



Título del Trabajo Fin de Máster:

***DESARROLLO DE UNA
HERRAMIENTA PARA LA
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA
GESTIÓN TÉCNICA DE UN PARQUE
DE CONTADORES DOMÉSTICO.
APLICACIÓN EN EL
ABASTECIMIENTO DE ARANDA DE
DUERO***

Intensificación:

HIDRÁULICA URBANA

Autor:

BALAGUER GARRIGÓS, MIGUEL

Director/es:

DR. ARREGUI DE LA CRUZ, FRANCISCO

DR. SORIANO OLIVARES, JAVIER

Fecha: SEPTIEMBRE, 2012



Título del Trabajo Fin de Máster:

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA GESTIÓN TÉCNICA DE UN
PARQUE DE CONTADORES DOMÉSTICO. APLICACIÓN EN EL
ABASTECIMIENTO DE ARANDA DE DUERO**

Autor: **BALAGUER GARRIGÓS, MIGUEL**

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

Resumen:

Los contadores de agua están asumiendo un protagonismo principal en la gestión de cualquier abastecimiento, debido al continuo aumento del precio del agua. Un mayor coste del agua implica un mayor impacto de los contadores sobre los ingresos del abastecimiento. Por tanto será necesario realizar una adecuada gestión del parque de contadores, con el objetivo de optimizar el error global del parque maximizando los beneficios.

Las empresas gestoras de abastecimientos de agua, disponen de valiosa información en su sistema de información comercial que les puede permitir tomar decisiones que aumente la eficiencia, y los beneficios derivados de un buen conocimiento y gestión de su propio parque de contadores.

En este trabajo se ha desarrollado una herramienta de evaluación preliminar cuyo objetivo es realizar una estimación del error global actual y el error global óptimo del parque de contadores de cualquier abastecimiento, que permite estimar de manera orientativa el sobrecoste de la gestión actual, sin necesidad de realizar ensayos de contadores ni mediciones de patrones de consumo. Esta característica de la herramienta reduce sensiblemente el coste del estudio y permite obtener una primera visión del margen de mejora que pueda obtenerse de una optimización de la gestión del parque de contadores de agua.

Esta herramienta utiliza los datos contenidos en cualquier sistema de información comercial e incluye los factores que mayor incidencia tienen tanto en el error global inicial, como en la velocidad de degradación del error global de un contador. Así como los métodos más resolutivos de optimización económica que permiten calcular el tiempo óptimo que un contador debe permanecer instalado para maximizar los beneficios totales netos del abastecimiento.

Para realizar una primera comprobación del funcionamiento de la herramienta de evaluación preliminar, se realizó un estudio real del parque de contadores de Aranda de

Duero. Para ello se han ensayado 151 contadores usados y se han realizado mediciones de patrones de consumo. Posteriormente se ha desarrollado un ejemplo de aplicación de la herramienta de evaluación utilizando los datos del sistema de información comercial del mismo abastecimiento. Finalmente se han comparado los resultados obtenidos del estudio real y de la herramienta de evaluación preliminar.

Abstract:

Water meters are assuming a major role in the management of any water supply system, due to the continuous increase in the price of water. A higher cost of water implies a greater impact on earnings water supply system. Therefore it will be necessary to make an appropriate management water meter, with the objective of optimizing the overall error maximizing profits.

The companies managing water supplies have valuable information on his commercial database that can allow them to make decisions that increase efficiency, and the benefits of a good understanding and managing their own water meters.

In this work we have developed a preliminary assessment tool aimed to estimate the current global error and the global error optimal water meters of any supply. The tool allows to estimate the extra guidance so current management without requiring testing of meters and consumption patterns measurements.

This tool uses the information from any information system includes the factors with the greatest impact on both the initial global error, as in the degradation rate of the global error of a counter. As more deliberative methods of economic optimization that calculate the optimal time that a meter must remain installed to maximize total net benefits of water supply system. This feature of the tool significantly reduces the cost of the study and it provides a first glimpse of the room for improvement that can be obtained from an optimization of management of water meters.

For a first operational testing of the preliminary assessment tool, a real study of Aranda de Duero water meters has been performed. We have tested 151 used meters and measurements of consumption patterns. Then, we have developed an example application of the assessment tool using data from the same commercial database. Finally we have compared the results of the actual study and preliminary assessment tool.

Resum:

Els comptadors d'aigua estan assumint un protagonisme principal en la gestió de qualsevol proveïment, a causa del continu augment del preu de l'aigua. Un major cost de l'aigua implica un major impacte dels comptadors sobre els ingressos al sistema de distribució d'aigua. Per tant serà necessari realitzar una adequada gestió del parc de comptadors, amb l'objectiu d'optimitzar l'error global del parc maximitzant els beneficis.

Les empreses gestores dels sistemes de distribució d'aigua, disposen de valuosa informació en el seu sistema d'informació comercial que els pot permetre prendre

decisiones que milloren l'eficiència, i els beneficis derivats d'un bon coneixement i gestió del seu propi parc de comptadors.

En aquest treball s'ha desenvolupat una eina d'avaluació preliminar amb l'objectiu de realitzar una estimació de l'error global actual i l'error global òptim del parc de comptadors de qualsevol proveïment, que permeta estimar de manera orientativa el sobrecoste de la gestió actual, sense necessitat de realitzar assajos de comptadors ni mesuraments de patrons de consum.

Aquesta eina utilitza les dades contingudes en qualsevol sistema d'informació i inclou els factors que major incidència tenen tant en l'error global inicial, com en la velocitat de degradació del error global d'un comptador, així com els mètodes més resolutius d'optimització econòmica que permeten calcular el temps òptim que un comptador ha de romandre instal·lat per a maximitzar els beneficis totals nets del proveïment. Aquesta característica de l'eina redueix sensiblement el cost de l'estudi i permet obtenir una primera visió del marge de millora que puga obtenir-se d'una optimització de la gestió del parc de comptadors d'aigua.

Per a realitzar una primera comprovació del funcionament de l'eina d'avaluació preliminar, es va realitzar un estudi real del parc de comptadors d'Aranda de Duero. Per a això s'han assajat 151 comptadors usats i s'han realitzat mesuraments de patrons de consum. Posteriorment s'ha desenvolupat un exemple d'aplicació de l'eina d'avaluació utilitzant les dades del sistema d'informació comercial del mateix proveïment. Finalment s'han comparat els resultats obtinguts de l'estudi real i de l'eina d'avaluació preliminar.

Palabras clave: *Pérdidas aparentes, gestión contadores de agua, evaluación preliminar, estimación error de medición*

Key words: *water loses, water meter management, preliminary assessment, measurement error estimate*

Paraules Claus: *Pèrdues aparents, gestió comptadors d'aigua, evaluació preliminar, estimació error de mesurament*

Dedicado a mi familia y amigos

AGRADECIMIENTOS

A Francisco Arregui, quiero agradecer el interés, la amabilidad, y la dedicación a caudales que me ha mostrado durante estos meses. Muy especialmente, quiero agradecerle la confianza que ha depositado en mí, la grandísima oportunidad que me ha brindado al permitirme trabajar a su lado, y la generosidad que ha tenido compartiendo sus conocimientos conmigo. Mis más sinceros agradecimientos.

A Javier Soriano, por su amistad, por su talante, y por ejercer de perfecto codirector, teniendo disponibilidad absoluta y paciencia infinita.

Al resto de miembros del grupo ITA (Ingeniería y Tecnología del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia). Especialmente a Helena, Raquel, Nacho, Dani, Paco, Antonio y Brian, por sus aportes en este trabajo, su complicidad, y amistad.

Al abastecimiento de Aranda de Duero por permitirme utilizar los datos de su sistema de información comercial en este trabajo.

A los profesores del máster por su dedicación y por los conocimientos transmitidos.

A mis compañeros y amigos del máster, por hacerme pasar dos años inolvidables.

A mis amigos, por ser los mejores.

A mi familia, por su apoyo y amor eterno.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MARCO DEL TRABAJO	2
1.2 JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	5
1.5 ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	6
1.5.1 ESTUDIO ECONÓMICO.....	6
1.5.2 CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR	9
1.5.3 PATRÓN DE CONSUMO.....	10
1.5.4 CÁLCULO DEL ERROR DE MEDICIÓN DE LOS CONTADORES	11
1.5.5 ERROR GLOBAL DE MEDICIÓN DE UN PARQUE DE CONTADORES.....	13
1.5.6 RENOVACIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES.....	14
2. ESTUDIO DEL PARQUE DE CONTADORES DEL MUNICIPIO DE ARANDA DE DUERO.....	17
2.1 INTRODUCCIÓN	18
2.1.1 COMPOSICIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES DE ARANDA DE DUERO	18
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTADORES POR TIPOLOGÍA DE ABONADO.....	18
2.1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTADORES POR NÚMERO DE ABONADOS.....	19
2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTADORES POR VOLUMEN FACTURADOS.....	21
2.1.5 CLASIFICACIÓN DE LOS ABONADOS DOMÉSTICOS CON CONTADOR INDIVIDUAL O GENERAL ...	22
2.1.6 CONTADORES DOMÉSTICOS CON REGISTRO PROMEDIO NULO	24
2.2 SELECCIÓN DE ABONADOS PARA LA MONITORIZACIÓN DEL PATRÓN DE CONSUMO.....	25
2.2.1 VIVIENDAS EN EDIFICIOS	25
2.2.2 PAREADOS/UNIFAMILIAR SIN JARDÍN (O JARDÍN PEQUEÑO) Y SIN PISCINA.....	25
2.2.3 UNIFAMILIARES CON JARDÍN Y CON PISCINA	26
2.3 ESTUDIO DE PATRONES DE CONSUMO DE ABONADOS DOMÉSTICOS	27
2.3.1 VIVIENDAS EN EDIFICIOS	27
2.3.2 PAREADOS/UNIFAMILIAR SIN JARDÍN (O JARDÍN PEQUEÑO) Y SIN PISCINA.....	30
2.3.3 UNIFAMILIARES CON JARDÍN Y CON PISCINA	32
2.4 SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE CONTADORES PARA SU ENSAYO EN BANCO.....	34
2.4.1 JUSTIFICACIÓN DEL TIPO DE MUESTREO ELEGIDO	34
2.4.2 PROPUESTA DE ESTRATOS DEL PARQUE DE CONTADORES.....	34
2.4.3 ESTRATIFICACIÓN DE CONTADORES POR ANTIGÜEDAD Y MARCA/MODELO	35
2.4.4 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA PARA ENSAYO EN BANCO	37
2.4.5 RESUMEN ENSAYO DE CONTADORES	39

2.5	DIMENSIONADO DE CONTADORES	42
2.6	CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS.....	43
2.6.1	CONTADORES CON $Q_N=1,5 \text{ M}^3/\text{H}$ (DN13/15).....	44
2.6.1.1	ESTIMACIÓN DE MEJORA DEL ERROR GLOBAL.....	44
2.6.2	CONTADORES CON $Q_N=2,5 \text{ M}^3/\text{H}$ (DN20).....	47
2.6.3	CONTADORES CON $Q_N=3,5 \text{ M}^3/\text{H}$ (DN25).....	48
2.6.4	CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE PARQUE DE CONTADORES DOMÉSTICOS.....	50
2.7	ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO DN13/15.....	50
2.8	CONCLUSIONES	51
3.	DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN PRELIMINAR	53
3.1	INTRODUCCIÓN	54
3.2	ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL INICIAL DE UN CONTADOR.....	55
3.2.1	DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD (E_I).....	57
3.2.1.1	PARÁMETRO C_M : CLASE METROLÓGICA DE LOS CONTADORES.....	58
3.2.1.2	PARÁMETRO P_D : PRESENCIA DE DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO.....	59
3.2.1.3	PARÁMETRO C_R : CONTROL DE CALIDAD A LA RECEPCIÓN POR PARTE DEL ABASTECIMIENTO 60	
3.3	ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DEL ERROR GLOBAL	61
3.3.1	DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD (V_G).....	62
3.3.1.1	PARÁMETRO S_R : CONTINUIDAD DEL SUMINISTRO EN LA RED	65
3.3.1.2	PARÁMETRO D_A : DUREZA DEL AGUA	65
3.3.1.3	PARÁMETRO P_S : PRESENCIA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	66
3.3.1.4	PARÁMETRO P_R : PRESIÓN DE LA RED.....	67
3.3.1.5	PARÁMETRO C_M : CRITERIO PARA LA ELECCIÓN DE LA PARTIDA DE CONTADORES	67
3.3.1.6	PARÁMETRO L_I : LUGAR DE INSTALACIÓN DE LOS CONTADORES.....	68
3.4	INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN LA APLICACIÓN (<i>INPUTS</i>).....	69
3.4.1	TIPO DE ABONADO.....	69
3.4.2	DIÁMETRO NOMINAL DEL CONTADOR	70
3.4.3	CONSUMOS MENSUALES DE LOS ABONADOS	71
3.4.4	ANTIGÜEDAD DEL CONTADOR.....	71
3.5	ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN.....	74
3.6	ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ACTUAL DE UN PARQUE DE CONTADORES	76
3.7	ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO	78
3.8	MEJORA POTENCIAL DEL ERROR GLOBAL ESTIMADO	80
3.9	SOBRECOSTE ESTIMADO DE LA GESTIÓN ACTUAL	81

4. APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA EN EL ABASTECIMIENTO DE ARANDA DE DUERO	83
4.1 INTRODUCCIÓN	84
4.2 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL INICIAL EN EL ABASTECIMIENTO DE ARANDA DE DUERO.....	84
4.2.1 DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD (E_i)	84
4.2.1.1 PARÁMETRO C_M : CLASE METROLÓGICA DE LOS CONTADORES	85
4.2.1.2 PARÁMETRO P_D : PRESENCIA DE DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO.....	85
4.2.1.3 PARÁMETRO C_R : CONTROL DE CALIDAD A LA RECEPCIÓN POR PARTE DEL ABASTECIMIENTO	85
4.3 ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR	86
4.3.1 DEFINICIÓN DE ÍNDICE DE SEVERIDAD (V_G).....	86
4.3.1.1 PARÁMETRO S_R : CONTINUIDAD EN EL SUMINISTRO.....	86
4.3.1.2 PARÁMETRO D_A : DUREZA DEL AGUA	87
4.3.1.3 PARÁMETRO P_S : PRESENCIA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	87
4.3.1.4 PARÁMETRO P_R : PRESIÓN DE LA RED.....	87
4.3.1.5 PARÁMETRO C_M : CRITERIO PARA LA ELECCIÓN DE LA PARTIDA DE CONTADORES	88
4.3.1.6 PARÁMETRO L_I : LUGAR DE INSTALACIÓN DE LOS CONTADORES.....	88
4.4 INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN LA	
APLICACIÓN (INPUTS).....	88
4.4.1 TIPO DE ABONADO Y DIÁMETROS NOMINALES	88
4.4.2 CONSUMOS MENSUALES DE LOS ABONADOS	89
4.4.3 ANTIGÜEDAD DEL CONTADOR.....	89
4.5 ESTIMACIÓN FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN	97
4.6 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ACTUAL DE UN PARQUE DE CONTADORES	99
4.7 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO	102
4.8 MEJORA POTENCIAL DEL ERROR GLOBAL ESTIMADA.....	106
4.9 SOBRECOSTE ESTIMADO DE LA GESTIÓN ACTUAL	108
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	109
5.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN PRELIMINAR	110
5.1.1 ERROR GLOBAL ACTUAL ESTIMADO	112
5.1.2 ERROR GLOBAL ÓPTIMO	113
5.1.3 MEJORA POTENCIAL DEL ERROR GLOBAL ESTIMADO	114
5.1.4 ÍNDICES DE SEVERIDAD V_G Y E_i	115
5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	116
5.2.1 ERROR GLOBAL ACTUAL	116
5.2.2 ERROR GLOBAL ÓPTIMO	116
5.2.2.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	117

6. CONCLUSIONES.....	119
6.1 CONCLUSIONES PRINCIPALES.....	120
6.2 APORTES DEL TRABAJO	122
6.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	123
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXO I: DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS ABONADOS DOMÉSTICOS	129
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN13	130
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN15	131
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN20	132
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN25	133
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN30	134
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN40	135
ANEXO II: ENSAYOS DE CONTADORES USADOS.....	137
CONTADORES DN13/DN15	138
CONTADORES DN20	147
CONTADORES DN25	149
ANEXO III: PATRONES DE CONSUMO.....	151
ABONADOS DOMÉSTICOS: VIVIENDAS EN EDIFICIOS.....	152
ABONADOS DOMÉSTICOS: PAREADOS/UNIFAMILIAR SIN JARDÍN Y SIN PISCINA.....	166
ABONADOS DOMÉSTICOS: UNIFAMILIAR CON JARDÍN Y PISCINA	175

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MÉTODO GRÁFICO PARA CALCULAR EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN (ARREGUI ET AL, 2007) .	8
FIGURA 2. DEGRADACIÓN TÍPICA DE LA CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR (ARREGUI. ET AL, 2007)	9
FIGURA 3. RECONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE ERROR (ARREGUI ET AL, 2007).....	12
FIGURA 4. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN.PRECIO DEL AGUA 2 €/M ³ SOBRECOSTE DEL 1%.....	15
FIGURA 5. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN. PRECIO DEL AGUA 0.5 €/M ³ SOBRECOSTE DEL 1%.....	16
FIGURA 6.NÚMERO DE CONTADORES SEGÚN TIPO DE ABONADO	18
FIGURA 7.NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS SEGÚN DN.....	19
FIGURA 8.NÚMERO DE CONTADORES DE COMERCIOS SEGÚN DN	19
FIGURA 9. NÚMERO DE CONTADORES INDUSTRIALES SEGÚN DN	20
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES POR DN.....	20
FIGURA 11 VOLUMEN FACTURADO AÑO 2011 POR DN	21
FIGURA 12. PORCENTAJE DE CONTADORES INDIVIDUALES Y CONTADORES GENERALES EN VIVIENDAS	22
FIGURA 13. PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON CONTADOR GENERAL Y CONTADOR INDIVIDUAL	23
FIGURA 14. CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR VIVIENDA CON CONTADOR INDIVIDUAL/GENERAL.....	23
FIGURA 15. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO SEGÚN ESTACIÓN. VIVIENDAS EN EDIFICIO	28
FIGURA 16. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIVIENDAS EN EDIFICIO	29
FIGURA 17. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR SIN JARDÍN	30
FIGURA 18. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. SIN JARDÍN	31
FIGURA 19. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR CON JARDÍN	32
FIGURA 20. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIF. CON JARDÍN	33
FIGURA 21. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR QN=1.5 M ³ /H (DN13/15).....	40
FIGURA 22. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR QN=2,5 M ³ /H (DN20).....	41
FIGURA 23. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ERROR GLOBAL ESTIMADO	112
FIGURA 24. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ERROR GLOBAL ÓPTIMO.....	113
FIGURA 25. ANÁLISIS SENSIBILIDAD MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL.....	114
FIGURA 26. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ÍNDICES DE SEVERIDAD.....	115
FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN13.....	130
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN15.....	131
FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN20.....	132
FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN25.....	133
FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN30.....	134
FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN40.....	135
FIGURA 33. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS	139
FIGURA 34. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS	141
FIGURA 35. CURVA ERROR MODELO 11. CLASE B. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS	142
FIGURA 36. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS	143
FIGURA 37. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS	144

FIGURA 38. CURVA ERROR MODELO 3. CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS	145
FIGURA 39. CURVA ERROR MODELO 5. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS	146
FIGURA 40. CURVA ERROR CONTADORES DN20 CLASE B	148
FIGURA 41. CURVA ERROR MODELOS DN25 CLASE B	150
FIGURA 42. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 40424	152
FIGURA 43. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 40424	153
FIGURA 44. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 52672	154
FIGURA 45. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 52672	155
FIGURA 46. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 63608	156
FIGURA 47. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 63608	157
FIGURA 48. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80001177	158
FIGURA 49. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80001177	159
FIGURA 50. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009451	160
FIGURA 51. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009451	161
FIGURA 52. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 800011471	162
FIGURA 53. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 800011471	163
FIGURA 54. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 96144	164
FIGURA 55. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 96144	165
FIGURA 56. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875	166
FIGURA 57. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875	167
FIGURA 58. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009988	168
FIGURA 59. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009988	169
FIGURA 60. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80010019	170
FIGURA 61. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80010019	171
FIGURA 62. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80011134	172
FIGURA 63. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80011134	173
FIGURA 64. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 92705	174
FIGURA 65. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875	175
FIGURA 66. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875	176
FIGURA 67. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013078	177
FIGURA 68. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013078	178
FIGURA 69. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013080	179
FIGURA 70. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013080	180
FIGURA 71. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013172	181
FIGURA 72. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013172	182
FIGURA 73. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013236	183
FIGURA 74. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013236	184
FIGURA 75. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013967	185
FIGURA 76. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013967	186

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PORCENTAJE DE CONTADORES INDIVIDUALES Y CONTADORES GENERALES EN VIVIENDAS	22
TABLA 2. PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON CONTADOR GENERAL Y CONTADOR INDIVIDUAL	22
TABLA 3. CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR VIVIENDA CON CONTADOR INDIVIDUAL/GENERAL.....	23
TABLA 4. NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS CON REGISTRO PROMEDIO NULO.	24
TABLA 5. RESUMEN DE NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS CON REGISTRO PROMEDIO NULO	24
TABLA 6. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS EN EDIFICIOS	25
TABLA 7. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS TIPO PAREADO SIN JARDÍN.....	25
TABLA 8. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON JARDÍN.....	26
TABLA 9. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO SEGÚN ESTACIÓN. VIVENDAS EN EDIFICIO.....	27
TABLA 10. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO EDIFICIO DE VIVIENDAS.....	28
TABLA 11. PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR SIN JARDÍN	30
TABLA 12. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. SIN JARDÍN.....	31
TABLA 13. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO VIV.UNIFA. CON PISCINA.....	32
TABLA 14. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. CON JARDÍN	33
TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN13.....	35
TABLA 16. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN15.....	36
TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN20.....	36
TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN25.....	37
TABLA 19. MARCAS/MODELO DE CONTADOR SELECCIONADAS POR DIÁMETRO Y EDAD PARA EL ESTUDIO DE SU COMPORTAMIENTO METROLÓGICO EN LABORATORIO.....	38
TABLA 20. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA DE CONTADORES A ENSAYAR POR MODELO Y EDAD.....	38
TABLA 21. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=1.5 \text{ m}^3/\text{H}$ (DN13/15).....	39
TABLA 22. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=2,5 \text{ m}^3/\text{H}$ (DN20).....	40
TABLA 23. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{H}$ (DN25)	41
TABLA 24. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{H}$ (DN25)	42
TABLA 25. RANGOS DE CONSUMO INFRA/SUPRADIMENSIONADO SEGÚN CAUDAL NOMINAL.....	43
TABLA 26. CONTADORES DOMESTICOS INFRA/SOBREDIMENSIONADOS	43
TABLA 27. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL POR PATRONES DE CONSUMO $Q_N=1,5 \text{ m}^3/\text{H}$	44
TABLA 28. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DEL PARQUE DE CONTADORES $Q_N=1,5 \text{ m}^3/\text{H}$	44
TABLA 29. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL. CONTADOR "A"	45
TABLA 30. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL. CONTADOR "B" Y "C"	46
TABLA 31. RESUMEN DE ERROR GLOBALES ESTIMADOS UTILIZANDO CONTADOR "A", "B" O "C"	46
TABLA 32. ESTRATIFICACIÓN CONTADORES DOMÉSTICOS CON $Q_N=2,5 \text{ m}^3/\text{H}$	47
TABLA 33. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL POR PATRON DE CONSUMO. CONTADORES $Q_N=2,5 \text{ m}^3/\text{H}$	47
TABLA 34. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=2,5 \text{ m}^3/\text{H}$	48
TABLA 35. ESTRATIFICACIÓN CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=2,5 \text{ m}^3/\text{H}$	48
TABLA 36. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL POR PATRONES DE CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{H}$...	49

TABLA 37. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{H}$	49
TABLA 38. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE PARQUE DE CONTADORES DOMÉSTICO	50
TABLA 39. VELOCIDAD DE DEGRACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DN13/15.....	51
TABLA 40. RANGOS DE CONSUMOS SEGÚN EL CAUDAL NOMINAL.....	55
TABLA 41. ERROR GLOBAL INICIAL EMPÍRICO SEGÚN CAUDAL NOMINAL	56
TABLA 42. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 1.....	57
TABLA 43. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 2.....	57
TABLA 44. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 3.....	58
TABLA 45. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 4.....	58
TABLA 46. ASIGNACIÓN DE PESOS LOS ÍNDICE SEVERIDAD E_I	58
TABLA 47. VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN EMPÍRICA ASOCIADA A CADA RANGO DE CONSUMO.....	62
TABLA 48. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 1	63
TABLA 49. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 2	63
TABLA 50. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 3	63
TABLA 51. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 4	64
TABLA 52. ASIGNACIÓN PESOS DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD V_G	64
TABLA 53. PARÁMETRO S_R SEGÚN CONTINUIDAD EN EL SUMINISTRO	65
TABLA 54. PARÁMETRO D_A SEGÚN LA DUREZA DEL AGUA	66
TABLA 55. PARÁMETRO P_S SEGÚN LA PRESENCIA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	66
TABLA 56. PARÁMETRO P_R SEGÚN LA PRESIÓN MEDIA DE LA RED.....	67
TABLA 57. PARÁMETRO C_P SEGÚN EL CRITERIO DE ELECCIÓN DE LA PARTIDA CONTADORES.....	68
TABLA 58. CAUDAL NOMINAL SEGÚN DIÁMETRO NOMINAL	70
TABLA 59. DISTRIBUCIÓN DE NÚMERO DE ABONADOS SEGÚN RANGO DE CONSUMO PROMEDIO DN.....	71
TABLA 60. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN.....	72
TABLA 61. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN.....	72
TABLA 62. VOLUMEN FACTURADO (m^3) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN	73
TABLA 63. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN..	74
TABLA 64. COSTE DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE UN CONTADOR SEGÚN DN.....	75
TABLA 65. VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN ESTIMADA SEGÚN RANGOS DE CONSUMO	75
TABLA 66. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN.....	75
TABLA 67. ERROR GLOBAL INICIAL EMPÍRICO SEGÚN RANGO DE CONSUMO.....	76
TABLA 68. ERROR GLOBAL ACTUAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD	77
TABLA 69. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO, DN	77
TABLA 70. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN.....	79
TABLA 71. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN	79
TABLA 72. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN	80
TABLA 73. ABONADOS DOMÉSTICOS DN13	89
TABLA 74. ABONADOS DOMÉSTICOS DN15	89
TABLA 75. ABONADOS DOMÉSTICOS DN20	89
TABLA 76. ABONADOS DOMÉSTICOS DN25	89

TABLA 77. ABONADOS DOMÉSTICOS DN30	89
TABLA 78. ABONADOS DOMÉSTICOS DN40	89
TABLA 79. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN13.....	90
TABLA 80. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN15.....	90
TABLA 81. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN20.....	90
TABLA 82. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN25.....	90
TABLA 83. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN30.....	90
TABLA 84. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN40.....	90
TABLA 85. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN13.....	91
TABLA 86. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN15.....	91
TABLA 87. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN20.....	91
TABLA 88. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN25.....	92
TABLA 89. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN30.....	92
TABLA 90. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN40.....	92
TABLA 91. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN13	93
TABLA 92. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN15	93
TABLA 93. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN20	93
TABLA 94. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN25	94
TABLA 95. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN30	94
TABLA 96. VOLUMEN FACTURADO (M ³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN40	94
TABLA 97. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN13	95
TABLA 98. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN15	95
TABLA 99. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN20	95
TABLA 100. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN25	96
TABLA 101. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN30	96
TABLA 102. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN40	96
TABLA 103. COSTE DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE UN CONTADOR SEGÚN DN.....	97
TABLA 104. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN13.....	97
TABLA 105. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN15.....	97
TABLA 106. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN20.....	98
TABLA 107. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN25.....	98
TABLA 108. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN30.....	98
TABLA 109. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN40.....	98
TABLA 110. ERROR GLOBAL INICIAL Y VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN EMPÍRICA SEGÚN CONSUMO.....	99
TABLA 111. ERROR GLOBAL ACTUAL SEGÚN CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13,15, 20, 25, 30, 40.....	99
TABLA 112. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN13	100
TABLA 113. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN15	100
TABLA 114. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN20	100
TABLA 115. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN25	101
TABLA 116. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN30	101

TABLA 117. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN40	101
TABLA 118. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN13.....	102
TABLA 119. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN15.....	102
TABLA 120. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN20.....	102
TABLA 121. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN25.....	103
TABLA 122. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN30.....	103
TABLA 123. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN40.....	103
TABLA 124. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN13	104
TABLA 125. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN15	104
TABLA 126. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN20	104
TABLA 127. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN25	105
TABLA 128. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN30	105
TABLA 129. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN40	105
TABLA 130. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13	106
TABLA 131. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13	106
TABLA 132. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN20	106
TABLA 133. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN25	107
TABLA 134. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN30	107
TABLA 135. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN40	107
TABLA 136. RESUMEN DE ERRORES OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DE ABONADOS DOMÉSTICOS POR DN....	108
TABLA 137. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN PARA ABONADOS DOMÉSTICOS.....	108
TABLA 138. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO LOS ÍNDICES ADOPTADOS EN LA APLICACIÓN	110
TABLA 139. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ÍNDICES DE SEVERIDAD	115
TABLA 140. RESULTADO ERROR GLOBAL CALCULADO EN EL ESTUDIO	116
TABLA 141. RESULTADO ERROR GLOBAL ESTIMADO CON LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN.....	116
TABLA 142. COMPARACIÓN ERRORES OBTENIDOS DN13/15	117
TABLA 143. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN13.....	130
TABLA 144. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN15.....	131
TABLA 145. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN20.....	132
TABLA 146. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN25.....	133
TABLA 147. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN30.....	134
TABLA 148. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN40.....	135
TABLA 149. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS	138
TABLA 150. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS	140
TABLA 151. CURVA ERROR MODELO 11. CLASE B. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS	142
TABLA 152. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS	143
TABLA 153. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS	144
TABLA 154. CURVA ERROR MODELO 3. CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS	145
TABLA 155. CONTADOR MODELO MODELO 5. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS	146
TABLA 156. CONTADOR MODELO 10. EDAD MENOR A 5 AÑOS.....	147

TABLA 157. CONTADOR MODELO 10. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS.....	147
TABLA 158. CONTADOR MODELO 7. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS.....	147
TABLA 159. CONTADOR MODELO 11_2. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS.....	147
TABLA 160. CONTADOR MODELO 11_2. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS.....	147
TABLA 161. CONTADOR MODELO 11. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS.....	147
TABLA 162. CONTADOR MODELO 11. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS.....	148
TABLA 163. CONTADOR MODELO 17. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS	149
TABLA 164. CONTADOR MODELO 17. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS.....	149
TABLA 165. CONTADOR MODELO 17. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS.....	149
TABLA 166. CONTADOR MODELO 12. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS.....	149
TABLA 167. CONTADOR MODELO 12. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS.....	149
TABLA 168. CONTADOR MODELO 12_2. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS.....	149
TABLA 169. CONTADOR MODELO 24. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS	150
TABLA 170. CONTADOR MODELO 5. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS.....	150
TABLA 171. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 40424.....	152
TABLA 172. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 40424.....	153
TABLA 173. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 52672.....	154
TABLA 174: PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 52672.....	155
TABLA 175. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 63608.....	156
TABLA 176. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 63608.....	157
TABLA 177. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80001177.....	158
TABLA 178. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80001177.....	159
TABLA 179. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009451.....	160
TABLA 180. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009451.....	161
TABLA 181. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 800011471.....	162
TABLA 182. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 800011471.....	163
TABLA 183. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 96144.....	164
TABLA 184. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 96144.....	165
TABLA 185. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875.....	166
TABLA 186. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875.....	167
TABLA 187. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009988.....	168
TABLA 188. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009988.....	169
TABLA 189. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80010019.....	170
TABLA 190. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80010019.....	171
TABLA 191. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80011134.....	172
TABLA 192. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80011134.....	173
TABLA 193. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 92705.....	174
TABLA 194. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 67623.....	175
TABLA 195. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875.....	176
TABLA 196. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013078.....	177

TABLA 197. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013078.....	178
TABLA 198. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013080.....	179
TABLA 199. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013080.....	180
TABLA 200. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013172.....	181
TABLA 201. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013172.....	182
TABLA 202. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013236.....	183
TABLA 203. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013236.....	184
TABLA 204. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013967.....	185
TABLA 205. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013967.....	186

Capítulo I

Introducción

1.1 MARCO DEL TRABAJO

Según datos de Naciones Unidas, el déficit hídrico está aumentando a nivel global debido a la concentración de la mayoría de la población en las ciudades que incrementa la demanda de agua potable de forma puntual. A su vez, las masas de agua más próximas a las urbes están cada vez más contaminadas o son cada vez más inaccesibles. Esto contribuye a que los costes de extracción, distribución y tratamiento del agua estén en constante aumento en los últimos años, junto con el aumento continuo del precio de la energía.

A todo ello hay que sumarle que en España, hasta la fecha, no se están repercutiendo completamente a los abonados los costes de amortización de las grandes infraestructuras, ya que estas fueron en su mayor parte subsidiadas. Y mucho menos los costes ambientales. La aplicación estricta de la exigencia de recuperar todos los costes según establece la Directiva Marco del Agua desde 2010, se verá reflejada en un aumento progresivo del coste del metro cúbico de agua potable. Obviamente, un mayor coste del agua incrementa automáticamente las pérdidas ocasionadas por el coste del agua no registrada pero sí consumida por los usuarios.

En este sentido conocer pormenorizadamente el volumen de agua perdido en los sistemas de distribución, entendido como la diferencia entre el volumen inyectado a una red y el volumen registrado por los contadores, resulta necesario si se desea optimizar su gestión. El volumen de agua perdido puede tener distintos orígenes y es habitual clasificarlo entre las denominadas pérdidas reales y las pérdidas aparentes, tal y como se encuentran definidas en numerosos documentos de la International Water Association (IWA). Entre los componentes más significativos de estas pérdidas pueden señalarse el volumen no contabilizado a los abonados debido al subcontaje de los contadores, el volumen no medido en conexiones a la red de agua potable sin contador (ya sean en conexiones legales o ilegales), las fugas en tuberías y depósitos, y los errores en la estimación del volumen inyectado. Conocer el peso específico de cada uno de los componentes del volumen no registrado es importante para tomar decisiones sobre cuánto y dónde invertir para mejorar el rendimiento de la red.

No cabe duda que, desde el punto de vista de la gestión, los contadores de agua asumen un protagonismo principal y son los elementos necesarios para reducir el volumen asociado a las pérdidas aparentes. Lógicamente, cuanto mayor sea el coste del agua mayor será el impacto de los contadores sobre los ingresos del abastecimiento. Por tanto, con mayores costes de venta del agua será necesario realizar una mejor gestión del parque de contadores, con el objetivo de optimizar el error global del parque maximizando los beneficios.

Además, con los datos de facturación proporcionados por los contadores, las empresas gestoras de abastecimientos de agua disponen de valiosa información en su sistema de información comercial, que les puede permitir tomar decisiones que aumente la eficiencia, y los beneficios derivados de un buen conocimiento y gestión de su propio parque de contadores.

A pesar de su importancia, la búsqueda de información para la elaboración del presente trabajo fin de máster, así como la labor de campo desarrollada en el abastecimiento de Aranda de Duero, ha constatando la falta de datos fiables sobre el estado del parque de contadores en muchos sistemas de distribución de agua (no solo en España sino también en el ámbito internacional), especialmente de aquellos de tamaño medio, que por sus condiciones, no disponen de los suficientes recursos para abordar un estudio en detalle del mismo. Además, en muchas ocasiones, las circunstancias propias del abastecimiento, especialmente aquellas relacionadas con el precio de venta del agua, no aconsejan la realización de un estudio que suele ser largo en el tiempo y costoso en términos económicos. Dichos estudios difícilmente se rentabilizan con los retornos provenientes de una mejor gestión y resulta más conveniente aplicar otras estrategias.

En este trabajo final de máster, se ha desarrollado una herramienta que permite realizar una evaluación preliminar en la gestión del parque de contadores doméstico de un abastecimiento mediante la utilización de información básica recogida en cualquier sistema de información comercial de una empresa gestora del abastecimiento de agua. Esta característica de la herramienta reduce sensiblemente el coste del estudio y permite obtener una primera visión del margen de mejora que pueda obtenerse de una optimización de la gestión del parque de contadores de agua.

La herramienta desarrollada está diseñada para ayudar en la toma de decisiones de los gestores de los abastecimientos de agua, sobre la conveniencia o no, desde el punto de vista económico, en realizar una inversión en un estudio en profundidad (con ensayos de contadores usados y mediciones de patrones de consumo) que les permita optimizar la gestión de su parque de contadores.

1.2 JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

Hasta la fecha, se han desarrollado varios estudios que permiten calcular el error global y el tiempo óptimo de renovación de los contadores para minimizar los costes o maximizar los beneficios asociados al parque de contadores de un abastecimiento. Para ello es necesario conocer los datos recogidos en el sistema de información comercial referentes a las características de los abonados, características de los contadores instalados, registro de consumos, etc. Por otro lado también es necesario conocer el error de medición de los contadores y la velocidad de degradación de este error, así como los patrones de consumo de los abonados que permitan calcular el error global del parque de contadores.

Por tanto, es necesario hacer una inversión en ensayos sobre una muestra representativa del parque de contadores para conocer los errores de medición, así como realizar monitorizaciones sobre una muestra de abonados para conocer el patrón de consumo, que permitan extrapolar los resultados al resto de abonados con un nivel de confianza suficiente de forma que sea posible calcular el error global de medición del parque de contadores, y su periodo óptimo de renovación.

La mayoría de las empresas suministradoras que se encargan de mantener e instalar los contadores, mayoritariamente no proceden a su renovación hasta que se produce el fallo. Las pérdidas económicas que conlleva esta política de gestión pueden ser

considerables Esta situación se da en muchos países al no existir una cláusula obligatoria en cuanto al recambio de contadores, siendo una consecuencia la imprecisión y antigüedad del parque de contadores en instalaciones urbanas.

En la actualidad, las empresas gestoras de los abastecimientos de agua no disponen de una herramienta que les permita evaluar de forma preliminar la gestión actual de su parque de contadores y por tanto les ayude a tomar una decisión sobre la conveniencia o no, desde el punto de vista económico, de realizar una inversión en un estudio en profundidad para mejorar la gestión de su parque de contadores.

Con este trabajo se pretende desarrollar una herramienta que permita realizar una evaluación preliminar, con un enfoque principalmente económico, sobre la situación actual de un determinado parque de contadores, sin necesidad de realizar una inversión previa en ensayos y mediciones de patrones de consumo, únicamente mediante la utilización de los datos registrados en el sistema de información comercial de la empresa gestora.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal es desarrollar una herramienta que realice una estimación del error global actual y el error global óptimo del parque de contadores domésticos, utilizando los datos contenidos en el sistema de información comercial de cualquier abastecimiento. Esta herramienta debe tener en cuenta los factores que mayor incidencia tienen tanto en el error global inicial, como en la velocidad de degradación de la curva de error de un contador, así como los métodos de optimización económica que permiten calcular el tiempo óptimo que un contador debe permanecer instalado para maximizar los beneficios totales netos del abastecimiento.

Para lograr este objetivo principal se definen los siguientes objetivos específicos:

- Definir un índice de severidad (E_i) que estará formado por distintos parámetros que interfieren en la exactitud inicial con la que se registran los consumos, para cada tipo de abonado. Este índice permitirá estimar el error global inicial de un contador.
- Definir un índice de severidad (V_G) que permita estimar la velocidad de degradación del error global de un contador. Este índice estará compuesto por determinados parámetros propios de cada abastecimiento que afectan a la velocidad de degradación, para cada tipo de abonado.
- Seleccionar los datos necesarios de un sistema de información comercial que permita estimar el error global actual, así como el error global óptimo de un abastecimiento.
- Calcular la frecuencia óptima de renovación de los contadores según diámetro nominal del contador, rango de antigüedad y consumo, que permita estimar el error global óptimo

- Desarrollar un ejemplo de aplicación de la herramienta, utilizando el sistema de información comercial del abastecimiento de Aranda de Duero. Para ello se deberán realizar las consultas necesarias en la base de datos del sistema de información comercial para obtener los datos requeridos.
- Realizar un estudio real del parque de contadores de Aranda de Duero, para ello se ensayarán 151 contadores usados del abastecimiento de Aranda de Duero, y se realizarán mediciones reales de patrones de consumo de los abonados de dicho abastecimiento
- Comparar los resultados obtenidos de la estimación utilizando la herramienta de evaluación preliminar, con los obtenidos del estudio real del parque de contadores de Aranda de Duero.

1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

A continuación se describen brevemente los siete capítulos de los que consta este trabajo final de máster con la intención de ofrecer una perspectiva general de la estructura de este trabajo.

En este primer Capítulo de introducción se plantean los objetivos generales y específicos, y se realiza una revisión del estado del arte y de los antecedentes relacionados con la gestión técnica de parques de contadores.

En el capítulo II se realiza el estudio real del parque de contadores de Aranda de Duero. Para ello se han ensayado un total de 151 contadores domésticos usados, y se disponen de 18 mediciones de patrones de consumo.

En el capítulo III se explica cuales son los fundamentos en los que se basa la herramienta que permite realizar una evaluación preliminar sobre la gestión técnica de cualquier abastecimiento utilizando la información contenida en el sistema de información comercial. También se definen los principales parámetros de los que depende el error global inicial, así como el ritmo de deterioro del error global. El objetivo final es estimar el error global actual y un error global óptimo de un determinado parque de contadores, y por tanto conocer el margen de mejora de dicho error.

En el capítulo IV se desarrolla un ejemplo de aplicación de la herramienta desarrollada, con los datos del sistema de información comercial, y de determinados parámetros propios del abastecimiento de Aranda de Duero.

En el capítulo V se compara los resultados obtenidos mediante la utilización de la herramienta de evaluación preliminar y del estudio real del parque de contadores del abastecimiento de Aranda de Duero.

En el capítulo VI se sintetizan las principales conclusiones y las futuras líneas de investigación que se derivan del presente trabajo.

1.5 ANTECEDENTES Y REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Es la primera vez que se intenta desarrollar una herramienta para evaluar de forma preliminar la gestión técnica de un parque de contadores domésticos. Seguramente se debe a la gran dificultad que conlleva predecir el comportamiento de un parque de contadores, ya que este depende de una gran multitud de factores ajenos a las características constructivas del contador, como la dureza del agua, la clase metrológica, la presencia de sólidos en suspensión, el patrón de consumo de los abonados, etc. Por tanto no existen antecedentes en cuanto al procedimiento desarrollado.

En cambio, sí se han desarrollado varias líneas de investigación sobre determinados conceptos relacionados con la gestión integral de contadores de agua, sobre los que se basa la herramienta.

La gestión técnica de un parque de contadores incluye todas aquellas actuaciones que tengan como el objetivo aumentar la fiabilidad y exactitud de medición, a la vez que se reducen los costes con los que se miden los consumos de agua a los usuarios.

1.5.1 Estudio económico

Una de las actuaciones más importantes para evaluar la gestión técnica de un parque de contadores, quizás sea realizar el estudio económico que permita calcular el tiempo óptimo que debe permanecer un contador instalado con el objetivo de maximizar los beneficios que estos aportan a un abastecimiento.

Diversos autores han investigado sobre cómo calcular el periodo óptimo de renovación de un contador (Male et al, 1985; Allander, 1996; Yee, 1999) pero estos no consideraban el coste de oportunidad del dinero. Calculaban el tiempo óptimo de renovación de los contadores mediante el valor actual neto (VAN) de los costes medios anuales, buscando el valor mínimo de dicha función.

Para calcular el VAN se debe estimar los diferentes flujos de caja correspondientes a cada uno de los años de duración del proyecto, después se actualizan todos ellos al año inicial y se suman. A esa suma se le resta el desembolso inicial de tal forma que un resultado final positivo mostrará que el proyecto es una inversión realizable. Si hay varias opciones de elección se calcularán los costes actualizados en los que se incurre durante el mismo y se elegirá la opción de menor coste.

Para seleccionar el modelo de contador que más se ajusta a las características el abastecimiento y su frecuencia de renovación óptima, los modelos propuestos se apoyan en la evaluación del coste total durante el tiempo que permanece en servicio.

$$Coste = C_{compra} + C_{inst} + C_{adm} + \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i \cdot \frac{C_{agua}}{(1+r')^{(i-1)}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

C_{agua} : precio de venta del agua

V_i : volumen promedio consumido por un usuario típico en el año i

ε_i : error de medición promedio en el año i .

r' : tasa de actualización real

Los tres primeros sumandos corresponden a los costes de compra, instalación, gastos administrativos y de mantenimiento de los contadores.

El último sumando corresponde al coste que supone el volumen de agua no registrada pero que ha sido consumida, debido al error de medición del contador. Este coste aumenta en general con el tiempo de utilización del instrumento. El ritmo de crecimiento depende de las características del propio abastecimiento y de los contadores. Estos costes deben corregirse con la tasa de actualización real para poder trasladarlos al presente.

Si se analizan los ingresos que aporta un contador, habría que modificar la fórmula anterior cambiando el signo de los términos que componen la ecuación y sustituir los costes del agua no registrada por el de los ingresos generados. Ambos métodos son equivalentes.

$$Ingresos = -C_{compra} - C_{inst} - C_{adm} + \sum_{i=1}^n V_i \cdot (1 - \varepsilon_i) \cdot \frac{C_{agua}}{(1+r')^{(i-1)}} \quad \text{Ec. 2}$$

La dificultad que presentan estos métodos está en conocer la evolución del error global de contador en función de la edad. Normalmente no se dispondrá a priori de esta información, por lo que habrá que estimarla en función de la experiencia del técnico. Con el paso de los años se podrá comprobar o corregir la evolución de la curva del error realizando muestreos y sus correspondientes ensayos, con el fin de establecer la frecuencia de renovación óptima de sustitución.

Arregui F et al. (2007) aplicó un nuevo método para establecer el tiempo que puede permanecer en servicio un determinado modelo de contador, En este caso se deben estudiar diversas alternativas de inversión con frecuencias de renovación diferentes por lo que el VAN simple no es válido. Calcula el periodo óptimo de sustitución de un contador basado en el cálculo del VANC (Valor Actual Neto Acumulado de la Cadena de Renovaciones)

La vida útil de un instrumento de medida es aquella que menor coste supone a la empresa de abastecimiento o mayor beneficio genere. Cuando se comparan varias opciones con distintas vidas útiles, lo correcto es utilizar la aproximación del VAN de la Cadena de Renovaciones (VANC).

El enfoque VANC consiste en obtener el VAN del equivalente a una sucesión infinita de renovaciones de los equipos y puede ser calculada matemáticamente con la siguiente expresión donde r' es la tasa de actualización real y n el periodo óptimo de renovación de los contadores.

$$VANC = VAN + \frac{VAN}{(1+r')^n} + \frac{VAN}{(1+r')^{2n}} + \frac{VAN}{(1+r')^{3n}} + \dots = VAN \times \left(1 + \frac{1}{(1+r')^n} + \frac{1}{(1+r')^{2n}} + \frac{VAN}{(1+r')^{3n}} + \dots \right)$$

$$VANC = \frac{(1+r')^n}{(1+r')^n - 1} \times VAN = m \times VAN \quad \text{Ec. 3}$$

Para determinar la vida útil de un contador se calcula el VANC correspondiente a los ingresos que genera el contador. La frecuencia óptima de renovación del contador será aquella que mayor VANC proporcione (Arregui F. et al, 2007).

En 2009 Arregui et al junto con el ITA (Ingeniería y Tecnología del Agua de la Universidad Politécnica de Valencia) desarrolló una aplicación informática llamada *Woltmann* que permite almacenar los resultados procedentes del banco de ensayos, así como las mediciones realizadas de patrón de consumo de los usuarios. Con estos datos es posible realizar consultas avanzadas para estimar el ritmo de deterioro de los contadores, el error de un determinado modelo, o la vida útil de los contadores de agua mediante la frecuencia de renovación óptima, calculando el período óptimo que mayor VANC genera.

Desarrollando el mismo concepto Arregui (2011) propuso un método gráfico para calcular la vida útil de un contador como aquel que genera el mayor VANC de los ingresos:

Para ello propone calcular el ratio V propuesto en la figura, y conociendo y seleccionando en la gráfica la velocidad de degradación anual de la curva de error del contador (a), y la tasa de actualización deflactada o real (r'), trazando una paralela al eje de abscisas se obtiene la vida útil para un determinado contador.

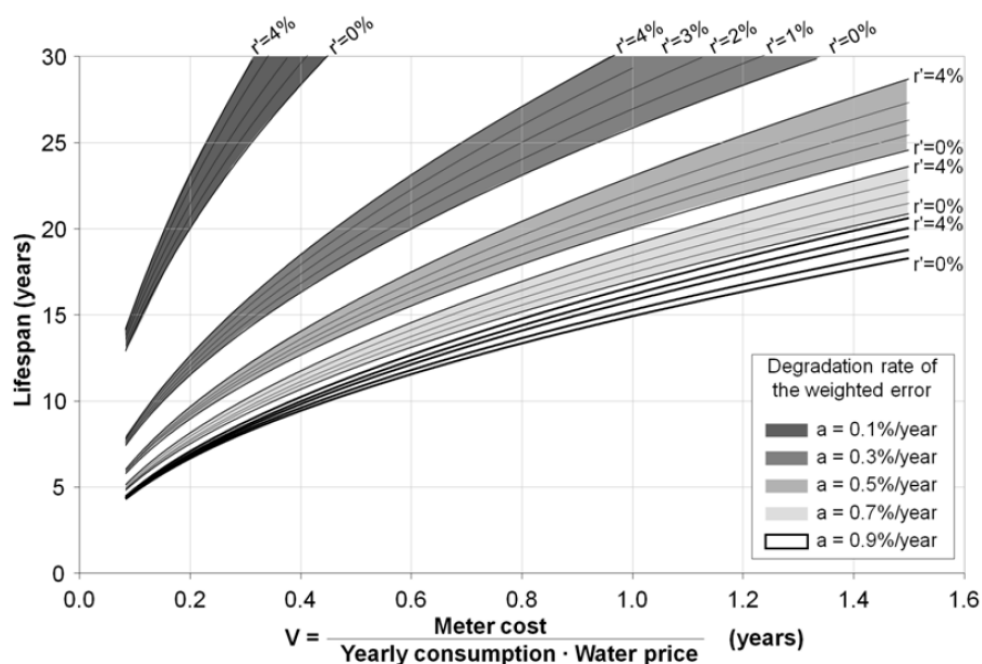


FIGURA 1. MÉTODO GRÁFICO PARA CALCULAR EL PERIODO ÓPTIMO DE RENOVACIÓN (ARREGUI ET AL, 2007)

1.5.2 Curva de error de un contador

Un contador es un aparato mecánico, y por tanto está sujeto a desgaste, con el paso del tiempo pierde sus características metrológicas. El tiempo que el contador mantiene una buena precisión general depende de muchos factores, como el volumen da agua medida, los caudales circulantes, la posición de instalación, la calidad de los materiales de fabricación, la composición del agua y los posibles materiales de arrastre. La única forma de conocer si un contador registra los volúmenes consumidos consiste en el ensayo en laboratorio con un banco de ensayos.

El error no es constante en todo el rango de medición de caudales. Los contadores no son capaces de registrar el consumo de agua con la misma exactitud para cualquier caudal circulante a través de los mismos.

A caudales bajos la curva de error evoluciona bruscamente desde el caudal de arranque hasta un nivel estable cercano al caudal mínimo. A caudales medios y altos, en general, los errores son mínimos y se mantienen constantes.

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 el error de medición de un contador serán los que tienen lugar a caudales bajos.

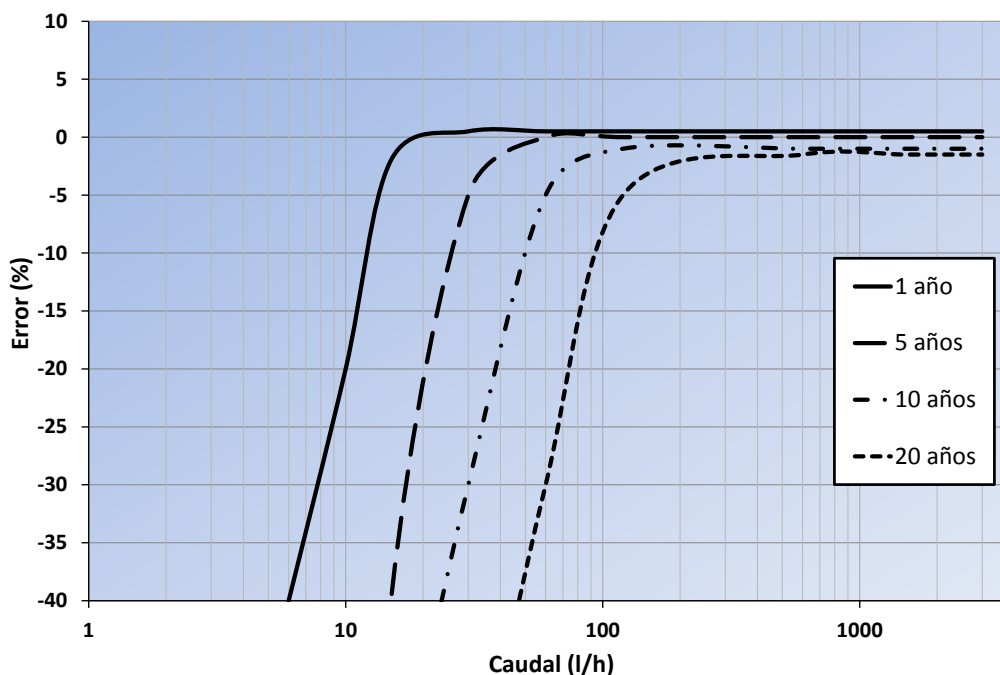


FIGURA 2. DEGRADACIÓN TÍPICA DE LA CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR (ARREGUI. ET AL, 2007)

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. La evolución de esta dependerá de la calidad de construcción y de los acabados. También se puede ve afectado por parámetros externos como la calidad del agua. Será necesario, por

tanto, realizar un estudio específico para conocer la evolución de la curva de error de cada tipo de contador.

