l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.4935	-3.4884	0.83	0.70
Modelo 2	-3.3655	-1.8715	0.30	0.33
Modelo 3	-9.2832	-4.972	1.90	1.14
Modelo 4	-4.9343	-3.0614	0.39	0.47
Modelo 5	-8.6519	-5.1104	1.62	1.25

TABLA 39. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-40-140-2000 L/H

Caudales 9-40-140-2000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.8925	-2.9035	0.23	0.11
Modelo 2	-4.3653	-2.8799	1.30	1.34
Modelo 3	-8.6953	-5.0896	1.31	1.26
Modelo 4	-5.3266	-3.5382	0.78	0.95
Modelo 5	-8.0717	-4.9216	1.04	1.06

TABLA 40. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-15-30-100-600-1500 L/H

Caudales 6-15-30-100-600-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.0527	-2.7489	0.39	-0.04
Modelo 2	-3.6256	-1.9409	0.56	0.40
Modelo 3	-8.2485	-4.3632	0.86	0.53
Modelo 4	-5.3218	-3.0501	0.78	0.46
Modelo 5	-8.2987	-4.5409	1.27	0.68

TABLA 41. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 6-21-60-400-800-2000 L/H

Caudales 6-21-60-400-800-2000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.4984	-3.1491	0.83	0.36
Modelo 2	-3.9804	-2.1049	0.91	0.57
Modelo 3	-9.0403	-4.9682	1.65	1.14
Modelo 4	-5.6909	-3.2024	1.15	0.61
Modelo 5	-9.0331	-4.9821	2.00	1.12

TABLA 42. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-18-350-600-1500-2600 L/H

Caudales 9-18-350-600-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.3854	-3.4169	0.72	0.63
Modelo 2	-3.4366	-1.9368	0.37	0.40
Modelo 3	-8.72	-4.6821	1.33	0.85
Modelo 4	-4.6935	-2.8733	0.15	0.28
Modelo 5	-7.8481	-4.4251	0.81	0.57

TABLA 43. RESULTADOS JUSTIFICACIÓN MÍNIMO NÚMERO DE CAUDALES 9-21-40-120-500-1000L/H

Caudales 9-21-40-120-500-1000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.9925	-3.0742	0.33	0.29
Modelo 2	-3.8743	-2.2802	0.81	0.74
Modelo 3	-7.8009	-4.2541	0.42	0.43
Modelo 4	-5.0344	-3.1436	0.49	0.56
Modelo 5	-7.3348	-4.1207	0.30	0.26

Anexos

Anexo II

TABLA 44. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-350-1500-2600 L/H

Caudales 9-21-40-350-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.1572	-3.2586	0.49	0.47
Modelo 2	-3.6037	-2.0376	0.53	0.50
Modelo 3	-6.9983	-3.3181	-0.39	-0.51
Modelo 4	-4.7778	-2.9534	0.24	0.37
Modelo 5	-6.8467	-3.8073	-0.19	-0.05
Modelo 6	-10.6673	-6.4848	0.62	0.47
Modelo 7	-2.7222	-1.3559	1.73	1.08
Modelo 81	-11.3622	-6.9226	0.07	0.10
Modelo 9	-2.7903	-1.4632	1.60	1.11
Modelo 10	-2.6224	-1.382	1.63	1.14

TABLA 45. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-120-600-2600 L/H

Caudales 9-21-40-120-600-2600l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.8661	-2.9658	0.20	0.18
Modelo 2	-3.8774	-2.3552	0.81	0.82
Modelo 3	-7.7151	-4.1296	0.33	0.30
Modelo 4	-4.9437	-3.1546	0.40	0.57
Modelo 5	-7.287	-4.0418	0.25	0.18
Modelo 6	-10.5763	-6.4223	0.53	0.41
Modelo 7	-2.6014	-1.2976	1.61	1.02
Modelo 81	-11.7939	-7.3468	0.50	0.53
Modelo 9	-2.7194	-1.4321	1.53	1.08
Modelo 10	-2.5836	-1.374	1.59	1.13