Para que el tiempo de ensayo requerido no sea excesivo, es necesario seleccionar los caudales a los cuales se ensayarán los contadores para reconstruir su curva de error. Habrá que estratificar los contadores por marcas/modelos y por edades.

Para seleccionar los caudales de ensayos, la experiencia ha demostrado que a caudales bajos los errores de medida son más importantes, en esta zona es donde debe de definirse la curva de error más detalladamente. Para reconstruir la curva de error, es importante conocer el caudal de arranque.

Para contadores domésticos se recomienda ensayar el contador a caudal mínimo, y a otro caudal entre el mínimo y el de transición. Ya que rara vez los caudales superan los 1500 l/h sería suficiente con ensayar a 750 l/h y a 1500 l/h. Los errores a caudales diferentes de los de ensayo se pueden obtener mediante una interpolación lineal entre los datos disponibles.

En los contadores no domésticos, los caudales de consumo pueden ser muy variados y no están acotados. En primer lugar debe obtenerse el patrón de consumo del usuario para conocer el régimen de funcionamiento del contador. Con esta información es posible seleccionar los caudales de ensayo distribuyéndolos en el rango de funcionamiento habitual del medidor. Si no fuera posible obtener el patrón de consumos, se podrían escoger como caudales de ensayo el caudal mínimo, el de transición, el nominal y el máximo, lo que permite asegurar el funcionamiento en todo el rango efectivo de funcionamiento.

1.5.3 Patrón de consumo

La determinación del patrón de consumo es el otro factor que determina el error de medición de un contador. También es importante para dimensionar el contador en función de su consumo.

Como ya se ha comentado, el error de medición de los contadores está íntimamente ligado a la forma de consumir de los abonados, ya que el error de medición no es constante en todo el rango de caudales.

La curva de error a caudales medios y altos generalmente se mantiene estable y no sufre excesivo deterioro. Es en el rango inferior de medida donde aparecen los mayores errores de contaje y se acentúa el desgaste del instrumento. Por tanto será importante determinar qué volumen de agua se consume en el rango inferior de medida de los contadores, puesto que en estas demandas condicionarán en mayor medida la exactitud del instrumento.

La presencia de cualquier elemento en la instalación interior que aumente o reduzca el consumo de agua en rango inferior de caudales alterará la capacidad del contador de registrar correctamente el consumo. Los dos elementos que más afectan al volumen de agua utilizado a caudales bajos son la utilización de depósitos domiciliarios y las fugas en las instalaciones interiores, habitualmente en cisternas y grifos.

Tanto en los depósitos domiciliarios como en las cisternas, la apertura de la válvula está controlada por el nivel de agua en el depósito, por lo que salvo en consumos excepcionales ésta no se abre completamente, dejando circular únicamente caudales bajos. El contador trabaja permanente en la zona inferior del rango de media. La utilización de válvula todo-nada o válvulas instantáneas reduce el subcontaje significativamente.

Los caudales de fuga en viviendas suelen ser bastante bajos aunque ocasionalmente pueden encontrarse fugas a caudales elevados. Estudios realizados (Arregui, 2002) han encontrado que la mayoría de las fugas se encontraban en el rango desde los 2 l/h (caudal mínimo del caudal de prueba) hasta los 40 l/h. Excepcionalmente, en algunos usuarios las fugas llegaron a caudales promedio diarios de 100 l/h e incluso superiores.

También son importantes en el patrón de consumo los consumos en la zona superior del rango de medida del contador. Un funcionamiento frecuente a un caudal cercano al máximo recomendado por el fabricante puede ocasionar un deterioro prematuro del instrumento. El contador debe sustituirse por otro de mayor capacidad. Bowen P.T et al (1993) estudió el funcionamiento de los contadores domiciliarios y el primer estudio para determinar patrones de consumo de uso residencial. En este determinó que los caudales los consumos superiores a 2000 l/h en uso residencial únicamente sucede en viviendas con jardín, el otro 95% de abonados en uso residencial consume un volumen por debajo de 2000 l/h (Bowen et al, 1993).

Para obtener el patrón de consumo en campo es necesario clasificar los usuarios por tipologías, que sean fácilmente identificables en campo, sin contemplar un número excesivo de grupos para no encarecer excesivamente el estudio. Debido a que el patrón de consumo de cada tipología se obtiene a partir de las mediciones que se realicen en una muestra, la calidad del estudio está íntimamente ligada a la representatividad de dicha muestra.

El equipo de monitorización estará compuesto por un contador volumétrico de clase C o D, con un caudal de arranque muy bajo, capaz de registrar fugas en las instalaciones interiores, un emisor de pulsos de alta resolución (0.1 l/pulso) y equipo registrador. Hay que intentar que el equipo no distorsione el verdadero patrón de consumo. Adicionalmente se debería de disponer de la curva del error del contador de prueba para corregir la distribución de consumos en cada rango de caudal en función del error del contador en dicho rango.

La duración de las mediciones estará condicionada por los recursos económicos del estudio y por la cantidad de equipos disponibles. Se ha comprobado que el patrón de usuarios domésticos sin fugas en sus instalaciones se mantiene estable en el tiempo, por lo que una semana es suficiente. Si hay presencia de fugas el equipo de medición se mantendrá alguna semana adicional, ya que la distribución de los caudales de consumo varía significativamente en función del volumen total consumido.

1.5.4 Cálculo del error de medición de los contadores

Una vez que se ha obtenido el patrón de consumo de los usuarios y la curva de error de los contadores instalados es posible estimar el porcentaje del consumo que registran los medidores. Para ello se ponderarán 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.

Las recomendaciones publicadas por la AWWA (1999), pueden conducir a resultados incorrectos como se demuestra en Arregui (1998), ya que no consideran en la ponderación el caudal de arranque de los contadores o el volumen no registrado por ser consumido a caudales inferiores al de arranque.

Los caudales de ensayos será conforme la ISO 4064:1993 a caudal mínimo, de transición y nominal. A partir de los errores obtenidos en el ensayo a distintos caudales se puede reconstruir la curva de error interpolando linealmente entre los valores obtenidos:

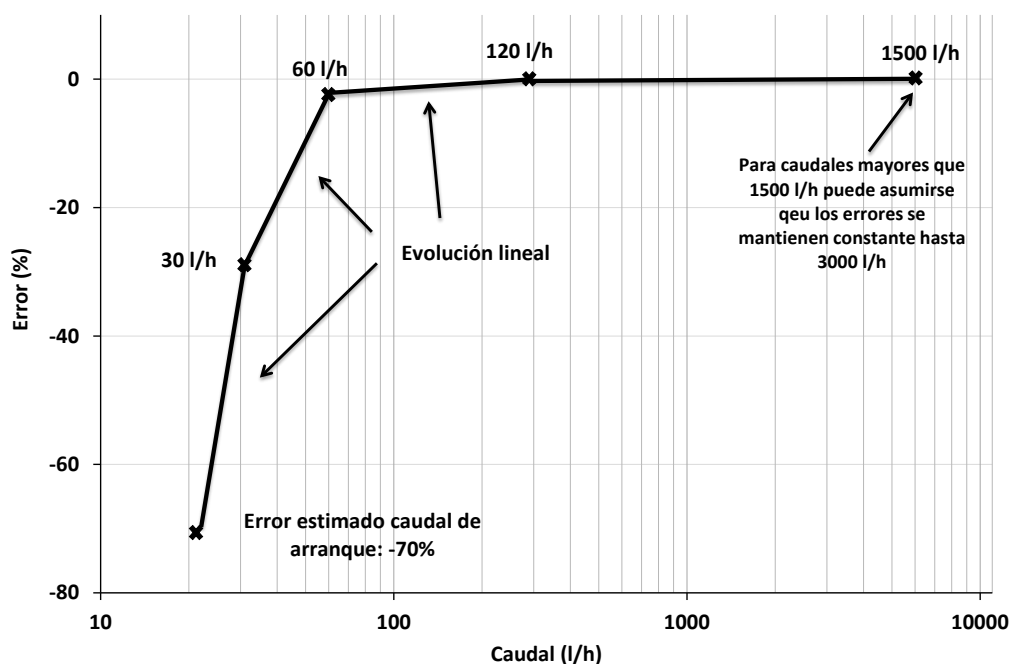


FIGURA 3. RECONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DE ERROR (ARREGUI ET AL, 2007)

Hasta la fecha se han desarrollado varios estudios sobre cómo el uso de depósitos domiciliarios puede afectar al error global de medición de un contador. Cobacho R. et al (2008) realizó un estudio en un pueblo de la costa mediterránea española para estudiar qué efectos provoca el uso de depósitos de almacenamiento. Para ello fueron seleccionadas 46 viviendas de superficie construida (90 m²) y antigüedad de construcción (15-20 años) parecidas, con depósitos instalados de 1000 litros y todas con contadores de agua instalados aguas arriba del depósito de almacenamiento. Había 3 tipos de depósitos en las viviendas, con bay-pass total, sin bay-pass, y mixtos. Los errores globales obtenidos en las viviendas que tenían instalados depósitos sin bay-pass, el error iba desde -17,7% con contadores entre 1 y 3 años, a -38,9% si se utilizaban contadores con 12-14 años de antigüedad. En las viviendas con depósitos totalmente con bay-pass (con conexión directa a red) los errores globales oscilan entre el -9,1% con contadores nuevos (1-3 años) y -12,8% con contadores antiguos (12-14 años).

Otra línea de investigación que se está llevando a cabo es la utilización de una válvula que se denomina UFR (*Unmeasured Flow Reducer*) que transforma los caudales bajos en un flujo pulsátil de mayor caudal, con el objetivo de reducir el subcontaje a caudales bajos.

Crimisini A. et al (2009) realizó un estudio en Palermo para estudiar los errores de medición que provoca el uso de depósitos domiciliarios con válvulas de regulación progresiva tipo boya en 2 viviendas de semejantes características y con contadores instalados con una edad entre 5 y 10 años instalados aguas arriba del depósito de clase B. También se instaló un contador patrón de clase C aguas abajo del depósito para poder comparar resultados. El primer ensayo no se utilizó la válvula UFR y la diferencia del volumen registrado fue del -45%. Con la instalación de la válvula UFR aguas arriba del primer contador (el que estaba aguas arriba del depósito) la diferencia de volúmenes registrados fue del -7%, obteniendo una mejora significativa del error de medición provocado por el consumo a bajos caudales. Sin embargo estas válvulas no están del todo implantadas ya que en determinados casos puede provocar sobrecontaje, y legalmente su uso no está regulado en España, ya que se trata de un dispositivo que modifica artificialmente el patrón de consumo del abonado.

1.5.5 Error global de medición de un parque de contadores

Una vez obtenido el error de cada grupo de contadores de un determinado modelo, edad y caudal nominal, se puede proceder a calcular el porcentaje de agua no registrada por todos los contadores instalados en el abastecimiento. Para ello debe considerarse el “peso” de cada grupo sobre el consumo total del agua. Los coeficientes de ponderación podrían calcularse como:

- Porcentaje de contadores incluidos en el grupo respecto del total
- Porcentaje de volumen registrado por los contadores del grupo sobre el total.

Sin embargo el método más preciso consiste en calcular el coeficiente de ponderación para cada grupo basado en el porcentaje del volumen real consumido por los usuarios de ese grupo con respecto al volumen total consumido.

Para obtener el consumo real, el volumen registrado por cada grupo de contadores “i” correspondiente a una categoría de contador y a un tipo de usuario, se corrige con su error global expresado en tanto por uno (Arregui et al, 2007).

$$Volumen\ consumido_i = \frac{Volumen\ registrado_i}{1-\varepsilon_i} \quad EC. 4$$

El volumen total consumido por los usuarios con contador se calcula como:

$$Volumen\ total\ consumido_i = \sum Volumen\ consumido_i = \sum \frac{Volumen\ registrado_i}{1-\varepsilon_i} \quad EC. 5$$

El error de medición global del parque se obtiene como el ratio entre el volumen no registrado y el verdaderamente consumido.

$$\varepsilon_{global} = \frac{\sum \frac{Volumen\ registrado_i}{1-\varepsilon_i} - \sum Volumen\ registrado_i}{\sum \frac{Volumen\ registrado_i}{1-\varepsilon_i}} = 1 - \frac{\sum Volumen\ registrado_i}{\sum \frac{Volumen\ registrado_i}{1-\varepsilon_i}} \quad Ec. 6$$

1.5.6 Renovación del parque de contadores

Los contadores constituyen un pilar fundamental en la gestión técnica y económica de cualquier abastecimiento, ya que permite a las empresas suministradoras conocer el consumo de cada abonado y facturar de acuerdo al volumen de agua utilizado. Resulta imprescindible de cara a maximizar los ingresos de medición, seleccionar adecuadamente el tipo de aparato más apropiado y mantenerlo en las mejores condiciones.

Siempre es posible encontrar una frecuencia óptima de sustitución y mantenimiento que reduzca los costes asociados a la medición. Esta periodicidad en el remplazo de los instrumentos dependerá esencialmente, de la tarifa del agua, del coste de los instrumentos y de las características de los consumos de los usuarios.

Primero se debe seleccionar el tipo de contador, escogiendo el más adecuado entre los posibles del mercado, dependiendo de su clase metrológica, tecnología de medición, rango de medida, robustez, coste, etc. En segundo lugar, debe determinarse el tiempo que los contadores han de permanecer instalados para obtener el máximo rendimiento de los mismos. La solución a ambos problemas tendrá un enfoque principalmente económico, y la solución óptima será la que genere un menor coste para la empresa o la que maximice su beneficio (Arregui et al, 2007).

Habrá que analizar los costes y beneficios asociados a cada instrumento de medida, para ello habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones generales sobre la elección de un contador:

- **Coste del contador:** El coste de un contador incluye su coste de compra e instalación, así como los gastos administrativos que conlleva su instalación o sustitución. La calidad del contador está directamente vinculada a su coste. Generalmente los contadores fabricados con materiales de mejor calidad se deterioran más lentamente que los contadores más económicos. La vida útil es un parámetro básico para evaluar la recuperación o no de su coste.
- **Curva de error:** La pérdida económica asociada a un contador va a depender de la capacidad del contador de registrar el consumo real de los abonados, su curva de error. Cuanto mayor sea el volumen de agua no registrada, aunque sí consumida, mayores serán las pérdidas económicas asociadas a ese contador. Por lo general:
 - La sensibilidad del contador a caudales bajos y su mantenimiento en el tiempo son los factores que determinan la calidad del contador.
 - Los modelos de menor calidad perderán exactitud con más rapidez y las diferencias pequeñas serán considerables en el tiempo.
 - Una clase metrológica superior se consigue mejorando los acabados de los materiales, las tolerancias dimensionales de las piezas y empleando técnicas de fabricación que reduzcan al mínimos la fricción entre elementos móviles

- Patrón de consumo:** El volumen de agua no registrada por un contador depende tanto de la curva de error como de los caudales de consumo de los usuarios. Para un mismo contador instalado en dos usuarios con patrones de consumo distinto, el error de medición será diferente.

La mayor influencia en el error de medición global es el porcentaje de consumo a caudales bajos, ya que, como ya se ha comentado anteriormente, es este rango de medida el que peor sensibilidad presenta y más rápidamente se deteriora su curva de error.

- Precio de venta del agua:** Las pérdidas económicas generadas por el agua no registrada, pero sí consumida van a ser proporcionales a su precio de venta.

Cuando el precio del agua sea elevado, cobra mayor importancia la necesidad de una gestión eficiente de los contadores instalados. La evaluación de la frecuencia óptima de renovación debe ser exacta y llevarse a cabo de forma rigurosa, ya que una equivocación de 2 o 3 años en la vida útil real de un contador puede provocar un sobrecoste o pérdidas económicas considerables.

En la figura siguiente hemos calculado el intervalo de frecuencia óptima de renovación para un determinado contador asumiendo un sobrecoste del 1%, con un precio de venta del agua de 2 €/m³. Se puede apreciar que el mínimo de la función costes no es muy amplio. El intervalo obtenido del tiempo óptimo de sustitución asumiendo un 1% de sobrecoste es de 8 a 13 años.

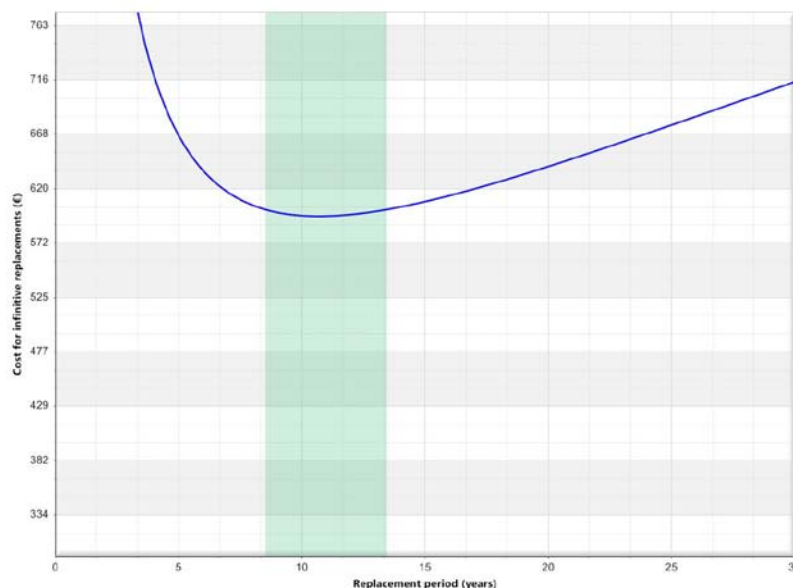


FIGURA 4. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN. PRECIO DEL AGUA 2 €/M³ SOBRECOSTE DEL 1%

En cambio, para el mismo contador, si se asume el mismo porcentaje de sobrecoste del 1%, pero variamos el precio de venta del agua a 0,5 €/m³, podemos apreciar en la siguiente figura como el mínimo de la función de costes está poco marcado, dando un amplio margen en la política de renovación del abastecimiento. El intervalo obtenido en este caso del tiempo óptimo de sustitución asumiendo un 1% de sobrecoste es de 18 a 28 años.

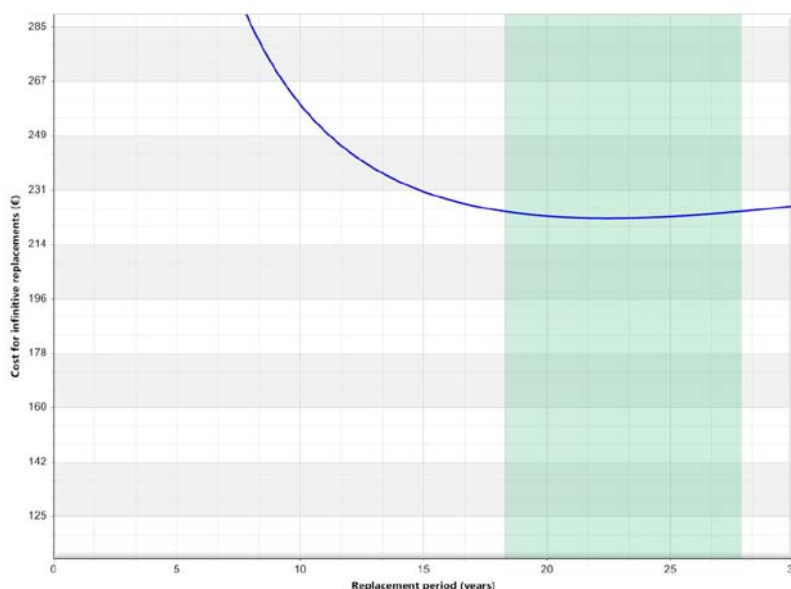


FIGURA 5. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN. PRECIO DEL AGUA 0.5€/M³ SOBRECOSTE DEL 1%

- **Tasa de actualización:** La tasa de actualización r es un parámetro utilizado para trasladar al presente el valor de cantidades monetarias futuras. Permite comparar el valor del dinero disponible en el presente con el que se ganará, perderá o invertirá en el futuro. La tasa de actualización representa la rentabilidad que se espera obtener a lo largo del proyecto del dinero invertido en el mismo.

El suministro de agua es un servicio básico con ingresos garantizados, por tanto la tasa de actualización nominal estará cercana al interés ofertado en las inversiones libres de riesgo.

Posteriormente habrá que sustraer de la tasa de actualización nominal el efecto de la inflación, s . Al valor resultante se le denomina tasa de actualización real o deflactada r' , y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$r' = \frac{(1+r)}{(1+s)} - 1 \quad \text{Ec. 7}$$

Una pérdida económica en el año de vida i del contador se convierte en euros actuales mediante la siguiente expresión:

$$P_{actual} = \frac{P_i}{(1+r')^i} \quad \text{Ec. 8}$$

Capítulo II

Estudio del parque de contadores del municipio de Aranda de Duero

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a realizar un estudio del parque de contadores del municipio de Aranda de Duero. Para ello he ensayado 151 contadores domésticos en el laboratorio de los modelos y antigüedad más representativos de la población con el objetivo de conocer el error de medición. También se han monitorizado un total de 18 abonados para determinar su patrón de consumo. Esto permitirá calcular el error global del parque de contadores domésticos.

2.1.1 Composición del parque de contadores de Aranda de Duero

La población objeto del estudio se extiende a casi dieciséis mil contadores. Es necesario recurrir al estudio parcial de la misma a través de muestreos y, posteriormente, extrapolar los resultados obtenidos de los elementos necesarios al resto de la población. Los contadores que finalmente se ensayen deberán seleccionarse de acuerdo a unos criterios que garanticen que los resultados obtenidos de la muestra, relativos al error de medición a diferentes caudales, puedan extenderse al resto de contadores con cierta fiabilidad.

2.1.2 Clasificación de los contadores por tipología de abonado.

El parque de contadores de Aranda de Duero en 2011 está formado mayoritariamente por contadores de usuarios domésticos (87%), seguidos de contadores instalados en comercios (8%), usuarios de tipo industrial (2%), y contadores utilizados en obras y en servicios públicos (3%).

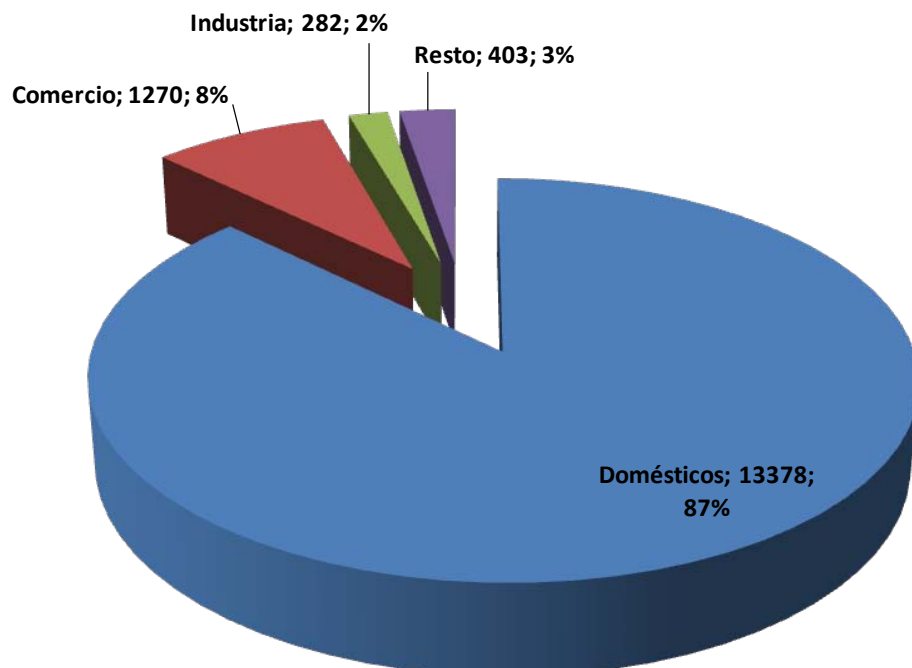


FIGURA 6. NÚMERO DE CONTADORES SEGÚN TIPO DE ABONADO

2.1.3 Clasificación de los contadores por número de abonados

Dentro del grupo de abonados domésticos, la mayoría de los abonados tenían instalado contadores de DN13 (65%), seguidos de DN15 (30%), DN20 (4%) y DN25 (1%).

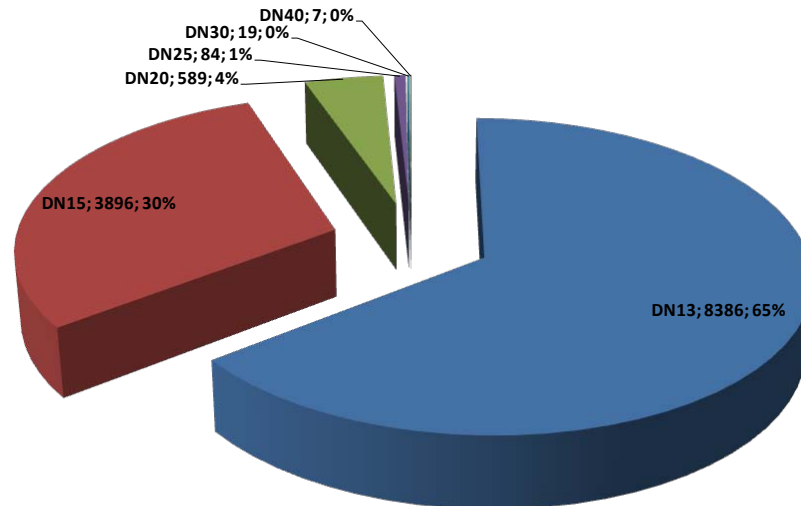


FIGURA 7. NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS SEGÚN DN

En el caso de los contadores instalados en comercios, mayoritariamente disponen contadores instalados de DN13 (74%), seguidos de DN15 (13%), DN20 (6%) y DN25 (3%).

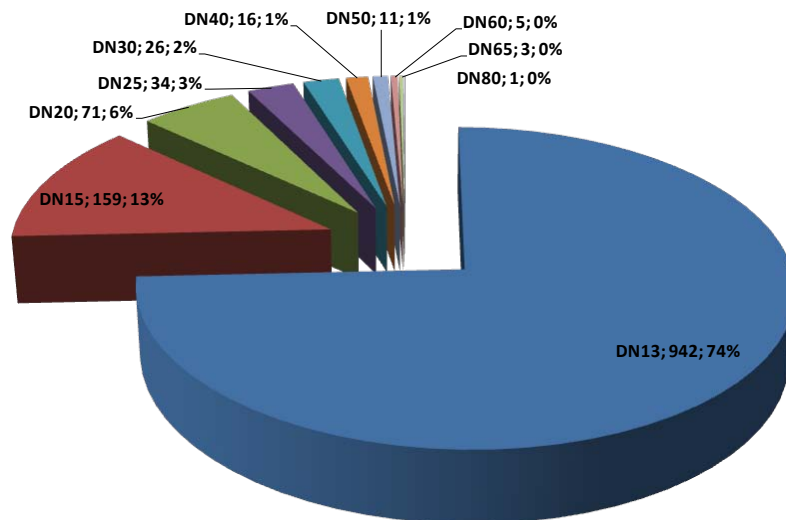


FIGURA 8. NÚMERO DE CONTADORES DE COMERCIOS SEGÚN DN

En el caso de abonados industriales, mayoritariamente disponen contadores instalados de DN20 (26%), seguidos de DN25 (22%), DN13 (17%), DN30 (15%) y DN15 (11%).

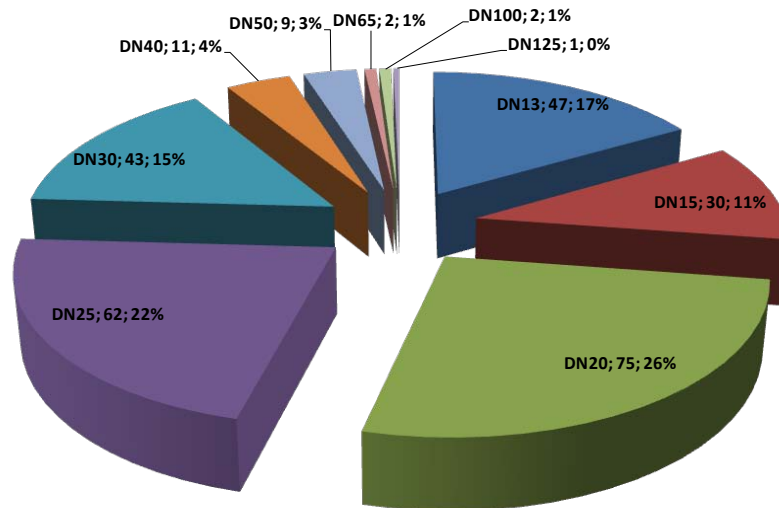


FIGURA 9. NÚMERO DE CONTADORES INDUSTRIALES SEGÚN DN

Si se analiza los contadores únicamente por el número de abonados según el diámetro nominal, sin distinguir entre los distintos tipos de abonados, la mayoría de los abonados utiliza contadores DN13 (61.7%), seguido de DN15 (28.1%) y de DN20 (5.4%).

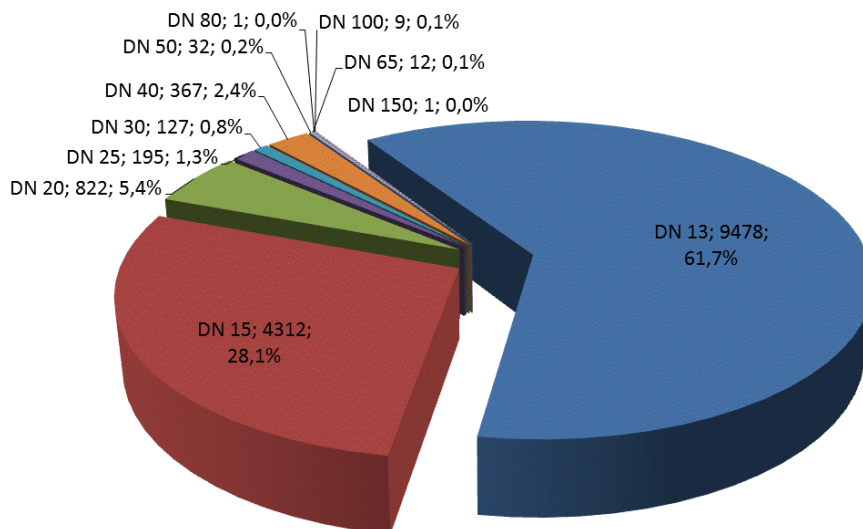


FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE DE CONTADORES POR DN

2.1.4 Clasificación de los contadores por volumen facturados

Si hacemos una clasificación por DN según volumen facturado durante el año 2011, los contadores de diámetro nominal DN13 junto con los de DN15 son el grupo más importante ya que facturaron conjuntamente el 45.6% del volumen total, siendo el grupo más numeroso en cuanto al número de contadores instalados con el 89.8% del total.

El siguiente grupo con mayor volumen facturado es el de DN40 con el 14.3% del volumen pese a tener únicamente el 2.4% del número total de contadores.

El grupo de DN20 facturó el 12.4% del volumen total, el de DN30 el 8.6%, y el de DN50 el 5.9%.

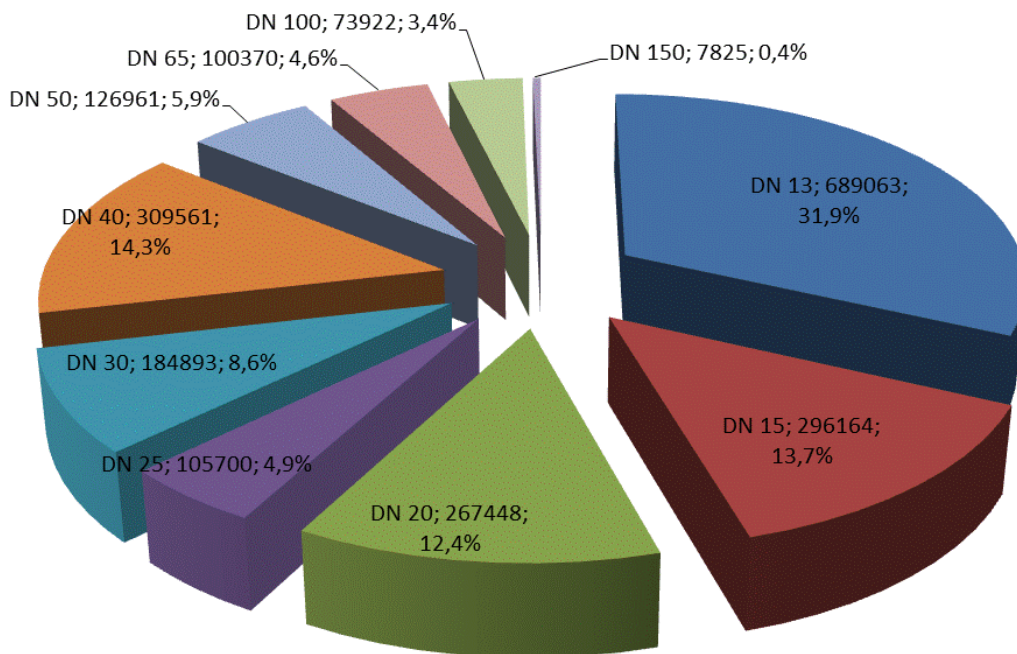


FIGURA 11 VOLUMEN FACTURADO AÑO 2011 POR DN

2.1.5 Clasificación de los abonados domésticos con contador individual o general

Según los datos disponibles, actualmente el abastecimiento de Aranda de Duero cuenta con un total de 12.957 contadores individuales (un contador registra el volumen de una única vivienda) y 204 contadores generales (un único contador totaliza el volumen de varias viviendas). Por tanto el 98,4% de los contadores instalados son de tipo individual.

TABLA 1. PORCENTAJE DE CONTADORES INDIVIDUALES Y CONTADORES GENERALES EN VIVIENDAS

Año	Abonados con contador Individual	%	Abonados con contador general	%
2009	12502	98,4%	204	1,6%
2010	12873	98,4%	204	1,6%
2011	12957	98,4%	204	1,6%

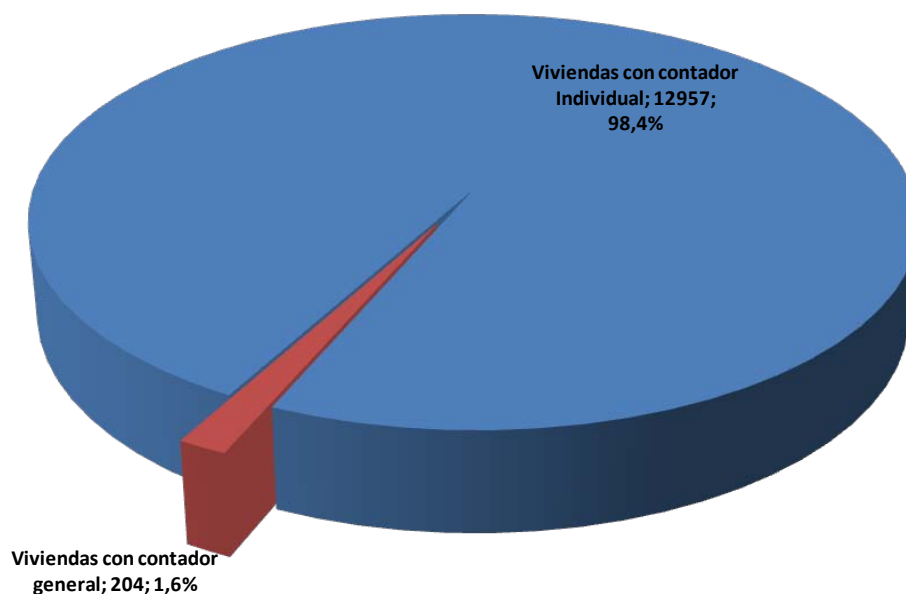


FIGURA 12. PORCENTAJE DE CONTADORES INDIVIDUALES Y CONTADORES GENERALES EN VIVIENDAS

El 1,6% de abonados con contador general abastece a 7851 viviendas, lo que corresponde al 37,7% del total de viviendas. El 98,4% de abonados con contador general abastece a 12957 viviendas, que corresponde al 62,3% del total.

TABLA 2. PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON CONTADOR GENERAL Y CONTADOR INDIVIDUAL.

Año	Viviendas con contador Individual	%	Viviendas con contador general	%
2009	12502	61,4%	7851	38,6%
2010	12873	2,1%	7851	37,9%
2011	12957	62,3%	7851	37,7%

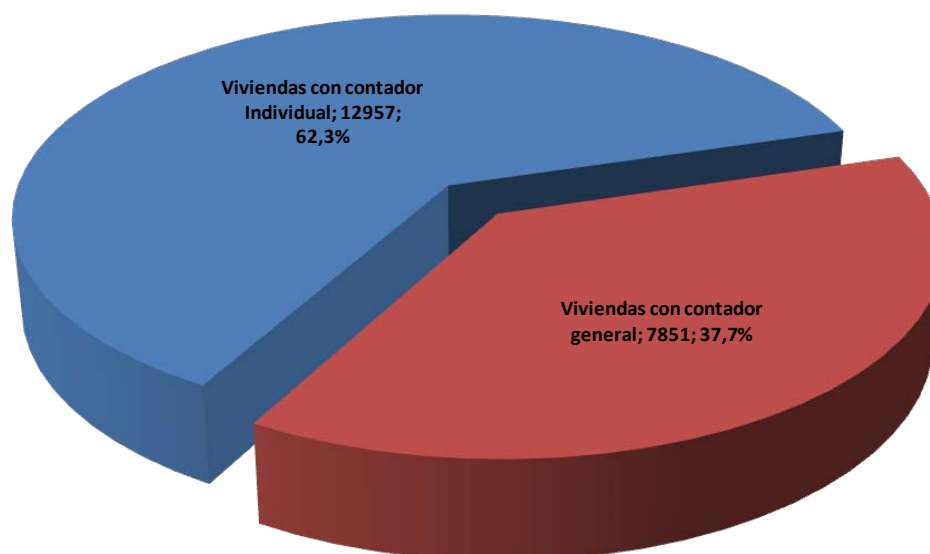


FIGURA 13. PORCENTAJE DE VIVIENDAS CON CONTADOR GENERAL Y CONTADOR INDIVIDUAL

Si comparamos el consumo promedio de las viviendas con contador general y con contador individual, las viviendas con contador general en 2011 consumieron un casi un 9% más de consumo promedio mensual que las viviendas que tienen instalado un contador individual.

TABLA 3. CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR VIVIENDA CON CONTADOR INDIVIDUAL/GENERAL

Año	Consumo promedio mensual (m ³ /mes)		Incremento relativo (%)
	Viviendas contador Individual	Viviendas contador General	
2009	8,1	8,6	7%
2010	7,9	8,4	6%
2011	8,2	9,1	9%

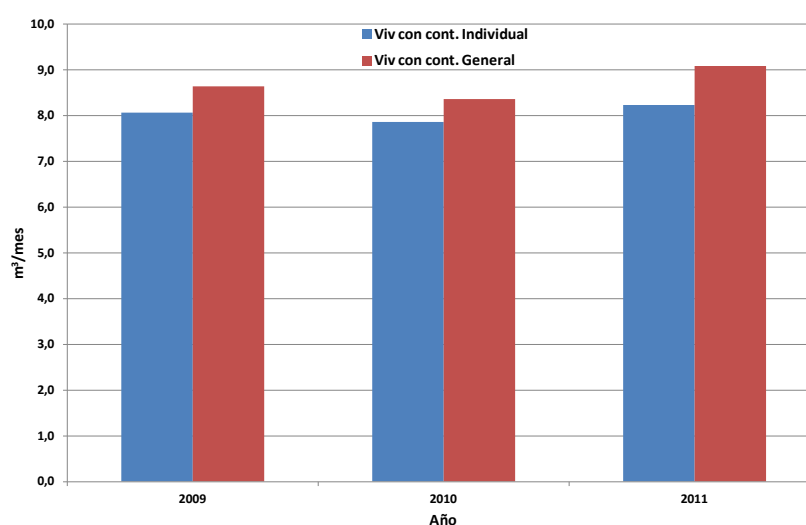


FIGURA 14. CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR VIVIENDA CON CONTADOR INDIVIDUAL/GENERAL

2.1.6 Contadores domésticos con registro promedio nulo

Se ha realizado un estudio de los contadores dados de alta durante los 3 últimos años, pero que presentan un registro promedio nulo.

Aproximadamente el 16% de los contadores domésticos instalados tienen registro promedio nulo en la base de datos facilitada.

TABLA 4. NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS CON REGISTRO PROMEDIO NULO.

Año	DN13			DN15			DN20		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Q=0	1412	1394	1545	726	668	546	55	50	57
	17%	17%	18%	21%	17%	14%	10%	9%	10%
Q>0	6956	6986	6841	2739	3150	3350	519	524	532
	83%	83%	82%	79%	83%	86%	90%	91%	90%
Total	8368	8380	8386	3465	3818	3896	574	574	589

Año	DN25			DN30			DN40		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Q=0	10	7	8	3	1	3	1	2	0
	12%	9%	10%	17%	6%	16%	11%	18%	0%
Q>0	72	73	76	15	17	16	8	9	7
	88%	91%	90%	83%	94%	84%	89%	82%	100%
Total	82	80	84	18	18	19	9	11	7

A continuación se muestra un resumen del número de contadores con registro promedio nulo de los 2009, 2010 y 2011.

TABLA 5. RESUMEN DE NÚMERO DE CONTADORES DOMÉSTICOS CON REGISTRO PROMEDIO NULO

	2009	2010	2011
Q=0	2207	2122	2159
	17,6%	16,5%	16,6%
Q>0	10309	10759	10822
	82,4%	83,5%	83,4%
Total	12516	12881	12981

2.2 SELECCIÓN DE ABONADOS PARA LA MONITORIZACIÓN DEL PATRÓN DE CONSUMO

Para la selección de los abonados domésticos sobre los que se realizó la monitorización con el objetivo de determinar el patrón de consumo, se realizó un estudio de la distribución de los consumos según diámetro nominal que se adjunta en el Anexo I de este trabajo.

Del resultado del estudio de la distribución de los consumos promedios mensuales se obtuvo que el 77,5% de las viviendas con contador individual de DN 13 y el 76,0% de las viviendas con contador individual DN 15 registraban un consumo entre 0,1 y 12 m³ al mes, excluyendo las viviendas con volumen totalizado nulo.

En total se monitorizaron a 18 abonados con el objetivo de determinar su patrón de consumo. En viviendas en edificios se monitorizaron 8 abonados, en pareados/unifamiliares sin jardín (o con jardín pequeño) y sin piscina se instrumentalizó a 4 abonados, y en viviendas unifamiliares con jardín y piscina a 6 abonados.

2.2.1 Viviendas en edificios

Para viviendas en edificios se planificó un total de 8 viviendas para un muestreo. La selección de estas viviendas es función del diámetro nominal del contador instalado y del rango de volumen totalizado por mes tal como muestra la siguiente tabla:

TABLA 6. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS EN EDIFICIOS

Diámetro	DN 13	DN 15	DN 13	DN 15
Rango de volumen	1-3	3-6	6-9	9-12
	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)
Casco Antiguo	1	1	1	1
Resto	1	1	1	1

2.2.2 Pareados/Unifamiliar sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina

Para viviendas tipo pareado sin jardín se planificó un total de 4 viviendas para muestreo. La selección de estas viviendas es función del rango de volumen totalizado por mes tal como muestra la siguiente tabla:

TABLA 7. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS TIPO PAREADO SIN JARDÍN

Diámetro	DN 13/15	DN 13/15
Rango de volumen	4-8	8-12
	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)
Casco Antiguo	1	1
Resto	1	1

Casco Antiguo:

En este caso se han considerado los siguientes tipos de viviendas:

- Tipo 4: Vivienda unifamiliar en núcleo urbano tradicional con patio pero normalmente sin jardín.
- Tipo 5: Unifamiliar adosada de muy antigua construcción (> 50 años) con un pequeño patio, normalmente sin jardín.

Resto:

En este caso se han considerado el siguiente tipo de viviendas:

- Tipo 1: Unifamiliar adosada de reciente construcción con pequeño patio, normalmente sin jardín.

2.2.3 Unifamiliares con jardín y con piscina

Para viviendas unifamiliares con jardín se planificó un total de 6 viviendas para su monitorización. La selección de estas viviendas viene determinada por el rango de volumen totalizado mensual. Estas viviendas únicamente se encuentran ubicadas en la zona no incluida en el caso antiguo, tal como muestra la siguiente tabla:

TABLA 8. SELECCIÓN DE LA MUESTRA PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON JARDÍN

Diámetro	DN 13/15	DN 13/15	DN 13/15	DN 13/15
Rango de consumo	4-8	8-12	12-16	>16
	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)	(m ³ /mes)
Casco Antiguo	0	0	0	0
Resto	1	1	1	3

En este caso se han considerado los siguientes tipos de viviendas:

- Tipo 2 Vivienda unifamiliar aislada. Normalmente de segunda residencia con jardín y algunas con piscina.
- Tipo 3: Vivienda unifamiliar aislada. Normalmente de segunda residencia con jardín de pequeña superficie sin piscina.

2.3 ESTUDIO DE PATRONES DE CONSUMO DE ABONADOS DOMÉSTICOS

En total se han monitorizado 18 abonados domésticos, estratificándolos en abonados que residen en edificios de viviendas (7), en viviendas unifamiliares o pareados sin jardín ni piscina (5), y unifamiliares con jardín y piscina (6). De los mismos abonados se han realizado 2 campañas de medición, en verano y en invierno. Los resultados obtenidos de las monitorizaciones realizadas se encuentran en el Anexo III de este trabajo.

2.3.1 Viviendas en edificios

En total se han monitorizado 7 abonados que residen en edificios de viviendas, durante la estación de verano y la estación de invierno. Los resultados promedios obtenidos para cada una de las estaciones son semejantes. Aunque individualmente presentan una variabilidad importante debido al reducido tamaño de la muestra estudiada, lo que se traduce en que los intervalos de confianza en algunos rangos de consumo sean bastante amplios.

Los patrones promedios obtenidos para la estación de verano e invierno, con sus intervalos de confianza asociados son los siguientes:

TABLA 9. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO SEGÚN ESTACIÓN. VIVENDAS EN EDIFICIO

Patrón de consumo		Verano			Invierno		
Q (l/h)	V (l)	V(%)	Intervalo de confianza V (%)	V (l)	V(%)	Intervalo de confianza V (%)	
0-6	17,5	6,8	6,94	15,2	6,2	5,77	
6-12	3,9	1,5	1,62	3,9	1,8	2,31	
12-18	1,1	0,5	0,36	1,3	0,6	0,37	
18-24	0,9	0,4	0,33	0,6	0,2	0,16	
24-36	0,9	0,4	0,25	0,8	0,3	0,19	
36-72	1,2	0,6	0,29	2,5	1,2	1,34	
72-120	4,7	2,0	2,27	3,8	1,8	2,32	
120-250	19,7	8,8	4,49	18,6	8,3	5,00	
250-450	49,1	23,8	9,88	66,4	28,0	9,95	
450-750	75,1	40,0	15,37	82,5	40,1	15,40	
750-1500	23,6	15,2	6,25	21,6	11,5	5,63	
1500-3000	0,0	0,1	0,20	0,0	0,0	0,02	
>3000	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	

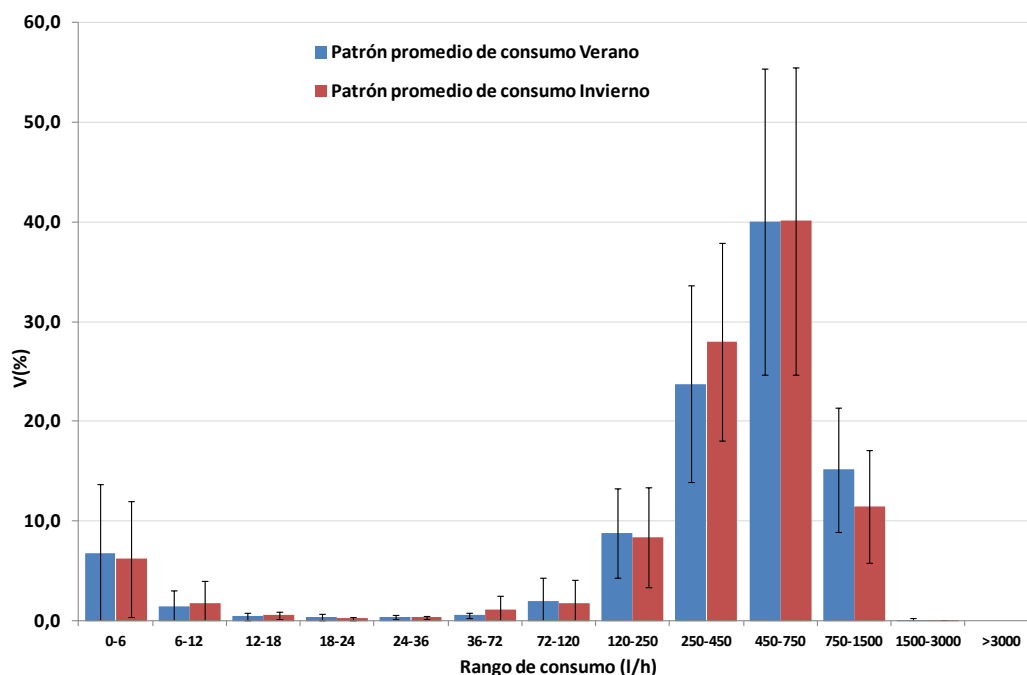


FIGURA 15. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO SEGÚN ESTACIÓN. VIVIENDAS EN EDIFICIO

Debido a la gran variabilidad de los resultados obtenidos, a causa del reducido tamaño de la muestra, para realizar los cálculos del error global se ha utilizado el promedio del patrón de consumo entre las dos estaciones:

TABLA 10. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO EDIFICIO DE VIVIENDAS

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	16,33	7,88
6-12	3,9	1,88
12-18	1,2	0,58
18-24	0,72	0,35
24-36	0,84	0,4
36-72	1,85	0,89
72-120	4,26	2,06
120-250	19,13	9,23
250-450	57,75	27,85
450-750	78,76	37,98
750-1500	22,6	10,9
1500-3000	0,04	0,02
>3000	0	0

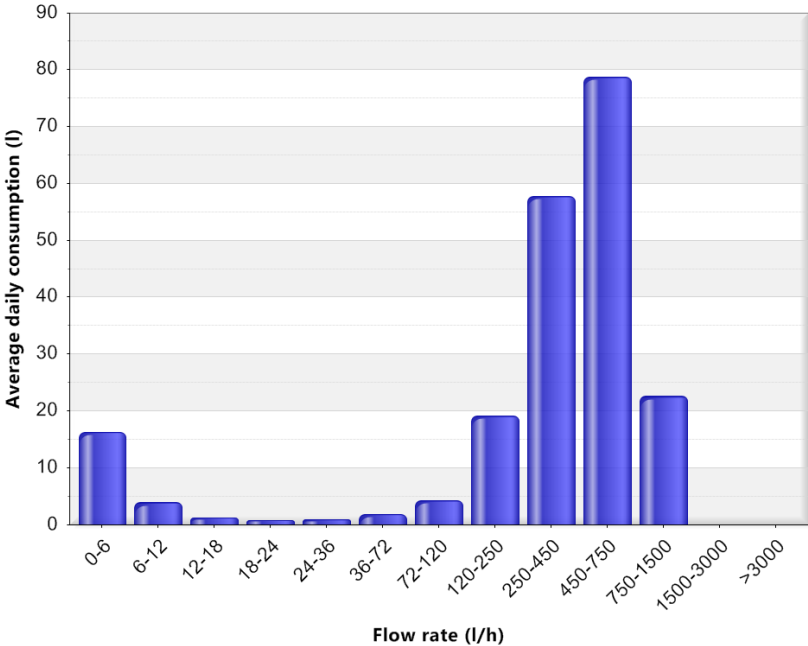


FIGURA 16. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIVIENDAS EN EDIFICIO

Cabe mencionar que de los 7 abonados monitorizados en edificio de viviendas, en 2 de ellos, el abonado 56672 y el 80001177, presentan pérdidas significativas. El primero, casi un 13% del volumen se consume por debajo de 24l/h, y el segundo con casi un 33% del volumen registrado se consume con un caudal por debajo de 24l/h como puede apreciarse en el Anexo III, donde figuran todos los patrones de consumo obtenidos.

2.3.2 Pareados/Unifamiliar sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina

En este caso se han monitorizado 5 abonados, realizando 2 campañas de medición, en verano e invierno (el abonado 92705 únicamente se pudo monitorizar en la campaña de invierno).

Los resultados obtenidos, debido al reducido tamaño de la muestra monitorizada, presentan una gran variabilidad debido al pequeño tamaño de la muestra, por tanto los intervalos de confianza son bastante amplios.

TABLA 11. PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR SIN JARDÍN

Patrón de consumo	Verano			Invierno		
	Q (l/h)	V (l)	V(%)	Intervalo de confianza V(%)	V (l)	V(%)
0-6	19,5	6,6	7,35	10,7	4,1	2,80
6-12	2,2	0,6	0,66	2,0	0,7	0,34
12-18	1,5	0,5	0,35	1,6	0,5	0,35
18-24	9,5	3,7	6,78	0,6	0,2	0,10
24-36	1,2	0,3	0,28	0,7	0,3	0,17
36-72	2,1	0,5	0,47	1,4	0,7	0,60
72-120	3,0	0,8	1,02	1,9	0,9	0,68
120-250	22,9	6,5	5,46	19,1	6,8	2,74
250-450	48,7	14,7	12,84	66,2	28,0	11,46
450-750	147,6	35,8	24,00	135,7	49,4	14,02
750-1500	42,9	11,0	5,70	25,6	8,3	4,26
1500-3000	77,2	19,0	36,99	0,4	0,1	0,15
>3000	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0

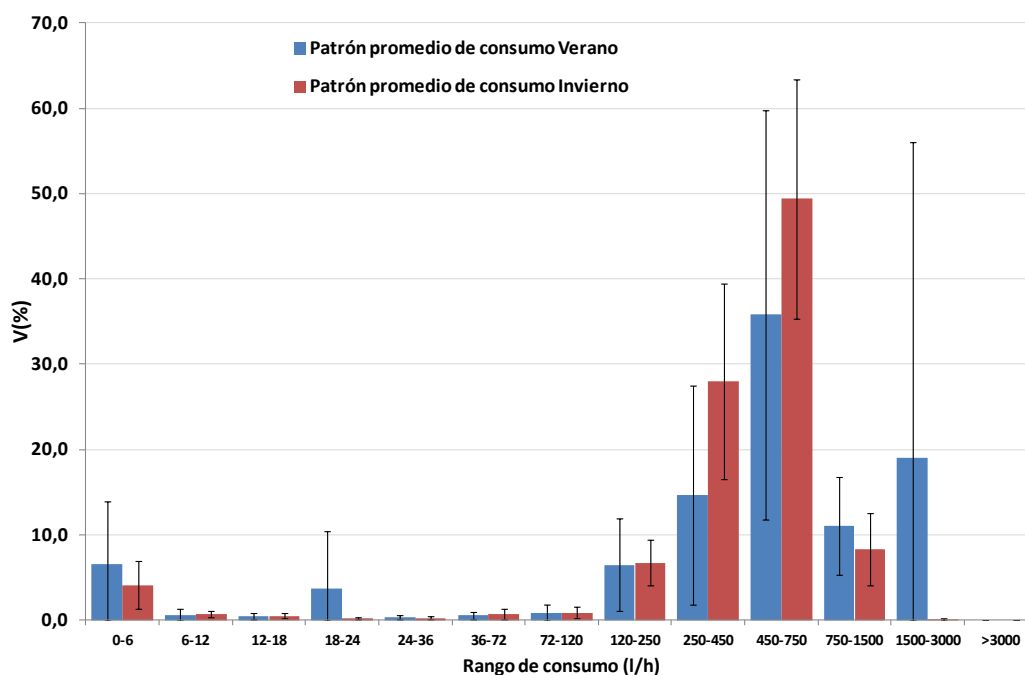


FIGURA 17. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR SIN JARDÍN

Al igual que en el caso anterior, debido a la gran variabilidad de los resultados obtenidos causados por el reducido tamaño de la muestra, los cálculos del error global se han realizado utilizando el promedio del patrón de consumo entre las dos estaciones:

TABLA 12. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. SIN JARDÍN

Q (l/h)	(l)	(%)
0-6	17,35	5,72
6-12	1,99	0,66
12-18	1,41	0,47
18-24	4,15	1,37
24-36	0,87	0,29
36-72	1,58	0,52
72-120	2,18	0,72
120-250	20,11	6,63
250-450	56,38	18,6
450-750	133,49	44,03
750-1500	32,57	10,74
1500-3000	31,11	10,26
>3000	0	0

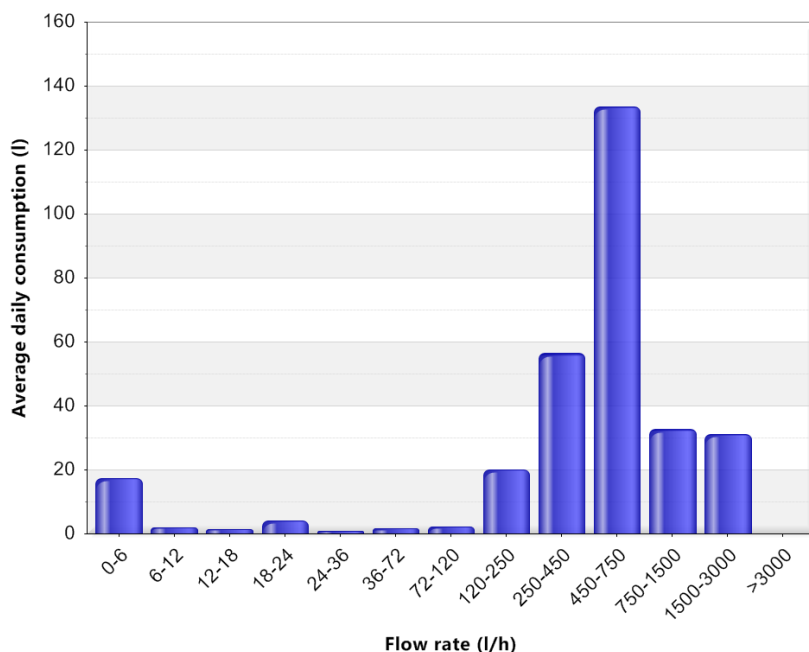


FIGURA 18. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. SIN JARDÍN

Mencionar que de los 5 abonados monitorizados, el abonado 55875 y el 80009988 presentan importantes pérdidas. El primero, casi un 10% del volumen se consume por debajo de 24l/h, y el segundo casi un 32% se consume con un caudal por debajo de 24l/h.

2.3.3 Unifamiliares con jardín y con piscina

En este caso se han monitorizado a 6 abonados, realizando 2 campañas de medición, en verano e invierno. Los resultados obtenidos, debido al reducido tamaño de la muestra monitorizada, presentan una gran variabilidad debido al pequeño tamaño de la muestra, por tanto los intervalos de confianza son bastante amplios.

TABLA 13. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO VIV.UNIFA. CON PISCINA

Patrón de consumo Q (l/h)	Verano			Invierno		
	V (l)	V(%)	Intervalo de confianza V(%)	V (l)	V(%)	Intervalo de confianza V(%)
0-6	7,3	0,5	0,1	11,1	3,5	3,3
6-12	1,1	0,1	0,1	1,5	0,5	0,2
12-18	0,5	0,1	0,0	1,0	0,3	0,1
18-24	2,6	0,3	0,7	1,4	0,4	0,7
24-36	0,5	0,1	0,0	0,6	0,2	0,1
36-72	3,1	0,2	0,1	3,6	0,8	0,6
72-120	1,5	0,2	0,0	1,2	0,5	0,3
120-250	16,4	1,4	0,5	16,6	4,7	3,1
250-450	77,8	5,9	3,5	73,5	24,9	11,4
450-750	212,3	22,3	11,7	180,8	52,8	9,5
750-1500	232,6	13,9	9,2	51,4	11,1	6,9
1500-3000	953,7	55,0	16,9	0,5	0,4	0,6
>3000	2,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0

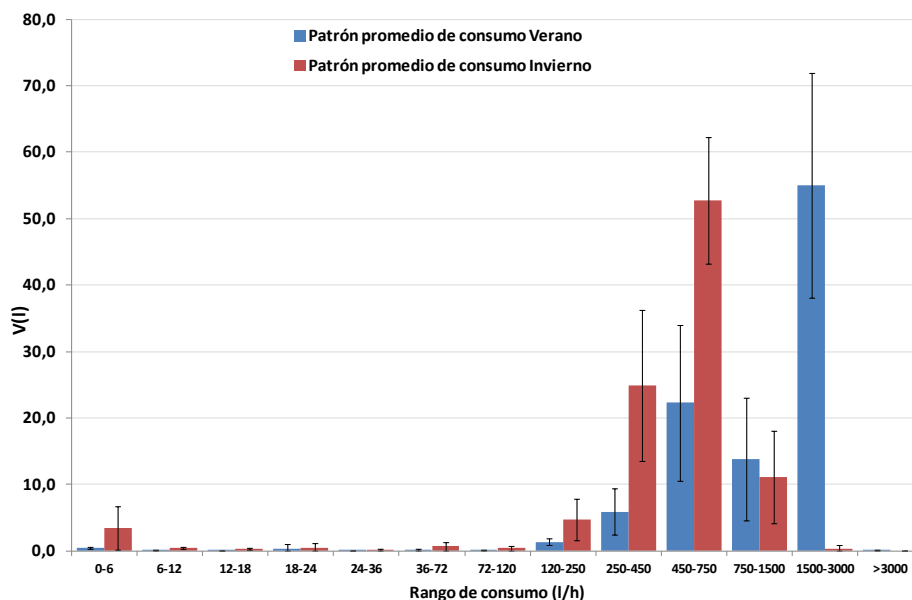


FIGURA 19. INTERVALO DE CONFIANZA PATRÓN DE CONSUMO UNIFAMILIAR CON JARDÍN

Al igual que en los dos casos anteriores, debido al pequeño tamaño de la muestra y a la gran variabilidad de los resultados obtenidos, los cálculos del error global se han realizado utilizando el promedio del patrón de consumo de las dos estaciones:

TABLA 14. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIFA. CON JARDÍN

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	10,19	0,92
6-12	1,18	0,11
12-18	0,5	0,05
18-24	2,52	0,23
24-36	0,51	0,05
36-72	4	0,36
72-120	1,38	0,12
120-250	16,31	1,47
250-450	89,87	8,1
450-750	195,43	17,61
750-1500	176,34	15,89
1500-3000	610,3	54,98
>3000	1,44	0,13

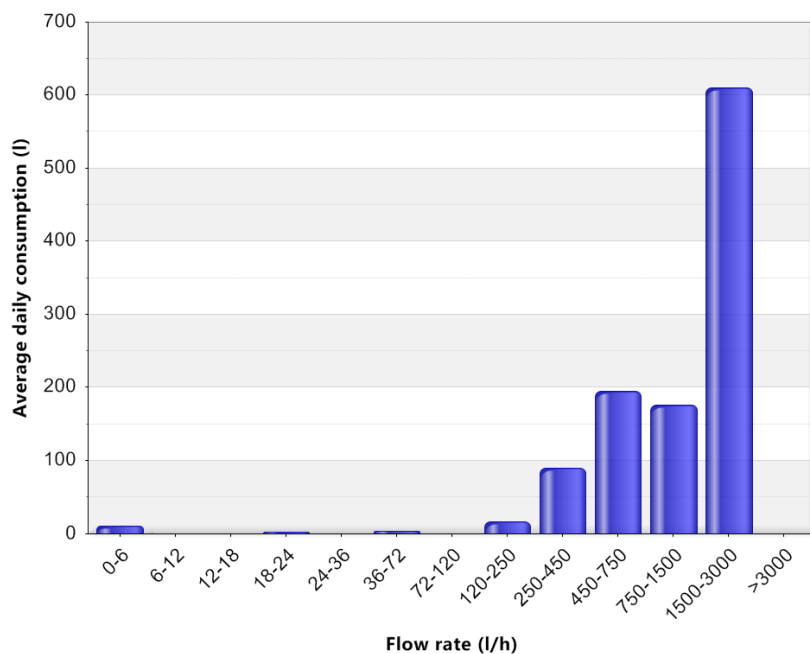


FIGURA 20. PATRÓN PROMEDIO DE CONSUMO VIV. UNIF. CON JARDÍN

2.4 SELECCIÓN DE LA MUESTRA DE CONTADORES PARA SU ENSAYO EN BANCO

El siguiente punto describe y justifica los procedimientos empleados para la adecuada selección de una muestra de contadores del parque de contadores de Aranda de Duero, a la que sometió a ciertos ensayos metrológicos para obtener su curva de error, de tal manera que se pudiera, a posteriori extrapolar las conclusiones sobre las características metrológicas al resto de la población total.

Se realizaron ensayos metrológicos los contadores de 13, 15, 20 y 25 mm de diámetro nominal.

2.4.1 Justificación del tipo de muestreo elegido

La cantidad de contadores instalados hace que el estudio relativo a la metrología de los contadores se deba abordar desde el punto de vista estadístico, realizando muestreos sobre la población.

Teniendo en cuenta las características de la población en estudio, se ha optado por estratificar la población en grupos. Estos quedan definidos por variables que se esperan tengan influencia en el estado metrológico de los mismos.

2.4.2 Propuesta de estratos del parque de contadores

Habida cuenta de la gran cantidad de marcas y modelos que componen el parque de contadores de Aranda de Duero, se hace necesario reducir, el número de “clases” de contadores a analizar desde el punto de vista metrológico. Para ello se requiere seleccionar adecuadamente aquellas variables que puedan afectar en mayor grado a la metrología del contador, tanto a corto plazo, desde el momento de la instalación, como a largo plazo.

En este sentido se ha considerado que las variables que pueden influir en la curva de manera más significativa son las siguientes:

- El modelo del contador. Las características constructivas de los contadores de agua han evolucionado en los últimos años considerablemente. Los fabricantes han modificado sus modelos para adecuarlos a las exigencias metrológicas actuales, mucho más severas que las que existían hace años. Consecuentemente, la respuesta de cada uno al paso del tiempo, al desgaste, y al ataque de productos químicos es muy diferente, por lo que habrán de estudiarse individualmente.

Es conveniente descartar de la selección de muestra aquellos modelos minoritarios y que no representan a un determinado porcentaje de usuarios del abastecimiento. En este sentido se ha decidido que el peso umbral que determine la inclusión o no de un modelo en la muestra sea de un 5% con respecto al total de la clase.

- El consumo promedio del usuario. La sollicitación a la que se somete habitualmente al contador condiciona a medio y largo plazo el estado metrológico del instrumento.

Con estos criterios se adopta para cada diámetro diferentes umbrales de consumo. En concreto para los contadores de 13/15 mm, con caudal nominal 1,5 m³/h se ha fijado un consumo mensual entre 5 y 20 m³.

- La edad del contador. Es evidente que contadores de mayor edad han registrado, en general, un mayor volumen de agua, por lo que sus elementos móviles y los que están en contacto con el agua han sufrido mayor desgaste que los de los contadores más nuevos. Dado el gran número de diferentes modelos de contadores que se han venido utilizando en los abastecimientos actuales, hemos estratificado los grupos de edad de los contadores solamente en cinco categorías de cinco años cada una.

2.4.3 Estratificación de contadores por antigüedad y marca/modelo

Los contadores que normalmente se emplean para el registro del consumo doméstico corresponden a contadores de 13 y 15 mm de diámetro nominal. En la práctica, desde un punto de vista constructivo y de capacidad metrológica y de transporte de agua, los contadores de estos dos diámetros son exactamente iguales y la única diferencia entre ambos corresponde al diámetro de las roscas de conexión.

En la base de datos del abastecimiento de Aranda del Duero del año 2011 constan 9478 contadores de 13 mm. El 63,9% de los contadores de 13 mm superan los 10 años en servicio. Destacando que el 34,08% tiene más de 20 años en servicio.

TABLA 15. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN13

	Edad del contador DN 13												Total
	Sin datos	%	<5 años	%	5-10 años	%	10-15 años	%	15-20 años	%	>20 años	%	
Sin datos	117	1,23	4	0,04	3	0,03	34	0,36	1	0,01	0	0,00	159
MODELO 1	2	0,02	3	0,03	5	0,05	630	6,65	0	0,00	0	0,00	640
MODELO 2	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3	0,03	27	0,28	0	0,00	30
MODELO 3	1	0,01	4	0,04	489	5,16	278	2,93	0	0,00	0	0,00	772
MODELO 4	1	0,01	9	0,09	5	0,05	49	0,52	412	4,35	0	0,00	476
MODELO 5	0	0,00	5	0,05	1	0,01	100	1,06	1	0,01	2037	21,49	2144
MODELO 6	0	0,00	0	0,00	0	0,00	15	0,16	71	0,75	191	2,02	277
MODELO 7	0	0,00	5	0,05	1	0,01	150	1,58	492	5,19	870	9,18	1518
MODELO 8	0	0,00	1	0,01	0	0,00	134	1,41	0	0,00	0	0,00	135
MODELO 9	8	0,08	287	3,03	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	295
MODELO 10	6	0,06	1348	14,22	1070	11,29	70	0,74	1	0,01	0	0,00	2495
MODELO 11	0	0,00	4	0,04	28	0,30	26	0,27	3	0,03	0	0,00	61
MODELO 12	0	0,00	1	0,01	3	0,03	16	0,17	0	0,00	131	1,38	151
MODELO 13	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,01	1
MODELO 14	3	0,03	2	0,02	2	0,02	280	2,95	37	0,39	0	0,00	324
Subtotal	138	1,46	1673	17,65	1607	16,96	1785	18,83	1045	11,03	3230	34,08	9478

De diámetro 15 mm hay un total 4312 contadores. Únicamente el 9,8% de los contadores de 15 mm lleva más de 10 años en servicio. El 45,1% corresponde a contadores prácticamente nuevos con menos de 5 años en servicio.

TABLA 16. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN15

	Edad del contador DN 15												Total
	Sin datos	%	<5 años	%	5-10 años	%	10-15 años	%	15-20 años	%	>20 años	%	
Sin datos	2	0,05	22	0,51	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	24
MODELO 1	0	0,00	1	0,02	59	1,37	24	0,56	0	0,00	0	0,00	84
MODELO 3	0	0,00	3	0,07	26	0,60	26	0,60	0	0,00	0	0,00	55
MODELO 8	0	0,00	0	0,00	0	0,00	29	0,67	6	0,14	0	0,00	35
MODELO 9	0	0,00	1	0,02	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1
MODELO 10	3	0,07	1915	44,41	1805	41,86	21	0,49	0	0,00	0	0,00	3744
MODELO 11	0	0,00	1	0,02	14	0,32	111	2,57	168	3,90	1	0,02	295
MODELO 15	0	0,00	1	0,02	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1
MODELO 14	34	0,79	1	0,02	0	0,00	38	0,88	0	0,00	0	0,00	73
Subtotal	39	0,90	1945	45,11	1904	44,16	249	5,77	174	4,04	1	0,02	4312

Algunos consumos de agua domésticos, principalmente de viviendas unifamiliares y pisos con gran superficie construida y acometidas de uso comercial se registran mediante contadores de 20 mm, con mayor capacidad de caudal. En el sistema de información comercial constan 822 contadores instalados de este diámetro. El 44,4 % de los contadores lleva más de 10 años en servicio, y el 32,1% menos de 5 años.

TABLA 17. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN20

	Edad del contador DN 20												Total
	Sin datos	%	<5 años	%	5-10 años	%	10-15 años	%	15-20 años	%	>20 años	%	
Sin datos	4	0,49	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4
MODELO 16	0	0,00	0	0,00	1	0,12	7	0,85	16	1,95	0	0,00	24
MODELO 8	0	0,00	0	0,00	2	0,24	7	0,85	1	0,12	0	0,00	10
MODELO 10	1	0,12	248	30,17	179	21,78	109	13,26	0	0,00	0	0,00	537
MODELO 11	1	0,12	1	0,12	4	0,49	87	10,58	43	5,23	61	7,42	197
MODELO 17	0	0,00	1	0,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1
MODELO 12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,12	0	0,00	0	0,00	1
MODELO 18	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,12	1
MODELO 15	0	0,00	13	1,58	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	13
MODELO 14	0	0,00	1	0,12	1	0,12	30	3,65	0	0,00	2	0,24	34
Subtotal	6	0,73	264	32,12	187	22,75	241	29,32	60	7,30	64	7,79	822

A partir de 25 mm, el tipo de suministro corresponde prácticamente en su totalidad a consumo no residencial por lo que los volúmenes mensuales registrados en cada acometida pueden llegar a ser considerables.

El 60% de los contadores de este diámetro exceden los diez años en servicio.

TABLA 18. CLASIFICACIÓN DE CONTADORES POR MODELOS Y GRUPOS DE EDAD PARA DN25

	Edad del contador DN 25												Total
	Sin datos	%	<5 años	%	5-10 años	%	10-15 años	%	15-20 años	%	>20 años	%	
Sin datos	10	5,13	0	0,00	1	0,51	1	0,51	0	0,00	0	0,00	12
MODELO 19	0	0,00	0	0,00	0	0,00	5	2,56	1	0,51	1	0,51	7
MODELO 5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	26	13,33	26
MODELO 20	0	0,00	5	2,56	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	5
MODELO 21	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	1,03	5	2,56	0	0,00	7
MODELO 22	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,51	0	0,00	1
MODELO 17	0	0,00	17	8,72	30	15,38	26	13,33	0	0,00	0	0,00	73
MODELO 12	0	0,00	0	0,00	1	0,51	16	8,21	17	8,72	16	8,21	50
MODELO 23	0	0,00	3	1,54	1	0,51	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4
MODELO 24	0	0,00	10	5,13	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	10
Subtotal	10	5,13	35	17,95	33	16,92	50	25,64	24	12,31	43	22,05	195

2.4.4 Definición de la muestra para ensayo en banco

Una vez definidas las variables, que mayor efecto puedan tener sobre la curva de error se puede proceder a la definición de las muestras por categorías.

En primer lugar en la siguiente tabla se detallan las marcas/modelos de contador que deben ser analizadas en campo por diámetro y grupo de edad. La selección de las marcas/modelos se ha llevado a cabo siguiendo los siguientes criterios, en los que se persigue principalmente cubrir al mayor número de usuarios.

El peso de cada marca/modelo dentro del grupo de edad y del diámetro debe ser igual o superior al 5%.

Siguiendo este criterio de selección, a continuación, se muestra para cada diámetro las marcas/modelos seleccionadas para realizar los ensayo metrológicos en función del rango de edad del contador:

TABLA 19. MARCAS/MODELO DE CONTADOR SELECCIONADAS POR DIÁMETRO Y EDAD PARA EL ESTUDIO DE SU COMPORTAMIENTO METROLÓGICO EN LABORATORIO

	Menos de 5 años	Entre 5 y 10 años	Entre 10 y 15 años	Entre 15 y 20 años	Más de 20 años
DN 13	MODELO 10	MODELO 10	MODELO 1	MODELO 7	MODELO 5
	MODELO 3				MODELO 7
DN 15	Menos de 5 años		Entre 5 y 10 años		
	MODELO 10		MODELO 10		
	Menos de 5 años	Entre 5 y 10 años	Entre 10 y 15 años	Entre 15 y 20 años	Más de 20 años
DN 20	MODELO 10	MODELO 10	MODELO 10	MODELO 11	MODELO 11
	MODELO 11				
	Menos de 5 años	Entre 5 y 10 años	Entre 10 y 15 años	Entre 15 y 20 años	Más de 20 años
DN25	MODELO 17	MODELO 17	MODELO 17	MODELO 12	MODELO 5
	MODELO 24	MODELO 12			MODELO 12

En la siguiente tabla se cuantifican los contadores a ensayar por diámetro nominal, según el rango de antigüedad del contador y de la marca/modelo. En total se proponen ensayar un total de 151 contadores.

TABLA 20. DEFINICIÓN DE LA MUESTRA DE CONTADORES A ENSAYAR POR MODELO Y EDAD

DN	Marca/Modelo	<5 años	5 - 10	10 - 15	15 - 20	>20	Total
13	MODELO 10	15	15				30
13	MODELO 3		15				15
13	MODELO 1			15			15
13	MODELO 7				15	10	25
13	MODELO 5					10	10
	Total	15	30	15	15	20	95
DN	Marca	Menos de 5 años	Entre 5 y 10 años		Total		
15	MODELO 10	15	15		30		
	Total	15	15		30		
DN	Marca/Modelo	<5 años	5 - 10	10 - 15	15 - 20	>20	Total
20	MODELO 10	2	2	2			6
20	MODELO 11			2	2	2	6
	Total	2	2	4	2	2	12

DN	Marca/Modelo	<5 años	5 - 10	10 - 15	15 - 20	>20	Total
25	MODELO 17	2	2	2			6
25	MODELO 12				2	2	4
25	MODELO 5					2	2
25	MODELO 24	2					2
	Total	4	2	2	2	4	14

	<5 años	5 - 10	10 - 15	15 - 20	>20	Total
Totales	36	49	21	19	26	151

2.4.5 Resumen ensayo de contadores

A continuación se muestra un resumen de los ensayos realizados de los contadores domésticos (la totalidad de los ensayos realizados se encuentran disponible en el Anexo II de este trabajo):

En el caso de contadores con caudal nominal $1,5\text{m}^3/\text{h}$ que corresponden a contadores con diámetros nominales DN13/15, hay que señalar el comportamiento anómalo del modelo 10 con menos de 5 años, ya que presenta unos errores muy elevados para su antigüedad y se trata del contador más utilizado por el abastecimiento, con casi 3300 abonados.

TABLA 21. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=1.5\text{M}^3/\text{H}$ (DN13/15)

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
MODELO 10 Menor de 5 años	39,2	-81,2	-46,9	-19,0	-2,4	0,8	1,1
MODELO 10 Entre 5 y 10 años	12,2	-40,3	-4,5	0,6	0,3	-0,6	-0,3
MODELO 1 Entre 10 y 15 años	14,7	-84,1	0,5	2,1	0,5	-0,9	-0,3
MODELO 7 Entre 15 y 20 años	16,8	-95,3	-13,4	-1,9	-1,2	-1,0	0,0
MODELO 7 Mayor de 20 años	13,3	-73,3	-0,6	-0,7	-0,9	0,1	0,9
MODELO 3 Entre 5 y 10 años	15,7	-83,4	-1,7	0,5	0,2	-1,2	0,1
MODELO 5 Mayor de 20 años	31,1	-100,0	-61,1	-5,4	-3,8	-2,3	-2,4

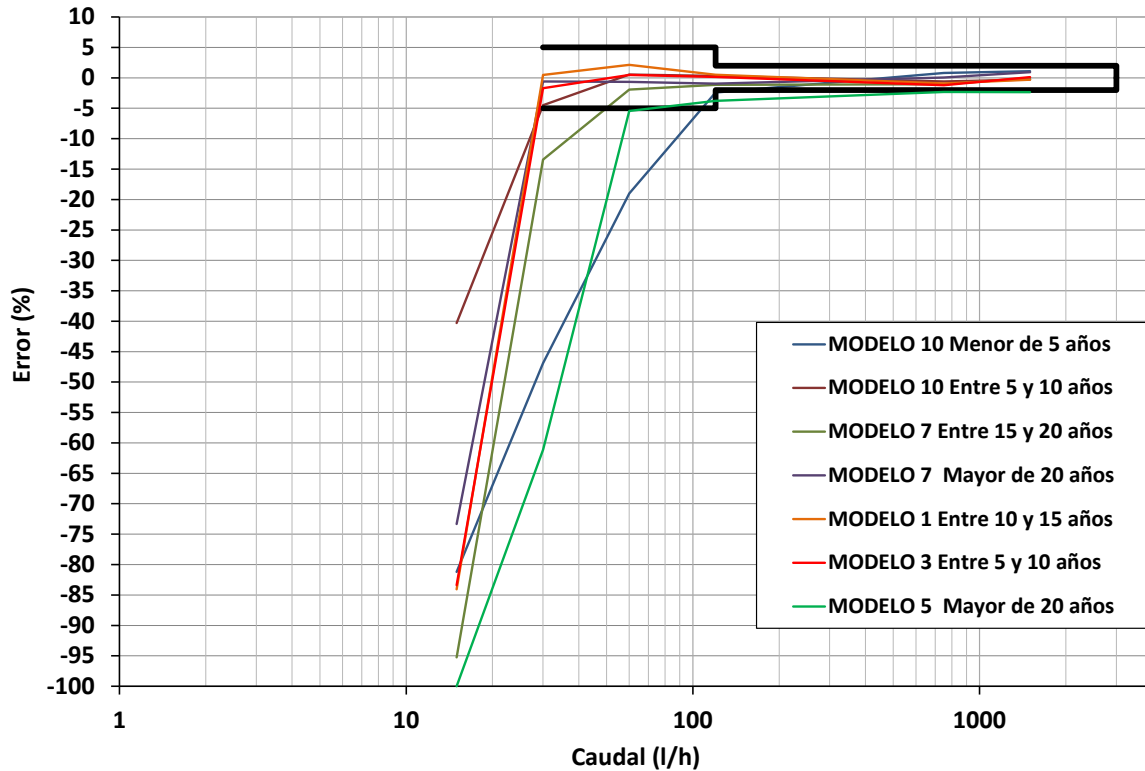


FIGURA 21. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=1.5 \text{ M}^3/\text{H}$ (DN13/15)

Para los contadores con caudal nominal $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ que corresponden a contadores con diámetros nominales DN20, hay que señalar también el comportamiento anómalo del modelo 10 con menos de 5 años, ya que presenta unos errores muy elevados para su antigüedad. El contador modelo 11 mayor de 20 años presenta un error muy elevado debido a su antigüedad elevada, con un caudal de arranque promedio de 200 l/h, por lo que el volumen no facturado será muy significativo.

TABLA 22. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=2,5 \text{ M}^3/\text{H}$ (DN20)

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
	0	15	30	60	120	750	1500	2500
MODELO 10 Menos de 5 años	35,0	-100,0	-100,0	-0,3	0,7	0,6	-0,2	-0,4
MODELO 10 Entre 5 y 10 años	20,0	-100,0	-41,0	-4,9	-1,4	1,5	0,3	0,1
MODELO 7 Entre 10 y 15 años	30,0	-100,0	-100,0	-10,3	-0,8	-0,9	-0,7	-0,5
MODELO 11_2 Entre 15 y 20 años	20,0	-100,0	-20,7	2,0	2,1	-0,6	0,0	0,1
MODELO 11_2 Mayor de 20 años	25,0	-100,0	-30,1	-0,5	-0,9	1,5	1,3	-0,1
MODELO 11 Entre 10 y 15 años	15,0	-100,0	0,4	1,1	-0,4	-2,0	-1,4	-0,9
MODELO 11 de 20 años	200,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	1,1	1,3	0,5

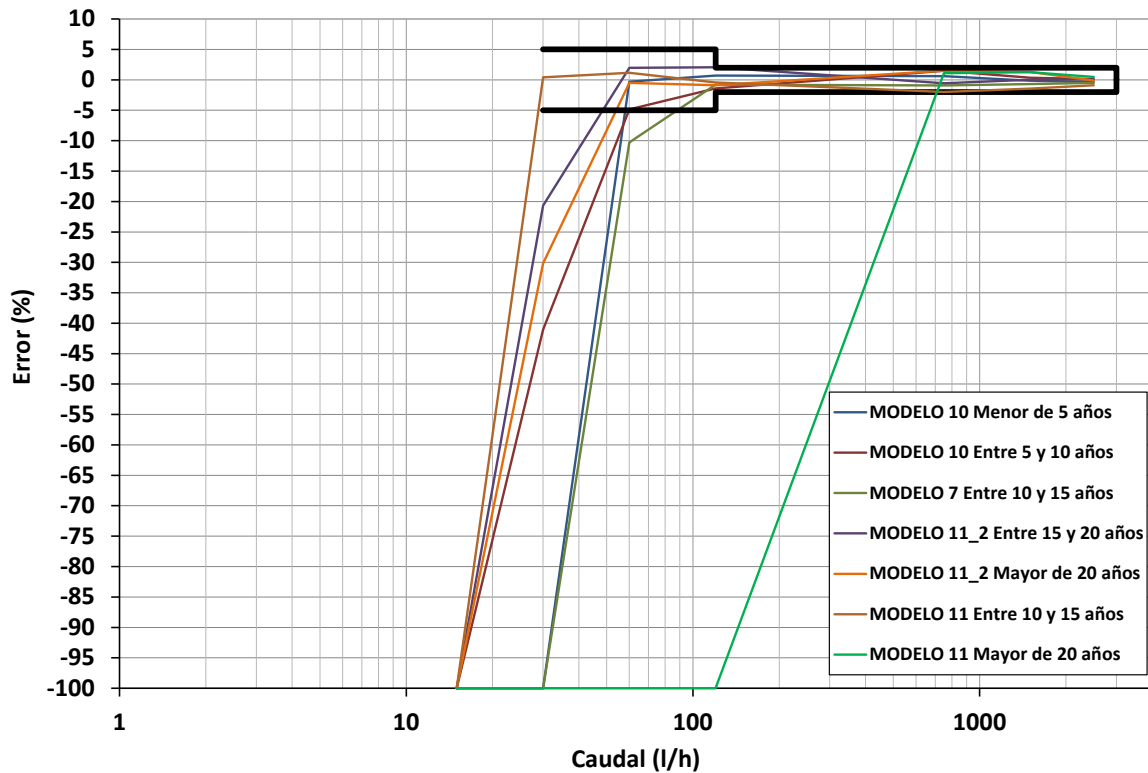


FIGURA 22. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR QN=2,5 m³/h (DN20)

En el caso de los contadores con caudal nominal 3,5m³/h que corresponden a contadores con diámetros nominales DN25, hay que señalar el comportamiento anómalo del modelo 17 con menos de 5 años, ya que presenta un caudal de arranque superior al resto de contadores con mayor antigüedad. También hay que resaltar el elevado error del modelo 5 con más de 20 años, siendo uno de los contadores más utilizados.

TABLA 23. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR QN=3,5m³/h (DN25)

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
	0	15	30	60	120	750	1500	2500	3500
MODELO 17 Menor de 5 años	28,3	-100,0	-74,3	-13,6	-0,7	0,3	-0,5	-0,7	-0,8
MODELO 17 Entre 5 y 10 años	25,0	-100,0	-36,0	-4,3	1,7	0,1	-0,1	0,1	-0,2
MODELO 17 Entre 10 y 15 años	30,0	-100,0	-73,3	-7,3	1,1	0,4	0,2	0,3	0,3
MODELO 12 Entre 10 y 15 años	25,0	-100,0	-23,0	-3,2	-0,8	-1,2	-1,6	-1,1	-0,3
MODELO 12 Entre 15 y 20 años	20,0	-100,0	-16,1	0,1	3,6	3,2	2,2	1,7	1,8
MODELO 12_2 Entre 15 y 20 años	27,5	-100,0	-63,0	-6,3	0,5	1,8	0,9	0,4	0,6
MODELO 24 Menor de 5 años	17,5	-100,0	-1,9	0,0	1,4	0,7	2,3	1,0	0,5
MODELO 5 Mayor de 20 años	82,5	-100,0	-100,0	-65,1	-50,4	-0,9	0,5	-0,1	-0,4

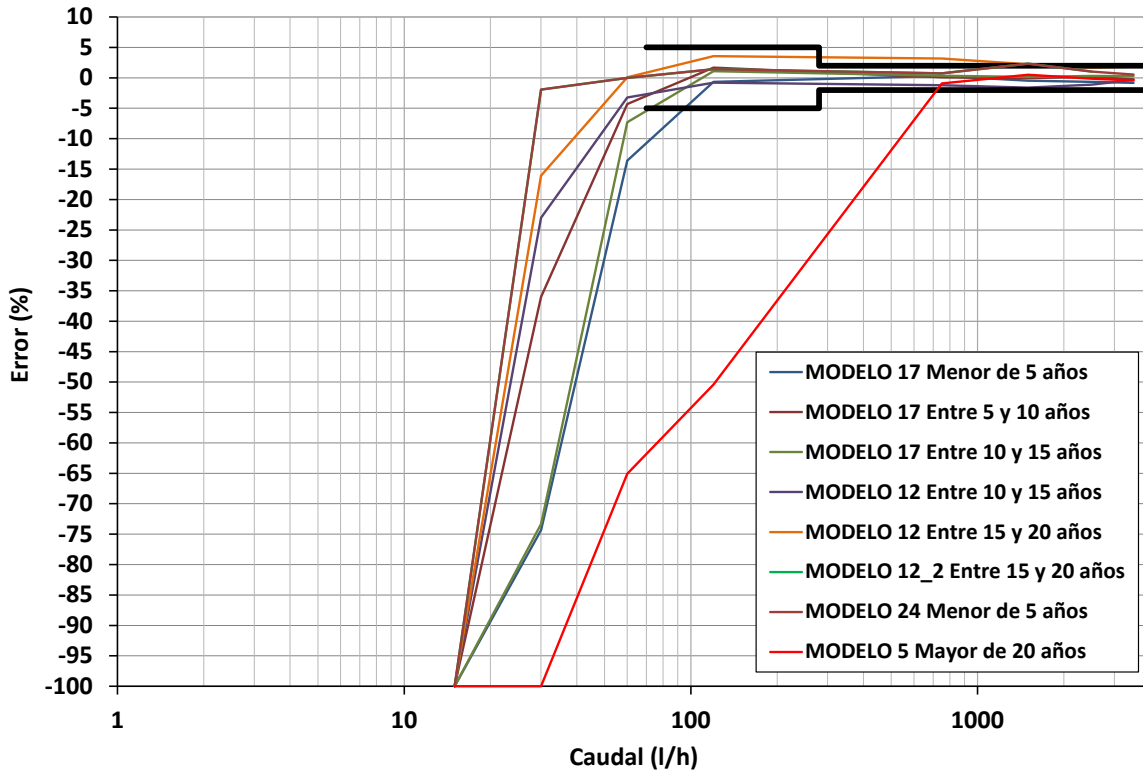


TABLA 24. ERROR PROMEDIO POR MODELO Y EDAD DEL CONTADOR $Q_N=3,5\text{M}^3/\text{H}$ (DN25)

2.5 DIMENSIONADO DE CONTADORES

El objetivo de la elección de un contador debe ser maximizar los beneficios que este aporte al abastecimiento. En general, el dimensionado adecuado para cada abonado debe ser aquel que dependiendo de las características de consumo del abonado y el error de medición del contador, provoque el menor error global posible maximizando los beneficios que este aporta al abastecimiento.

Los abonados domésticos únicamente consumen agua durante aproximadamente el 5% del periodo de evaluación (Arregui F. et al, 2007). Hemos utilizado este porcentaje para definir 6 rangos de consumo promedio mensual según el caudal nominal del contador.

Consideraremos que el consumo ideal de un contador, será el equivalente a consumir el caudal nominal durante el 5% del tiempo de evaluación, ya que este trabajará la mayor parte del tiempo en el punto óptimo de funcionamiento. Con consumos mayores al 5%, el contador se considerará que está infradimensionado.

Para definir el rango mínimo de consumo promedio mensual, hemos calculado el consumo como el equivalente al caudal nominal durante el 1% del tiempo de evaluación. En este caso se considerará que el contador está sobredimensionado.

En la siguiente tabla se muestra los consumos definidos que marcan cuando un contador está infradimensionado o sobredimensionado dependiendo del caudal nominal del contador.

TABLA 25. RANGOS DE CONSUMO INFRA/SUPRADIMENSIONADO SEGÚN CAUDAL NOMINAL

DN	Qn	<0,01 x Qn	>0,05 x Qn
(mm)	(m3/h)	(m3/mes)	(m3/mes)
13/15	1,5	<10	>50
20	2,5	<20	>100
25	3,5	<25	>125
30	6	<50	>250
40	10	<75	>375

A continuación se enumeran los contadores correspondientes a cada diámetro nominal que están infra/sobredimensionados según los rangos de consumos definidos anteriormente:

TABLA 26. CONTADORES DOMESTICOS INFRA/SOBREDIMENSIONADOS

	DN13		DN15		DN20	
	Infradim	Infradim.	Sobredim.	Infradim.	Sobredim.	Infradim.
Consumo (m ³ /mes)	>50	>50	<20	>100	<20	>100
Nº Abonados infra/sobredimensionados	9	9	378	9	378	9
% Abonados infra/sobredimensionados	0,13%	0,26%	71,05%	1,69%	71,05%	1,69%
Nº Total de abonados	6884	3418	532	6884	532	6884

	DN25		DN30		DN40	
	Sobredim.	Infradim.	Sobredim.	Infradim.	Sobredim.	Infradim.
Consumo (m ³ /mes)	<25	>125	<50	>250	<75	>375
Nº Abonados infra/sobredimensionados	15	24	5	1	2	0
% Abonados infra/sobredimensionados	19,74%	31,58%	31,25%	6,25%	28,57%	0,00%
Nº Total de abonados	76	76	16	16	7	7

Como puede apreciarse en la anterior tabla, hay que destacar que el 71% de los contadores DN20 y el 31% de DN25 están sobredimensionados. El 31% de los contadores de DN25 están infradimensionados.

2.6 CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS

Una vez que hemos obtenido el patrón de consumo de los usuarios domésticos y la curva de error de los contadores instalados estamos en disposición de poder calcular el porcentaje del consumo que registran los medidores.

2.6.1 Contadores con $Q_n=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (DN13/15)

Se han calculado los errores globales para cada patrón de consumo de los grupos de contadores más representativos del parque de contadores. Este error global se ha ponderado según el peso normalizado de los grupos respecto al número total de abonados para este caudal nominal de la muestra total. La suma de los errores globales ponderados, es el error global total de la muestra para cada patrón de consumo.

TABLA 27. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL POR PATRONES DE CONSUMO $Q_N=1,5 \text{ M}^3/\text{H}$

Marca/Modelo	Nº abonados	% real	% normalizado	Volumen facturado año	Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín	
					Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado
MODELO 10 <5	2449	23.8%	31%	340027	-11.58%	-3.55%	-8.30%	-2.55%
MODELO 10 5-10	2293	22.2%	29%	318368	-10.24%	-2.94%	-7.14%	-2.05%
MODELO 3 5-10	370	3.6%	5%	51372	-10.86%	-0.50%	-7.80%	-0.36%
MODELO 1 10-15	461	4.5%	6%	64007	-10.80%	-0.62%	-7.87%	-0.45%
MODELO 1 15-20	375	3.6%	5%	52066	-11.40%	-0.54%	-8.28%	-0.39%
MODELO 1 >20	601	5.8%	8%	83445	-11.34%	-0.85%	-8.21%	-0.62%
MODELO 5 >20	1432	13.9%	18%	198824	-13.15%	-2.36%	-13.15%	-2.36%
Total	10310	77.4%	100%	1108109		-11.37%		-8.78%

Para obtener el error global del parque de contadores se ha ponderado el error global de cada patrón de consumo por el peso del porcentaje de abonados que pertenecen a cada patrón de consumo. Para este caudal nominal, los abonados viven principalmente en viviendas en edificio (92,5%) y en menor medida (7,5%) en viviendas unifamiliares o pareados sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina.

El error global obtenido de los abonados domésticos con contadores instalados de caudal nominal $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ es el siguiente:

TABLA 28. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DEL PARQUE DE CONTADORES $Q_N=1,5 \text{ M}^3/\text{H}$

Patrón de consumo	Error global	Peso	Error Global Ponderado
Edificio de viviendas	-11.37%	92.5%	-11.18%
Vivienda Unifa. Sin piscina	-8.78%	7.5%	

2.6.1.1 Estimación de mejora del error global

El patrón utilizado para calcular el error global del parque de contadores para abonados domésticos con caudal nominal igual a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ se ha obtenido del promedio de todas las mediciones realizadas de las estaciones de verano e invierno.

Este patrón promedio presenta un porcentaje elevado de consumos a bajos caudales ya que de las 7 viviendas monitorizadas, 2 de ellas presentaban pérdidas considerables en el interior de las viviendas que influyen en el patrón promedio utilizado en los cálculos del error global.

Aproximadamente el 10% del volumen registrado se consume por debajo de los 18 l/h, donde los contadores instalados, la mayoría de clase B, y por tanto con baja sensibilidad a caudales bajos, no son capaces de registrar este volumen, ya que el promedio de caudal de arranque de los contadores instalados está en 20 l/h.

Hemos comparado el error global obtenido de los contadores instalados con el que se obtendría si se tuvieran instalados 3 contadores nuevos de los cuales el ITA ha realizado ensayo recientemente.

Para ello calcularemos el error global utilizando el patrón de consumo obtenido de la monitorización de Aranda de Duero, la curva de errores de los contadores nuevos ensayados por el ITA, suponiendo una velocidad de degradación anual de la curva de error del 0,3% y que los contadores tienen la misma edad que los instalados en la actualidad

Los contadores utilizados en la comparación con caudal nominal 1.5m³/h han sido los siguientes:

- El contador “A” corresponde a un modelo de contador volumétrico de clase metrológica C, y por tanto con buena sensibilidad a caudales bajos.
- El contador “B”, corresponde a un modelo de chorro único, de clase metrológica B, con deficiente sensibilidad a caudales bajos.
- El contador “C”, corresponde también a un modelo de chorro único, de clase metrológica B, pero de precio económico.

Los errores obtenidos para cada contador y según los patrones de consumo correspondientes han sido los siguientes:

TABLA 29. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL. CONTADOR “A”

Marca/Modelo	Contador “A” (Clase C - Volumétrico)			
	Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín	
	Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado
MODELO 10 <5 años	-0,88%	-0,27%	-0,78%	-0,24%
MODELO 10 5-10 años	-2,38%	-0,69%	-2,28%	-0,66%
MODELO 3 5-10 años	-2,38%	-0,11%	-2,28%	-0,11%
MODELO 1 10-15 años	-3,88%	-0,22%	-3,78%	-0,22%
MODELO 1 15-20 años	-5,38%	-0,25%	-5,28%	-0,25%
MODELO 1 >20 años	-6,88%	-0,52%	-6,78%	-0,51%
MODELO 5 >20 años	-6,88%	-1,24%	-6,78%	-1,22%
Total		-3,30%		-3,19%

TABLA 30. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL. CONTADOR "B" Y "C"

Marca/ Modelo	Contador "B" (Clase B)				Contador "C" (Clase B)			
	Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín		Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín	
	Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado
MODELO 10 <5 años	-8,87%	-2,72%	-6,05%	-1,86%	-10,58%	-3,25%	-7,68%	-2,36%
MODELO 10 5-10 años	-10,37%	-2,98%	-7,55%	-2,17%	-12,08%	-3,47%	-9,18%	-2,64%
MODELO 3 5-10 años	-10,37%	-0,48%	-7,55%	-0,35%	-12,08%	-0,56%	-9,18%	-0,43%
MODELO 1 10-15 años	-11,87%	-0,69%	-9,05%	-0,52%	-13,58%	-0,78%	-10,68%	-0,62%
MODELO 1 15-20 años	-13,37%	-0,63%	-10,55%	-0,50%	-15,08%	-0,71%	-12,18%	-0,57%
MODELO 1 >20 años	-14,87%	-1,12%	-12,05%	-0,91%	-16,58%	-1,25%	-13,68%	-1,03%
MODELO 5 >20 años	-14,87%	-2,67%	-12,05%	-2,16%	-16,58%	-2,97%	-13,68%	-2,46%
Total		-11,28%		-8,46%		-12,99%		-10,10%

De forma análoga al cálculo del error global de los contadores instalados en la actualidad, para obtener el error global del parque de contadores se ha ponderado el error global de cada patrón de consumo por el peso del porcentaje de abonados que pertenecen a cada patrón de consumo. Los abonados que utilizan contadores con caudal nominal 1,5 m³/h residen principalmente en viviendas en edificio (92,5%) y en menor medida (7,5%) en viviendas unifamiliares o pareados sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina.

El error global estimado para cada contador propuesto es el siguiente:

TABLA 31. RESUMEN DE ERROR GLOBALES ESTIMADOS UTILIZANDO CONTADOR "A", "B" O "C"

Propuesta contador	Patrón de consumo	Error Global Inicial	Velocidad degradación estimada anual	Error global	Peso	Error Global Ponderado	Sobrecoste actual €/año
Contador A (Clase C -Volumétrico)	Edificio de viviendas	-0.13	-0.3	-3.30%	92.5%	-3.29%	58,577 €
	Viv. Unifa. Sin piscina	-0.03	-0.3	-3.19%	7.5%		
Contador B (Clase B)	Edificio de viviendas	-8.12	-0.3	-11.28%	92.5%	-11.07%	804 €
	Viv. Unifa. Sin piscina	-5.30	-0.3	-8.46%	7.5%		
Contador C (Clase B)	Edificio de viviendas	-9.83	-0.3	-12.99%	92.5%	-12.77%	-11,822 €
	Viv. Unifa. Sin piscina	-6.93	-0.3	-10.10%	7.5%		

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la disminución del error global si se utilizara el contador "A" volumétrico de clase metrológica C es muy significativa, se conseguiría aumentar en casi un 7% el volumen facturado, ya que este contador es capaz de medir el consumo a bajos caudales.

Por el contrario, incluso instalando contadores nuevos de clase B (los modelos “B” y “C”) no conseguimos mejorar el error global actual, incluso empeora con el contador económico, ya que no son capaces de registrar los consumos a bajos caudales.

2.6.2 Contadores con $Q_n=2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ (DN20)

De forma análoga al caso anterior hemos calculado el error global del parque, en este caso, de los abonados con contadores de caudal nominal $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Los contadores fueron estratificados en los siguientes grupos:

TABLA 32. ESTRATIFICACIÓN CONTADORES DOMÉSTICOS CON $Q_N=2,5 \text{ M}^3/\text{H}$

Marca/Modelo	Nº abonados	% real	% normalizado	Volumen facturado año
MODELO 10 <5 años	217	35.8%	40%	59723
MODELO 10 5-10 años	129	21.3%	24%	35504
MODELO 10 10-15 años	86	14.2%	16%	23669
MODELO 11 10-15 años	65	10.7%	12%	17889
MODELO 11 15-20 años	20	3.3%	4%	5504
MODELO 11 >20 años	31	5.1%	6%	8532
Total	606	90.4%	100%	150821

Los errores obtenidos para cada contador y según los patrones de consumo correspondientes han sido los siguientes:

TABLA 33. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL POR PATRON DE CONSUMO. CONTADORES $Q_N=2,5 \text{ M}^3/\text{H}$

Marca/Modelo	Error Global		Error Global		Error Global	
	Ponderado		Ponderado		Ponderado	
	Patrón Viviendas	Edificio	Patrón Unifa. Sin jardín		Patrón Unifa. Con jardín	
MODELO 10 <5 años	-10,76%	-4,26%	-8,17%	-3,24%	-1,36%	-0,54%
MODELO 10 5-10 años	-10,12%	-2,38%	-7,07%	-1,66%	-0,80%	-0,19%
MODELO 10 10-15 años	-11,58%	-1,82%	-8,47%	-1,33%	-1,13%	-0,18%
MODELO 11 10-15 años	-11,79%	-1,40%	-8,98%	-1,06%	-2,28%	-0,27%
MODELO 11 15-20 años	-10,22%	-0,37%	-7,60%	-0,28%	-1,15%	-0,04%
MODELO 11 >20 años	-26,76%	-1,51%	-20,31%	-1,15%	-5,22%	-0,30%
Total		-11,75%		-8,72%		-1,51%

Para obtener el error global del parque de contadores se ha ponderado el error global de cada patrón de consumo por el peso del porcentaje de abonados que pertenecen a cada patrón de consumo. Para este caudal nominal, los abonados viven principalmente en viviendas en edificio (74,6%) y en menor medida (20,6%), en viviendas unifamiliares con jardín y piscina (20,6%), y en menor medida en viviendas unifamiliares o pareados sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina.

Ponderando los errores globales obtenidos según el patrón de consumo por el peso de estos patrones en la muestra, hemos obtenido el error global de los abonados domésticos con caudal nominal 2,5 m³/h.

TABLA 34. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS QN=2,5 M³/H

Patrón de consumo	Error Global	Peso	Error Global Ponderado
Edificio de viviendas	-11,75%	74,6%	
Viv. Unifa. Sin piscina	-8,72%	4,9%	-9,49%
Viv. Unifa. Con piscina	-1,51%	20,6%	

En este caso también sería interesante instalar contadores volumétricos, ya que aumentarían el volumen facturado considerablemente, ya que mayoritariamente estos contadores están instalados en viviendas en edificios, y como hemos comentado anteriormente, este patrón de consumo presenta un volumen registrado significativo a caudales pequeños.

2.6.3 Contadores con Qn=3,5 m³/h (DN25)

Para los contadores con caudal nominal 3,5 m³/h se realizó la siguiente estratificación:

TABLA 35. ESTRATIFICACIÓN CONTADORES DOMÉSTICOS QN=2,5 M³/H

Marca/Modelo	Nº abonados	% real	% normalizado	Volumen facturado año
MODELO 5 >20 años	10	12.8%	16%	6945
MODELO 17 <5 años	7	9.0%	11%	4861
MODELO 17 5-10 años	10	12.8%	16%	6945
MODELO 17 10-15 años	10	12.8%	16%	6945
MODELO 12 10-15 años	0	0.0%	0%	0
MODELO 12 15-20 años	4	5.1%	6%	2778
MODELO 12 >20 años	13	16.7%	21%	9028
MODELO 24 <5 años	8	10.3%	13%	5556
Total	78	79.5%	100%	43056

Los errores obtenidos para cada contador y según los patrones de consumo correspondientes han sido los siguientes:

TABLA 36. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL POR PATRONES DE CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Marca/Modelo	Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín		Patrón Unifa. Con jardín	
	Error Global	Error Global Ponderado	Error Global	Error Global Ponderado	Error Global	Error Global Ponderado
MODELO 5 >20 años	-25.70%	-4.15%	-19.70%	-3.18%	-5.62%	-0.91%
MODELO 17 <5 años	-11.38%	-1.29%	-8.69%	-0.98%	-1.79%	-0.20%
MODELO 17 5-10 años	-10.40%	-1.68%	-7.85%	-1.27%	-0.93%	-0.15%
MODELO 17 10-15 años	-10.99%	-1.77%	-8.42%	-1.36%	-1.71%	-0.28%
MODELO 12 10-15 años	-11.82%	0.00%	-9.34%	0.00%	-2.51%	0.00%
MODELO 12 15-20 años	-9.81%	-0.63%	-7.22%	-0.47%	-0.85%	-0.05%
MODELO 12 >20 años	-8.12%	-1.70%	-5.31%	-1.11%	1.52%	0.32%
MODELO 24 <5 años	-9.57%	-1.23%	-6.55%	-0.85%	0.12%	0.02%
Total		-9.51%		-7.25%		-1.59%

Para obtener el error global del parque de contadores se ha ponderado el error global de cada patrón de consumo por el peso del porcentaje de abonados que pertenecen a cada patrón de consumo. Para este caudal nominal, los abonados viven principalmente en viviendas unifamiliares con jardín y piscina (67,1%), en viviendas en edificio (31,6%) y en menor medida (1,3%), y en menor medida en viviendas unifamiliares o pareados sin jardín (o jardín pequeño) y sin piscina.

Ponderando los errores globales obtenidos según el patrón de consumo por el peso de estos patrones en la muestra, hemos obtenido el error global del parque de contadores para abonados domésticos con caudal nominal $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

El error global obtenido es el siguiente:

TABLA 37. ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL DE CONTADORES DOMÉSTICOS $Q_N=3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Patrón de consumo	Error global	Peso	Error Global Ponderado
Edificio de viviendas	-9,51%	31,6%	
Viv. Unifa. Sin piscina	-7,25%	1,3%	-4,17%
Viv. Unifa. Con piscina	-1,59%	67,1%	

En este caso el error obtenido es bajo, ya que mayoritariamente corresponden a viviendas unifamiliares con piscina, donde en el patrón de consumo de este tipo de abonado, tiene un porcentaje del volumen consumido a bajos caudales muy pequeño (inferior al 1%), lo que se refleja en un error global muy contenido.