TABLA 46. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 9-21-40-500-1500-2600 L/H

Caudales 9-21-40-500-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.2049	-3.3232	0.54	0.53
Modelo 2	-3.7038	-2.1746	0.63	0.64
Modelo 3	-7.5346	-3.9909	0.15	0.16
Modelo 4	-4.7963	-2.9884	0.25	0.40
Modelo 5	-6.5731	-3.4077	-0.46	-0.45
Modelo 6	-10.6672	-6.4869	0.62	0.47
Modelo 7	-2.8352	-1.5162	1.84	1.24
Modelo 81	-11.479	-7.0407	0.18	0.22
Modelo 9	-2.8522	-1.5492	1.66	1.20
Modelo 10	-2.6598	-1.4311	1.66	1.19

TABLA 47. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 12-21-40-350-500-1500 L/H

Caudales 12-21-40-350-500-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-6.2826	-3.6159	1.62	0.83
Modelo 2	-4.9079	-2.5236	1.84	0.98
Modelo 3	-7.5153	-3.8202	0.13	-0.01
Modelo 4	-5.9706	-3.3053	1.43	0.72
Modelo 5	-7.1647	-3.9125	0.13	0.05
Modelo 6	-10.4023	-6.3019	0.35	0.29
Modelo 7	-3.8922	-1.8457	2.90	1.57
Modelo 81	-11.4827	-7.0774	0.19	0.26
Modelo 9	-4.0167	-1.9693	2.83	1.62
Modelo 10	-3.8705	-1.9013	2.87	1.66

TABLA 48. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-120-600-2600 L/H

Caudales 6-12-40-120-600-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.9358	-2.7627	0.27	-0.03
Modelo 2	-3.5067	-1.8591	0.44	0.32
Modelo 3	-8.1003	-4.5203	0.71	0.69
Modelo 4	-5.1161	-2.9521	0.57	0.36
Modelo 5	-7.6201	-4.2458	0.59	0.39
Modelo 6	-10.8947	-6.89	0.84	0.88
Modelo 7	-1.0218	-0.3739	0.03	0.10
Modelo 81	-12.5162	-8.0447	1.22	1.22
Modelo 9	-1.2002	-0.4473	0.01	0.09
Modelo 10	-0.9987	-0.406	0.00	0.16

TABLA 49. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-120-1500-2600 L/H

Caudales 6-12-40-120-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-4.6968	-2.4551	0.03	-0.33
Modelo 2	-3.7375	-2.1752	0.67	0.64
Modelo 3	-7.9998	-4.3917	0.61	0.56
Modelo 4	-5.4484	-3.3684	0.91	0.78
Modelo 5	-7.9513	-4.7108	0.92	0.85
Modelo 6	-10.9811	-6.9561	0.93	0.94
Modelo 7	-0.9311	-0.2498	-0.06	-0.03
Modelo 81	-11.9078	-7.298	0.61	0.48
Modelo 9	-1.1558	-0.3723	-0.03	0.02
Modelo 10	-0.9739	-0.3457	-0.02	0.10

TABLA 50. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-350-1500-2600 L/H

Caudales 6-12-40-350-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.2012	-3.0274	0.54	0.24
Modelo 2	-3.2387	-1.5477	0.17	0.01
Modelo 3	-7.3525	-3.6753	-0.03	-0.15
Modelo 4	-4.9709	-2.7742	0.43	0.19
Modelo 5	-7.2081	-4.0425	0.17	0.18
Modelo 6	-10.9857	-6.9525	0.94	0.94
Modelo 7	-1.1426	-0.4321	0.15	0.15
Modelo 81	-12.0845	-7.6206	0.79	0.80
Modelo 9	-1.2711	-0.4784	0.08	0.13
Modelo 10	-1.0374	-0.4141	0.04	0.17