2.6.4 Cálculo del error global de parque de contadores domésticos

Una vez obtenido el error global para los distintos grupos según su caudal nominal, podemos obtener el error global del parque de contadores domésticos ponderando cada error global obtenido para cada caudal nominal por el porcentaje del volumen facturado.

De esta forma obtendremos el error global del parque de contadores domésticos:

TABLA 38. CÁLCULO DEL ERROR GLOBAL DE PARQUE DE CONTADORES DOMÉSTICO

Q nominal	DN	Error global	Volumen facturado		Error global contadores domésticos
m3/h	mm	%	m3	%	%
1,5	13/15	-11.18%	1108109	85.11%	
2,5	20	-9.49%	150821	11.58%	-10.8%
3,5	25	-4.17%	43056	3.31%	

2.7 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO DN13/15

Únicamente vamos a poder estimar el error global óptimo de los contadores de diámetro nominal 13 y 15 mm, ya que es necesario conocer la velocidad de degradación de la curva de error del contador. Para calcular el error global óptimo promedio del estudio real de los contadores de 13 y 15 mm, previamente es necesario calcular la Frecuencia Óptima de Renovación (FOR) cuyo cálculo se obtiene con la siguiente expresión:

$$FOR (AÑOS) = 1.5 \times \left(\frac{\left(\frac{\text{COSTE ADQUISICIÓN CONTADOR(€)} + \text{COSTE INSTALACIÓN CONTADOR(€)}}{\text{CONSUMO ANUAL(M}^3\text{)} \times \text{PRECIO AGUA(€)}} \right)}{\text{VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN CURVA DE ERROR DEL CONTADOR (\%)}} \right)^{0.49}$$

Uno de los datos necesarios para el cálculo del *FOR* es la velocidad de degradación promedio anual de las curvas de error obtenidas en el banco de ensayo. Para ello se ha supuesto un error global inicial de -8.76%. Este error se ha obtenido del promedio de los errores globales iniciales utilizando los contadores “B” y “C” nuevos, de clase metrológica B.

La velocidad de degradación se calcula como:

$$Velocidad\ degradación_{MODELO} = \frac{\text{Promedio ponderado patrones (Error global calculado - Error global inicial)}}{\text{Promedio antigüedad del grupo}}$$

El promedio de velocidad de degradación de la curva de error lo calcularemos como:

$$\text{Promedio velocidad degradación} = \sum \frac{\text{Velocidad degradación grupo}}{n^{\circ} \text{ grupos}}$$

La velocidad de degradación de la curva de error estimada de cada grupo correspondiente a contadores domésticos DN13/15 será:

TABLA 39. VELOCIDAD DE DEGRACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DN13/15

Marca/Modelo	Patrón Viviendas Edificio		Patrón Unifa. Sin jardín		Velocidad degradación anual
	Error global	Error global ponderado	Error global	Error global ponderado	
MODELO 10 <5 años	-11.58%	-3.55%	-8.30%	-2.55%	-1.03%
MODELO 10 5-10 años	-10.24%	-2.94%	-7.14%	-2.05%	-0.17%
MODELO 3 5-10 años	-10.86%	-0.50%	-7.80%	-0.36%	-0.25%
MODELO 1 10-15 años	-10.80%	-0.62%	-7.87%	-0.45%	-0.15%
MODELO 1 15-20 años	-11.40%	-0.54%	-8.28%	-0.39%	-0.14%
MODELO 1 >20 años	-11.34%	-0.85%	-8.21%	-0.62%	-0.10%
MODELO 5 >20 años	-13.15%	-2.36%	-13.15%	-2.36%	-0.20%
				Promedio	-0.29%

El promedio de la velocidad de degradación para contadores domésticos DN13/15 es de -0,29%.

Con un coste promedio de adquisición del contador de 13,5 €, un coste de instalación de 12 €, un consumo promedio mensual de 8,96 m³ y el coste de agua de 0,67 €/m³ la FOR obtenida es de 15,8 años.

$$\text{FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN PROMEDIA (AÑOS)} = 1.5 \times \left(\frac{\left(\frac{13,5(\text{€}) + 12(\text{€})}{8,96(\text{M}^3) \times 0,67(\text{€})} \right)^{0.49}}{-0,29(\%)} \right) = 15,8$$

El error global óptimo (EGO) lo calcularemos como:

$$\text{ERROR GLOBAL ÓPTIMO} = \text{ERROR GLOBAL INICIAL} + (\text{VELOCIDAD DEGRADACIÓN ESTIMADA} * \text{FOR}/2)$$

$$\text{EGO} = -8,76 + (-0,29 * (15,8/2)) = -11,0\%$$

El error global óptimo resultante de los contadores domésticos DN13/15 es de -11,0%.

2.8 CONCLUSIONES

De los contadores con diámetro nominal 13/15 mm, el estrato o grupo que mayor error global presenta es el modelo 5 con una antigüedad mayor de 20 años, cuyo error global estimado has sido de -13,15%. Este grupo tienen una velocidad de degradación anual del error global de -0,20%.

El segundo grupo que mayor error global presenta es el modelo10 de contador con una antigüedad menor de 5 años. El error global estimado ha sido de -11,58%, en este caso la velocidad de degradación anual estimada ha sido de -1,03%. En cambio, el grupo formado por este mismo modelo 10 pero con una antigüedad entre 5 y 10 años, ha obtenido

un error global de -10,24%, con una velocidad de degradación anual de -0,17%, muy inferior al estimado del mismo modelo 10 con una antigüedad menor de 5 años.

Suponemos que este comportamiento anómalo es debido a que los fabricantes, a pesar de que aparentemente se trata del mismo modelo, ya que tiene el mismo nombre y la misma apariencia externa, están modificando las características constructivas internas con el objetivo de aumentar sus beneficios, utilizando componentes mecánicos de peor calidad, que son más sensibles al desgaste de las piezas, y por tanto con una velocidad de degradación de la curva del error de medición mucho mayor.

En cuanto a los resultados obtenidos entre el Error Global del parque de contadores domésticos (-10,80%) y el Error Global Óptimo (-11%), hay que resaltar que son muy semejantes. Por tanto se podría decir que la edad de los contadores en el abastecimiento de Aranda de Duero es la adecuada desde la perspectiva de calcular el tiempo óptimo que debe permanecer instalado un contador para maximizar los beneficios.

Sin embargo en el estudio realizado de los patrones de consumo obtenidos en campo se aprecia que en los edificios de vivienda hay casi un 10% de volumen registrado que se consume por debajo de los 18 l/h debido seguramente a fugas en el interior de las viviendas. En este caso incluso instalando contadores nuevos de clase B, estos no serían capaces de registrar estos caudales tan bajos ya que no tienen suficiente sensibilidad a en este rango de caudales.

Por tanto la solución más óptima, en este caso, no se obtiene calculando el tiempo óptimo de renovación para que el contador maximice los beneficios, sino instalando contadores volumétricos de clase metrológica C o R>125, capaces de registrar consumos a bajos caudales. La mejora que se obtendría del error global sería de aproximadamente un 7%, lo que implica un sobre coste anual de casi 60.000 € al año.

Optimizar la vida útil de un parque de contadores calculando el tiempo óptimo de renovación de los contadores no implica que esta solución sea la más óptima. De nada sirve calcular el tiempo óptimo de renovación de un contador para que maximice los beneficios netos al abastecimiento, si la elección de la clase metrológica del contador o el dimensionado del contador no es el correcto, ya que las pérdidas económicas debidas el error de medición son superiores a los beneficios económicos que puede aportar sustituir un contador en su periodo óptimo de renovación. Esto pone de relieve el carácter multidisciplinar de la gestión integral de un parque de contadores.

Capítulo III

Desarrollo de la herramienta de evaluación preliminar

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo final de máster es desarrollar una herramienta que permita realizar una evaluación preliminar de la gestión técnica de un parque de contadores utilizando únicamente la información registrada en el sistema de información comercial de cualquier abastecimiento. Para ello se estimará el error global de parque y se comparará con el error óptimo u objetivo, de esta forma se evaluará la gestión actual del parque de contadores.

La metodología desarrollada hasta la fecha para calcular el error global de un parque de contadores se basa en conocer la curva del error del instrumento de medición y el patrón de consumo sobre un muestreo estadístico que permita extender los resultados con un nivel de confianza aceptable al resto de la población (Arregui F., 1998). Para ello se estratifican o agrupan las diferentes poblaciones que lo integran, definidas por un determinado modelo de contador con una cierta edad o volumen acumulado y un caudal nominal. Los resultados están sujetos a incertidumbres que dependerán tanto del tamaño de la muestra como de la característica de las poblaciones. Una mayor homogeneidad de las poblaciones conducirá a tamaños de muestra menores.

Es necesario que los grupos de contadores sobre los que se realiza el muestreo sean homogéneos. Se deben clasificar por modelo, caudal nominal y antigüedad en años transcurridos desde la instalación o en volumen acumulado. Una vez estratificado el parque de contadores, se selecciona una muestra aleatoria del mismo. Variables como, las características de instalación, el tipo de consumidor, etc. deben quedar perfectamente representadas por la muestra. Sobre la muestra aleatoria se realizan los ensayos de contadores y las monitorizaciones de los patrones de consumos de los abonados.

El principal problema que plantea el desarrollo de esta herramienta para realizar la evaluación preliminar, es estimar los errores globales de los contadores. En este caso no se dispone de información relativa a ensayos de contadores, ni mediciones del patrón de consumo de los abonados que permitan calcular con un nivel de confianza aceptable el error global del parque de contadores.

Como ya se ha comentado con anterioridad, distintos autores han demostrado que tanto el error inicial como la velocidad de degradación de la curva del error de un contador dependen tanto de las características constructivas de cada contador como de ciertos parámetros o características propias de cada abastecimiento.

Vamos a estimar el global del parque de contadores, asumiendo un valor empírico del error global inicial y de la velocidad de degradación de la curva del error en función del volumen facturado mensual de los abonados. Estos valores empíricos estarán afectados por sendos índices de severidad que, a su vez, tendrán en cuenta las variables propias de cada abastecimiento que influyen tanto el error global inicial, como la velocidad de degradación de la curva de error del contador.

3.2 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL INICIAL DE UN CONTADOR

Como se ha comentado anteriormente, a priori no se dispone de información relativa a patrones de consumo, ni de la curva de error de un contador. Por ello se asume un valor empírico del error global inicial de un contador.

El error global de medición depende principalmente del consumo del abonado. Por tanto es necesario definir unos rangos de consumos que dependan del caudal nominal del contador, para asignar un error global inicial empírico mínimo y máximo en función del rango de consumo del abonado.

Los abonados domésticos únicamente consumen agua durante aproximadamente el 5% del periodo de evaluación (Arregui F. et al, 2007). Se ha utilizado este porcentaje para definir 6 rangos de consumo promedio mensual según el caudal nominal del contador.

Consideraremos que el consumo ideal de un contador, será el equivalente a consumir el caudal nominal durante el 5 % del tiempo de evaluación, ya que este trabajará la mayor parte del tiempo en el punto óptimo de funcionamiento. Con consumos mayores al 5%, el contador se considerará que está infradimensionado.

Para definir el rango mínimo de consumo promedio mensual, se ha calculado el consumo como el equivalente al caudal nominal durante el 1% del tiempo de evaluación. En este caso se considerará que el contador está sobredimensionado.

Los rangos de consumo definidos según el caudal nominal del contador son los siguientes:

TABLA 40. RANGOS DE CONSUMOS SEGÚN EL CAUDAL NOMINAL

DN	Qn	<0,01 x Qn	(0,01-0,02) x Qn	(0,02-0,03) x Qn	(0,03-0,04) x Qn	(0,04-0,05) x Qn	>0,05 x Qn
mm	m ³ /h	m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes
13/15	1.5	<10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50
20	2.5	<20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100
25	3.5	<25	25-50	50-75	75-100	100-125	>125
30	6	<50	50-100	100-150	150-200	200-250	>250
40	10	<75	75-150	150-225	225-300	300-375	>375

Una vez definido los rangos de consumo que marcan cuando un contador tiene un consumo elevado o bajo en función de su caudal nominal, le asignaremos un error global inicial empírico a cada rango de consumo definido.

Generalmente los consumos a bajos caudales permanecen constantes y no dependen del volumen total facturado, ya que la causa de estos caudales suelen ser fugas en el interior de viviendas, o el empleo de válvulas de regulación proporcionales en cisternas o en depósitos de almacenamiento.

Vamos a suponer que un abonado tiene instalado un determinado contador con una curva de error típica. Este abonado presenta un consumo a bajos caudales (por ejemplo una fuga en las instalaciones interiores) y este permanece constante (la red no presenta variaciones de presión significativas) independientemente del consumo del abonado

- Si este abonado tiene un consumo elevado (rango máximo de consumo definido anteriormente), el contador trabajará la mayor parte del tiempo entre el caudal de transición y el caudal nominal, o por encima de este, donde error de medida es mínimo. El consumo a bajos caudales, o las posibles fugas, no influirán de forma considerable en el error global, el porcentaje del volumen acumulado a caudales bajos respecto al volumen total consumido no es considerable, por tanto el error global inicial será mínimo.
- Si por el contrario este abonado tiene un consumo mensual pequeño como el definido en el rango consumo mínimo (5 veces inferior al rango de consumo máximo) el contador trabajará una parte considerable del tiempo entre el caudal de arranque del contador y el caudal de transición, donde el error de medida es muy elevado. El consumo a bajos caudales, repercutirá en el error final ya que el porcentaje del volumen registrado a bajos caudales respecto al volumen total consumido será considerable, por tanto su error global inicial será elevado.

Por tanto, cuanto menor según el consumo de un abonado, mayor será el error global inicial. Según la tabla 2 se ha asignado un valor empírico para cada rango de consumo definido anteriormente suponiendo unas condiciones ideales del abastecimiento:

TABLA 41. ERROR GLOBAL INICIAL EMPÍRICO SEGÚN CAUDAL NOMINAL

Rango de Consumo	Error global inicial empírico
<0,01 x Qn	-5%
(0,01-0,02) x Qn	-3%
(0,02-0,03) x Qn	-2%
(0,03-0,04) x Qn	-1%
(0,04-0,05) x Qn	-0.5%
>0,05 x Qn	-0.5%

Lógicamente las condiciones del abastecimiento no siempre serán las ideales. Hemos definido un índice de severidad (E_I) que está formado por tres parámetros que, según distintos autores, afectan al error global inicial de un contador. Estos parámetros son la clase metrológica de los contadores, la presencia de depósitos de almacenamiento regulados con válvulas proporcionales, y el control de calidad a la recepción de la partida de contadores llevado a cabo por parte del abastecimiento.

El error global inicial estimado en cada rango de consumo se estimará con la siguiente expresión:

$$\text{Error global inicial estimado}_i = \text{Error global inicial empírico}_i \times E_I \quad \text{Ec. 9}$$

3.2.1 Definición del índice de severidad (E_I)

El índice de severidad (E_I) tiene en consideración tres parámetros que afectan al error global inicial de un contador según la siguiente expresión:

$$E_I = 2 \times (0.51 \times C_M + 0.25 \times P_D + +0.23 \times C_R) - 1 \quad \text{Ec. 10}$$

Siendo:

C_M : Parámetro que depende de la clase metrológica de los contadores

P_D : Parámetro que depende de la presencia de depósitos de almacenamiento

C_R : Parámetro que depende del control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento

El índice de severidad (E_I) variará entre 1 y 3 (será igual a 1 cuando las condiciones sean totalmente favorables y 3 cuando sean totalmente desfavorables).

Al no existir un estudio específico que determine el peso de cada uno de estos parámetros en la expresión anterior, se ha asignado mediante un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Para ello se ha determinado el peso relativo entre los distintos parámetros según la experiencia de distintos expertos, con el objetivo de asignar el peso final de los índices en la expresión matemática anterior:

TABLA 42. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 1

	C_M	P_D	C_R	VECTOR PROPIO
C_M	1	0,5	2	0,297
P_D	2	1	3	0,540
C_R	0,5	0,333	1	0,163
CR	0,9%	< 5%		1,000

TABLA 43. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_I EXPERTO 2

	C_M	P_D	C_R	VECTOR PROPIO
C_M	1	3	2	0,540
P_D	0,33	1	0,5	0,163
C_R	0,5	2	1	0,297
CR	0,9%	< 5%		1,000

TABLA 44. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_i EXPERTO 3

	C_M	P_D	C_R	VECTOR PROPIO
C_M	1	2	4	0,571
P_D	0,5	1	2	0,286
C_R	0,25	0,5	1	0,143
CR	0,0%	< 5%		1,000

TABLA 45. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS ÍNDICE E_i EXPERTO 4

	C_M	P_D	C_R	VECTOR PROPIO
C_M	1	4	2	0,558
P_D	0,25	1	0,3	0,122
C_R	0,5	3	1	0,320
CR	1,8%	< 5%		1,000

El peso asignado a los parámetros que forman parte del índice de severidad E_i serán el correspondiente al redondeo de la media normalizada, como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 46. ASIGNACIÓN DE PESOS LOS ÍNDICE SEVERIDAD E_i

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Media geométrica	Media normalizada	Redondeo
C_M	29,7%	54,0%	57,1%	56%	47,6%	51,2%	51%
P_D	54,0%	16,3%	28,6%	12%	23,5%	25,4%	25%
C_R	16,3%	29,7%	14,3%	32%	21,7%	23,4%	23%
	Suma				92,8%	100,0%	100%

Donde:

C_M : Parámetro que depende de la clase metrológica de los contadores

P_D : Parámetro que depende de la presencia de depósitos de almacenamiento

C_R : Parámetro que depende del control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento

CR: Índice de consistencia de los datos (Debe ser menor del 10% para que los datos sean consistentes)

A continuación se explicará en qué consisten los parámetros definidos.

3.2.1.1 Parámetro C_M : Clase metrológica de los contadores

Los contadores de clase C o $R > 125$ tienen mayor sensibilidad a caudales bajos que los contadores de clase B o $R < 125$. La mejora de exactitud de una clase a otra es de

aproximadamente un 2% o un 3% en la mayoría de las situaciones, no obstante, cuando el patrón de consumo es muy desfavorable podría alcanzar el 5%. Por el contrario en abastecimientos donde las fugas en las instalaciones interiores fuesen infrecuentes, la mejora sería inferior y cercana al 1%. Dentro de los contadores de clase B, los contadores de chorro único tienen un mayor subcontaje que los de chorro múltiple debido a las características constructivas (Arregui et al, 2007).

El valor final de este parámetro variará entre 1 y 2 (será igual a 1 cuando el 100% de los contadores sean de clase C o $R > 125$ volumétrico, e igual a 2 cuando el 100% sean de clase B o $R < 125$ de tipo chorro único).

Para tener en cuenta estas consideraciones que afectan al error global inicial se ha finido el factor C_M que tendrá la siguiente expresión:

$$C_M = (A \times B \times 2) + (A \times C \times 1.5) + (D \times 1) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

- A Porcentaje de abonados con contadores de clase B o $R < 125$ (%)
 - B Porcentaje de abonados con contadores de clase B tipo Velocidad-Chorro único (%)
 - C Porcentaje de abonados con contadores de clase B tipo Velocidad-Chorro múltiple (%)
 - D Porcentaje de abonados con contadores de clase C o $R > 125$ tipo Volumétrico (%)
- A+D = 100% y B+C = 100%

3.2.1.2 Parámetro P_D : Presencia de depósitos de almacenamiento

Los depósitos de almacenamiento domiciliarios instalados entre el contador y los puntos de consumo, aumentan el consumo de agua en rango inferior de caudales, lo que altera la capacidad del contador de registrar correctamente el consumo. La apertura de la válvula está controlada por el nivel de agua en el depósito, por lo que salvo en consumos excepcionales ésta no se abre completamente, dejando circular únicamente caudales bajos. El contador trabaja permanente en la zona inferior del rango de medida.

Como ya se ha comentado la presencia de depósito de almacenamiento con válvula de regulación proporcional provoca errores de medición cercanos al 20% (Arregui F, 2003). Posteriormente Cobacho R. et al (2008) estudió el error provocado por los depósitos domiciliarios en el error global, este podía oscilar entre el -20% y el -40% si se utilizaban contadores con 14 años de antigüedad. Resultados semejantes obtuvo Crimisini A. et al (2009) en un estudio realizado en Palermo, con errores de medición obtenidos entre el -15% y el -40%.

Por lo tanto, se ha definido un parámetro (P_D) que atiende a la presencia de depósitos domiciliarios en las instalaciones de los abonados y afecta al error global inicial de un contador. Se han definido cuatro rangos de edad para las viviendas y en cada rango se debe señalar el porcentaje de viviendas que cuentan con depósitos de almacenamiento.

El parámetro (P_D) tiene la siguiente expresión matemática:

$$P_D = ((E/100) \times 0.25) + ((F/100) \times 0.25) + ((G/100) \times 0.25) + ((H/100) \times 0.25) + 1 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

- E Porcentaje de abonados que residen en viviendas con antigüedad menor a 5 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- F Porcentaje de abonados que residen en viviendas con antigüedad entre 5 y 10 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- G Porcentaje de abonados que residen en viviendas con antigüedad entre 10 y 20 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- H Porcentaje de abonados que residen en viviendas con antigüedad mayor de 20 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)

El parámetro variará entre 1 y 2 (será igual a 1 cuando no haya viviendas que dispongan de depósito de almacenamiento domiciliario y 2 cuando el 100% de las viviendas en todos los rangos de edad tengan depósito de almacenamiento)

3.2.1.3 Parámetro C_R : Control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento

Por normativa los contadores deben ser ensayados antes de salir de fábrica a caudal mínimo, de transición y máximo, comprobando que los errores sean inferiores a los máximos permitidos. En la práctica debido a manipulaciones posteriores durante el transporte, un cierto número de contadores de cada partida no se encuentran en las condiciones metrológicas deseadas.

La instalación de un contador nuevo defectuoso supone a la empresa pérdidas económicas que dependen del precio del agua, los costes administrativos y del personal que implica la sustitución del mismo y el precio propio del aparato.

Es recomendable la inspección de las partidas de contadores adquiridas mediante muestreos para decidir sobre la aceptación de la partida en función de los resultados obtenidos. Si no se inspecciona la totalidad de la partida de contadores mediante muestreo se corre el riesgo de aceptar una partida defectuosa de contadores que afectará al error global inicial.

Por tanto se ha definido un parámetro (C_R) que afecta al error global inicial empírico definido anteriormente, en función del control de calidad a la recepción realizado por el abastecimiento.

En la herramienta el gestor debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de "Control de calidad de los contadores adquiridos por parte del abastecimiento":

- Sin control de calidad ($C_R = 2$)
- Ensayos de partidas de contadores previamente seleccionados por la empresa proveedora ($C_R = 1.5$)
- Ensayos de partidas de contadores mediante muestreo aleatorio por parte del abastecimiento ($C_R = 1$)

3.3 ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DEL ERROR GLOBAL

Por otro lado necesitamos estimar la velocidad de degradación del error global de un contador. El error global depende de la curva de error del contador y del patrón de consumo.

Por un lado, cuando el contador trabaje durante un tiempo prolongado por encima de su caudal nominal, se produce un deterioro prematuro de las piezas mecánicas, lo que provoca una velocidad de degradación de la curva de error del contador mayor. Esto se verá reflejado en el error global del contador.

Por otro lado, dependerá de la influencia de los caudales bajo en el patrón de consumo. Cuanto mayor sea el consumo, menor será el porcentaje de caudales bajos respecto al volumen total facturado, por tanto menor será el error global de medición.

A ello hay que sumarle que, según un estudio realizado por Arregui et al (2003), se ha 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 el error de medición de un contador serán los que tienen lugar a caudales bajos. Cualquier incremento en el par resistente debido al desgaste de las piezas tendrá más influencia cuando la energía transferida del agua a la turbina sea menor, esto es, a caudales bajos.

Teniendo estas consideraciones en cuenta vamos a definir una velocidad de degradación empírica del error global de un contador que dependerá del rango de consumo promedio mensual del abonado:

- Cuando el caudal promedio mensual sea equivalente al consumo del caudal nominal durante el 5% del tiempo de evaluación, la velocidad de degradación de la curva del error es normal, ya que no habrá consumo por encima del caudal nominal prolongados, por tanto el ritmo de deterioro no será excesivo.. Por otro lado, debido al elevado consumo del abonado, el porcentaje de caudales bajos respecto al volumen total facturado será pequeño. Por tanto el error global del contador será mínimo.
- Cuando el caudal promedio mensual sea superior al consumo equivalente del caudal nominal del contador durante el 5% del tiempo de evaluación, se considera que este contador trabajará durante un tiempo prolongado por encima del caudal nominal, por tanto la velocidad de degradación de la curva de error del contador será elevada, ya que se produce un deterioro prematuro de las piezas mecánicas. Por otro lado, debido al elevado consumo del abonado, el porcentaje de caudales bajos respecto al volumen total facturado será pequeño. Como aumenta el ritmo de deterioro, el error global del contador aumenta.
- En cambio, si un contador trabaja con un consumo promedio mensual equivalente al caudal nominal durante el 1% o menos del tiempo de evaluación, el ritmo de deterioro del contador será normal, ya que este raramente trabajará a caudales por encima del caudal nominal. Por otro lado

tendrá un porcentaje considerable del volumen registrado a caudales bajos respecto al volumen total facturado, donde el contador tiene peor sensibilidad de medición. Lo que se reflejará en un aumento de error global de medición.

Vamos a utilizar los rangos de consumo definidos anteriormente, que marcan los límites entre un consumo alto y un consumo bajo según el caudal nominal del contador, para asignarles una velocidad de degradación empírica del error global:

TABLA 47. VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN EMPÍRICA ASOCIADA A CADA RANGO DE CONSUMO

Rango de Consumo	Velocidad degradación error global empírica anual
<0,01 x Qn	-0,25%
(0,01-0,02) x Qn	-0,15%
(0,02-0,03) x Qn	-0,10%
(0,03-0,04) x Qn	-0,05%
(0,04-0,05) x Qn	-0,1%
>0,05 x Qn	-0,25%

Para considerar el resto de parámetros propios de cada abastecimiento, que afectan a la velocidad de degradación del error global de un contador se ha creado el índice de severidad (V_G).

Este índice estará formado por factores como la continuidad en el suministro de la red, la dureza del agua, la presencia de sólidos en la red, la presión de la red, el criterio de elección de la partida de contadores y el lugar de instalación de los contadores.

La velocidad de degradación del error global de un contador se estimará de la siguiente forma:

$$\text{Velocidad degradación estimada} = \text{Velocidad degradación empírica} \times V_G \quad \text{Ec. 13}$$

3.3.1 Definición del índice de severidad (V_G).

El índice de severidad (V_G) afecta a la velocidad de degradación empírica del error global de un contador y se calculará con la siguiente expresión:

$$V_G = 2 \times (0.12 \times S_R + 0.24 \times D_A + 0.27 \times P_S + 0.7 \times P_R + 0.16 \times C_M + 0.14 \times L_I) - 1 \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

S_R : Parámetro que depende de la continuidad en el suministro de la red

D_A : Parámetro que depende de la dureza del agua

P_S : Parámetro que depende de la presencia de sólidos en la red

P_R : Parámetro que depende de la presión media en la red

C_M : Parámetro que depende del criterio de la elección de la partida de contadores

L_I : Parámetro que depende del lugar de instalación de los contadores.

Este índice de severidad (V_G) oscilará entre 1 y 3 (será igual a 1 cuando las condiciones sean totalmente favorables y 3 cuando sean totalmente desfavorables).

La asignación de los pesos de cada uno los factores en la expresión anterior, se han asignado mediante un Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Para ello se ha determinado el peso relativo entre los distintos índices según la experiencia de distintos expertos, con el objetivo de asignar el peso final de los índices en la expresión empírica anterior.

TABLA 48. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 1

	S_R	D_A	P_S	P_R	C_M	L_I	VECTOR PROPIO
S_R	1	1	1/2	4	2	1	0,16
D_A	1	1	1/2	4	2	1	0,16
P_S	2	2	1	9	9	2	0,39
P_R	1/4	1/4	1/9	1	1/2	1/4	0,04
C_M	1/2	1/2	1/9	2	1	1/2	0,07
L_I	1	1	1/2	4	2	1	0,16
CR	0,01	< 10%					1

TABLA 49. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 2

	S_R	D_A	P_S	P_R	C_M	L_I	VECTOR PROPIO
S_R	1	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	0,06
D_A	3	1	1	2	2	1	0,23
P_S	3	1	1	2	2	2	0,25
P_R	2	1/2	1/2	1	1/2	2	0,14
C_M	3	1/2	1/2	2	1	2	0,18
L_I	3	1	1/2	1/2	1/2	1	0,13
CR	4,7%	< 10%					1

TABLA 50. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 3

	S_R	D_A	P_S	P_R	C_M	L_I	VECTOR PROPIO
S_R	1	1/4	1/7	1/2	1/5	1/5	0,04
D_A	4	1	1/3	2	1	1	0,16
P_S	7	3	1	3	2	2	0,34
P_R	2	1/2	1/3	1	1/3	1/3	0,08
C_M	5	1	1/2	3	1	1	0,19
L_I	5	1	1/2	3	1	1	0,19
CR	1,3%	< 10%					1

TABLA 51. ASIGNACIÓN PESOS RELATIVOS DEL ÍNDICE V_G EXPERTO 4

	S_R	D_A	P_S	P_R	C_M	L_I	VECTOR PROPIO
S_R	1	1/2	3	5	2	5	0,26
D_A	2	1	4	8	2	3	0,35
P_S	1/3	1/4	1	3	1/3	3	0,11
P_R	1/5	1/8	1/3	1	1/4	1/2	0,04
C_M	1/2	1/2	3	4	1	2	0,17
L_I	1/5	1/3	1/3	2	1/2	1	0,07
CR	4,6%	< 10%					1

El resultado final de los pesos asignados a los distintos parámetros será el redondeo de la media normalizada:

 TABLA 52. ASIGNACIÓN PESOS DEL ÍNDICE DE SEVERIDAD V_G

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Media geométrica	Media normalizada	Redondeo
S_R	16%	6%	4%	26%	10,2%	11,4%	12%
D_A	16%	23%	16%	35%	21,4%	23,7%	24%
P_S	39%	25%	34%	11%	24,6%	27,2%	27%
P_R	4%	14%	8%	4%	6,4%	7,2%	7%
C_M	7%	18%	19%	17%	14,5%	16,1%	16%
L_I	16%	13%	19%	7%	13,0%	14,5%	14%
	Suma				90,2%	100,0%	100%

Donde:

S_R : Parámetro que depende de la continuidad del suministro en la red

D_A : Parámetro que depende de la dureza del agua

P_S : Parámetro que depende de la presencia de sólidos en la red

P_R : Parámetro que depende de la presión media de la red

C_m : Parámetro que depende del criterio de la elección de la partida de contadores

L_I : Parámetro que depende del lugar de instalación de los contadores

CR: Índice de consistencia de los datos (debe ser menor del 10% para que los datos sean consistentes)

3.3.1.1 *Parámetro S_R : Continuidad del suministro en la red*

Que el servicio a los usuarios en un abastecimiento no sea continuo durante las 24 horas de día provoca varios tipos de problemas en la red de abastecimiento:

- Durante el llenado y vaciado de las tuberías se introduce aire en el sistema. Si no se extrae de forma controlada, el aire atrapado aumenta los picos de presión considerablemente generados por los transitorios, lo que favorece el aumento de las roturas en las tuberías y acometidas. Estos transitorios cuando son muy habituales, afectan a los componentes mecánicos de los contadores, lo que provocará un aumento en el ritmo de deterioro del contador.
- Cuando la presión es negativa o próxima a cero se introducen por las fisuras partículas sólidas que afectarán a la mecánica del instrumento de medición.
- El aire introducido provocará un sobrecontaje en los contadores ya que la mayoría de los instrumentos de medición contabilizan el aire como si de agua se tratara.

Por tanto, aunque en algunos casos puntuales la continuidad en el suministro en la red pueda ser la causante de sobrecontaje en algunos contadores, en la mayoría de los casos provoca subcontaje de efectos considerables.

Hemos definido un parámetro (S_R) que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función de la continuidad del suministro en la red:

TABLA 53. PARÁMETRO S_R SEGÚN CONTINUIDAD EN EL SUMINISTRO

h/día	S_R
24	1
21	1,7
19	1,8
16	1,9
<16	2

3.3.1.2 *Parámetro D_A : Dureza del agua*

La curva de error de la mayoría de los contadores, independientemente de la tecnología que utilice, puede verse seriamente afectada por la dureza del agua circulante. Muchos contadores de chorro único y de chorro múltiple disponen de un sistema de ajuste de la curva de error consistente en un circuito en derivación que impide que parte del caudal impacte en la turbina. El error depende directamente del porcentaje de agua que se desvía por el circuito en derivación. Una reducción de la sección de paso libre en la cámara de la turbina o en la tobera de entrada a la misma puede dar lugar a errores de sobrecontaje que perjudican los intereses de los usuarios (Arregui et al, 2007).

Por otro lado, si la dureza del agua es elevada, se pueden producir acumulaciones calcáreas. En una primera fase puede producir sobrecontaje debido a la reducción del área

de paso en el cuerpo del contador, como consecuencia se producirá un aumento de velocidad de fluido. Pero en una segunda fase, cuando la acumulación incrementa su espesor, la turbina girará con mayor fricción debido al roce de esta con la acumulación calcárea, por lo que se producirá un subcontaje considerable. En una tercera fase, el incremento de la acumulación acabará por bloquear la turbina del contador.

Por tanto, aunque en algunos casos puntuales la dureza del agua pueda ser la causante de sobrecontaje en algunos contadores, en la mayoría de los casos provoca subcontaje de efectos considerables.

Se ha definido un parámetro (D_A) que incrementa la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función de la dureza del agua:

TABLA 54. PARÁMETRO D_A SEGÚN LA DUREZA DEL AGUA

Dureza del agua	D_A
Alta >180mg/l	2
Media 60 -180mg/l	1,5
Baja <60mg/l	1

3.3.1.3 Parámetro P_S : Presencia de sólidos en suspensión

Los sedimentos pueden acceder a la red de la siguiente forma:

- Filtrado inadecuado en el tratamiento del agua
- Tuberías en mal estado que se están fragmentando
- Si se producen presiones negativas los sedimentos se pueden introducir por las fisuras de las tuberías o por las uniones
- Obras en acometidas

Una acumulación excesiva de sedimentos entorpece el giro de la turbina provocando errores de subcontaje, e incluso el bloqueo de la misma. La facturación decae progresivamente antes de que la turbina se bloquee por completo (Arregui et al 2007).

Por tanto se ha definido un índice (P_S) que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función de la presencia de sólidos en suspensión.

En la aplicación el técnico debe elegir una de las siguientes opciones a la pregunta de "Frecuente presencia de sólidos en suspensión". En función de su respuesta este parámetro tendrá la siguiente puntuación:

TABLA 55. PARÁMETRO P_S SEGÚN LA PRESENCIA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Presencia de sólidos en suspensión	P_S
Sí	2
No	1

3.3.1.4 Parámetro P_R : Presión de la red

Generalmente una presión baja permanente en la red favorecerá el consumo a caudales bajos, acentuando la velocidad de degradación del contador a caudales bajos. Por el contrario, una presión elevada provocará un mayor consumo a caudales altos, aumentando el ritmo de deterioro de los contadores al consumir con mayor frecuencia a caudales por encima del caudal nominal.

Por tanto se ha definido un índice (P_R) que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función de la presión media en la red.

En la aplicación se debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de “Presión media de la red”. En función de su respuesta este índice tendrá la siguiente puntuación:

TABLA 56. PARÁMETRO P_R SEGÚN LA PRESIÓN MEDIA DE LA RED

Presión media red	P_R
Muy baja <1 bar	2
Normal 1-6 bar	1
Alta >6 bar	1,5

3.3.1.5 Parámetro C_M : Criterio para la elección de la partida de contadores

La elección de una nueva partida de contadores es clave para optimizar la gestión del parque de contadores. En este sentido el gestor del abastecimiento debe decidir qué caudal nominal es el más adecuado, así como la clase metrológica. En segundo lugar debe decantarse por un determinado modelo y marca dentro de la amplia oferta de contadores existente.

Ya se ha comentado anteriormente qué implicaciones provoca un incorrecto dimensionado o una mala elección de la clase metrológica en el error global de un contador. Por tanto esta decisión debería basarse en un estudio estadístico de los patrones de consumo de sus abonados y nunca seleccionar una partida por ser la más económica, ya que, con mucha probabilidad a corto y medio plazo no será la opción más rentable para el abastecimiento

Una vez decidido el caudal nominal que más se ajusta al patrón de consumo de los abonados y la clase metrológica, debemos seleccionar el modelo/marca. En la actualidad existe una amplia oferta de contadores de las mismas características, con precios semejantes. Lo ideal es seleccionar aquel contador con menor ritmo de deterioro, pero no es tarea fácil hacer una predicción sobre cual se comportará mejor con el paso del tiempo, y por tanto tendrá menor error de medición. De ahí la importancia de realizar cada cierto tiempo, ensayos de los contadores instalados para calcular para controlar estos ritmos de deterioro en los contadores instalados, e identificar aquellos modelos/marca que tienen un comportamiento anómalo.

En este sentido, durante el desarrollo de este trabajo final de máster, hemos podido comprobar que incluso un determinado modelo de una marca, puede tener un ritmo de

deterioro más elevado que el mismo modelo/marca fabricado años atrás. Es posible que algunos fabricantes mantengan el aspecto externo y el nombre del modelo del contador pero están modificando los componentes mecánicos internos por otros de peor calidad, para aumentar sus beneficios. Lo que se traduce en ritmos de deterioro más elevados, y por tanto mayor error de medición. En este sentido no es recomendable fiarse de la experiencia previa con un determinado modelo/marca y es necesario el control de los contadores instalados mediante su ensayo en laboratorio.

Por tanto se ha definido un parámetro (C_M) que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función del criterio seguido para la elección de la partida de contadores nuevos.

TABLA 57. PARÁMETRO C_P SEGÚN EL CRITERIO DE ELECCIÓN DE LA PARTIDA CONTADORES

Criterio para la elección de partida de contadores nuevos	C_M
Mejor oferta económica	2
Basada en la experiencia, sin estudio del parque de contadores	1,5
Basado en el estudio del parque de contadores	1

3.3.1.6 Parámetro L_I : Lugar de instalación de los contadores

El lugar de instalación de los contadores puede ser muy influyente en el ritmo de deterioro del contador. Debe estar protegido frente posibles golpes, temperaturas extremas, y frente a la luz solar directa, ya que puede afectar a los componentes mecánicos, y por tanto a la calidad metrológica.

En general, los contadores que estén instalados en el interior de los edificios estarán mejor protegidos frente las condiciones climáticas, y por tanto tendrán menor ritmo de deterioro que los que se encuentren instalados en el exterior del edificio.

Hay que evitar instalar los contadores en el interior de las viviendas ya que la lectura del volumen facturado dependerá de presencia del inquilino, lo que aumenta los costes de lectura y renovación, y frecuentemente el error de medición de estos contadores es claramente superior a los contadores a los que la empresa tiene fácil acceso.

Por tanto se ha definido un parámetro (L_I) que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador, en función de instalación de los contadores que tiene la siguiente expresión:

$$L_I = (I \times J \times 1) + (I \times K \times 2) + (L \times M \times 1.5) + (L \times N \times 2) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

- I Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios (%)
- J Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios, en batería de contadores (%)
- K Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios, en el interior de la vivienda (%)

- L Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio (%)
- M Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio, protegido (%)
- N Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio, sin proteger (%)

Nota: $I + I = 100\%$, $J + K = 100\%$, $M + N = 100\%$

3.4 INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN LA APLICACIÓN (*INPUTS*)

En el sistema de información comercial está registra la información relativa a los consumos mensuales de cada abonado, la antigüedad de los contadores instalados, la marca y modelo del contador, el diámetro nominal del contador y el tipo de abonado. Esta información nos permitirá estratificar la información de forma que se pueda realizar un análisis estadístico del parque de contadores de un abastecimiento.

El sistema de información comercial constituye una fuente de información que suele estar informatizada y se actualiza periódicamente con datos fiables. Los datos que vamos a necesitar en esta herramienta de evaluación son el tipo de abonado, el diámetro nominal del contador, el consumo promedio mensual, y la antigüedad del contador. Por tanto habrá que identificar estas características en la base de datos realizando su correspondiente consulta.

3.4.1 Tipo de abonado

Para poder introducir los datos que solicita la aplicación, en primer lugar, es necesario, tener clasificados a los abonados:

- Doméstico: suele tener un patrón de consumo más homogéneo entre los distintos abonados, por lo que su patrón de consumo se puede estudiar mediante un muestreo estadístico. Consumen agua durante aproximadamente el 5% del tiempo. Los abonados que residen en edificio de viviendas suelen consumir por debajo de los 1500l/h y utilizan contadores DN13/15. Suelen tener un consumo promedio mensual menor a 10 m³/mes. Los abonados que residen en viviendas unifamiliares, pueden tener jardín y piscina, por lo que su consumo mensual suele ser mayor que en el caso anterior, siendo inferior a 3000l/h. Suelen utilizar contadores con diámetros DN20/25.
- Comercial: el patrón de consumo no suele ser tan homogéneo como en el caso de los abonados domésticos. Suelen consumir entre el 5% y el 10% del tiempo. Utilizan contadores entre DN13/15 y DN40, dependiendo del tipo de comercio. En algunos casos puede ser recomendable realizar estudios particulares del patrón de consumo para dimensionar correctamente el contador.
- Industrial: este tipo de abonado tiene un patrón de consumo muy particular que depende de las características de cada abonado. Por lo que la semejanza entre los patrones de consumo es muy heterogénea. Pueden

llegar a tener consumos considerables, por lo que se recomienda el estudio personalizado, ya que la maximización de los beneficios dependerá del dimensionado correcto del mismo. Suelen utilizar diámetros nominales entre 25 mm y 125 mm. Consumen entre el 10 y el 25% del tiempo de evaluación.

En esta herramienta de evaluación nos centraremos en el estudio únicamente de los abonados domésticos.

3.4.2 Diámetro nominal del contador

La estimación de error global actual y del error global óptimo, se realizará para cada diámetro nominal de los que esté compuesto el parque de contadores doméstico.

También es importante conocer el diámetro nominal del contador que tienen instalados los abonados, ya que a partir de este vamos a estimar su caudal nominal como muestra la siguiente tabla:

TABLA 58. CAUDAL NOMINAL SEGÚN DIÁMETRO NOMINAL

DN (mm)	13/15	20	25	30	40
Qn (m ³ /h)	1,5	2,5	3,5	6	10

El objetivo de la elección de un contador debe ser maximizar los beneficios que este aporte al abastecimiento. En general, el dimensionado adecuado para cada abonado debe ser aquel que dependiendo de las características de consumo del abonado y el error de medición del contador, origine el menor error global posible maximizando los beneficios.

Cuando un contador tiene un caudal nominal superior al recomendable por las características del consumo del abonado, este se considera que está sobredimensionado, el contador trabajará a caudales excesivamente bajos, lo que aumentará los errores de subcontaje por la falta de sensibilidad del instrumento en este rango de medida.

Por el contrario, si un contador tiene un diámetro nominal inferior al que le corresponde estará infradimensionado. El contador trabajará a caudales excesivamente altos, lo que puede acelerar la velocidad de degradación de la curva de error del contador conduciendo a graves errores en la medida al poco tiempo de instalación.

En los contadores domésticos, se ha fijado el consumo mensual límite que marca que un contador está infradimensionado, equivalente al consumo del caudal nominal durante el 5% del tiempo de evaluación. Por el contrario el consumo límite que define si un caudal está sobredimensionado es el equivalente al consumo del caudal nominal durante el 1% del tiempo de evaluación.

3.4.3 Consumos mensuales de los abonados

El volumen mensual acumulado por el contador es uno de los datos que se mantiene actualizado por la empresa gestora del abastecimiento, ya que esta información se utiliza para facturar a los abonados el volumen consumido.

Es un dato fundamental para esta aplicación, ya que tanto la estimación del error global inicial, como la velocidad de degradación de la curva de error del contador, se han estimado en función del rango de consumo promedio mensual de los abonados. Esta información nos va a permitir calcular la frecuencia de renovación óptima del contador, que a su vez nos permitirá calcular el error global óptimo.

Será necesario que se realice una consulta en su base de datos, ya que se solicita que para cada diámetro nominal, se indique el número de abonados, en cada uno de los rangos de consumo definidos con anterioridad:

TABLA 59. DISTRIBUCIÓN DE NÚMERO DE ABONADOS SEGÚN RANGO DE CONSUMO PROMEDIO DN

m ³ /mes	Nº abonados	%
<0,01 x Qn	p ₁	n ₁
(0,01-0,02) x Qn	p ₂	n ₂
(0,02-0,03) x Qn	p ₃	n ₃
(0,03-0,04) x Qn	p ₄	n ₄
(0,04-0,05) x Qn	p ₅	n ₅
>0,05 x Qn	p ₆	n ₆

Siendo p_i el número de abonados correspondiente a cada rango de consumo promedio mensual, $i \in \{1,2,3,4,5,6\}$.

Una vez se ha introducido el número de abonados, se calculará el porcentaje n_i correspondiente a cada rango de consumo:

$$n_i(\%) = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^6 p_i} \times 100 \quad \text{Ec. 16}$$

3.4.4 Antigüedad del contador

La antigüedad del contador es otro dato fundamental para la aplicación, ya que con ella estimaremos el error global actual de un contador. Este error se estimará partiendo del error global inicial y de la velocidad de degradación anual.

Por tanto será necesario que se realice una consulta en su base de datos, ya que en la aplicación se solicita que para cada diámetro nominal, se indique el número de abonados en cada uno de los siguientes rangos de antigüedad:

TABLA 60. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆

Siendo q_j el número de abonados correspondiente a cada rango de antigüedad.

Se va a suponer que la distribución del número de abonados, según rangos de consumo promedio mensual, es igual en términos porcentuales para todos los rangos de antigüedad.

Con el porcentaje del número de abonados según rango de consumo (n_i) y según rango de antigüedad (q_j), podemos calcular completar la siguiente tabla siendo a_{ij} la distribución de abonados según rango de antigüedad y consumo.

TABLA 61. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅	a ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅	a ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	a ₃₅	a ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	a ₄₅	a ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	a ₅₅	a ₅₆
>0,05 x Qn	a ₆₁	a ₆₂	a ₆₃	a ₆₄	a ₆₅	a ₆₆
Total	q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	q ₅	q ₆

Donde:

$$a_{ij} = n_i \times q_j ; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 17}$$

Siendo:

- n_i : porcentaje del número de abonados correspondiente a cada rango de consumo promedio mensual.
- q_j : número de abonados correspondiente a cada rango de antigüedad,

Con la distribución de abonados según rango de antigüedad y consumo (a_{ij}) es posible obtener el volumen facturado anual b_{ij} de la siguiente forma:

TABLA 62. VOLUMEN FACTURADO (M^3) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN

Rango de consumo (m^3/mes)	Promedio rango consumo (m^3/mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	0,005 x Qn	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{16}
(0,01-0,02) x Qn	0,015 x Qn	b_{21}	b_{22}	b_{23}	b_{24}	b_{25}	b_{26}
(0,02-0,03) x Qn	0,025 x Qn	b_{31}	b_{32}	b_{33}	b_{34}	b_{35}	b_{36}
(0,03-0,04) x Qn	0,035 x Qn	b_{41}	b_{42}	b_{43}	b_{44}	b_{45}	b_{46}
(0,04-0,05) x Qn	0,045 x Qn	b_{51}	b_{52}	b_{53}	b_{54}	b_{55}	b_{56}
>0,05 x Qn	0,06 x Qn	b_{61}	b_{62}	b_{63}	b_{64}	b_{65}	b_{66}
Total		$\sum_{i=1}^6 b_{i1}$	$\sum_{i=1}^6 b_{i2}$	$\sum_{i=1}^6 b_{i3}$	$\sum_{i=1}^6 b_{i4}$	$\sum_{i=1}^6 b_{i5}$	$\sum_{i=1}^6 b_{i6}$

Donde:

$$b_{ij} = a_{ij} \times \text{promedio rango consumo}_i \times 12 ; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 18}$$

Siendo:

- a_{ij} : número de abonados por rango de antigüedad y consumo promedio.

El volumen facturado total para cada diámetro se obtendrá de la siguiente forma:

$$\text{Volumen facturado total DN (m}^3/\text{año)} = \sum_{i,j=1}^6 b_{ij} ; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 19}$$

Siendo:

- b_{ij} : volumen facturado según rango de antigüedad y consumo

Con el volumen facturado en cada rango de antigüedad y consumo (b_{ij}) vamos a calcular el porcentaje de volumen facturado respecto el volumen facturado total para cada diámetro nominal en cada rango de antigüedad y consumo c_{ij} .

TABLA 63. PORCENTAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅	C ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅	C ₅₆
>0,05 x Qn	C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅	C ₆₆

Donde:

$$c_{ij} (\%) = \frac{b_{ij}}{\sum_{i,j=1}^6 b_{ij}} \times 100; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 20}$$

Siendo:

- b_{ij} : volumen facturado (m³) según rango de antigüedad y consumo promedio

3.5 ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN

La vida útil o de un instrumento de medida es aquella que menor coste supone a la empresa de abastecimiento o mayor beneficio genere. Cuando se contraponen varias opciones con distintas vidas útiles, lo correcto es utilizar la aproximación del VAN de la Cadena de Renovaciones (VANC).

$$VANC = VAN + \frac{VAN}{(1+r)^n} + \frac{VAN}{(1+r)^{2n}} + \frac{VAN}{(1+r)^{3n}} + \dots = VAN \times \left(1 + \frac{1}{(1+r)^n} + \frac{1}{(1+r)^{2n}} + \frac{VAN}{(1+r)^{3n}} + \dots \right) \quad \text{Ec. 21}$$

$$VANC = \frac{(1+r)^n}{(1+r)^{n-1}} \times VAN = m \times VAN \quad \text{Ec. 22}$$

Para determinar la vida útil de un contador se calcula el VANC correspondiente a los ingresos que genera el contador. La frecuencia óptima de renovación del contador será aquella que mayor VANC proporcione (Arregui F. et al, 2007).

Arregui F. (informe interno no publicado) ha desarrollado una fórmula analítica que simplifica el anterior método descrito (VANC) para calcular la frecuencia óptima de renovación (FOR) como:

$$\text{FOR (años)} = 1.5 \times \left(\frac{\left(\frac{\text{coste adquisición contador(€)} + \text{coste instalación contador(€)}}{\text{consumo anual(m}^3\text{)} \times \text{precio agua(€)}} \right)}{\text{Velocidad de degradación curva error contador(\%)}} \right)^{0.49} \quad \text{Ec. 23}$$

En nuestra aplicación vamos a utilizar esta fórmula simplificada para calcular la frecuencia óptima de renovación de los contadores instalados. En nuestro caso la velocidad de degradación de la curva de error del contador, será la velocidad de degradación estimada.

Por tanto para calcular el FOR necesitamos definir los costes de adquisición y los costes de instalación para cada diámetro nominal:

TABLA 64. COSTE DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE UN CONTADOR SEGÚN DN

DN	Coste adquisición	Coste instalación
(mm)	€	€
DN	r _{DN}	s _{DN}

Así como la velocidad de degradación empírica que nos permitirá calcular la velocidad de degradación estimada:

TABLA 65. VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN ESTIMADA SEGÚN RANGOS DE CONSUMO

Rango de Consumo	Velocidad degradación error empírica anual (%)
<0,01 x Qn	V ₁
(0,01-0,02) x Qn	V ₂
(0,02-0,03) x Qn	V ₃
(0,03-0,04) x Qn	V ₄
(0,04-0,05) x Qn	V ₅
>0,05 x Qn	V ₆

Una vez que disponemos de la información necesaria podemos calcular la frecuencia de renovación óptima d_i; en cada rango de consumo, y para cada diámetro nominal.

TABLA 66. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN

Rango de consumo	FOR (años)
<0,01 x Qn	d ₁
(0,01-0,02) x Qn	d ₂
(0,02-0,03) x Qn	d ₃
(0,03-0,04) x Qn	d ₄
(0,04-0,05) x Qn	d ₅
>0,05 x Qn	d ₆

Donde:

$$d_i = 1.5 \times \left[\frac{\left(\frac{r_{DN} + s_{DN}}{\text{promedio rango consumo } i \times 12} \right)}{v_i \times V_G} \right]^{0.49} ; i \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 24}$$

Siendo:

- r_{DN} : coste de adquisición del contador según el diámetro nominal (€)
- s_{DN} : coste de instalación del contador según el diámetro nominal (€)
- v_i : velocidad empírica de degradación de la curva de error del contador según su rango de consumo (%/año)
- V_G : índice de severidad que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador según su rango de consumo promedio mensual

3.6 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ACTUAL DE UN PARQUE DE CONTADORES

El error global para los contadores para cada diámetro nominal vamos a estimarlo como:

$$\text{ERROR GLOBAL ACTUAL} = \text{ERROR GLOBAL INICIAL EMPÍRICO} + (\text{VELOCIDAD DEGRADACIÓN ESTIMADA} \times \text{ANTIGÜEDAD CONTADOR}) \quad \text{Ec. 25}$$

Por tanto necesitamos definir el error global inicial empírico e_i $i \in \{1,2,3,4,5,6\}$ según el rango de consumo como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 67. ERROR GLOBAL INICIAL EMPÍRICO SEGÚN RANGO DE CONSUMO

Rango de consumo (m^3/mes)	Error global inicial empírico (%)
$<0,01 \times Q_n$	e_1
$(0,01-0,02) \times Q_n$	e_2
$(0,02-0,03) \times Q_n$	e_3
$(0,03-0,04) \times Q_n$	e_4
$(0,04-0,05) \times Q_n$	e_5
$>0,05 \times Q_n$	e_6

Una vez definidos e_j y v_i , podemos estimar el error global actual de los contadores domésticos según rango de antigüedad y consumo f_{ij} ; $i, j \in \{1,2,3,4,5,6\}$. Este error será común para todos los diámetros nominales.

TABLA 68. ERROR GLOBAL ACTUAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<0,01 x Qn	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	f ₂₄	f ₂₅	f ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	f ₃₁	f ₃₂	f ₃₃	f ₃₄	f ₃₅	f ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	f ₄₁	f ₄₂	f ₄₃	f ₄₄	f ₄₅	f ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	f ₅₁	f ₅₂	f ₅₃	f ₅₄	f ₅₅	f ₅₆
>0,05 x Qn	f ₆₁	f ₆₂	f ₆₃	f ₆₄	f ₆₅	f ₆₆

Donde:

$$f_{ij} = (e_i \times E_i) + (v_i \times V_G \times \text{Edad media}_j); \quad i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 26}$$

Siendo:

- e_i: error global inicial empírico (%)
- E_G: índice de severidad que afecta al error global inicial
- v_i: velocidad de degradación del error global del contador según el rango de consumo (%)
- V_G: índice de severidad que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador

Multiplicando el error global actual f_{ij} por el porcentaje del volumen facturado c_{ij} en cada celda obtendremos el error global actual ponderado g_{ij} para cada diámetro nominal:

TABLA 69. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO, DN

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	g ₁₁	g ₁₂	g ₁₃	g ₁₄	g ₁₅	g ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	g ₂₁	g ₂₂	g ₂₃	g ₂₄	g ₂₅	g ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	g ₃₁	g ₃₂	g ₃₃	g ₃₄	g ₃₅	g ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	g ₄₁	g ₄₂	g ₄₃	g ₄₄	g ₄₅	g ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	g ₅₁	g ₅₂	g ₅₃	g ₅₄	g ₅₅	g ₅₆
>0,05 x Qn	g ₆₁	g ₆₂	g ₆₃	g ₆₄	g ₆₅	g ₆₆

Donde:

$$g_{ij} = f_{ij} \times c_{ij}; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 27}$$

Siendo:

- f_{ij} : error global actual según rango de consumo y antigüedad (%)
- c_{ij} : porcentaje del volumen facturado según rango de consumo y antigüedad (%)

El Error Global Actual Estimado (EGAE) para cada diámetro nominal se obtiene con la siguiente expresión:

$$EGAE_{DN} (\%) = \sum_{i,j=1}^6 g_{ij} \quad \text{Ec. 28}$$

Siendo:

- g_j : error global actual ponderado según rango de consumo y antigüedad (%)

El Error Global Actual Estimado (EGAE) del parque de contadores domésticos se obtiene de la siguiente forma:

$$EGAE_{Domestico} (\%) = \sum_{DN} (EGAE_{DN} (\%) \times Vol. facturado total_{DN} (\%)) \quad \text{Ec. 29}$$

Siendo:

- $EGAE_{DN}$: error global actual estimado para cada diámetro nominal (%)

3.7 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO

El Error Global Óptimo (EGO) vamos a calcularlo para cada diámetro nominal como:

$$EGO_{DN} = \text{Error global inicial estimado} + (\text{Velocidad degradación estimada} * \text{FOR}/2) \quad \text{Ec. 30}$$

En forma matricial vamos a definir un error global óptimo en función del rango de consumo h_i para cada diámetro nominal como:

TABLA 70. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO
<0,01 x Qn	h ₁
(0,01-0,02) x Qn	h ₂
(0,02-0,03) x Qn	h ₃
(0,03-0,04) x Qn	h ₄
(0,04-0,05) x Qn	h ₅
>0,05 x Qn	h ₆

Donde:

$$h_i = (e_i \times E_G) + \left(v_i \times V_G \times \left(\frac{d_i}{2} \right) \right) ; i \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 31}$$

Siendo:

- e_i: error global inicial empírico (%)
- E_G: índice de severidad que afecta al error global inicial
- v_i: velocidad de degradación de la curva de error del contador según su rango de consumo (%)
- V_G: índice de severidad que afecta a la velocidad de degradación de la curva de error del contador
- d_i: frecuencia óptima de renovación (años)

A continuación vamos a obtener el Error Global Óptimo Ponderado k_{ij} . Para ello multiplicaremos el Error Global Óptimo h_i definido anteriormente por el peso relativo del volumen facturado para cada rango de consumo y antigüedad:

TABLA 71. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR PORCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄	k ₁₅	k ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	k ₂₁	k ₂₂	k ₂₃	k ₂₄	k ₂₅	k ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	k ₃₁	k ₃₂	k ₃₃	k ₃₄	k ₃₅	k ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	k ₄₁	k ₄₂	k ₄₃	k ₄₄	k ₄₅	k ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	k ₅₁	k ₅₂	k ₅₃	k ₅₄	k ₅₅	k ₅₆
>0,05 x Qn	k ₆₁	k ₆₂	k ₆₃	k ₆₄	k ₆₅	k ₆₆

Donde:

$$k_{ij} = h_i \times c_{ij}; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 32}$$

Siendo:

- h_i : error global óptimo según rango de consumo (%)
- c_{ij} : porcentaje del volumen facturado según rango de consumo y antigüedad (%)

El Error Global Óptimo correspondiente a cada DN se calculará como:

$$\text{Error global óptimo}_{DN} (\%) = \sum_{i,j=1}^6 k_{ij} \quad \text{Ec. 33}$$

El Error Global Óptimo del parque de contadores domésticos se calculará como:

$$\text{Error global óptimo}_{Domestico} (\%) = \sum_{DN} (\text{Error global óptimo}_{DN} (\%) \times \text{Vol. facturado total}_{DN} (\%)) \quad \text{Ec. 34}$$

3.8 MEJORA POTENCIAL DEL ERROR GLOBAL ESTIMADO

Si restamos el Error Global Actual Ponderado (g_{ij}) y el Error Global Óptimo Ponderado (k_{ij}), obtendremos la Mejora Potencial del Error Global (m_{ij}) según rango de antigüedad y consumo:

TABLA 72. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<0,01 x Qn	m ₁₁	m ₁₂	m ₁₃	m ₁₄	m ₁₅	m ₁₆
(0,01-0,02) x Qn	m ₂₁	m ₂₂	m ₂₃	m ₂₄	m ₂₅	m ₂₆
(0,02-0,03) x Qn	m ₃₁	m ₃₂	m ₃₃	m ₃₄	m ₃₅	m ₃₆
(0,03-0,04) x Qn	m ₄₁	m ₄₂	m ₄₃	m ₄₄	m ₄₅	m ₄₆
(0,04-0,05) x Qn	m ₅₁	m ₅₂	m ₅₃	m ₅₄	m ₅₅	m ₅₆
>0,05 x Qn	m ₆₁	m ₆₂	m ₆₃	m ₆₄	m ₆₅	m ₆₆

Donde:

$$m_{ij} (\%) = g_{ij} - k_{ij}; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 35}$$

Siendo:

- g_{ij} : error global actual absoluto ponderado por el volumen facturado (%)
- k_{ij} : error global óptimo absoluto ponderado por el volumen facturado (%)

Hemos definido una Potencial del Error Global Estimado (MPEGE) para cada diámetro nominal. Esta se calculará sumando los términos negativos de la matriz de Mejora Potencial del Error Global.

$$MPEGE_{DN}(\%) = \sum_{i,j=1}^6 m_{ij}; \forall m_{ij} \leq 0; i, j \in \{1,2,3,4,5,6\} \quad \text{Ec. 36}$$

Siendo:

- m_{ij} : Mejora Potencial del Error Global según rango de consumo y antigüedad

Para calcular el MPEGE no se tiene en cuenta los grupos o celdas en los que el error global actual es mayor que el error global óptimo, es decir, cuando la diferencia entre estos errores es positiva. En este caso no es necesaria la sustitución de estos grupos de contadores ya que el error global no ha alcanzado al error óptimo.

La MPEGE del parque de contadores domésticos se calculará como:

$$MPEGE_{Domestico}(\%) = \sum_{DN} (MPEGE_{DN}(\%) \times Vol. facturado total_{DN}(\%)) \quad \text{Ec. 37}$$

3.9 SOBRECOSTE ESTIMADO DE LA GESTIÓN ACTUAL

Para cada diámetro nominal obtendremos el sobrecoste estimado con la siguiente expresión:

$$Sobrecoste_{DN}(\text{€/año}) = Precio\ agua \left(\frac{\text{€}}{m^3} \right) \times MPEGA_{DN}(\%) \times Vol. facturado_{DN} \left(\frac{m^3}{año} \right) \quad \text{Ec. 38}$$

El sobrecoste estimado de la gestión actual del parque de contadores domésticos será:

$$Sobrecoste_{ABONADOS\ DOMÉSTICOS}(\text{€/año}) = \sum Sobrecoste_{DN}(\text{€/año}) \quad \text{Ec. 39}$$

Capítulo IV

Aplicación de la herramienta en el abastecimiento de Aranda de Duero

4.1 INTRODUCCIÓN

A continuación vamos a desarrollar un ejemplo de aplicación de la herramienta de evaluación preliminar en el abastecimiento de Aranda de Duero. Para ello hemos utilizado el sistema de información comercial, realizando las consultas necesarias con el objetivo de obtener los datos referentes a diámetros nominales, consumos promedios mensuales y a la antigüedad de los contadores que necesita la herramienta. También necesitamos averiguar ciertos parámetros del abastecimiento que nos permitirá calcular los índices de severidad E_i y V_G , así como el precio de venta del m^3 del agua a los abonados, y el coste de adquisición e instalación de los contadores.

4.2 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL INICIAL EN EL ABASTECIMIENTO DE ARANDA DE DUERO

Una vez disponemos de los datos necesarios que solicita la aplicación, podemos calcular el índice de severidad E_G , que nos permitirá calcular el error global estimado.

4.2.1 Definición del índice de severidad (E_i)

Si recordamos, el índice de severidad (E_i) multiplica al error global inicial empírico de un contador y tiene la siguiente expresión:

$$E_G = 2 \times (0.51 \times C_M + 0.25 \times P_D + +0.23 \times C_R) - 1 \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

C_M : Parámetro que depende de clase metrológica de los contadores

P_D : Parámetro que depende de la presencia de depósitos de almacenamiento

C_R : Parámetro que depende del control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento

Para el caso concreto del abastecimiento de Aranda de Duero, $C_M=1.9$, $P_D=1,125$, $C_R= 2$, por lo que índice de severidad $E_G= 2,46$.

A continuación explicamos la procedencia del valor de estos índices.

4.2.1.1 *Parámetro C_M : Clase metrológica de los contadores*

$$C_M = (A \times B \times S) + (A \times C \times 1.5) + (D \times 1)$$

Donde:

- A Porcentaje de abonados con contadores de clase B o R<125 (%)
 - B Porcentaje de abonados con contadores de clase B tipo Velocidad-Chorro único (%)
 - C Porcentaje de abonados con contadores de clase B tipo Velocidad-Chorro múltiple (%)
 - D Porcentaje de abonados con contadores de clase C o R>125 tipo Volumétrico (%)
- A+D =100% y B+C=100%

En el caso del abastecimiento de Aranda de Duero A = 90%, B=100%, C=0% y D=10%, por lo que $C_M = 1.9$

4.2.1.2 *Parámetro P_D : Presencia de depósitos de almacenamiento*

El índice (P_D) que tiene la siguiente expresión matemática:

$$P_D = ((E/100) \times 0.25) + ((F/100) \times 0.25) + ((G/100) \times 0.25) + ((H/100) \times 0.25) + 1 \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

- E Porcentaje de abonados de abonados que residen en viviendas con antigüedad menor a 5 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- F Porcentaje de abonados de abonados que residen en viviendas con antigüedad entre 5 y 10 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- G Porcentaje de abonados de abonados que residen en viviendas con antigüedad entre 10 y 20 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)
- H Porcentaje de abonados de abonados que residen en viviendas con antigüedad mayor de 20 años que tienen depósitos de almacenamiento (%)

En el abastecimiento de Aranda de Duero E y F = 0%, G y H = 25%, por lo que $P_D = 1,125$

4.2.1.3 *Parámetro C_R : Control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento*

En la aplicación se debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de "Control de calidad de los contadores adquiridos por parte del abastecimiento":

- Sin control de calidad ($C_R = 2$)
- Ensayos de partidas de contadores previamente seleccionados por la empresa proveedora ($C_R = 1.5$)
- Ensayos de partidas de contadores mediante muestreo aleatorio por parte del abastecimiento ($C_R = 1$)

Para Aranda de Duero $C_R = 2$, ya que no hacen control de calidad a la recepción de las partidas de contadores adquiridas.

4.3 ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DE LA CURVA DE ERROR DE UN CONTADOR

A continuación estimaremos el ritmo de deterioro de los contadores, para ello habrá que calcular el índice de severidad V_G .

4.3.1 Definición de índice de severidad (V_G).

Si recordamos, el índice de severidad (V_G) afecta a la velocidad de degradación empírica de la curva de error de un contador, tiene la siguiente expresión:

$$V_G = 2 \times (0.12 \times S_R + 0.24 \times D_A + 0.27 \times P_S + 0.7 \times P_R + 0.16 \times C_M + 0.14 \times L_I) - 1$$

Donde:

S_R : Parámetro que depende de la continuidad en el suministro en la red

D_A : Parámetro que depende de la dureza del agua

P_S : Parámetro que depende de la presencia de sólidos en la red

P_R : Parámetro que depende de la presión media de la red

C_M : Parámetro que depende del criterio de la elección de la partida de contadores

L_I : Parámetro que depende del lugar de instalación de los contadores.

En el abastecimiento de Aranda de Duero $S_R=1$, $D_A=1,5$, $P_S=1$, $P_R=1$, $C_M=2$, $L_I=1.39$, por lo que el índice de severidad $V_G=1,66$.

4.3.1.1 Parámetro S_R : Continuidad en el suministro

En la aplicación se debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de "Continuidad en el suministro de la red", en función de su respuesta este parámetro tendrá la siguiente puntuación:

PARÁMETRO S_R SEGÚN CONTINUIDAD EN EL SUMINISTRO

h/día	S_R
24	1
21	1,7
19	1,8
16	1,9
<16	2

En Aranda de Duero, hay continuidad completa en el suministro las 24 h del día, por lo que $S_R=1$

4.3.1.2 Parámetro D_A : Dureza del agua

En la aplicación el técnico debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de “Dureza del agua”. En función de su respuesta este parámetro tendrá el siguiente valor:

PARÁMETRO D_A SEGÚN DUREZA DEL AGUA

Dureza del agua	D_A
Alta >180mg/l	2
Media 180-60mg/l	1,5
Baja <60mg/l	1

En el caso de Aranda de Duero la dureza es media, por lo que $D_A=1,5$.

4.3.1.3 Parámetro P_S : Presencia de sólidos en suspensión

En la aplicación el técnico debe elegir una de las siguientes opciones a la pregunta de “Frecuente Presencia de sólidos en suspensión”. En función de su respuesta este parámetro tendrá la siguiente puntuación:

PARÁMETRO P_S SEGÚN PRESENCIA DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Presencia de sólidos suspensión	P_S
Sí	2
No	1

En Aranda de Duero, no hay presencia de sólidos en suspensión, por tanto $P_S=1$.

4.3.1.4 Parámetro P_R : Presión de la red

En la aplicación el técnico debe seleccionar una de las siguientes opciones a la pregunta de “Presión media de la red”. En función de su respuesta este parámetro tendrá la siguiente puntuación:

PARÁMETRO P_R SEGÚN PRESIÓN MEDIA DE LA RED

Presión media red	P_R
Muy baja <1 bar	2
Normal 1-6 bar	1
Alta >6 bar	1,5

La presión media de la red en Aranda de Duero es de 4 bar, por lo que $P_R=1$.

4.3.1.5 Parámetro C_M : Criterio para la elección de la partida de contadores

En la aplicación se debe elegir una de las siguientes opciones:

PARÁMETRO C_M SEGÚN CRITERIO DE ELECCIÓN DE LA PARTIDA CONTADORES

Criterio para la elección de partida de contadores nuevos	C_M
Mejor oferta económica	2
Basada en la experiencia, sin estudio del parque de contadores	1,5
Basado en el estudio del parque de contadores	1

En Arada de Duero el criterio para la elección de la partida de contadores nuevos a instalar se basa en la mejor oferta económica, por tanto $C_M=2$.

4.3.1.6 Parámetro L_I : Lugar de instalación de los contadores

Si recordamos este parámetro tiene la siguiente expresión:

$$L_I = (I \times J \times 1) + (I \times K \times 2) + (L \times M \times 1.5) + (L \times N \times 2) \quad \text{Ec. 42}$$

Donde:

- I Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios (%)
- J Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios, en batería de contadores (%)
- K Porcentaje de contadores instalados en el interior de edificios, en el interior de la vivienda (%)
- L Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio (%)
- M Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio, protegido (%)
- N Porcentaje de contadores instalados en el exterior del edificio, sin proteger (%)

Nota: $I + J = 100\%$, $J + K = 100\%$, $M + N = 100\%$

En Aranda de Duero $I=70\%$, $J=70\%$, $K=30\%$, $L=30\%$, $M=80\%$, $N=20\%$, por lo que $L_I=1,39$.

4.4 INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN COMERCIAL UTILIZADA EN LA APLICACIÓN (INPUTS)

En el ejemplo de aplicación del abastecimiento de Aranda de Duero, se han utilizado los datos correspondientes al año 2011.

4.4.1 Tipo de abonado y diámetros nominales

Únicamente vamos a considerar los abonados domésticos, por tanto habrá que realizar las oportunas consultas en la base de datos para seleccionar exclusivamente con esta consideración.

En el abastecimiento de Aranda de Duero los diámetros nominales utilizados son DN13, 15, 20, 25, 30 Y 40 mm.

4.4.2 Consumos mensuales de los abonados

En la aplicación debemos indicar, para cada diámetro nominal, el número de abonados que corresponde a cada rango predefinido de consumo promedio mensual. Únicamente se han considerado aquellos abonados domésticos con consumos promedios mensuales mayores que cero.

TABLA 73. ABONADOS DOMÉSTICOS DN13

m ³ /mes	Nº abonados	%
<10	4725	68.9%
10-20	1662	24.3%
20-30	351	5.1%
30-40	79	1.2%
40-50	27	0.4%
>50	9	0.1%

TABLA 76. ABONADOS DOMÉSTICOS DN25

m ³ /mes	Nº abonados	%
<25	24	36.9%
25-50	17	26.2%
50-75	13	20.0%
75-100	5	7.7%
100-125	4	6.2%
>125	2	3.1%

TABLA 74. ABONADOS DOMÉSTICOS DN15

m ³ /mes	Nº abonados	%
<10	2263	66.6%
10-20	933	27.5%
20-30	142	4.2%
30-40	38	1.1%
40-50	13	0.4%
>50	9	0.3%

TABLA 77. ABONADOS DOMÉSTICOS DN30

m ³ /mes	Nº abonados	%
<50	5	20.0%
50-100	13	52.0%
100-150	3	12.0%
150-200	2	8.0%
200-250	1	4.0%
>250	1	4.0%

TABLA 75. ABONADOS DOMÉSTICOS DN20

m ³ /mes	Nº abonados	%
<20	378	73.1%
20-40	71	13.7%
40-60	32	6.2%
60-80	17	3.3%
80-100	10	1.9%
>100	9	1.7%

TABLA 78. ABONADOS DOMÉSTICOS DN40

m ³ /mes	Nº abonados	%
<75	2	18.2%
75-150	3	27.3%
150-225	4	36.4%
225-300	1	9.1%
300-375	1	9.1%
>375	0	0.0%

4.4.3 Antigüedad del contador

Ha sido necesario realizar una consulta en la base de datos para hallar el número de abonados según los rangos de antigüedad definidos correspondientes a cada diámetro nominal de los contadores instalados.

TABLA 79. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN13

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	1285	1194	1277	788	841	1436

TABLA 80. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN15

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	1427	1591	207	163	0	4

TABLA 81. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN20

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	189	134	182	29	23	9

TABLA 82. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN25

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	20	9	14	6	13	10

TABLA 83. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN30

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	17	3	5	7	2	3

TABLA 84. NÚMERO DE ABONADOS DOMÉSTICOS SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD DN40

Rango de antigüedad (años)	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Nº abonados	4	2	5	2	0	0

Una vez conocido la distribución del número de abonados según su rango de consumo promedio mensual y antigüedad, y suponiendo que para todos los rangos de antigüedad la distribución del número de abonados según rangos de consumo promedio mensual es igual en términos porcentuales, podemos completar la siguiente tabla:

TABLA 85. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	886	823	880	543	580	990
10-20	312	290	310	191	204	348
20-30	66	61	65	40	43	74
30-40	15	14	15	9	10	17
40-50	5	5	5	3	3	6
>50	2	2	2	1	1	2
Total	1285	1194	1277	788	841	1436

TABLA 86. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN15

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	950	1060	138	109	0	3
10-20	392	437	57	45	0	1
20-30	60	66	9	7	0	0
30-40	16	18	2	2	0	0
40-50	5	6	1	1	0	0
>50	4	4	1	0	0	0
Total	1427	1591	207	163	0	4

TABLA 87. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<20	138	98	133	21	17	7
20-40	26	18	25	4	3	1
40-60	12	8	11	2	1	1
60-80	6	4	6	1	1	0
80-100	4	3	4	1	0	0
>100	3	2	3	1	0	0
Total	189	134	182	29	23	9

TABLA 88. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<25	7	3	5	2	5	4
25-50	5	2	4	2	3	3
50-75	4	2	3	1	3	2
75-100	2	1	1	0	1	1
100-125	1	1	1	0	1	1
>125	1	0	0	0	0	0
Total	20	9	14	6	13	10

TABLA 89. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<50	3	1	1	1	0	1
50-100	9	2	3	4	1	2
100-150	2	0	1	1	0	0
150-200	1	0	0	1	0	0
200-250	1	0	0	0	0	0
>250	1	0	0	0	0	0
Total	17	3	5	7	2	3

TABLA 90. NÚMERO DE ABONADOS POR RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<75	1	1	1	1	0	1
75-150	1	1	1	2	1	1
150-225	1	1	2	3	1	1
225-300	0	0	0	1	0	0
300-375	0	0	0	1	0	0
>375	0	0	0	0	0	0
Total	4	3	5	7	2	3

El volumen facturado total (m³) en cada rango de consumo y antigüedad, para cada diámetro será el siguiente:

TABLA 91. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	5	53159	49394	52828	32599	34791	59406
10-20	15	56095	52123	55746	34399	36713	62687
20-30	25	19745	18346	19622	12108	12922	22065
30-40	35	6222	5781	6183	3815	4072	6953
40-50	45	2734	2540	2717	1676	1789	3055
>50	60	1215	1129	1207	745	795	1358
Total		139169	129314	138303	85343	91083	155523

TABLA 92. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN15

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	5	57021	63574	8271	6513	0	160
10-20	15	70527	78632	10231	8056	0	198
20-30	25	17890	19946	2595	2043	0	50
30-40	35	6702	7473	972	766	0	19
40-50	45	2948	3287	428	337	0	8
>50	60	2721	3034	395	311	0	8
Total		157810	175946	22892	18026	0	442

TABLA 93. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<20	10	16582	11757	15968	2544	2018	790
20-40	30	9344	6625	8998	1434	1137	445
40-60	50	7019	4976	6759	1077	854	334
60-80	70	5220	3701	5027	801	635	249
80-100	90	3948	2799	3802	606	480	188
>100	125	4935	3499	4752	757	601	235
Total		47049	33357	45306	7219	5726	2240

TABLA 94. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<25	12.5	1108	498	775	332	720	554
25-50	37.5	2354	1059	1648	706	1530	1177
50-75	62.5	3000	1350	2100	900	1950	1500
75-100	87.5	1615	727	1131	485	1050	808
100-125	112.5	1662	748	1163	498	1080	831
>125	200	1477	665	1034	443	960	738
Total		11215	5047	7851	3365	7290	5608

TABLA 95. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<50	25	1020	180	300	420	120	180
50-100	75	7956	1404	2340	3276	936	1404
100-150	125	3060	540	900	1260	360	540
150-200	175	2856	504	840	1176	336	504
200-250	225	1836	324	540	756	216	324
>250	300	2448	432	720	1008	288	432
Total		19176	3384	5640	7896	2256	3384

TABLA 96. VOLUMEN FACTURADO (M³) SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO PROMEDIO, DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Promedio rango consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
		<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<75	37.5	327	245	409	573	164	245
75-150	125	1636	1227	2045	2864	818	1227
150-225	187.5	3273	2455	4091	5727	1636	2455
225-300	262.5	1145	859	1432	2005	573	859
300-375	337.5	1473	1105	1841	2577	736	1105
>375	400	0	0	0	0	0	0
Total		7855	5891	9818	13745	3927	5891

El peso relativo de cada celda respecto al volumen facturado total será:

TABLA 97. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	7.2%	6.7%	7.2%	4.4%	4.7%	8.0%
10-20	7.6%	7.1%	7.5%	4.7%	5.0%	8.5%
20-30	2.7%	2.5%	2.7%	1.6%	1.7%	3.0%
30-40	0.8%	0.8%	0.8%	0.5%	0.6%	0.9%
40-50	0.4%	0.3%	0.4%	0.2%	0.2%	0.4%
>50	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%

TABLA 98. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN15

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	15.2%	16.9%	2.2%	1.7%	0.0%	0.0%
10-20	18.8%	21.0%	2.7%	2.1%	0.0%	0.1%
20-30	4.8%	5.3%	0.7%	0.5%	0.0%	0.0%
30-40	1.8%	2.0%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%
40-50	0.8%	0.9%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
>50	0.7%	0.8%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%

TABLA 99. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<20	11.8%	8.3%	11.3%	1.8%	1.4%	0.6%
20-40	6.6%	4.7%	6.4%	1.0%	0.8%	0.3%
40-60	5.0%	3.5%	4.8%	0.8%	0.6%	0.2%
60-80	3.7%	2.6%	3.6%	0.6%	0.5%	0.2%
80-100	2.8%	2.0%	2.7%	0.4%	0.3%	0.1%
>100	3.5%	2.5%	3.4%	0.5%	0.4%	0.2%

TABLA 100. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<25	2.7%	1.2%	1.9%	0.8%	1.8%	1.4%
25-50	5.8%	2.6%	4.1%	1.7%	3.8%	2.9%
50-75	7.4%	3.3%	5.2%	2.2%	4.8%	3.7%
75-100	4.0%	1.8%	2.8%	1.2%	2.6%	2.0%
100-125	4.1%	1.9%	2.9%	1.2%	2.7%	2.1%
>125	3.7%	1.6%	2.6%	1.1%	2.4%	1.8%

TABLA 101. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<50	2.4%	0.4%	0.7%	1.0%	0.3%	0.4%
50-100	19.1%	3.4%	5.6%	7.8%	2.2%	3.4%
100-150	7.3%	1.3%	2.2%	3.0%	0.9%	1.3%
150-200	6.8%	1.2%	2.0%	2.8%	0.8%	1.2%
200-250	4.4%	0.8%	1.3%	1.8%	0.5%	0.8%
>250	5.9%	1.0%	1.7%	2.4%	0.7%	1.0%

TABLA 102. PORCENAJE VOLUMEN FACTURADO SEGÚN RANGO DE ANTIGÜEDAD Y CONSUMO DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<75	0.7%	0.5%	0.9%	1.2%	0.3%	0.5%
75-150	3.5%	2.6%	4.3%	6.1%	1.7%	2.6%
150-225	6.9%	5.2%	8.7%	12.2%	3.5%	5.2%
225-300	2.4%	1.8%	3.0%	4.3%	1.2%	1.8%
300-375	3.1%	2.3%	3.9%	5.5%	1.6%	2.3%
>375	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

4.5 ESTIMACIÓN FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN

Para cada diámetro comercial necesitamos definir los costes de adquisición y los costes de instalación asociados.

TABLA 103. COSTE DE ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE UN CONTADOR SEGÚN DN

Costes		
DN	Adquisición	Instalación
DN13	12 €	12 €
DN15	15 €	12 €
DN20	20 €	12 €
DN25	30 €	12 €
DN30	40 €	15 €
DN40	60 €	25 €

Para cada rango de consumo calcularemos la frecuencia de renovación óptima según la fórmula simplificada:

TABLA 104. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN13

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<10	17.1
10-20	12.8
20-30	12.2
30-40	14.5
40-50	9.1
>50	5.1

TABLA 105. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN15

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<10	18.1
10-20	13.6
20-30	12.9
30-40	15.4
40-50	9.7
>50	5.4

TABLA 106. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN20

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<20	14.0
20-40	10.5
40-60	10.0
60-80	11.9
80-100	7.5
>125	4.1

TABLA 107. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN25

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<25	14.4
25-50	10.8
50-75	10.2
75-100	12.2
100-125	7.7
>125	3.7

TABLA 108. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN30

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<50	11.7
50-100	8.8
100-150	8.3
150-200	9.9
200-250	6.2
>250	3.5

TABLA 109. FRECUENCIA ÓPTIMA DE RENOVACIÓN SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN40

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	FOR (años)
<75	11.9
75-150	8.4
150-225	8.4
225-300	10.1
300-375	6.3
>375	3.7

4.6 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ACTUAL DE UN PARQUE DE CONTADORES

Necesitamos definir tanto el error global inicial empírico como el error la velocidad de degradación empírica, en función de rango de consumo promedio mensual:

TABLA 110. ERROR GLOBAL INICIAL Y VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN EMPÍRICA SEGÚN CONSUMO

Rango de consumo (m ³ /mes)	Error global inicial empírico	Velocidad Degradación empírica
<0,01 x Qn	-5.0%	-0.25%
(0,01-0,02) x Qn	-3.0%	-0.15%
(0,02-0,03) x Qn	-2.0%	-0.10%
(0,03-0,04) x Qn	-1.0%	-0.05%
(0,04-0,05) x Qn	-0.5%	-0.10%
>0,05 x Qn	-0.5%	-0.25%

A continuación podemos proceder a calcular el Error Global Actual según rango de consumo y antigüedad. Este error será común para todos los diámetros nominales:

TABLA 111. ERROR GLOBAL ACTUAL SEGÚN CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13, 15, 20, 25, 30, 40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<0,01 x Qn	-13.3%	-15.4%	-17.5%	-19.6%	-21.6%	-24.8%
(0,01-0,02) x Qn	-8.0%	-9.2%	-10.5%	-11.7%	-13.0%	-14.9%
(0,02-0,03) x Qn	-5.3%	-6.2%	-7.0%	-7.8%	-8.7%	-9.9%
(0,03-0,04) x Qn	-2.7%	-3.1%	-3.5%	-3.9%	-4.3%	-5.0%
(0,04-0,05) x Qn	-1.6%	-2.5%	-3.3%	-4.1%	-5.0%	-6.2%
>0,05 x Qn	-2.3%	-4.3%	-6.4%	-8.5%	-10.6%	-13.7%

Multiplicando el error global actual por el porcentaje del volumen facturado en cada celda obtendremos el error global actual ponderado.

TABLA 112. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<10	-1.0%	-1.0%	-1.3%	-0.9%	-1.0%	-2.0%
10-20	-0.6%	-0.7%	-0.8%	-0.5%	-0.6%	-1.3%
20-30	-0.1%	-0.2%	-0.2%	-0.1%	-0.2%	-0.3%
30-40	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
40-50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 113. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN15

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<10	-2.0%	-2.6%	-0.4%	-0.3%	0.0%	0.0%
10-20	-1.5%	-1.9%	-0.3%	-0.3%	0.0%	0.0%
20-30	-0.3%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
30-40	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
40-50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 114. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<20	-1.6%	-1.3%	-2.0%	-0.4%	-0.3%	-0.1%
20-40	-0.5%	-0.4%	-0.7%	-0.1%	-0.1%	0.0%
40-60	-0.3%	-0.2%	-0.3%	-0.1%	-0.1%	0.0%
60-80	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
80-100	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
>125	-0.1%	-0.1%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 115. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<25	-0.4%	-0.2%	-0.3%	-0.2%	-0.4%	-0.3%
25-50	-0.5%	-0.2%	-0.4%	-0.2%	-0.5%	-0.4%
50-75	-0.4%	-0.2%	-0.4%	-0.2%	-0.4%	-0.4%
75-100	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.1%	-0.1%
100-125	-0.1%	0.0%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
>125	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.3%	-0.3%

TABLA 116. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<50	-0.3%	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
50-100	-1.5%	-0.3%	-0.6%	-0.9%	-0.3%	-0.5%
100-150	-0.4%	-0.1%	-0.2%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
150-200	-0.2%	0.0%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.1%
200-250	-0.1%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%
>250	-0.1%	0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%

TABLA 117. ERROR GLOBAL ACTUAL PONDERADO POR VOLUMEN FACTURADO DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
Edad media (años)	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	30
<75	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
75-150	-0.3%	-0.2%	-0.5%	-0.7%	-0.2%	-0.4%
150-225	-0.4%	-0.3%	-0.6%	-1.0%	-0.3%	-0.5%
225-300	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
300-375	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
>375	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

4.7 ESTIMACIÓN DEL ERROR GLOBAL ÓPTIMO

El resultado obtenido del error global óptimo (EGO) para cada diámetro nominal es el siguiente:

TABLA 118. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN13

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
<10	-15.9%
10-20	-9.0%
20-30	-5.9%
30-40	-3.1%
40-50	-2.0%
>50	-2.3%

TABLA 119. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN15

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
<10	-16.1%
10-20	-9.1%
20-30	-6.0%
30-40	-3.1%
40-50	-2.0%
>50	-2.3%

TABLA 120. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN20

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
<20	-15.2%
20-40	-8.7%
40-60	-5.7%
60-80	-3.0%
80-100	-1.9%
>125	-2.1%

TABLA 121. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN25

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
0-25	-15.3%
25-50	-8.7%
50-75	-5.8%
75-100	-3.0%
100-125	-1.9%
>125	-2.0%

TABLA 122. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN30

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
<50	-14.7%
50-100	-8.5%
100-150	-5.6%
150-200	-2.9%
200-250	-1.7%
>250	-1.9%

TABLA 123. ERROR GLOBAL ÓPTIMO SEGÚN RANGO DE CONSUMO DN40

Rango de consumo promedio (m ³ /año)	EGO (%)
<75	-14.8%
75-150	-8.4%
150-225	-5.6%
225-300	-2.9%
300-375	-1.8%
>375	-2.0%

A continuación ponderaremos el Error Global Óptimo por el peso relativo del volumen facturado, obteniendo el Error Global Óptimo Ponderado en cada celda:

TABLA 124. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	-1.1%	-1.1%	-1.1%	-0.7%	-0.7%	-1.3%
10-20	-0.7%	-0.7%	-0.7%	-0.4%	-0.5%	-0.8%
20-30	-0.2%	-0.2%	-0.2%	-0.1%	-0.1%	-0.2%
30-40	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
40-50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 125. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN15

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	-2.4%	-2.7%	-0.4%	-0.3%	0.0%	0.0%
10-20	-1.7%	-1.9%	-0.2%	-0.2%	0.0%	0.0%
20-30	-0.3%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
30-40	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
40-50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>50	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 126. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<20	-1.8%	-1.3%	-1.7%	-0.3%	-0.2%	-0.1%
20-40	-0.6%	-0.4%	-0.6%	-0.1%	-0.1%	0.0%
40-60	-0.3%	-0.2%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
60-80	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
80-100	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>125	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 127. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<25	-0.4%	-0.2%	-0.3%	-0.1%	-0.3%	-0.2%
25-50	-0.5%	-0.2%	-0.4%	-0.2%	-0.3%	-0.3%
50-75	-0.4%	-0.2%	-0.3%	-0.1%	-0.3%	-0.2%
75-100	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.1%	-0.1%
100-125	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
>125	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 128. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<50	-0.4%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.1%
50-100	-1.6%	-0.3%	-0.5%	-0.7%	-0.2%	-0.3%
100-150	-0.4%	-0.1%	-0.1%	-0.2%	0.0%	-0.1%
150-200	-0.2%	0.0%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%
200-250	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
>250	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

TABLA 129. ERROR GLOBAL ÓPTIMO PONDERADO POR POCENTAJE DE VOLUMEN FACTURADO DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<75	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.2%	-0.1%	-0.1%
75-150	-0.3%	-0.2%	-0.4%	-0.5%	-0.1%	-0.2%
150-225	-0.4%	-0.3%	-0.5%	-0.7%	-0.2%	-0.3%
225-300	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-0.1%
300-375	-0.1%	0.0%	-0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%
>375	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

4.8 MEJORA POTENCIAL DEL ERROR GLOBAL ESTIMADA

Si restamos el error global actual ponderado y el error global óptimo ponderado, obtendremos la mejora potencial del error global en cada celda. Realizaremos esta operación para todos los diámetros nominales del parque de contadores doméstico.

TABLA 130. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	0.181%	0.029%	-0.117%	-0.164%	-0.272%	-0.716%
10-20	0.074%	0.013%	-0.080%	-0.108%	-0.177%	-0.460%
20-30	0.016%	0.001%	-0.021%	-0.026%	-0.043%	-0.110%
30-40	0.003%	0.001%	-0.002%	-0.004%	-0.006%	-0.016%
40-50	0.001%	-0.001%	-0.004%	-0.004%	-0.007%	-0.017%
>50	0.000%	-0.003%	-0.006%	-0.006%	-0.009%	-0.020%

TABLA 131. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN13

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<10	0.414%	0.110%	-0.031%	-0.061%	0.000%	-0.004%
10-20	0.201%	-0.037%	-0.039%	-0.057%	0.000%	-0.003%
20-30	0.031%	-0.009%	-0.007%	-0.010%	0.000%	-0.001%
30-40	0.008%	0.000%	-0.001%	-0.002%	0.000%	0.000%
40-50	0.003%	-0.004%	-0.001%	-0.002%	0.000%	0.000%
>50	0.001%	-0.016%	-0.004%	-0.005%	0.000%	0.000%

TABLA 132. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN20

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<20	0.221%	-0.017%	-0.258%	-0.079%	-0.092%	-0.053%
20-40	0.046%	-0.026%	-0.115%	-0.031%	-0.035%	-0.019%
40-60	0.021%	-0.015%	-0.060%	-0.016%	-0.018%	-0.010%
60-80	0.011%	-0.003%	-0.019%	-0.005%	-0.006%	-0.004%
80-100	0.006%	-0.012%	-0.039%	-0.010%	-0.011%	-0.006%
>125	-0.007%	-0.056%	-0.146%	-0.034%	-0.036%	-0.019%

TABLA 133. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN25

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<25	0.053%	-0.002%	-0.042%	-0.035%	-0.113%	-0.130%
25-50	0.042%	-0.014%	-0.072%	-0.053%	-0.161%	-0.179%
50-75	0.032%	-0.013%	-0.064%	-0.046%	-0.139%	-0.153%
75-100	0.012%	-0.002%	-0.015%	-0.011%	-0.035%	-0.040%
100-125	0.009%	-0.011%	-0.041%	-0.028%	-0.083%	-0.089%
>125	-0.010%	-0.039%	-0.113%	-0.071%	-0.204%	-0.214%

TABLA 134. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN30

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<50	0.034%	-0.003%	-0.020%	-0.049%	-0.020%	-0.043%
50-100	0.089%	-0.026%	-0.113%	-0.256%	-0.101%	-0.215%
100-150	0.020%	-0.007%	-0.030%	-0.067%	-0.026%	-0.056%
150-200	0.014%	-0.003%	-0.013%	-0.029%	-0.012%	-0.025%
200-250	0.005%	-0.006%	-0.020%	-0.043%	-0.017%	-0.035%
>250	-0.019%	-0.025%	-0.077%	-0.158%	-0.059%	-0.121%

TABLA 135. MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL SEGÚN RANGO DE CONSUMO Y ANTIGÜEDAD DN40

Rango de consumo (m ³ /mes)	Rango de antigüedad (años)					
	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25
<75	0.010%	-0.003%	-0.024%	-0.058%	-0.024%	-0.052%
75-150	0.015%	-0.021%	-0.089%	-0.201%	-0.079%	-0.167%
150-225	0.020%	-0.028%	-0.119%	-0.268%	-0.105%	-0.223%
225-300	0.005%	-0.004%	-0.019%	-0.044%	-0.018%	-0.038%
300-375	0.003%	-0.017%	-0.061%	-0.130%	-0.050%	-0.104%
>375	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%

4.9 SOBRECOSTE ESTIMADO DE LA GESTIÓN ACTUAL

Para cada diámetro nominal obtendremos el sobrecoste estimado, resultado de multiplicar el porcentaje de la mejora potencial del error global por el volumen total facturado y por el precio de venta del m³ de agua.

TABLA 136. RESUMEN DE ERRORES OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DE ABONADOS DOMÉSTICOS POR DN

DN	Error Global Actual Estimado	Error Global Óptimo	Mejora Potencia Error Global Estimada	Sobrecoste anual	Volumen facturado (m ³)	Volumen facturado (%)
DN13	-12.98%	-10.90%	-2.40%	11,866 €	738734	53.38%
DN15	-10.27%	-10.75%	-0.29%	739 €	375116	27.10%
DN20	-9.60%	-8.65%	-1.26%	1,188 €	140898	10.18%
DN25	-7.92%	-5.85%	-2.22%	602 €	40375	2.92%
DN30	-7.57%	-6.04%	-1.69%	474 €	41736	3.02%
DN40	-7.36%	-5.46%	-1.95%	615 €	47127	3.41%

Ponderando los errores y el sobrecoste estimado por el porcentaje de volumen facturado para cada diámetro nominal obtenemos los resultados correspondientes a los abonados domésticos:

TABLA 137. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN PARA ABONADOS DOMÉSTICOS

	Error Global Actual Estimado	Error Global Óptimo	Mejor Potencial Error Global	Sobrecoste anual	Vol. facturado (m ³)
Abonados Domésticos	-11.80%	-10.51%	-1.73%	16,028 €	1383987

Capítulo V

Análisis y resultados

5.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN PRELIMINAR

Hemos estudiado cómo afectaría una variación de los parámetros que forman parte de los índices de severidad E_G y V_G en el resultado final del Error Global Actual Estimado, en el Error Global Óptimo, y en la Mejora Potencial del Error Global Estimada en el ejemplo de aplicación de la herramienta en el abastecimiento de Aranda de Duero.

Para ello vamos a modificar cada parámetro dentro de su rango definido anteriormente, manteniendo fijo el resto de parámetros. Los datos de referencia serán los correspondientes a los obtenidos del ejemplo de aplicación de la herramienta en el abastecimiento de Aranda de Duero.

TABLA 138. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD RESPECTO LOS ÍNDICES ADOPTADOS EN LA APLICACIÓN

	Valor índice	Incremento relativo respecto índice referencia	Error Global Estimado	Error Global Óptimo	Mejora Potencial Error	Incremento relativo respecto error referencia		
						Error global estimado	Error global óptimo	Mejora potencial Error
Precio agua	0,25	-63%	-11,80%	-11,89%	-1,08%	0,00%	13,12%	-37,36%
	0,5	-25%	-11,80%	-10,85%	-1,55%	0,00%	3,26%	-10,53%
	0,67	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	0,75	12%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	1	49%	-11,80%	-10,11%	-1,97%	0,00%	-3,77%	13,75%
	1,25	87%	-11,80%	-9,92%	-2,11%	0,00%	-5,56%	21,86%
	1,5	124%	-11,80%	-9,79%	-2,21%	0,00%	-6,90%	27,86%
	1,75	161%	-11,80%	-9,68%	-2,29%	0,00%	-7,93%	32,54%
Precio del contador	2	199%	-11,80%	-9,59%	-2,36%	0,00%	-8,77%	36,32%
		-60%	-11,80%	-10,13%	-1,95%	0,00%	-3,65%	13,08%
		-40%	-11,80%	-10,26%	-1,87%	0,00%	-2,35%	8,03%
		-20%	-11,80%	-10,39%	-1,79%	0,00%	-1,14%	3,83%
		0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
		20%	-11,80%	-10,62%	-1,67%	0,00%	1,08%	-3,60%
Parámetro P_S Presencia de sólidos	40%	-11,80%	-10,73%	-1,61%	0,00%	2,10%	-6,96%	
	60%	-11,80%	-10,83%	-1,56%	0,00%	3,08%	-9,88%	
Parámetro P_S Presencia de sólidos	1	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	2	100%	-12,95%	-10,94%	-2,44%	9,68%	4,05%	41,01%
Parámetro D_A Dureza agua	1	-33%	-11,29%	-10,31%	-1,42%	-4,30%	-1,93%	-17,78%
	1,5	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	2	33%	-12,31%	-10,70%	-2,04%	4,30%	1,84%	18,06%
Parámetro S_R Continuidad suministro	1	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	1,7	70%	-12,18%	-10,66%	-1,96%	3,23%	1,39%	13,53%
	1,8	80%	-12,23%	-10,67%	-1,99%	3,59%	1,54%	15,04%
	1,9	90%	-12,27%	-10,69%	-2,01%	3,95%	1,69%	16,55%
	2	100%	-12,31%	-10,70%	-2,04%	4,30%	1,84%	18,06%

	Valor índice	Incremento relativo respecto índice referencia	Error Global Estimado	Error Global Óptimo	Mejora Potencial Error	Incremento relativo respecto error referencia		
						Error global estimado	Error global óptimo	Mejora potencial Error
Parámetro P_R Presión de la red	1	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	1,5	50%	-11,97%	-10,58%	-1,83%	1,43%	0,62%	5,99%
	2	100%	-12,10%	-10,62%	-1,91%	2,51%	1,08%	10,51%
Parámetro C_P Criterio elección contadores	1	-50%	-11,12%	-10,24%	-1,32%	-5,74%	-2,60%	-23,57%
	1,5	-25%	-11,46%	-10,38%	-1,52%	-2,87%	-1,28%	-11,89%
	2	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
Parámetro L_I Protección contadores	1	-28%	-11,59%	-10,43%	-1,60%	-1,79%	-0,79%	-7,45%
	1,25	-10%	-11,76%	-10,49%	-1,70%	-0,36%	-0,16%	-1,49%
	1,39	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	1,5	8%	-11,89%	-10,54%	-1,78%	0,72%	0,31%	2,99%
	1,75	26%	-12,06%	-10,61%	-1,88%	2,15%	0,93%	9,00%
	2	44%	-12,18%	-10,66%	-1,96%	3,23%	1,39%	13,53%
Parámetro C_M Clase metrológica	1	-47%	-8,64%	-7,34%	-1,73%	-26,84%	-30,14%	0,00%
	1,25	-34%	-9,51%	-8,22%	-1,73%	-19,41%	-21,80%	0,00%
	1,5	-21%	-10,39%	-9,09%	-1,73%	-11,99%	-13,46%	0,00%
	1,75	-8%	-11,26%	-9,97%	-1,73%	-4,57%	-5,13%	0,00%
	1,9	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	2	5%	-12,14%	-10,85%	-1,73%	2,85%	3,21%	0,00%
Parámetro P_D Presencia Depósitos	1	-9%	-11,60%	-10,31%	-1,73%	-1,71%	-1,92%	0,00%
	1,1	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%
	1,25	14%	-12,00%	-10,71%	-1,73%	1,71%	1,92%	0,00%
	1,5	36%	-12,41%	-11,12%	-1,73%	5,14%	5,77%	0,00%
	1,75	59%	-12,88%	-11,59%	-1,73%	9,14%	10,26%	0,00%
	2	82%	-13,28%	-11,99%	-1,73%	12,56%	14,11%	0,00%
Parámetro C_R Control de calidad	1	-50%	-10,25%	-8,96%	-1,73%	-13,13%	-14,75%	0,00%
	1,5	-25%	-10,99%	-9,70%	-1,73%	-6,85%	-7,69%	0,00%
	2	0%	-11,80%	-10,51%	-1,73%	0,00%	0,00%	0,00%

5.1.1 Error Global Actual Estimado

Como puede apreciarse en la siguiente figura, el parámetro que más afecta al error global estimado es la clase metrológica del parque de contadores, con un incremento máximo absoluto de 40%. Seguido del control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento (15%), y la presencia de los depósitos de almacenamiento (14%). Tanto el precio del agua como el coste del contador no afectan al resultado final, ya que el error global estimado no depende de estos parámetros.

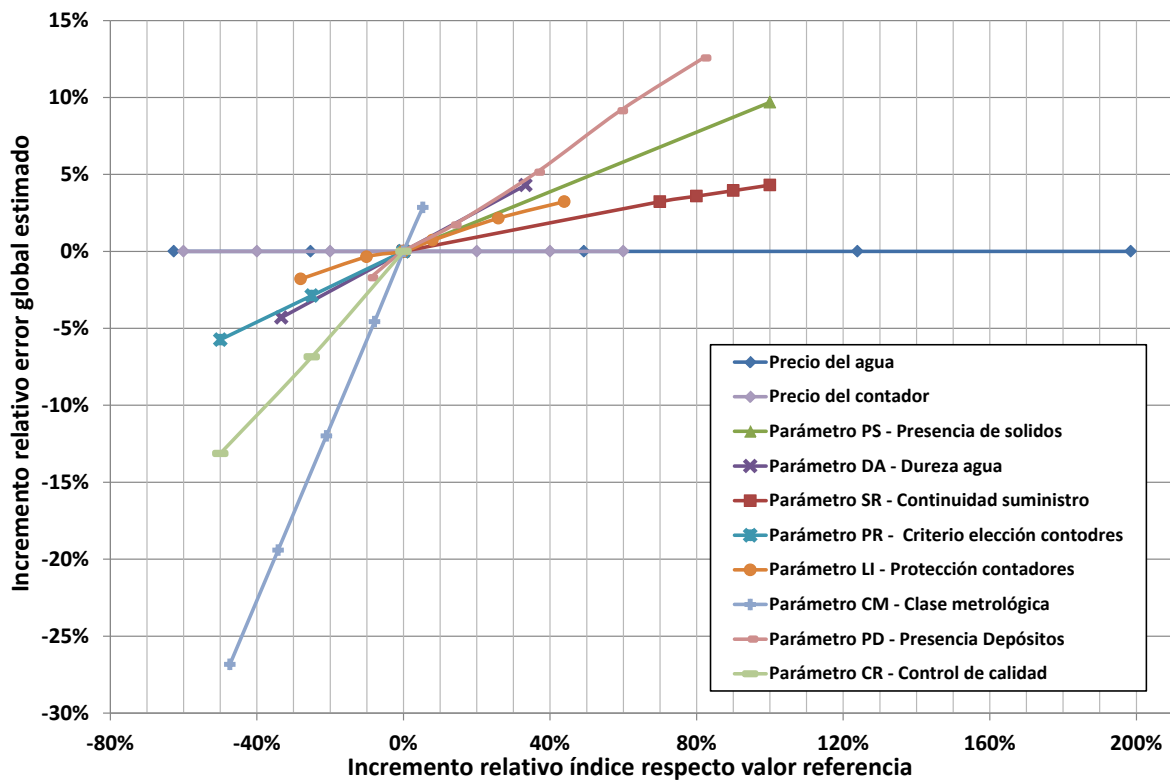


FIGURA 23. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ERROR GLOBAL ESTIMADO

5.1.2 Error Global Óptimo

Respecto al error global óptimo los parámetros que más incidencia tienen en el resultado final, son la clase metrológica de los contadores instalados con un 47% de incremento máximo absoluto, seguido del control de calidad a la recepción por parte del abastecimiento (17%) y la presencia de depósitos de almacenamiento domiciliarios (16%).

En este caso el precio del agua asume una importancia relevante. Conforme aumenta el precio, el tiempo óptimo en el que el contador maximiza los ingresos al abastecimiento, es decir, la frecuencia óptima de renovación, se reduce. Por ende el error óptimo también disminuye con un decrecimiento máximo en valor absoluto de un 36%.

La evolución de precio del agua no es lineal, como el resto de parámetros, sino que presenta una evolución exponencial ya que este error depende de la frecuencia óptima de renovación y esta se calcula con una función exponencial. La gráfica presenta una mayor pendiente, y por tanto es más influyente en el error global óptimo, cuando el precio del agua se encuentre entre los 0,25 y 1 euros/m³. Conforme aumenta el precio del agua, el error óptimo continúa disminuyendo pero no tan bruscamente, tendiendo a una asíntota horizontal.

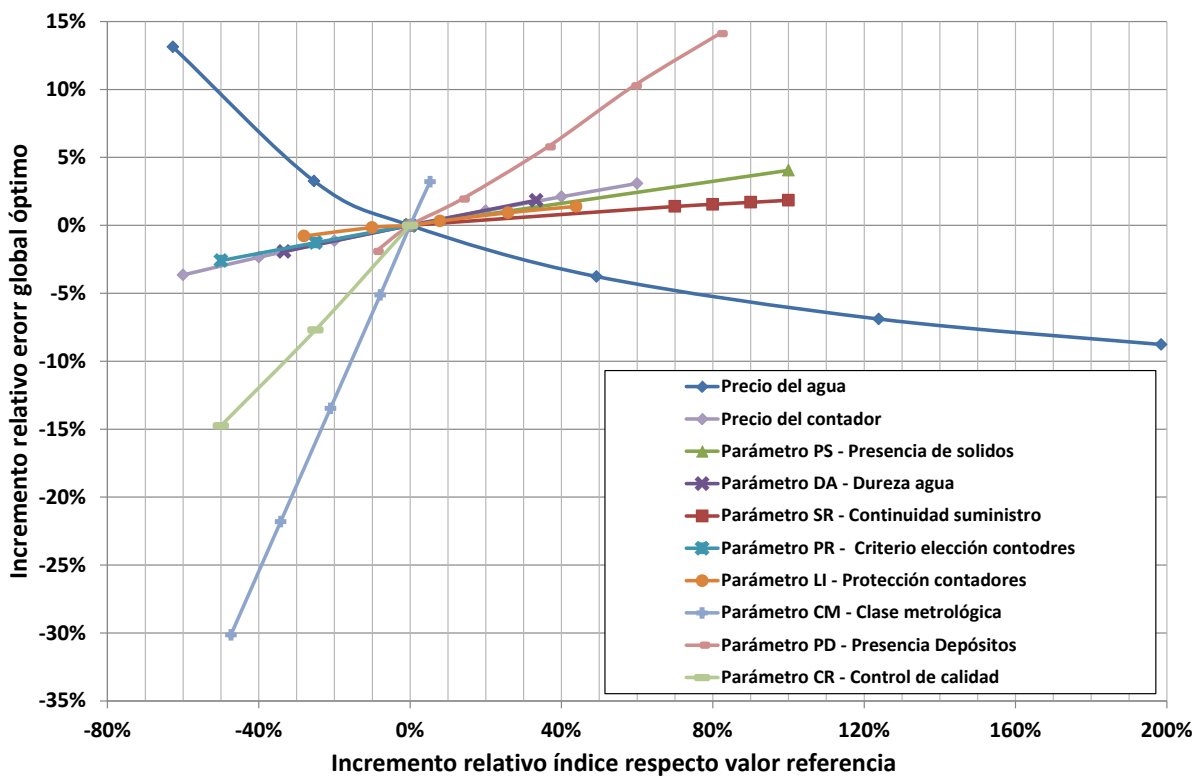


FIGURA 24. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ERROR GLOBAL ÓPTIMO

5.1.3 Mejora Potencial del Error Global Estimado

El factor que más afecta la mejora potencial del error global, es el precio del agua con un incremento máximo en valor absoluto del 73%. Cuanto mayor sea en precio del agua más diferencia habrá entre el error global estimado y el óptimo, y por tanto tendrá mayor margen de mejora. De la misma forma que en el caso anterior, la gráfica es de tipo exponencial y por tanto presenta una mayor pendiente, y por tanto es más influyente en el resultado final, cuando el precio del agua se encuentre entre los 0,25 y 1 euros/m³ conforme aumenta el precio del agua su influencia es menor. A continuación los factores que más afectan son la dureza del agua con un incremento máximo del 43%, la presencia de sólidos en la red de distribución (41%), y el criterio de elección de la partida de contadores nuevos (30%).