TABLA 51. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-350-600-2000 L/H

Caudales 6-12-40-350-600-2000 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.1894	-3.02	0.52	0.23
Modelo 2	-3.2888	-1.5934	0.22	0.05
Modelo 3	-7.6716	-4.0302	0.29	0.20
Modelo 4	-4.9361	-2.7363	0.39	0.15
Modelo 5	-7.0436	-3.8385	0.01	-0.02
Modelo 6	-10.9276	-6.9033	0.88	0.89
Modelo 7	-1.1834	-0.4288	0.19	0.15
Modelo 81	-12.3759	-7.9329	1.08	1.11
Modelo 9	-1.2889	-0.4468	0.10	0.09
Modelo 10	-1.0704	-0.3961	0.07	0.15

TABLA 52. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES 6-12-40-600-1500-2600 L/H

Caudales 6-12-40-600-1500-2600 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 1	-5.2343	-3.0766	0.57	0.29
Modelo 2	-3.3628	-1.7252	0.29	0.19
Modelo 3	-7.7262	-4.115	0.34	0.29
Modelo 4	-4.994	-2.8228	0.45	0.23
Modelo 5	-6.5912	-3.1765	-0.44	-0.68
Modelo 6	-10.9899	-6.9625	0.94	0.95
Modelo 7	-1.331	-0.6986	0.34	0.42
Modelo 81	-12.2737	-7.7911	0.98	0.97
Modelo 9	-1.3726	-0.6186	0.18	0.27
Modelo 10	-1.0972	-0.4907	0.10	0.25

Anexos

Anexo III

TABLA 53. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-40-500-1500 L/H

Caudales 6-40-500-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-1.3441	-0.6132	0.35	0.34
Modelo 9	-1.3945	-0.5595	0.21	0.21
Modelo 10	-1.1403	-0.4624	0.14	0.22

TABLA 54. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-12-40-1500 L/H

Caudales 6-12-40-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-1.5965	-0.9795	0.60	0.70
Modelo 9	-1.4715	-0.6896	0.28	0.34
Modelo 10	-1.0784	-0.415	0.08	0.17

TABLA 55. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-40-1500 L/H

Caudales 6-40-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-1.6845	-1.0501	0.69	0.77
Modelo 9	-1.5326	-0.7367	0.34	0.38
Modelo 10	-1.1434	-0.4663	0.15	0.22

TABLA 56. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-120-1500 L/H

Caudales 6-120-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-1.2545	-0.4395	0.26	0.16
Modelo 9	-1.4134	-0.5091	0.22	0.16
Modelo 10	-1.2307	-0.4846	0.23	0.24

TABLA 57. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-500-1500 L/H

Caudales 6-500-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-2.4338	-1.5996	1.44	1.32
Modelo 9	-2.2628	-1.3443	1.07	0.99
Modelo 10	-1.9562	-1.2005	0.96	0.96

TABLA 58. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-350-1500 L/H

Caudales 6-350-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-2.0301	-1.0186	1.03	0.74
Modelo 9	-1.9721	-0.926	0.78	0.57
Modelo 10	-1.7058	-0.841	0.71	0.60

TABLA 59. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-120 L/H

Caudales 6-120 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-0.8268	0.0914	-0.17	-0.37
Modelo 9	-1.042	-0.0451	-0.15	-0.31
Modelo 10	-0.798	0.0246	-0.20	-0.27

TABLA 60. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-350 L/H

Caudales 6-350 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-2.2844	-0.9006	1.29	0.62
Modelo 9	-2.1097	-0.7904	0.92	0.44
Modelo 10	-1.7382	-0.6459	0.74	0.40

TABLA 61. RESULTADOS ESTANDARIZACIÓN DE CAUDALES CONTADORES VOLUMÉTRICOS 6-1500 L/H

Caudales 6-1500 l/h	Error patrón tipo II	Error patrón Aguas V	Diferencias	
Modelo 7	-4.3335	-4.012	3.34	3.73
Modelo 9	-3.6299	-3.0804	2.44	2.73
Modelo 10	-3.104	-2.658	2.11	2.41