En este caso, la variación de los factores o índices que forman parte del índice de severidad E_i y afectan al error global inicial, no modifica la mejora potencial del error global ya que afecta por igual al error global actual y al error global óptimo, por tanto la diferencia entre estos y el valor de referencia se mantiene constante.

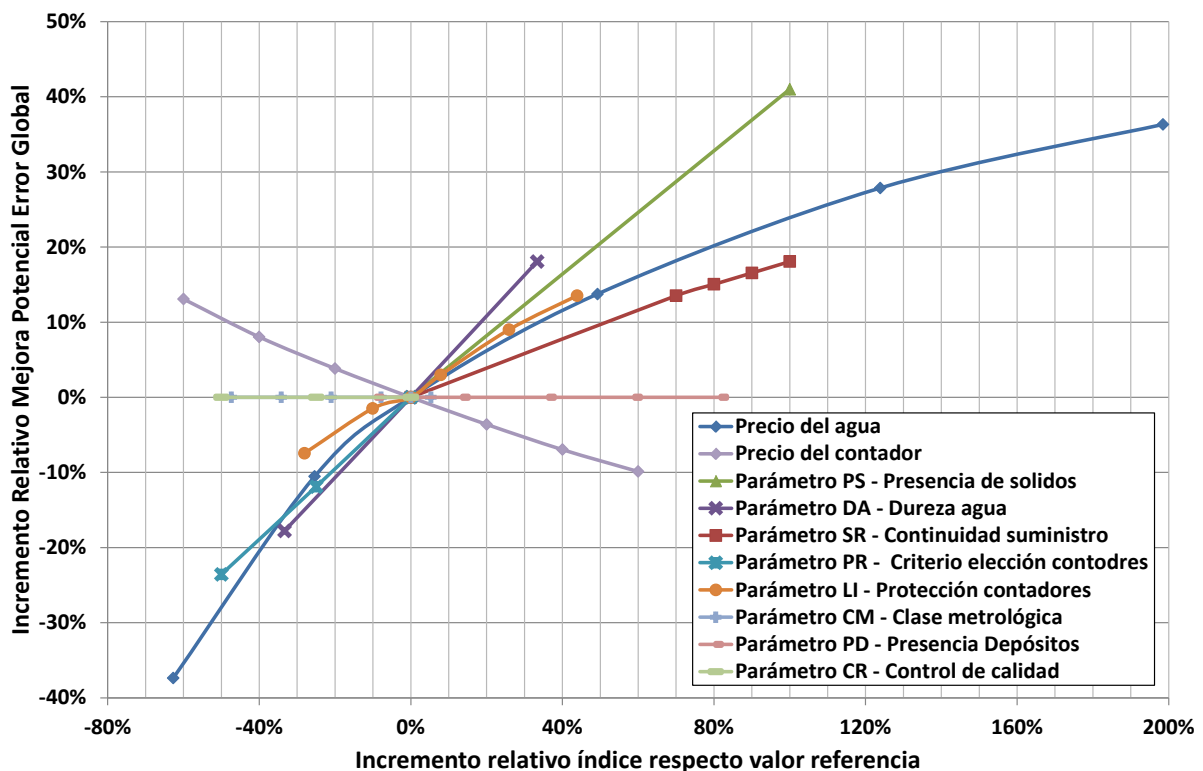


FIGURA 25. ANÁLISIS SENSIBILIDAD MEJORA POTENCIAL ERROR GLOBAL

5.1.4 Índices de severidad V_G y E_i

A continuación vamos a realizar un análisis de sensibilidad más genérico, modificando únicamente los valores de los índices de severidad V_G y E_i , y comparando el error estimado y el óptimo resultante, con el obtenido en condiciones ideales, es decir V_G y E_i igual a la unidad.

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica siguiente el error global estimado aumenta más rápido que el error global óptimo, conforme aumentan los índices de severidad. Por ende, la mejora potencial del error global también se incrementa linealmente.

También se puede apreciar que cuando las condiciones del abastecimiento son más favorables, V_G y E_i próximo o igual a la unidad, el error global estimado y el óptimo se encuentran más próximos entre sí, por tanto la mejora potencial del error es menor. Conforme las condiciones de la gestión técnica del abastecimiento son más desfavorables, índices de severidad cercanos a tres, la diferencia entre el error global estimado y el error global óptimo se incrementa linealmente, el margen de mejora del error global es tres veces superior que en condiciones ideales, lo que se traduce en un sobrecoste de la gestión técnica actual del parque de contadores casi tres veces superior al que tendría en condiciones ideales.

TABLA 139. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ÍNDICES DE SEVERIDAD

Valor índice		Error Global Estimado	Error Global Óptimo	Mejora Potencial Error	Incremento relativo respecto error referencia		
E_G	V_G				Error global estimado	Error global óptimo	Mejora potencial Error
1	1	-5.49%	-5.00%	-0.91%	0.00%	0.00%	0.00%
1.5	1.5	-8.23%	-7.14%	-1.52%	50.00%	42.74%	66.84%
2	2	-10.97%	-9.23%	-2.17%	100.00%	84.54%	137.96%
2.5	2.5	-13.71%	-11.29%	-2.85%	150.00%	125.73%	212.29%
3	3	-16.46%	-13.33%	-3.57%	200.00%	166.48%	290.89%

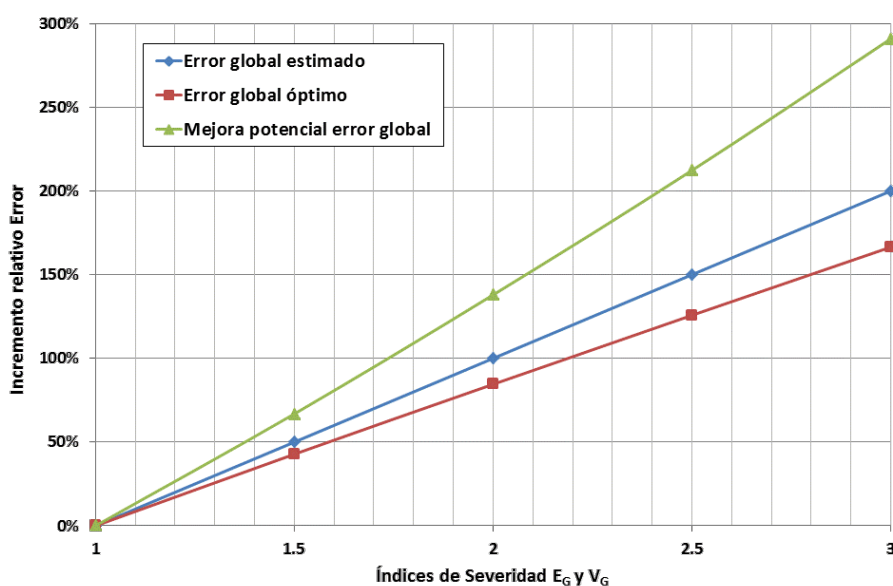


FIGURA 26. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ÍNDICES DE SEVERIDAD

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación vamos a comparar los resultados obtenidos del estudio real del parque de contadores de Aranda de Duero y la estimación obtenida utilizando la herramienta de evaluación preliminar.

5.2.1 Error Global actual

En el estudio del parque de contadores de Aranda de Duero, sólo se calculó el error global actual de los contadores domésticos con diámetro nominal 13, 15, 20 y 25 mm, ya que en el banco de ensayos únicamente se pueden ensayar contadores hasta diámetro nominal 25 mm, y estos contadores facturaron en conjunto el 96,8% del volumen total facturado por los abonados domésticos durante 2011.

Por tanto, para comparar los resultados obtenidos, en la aplicación solo consideraremos estos diámetros nominales, excluyendo los contadores con diámetros nominales 30 y 40 mm.

TABLA 140. RESULTADO ERROR GLOBAL CALCULADO EN EL ESTUDIO

Q nominal	DN	Error global	Volumen facturado		Error global ponderado contadores domésticos
m3/h	mm	%	m3	%	%
1,5	13/15	-11.18%	1108109	85.11%	
2,5	20	-9.49%	150821	11.58%	-10.80%
3,5	25	-4.17%	43056	3.31%	

TABLA 141. RESULTADO ERROR GLOBAL ESTIMADO CON LA HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN

Q nominal	DN	Error global	Volumen facturado		Error global ponderado contadores domésticos
m3/h	mm	%	m3	%	%
1,5	13	-12.98%	738734	57.04%	
1,5	15	-10.27%	375116	28.96%	
2,5	20	-9.6	140898	10.88%	-11.67%
3,5	25	-7.92	40375	3.12	

5.2.2 Error Global Óptimo

En este caso vamos a comparar los resultados obtenidos únicamente de los contadores domésticos con diámetros nominales de 13 y 15 mm. Ya que para el cálculo del error global óptimo del resto de los diámetros nominales en el estudio del parque de contadores sería necesario conocer los errores globales iniciales de los contadores, y no disponemos de esta información.

5.2.2.1 Comparación de resultados

Como se puede apreciar en la siguiente tabla los resultados obtenidos mediante la herramienta de evaluación preliminar son semejantes a los obtenidos en el estudio del parque de contadores.

TABLA 142. COMPARACIÓN ERRORES OBTENIDOS DN13/15

	DN	Error global óptimo
Herramienta de evaluación	DN13	-10.90%
	DN15	-10.75%
	Promedio DN13/15	-10.83%
Estudio	DN13/15	-11.00%

Capítulo VI

Conclusiones

6.1 CONCLUSIONES PRINCIPALES

El objetivo de este trabajo final de máster era desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones, que permitiera a los gestores de los abastecimientos conocer de manera aproximada la situación actual de la gestión técnica de su parque de contadores sin necesidad de realizar una inversión inicial en ensayos de contadores, ni mediciones de patrones de consumo de una muestra representativa de la población. Únicamente con la información contenida en su sistema de información comercial.

Esta herramienta de evaluación preliminar debía incluir los factores que mayor incidencia tienen tanto en el error global inicial, como en la velocidad de degradación de la curva de error de los contadores, así como los métodos más resolutivos de optimización económica que permiten calcular el tiempo óptimo que un contador debe permanecer instalado para maximizar los beneficios totales netos del abastecimiento. El objetivo último era predecir el error global actual y el error global óptimo del parque de contadores de cualquier, que permita estimar de manera orientativa el sobrecoste de la gestión actual.

Para poder comparar los resultados obtenidos, en primer lugar se realizó un estudio real del parque de contadores del municipio de Aranda de Duero con ensayos de contadores usados y mediciones de patrones de consumo que permitieron calcular el error global del parque de contadores domésticos. Posteriormente, utilizando los datos del sistema de información comercial del mismo abastecimiento, desarrollamos un ejemplo de aplicación de la herramienta de evaluación preliminar utilizando los datos contenidos en el sistema de información comercial del mismo abastecimiento.

En cuanto a resultados obtenidos, la herramienta ha sido capaz de estimar el error global actual y el error global óptimo con un error menor el 1% respecto al estudio real. Los resultados obtenidos utilizando esta herramienta deben ser orientativos, y deben ayudar a tomar una decisión sobre la conveniencia o no, desde el punto de vista económico, de realizar una inversión en el estudio real de un parque de contadores que les permita optimizar su gestión. En ningún caso debe utilizarse como sustituto de un estudio real del parque de contadores, ya que al tratarse de una herramienta de evaluación preliminar, la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos puede ser considerable.

Además esta herramienta no es capaz de predecir comportamientos anómalos de determinados contador ,como el modelo 10 con una antigüedad menor de 5 años, que a pesar de ser el contador instalado más recientemente, tienen una velocidad de degradación casi tres veces superior que el mismo modelo de contador con una antigüedad entre 5 y 10 años. Sospechamos que esto es debido a que los fabricantes, a pesar de que aparentemente se trata del mismo modelo ya que tiene el mismo nombre y apariencia externa, están modificando las características constructivas internas con el objetivo de aumentar sus beneficios, utilizando componentes mecánicos de peor calidad, que son más sensibles al desgaste de las piezas, y por tanto con una velocidad de degradación de la curva del error de medición mucho mayor. La única forma de detectar estos comportamientos anómalos es ensayando los contadores en un banco de ensayo.

Tanto en el estudio real del parque de contadores, como en la herramienta de evaluación, el error global actual del parque de contadores no difiere mucho del error global

óptimo (desde el punto de vista de optimización de la vida útil de un contador). Por lo que la diferencia entre estos y por tanto el sobrecoste calculado no es elevado. En el estudio realizado de los patrones de consumo obtenidos en campo se aprecia que en los edificios de vivienda hay casi un 10% de volumen registrado que se consume por debajo de los 18 l/h debido seguramente a fugas en el interior de las viviendas. Incluso si se instalaran contadores nuevos de clase B, estos no serían capaces de registrar estos caudales tan bajos o los registran con un error muy elevado.

Por tanto la solución más óptima, en este caso, no se obtiene calculando el tiempo óptimo de renovación para que el contador maximice los beneficios, sino instalando contadores volumétricos de clase metrológica C, capaces de registrar consumos a bajos caudales. Para detectar estas situaciones es necesario realizar un estudio representativo de la muestra de los patrones de consumo de los abonados del abastecimiento. De ahí la importancia de realizar un estudio en profundidad del parque de contadores donde se detectarán estas situaciones difíciles de predecir.

A menudo optimizar la vida útil de un parque de contadores calculando el tiempo óptimo de renovación de los contadores, no implica que esta solución sea la más óptima. De nada sirve calcular el tiempo óptimo de renovación de un contador para que maximice los beneficios netos al abastecimiento, si la elección de la clase metrológica del contador o el dimensionado del contador no es el correcto, ya que las pérdidas económicas debidas el error de medición son superiores a los beneficios económicos que puede aportar sustituir un contador en su periodo óptimo de renovación. Esto pone de relieve el carácter multidisciplinar de la gestión integral de un parque de contadores.

El análisis de sensibilidad muestra que el parámetro que mayor efecto tiene en la Mejora Potencial del Error Global es el precio de venta del agua, Cuanto mayor sea en precio del agua más diferencia habrá entre el error global estimado y el óptimo. Por otro lado cuando las condiciones del abastecimiento son más favorables, V_G y E_I próximo o igual a la unidad, el error global estimado y el óptimo se encuentran más próximos entre sí, por tanto la mejora potencial del error es menor (-0.91%). Conforme las condiciones de la gestión técnica del abastecimiento son más desfavorables, índices de severidad cercanos a tres, la diferencia entre el error global estimado y el error global óptimo se incrementa linealmente, el margen de mejora del error global es tres veces superior que en condiciones ideales (-3.57%), lo que se traduce en un sobrecoste de la gestión técnica actual del parque de contadores casi tres veces superior al que tendría en condiciones ideales.

Considero que esta herramienta puede de gran utilidad en muchos sistemas de distribución de agua (no solo en España sino también en el ámbito internacional), especialmente en aquellos de tamaño medio, que por sus condiciones, no disponen de los suficientes recursos para abordar un estudio del parque de contadores en detalle.

Esta herramienta servirá para identificar aquellos abastecimientos, en los que las circunstancias propias del abastecimiento, especialmente aquellas relacionadas con el precio de venta del agua, no aconsejan la realización de un estudio que suele ser largo en el tiempo y costoso en términos económicos. Dichos estudios difícilmente se rentabilizan con los retornos provenientes de una mejor gestión y resultará más conveniente aplicar otras estrategias.

6.2 APORTES DEL TRABAJO

El principal aporte de este trabajo final de máster ha sido desarrollar, en primicia, una herramienta que permita realizar una evaluación preliminar de la gestión técnica del parque de contadores de cualquier abastecimiento, mediante la estimación del global actual y el error global óptimo del parque de contadores. Esta herramienta además muestra una sensibilidad a las características propias de cada abastecimiento, ya que utiliza los datos de consumo mensual de los abonados y la antigüedad de los contadores instalados, estos datos están registrados en el sistema de información comercial. Además, tiene en cuenta determinados factores, que afectan error inicial de un contador y a la velocidad de degradación de la curva de error de un contador. Estos factores variarán en magnitud adaptándose a las características de cada abastecimiento.

Uno de los aportes específicos ha sido asignar un error global inicial y una velocidad de degradación de este error en función del rango de consumo de los abonados. Este rango de consumo depende del caudal nominal del contador. Esto pone de relevancia la importancia del dimensionado de un contador, ya que cuanto más tiempo trabaje un contador cerca de su punto óptimo de funcionamiento, es decir, a su caudal nominal, menor será su error de medición y la velocidad de degradación de la curva del error.

Otro de los aportes de la herramienta ha sido la estructuración de los datos en forma matricial, según rango de consumo y antigüedad de los contadores, lo que permite estimar el error global y óptimo de cada grupo en particular. Esto permite evaluar específicamente cada grupo, e identificar aquellos grupos que poseen un error global actual mayor que el error global óptimo, sobre los que habría que actuar preferentemente.

Otra aportación derivada de la anterior ha sido la definición de la Mejora Potencial del Error Global Estimada (MPEGE) como la suma de los términos negativos que se obtienen de restar el error global actual al error global óptimo entre cada grupo o celda de la matriz. Lo novedoso de este método es que no tiene en cuenta los grupos o celdas en los que el error global actual es menor que el error global óptimo, es decir, cuando la diferencia entre estos errores es positiva. En este caso no sería necesaria la sustitución de estos grupos de contadores ya que el error global no ha alcanzado al error óptimo, y por tanto no deben ser considerados en la mejora potencial del error. El resultado obtenido mediante este nuevo método es de mayor magnitud que si restamos únicamente el error global actual y el error global óptimo, ya que el nuevo método no considera los grupos cuya diferencia entre los errores sea positiva.

6.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La herramienta de evaluación preliminar desarrollada en este trabajo tiene una capacidad de mejora significativa.

Este trabajo ha sido una primera aproximación al desarrollo de esta herramienta de evaluación preliminar y nos hemos centrado básicamente en el procedimiento seguido. La herramienta únicamente ha sido probada con los resultados obtenidos del estudio del parque de contadores de Aranda de Duero. Lógicamente, no es suficiente para desarrollar completamente una herramienta de este tipo. Habrá que testarla con otros estudios realizados en otros abastecimientos con unas características diferentes para probar su funcionamiento. Es posible que los parámetros que forman parte de los índices de severidad necesiten una reasignación de pesos, o una modificación de los valores empíricos asociados al error global inicial y la velocidad de degradación.

Por otro lado, en la herramienta de evaluación se podrían incluir los contadores de uso en comercios y en industrias. La metodología a seguir para la evaluación preliminar será la misma, únicamente se cambiarán algunos parámetros que forman parte del índice de severidad que afecta al ritmo de deterioro de los contadores y al error global inicial. También se modificará el porcentaje del tiempo de consumo de los abonados, que se utiliza para definir los rangos de consumo según el caudal nominal de contador, para adaptarlo a las características de estos usuarios.

En esta primera aproximación, para representar en la herramienta la variedad de modelos de cada diámetro nominal que se utilizan en la realidad, se ha simplificado a un único modelo. Este único modelo se asume que tiene las características promedias de los modelos utilizados en la realidad. En futuros desarrollos es posible que se introduzcan más modelos del mismo diámetro nominal con distintas características, para representar mejor la realidad del abastecimiento.

Capítulo VII

Referencias Bibliográficas

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Water Works Association. Water meters – Selection, Installation, Testing and Maintenance. AWWA Manual M6. 1999.

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., García Serra J., López, G., Martínez, J. (1998). *Metodología para la evaluación del error de Medición de un Parque de Contadores*. Ingeniería del agua. pp 55-66. Dec. 1998.

Arregui F.J. (2002). Cálculo de la incertidumbre en la estimación del error del parque de contadores. Internal Document. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia.

Arregui F.J., Palau C.V., Gascón L, Peris O. (2003). *Evaluating domestic water meter accuracy. A case study*. Pumps, electromechanical devices and systems. Applied to urban water management. Balkema. Pp 343-352.

Arregui F.J., Cabrera E. Jr., Cobacho R. (2007). *Integrated Water Meter Management*. IWA Publishing.

Arregui F.J., Martínez B., Soriano J., Parra J.C.(2009). *Tools for improving decision making in water meter Management*. Waterloss 2009. Ciudad del Cabo, Sudáfrica.

Arregui F.J., Cobacho R., Soriano J., García-Serra J. (2011). *Calculating the optimum level of apparent losses due to water meter inaccuracies*. Waterloss 2010Sao Paulo, Brasil.

Bowen P.T, Harp J.F., Hendricks J.E., Shoeleh M. (1991). *Evaluating Residential Meter Performance*. Ed American Water Works Association Research Foundation AWWARF; Denver, CO.

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

Criminisi A., Fontanazza CM., Freni CM., La Loggia G. (2009). *Evaluation of an apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply*. Water Science and Technology, Vol. 60, Issue 9, pp. 2373-2382.

Cobacho R, Arregui F, Cabrera E., Cabrera Jr E, (2008). *Private water storage tanks: evaluating their inefficiencies*. Journal Water Practice and Technology of IWA.

Fantozzi M., Crimisini 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*. IWA International Specialised Conference 'Water Loss 2009', CapeTown April 2009.

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.

Hudson, W.D (1964). *Reduction of Unaccounted for Water*. Journal of AWWA, Febrero 1964; pp143-148.

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

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

Anexo I

Distribución de consumos abonados domésticos

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN13

TABLA 143. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN13

		>0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30	>30	
AÑO	DN	m3/mes											
2009	13	Nº Usuarios	1179	1603	1500	1042	597	347	236	150	101	64	137
		%	16,9%	23,0%	21,6%	15,0%	8,6%	5,0%	3,4%	2,2%	1,5%	0,9%	2,0%
2010	13	Nº Usuarios	1269	1707	1481	991	561	334	216	131	93	53	150
		%	18,2%	24,4%	21,2%	14,2%	8,0%	4,8%	3,1%	1,9%	1,3%	0,8%	2,1%
2011	13	Nº Usuarios	1249	1637	1446	969	593	315	210	132	85	62	143
		%	18,3%	23,9%	21,1%	14,2%	8,7%	4,6%	3,1%	1,9%	1,2%	0,9%	2,1%

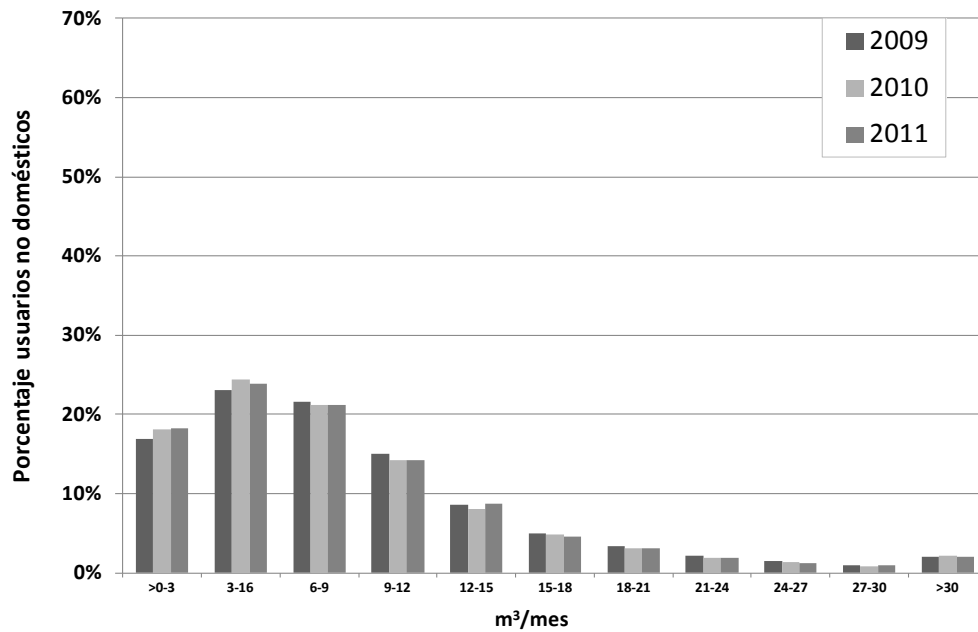


FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN13.

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN15

TABLA 144. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN15

AÑO	DN		<3	3-16	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30	>30
			m3/mes										
2009	15	Nº Usuarios	475	667	624	428	225	119	75	40	27	13	46
		%	17,3%	24,4%	22,8%	15,6%	8,2%	4,3%	2,7%	1,5%	1,0%	0,5%	1,7%
2010	15	Nº Usuarios	488	785	749	459	277	145	89	52	39	16	51
		%	15,5%	24,9%	23,8%	14,6%	8,8%	4,6%	2,8%	1,7%	1,2%	0,5%	1,6%
2011	15	Nº Usuarios	454	789	773	531	327	183	102	53	44	20	74
		%	13,6%	23,6%	23,1%	15,9%	9,8%	5,5%	3,0%	1,6%	1,3%	0,6%	2,2%

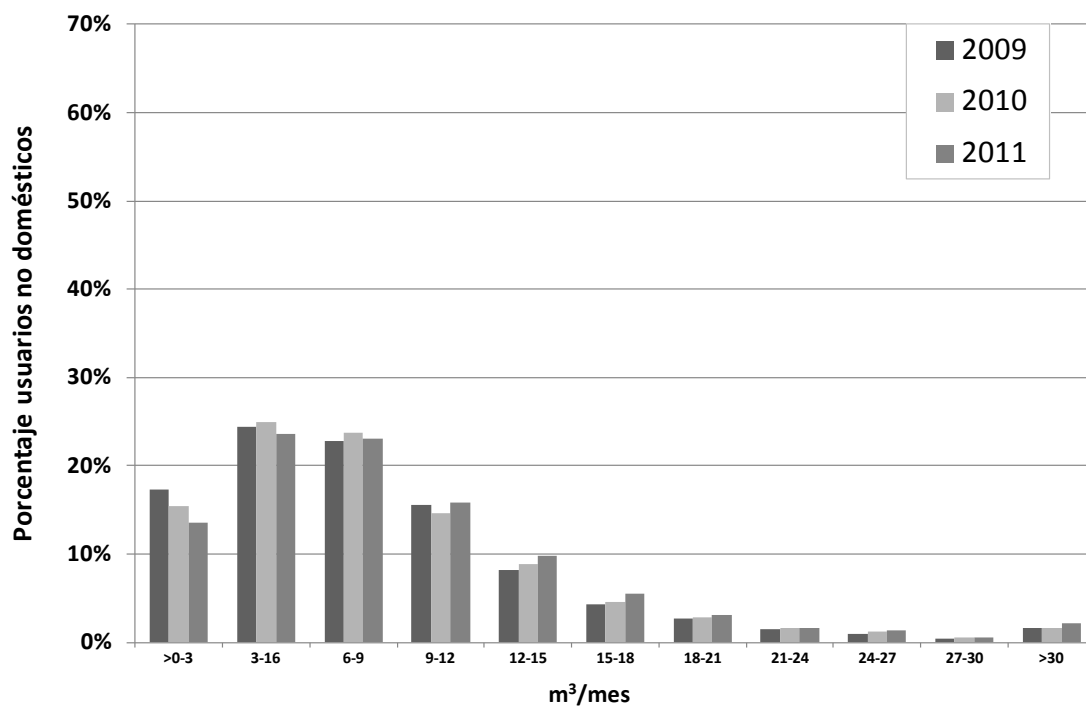


FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN15.

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN20

TABLA 145. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN20.

AÑO	DN	m3/mes	>0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	>100
			Nº Usuarios	%	Nº Usuarios	%	Nº Usuarios	%	Nº Usuarios	%	Nº Usuarios	%	Nº Usuarios
2009	20	Nº Usuarios	241	142	38	25	10	17	7	4	3	4	35
		%	45,8%	27,0%	7,2%	4,8%	1,9%	3,2%	1,3%	0,8%	0,6%	0,8%	6,7%
2010	20	Nº Usuarios	252	152	31	27	21	12	4	6	1	2	23
		%	47,5%	28,6%	5,8%	5,1%	4,0%	2,3%	0,8%	1,1%	0,2%	0,4%	4,3%
2011	20	Nº Usuarios	244	131	40	30	18	14	10	5	7	1	39
		%	45,3%	24,3%	7,4%	5,6%	3,3%	2,6%	1,9%	0,9%	1,3%	0,2%	7,2%

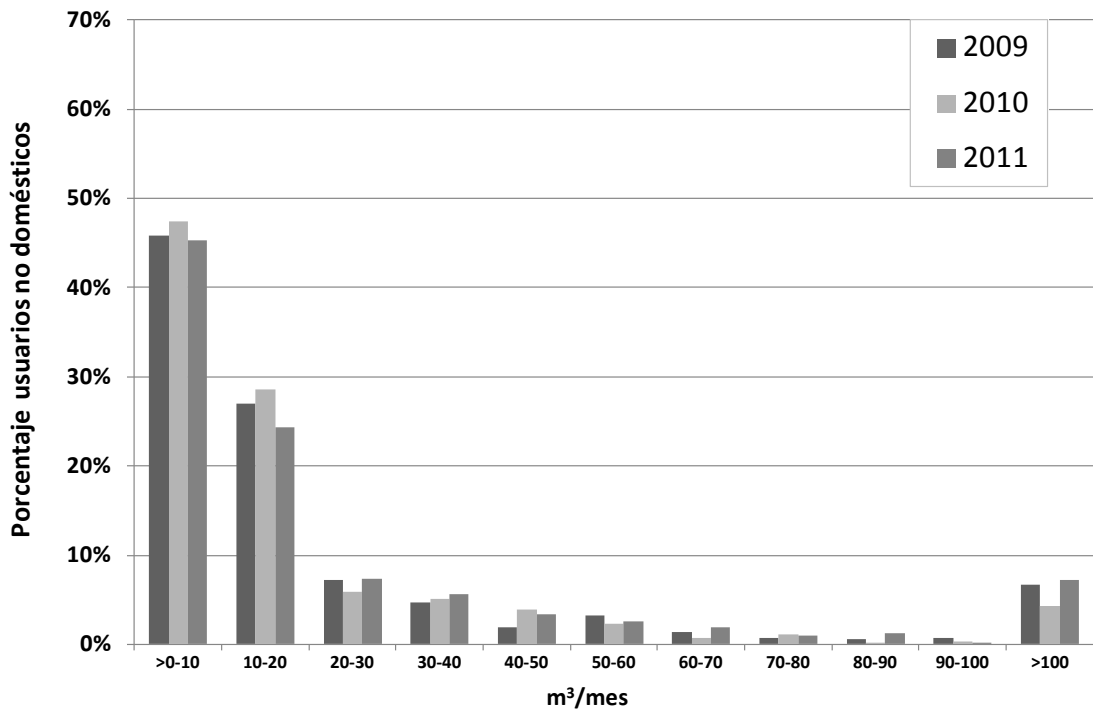


FIGURA 29. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN20.

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN25

TABLA 146. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN25.

AÑO	DN	Nº Usuarios	m3/mes										
			>0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200	>200
2009	25	Nº Usuarios	21	18	12	5	3	2	1	0	1	1	8
		%	29,2%	25,0%	16,7%	6,9%	4,2%	2,8%	1,4%	0,0%	1,4%	1,4%	11,1%
2010	25	Nº Usuarios	32	15	7	4	2	3	2	2	0	1	5
		%	43,8%	20,5%	9,6%	5,5%	2,7%	4,1%	2,7%	2,7%	0,0%	1,4%	6,8%
2011	25	Nº Usuarios	19	16	13	5	2	3	3	1	1	2	11
		%	25,0%	21,1%	17,1%	6,6%	2,6%	3,9%	3,9%	1,3%	1,3%	2,6%	14,5%

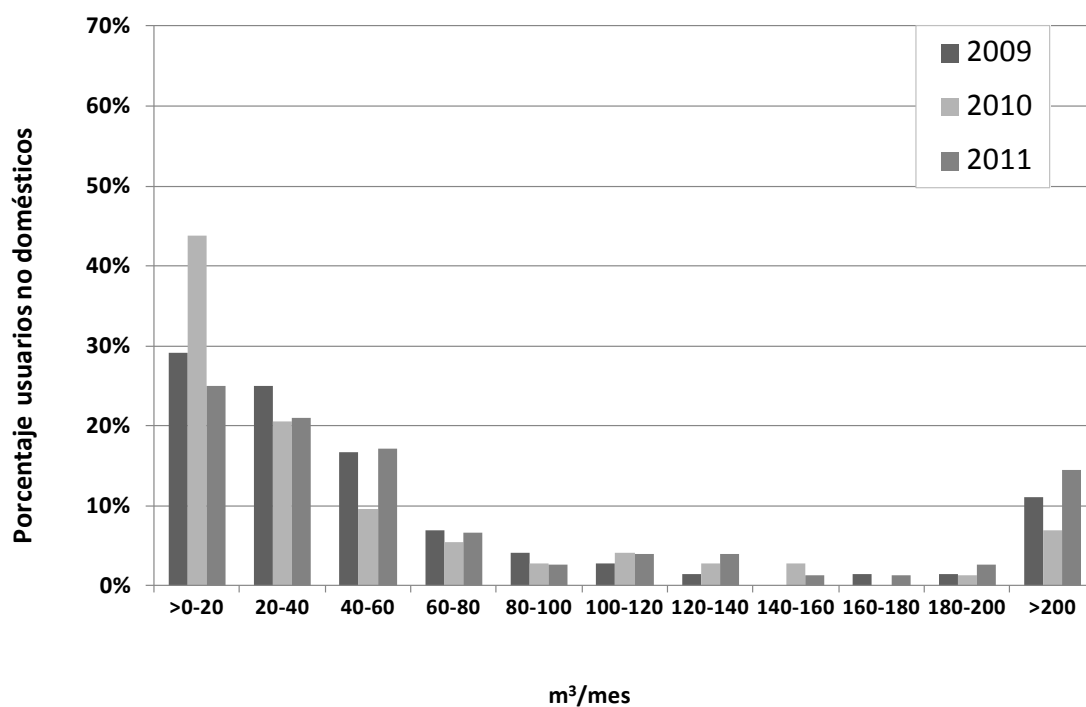


FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN25.

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN30

TABLA 147. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN30

AÑO	DN		m3/mes										
			>0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400	400-450	450-500	>500
2009	25	Nº Usuarios	2	4	3	1	1	2	0	0	1	1	0
		%	13,3%	26,7%	20,0%	6,7%	6,7%	13,3%	0,0%	0,0%	6,7%	6,7%	0,0%
2010	25	Nº Usuarios	3	3	5	3	0	0	2	1	0	0	0
		%	17,6%	17,6%	29,4%	17,6%	0,0%	0,0%	11,8%	5,9%	0,0%	0,0%	0,0%
2011	25	Nº Usuarios	3	2	4	4	1	0	0	2	0	0	0
		%	18,8%	12,5%	25,0%	25,0%	6,3%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	0,0%

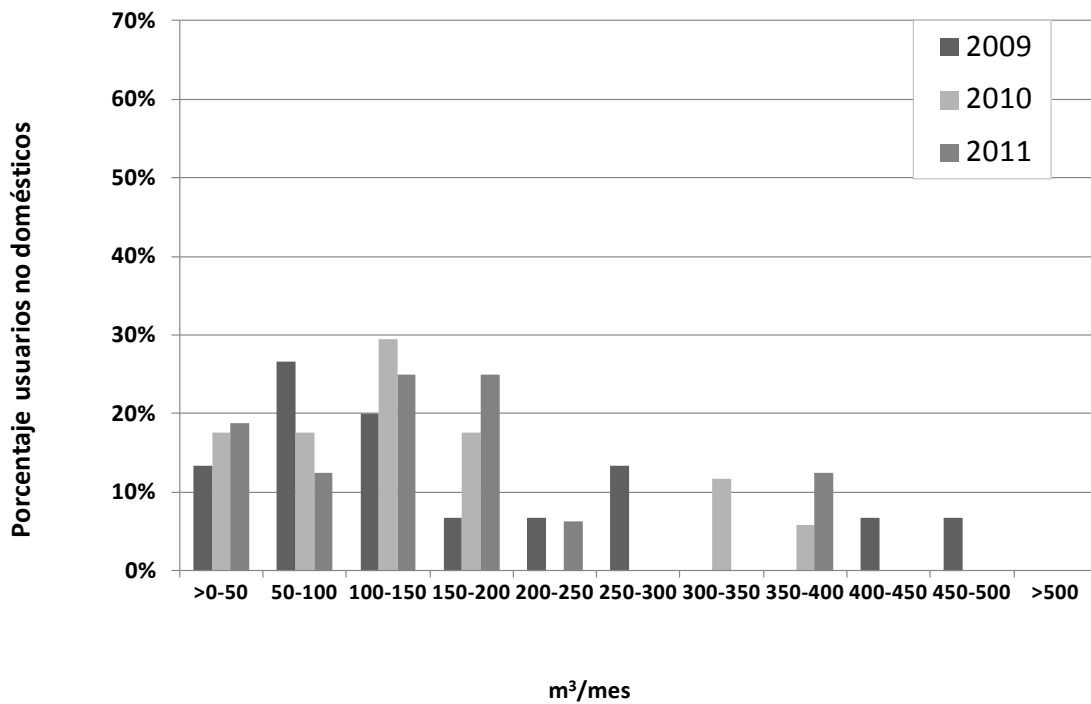


FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN30

DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS DN40

TABLA 148. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN40

AÑO	DN		>0-100	100-200	200-300	300-400	500-600	600-700	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	
			m ³ /mes										
2009	40	Nº Usuarios	3	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1
		%	37,5%	12,5%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	12,5%	12,5%	0,0%	12,5%
2010	40	Nº Usuarios	1	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1
		%	11,1%	11,1%	11,1%	22,2%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%
2011	40	Nº Usuarios	0	1	0	0	0	1	3	0	1	0	1
		%	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	42,9%	0,0%	14,3%	0,0%	14,3%

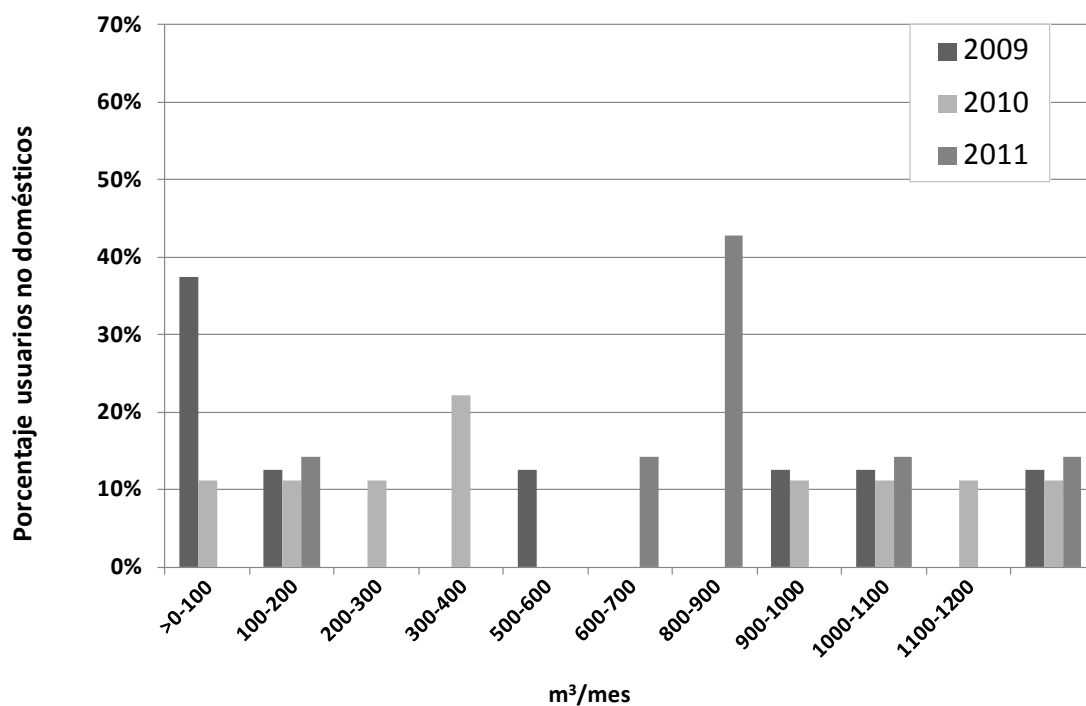


FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS. PROMEDIO MENSUAL DN40

Anexo II

Ensayos de contadores usados

CONTADORES DN13/DN15

TABLA 149. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
07-1559279- E382	60,0	-100,0	-100,0	-100,0	2,5	2,2	2,5
09-1135811- E382	15,0	-100,0	-0,9	0,2	0,8	1,2	1,7
09-1135844- E382	10,0	-39,1	-0,9	1,3	0,8	1,1	1,7
08-1435755- E383	15,0	-100,0	-47,1	-1,9	1,9	0,6	1,2
091078222- E383	60,0	-100,0	-100,0	-100,0	0,8	0,4	0,7
06-1381968- E385	20,0	-100,0	2,9	1,8	0,9	-0,7	-0,5
07-175368- E385	10,0	-11,6	-2,1	1,1	0,5	1,1	1,7
08-1209173- E385	20,0	-100,0	4,6	5,2	3,0	2,0	1,5
09-1178009- E385	15,0	-100,0	-0,1	-0,5	-0,3	0,4	0,2
08-1435879- E386	25,0	-100,0	1,1	3,7	2,0	2,5	2,6
07-1162092- E388	30,0	-100,0	-100,0	1,5	1,2	0,3	0,7
08-1209175- E388	40,0	-100,0	-100,0	5,5	3,2	2,4	2,5
07-1162175- E389	40,0	-100,0	-100,0	3,3	1,1	0,6	-0,1
07-1162226- E389	35,0	-100,0	-100,0	1,9	2,1	1,8	1,9
07-1162032- E396	15,0	-100,0	-1,5	2,6	2,3	1,1	0,9
08-1435878- E396	10,0	-12,7	0,2	0,3	0,5	0,8	1,3
07-1163082- E398	30,0	-100,0	-100,0	0,3	0,5	2,0	1,5
06-1528255- E399	15,0	-100,0	-7,6	-0,8	-0,8	-0,3	0,2
07-1161978- E399	25,0	-100,0	-52,1	3,3	1,2	1,2	1,2
10-1176033- E399	80,0	-100,0	-100,0	-100,0	-1,2	-1,2	0,1
06-1828624- E401	10,0	-22,0	-1,3	-1,1	-1,2	-1,4	-0,5
08-1083891- E401	80,0	-100,0	-100,0	-100,0	-0,1	-0,2	0,9
08-1832771- E401	10,0	-35,0	1,0	0,6	1,6	1,9	2,0
09-1593849- E401	80,0	-100,0	-100,0	-100,0	1,5	1,5	2,4
06-1882214- E403	10,0	-5,1	3,7	3,3	4,0	2,7	2,4
08-1067845- E403	40,0	-100,0	-100,0	0,3	0,4	0,9	1,2
08-1832954- E403	300,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	2,3	2,7
07-1161815- E405	50,0	-100,0	-100,0	0,5	-0,1	-1,2	-1,3
08-1083862- E405	15,0	-100,0	-4,5	-0,4	0,4	1,1	1,9
07-1162156- E407	10,0	-11,0	-2,8	-2,0	-1,8	-2,7	-2,6
Promedio	39,2	-81,2	-46,9	-19,0	-2,4	0,8	1,1

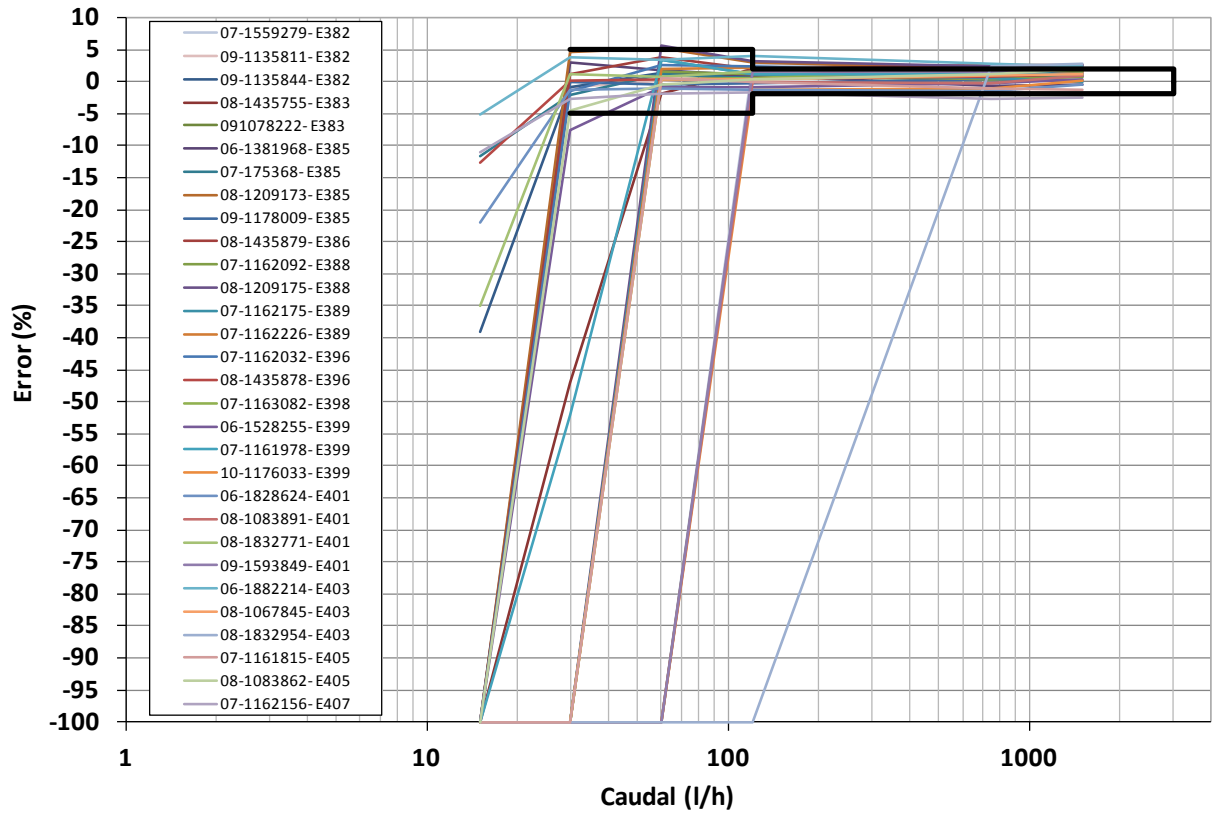


FIGURA 33. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS

TABLA 150. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
03-1455862- E382	10,0	-5,2	3,8	6,8	6,7	4,0	3,1
03-1360108- E383	10,0	-9,4	-1,1	-1,0	-1,0	-1,1	-0,8
04-1333668- E383	15,0	-100,0	-0,1	1,6	0,0	-0,4	0,9
03-1344401- E386	10,0	-17,1	-1,3	1,5	0,2	-1,0	-0,5
03-1561644- E386	10,0	-11,1	1,3	2,3	2,3	1,2	1,4
05-1270168- E386	10,0	-13,1	-0,6	-0,2	-0,5	-2,5	-0,8
05-1501387- E386	10,0	-10,1	-1,5	0,1	-0,7	-0,7	-0,4
02-1557557- E387	10,0	-18,0	-2,2	-0,4	-0,1	-0,4	-1,3
04-1333703- E387	35,0	-100,0	-100,0	-0,4	-0,1	-0,7	0,0
05-1575440- E387	10,0	-13,0	-0,2	2,5	2,9	1,0	1,0
05-1922277- E387	10,0	-26,0	-4,2	-2,4	-2,1	-3,5	-3,7
05-1575441- E388	10,0	-34,0	-2,1	1,5	0,2	-1,5	0,5
03-1238495- E389	15,0	-100,0	2,5	3,2	1,0	-0,4	-0,6
03-1344402- E389	15,0	-100,0	-1,4	1,5	1,2	-0,3	-0,8
03-1344403- E389	15,0	-100,0	0,4	1,5	1,2	-0,7	-0,7
05-1659089- E394	10,0	-13,8	-2,5	-2,9	-1,8	-1,9	-0,9
03-1344406- E396	10,0	-21,0	0,6	2,2	0,9	-0,9	1,1
04-1333498- E396	10,0	-10,0	-2,6	-0,5	-0,9	-0,9	-0,7
05-1764642- E398	15,0	-100,0	-5,9	-3,7	-1,9	-0,5	0,2
06-1828730- E399	15,0	-100,0	0,5	1,2	0,0	0,8	1,4
07-1093494- E399	15,0	-100,0	-3,1	-2,4	-2,9	-1,7	-1,6
06-1061620- E400	10,0	-22,0	-5,4	-5,3	-2,9	-2,9	-2,4
05-1270421- E401	10,0	-5,0	1,3	0,4	0,1	0,1	0,7
00-1261526- E403	15,0	-100,0	-10,3	-0,6	0,8	-1,7	-2,2
03-1238542- E403	10,0	-25,1	-4,3	0,3	0,4	-1,8	-1,3
05-1724682- E404	10,0	-14,1	-0,1	2,0	2,4	1,2	1,5
03-1383238- E405	10,0	-9,0	-0,7	-0,8	-1,3	-2,1	-1,8
03-1383265- E405	10,0	-6,1	2,9	3,1	2,5	0,5	-0,1
03-1632421- E405	10,0	-6,1	1,3	1,9	-0,1	-1,2	-0,5
03-1238541- E407	10,0	-20,0	0,0	3,7	2,9	2,0	1,7
Promedio	12,2	-40,3	-4,5	0,6	0,3	-0,6	-0,3

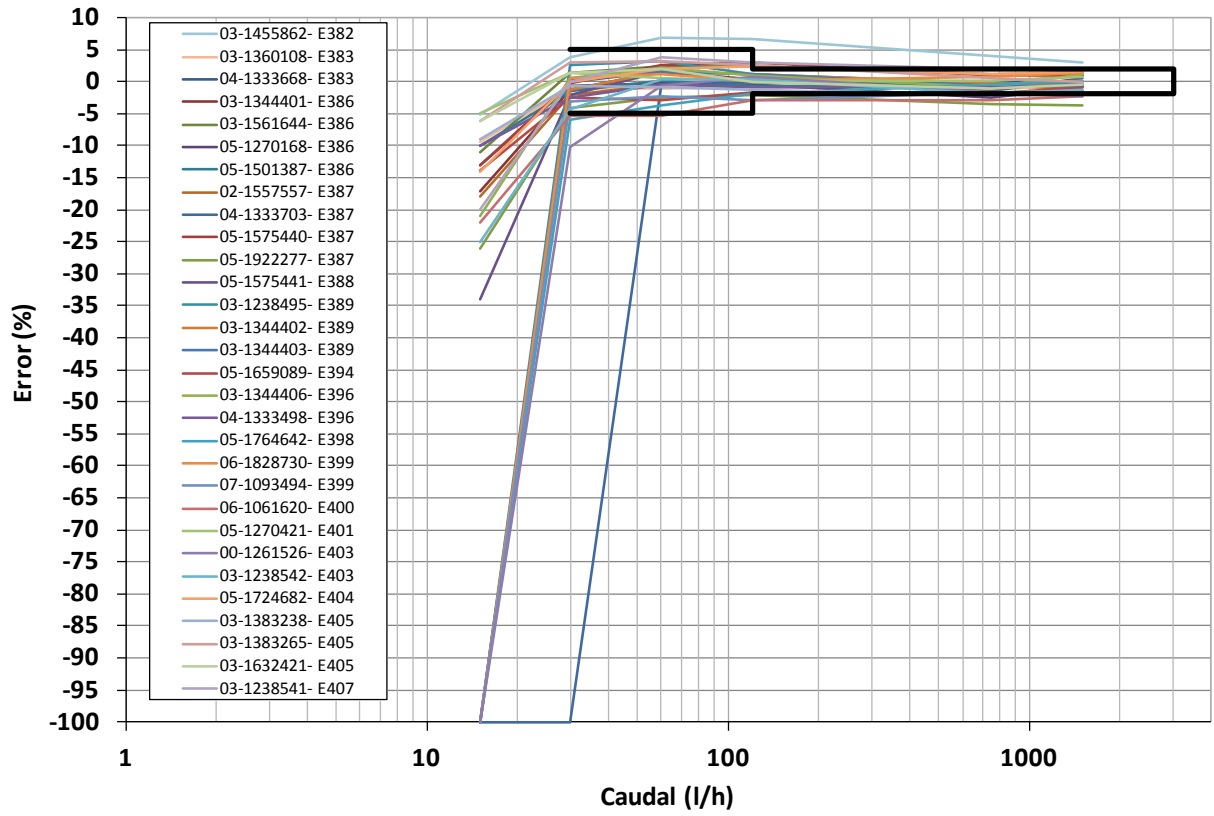


FIGURA 34. CURVA ERROR MODELO 10 CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

TABLA 151. CURVA ERROR MODELO 11. CLASE B. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
990976309- E381	15,0	-100,0	-0,2	-0,3	2,3	-1,1	-0,5
990976334- E384	15,0	-100,0	-10,1	3,7	0,9	-3,5	-2,8
990976175- E385	15,0	-100,0	-0,1	3,2	1,1	-0,7	-0,5
990976092- E387	15,0	-100,0	-0,2	-0,4	-1,1	0,6	0,2
990976093- E388	10,0	-20,0	-0,1	-0,4	2,1	-0,6	-0,7
980328118- E393	10,0	-10,2	4,9	3,1	-0,4	0,8	0,9
980328119- E396	20,0	-100,0	-0,6	0,7	-1,1	0,6	0,9
00-1448883- E400	15,0	-100,0	0,2	3,8	0,6	-2,2	-1,9
980378530- E404	15,0	-100,0	3,6	2,6	0,6	0,2	1,0
990976376- E404	15,0	-30,7	-0,1	3,0	-0,5	-1,7	-1,2
980378566- E406	15,0	-100,0	1,9	2,6	0,3	-2,0	0,0
990976325- E406	15,0	-100,0	-0,2	2,6	1,3	-0,8	0,0
990976367- E406	15,0	-100,0	1,5	3,6	2,1	-1,2	-0,8
980378508- E407	15,0	-100,0	1,7	1,4	-0,7	-1,8	0,3
980378554- E407	15,0	-100,0	4,8	3,1	0,2	-0,2	0,6
Promedio	14,7	-84,1	0,5	2,1	0,5	-0,9	-0,3

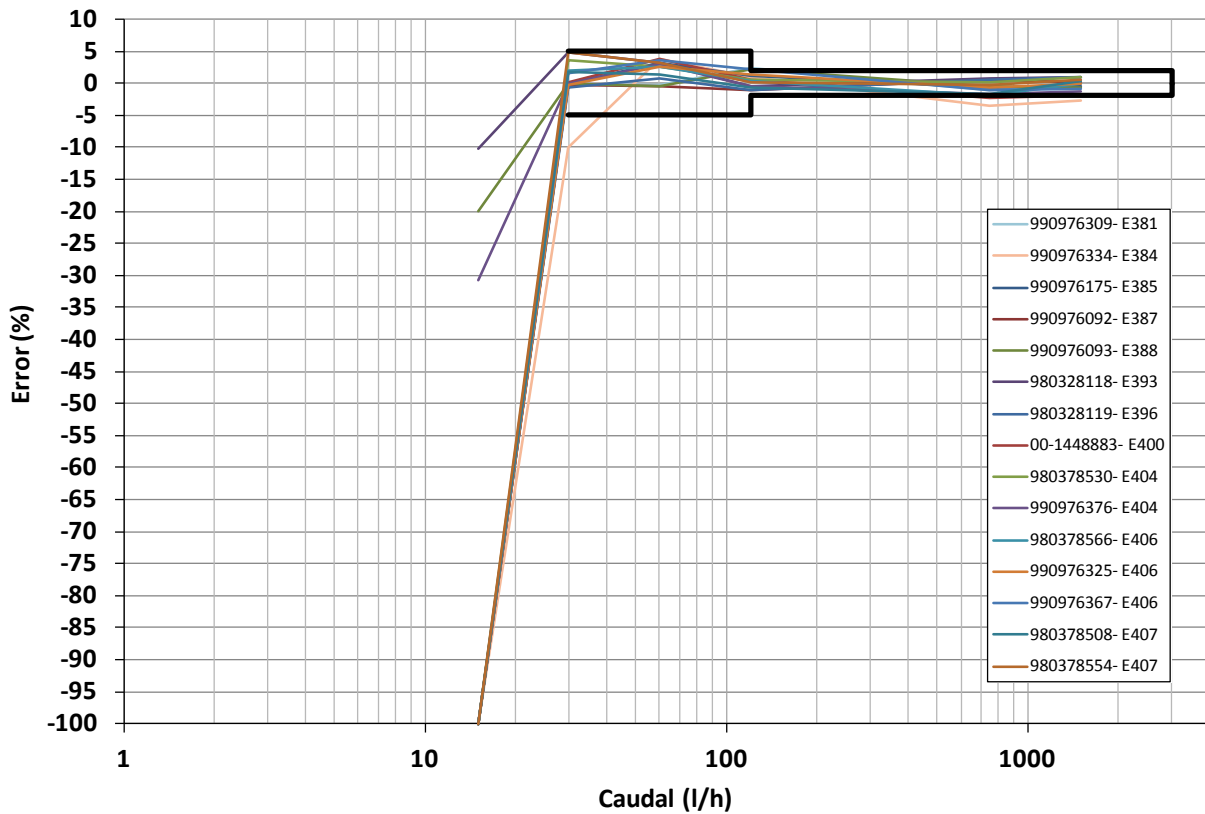


FIGURA 35. CURVA ERROR MODELO 11. CLASE B. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

TABLA 152. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
L947855- E380	10,0	-10,0	-0,1	-0,3	-1,0	-0,5	0,7
L997037- E380	15,0	-100,0	-10,1	-0,3	-1,0	-0,5	0,7
L997038- E380	25,0	-100,0	-20,1	-10,3	-1,0	-1,5	-0,8
L997048- E380	15,0	-100,0	-10,1	-0,3	-1,0	-2,5	-0,8
J985149- E381	15,0	-100,0	-10,2	-0,3	-1,7	-2,2	-1,1
K028769- E381	15,0	-100,0	-20,2	-10,3	-2,4	-1,1	-0,2
L330062- E382	15,0	-100,0	-3,5	-0,7	-1,2	-1,0	0,2
L488398- E383	15,0	-100,0	-0,1	-0,4	-1,0	0,1	0,7
J837184- E384	20,0	-100,0	-20,1	-0,3	-1,8	-0,5	0,0
K034014- E384	20,0	-100,0	-10,1	-0,3	-1,3	0,9	1,7
L298004- E384	20,0	-100,0	-30,1	-10,3	-3,1	-0,7	1,2
L330057- E384	20,0	-100,0	-20,1	-0,3	0,1	-0,2	1,5
L488485- E388	15,0	-100,0	-30,1	-0,4	-0,8	-1,4	-0,6
J985151- E397	20,0	-100,0	-40,0	-0,3	-1,0	-2,5	-1,9
K066314- E397	20,0	-100,0	-10,0	-2,8	-1,0	-1,5	0,7
K066328- E397	15,0	-100,0	0,0	-0,3	-1,0	-2,0	-1,4
J751705- E402	15,0	-100,0	-4,4	2,0	-0,4	-1,3	-1,3
K563905- E406	15,0	-100,0	-8,1	0,5	-0,7	0,1	1,4
H650730- E407	15,0	-100,0	-8,0	-1,3	-0,8	-1,6	-1,0
Promedio	16,8	-95,3	-13,4	-1,9	-1,2	-1,0	0,0

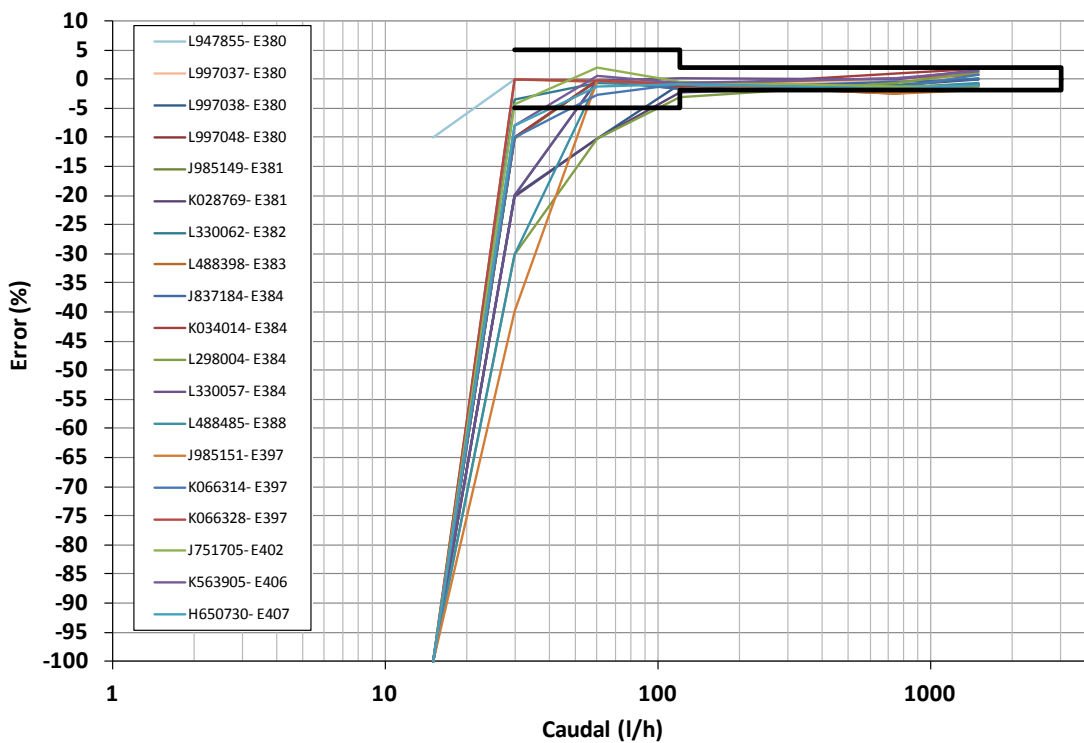


FIGURA 36. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS

TABLA 153. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
H444491- E380	15,0	-100,0	-4,1	1,6	-1,0	0,5	0,7
H444495- E381	15,0	-100,0	-6,2	-0,3	-0,8	2,2	3,3
H444498- E381	15,0	-100,0	-0,2	-0,3	0,2	0,0	1,0
H743881- E397	10,0	-9,9	6,0	-0,3	0,0	-0,4	0,4
H743886- E397	15,0	-100,0	5,0	-0,3	-1,0	-0,4	-0,1
H303550- E400	10,0	-30,0	-4,1	-4,4	-3,1	-1,6	0,4
Promedio	13,3	-73,3	-0,6	-0,7	-0,9	0,1	0,9

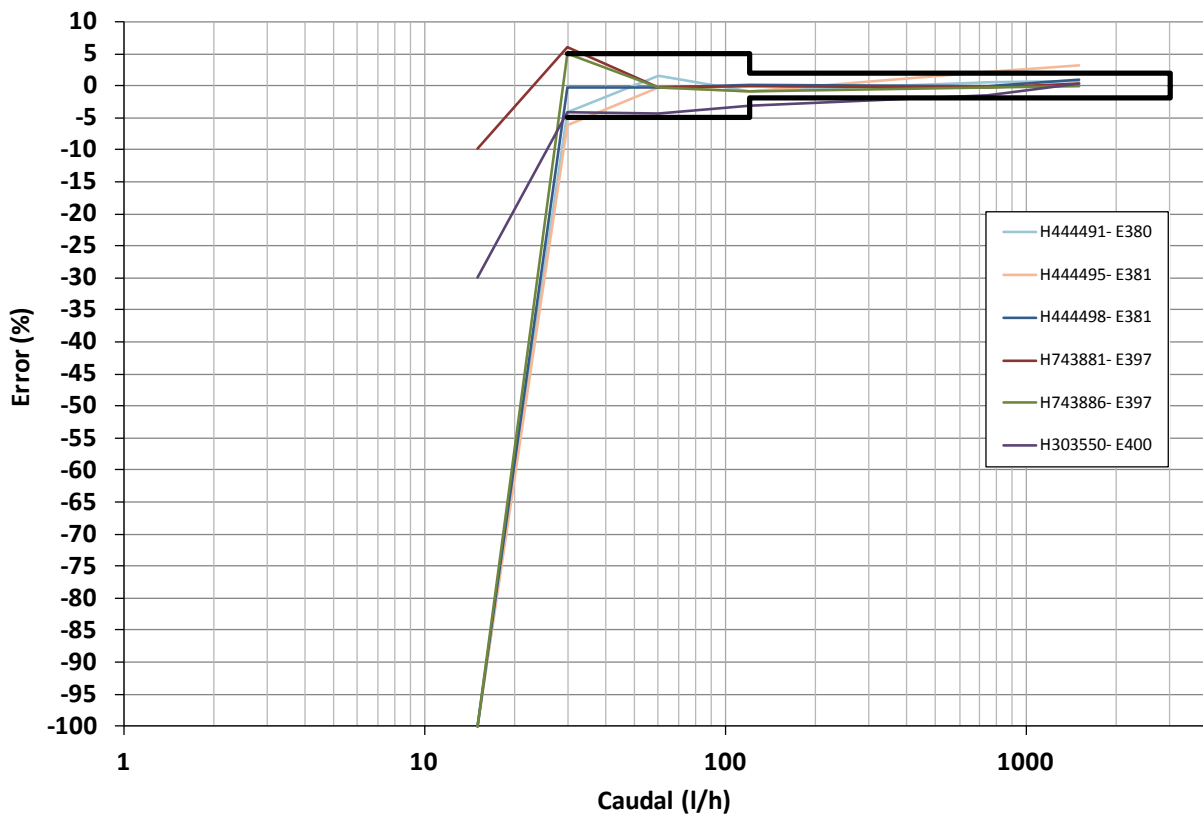


FIGURA 37. CURVA ERROR MODELO 7. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

TABLA 154. CURVA ERROR MODELO 3. CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
01-1726177- E393	15,0	-100,0	2,0	1,9	-1,5	-2,2	-1,3
23514824- E393	10,0	-10,2	4,4	3,1	-0,8	-2,1	2,0
23514960- E393	15,0	-100,0	-1,8	0,9	1,7	0,7	1,6
23514998- E393	15,0	-100,0	1,6	1,6	2,6	-0,4	1,0
01-1726180- E394	15,0	-100,0	4,6	2,5	1,2	-0,8	0,0
01-1726203- E395	10,0	-20,6	4,6	5,8	3,6	0,8	1,3
23514929- E395	20,0	-100,0	-11,2	-2,8	0,8	1,3	2,7
23515103- E395	15,0	-100,0	-0,9	1,4	1,4	-2,0	-0,5
23515120- E395	20,0	-100,0	-4,5	0,6	0,9	-1,6	-0,5
23515177- E395	20,0	-100,0	-5,0	-1,0	-0,4	-1,8	-0,7
23515092- E398	20,0	-100,0	-2,9	0,9	1,7	0,8	1,0
23515150- E398	20,0	-100,0	-3,2	-4,7	-3,6	-2,1	0,5
01-1726190- E404	15,0	-100,0	-4,5	-1,2	-1,7	-2,3	-1,1
23515070- E406	15,0	-100,0	-13,8	-3,7	-2,0	-5,0	-2,4
23515183- E414	10,0	-19,9	5,1	1,8	-1,7	-1,4	-1,5
Promedio	15,7	-83,4	-1,7	0,5	0,2	-1,2	0,1

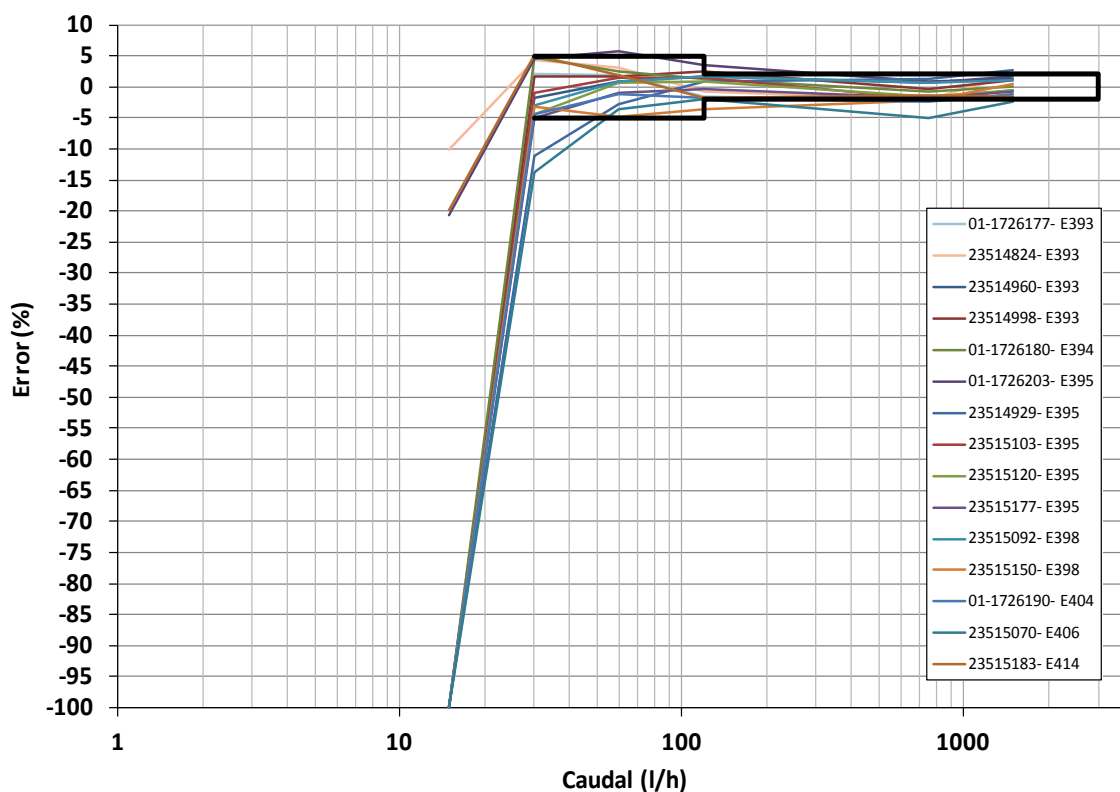


FIGURA 38. CURVA ERROR MODELO 3. CLASE B. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

TABLA 155. CONTADOR MODELO MODELO 5. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)
1-404300- E394	25,0	-100,0	-10,0	-0,4	-1,0	-2,5	-1,8
4399727- E394	20,0	-100,0	-0,1	-0,4	-1,0	-2,5	-2,8
7012551- E394	40,0	-100,0	-100,0	-0,4	-1,0	-0,5	-0,3
8538825- E398	25,0	-100,0	-40,1	-5,4	-6,0	-2,5	-2,4
B626040- E400	20,0	-100,0	-0,1	-0,4	-1,1	2,0	2,2
0970183- E402	30,0	-100,0	-100,0	-10,5	-1,2	-0,5	-0,3
7744490- E402	30,0	-100,0	-100,0	-10,5	-11,1	-4,5	-5,3
7744505- E402	50,0	-100,0	-100,0	-20,5	-11,1	-9,0	-9,8
A151504- E402	2500,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
1875758- E404	40,0	-100,0	-100,0	-0,4	-0,7	-1,0	-0,9
Promedio	31,1	-100,0	-61,1	-5,4	-3,8	-2,3	-2,4

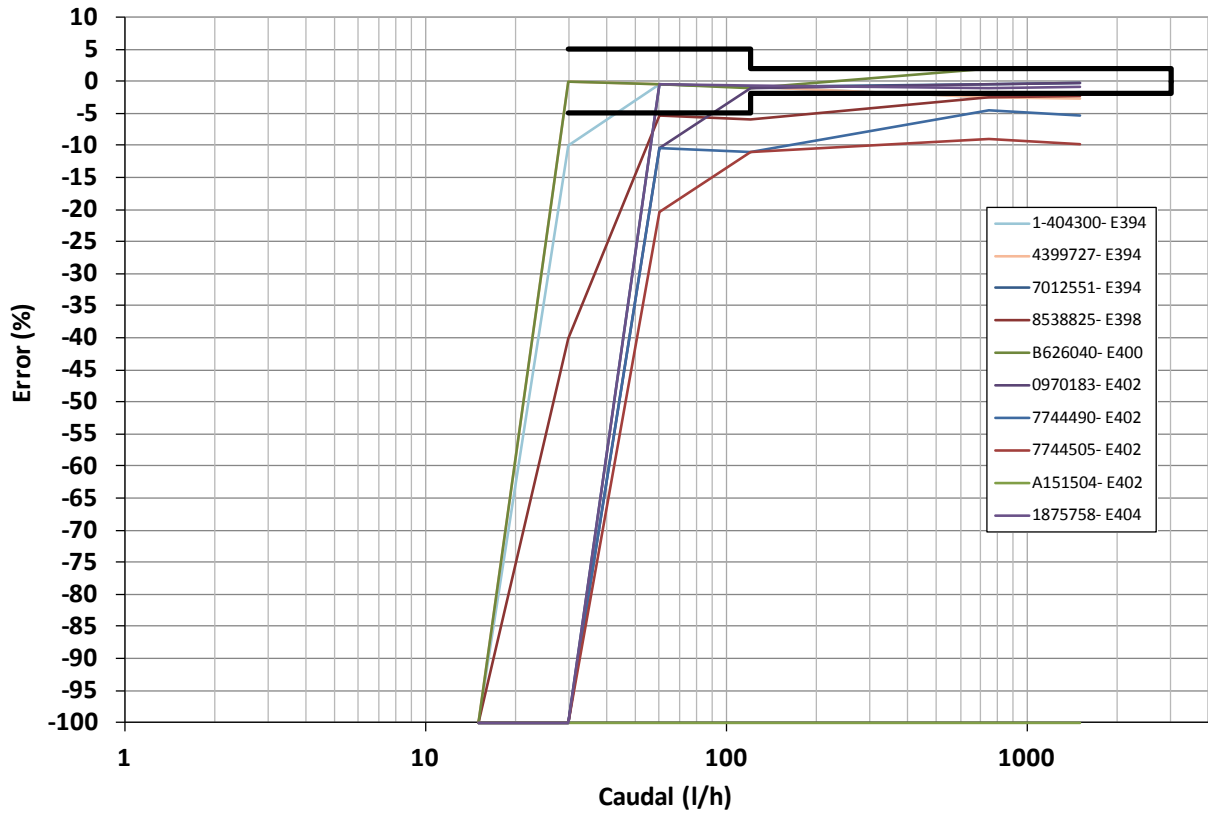


FIGURA 39. CURVA ERROR MODELO 5. CLASE B. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

CONTADORES DN20

TABLA 156. CONTADOR MODELO 10. EDAD MENOR A 5 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
07-1173567- E391	40,0	-100,0	-100,0	-1,3	1,2	0,7	0,1	-0,2
07-1174046- E391	30,0	-100,0	-100,0	0,7	0,2	0,5	-0,4	-0,6
Promedio	35,0	-100,0	-100,0	-0,3	0,7	0,6	-0,2	-0,4

TABLA 157. CONTADOR MODELO 10. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
02-1240132- E391	15,0	-100,0	-19,0	0,7	0,2	-0,3	-0,6	-0,3
02-1494398- E391	15,0	-100,0	-4,0	-2,3	0,2	1,6	1,1	1,2
9910003679- E408	30	-100	-100	-13,004	-4,606	3,159	0,501	-0,495
Promedio	20,0	-100,0	-41,0	-4,9	-1,4	1,5	0,3	0,1

TABLA 158. CONTADOR MODELO 7. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
991003663- E391	30,0	-100,0	-100,0	-10,3	-0,8	-0,9	-0,7	-0,5

TABLA 159. CONTADOR MODELO 11_2. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
J465263- E392	20,0	-100,0	-20,2	2,5	2,1	-0,7	-0,4	-0,1
J465264- E392	20,0	-100,0	-21,2	1,5	2,1	-0,4	0,4	0,3
Promedio	20,0	-100,0	-20,7	2,0	2,1	-0,6	0,0	0,1

TABLA 160. CONTADOR MODELO 11_2. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
C902855- E392	25,0	-100,0	-30,1	-0,5	-0,9	1,5	1,3	-0,1

TABLA 161. CONTADOR MODELO 11. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
M707322- E408	15,0	-100,0	-2,1	-0,3	-2,9	-3,7	-2,8	-2,2
M954613- E408	15,0	-100,0	2,9	2,6	2,0	-0,3	-0,1	0,4
Promedio	15,0	-100,0	0,4	1,1	-0,4	-2,0	-1,4	-0,9

TABLA 162. CONTADOR MODELO 11. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)
E307378- E408	200,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	1,1	1,3	0,5

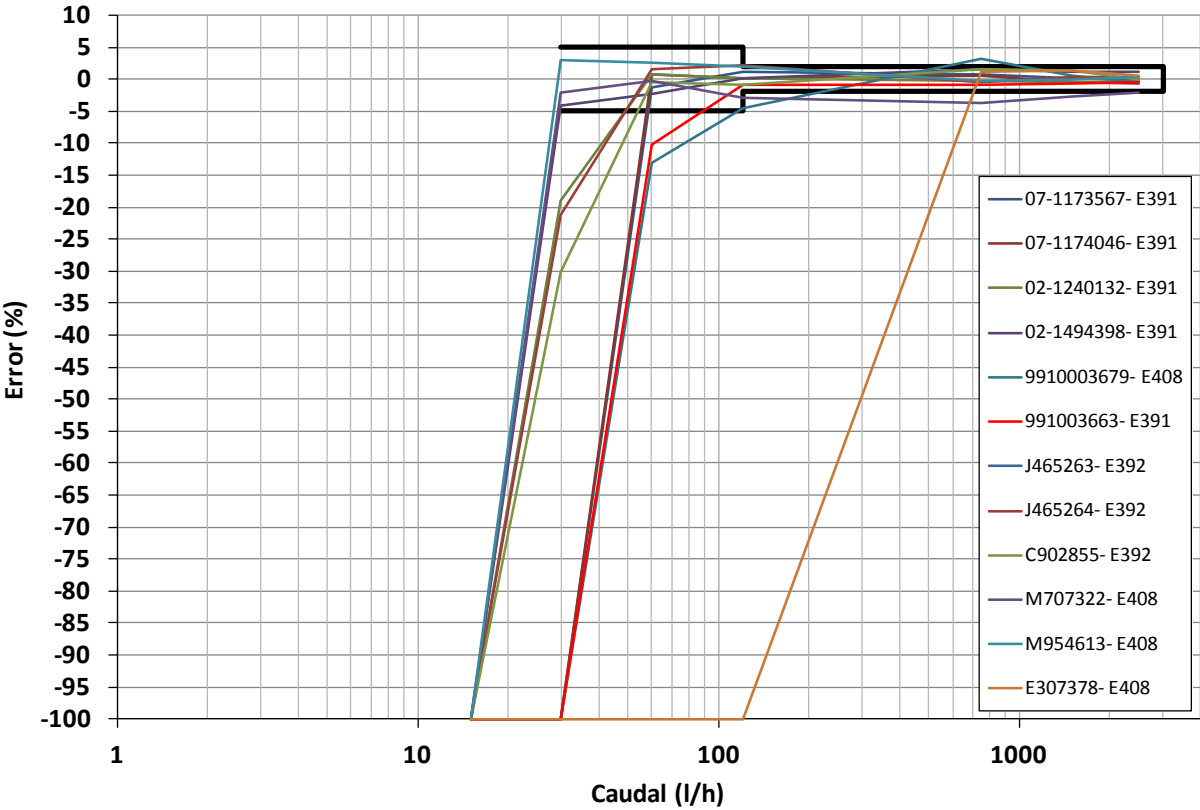


FIGURA 40. CURVA ERROR CONTADORES DN20 CLASE B

CONTADORES DN25

TABLA 163. CONTADOR MODELO 17. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
06813227- E409	30,0	-100,0	-100,0	-24,2	-0,8	0,5	-0,8	-1,4	-1,588
07849504- E409	30,0	-100,0	-100,0	-13,3	-2,8	-0,8	-1,2	-1,1	-1,29
07849503- E411	25,0	-100,0	-23,0	-3,3	1,7	1,2	0,6	0,5	0,446
Promedio	28,3	-100,0	-74,3	-13,6	-0,7	0,3	-0,5	-0,7	-0,8

TABLA 164. CONTADOR MODELO 17. EDAD ENTRE 5 Y 10 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
04825524- E411	25,0	-100,0	-36,0	-4,3	1,7	0,1	-0,1	0,1	-0,2

TABLA 165. CONTADOR MODELO 17. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
N715689- E409	30,0	-100,0	-100,0	-10,3	1,1	-0,1	-0,6	-0,6	-0,4
01-1745109- E412	40,0	-100,0	-100,0	-8,3	1,0	1,1	1,0	1,4	1,3
01-1661614- E413	20,0	-100,0	-20,0	-3,3	1,2	0,1	0,2	0,1	0,0
Promedio	30,0	-100,0	-73,3	-7,3	1,1	0,4	0,2	0,3	0,3

TABLA 166. CONTADOR MODELO 12. EDAD ENTRE 10 Y 15 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
N715688- E410	25,0	-100,0	-23,0	-3,2	-0,8	-1,2	-1,6	-1,1	-0,3

TABLA 167. CONTADOR MODELO 12. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
H788106- E415	20,0	-100,0	-20,1	-1,4	4,1	3,7	3,2	2,4	2,9
J800523- E415	20,0	-100,0	-12,1	1,6	3,1	2,7	1,3	0,9	0,8
Promedio	20,0	-100,0	-16,1	0,1	3,6	3,2	2,2	1,7	1,8

TABLA 168. CONTADOR MODELO 12_2. EDAD ENTRE 15 Y 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
J418884- E410	25,0	-100,0	-26,0	-6,2	-0,8	0,1	-0,9	-1,4	-1,1
H864599- E411	30,0	-100,0	-100,0	-6,3	1,7	3,5	2,7	2,2	2,4
Promedio	27,5	-100,0	-63,0	-6,3	0,5	1,8	0,9	0,4	0,6

TABLA 169. CONTADOR MODELO 24. EDAD MENOR O IGUAL A 5 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
81001622- E412	15,0	-100,0	2,1	0,6	1,8	0,9	2,1	1,1	0,5
810016623- E415	20,0	-100,0	-6,0	-0,7	1,1	0,6	2,6	0,9	0,6
Promedio	17,5	-100,0	-1,9	0,0	1,4	0,7	2,3	1,0	0,5

TABLA 170. CONTADOR MODELO 5. EDAD MAYOR DE 20 AÑOS

	Qstart (l/h)	15 (l/h)	30 (l/h)	60 (l/h)	120 (l/h)	750 (l/h)	1500 (l/h)	2500 (l/h)	3500 (l/h)
F941018- E410	45,0	-100,0	-100,0	-30,2	-0,8	2,6	3,8	3,4	3,2
7895763- E412	120,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-4,5	-2,8	-3,7	-4,1
Promedio	82,5	-100,0	-100,0	-65,1	-50,4	-0,9	0,5	-0,1	-0,4

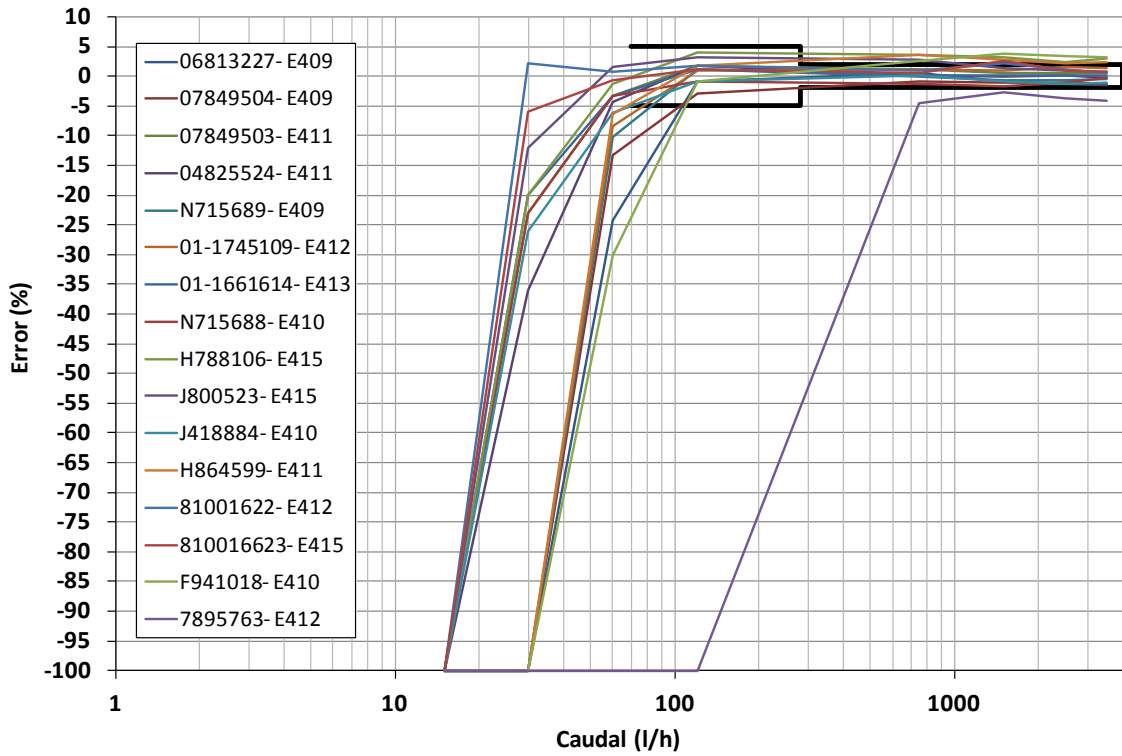


FIGURA 41. CURVA ERROR MODELOS DN25 CLASE B

Anexo III

Patrones de consumo

ABONADOS DOMÉSTICOS: VIVIENDAS EN EDIFICIOS

Abonado 40424

TABLA 171. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 40424

Q (l/h)	(l)	(%)
0-6	0,29	1,88
6-12	0,04	0,28
12-18	0,03	0,22
18-24	0,02	0,14
24-36	0,05	0,32
36-72	0,07	0,49
72-120	0,08	0,55
120-250	0,21	1,36
250-450	0,8	5,15
450-750	9,99	64,68
750-1500	3,74	24,22
1500-3000	0,11	0,72
>3000	0	0
Volumen total registrado	1503,9	

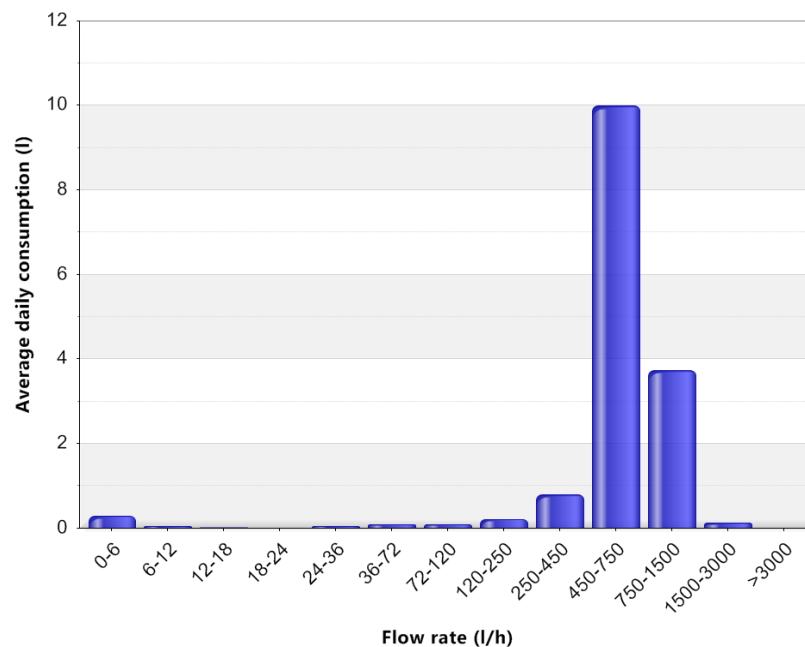


FIGURA 42. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 40424

TABLA 172. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 40424

Q (l/h)	(l)	(%)
0-6	1,58	1,85
6-12	0,26	0,3
12-18	0,21	0,25
18-24	0,12	0,14
24-36	0,28	0,33
36-72	0,44	0,51
72-120	0,48	0,56
120-250	1,27	1,49
250-450	4,81	5,62
450-750	58,95	68,98
750-1500	17,06	19,96
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1214,4	

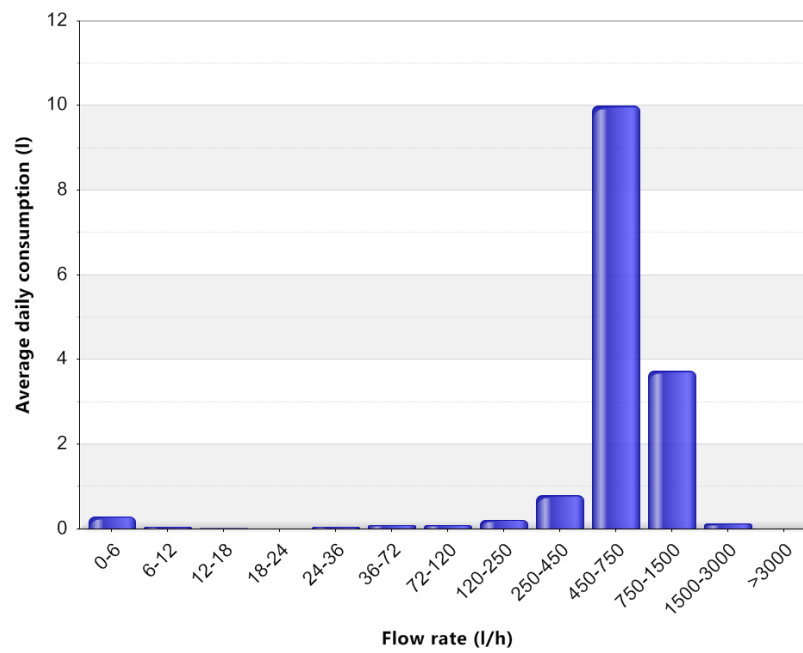


FIGURA 43. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 40424

Abonado 52672

TABLA 173. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 52672

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	36,74	11,71
6-12	8,14	2,59
12-18	2,36	0,75
18-24	1,68	0,54
24-36	2,53	0,81
36-72	3,29	1,05
72-120	3,74	1,19
120-250	18	5,74
250-450	42,82	13,65
450-750	147,65	47,05
750-1500	46,68	14,87
1500-3000	0,19	0,06
>3000	0	0
Volumen total registrado	2183	

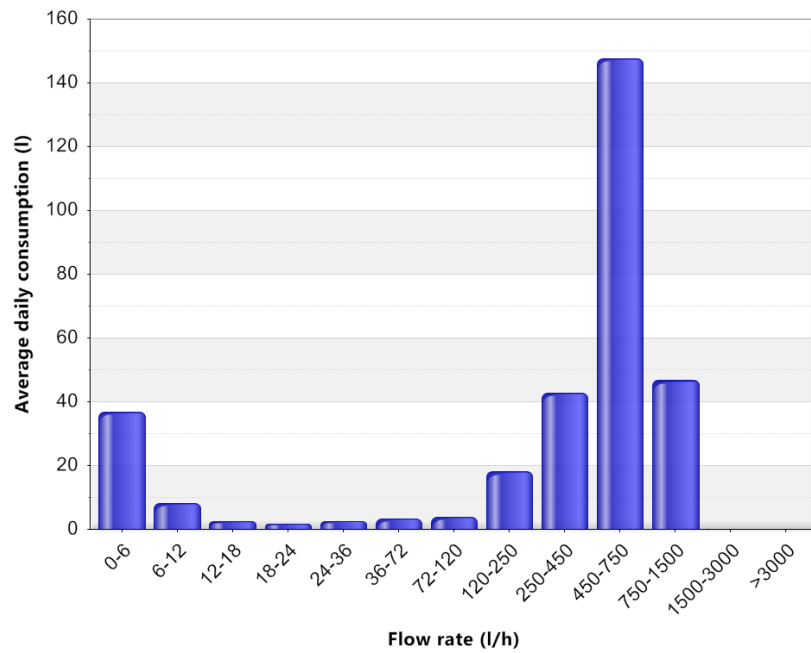


FIGURA 44. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 52672

TABLA 174: PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 52672

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	45,83	12,85
6-12	6,18	1,73
12-18	2,23	0,62
18-24	1,56	0,44
24-36	2,27	0,64
36-72	3,43	0,96
72-120	3,46	0,97
120-250	22	6,17
250-450	134,05	37,59
450-750	110,69	31,04
750-1500	24,9	6,98
1500-3000	0,05	0,01
>3000	0	0
Volumen total registrado	3814	

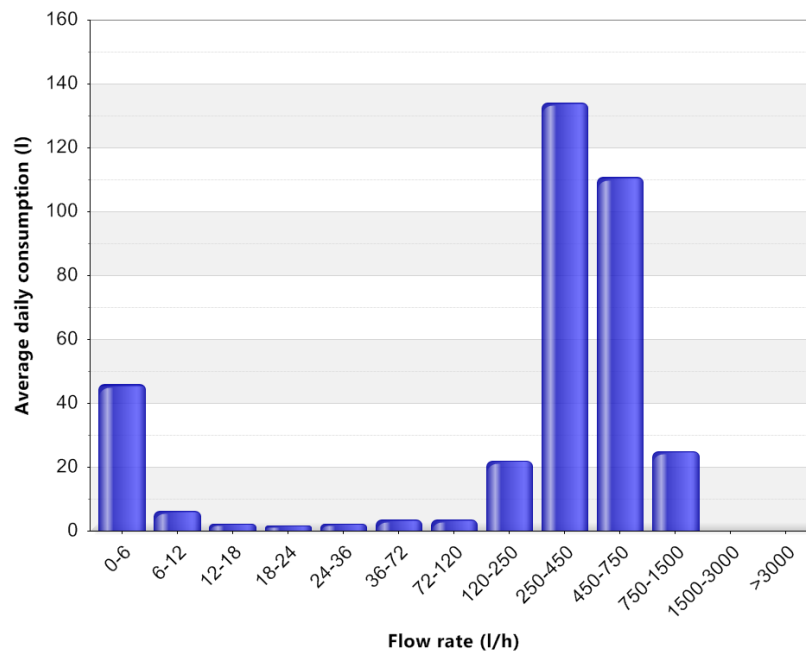


FIGURA 45. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 52672

Abonado 63608

TABLA 175. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 63608

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	5,67	3,3
6-12	1,15	0,67
12-18	0,85	0,5
18-24	0,42	0,24
24-36	0,51	0,3
36-72	1,04	0,61
72-120	2,33	1,35
120-250	15,43	8,99
250-450	80,52	46,91
450-750	37,3	21,73
750-1500	26,45	15,41
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1151	

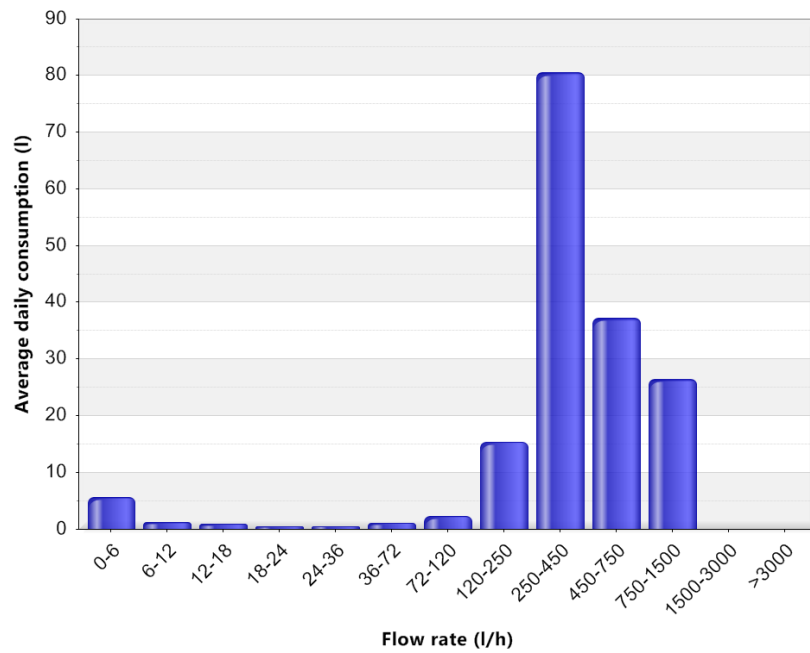


FIGURA 46. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 63608

TABLA 176. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 63608

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	5,24	3,11
6-12	1,34	0,79
12-18	0,76	0,45
18-24	0,59	0,35
24-36	0,64	0,38
36-72	1,07	0,63
72-120	1,2	0,71
120-250	16,95	10,05
250-450	73,42	43,54
450-750	40,34	23,92
750-1500	27,08	16,06
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1851	

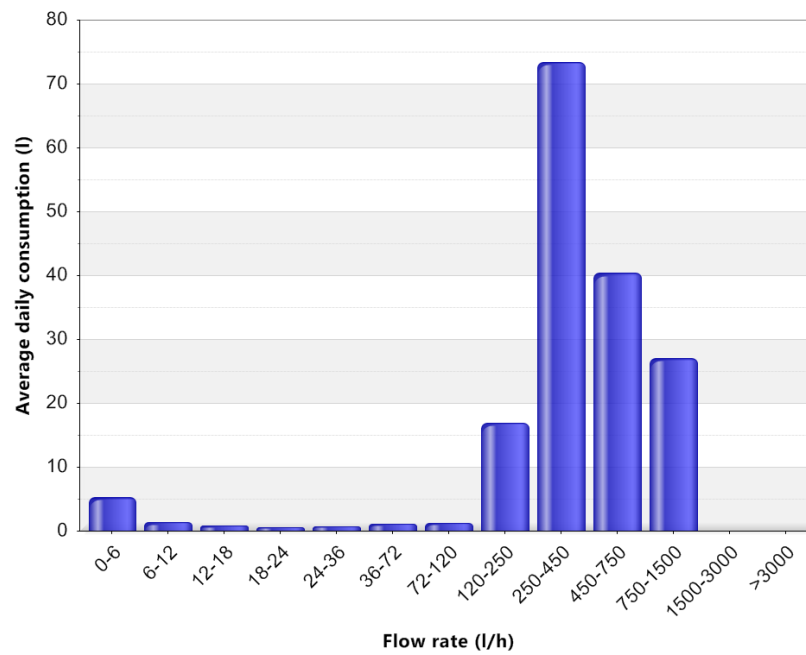


FIGURA 47. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 63608

Abonado 80001177

TABLA 177. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80001177

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	71,28	26,31
6-12	16,38	6,05
12-18	3,87	1,43
18-24	3,51	1,3
24-36	2,51	0,93
36-72	2,91	1,07
72-120	23,95	8,84
120-250	56,47	20,84
250-450	67,32	24,85
450-750	21,82	8,05
750-1500	0,91	0,34
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1842	

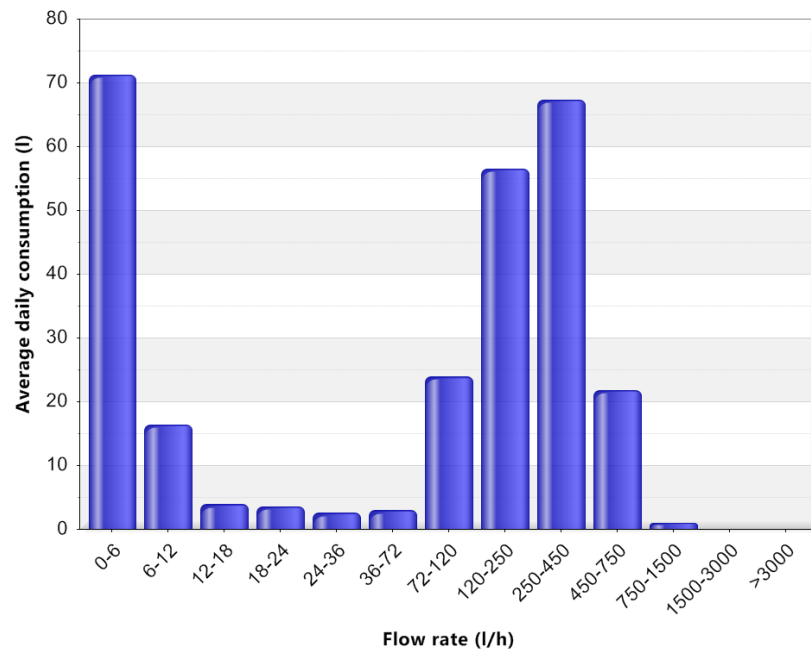


FIGURA 48. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80001177

TABLA 178. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80001177

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	42,96	21,21
6-12	17,67	8,72
12-18	1,96	0,97
18-24	1,19	0,59
24-36	1,49	0,74
36-72	10,61	5,24
72-120	17,95	8,86
120-250	45,47	22,45
250-450	39,58	19,54
450-750	22,5	11,11
750-1500	1,2	0,59
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	2203	

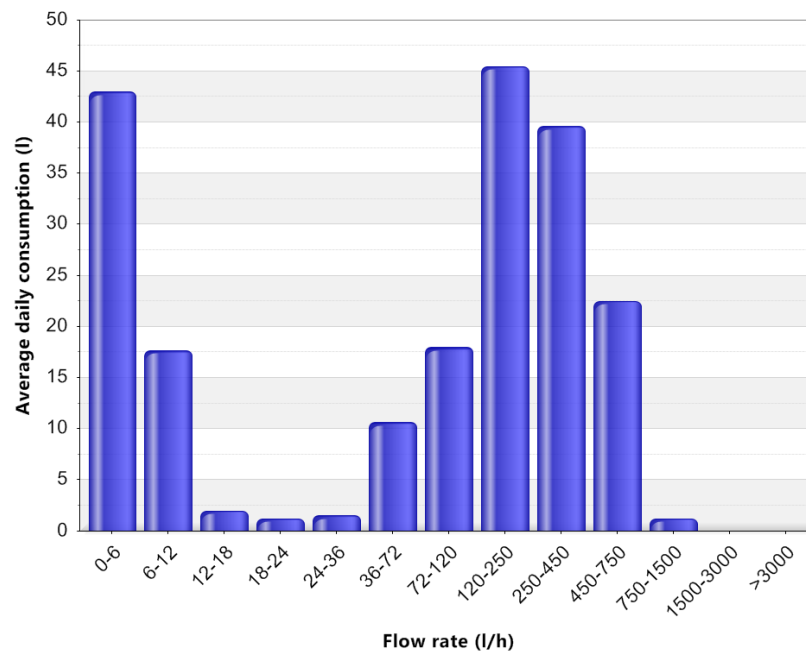


FIGURA 49. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80001177

Abonado 80009451

TABLA 179. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009451

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	4,08	1,23
6-12	0,87	0,26
12-18	0,24	0,07
18-24	0,19	0,06
24-36	0,28	0,08
36-72	0,26	0,08
72-120	0,87	0,26
120-250	25,62	7,69
250-450	88,58	26,57
450-750	179,39	53,81
750-1500	32,94	9,88
1500-3000	0	0
>3000	0,01	0
Volumen total registrado	2595	

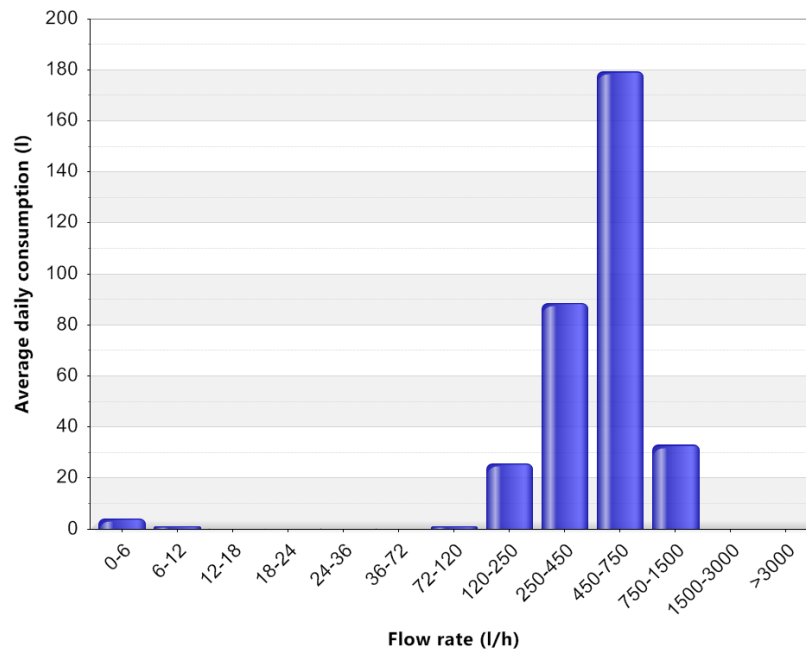


FIGURA 50. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009451

TABLA 180. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009451

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,68	1,28
6-12	0,71	0,25
12-18	0,39	0,14
18-24	0,19	0,07
24-36	0,18	0,06
36-72	0,49	0,17
72-120	0,47	0,16
120-250	21,84	7,63
250-450	99,76	34,84
450-750	136,02	47,5
750-1500	22,45	7,84
1500-3000	0,16	0,06
>3000	0	0
Volumen total registrado	3067	

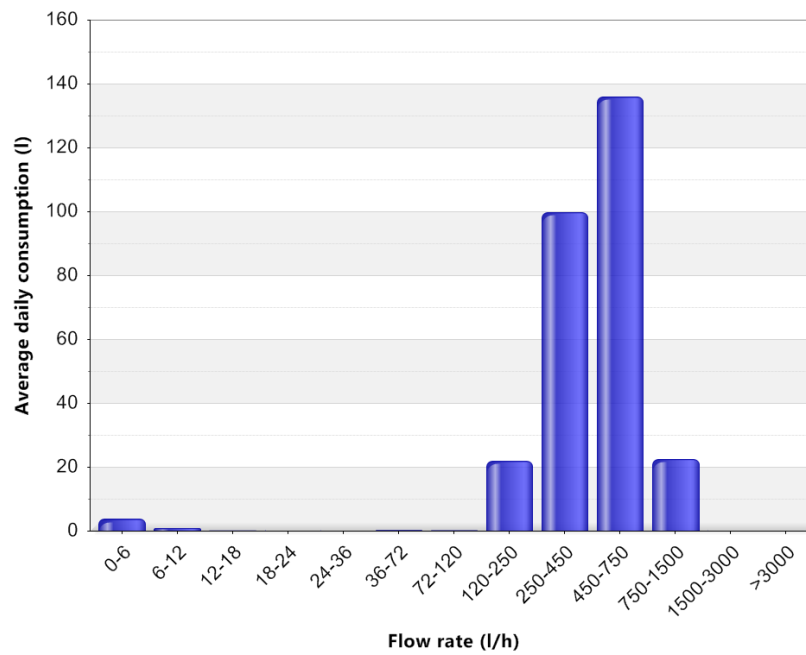


FIGURA 51. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009451

Abonado 80011471

TABLA 181. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 800011471

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3	1,67
6-12	0,45	0,25
12-18	0,23	0,13
18-24	0,16	0,09
24-36	0,19	0,1
36-72	0,29	0,16
72-120	0,33	0,18
120-250	11,53	6,41
250-450	33,49	18,62
450-750	100,64	55,95
750-1500	29,58	16,45
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1252,6	

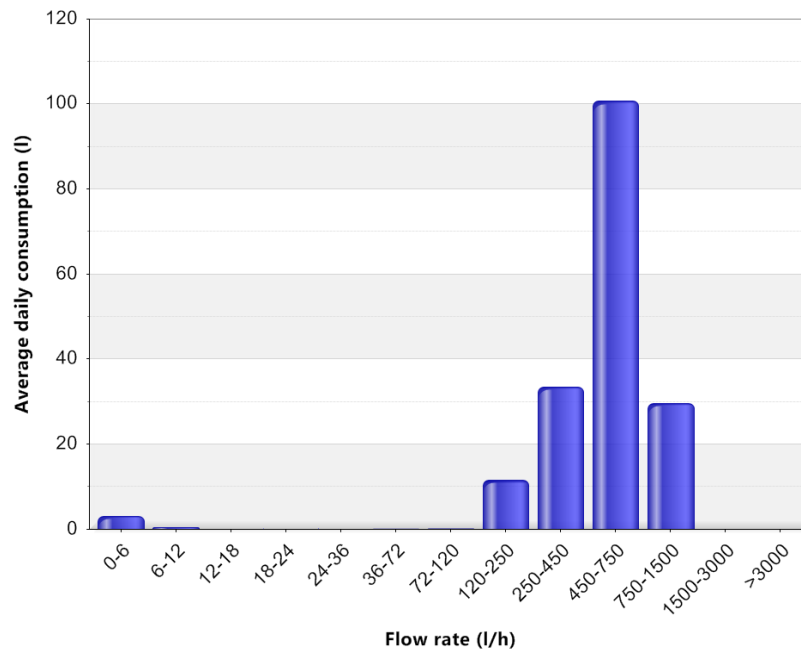


FIGURA 52. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 800011471

TABLA 182. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 800011471

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,99	1,8
6-12	0,66	0,3
12-18	3,26	1,47
18-24	0,19	0,09
24-36	0,26	0,12
36-72	0,5	0,23
72-120	0,66	0,3
120-250	13,34	6,01
250-450	43,01	19,39
450-750	138,54	62,47
750-1500	17,36	7,83
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	2469	

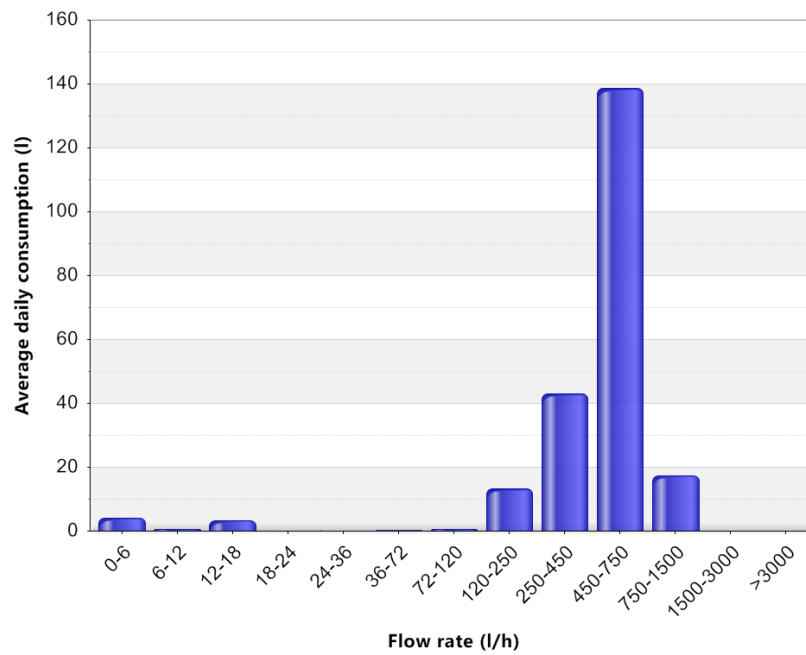


FIGURA 53. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 800011471

Abonado 96144

TABLA 183. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 96144

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	1,48	1,49
6-12	0,31	0,31
12-18	0,14	0,14
18-24	0,15	0,15
24-36	0,22	0,22
36-72	0,59	0,59
72-120	1,94	1,95
120-250	10,57	10,66
250-450	30,34	30,6
450-750	28,67	28,91
750-1500	24,76	24,97
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	778,5	

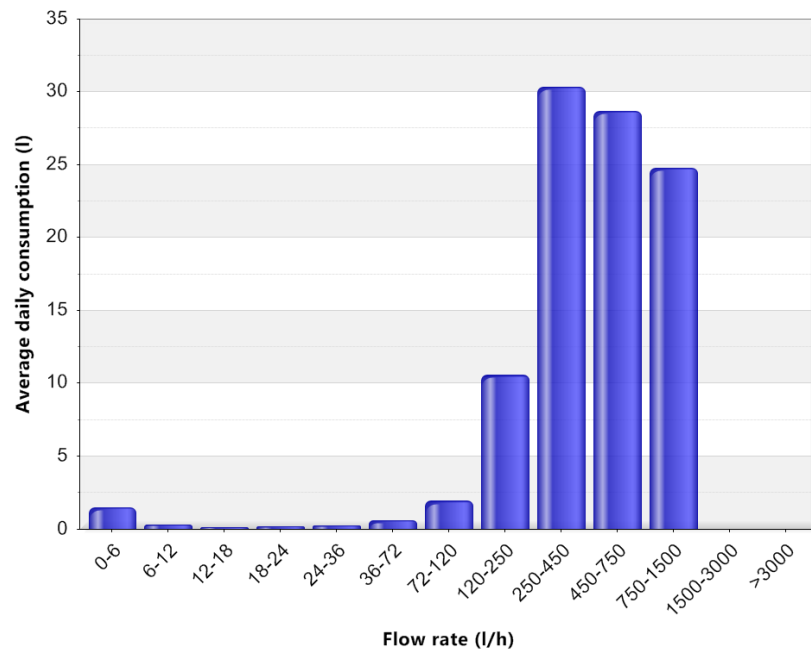


FIGURA 54. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 96144

TABLA 184. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 96144

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	2,82	1,43
6-12	0,39	0,2
12-18	0,22	0,11
18-24	0,12	0,06
24-36	0,32	0,16
36-72	0,85	0,43
72-120	2,25	1,14
120-250	9,12	4,62
250-450	69,98	35,43
450-750	70,14	35,52
750-1500	41,28	20,9
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1459	

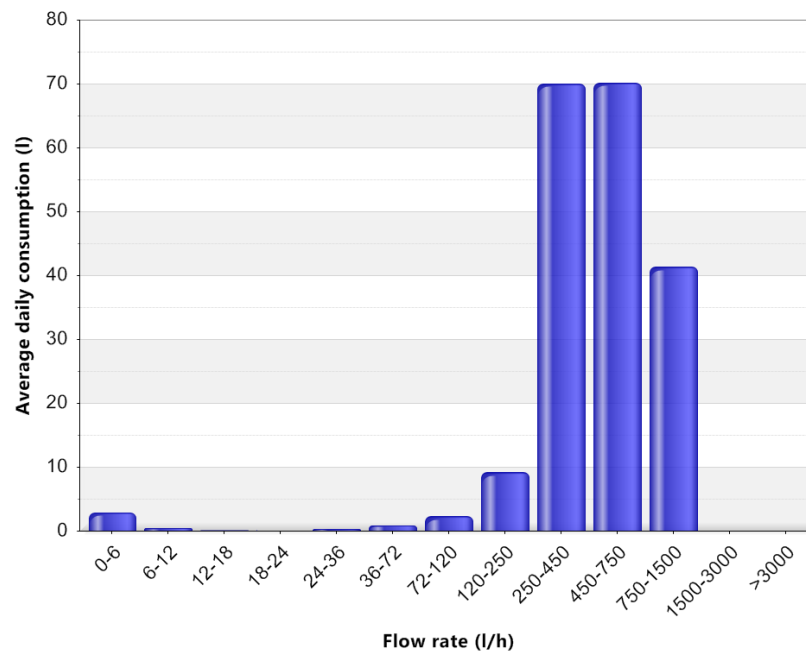


FIGURA 55. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 96144

ABONADOS DOMÉSTICOS: PAREADOS/UNIFAMILIAR SIN JARDÍN Y SIN PISCINA**Abonado 55875**

TABLA 185. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	27,31	8,09
6-12	5,43	1,61
12-18	2,61	0,77
18-24	1,53	0,45
24-36	2,38	0,7
36-72	3,97	1,18
72-120	7,92	2,35
120-250	48,37	14,33
250-450	108,24	32,06
450-750	84,09	24,91
750-1500	45,18	13,38
1500-3000	0,56	0,17
>3000	0	0
Volumen total registrado	2344,8	

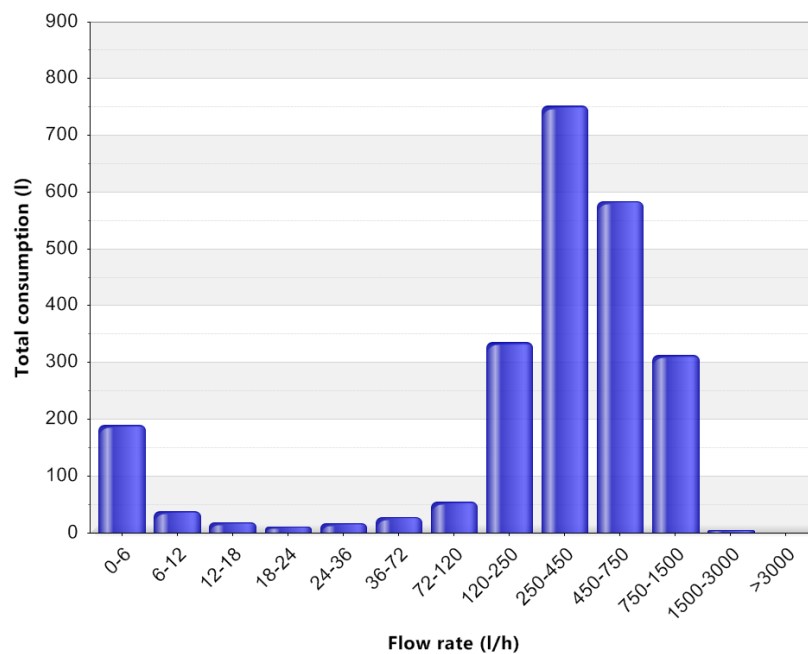


FIGURA 56. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875

TABLA 186. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	26,16	9,77
6-12	3,64	1,36
12-18	1,86	0,7
18-24	1,03	0,38
24-36	1,66	0,62
36-72	2,54	0,95
72-120	4,75	1,77
120-250	31,05	11,59
250-450	92,31	34,46
450-750	67,06	25,03
750-1500	35,82	13,37
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	2919	

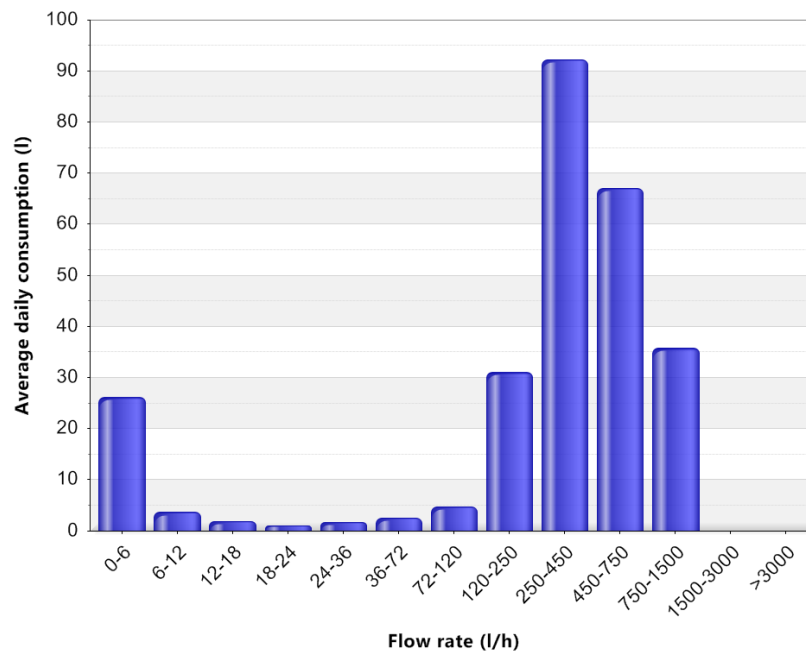


FIGURA 57. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875

Abonado 80009988

TABLA 187. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009988

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	42,24	16,59
6-12	1,09	0,43
12-18	1,92	0,75
18-24	35,76	14,04
24-36	0,88	0,34
36-72	0,83	0,32
72-120	0,57	0,22
120-250	14,88	5,84
250-450	44,51	17,47
450-750	84,2	33,06
750-1500	27,83	10,93
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado		2004,2

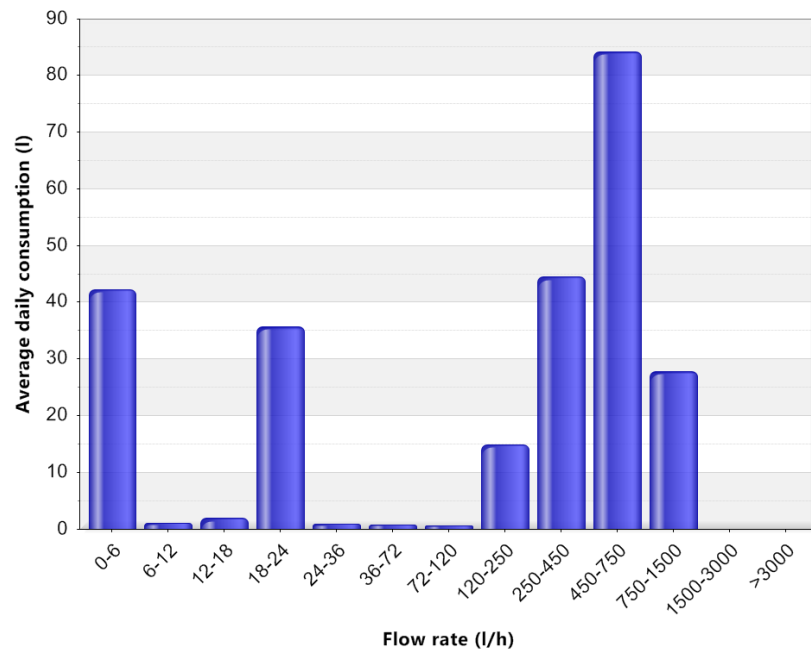


FIGURA 58. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80009988

TABLA 188. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009988

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	7,09	2,02
6-12	1,49	0,42
12-18	0,64	0,18
18-24	0,28	0,08
24-36	0,46	0,13
36-72	0,5	0,14
72-120	1	0,28
120-250	21,12	6,02
250-450	109,62	31,22
450-750	176,15	50,17
750-1500	32,09	9,14
1500-3000	0,65	0,19
>3000	0	0
Volumen total registrado	4460	

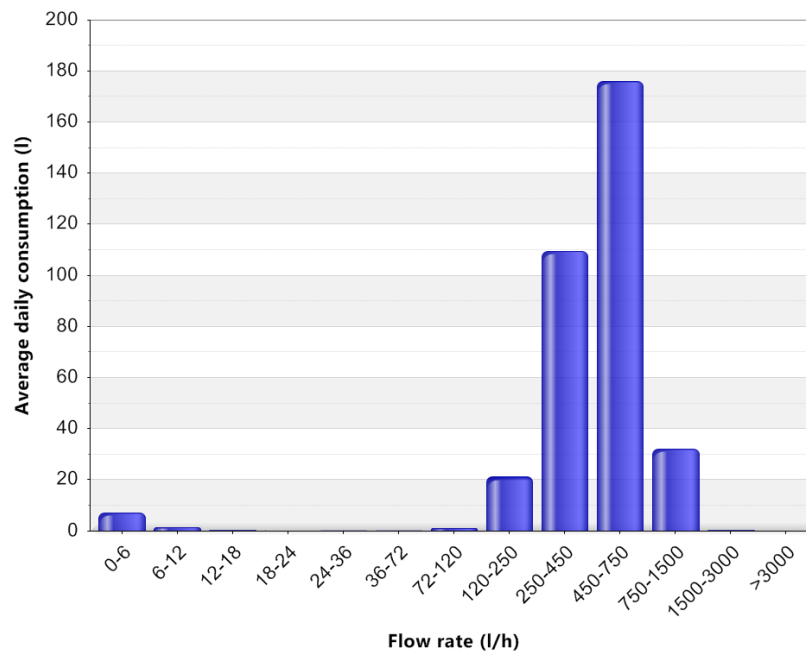


FIGURA 59. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80009988

Abonado 80010019

TABLA 189. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80010019

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	6,8	1,32
6-12	1,7	0,33
12-18	0,99	0,19
18-24	0,64	0,13
24-36	1,51	0,29
36-72	3,22	0,63
72-120	2,85	0,56
120-250	22,95	4,47
250-450	22,75	4,43
450-750	363,08	70,74
750-1500	85,96	16,75
1500-3000	0,8	0,16
>3000	0	0
Volumen total registrado	3510	

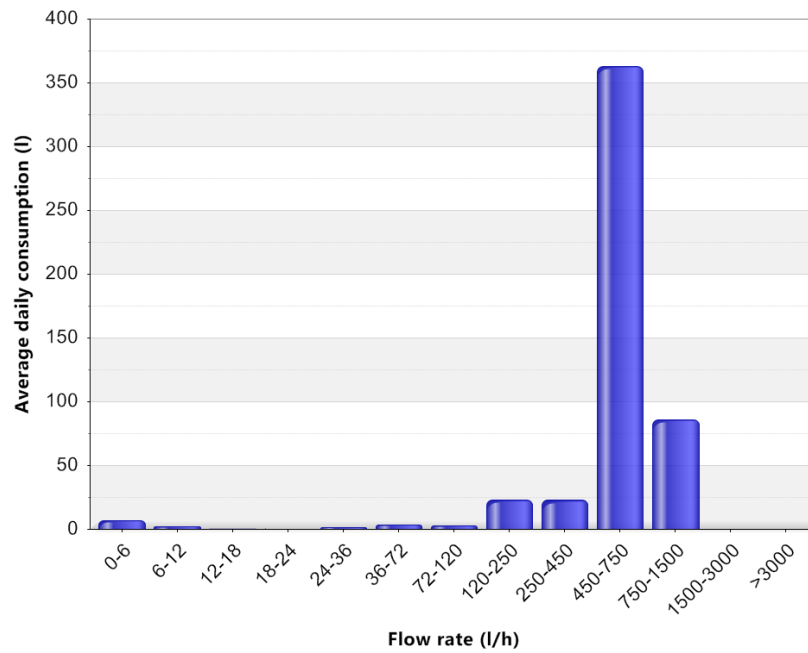


FIGURA 60. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80010019

TABLA 190. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80010019

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	10,87	2,78
6-12	3,31	0,85
12-18	4,42	1,13
18-24	0,87	0,22
24-36	0,79	0,2
36-72	1,36	0,35
72-120	1,14	0,29
120-250	26,47	6,77
250-450	18,43	4,71
450-750	273,58	69,95
750-1500	48,41	12,38
1500-3000	1,47	0,38
>3000	0	0
Volumen total registrado	6546	

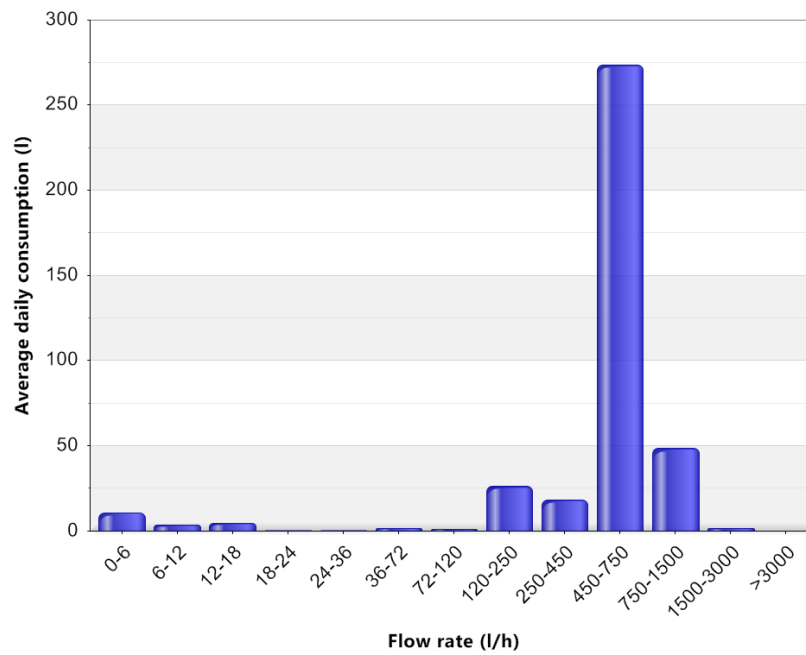


FIGURA 61. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80010019

Abonado 80011134

TABLA 191. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80011134

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	1,49	0,36
6-12	0,45	0,11
12-18	0,39	0,1
18-24	0,12	0,03
24-36	0,05	0,01
36-72	0,24	0,06
72-120	0,55	0,13
120-250	5,24	1,29
250-450	19,1	4,69
450-750	59,18	14,54
750-1500	12,5	3,07
1500-3000	307,61	75,59
>3000	0	0
Volumen total registrado	2685	

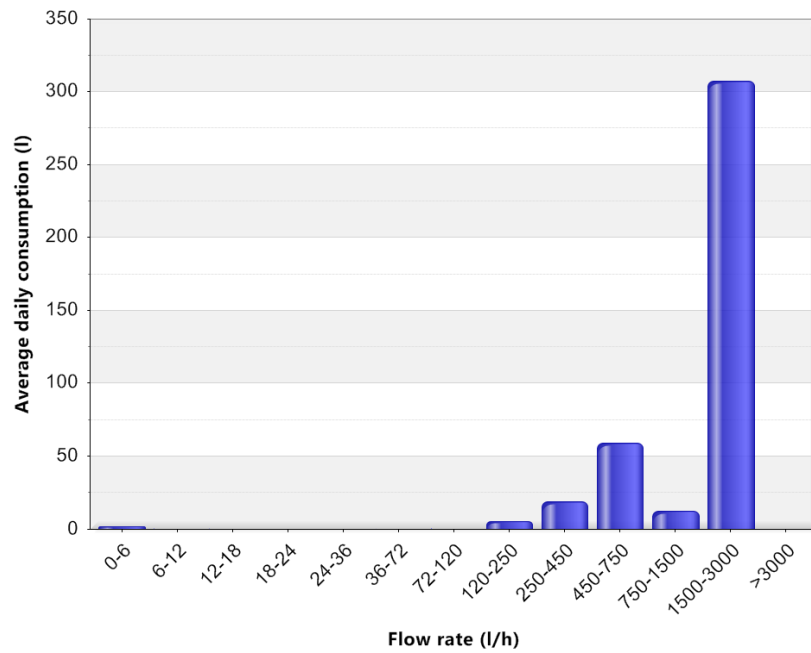


FIGURA 62. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80011134

TABLA 192. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80011134

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	5,4	2,59
6-12	1,17	0,56
12-18	0,63	0,3
18-24	0,29	0,14
24-36	0,4	0,19
36-72	0,75	0,36
72-120	0,75	0,36
120-250	13,53	6,51
250-450	71,96	34,59
450-750	103,89	49,94
750-1500	9,21	4,43
1500-3000	0,03	0,01
>3000	0	0

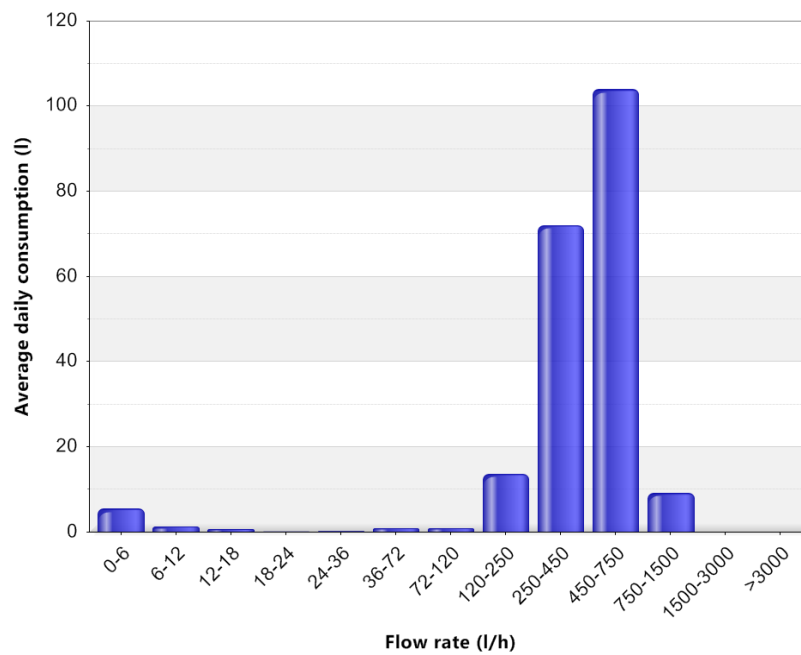


FIGURA 63. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80011134

Abonado 92705

TABLA 193. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 92705

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,9	3,49
6-12	0,53	0,47
12-18	0,28	0,25
18-24	0,28	0,25
24-36	0,26	0,23
36-72	2,03	1,82
72-120	1,89	1,69
120-250	3,22	2,88
250-450	38,86	34,8
450-750	57,92	51,86
750-1500	2,52	2,26
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	1657	

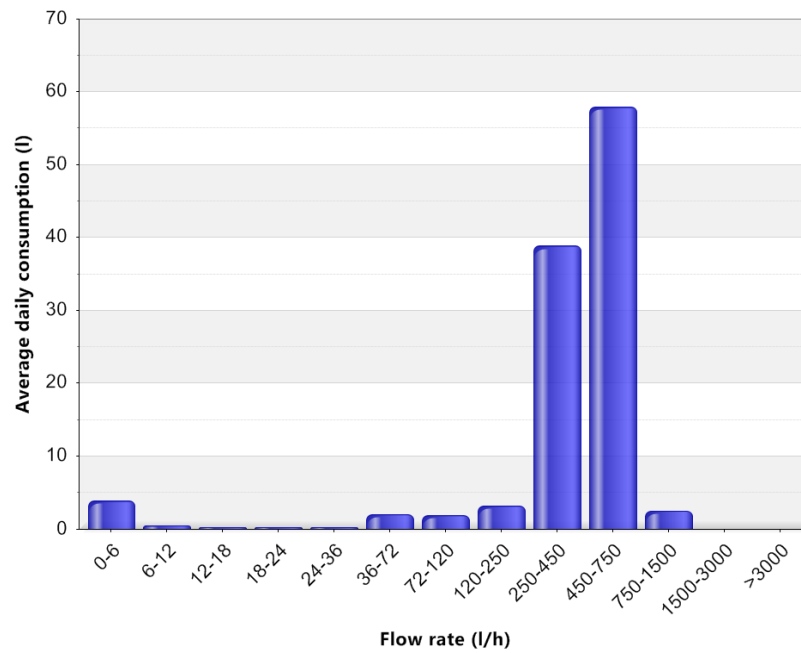


FIGURA 64. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 92705

ABONADOS DOMÉSTICOS: UNIFAMILIAR CON JARDÍN Y PISCINA

Abonado 67623

TABLA 194. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 67623

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	6,83	0,35
6-12	0,94	0,05
12-18	0,53	0,03
18-24	0,25	0,01
24-36	0,41	0,02
36-72	1,42	0,07
72-120	2,61	0,13
120-250	23,62	1,2
250-450	104,64	5,3
450-750	165,93	8,4
750-1500	447,57	22,66
1500-3000	1220,49	61,79
>3000	0	0
Volumen total registrado		13456

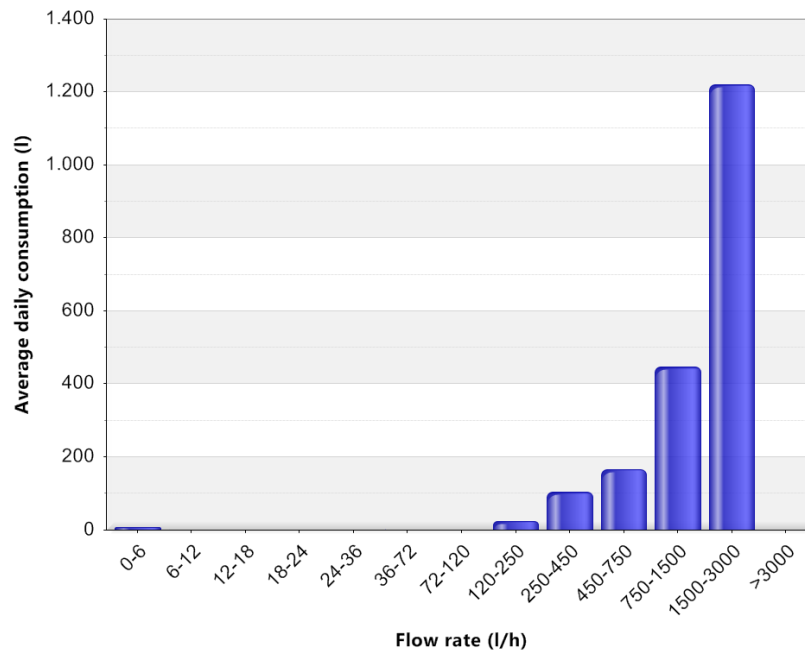


FIGURA 65. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 55875

TABLA 195. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,62	2,47
6-12	0,79	0,54
12-18	0,45	0,3
18-24	0,27	0,18
24-36	0,29	0,2
36-72	0,85	0,58
72-120	0,74	0,5
120-250	3,29	2,24
250-450	81,34	55,38
450-750	49,62	33,78
750-1500	5,12	3,49
1500-3000	0,5	0,34
>3000	0	0
Volumen total registrado		1743

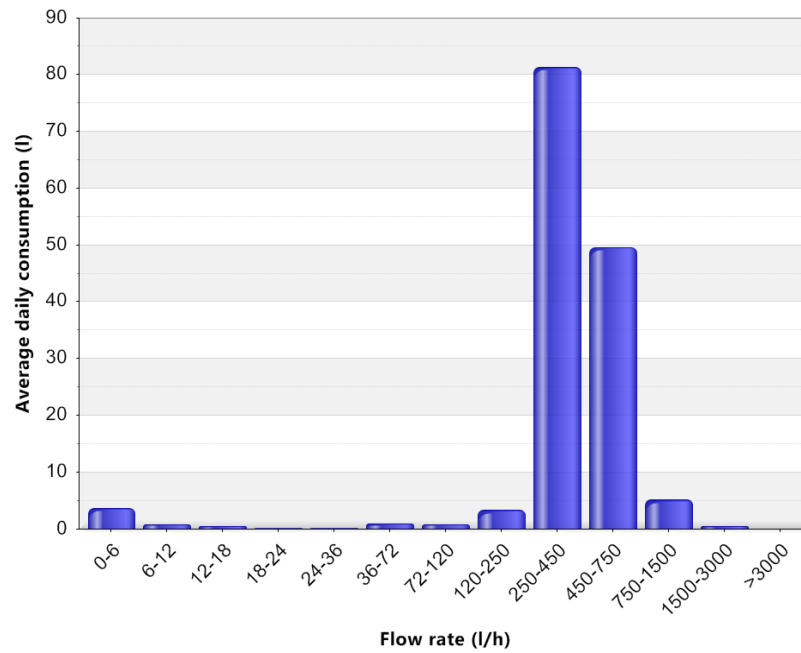


FIGURA 66. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 55875

Abonado 80013078

TABLA 196. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013078

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	19,05	0,65
6-12	1,4	0,05
12-18	0,35	0,01
18-24	0,44	0,01
24-36	0,35	0,01
36-72	7,87	0,27
72-120	0,45	0,02
120-250	10,1	0,34
250-450	95,29	3,24
450-750	212,36	7,22
750-1500	859,95	29,24
1500-3000	1719,51	58,47
>3000	13,68	0,47
Volumen total registrado	20730	

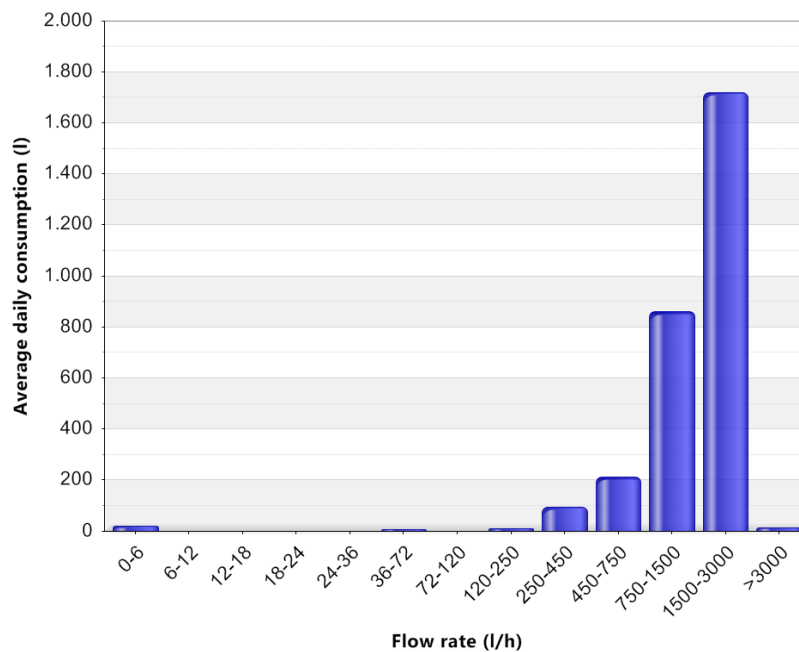


FIGURA 67. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013078

TABLA 197. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013078

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	8,63	1,04
6-12	2,06	0,25
12-18	0,71	0,09
18-24	0,56	0,07
24-36	0,57	0,07
36-72	16,77	2,02
72-120	0,85	0,1
120-250	18,99	2,29
250-450	176,8	21,34
450-750	392,36	47,37
750-1500	209,94	25,34
1500-3000	0,14	0,02
>3000	0	0
Volumen total registrado	9926,5	

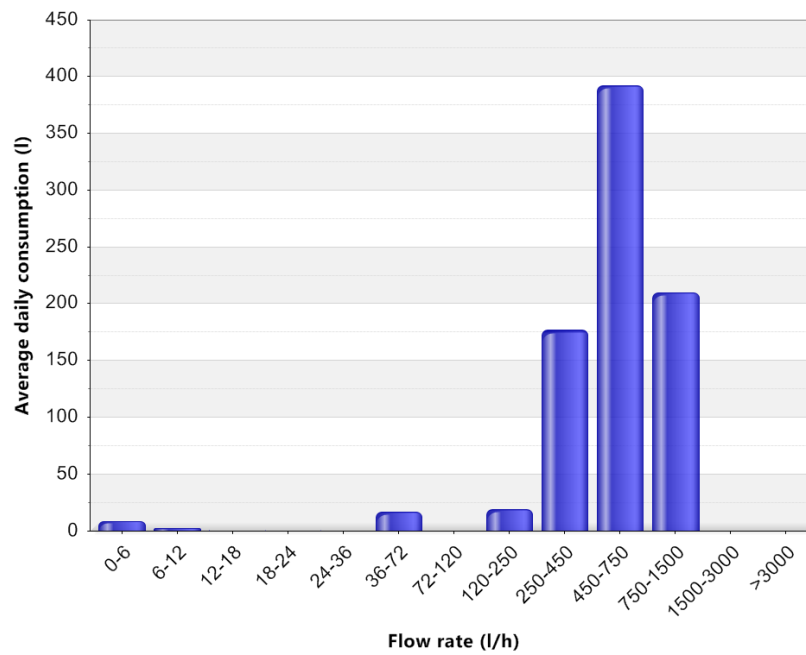


FIGURA 68. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013078

Abonado 80013080

TABLA 198. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013080

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	12,19	0,45
6-12	1,44	0,05
12-18	0,78	0,03
18-24	0,44	0,02
24-36	0,51	0,02
36-72	7,47	0,28
72-120	2,02	0,07
120-250	47,1	1,74
250-450	55,95	2,06
450-750	194,73	7,18
750-1500	51,55	1,9
1500-3000	2333,87	86,08
>3000	3,13	0,12
Volumen total registrado		19150,6

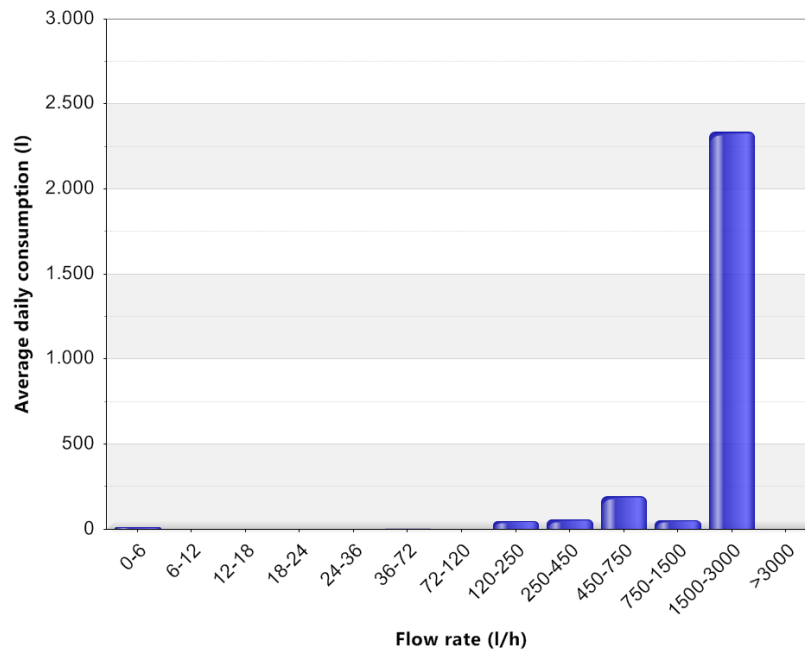


FIGURA 69. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013080

TABLA 199. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013080

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	47	11,78
6-12	2,56	0,64
12-18	0,83	0,21
18-24	0,45	0,11
24-36	0,6	0,15
36-72	7,1	1,78
72-120	4,32	1,08
120-250	47,68	11,95
250-450	84,89	21,27
450-750	165,42	41,45
750-1500	38,25	9,58
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	2731,9	

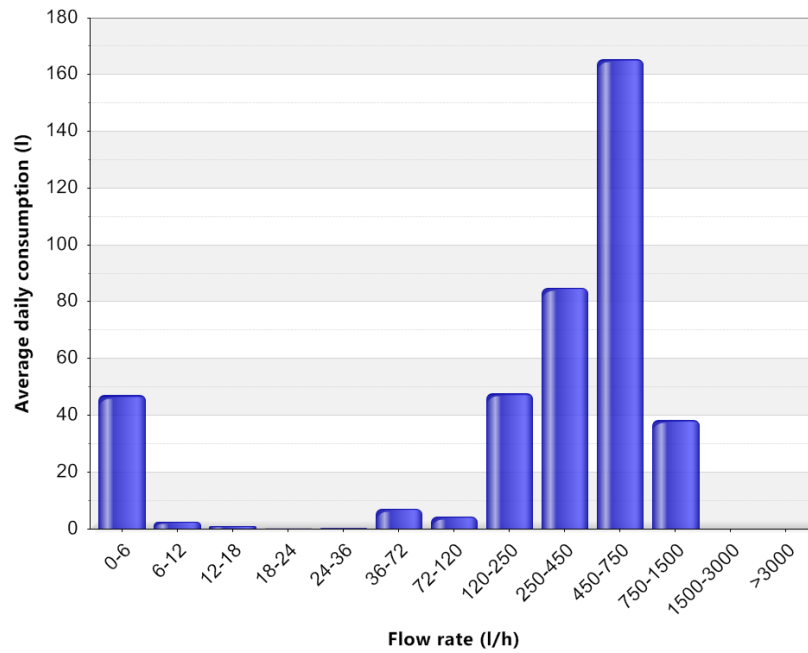


FIGURA 70. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013080

Abonado 80013172

TABLA 200. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013172

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	4,81	0,59
6-12	1,74	0,21
12-18	0,58	0,07
18-24	18,46	2,28
24-36	0,98	0,12
36-72	1,17	0,14
72-120	1,38	0,17
120-250	9,81	1,21
250-450	89,13	11,01
450-750	347,61	42,92
750-1500	119,38	14,74
1500-3000	214,81	26,52
>3000	0	0
Volumen total registrado	5686,5	

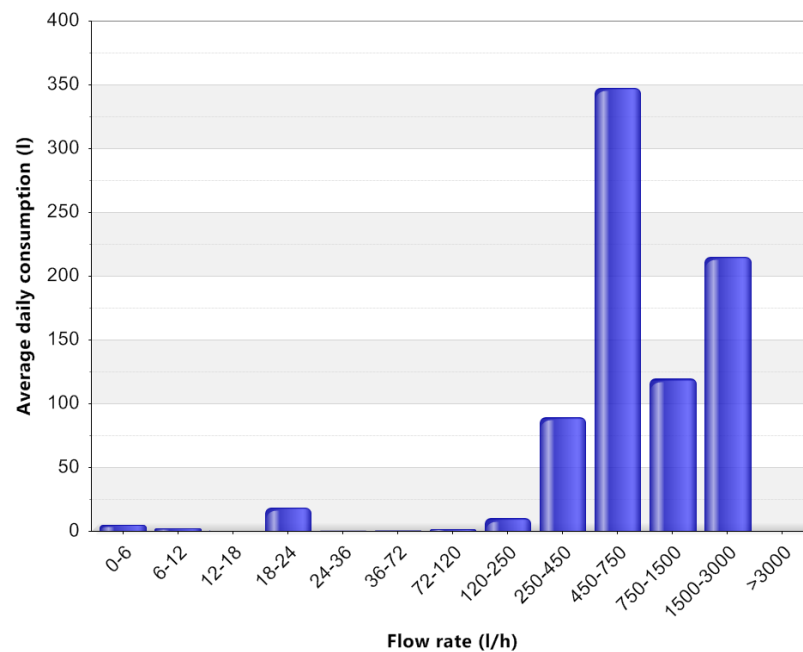


FIGURA 71. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013172

TABLA 201. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013172

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	6,31	1,75
6-12	0,75	0,21
12-18	0,55	0,15
18-24	8,44	2,35
24-36	1,57	0,44
36-72	1,11	0,31
72-120	0,84	0,23
120-250	8,34	2,32
250-450	63,68	17,71
450-750	195,35	54,33
750-1500	72,29	20,11
1500-3000	0,34	0,09
>3000	0,01	0
Volumen total registrado	4606	

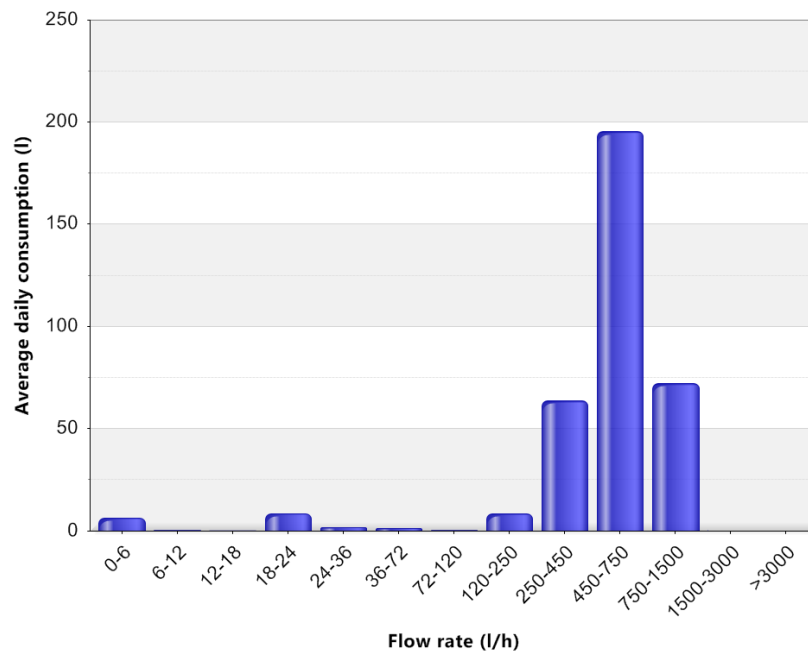


FIGURA 72. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013172

Abonado 80013236

TABLA 202. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013236

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	2,69	0,22
6-12	0,45	0,04
12-18	0,19	0,02
18-24	0,22	0,02
24-36	0,14	0,01
36-72	0,28	0,02
72-120	0,49	0,04
120-250	6,65	0,53
250-450	48,69	3,9
450-750	268,18	21,47
750-1500	266,84	21,36
1500-3000	654,25	52,38
>3000	0	0
Volumen total registrado	9697	

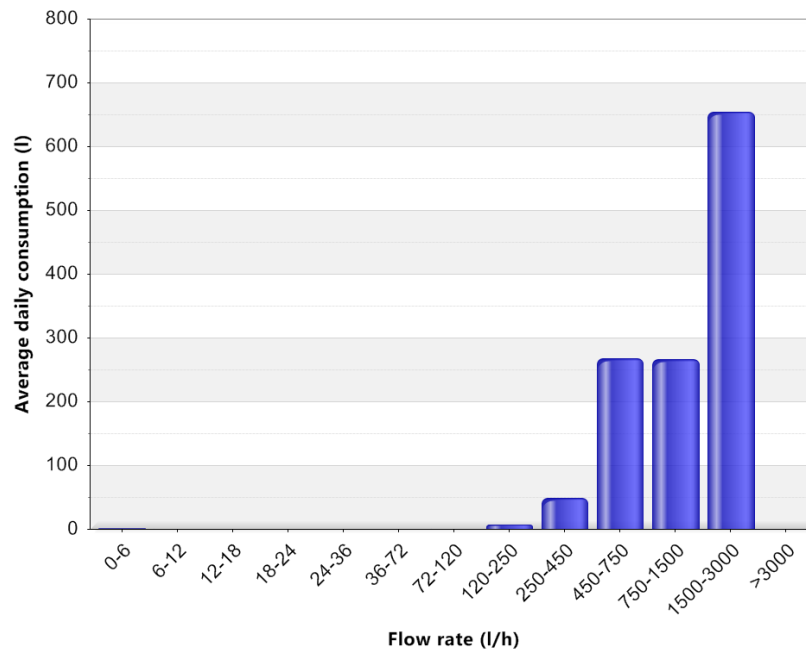


FIGURA 73. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013236

TABLA 203. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013236

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,17	0,97
6-12	0,56	0,17
12-18	0,19	0,06
18-24	0,12	0,04
24-36	0,06	0,02
36-72	0,23	0,07
72-120	0,46	0,14
120-250	13,16	4,02
250-450	72,56	22,16
450-750	215,05	65,68
750-1500	21,83	6,67
1500-3000	0	0
>3000	0	0
Volumen total registrado	42002	

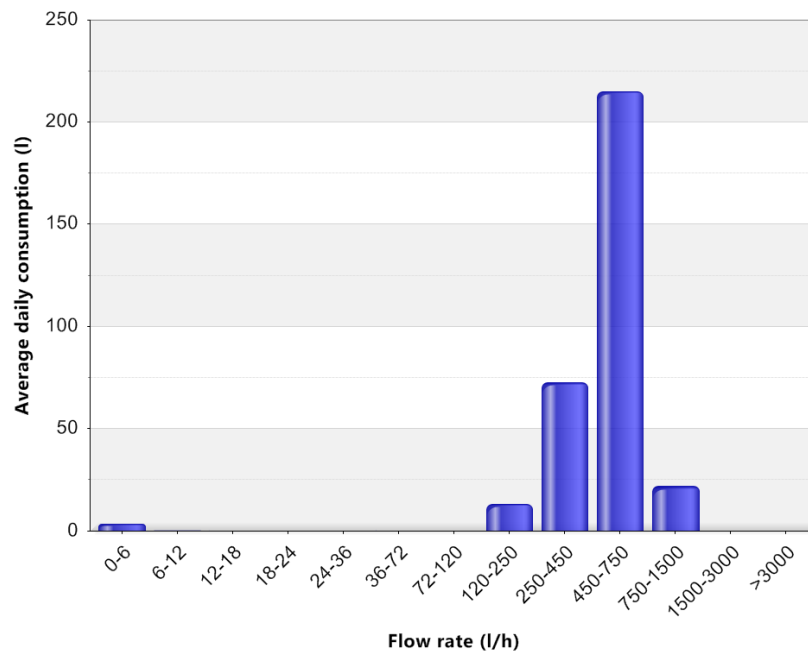


FIGURA 74. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013236

Abonado 80013967

TABLA 204. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013967

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	4,16	0,28
6-12	0,81	0,05
12-18	0,41	0,03
18-24	0,37	0,02
24-36	0,37	0,02
36-72	3,29	0,22
72-120	1,65	0,11
120-250	5,39	0,36
250-450	186,84	12,57
450-750	87,28	5,87
750-1500	17,43	1,17
1500-3000	1178,04	79,25
>3000	0,45	0,03
Volumen total registrado		10478,9

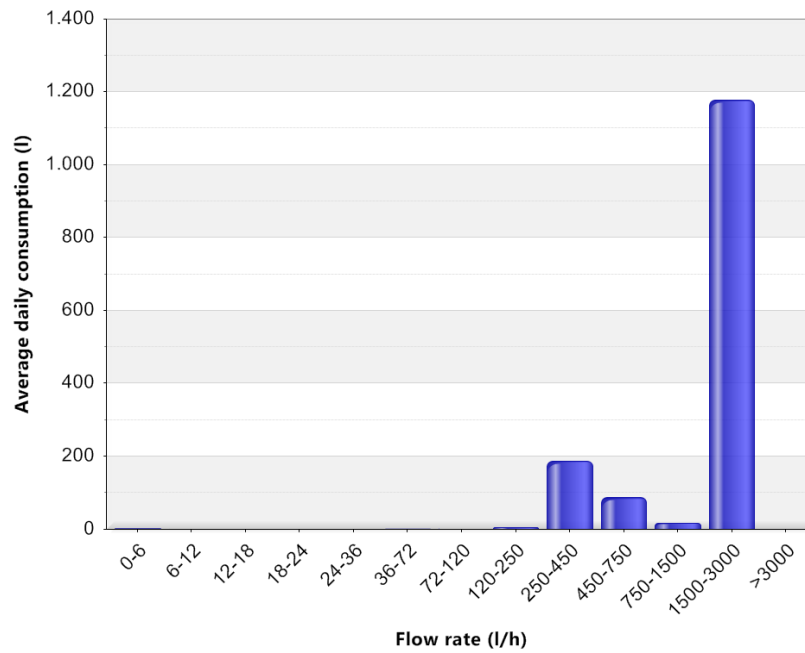


FIGURA 75. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO VERANO: ABONADO 80013967

TABLA 205. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013967

Q (l/h)	V (l)	V(%)
0-6	3,8	4,43
6-12	0,61	0,71
12-18	0,46	0,54
18-24	0,2	0,24
24-36	0,3	0,35
36-72	0,46	0,54
72-120	0,77	0,9
120-250	1,6	1,86
250-450	18,66	21,74
450-750	51,31	59,79
750-1500	5,96	6,94
1500-3000	1,68	1,96
>3000	0	0
Volumen total registrado	1097,3	

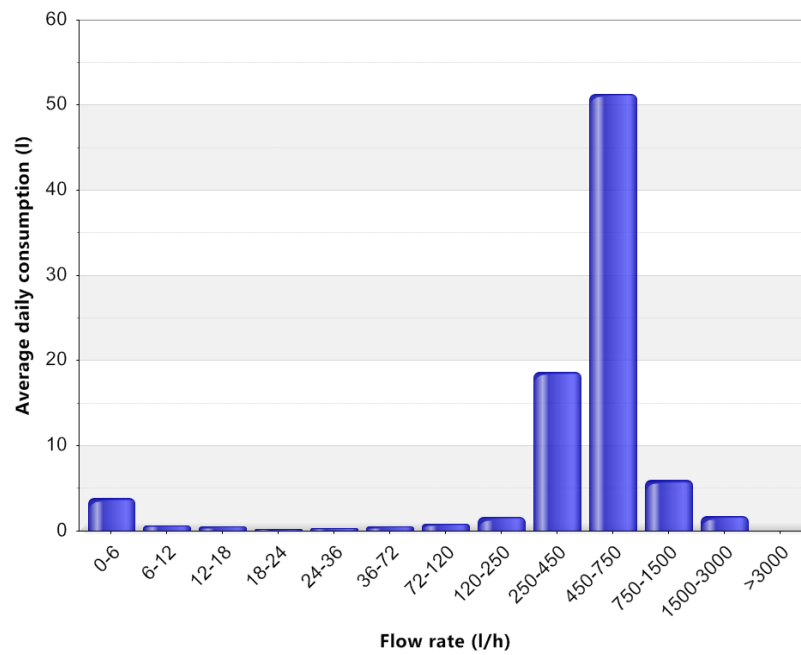


FIGURA 76. PATRÓN DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO INVIERNO: ABONADO 80013967